



**ПЕТРОФИЗИКА**  
**(ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИИ № 10)**  
**НЕЙТРОННАЯ АКТИВНОСТЬ**

Лектор: доцент Дахнов А.В.  
Кафедра исследования нефтегазовых пластовых  
систем

# НЕЙТРОННАЯ АКТИВНОСТИ

## НЕЙТРОНЫ

МАССА -  $1,0086654 \times 10^{-24}$  г

$$T_{1/2} = 1,01 \times 10^3 \text{ с}$$

$$E = 0.001 \text{ эВ} - > 14 \text{ МэВ}$$

Энергия и скорость – главные характеристики нейтронов

Нейтрон

распадается на

протон электрон антинейтрон

$$+ E = 0,78 \text{ МэВ}$$

# НЕЙТРОННАЯ АКТИВНОСТИ

НЕЙТ-  
РОНЫ

БЫСТРЫЕ  
 $E = 2 \times 10^5 - 2 \times 10^7$  эВ

ПРОМЕЖУ-  
ТОЧНЫЕ  
( $0,5 - 2 \times 10^5$ )  
эВ

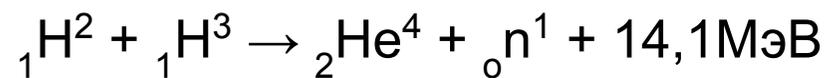
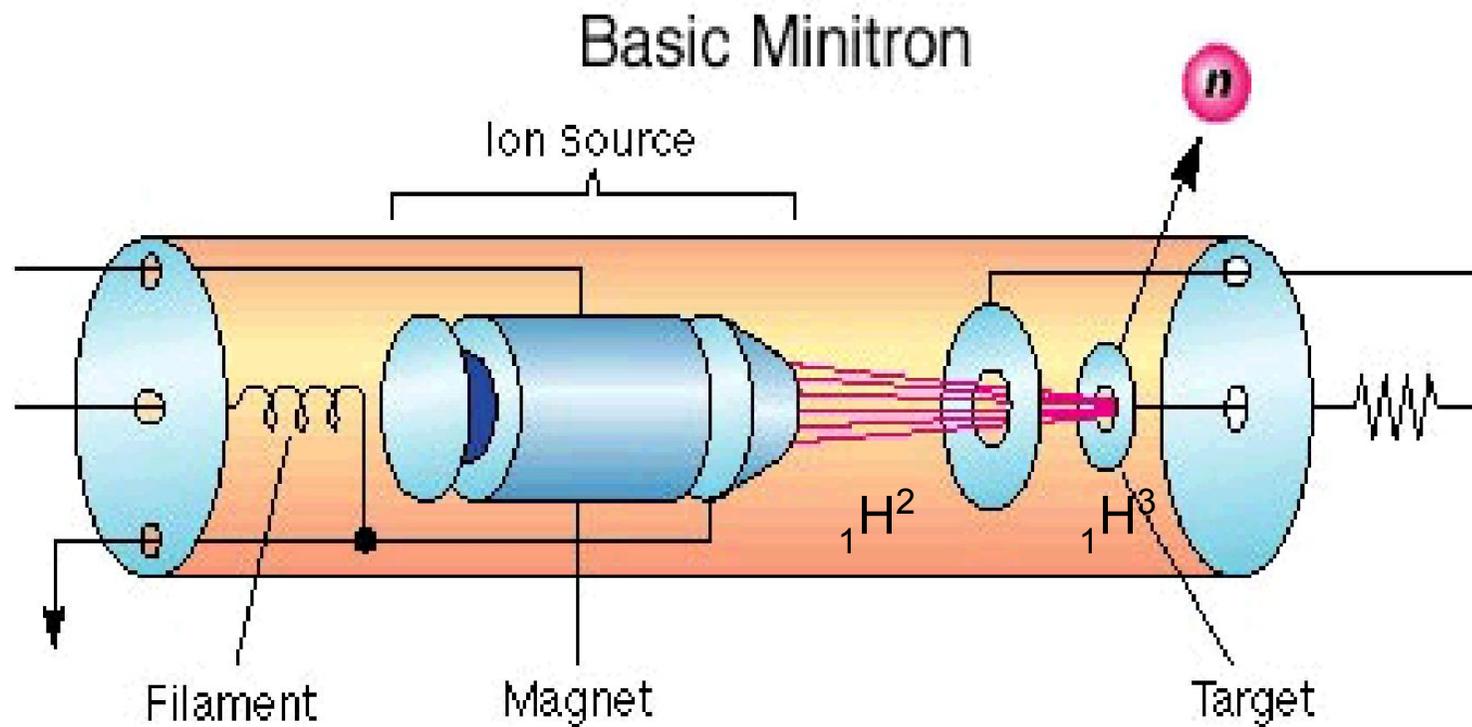
РЕЗОНАНС-  
НЫЕ  
(100 эВ)

МЕДЛЕН-  
НЫЕ  
(0,5 эВ)

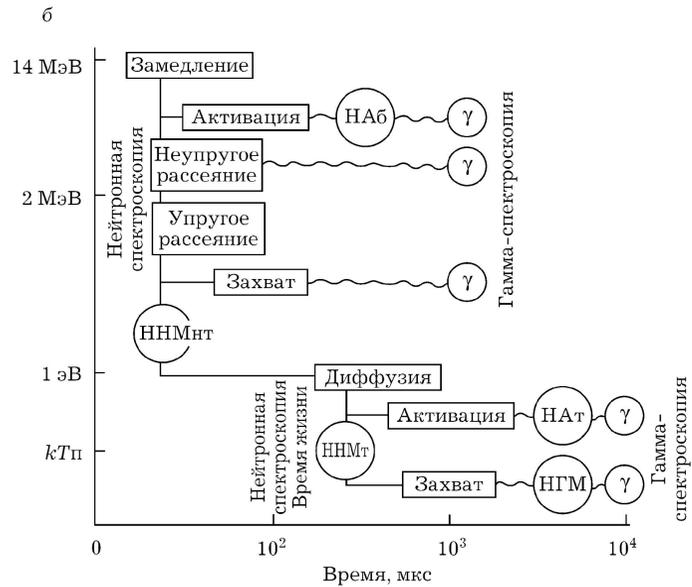
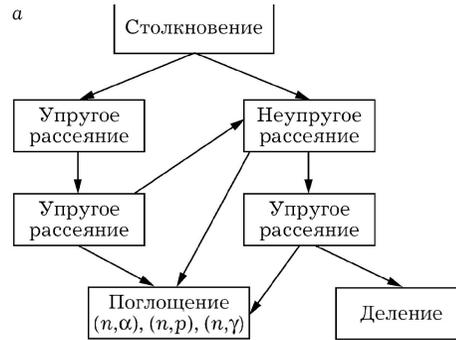
ТЕПЛОВЫЕ  
(0,025 эВ)

ХОЛОДНЫЕ  
(0,001 эВ)

# ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ



# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЙТРОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ



## По характеру взаимодействия с нейтронами

1. Легкие ( $1 < A < 25$ ) (элементы осадочного комплекса)
2. Средней массы ( $25 < A < 80$ ) (элементы изверженных и метаморфических пород)
3. Тяжелые ( $80 < A < 240$ ) (элементы -»-)

## РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ

УПРУГОЕ      НЕУПРУГОЕ

```
graph TD; A[РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ] --> B[УПРУГОЕ]; A --> C[НЕУПРУГОЕ];
```

## КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ СИСТЕМЫ НЕЙТРОН-ЯДРО $const$ до и после соударения

$E_1, v_1$  – энергия и скорость нейтрона до соударения;

$A$  – массовое число ядра замедлителя;

$\Theta$  – угол между первоначальным и последующим направлением нейтрона

# УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ

Если

$$(A-1)/(A+1) = \alpha, \text{ то}$$

$$E_2/E_1 = 1/2[(1+\alpha) + (1-\alpha)\cos\theta]$$

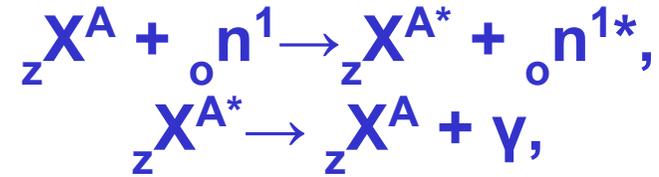
Минимальная потеря энергии

$$E_2/E_1 = 1 \text{ при } \theta = 0$$

Максимальная потеря энергии  $\rightarrow$  при  $\theta = \pi$

$$E_2 = \alpha E_1 \text{ Для водорода } \alpha \sim 0$$

# НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ



где  ${}_z\text{X}^A$  и  ${}_z\text{X}^{A*}$  - ядра исходного элемента и в возбужденном состоянии;

${}_0\text{n}^1$  и  ${}_0\text{n}^{1*}$  - нейтрон поглощенный и выброшенный ядром;

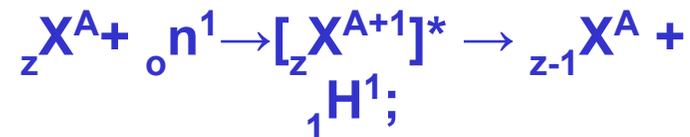
$\gamma$  — гамма-квант

Реакция наиболее типична с тяжелыми элементами при энергии нейтронов от кэВ до МэВ

# ПОГЛОЩЕНИЕ НЕЙТРОНОВ

ТИПЫ РЕАКЦИЙ (n,α), (n,p), (n,γ), (n,2n), (n,np) и др.

Реакции (n,α), (n,p) идут при E>1МэВ по схемам:



# ПОГЛОЩЕНИЕ НЕЙТРОНОВ

Реакция  $(n,\gamma)$  (радиационный захват) возникает

с медленными нейтронами



\*\* - радиоактивный изотоп

# Нейтронная рассеивающая и поглощающая активности

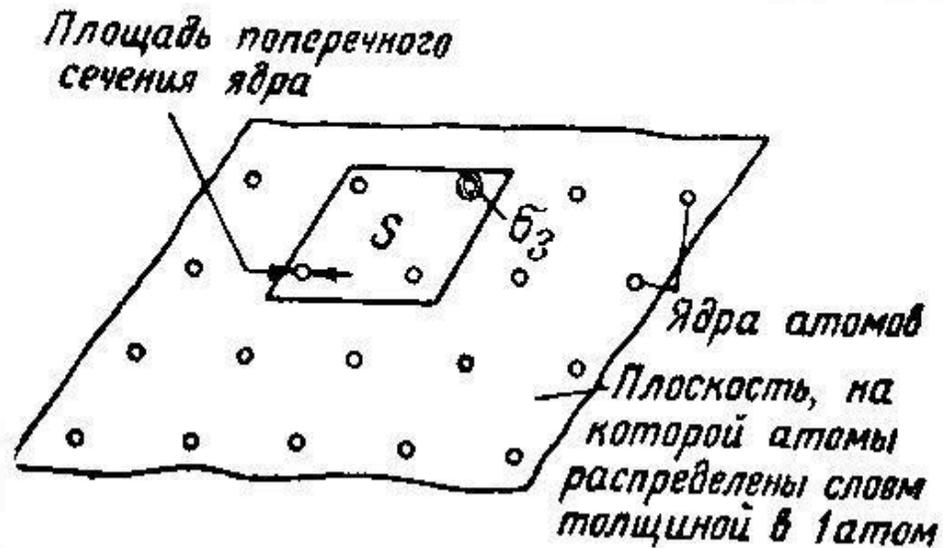
Способность пород **рассеивать** и **поглощать** (захватывать) нейтроны

$\Sigma_p$  – макроскопическое эффективное сечение рассеяния

$\Sigma_3$  - макроскопическое эффективное сечение захвата

$\Sigma_p$  и  $\Sigma_3$  – зависят от эффективных микроскопических сечений рассеяния  $\sigma_p$  или захвата  $\sigma_3$

# Нейтронная рассеивающая и поглощающая активности



Схема,  
поясняющая  
понятие  
микроскопическ  
ого  
эффективного  
сечения

# Нейтронная рассеивающая и поглощающая активности

## КОЛИЧЕСТВА РАССЕЯННЫХ $C_p$ ИЛИ ЗАХВАЧЕННЫХ $C_3$ НЕЙТРОНОВ

$$C_p = \sigma_p I N_s \text{ и } C_3 = \sigma_3 I N_s,$$

где  $\sigma_p$  и  $\sigma_3$  – микроскопические сечения рассеяния и захвата [ $10^{-26}$ - $10^{-30}$  м<sup>2</sup>/ядро],

$10^{-28}$  м<sup>2</sup>/ядро – 1барн;

$I$  – интенсивность потока нейтронов;

$N_s$  – число ядер в ед. площади

# Нейтронная рассеивающая и поглощающая активности

## МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ СЕЧЕНИЯ $\Sigma$ ЭЛЕМЕНТОВ

$$\Sigma_p = \sigma_p N = \sigma_p N_A \delta_T / A,$$

$$\Sigma_3 = \sigma_3 N = \sigma_3 N_A \delta_T / A,$$

где  $N$  – число ядер в  $1\text{ м}^3$  породы,

$A$  – относительная атомная масса,  $\delta_T$  – плотность элемента,  $N_A$  – число Авогадро

# Другие характеристики взаимодействия породы с нейтронами

Замедляющая способность;

Коэффициент замедления;

Коэффициент диффузии  $D_0$ ;

Длина замедления  $L_z$ ;

Длина диффузии  $L_d$ ;

Время замедления  $\tau_z$ ;

Время жизни тепловых нейтронов  $\tau_d$ .

# Замедляющая способность и коэффициент замедления

**Замедляющая способность –  $\Sigma_p \chi \xi$**

$\xi$  – потеря энергии при одном соударении.  $A_m$  – массовое число элемента, равное сумме нейтронов и протонов в ядре.

Для  $A_m > 10$   $\xi = 2 / (A_m + 2/3)$

$$\Sigma_p \chi \xi \sim 2 N_A \delta_T \sigma_p / A^2$$

**Коэффициент замедления**

$$\Sigma_p \chi \xi / \Sigma_{з.ср}$$

# Коэффициент диффузии $D_0$

**ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ:**

**СКОРОСТЬЮ НЕЙТРОНОВ  $v(T)$ ;**

**МАКРОСКОПИЧЕСКИМ СЕЧЕНИЕМ ЗАХВАТА  $\Sigma_3(T)$ ;**

**ТРАНСПОРТНЫМ РАССЕЯНИЕМ  $\Sigma_{тр}(T)$**

**ПРИ АБСОЛЮТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ  $T$ .**

$$D_0(T) = v(T) / [3 \Sigma_3(T) + \Sigma_{тр}(T)]$$

# ДЛИНА ЗАМЕДЛЕНИЯ $L_z$ И ДЛИНА ДИФФУЗИИ $L_d$

$$r^{*2} = r_{z.c.p.}^2 + r_{d.c.p.}^2 = 6(L_z^2 + L_d^2) = 6(T + L_d^2),$$

где  $r_{z.c.p.}^2$  – средний квадрат расстояния по прямой от точки рождения до точки, где они становятся тепловыми,  $m^2$ ;  $r_{d.c.p.}^2$  – то же, от последней точки до точки поглощения,  $m^2$ ;  $L_z = r_{z.c.p.} / \sqrt{6} = \sqrt{T}$  – длина замедления;  $L_d = r_{d.c.p.} / \sqrt{6}$  – длина диффузии;  $T$  – символический возраст тепловых нейтронов,  $m^2$ .

# МИНЕРАЛЫ

## ОСНОВНЫЕ ЗАМЕДЛИТЕЛИ НЕЙТРОНОВ:

1. ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИЕ МИНЕРАЛЫ В ТОМ ЧИСЛЕ МИНЕРАЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННУЮ И КОНСТИТУЦИОННУЮ ВОДУ: **КАОЛИНИТ, ГИПС, ОПАЛ, КАРНАЛИТ И ДР.**
2. СРЕДНЯЯ ЗАМЕДЛЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ – **ОСНОВНЫЕ ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ**
3. САМЫЕ ПЛОХИЕ ЗАМЕДЛИТЕЛИ – **МИНЕРАЛЫ С БОЛЬШОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АТОМНОЙ МАССОЙ**

# МИНЕРАЛЫ

## ПОГЛОТИТЕЛИ НЕЙТРОНОВ

1 – ОЧЕНЬ СЛАБЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ НЕЙТРОНОВ:

ГРАФИТ, АЛМАЗ, ВИСМУТ ( $\sigma \times 0,001$  барн)

2 – СЛАБОАКТИВНЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ: МАГНЕЗИТ, КВАРЦ,  
МОНТМОРИЛЛОНИТ И ДР. ( $\sigma \times 0,1$  барн)

3 – СРЕДНЕАКТИВНЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ: ПИРИТ, АНГИДРИТ,  
ГИПС, КАОЛИНИТ ( $\sigma$  барн)

4 – ПОВЫШЕННО АКТИВНЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ: ЗОЛОТО,  
СЕРЕБРО, ГАЛИТ, СИЛЬВИН И ДР. (10 барн)

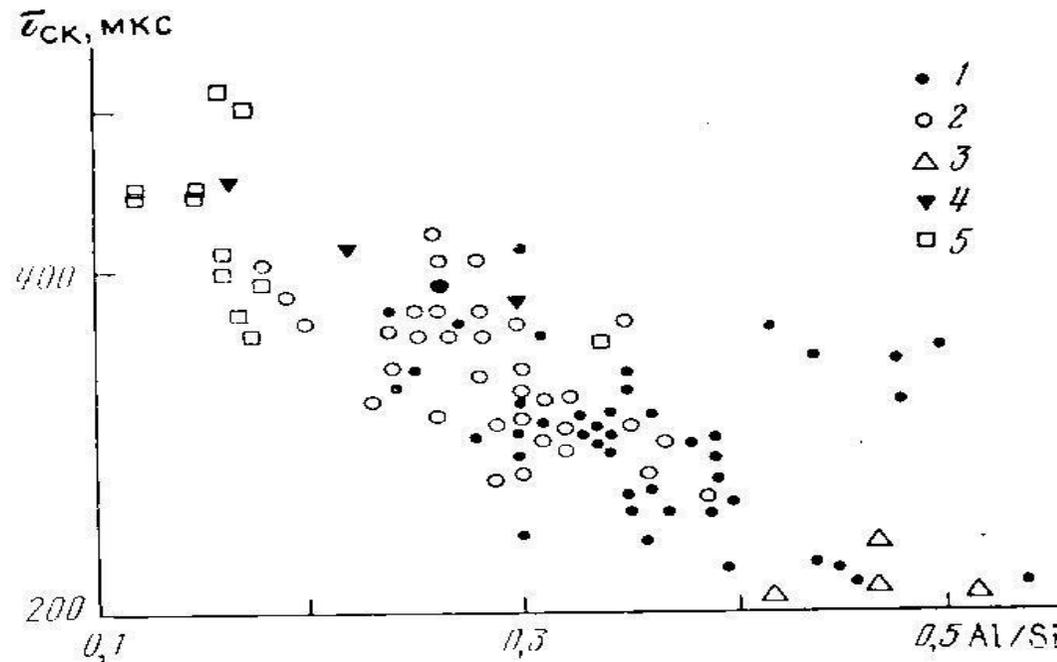
5 – АКТИВНЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ: БУРА, ТУРМАЛИН, КИНОВАРЬ,  
ХАЛЬКОПИРИТ И ДР. (до 100 барн)

6 – ЧРЕЗВЫЧАЙНО АКТИВНЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ: МИНЕРАЛЫ  
СОДЕРЖАЩИЕ БОР И РТУТЬ

# ТВЕРДАЯ ФАЗА

**ЗАМЕДЛЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ  
ВОЗРАСТАЕТ С УВЕЛИЧЕНИЕМ  
СОДЕРЖАНИЯ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ,  
ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ И КАЛЬЦИТА,  
С РОСТОМ СОДЕРЖАНИЯ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ  
КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ВОДЫ.  
БОР – АНОМАЛЬНЫЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ**

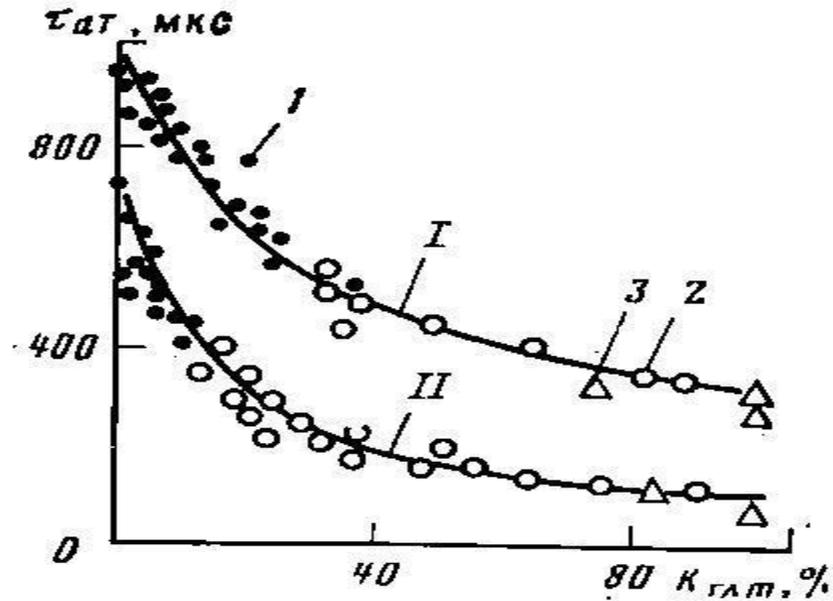
# НЕЙТРОННАЯ АКТИВНОСТИ



Зависимость времени жизни нейтронов  $\tau_{сж}$  в минеральном скелете породы от величины отношения  $Al/Si$  (по данным Д. М. Сребродольского, А. В. Авдеевой, В. А. Владимировой):

1 -- глина; 2 -- алевролит; 3 -- мергель; 4 -- песчаник; 5 -- песок

# ТВЕРДАЯ ФАЗА



Зависимость времени  $\tau_{dT}$  жизни нейтронов в твердой фазе породы от коэффициента  $k_{глт}$  массовой глинистости.

I — без учета содержания бора; II — с учетом содержания бора; 1 — песчаник; 2 — алевролит; 3 — аргиллит [3]

# ЖИДКОСТИ И ГАЗЫ

ЖИДКОСТИ:  $\text{H}_2\text{O}$  +  $\text{NaCl}$  и т.д.

**ВОДОРОД** - ОПТИМАЛЬНЫЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ

**ХЛОР** — ПОВЫШЕННОЕ СЕЧЕНИЕ ЗАХВАТА

**Na, Ca, Mg** — ОДИНАКОВЫЕ СЕЧЕНИЯ ЗАХВАТА

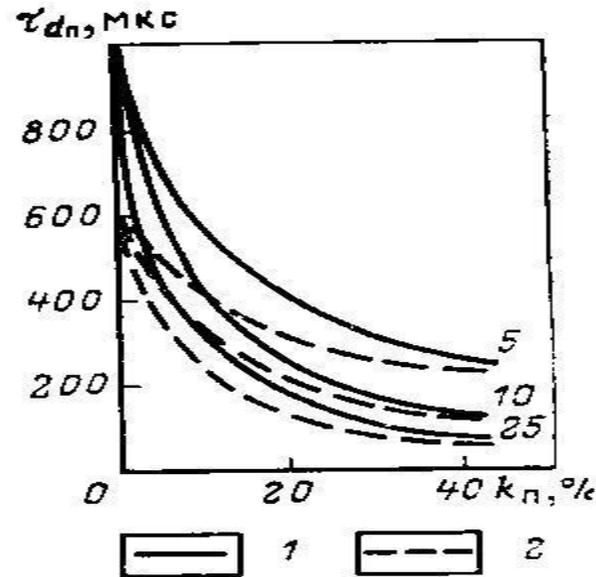
**ГАЗЫ** =  $f$  ( молекулярного веса,  
температуры, давления)

# Горные породы

$$a_{\text{п}} = (1 - K_{\text{п}} - K_{\text{гл}}) a_{\text{т}} + K_{\text{гл}} a_{\text{гл}} + K_{\text{п}} K_{\text{в}} a_{\text{в}} + K_{\text{п}} (1 - K_{\text{в}}) a_{\text{нг}},$$

где  $a_{\text{п}} = 1/\tau_{\text{д}}$  – макроскопическое сечение захвата в нефтеводо- или газоводонасыщенной глинистой породе

# ГОРНЫЕ ПОРОДЫ



Связь между временем  $\tau_{dn}$  жизни тепловых нейтронов в водонасыщенных породах и коэффициентом  $k_n$  их пористости (по Ф. Ц. Денисик и Д. М. Сребродольскому).

1 — кварцевый песчаник; 2 — известняк

# Вопросы для самоконтроля

1. Типы взаимодействия быстрых и тепловых нейтронов с веществом. Какова их петрофизическая информативность?
2. Каков физический смысл длины замедления и длины миграции нейтронов?
3. Перечислите параметры, характеризующие диффузионные свойства горных пород.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

internet: [www.vniigaz.ru](http://www.vniigaz.ru)  
intranet: [www.vniigaz.gazprom.ru](http://www.vniigaz.gazprom.ru)  
e-mail: [vniigaz@vniigaz.gazprom.ru](mailto:vniigaz@vniigaz.gazprom.ru)  
телефон: (+7 495) 355-92-06  
факс: (+7 495) 399-32-63