



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

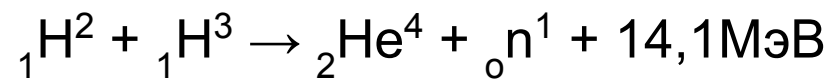
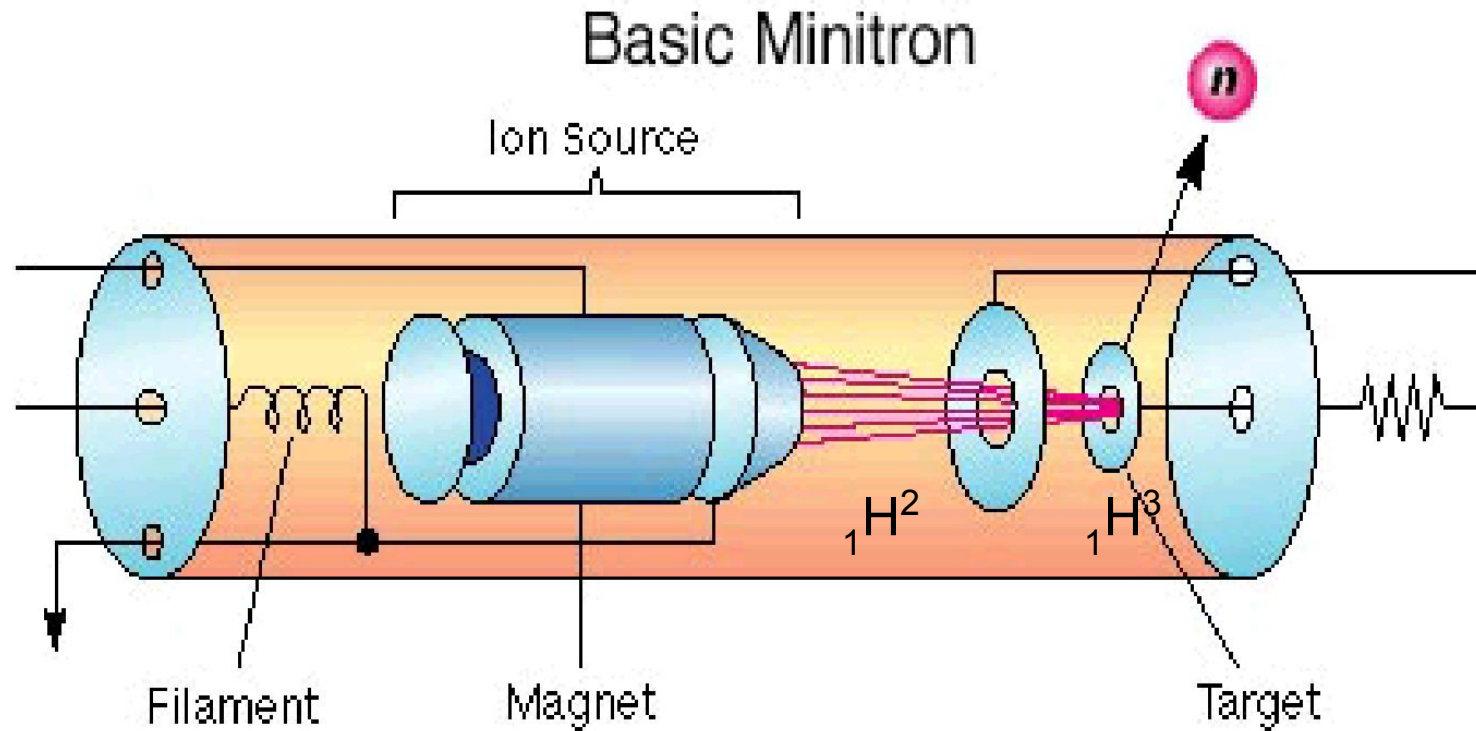
РЕЗОНАНС-
НЫЕ
(100 эВ)

МЕДЛЕН-
НЫЕ
(0,5 эВ)

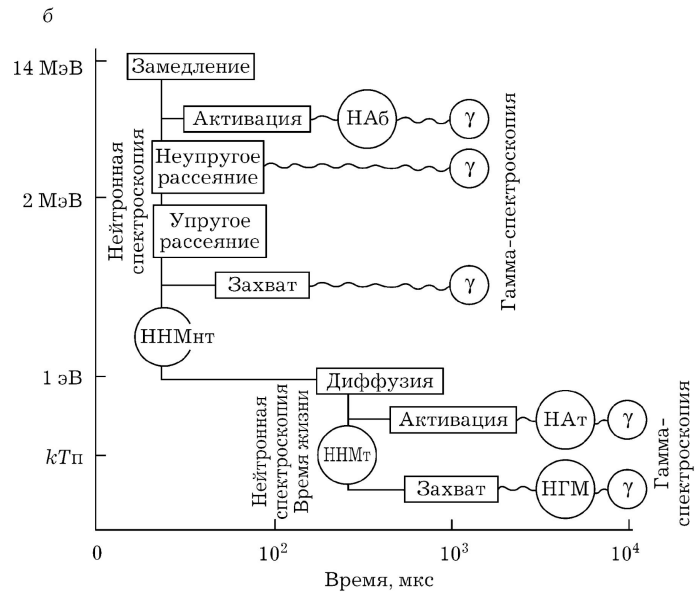
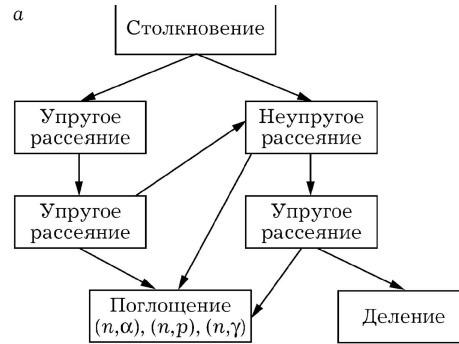
ТЕПЛОВЫЕ
(0,025 эВ)

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;

Θ – угол между первоначальным и последующим направлением нейтрона

Если

$$(A-1)/(A+1) = \alpha, \text{ то}$$

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

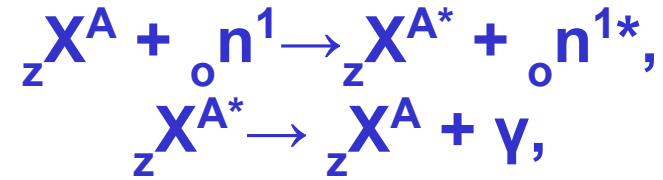
Минимальная потеря энергии

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

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;

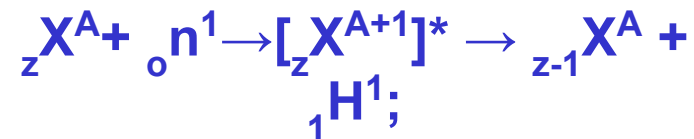
γ — гамма-квант

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,γ) (радиационный захват) возникает

с медленными нейтронами



** - радиоактивный изотоп

Нейтронная рассеивающая и поглощающая активности

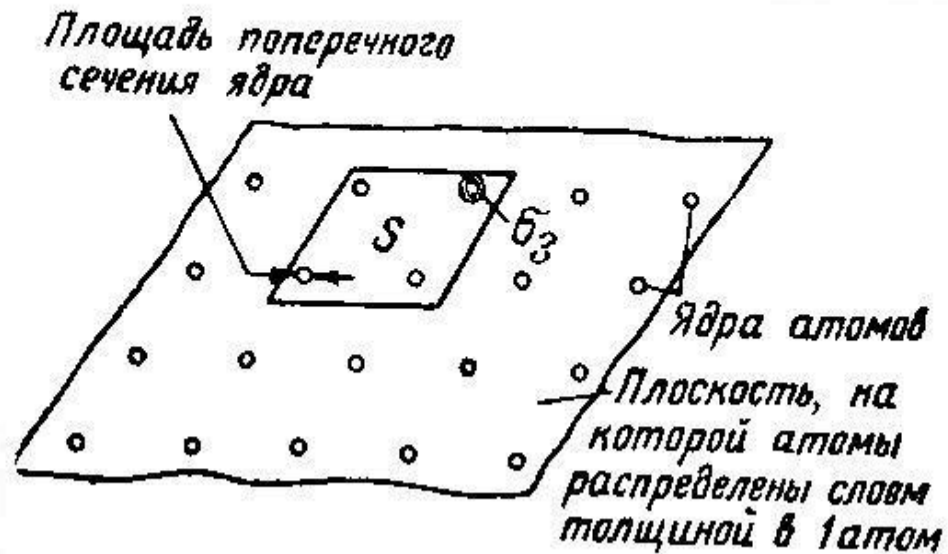
Способность пород **рассеивать** и **поглощать** (захватывать) нейтроны

Σ_p – макроскопическое эффективное сечение рассеяния

Σ_3 - макроскопическое эффективное сечение захвата

Σ_p и Σ_3 – зависят от эффективных микроскопических сечений рассеяния σ_p или захвата σ_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 σ_p и σ_3 – микроскопические сечения рассеяния и захвата [10^{-26} - 10^{-30} м²/ядро],

10^{-28} м²/ядро – 1барн;

I – интенсивность потока нейтронов;

N_s – число ядер в ед. площади

Нейтронная рассеивающая и поглощающая активности

МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ СЕЧЕНИЯ Σ 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 м^3 породы,

A – относительная атомная масса, δ_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 τ_z ;

Время жизни тепловых нейтронов τ_d .

Замедляющая способность и коэффициент замедления

Замедляющая способность – $\Sigma_p \chi \xi$

ξ – 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 (σ барн)

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

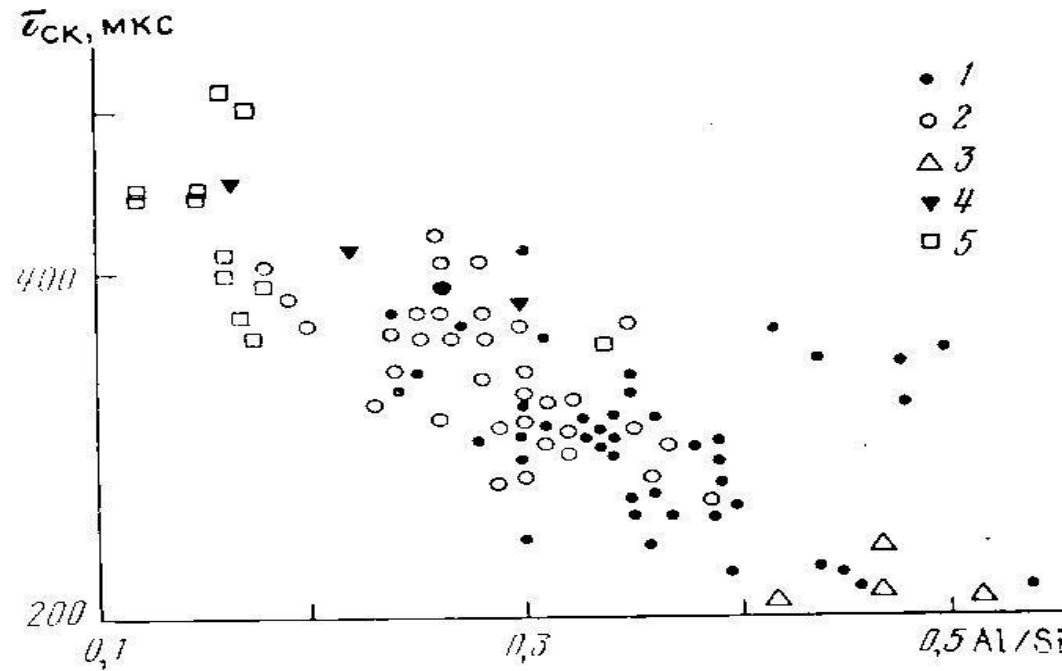
5 – АКТИВНЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ: БУРА, ТУРМАЛИН, КИНОВАРЬ,
ХАЛЬКОПИРИТ И ДР. (до 100 барн)

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**

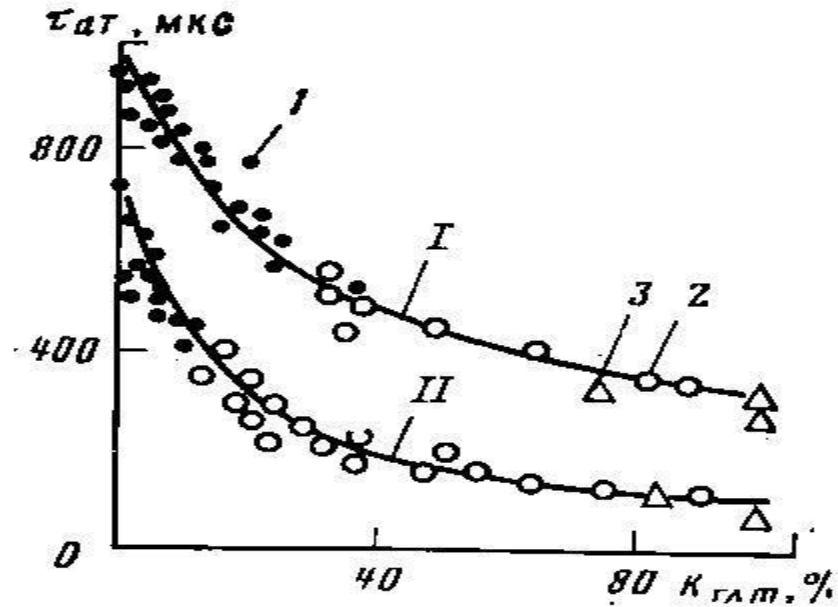
НЕЙТРОННАЯ АКТИВНОСТИ



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 τ_{dT} жизни нейтронов в твердой фазе породы от коэффициента k_{glm} массовой глинистости.

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

ЖИДКОСТИ И ГАЗЫ

ЖИДКОСТИ: H_2O + NaCl и т.д.

ВОДОРОД - ОПТИМАЛЬНЫЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ

ХЛОР — ПОВЫШЕННОЕ СЕЧЕНИЕ ЗАХВАТА

Na, Ca, Mg — ОДИНАКОВЫЕ СЕЧЕНИЯ ЗАХВАТА

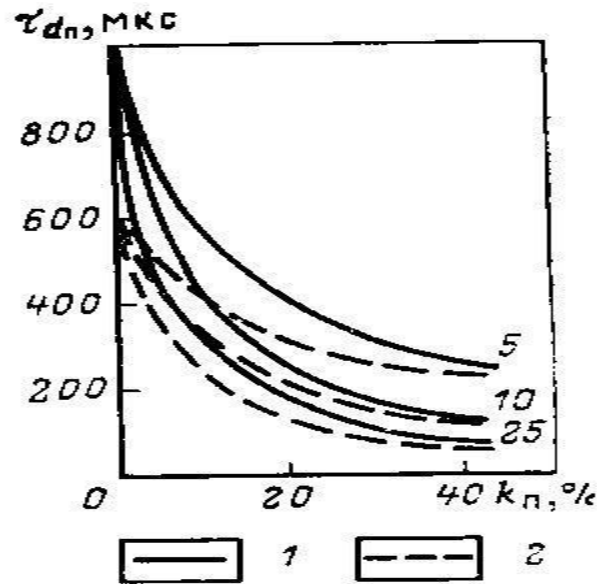
ГАЗЫ = f (молекулярного веса,
температуры, давления)

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 τ_{dn} жизни тепловых нейтронов в водонасыщенных породах и коэффициентом k_p 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
intranet: www.vniigaz.gazprom.ru
e-mail: vniigaz@vniigaz.gazprom.ru
телефон: (+7 495) 355-92-06
факс: (+7 495) 399-32-63