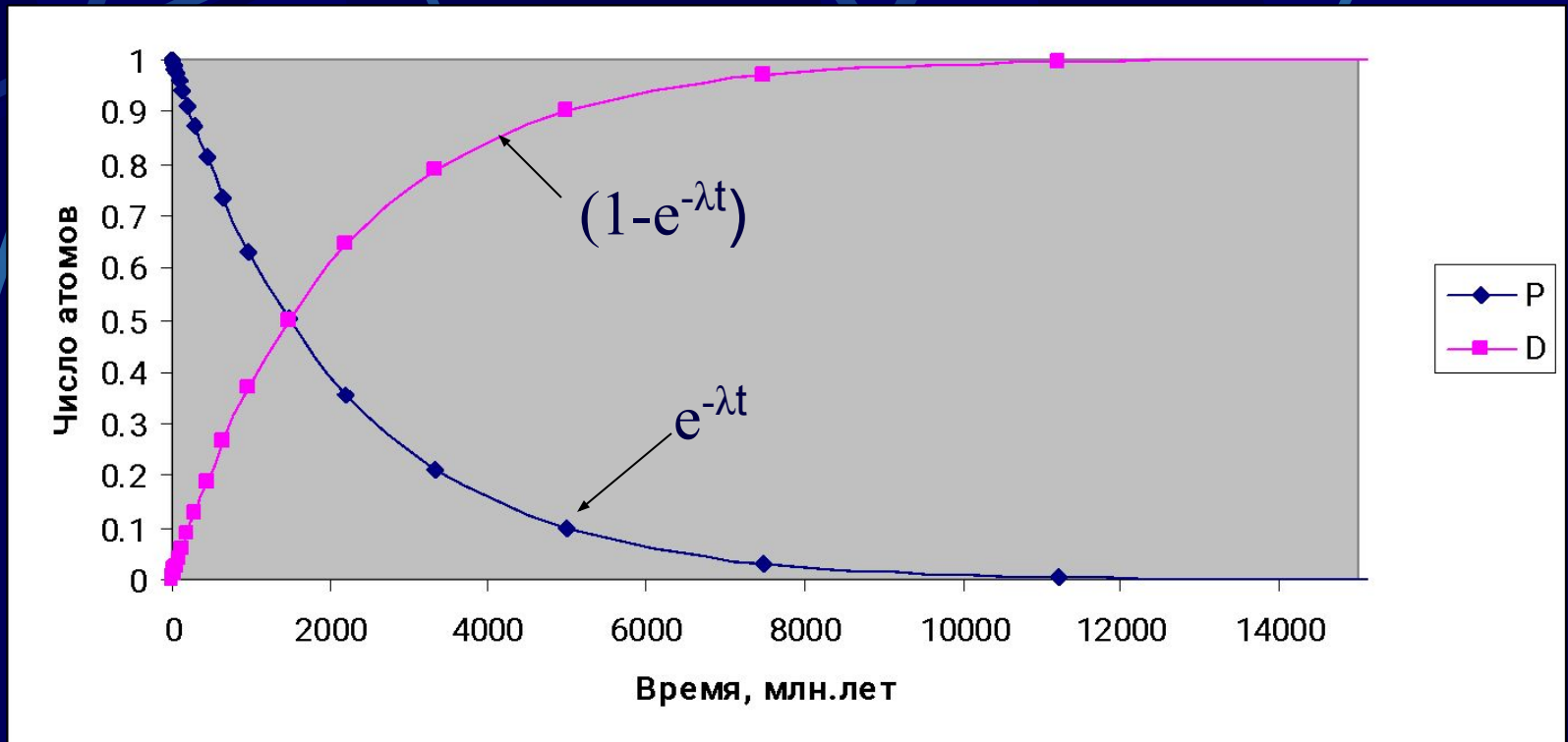


## 8.4 Принципы ядерной геохронологии

Как определить возраст пород?

# АТОМНЫЕ ЧАСЫ



Число атомов материнского (P) и дочернего (D) изотопов  
P – K, D – Ar, T=1484 млн. лет

# Основное уравнение датирования

$P(t) = P_0 e^{-\lambda t}$  – число атомов материнского изотопа

$D(t) = P_0 - P(t) = P_0 (1 - e^{-\lambda t})$  – число атомов дочернего изотопа

$$\frac{D(t)}{P(t)} = \frac{1 - e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = e^{\lambda t} - 1 \quad \text{основное уравнение}$$

# Уран-свинцовый (U-Pb) МЕТОД



*Необходимо найти такие объекты исследования, в которых присутствует уран в количестве, которое можно определить путем специального анализа и в которых пренебрежимо мало содержание свинца!*

*Наиболее удачный объект – **циркон (ZrSiO<sub>4</sub>)** – акцессорный минерал многих магматических пород . Кроме того используют сфен, уранинит, монацит, апатит*

# Пример

Положим,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}=1.562 \times 10^{-2}$ , тогда в соответствии с основным уравнением:

$$0.01562 = (e^{\lambda t} - 1)$$

$$1.01562 = e^{\lambda t}$$

$$\ln(1.01562) = \lambda t$$

$$0.015499 = \lambda t$$

$$t = \frac{0.015499}{\lambda} = \frac{0.015499}{1.55 \times 10^{-10}} = 100 \text{ млн. лет}$$

# Как измерить содержание ИЗОТОПОВ?

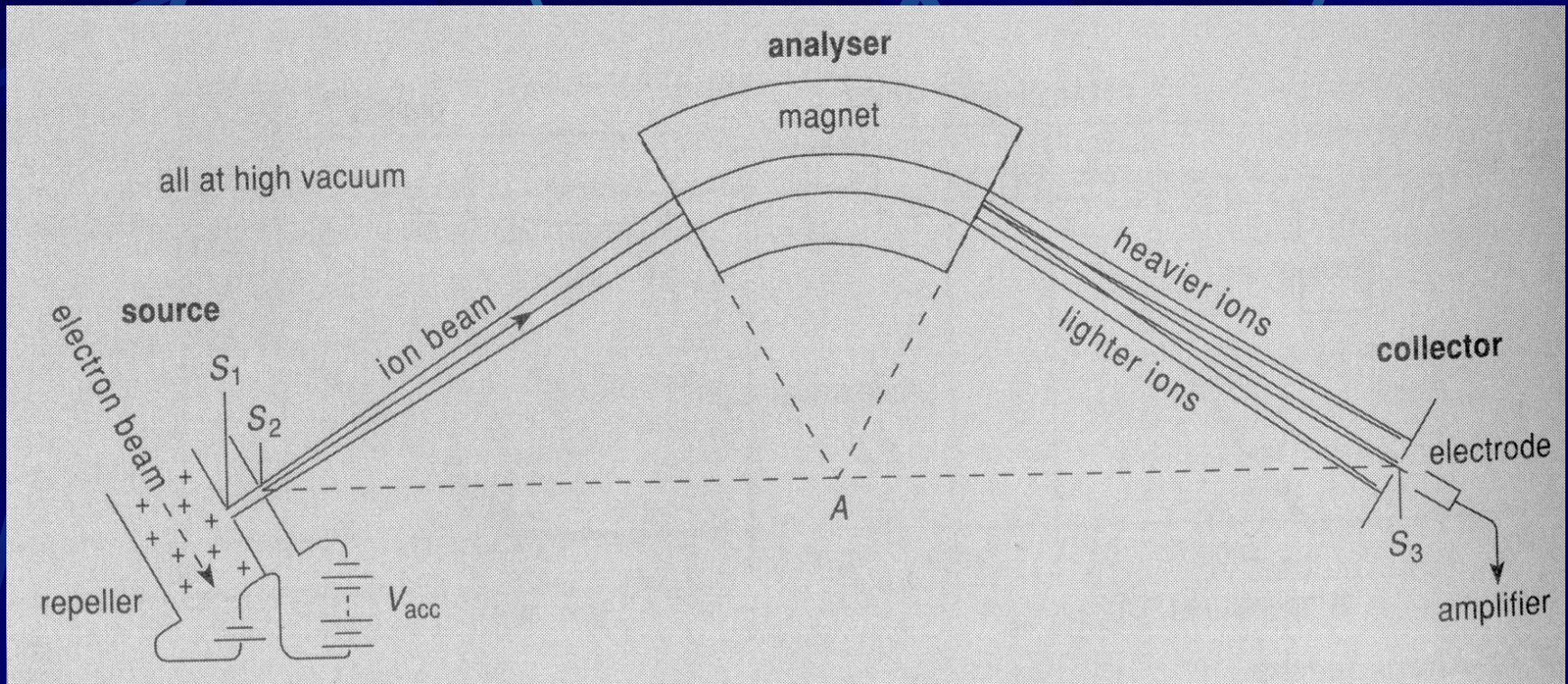
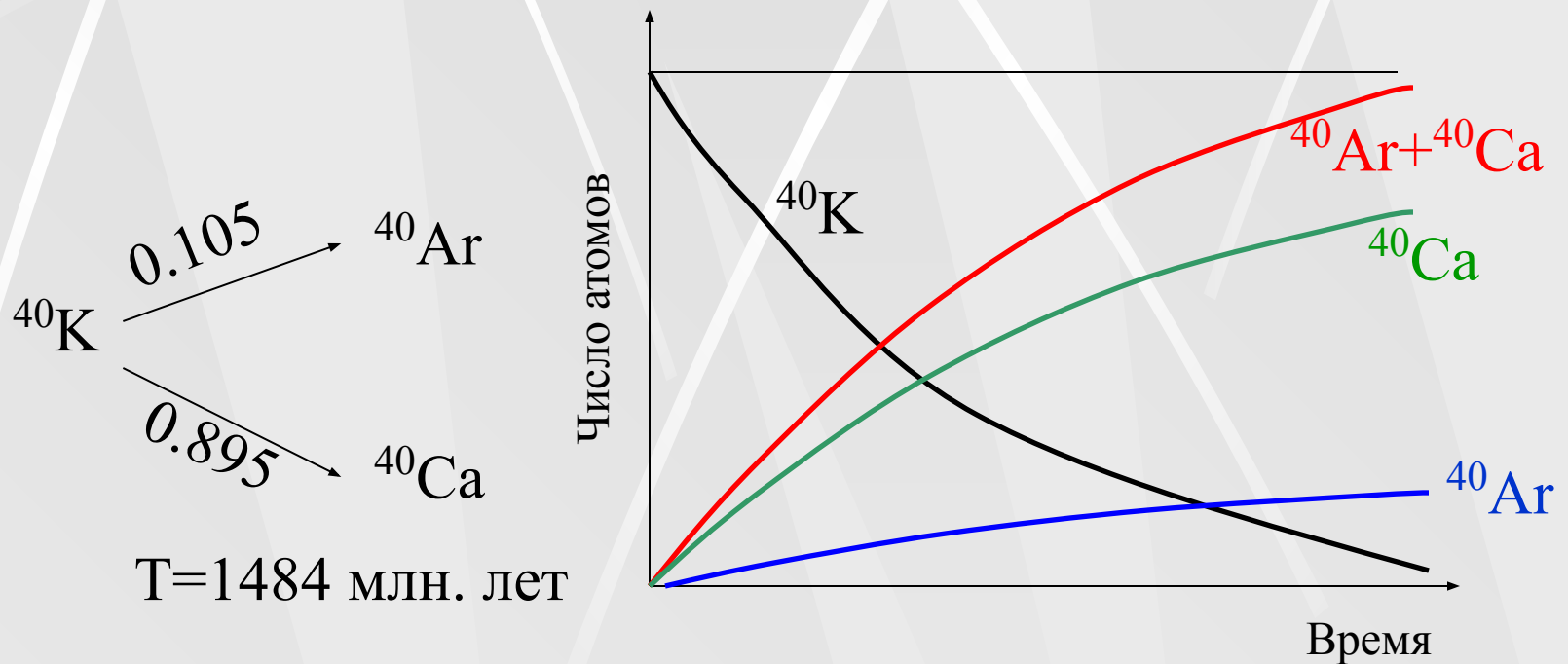


Схема масс-спектрометра

# Когда “работает” основное уравнение?

- (1) Закрытость системы;
- (2) Одному материнскому изотопу соответствует один дочерний изотоп;
- (3) Дочерние атомы отсутствуют в начальный момент времени

# Калий-аргоновый метод (K-Ar)



*Радиоактивный  $^{40}\text{K}$  представляет лишь 0.01167% от общего содержания K*

**Условие (2) – нарушено!**



$$\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{40}\text{K}} = 0.105(e^{\lambda t} - 1)$$

В какой момент времени “включаются” К-Аг часы?

*Какие объекты использовать?*

- ✓ *роговая обманка;*
- ✓ *слюда;*
- ✓ *полевоы шпат.*

Мешающий фактор – атмосферный  ${}^{40}\text{Ar}$

# Рубидий-стронциевый метод (Rb-Sr)

$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$ , 48800 млн. лет,  $1.42 \times 10^{-11}$  год $^{-1}$

$^{86}\text{Sr}$  – Стабильный изотоп сравнения

Объекты – полевой шпат, слюда

Минералы, содержащие  $^{87}\text{Rb}$ , содержат и  $^{87}\text{Sr}$ , следовательно,  
*условие (3) – нарушено!*

Баланс атомов  $^{87}\text{Sr}$ :

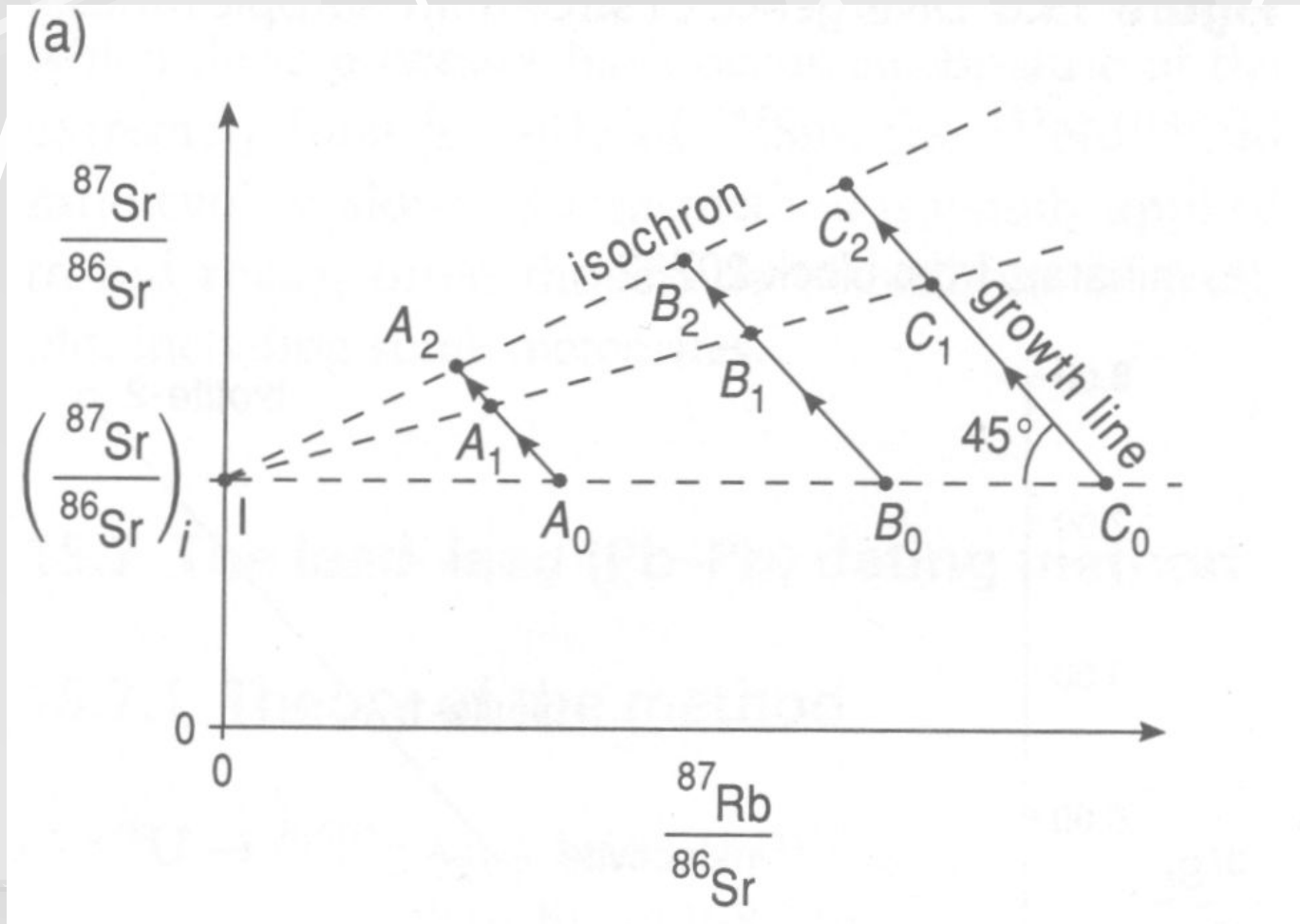
$$^{87}\text{Sr}_t = ^{87}\text{Sr}_0 + ^{87}\text{Rb}_t (e^{\lambda t} - 1) \quad \begin{array}{l} \text{(индекс "t" относится к текущему моменту;} \\ \text{индекс "0" – к моменту "запуска" часов)} \end{array}$$

Используем число атомов изотопа сравнения  $^{86}\text{Sr}$ :

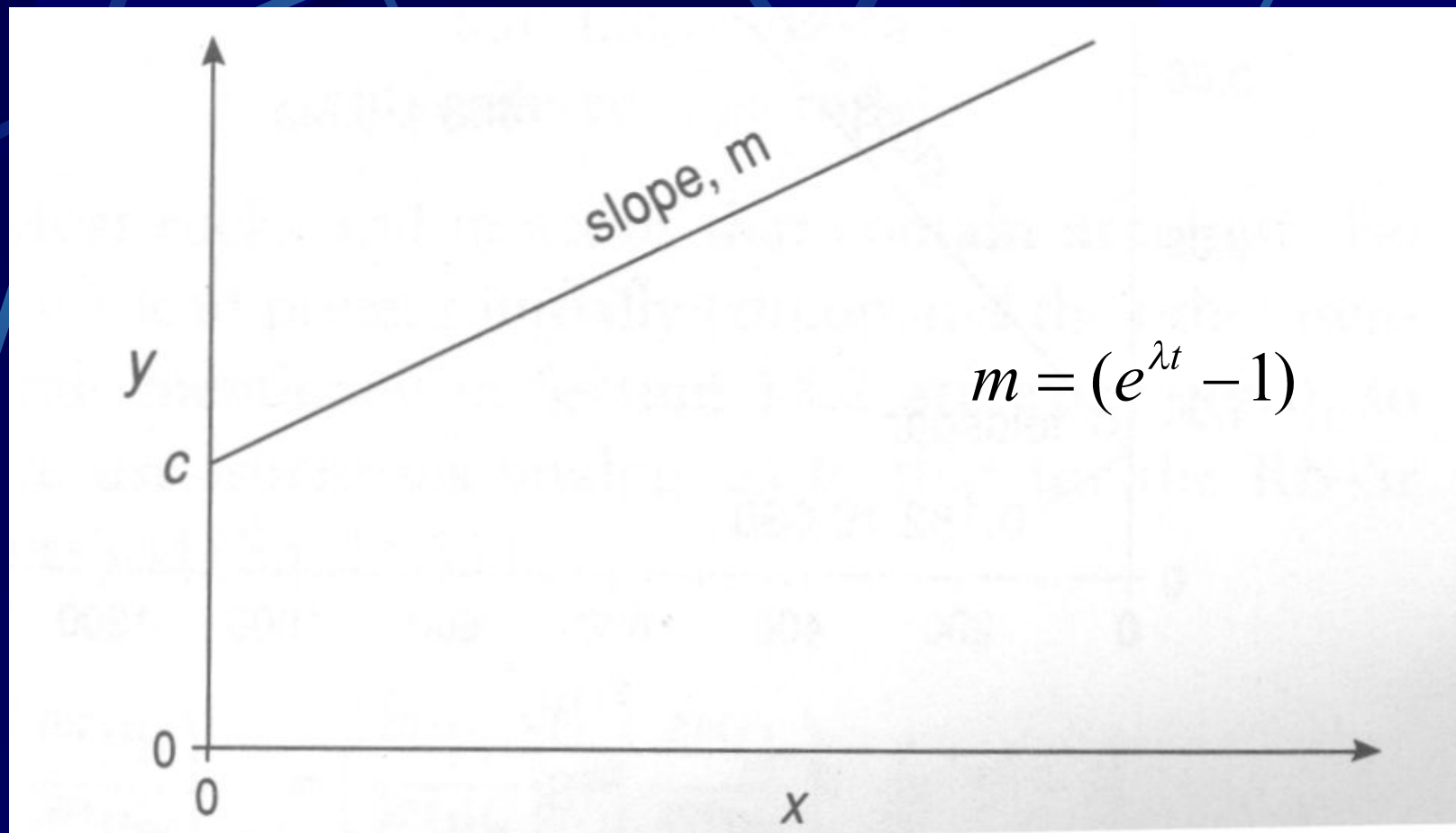
$$\frac{^{87}\text{Sr}_t}{^{86}\text{Sr}} = \frac{^{87}\text{Sr}_0}{^{86}\text{Sr}} + \frac{^{87}\text{Rb}_t}{^{86}\text{Sr}} (e^{\lambda t} - 1)$$

$$y = a + x \cdot m$$

# Изохроны минералов А,В,С для разных моментов времени



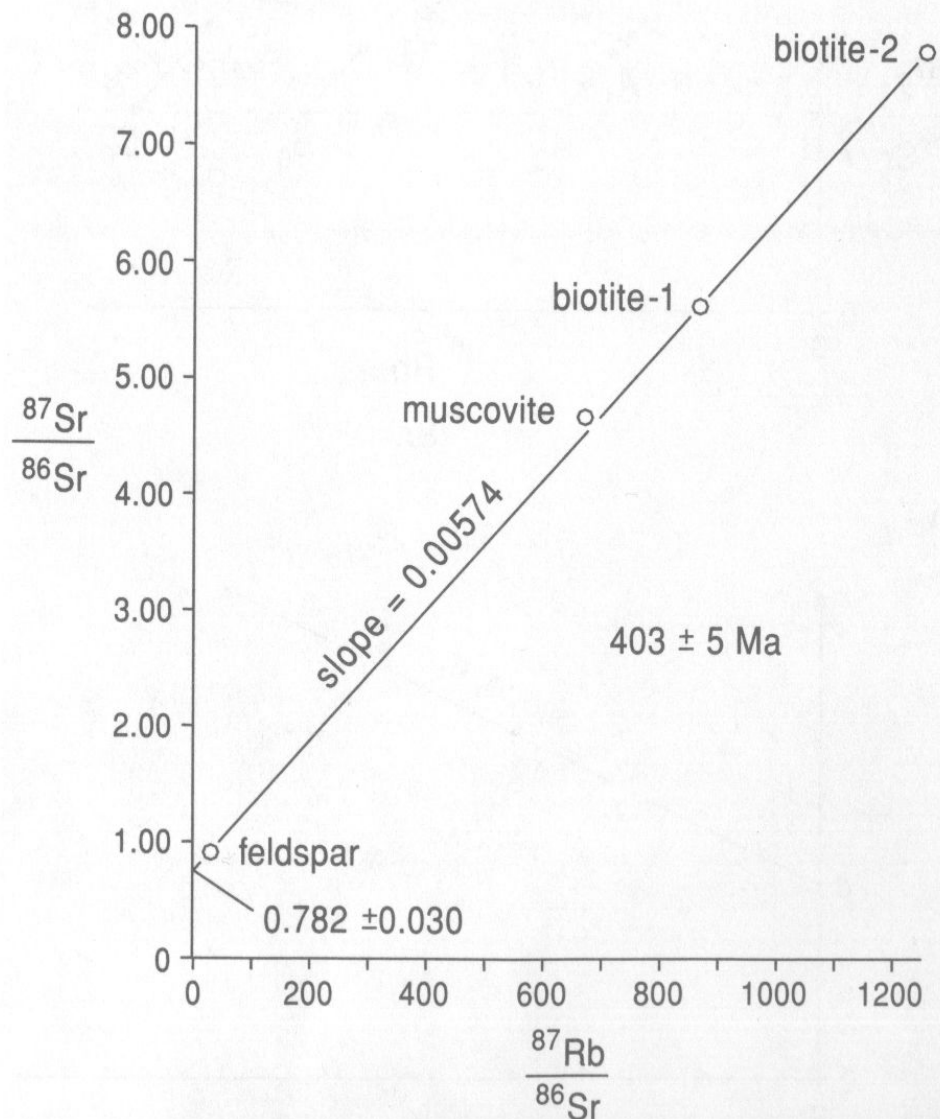
Тангенс угла наклона изохроны  $m$ :



# Пример интерпретации изохроны Rb-Sr метода

$$m = 0.00574 = \exp(\lambda t) - 1$$
$$1.00574 = \exp(\lambda t)$$
$$\ln(1.00574) = 1.42 \times 10^{-11} t$$
$$t = 0.005724 / 1.42 \times 10^{-11} =$$
$$= 403 \text{ млн. лет}$$

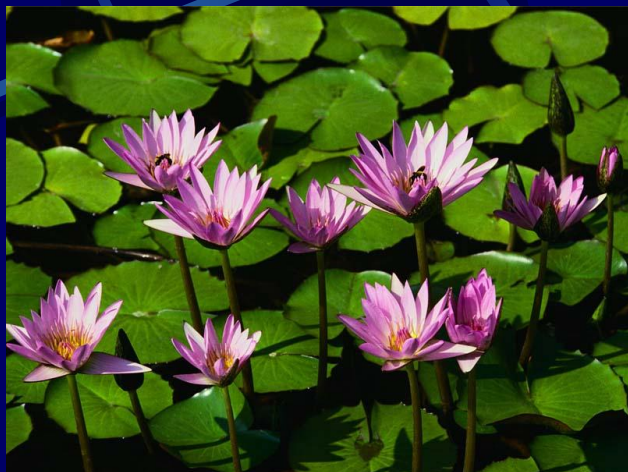
(a) minerals from block 20782



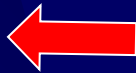
# Углеродный ( $^{14}\text{C}$ ) метод

$^{14}\text{C}$  образуется из  $^{14}\text{N}$  в верхних слоях атмосферы и распространяется по всей атмосфере. Более распространен стабильный изотоп  $^{12}\text{C}$ .





↑ фотосинтез  
 $^{14}\text{C} + ^{12}\text{C}$



...

Как измерить отношение  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ?



Счет  $\beta$ -частиц в  
диоксиде углерода



Специальный масс-спектрометр



## Продукты и константы распада изотопов, используемых в некоторых методах геохронологии

Реакция распада	Постоянная распада (лет <sup>-1</sup> )	Период полураспада (лет)
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8^4\text{He}$	$1.55 \cdot 10^{-10}$	$4.47 \cdot 10^9$
$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} + 7^4\text{He}$	$9.85 \cdot 10^{-10}$	$7.04 \cdot 10^8$
$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}, ^{40}\text{Ca}$	$5.54 \cdot 10^{-11}$	$1.25 \cdot 10^9$
$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$	$1.42 \cdot 10^{-11}$	$4.88 \cdot 10^{10}$
$^{14}\text{C} \rightarrow ^{12}\text{C}$	$1.209 \cdot 10^{-4}$	5730

# Какой метод выбрать?

- Тип породы, например, гранит – слюда (K, Rb), - циркон (U);
- Предполагаемый возраст пород;
- В какой момент “запускаются” часы?

# K-Ar

- Широко распространен (K);
- Может использоваться для датировки молодых пород (<1 млн. лет)
- Потери Ar приводят к ошибкам

# U-Pb

- Ограничен числом минералов, в которых мало содержание свинца.
- Циркон с возрастом сотни миллионов лет датируется с точностью до 1 млн. лет. Точность уменьшается для более молодых пород.

# Rb-Sr

- Используется для датирования кислых пород (>60% SiO<sub>2</sub>).
- Датирование возможно для пород старше 10 млн. лет.
- Возможность использования изохрон повышает точность датирования.

# $^{14}\text{C}$

- Используется для молодых пород (и не только пород) моложе 40000 лет.

# Вопросы по радиометрии и ядерной геофизике

- 1. Какие природные элементы являются радиоактивными?
- 2. Как определяется постоянная распада, среднее время жизни элемента, период полураспада?
- 3. Что такое «радиоактивное равновесие»?
- 4. Сформулируйте закон радиоактивного распада.
- 5. В каких магматических породах содержание урана наибольшее и наименьшее?
- 6. В каких условиях уран накапливается, а в каких мигрирует?
- 7. В каких осадочных породах наименьшее содержание радиоактивных элементов?
- 8. Чем отличаются интегральный и спектрометрический методы?
- 9. Для каких целей используют гамма-метод?
- 10. Какой параметр позволяет оценить гамма-гамма метод, гамма-нейтронный метод?
- 11. Для каких целей необходимо измерять содержание радона?
- 12. Какие методы изотопной геохронологии вы знаете? Почему этих методов так много?
- 13. Как на основе уран-свинцового метода определить время образования породы и время ее повторного разогрева?
- 14. Возраст каких объектов может быть определен с помощью радиоуглеродного метода?