



ПАО «Газпром»

Российский государственный университет
нефти и газа имени И. М. Губкина
(Национальный исследовательский
университет)

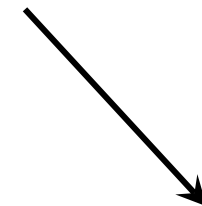
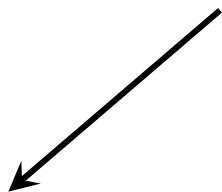


Презентационные материалы онлайн-курса «Основные технологические процессы Upstream-сектора нефтегазового комплекса»

**Радиометрия скважин.
Радиоактивные излучения, их
взаимодействие с веществом.
Источники гамма-квантов и
нейтронов. Использование гамма
и нейтронного излучений при
геофизических исследованиях
скважин**

Радиоактивные методы представляют собой совокупность методов ГИС, основанных на измерении естественных и искусственных радиоактивных излучений.

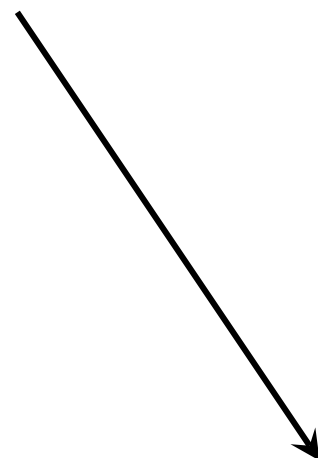
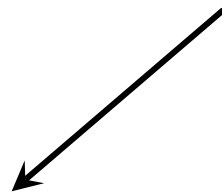
Радиометрия скважин



Естественные методы

- Гамма-метод ГМ
- Спектральный гамма-метод ГМ-с

Искусственные методы



Методы рассеянного гамма-излучения

- Гамма-гамма-метод плотностной ГГМ-п
- Гамма-гамма-метод селективный ГГМ-с

Нейтронные методы

- Стационарные нейтронные методы
- Импульсные нейтронные методы

- Определение пористости горных пород.
- Определение глинистости горных пород.
- Количественное определение литологического состава пород.
- Определение типа порового пространства коллекторов в комплексе с акустическими методами.
- Установление положения газожидкостных и флюидальных контактов.
- Определение нефте- и газонасыщенности коллекторов.

Радиоактивность – самопроизвольное превращение атомов одного элемента в атомы других элементов.

Превращение ядра обычно происходит путем излучения альфа- или бета-частицы (α - и β -распад), реже наблюдается захват ядром одного из электронов оболочки атома (K -захват). Каждый вид распада сопровождается испусканием гамма-квантов.

Альфа-частица (α -частица) – положительно заряженная частица, образованная двумя протонами и двумя нейтронами, ядро гелия-4 (${}^4_2\text{He}^{2+}$).

Бета-частицы (β -частица) – заряженная частица, испускаемая в результате бета-распада (поток быстрых электронов).

Пробег бета-частиц в твердых телах и жидкостях составляет обычно не более нескольких миллиметров; пробег альфа-частиц в несколько сот раз меньше.

Гамма-лучи представляют поток высокочастотного электромагнитного излучения с длиной волны менее менее $2 \cdot 10^{-10}$ м, вследствие этого, ярко выраженными корпускулярными и слабо выраженными волновыми свойствами.

Пробег гамма-квантов в веществе в несколько десятков раз больше пробега для бета-частиц той же энергии.

Нейтрон (от лат *neuter* - ни тот, ни другой) — тяжёлая элементарная частица, не имеющая электрического заряда.

Свободный нейтрон - это нестабильная, электрически нейтральная частица с временем жизни около 15 минут

Энергию ядерных частиц принято выражать в электрон-вольтах (эВ) или миллионах электрон-вольт (МэВ):

$$1\text{эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{Дж.}$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{0.693}{T_{1/2}} \cdot t}$$

где N_0 – число ядер радиоактивного элемента в начальный момент времени $t=0$;
 $T_{1/2}$ – период полураспада, то есть время, в течение которого распадается в среднем половина атомов радиоактивного изотопа.

Абсолютная радиоактивность (активность) вещества определяется числом распадов в 1 с (расп./с).

Активность в 1 расп./с принимается за единицу радиоактивности и носит название беккерель Бк.

Существует внесистемная единица Кюри (Ки), равная активности 1г ^{226}Ra или $1\text{Ки}=3.7\cdot 10^{10}$ Бк.

Мерой взаимодействия гамма-квантов (как и других частиц) с веществом являются эффективные сечения взаимодействия – микроскопическое и макроскопическое.

Микроскопическое сечение σ определяет вероятность взаимодействия одной частицы с другой частицей-мишенью (ядром, электроном, атомом).

Макроскопическое сечение Σ – это мера вероятности взаимодействия частицы с единицей объема вещества; оно равно произведению микросечения на число мишеней в единице объема.

По сложившейся традиции, макросечение для гамма-квантов обычно называют **линейным коэффициентом ослабления** и обозначают μ (вместо Σ , принятого для обозначений макросечения).

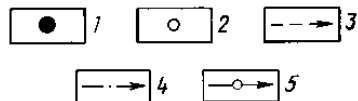
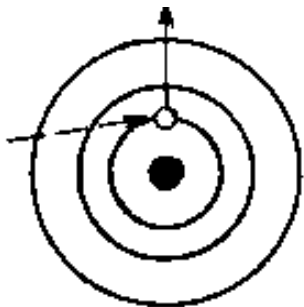
Величина $1/\Sigma$ определяет длину свободного пробега для конкретного типа взаимодействия.

Виды взаимодействия гамма-квантов с веществом

1. Фотоэлектрическое поглощение (фотоэффект).
2. Комptonовское рассеяние (эффект Комптона).
3. Эффект образования электрон-позитронной пары.
4. Фотоядерных взаимодействий.

Для тех энергий, которые встречаются при радиометрии скважин (до 10 МэВ), существенны три первых типа взаимодействия.

Фотоэлектрическое поглощение (фотоэффект)



При **фотоэлектрическом поглощении** (фотоэффекте) гамма-квант исчезает вследствие передачи всей его энергии одному из электронов атома. Возникающий фотоэлектрон уносит часть энергии гамма-излучения.

Фотоэффект идет при энергии гамма-кванта не более 0.5 МэВ. В результате фотоэффекта также возникает характеристическое рентгеновское излучение.

Микроскопическое сечение фотоэффекта зависит от энергии гамма-кванта и порядкового номера элемента.

Вероятность фотоэлектрического поглощения резко возрастает с увеличением атомного номера элемента и с уменьшением энергии гамма-кванта.

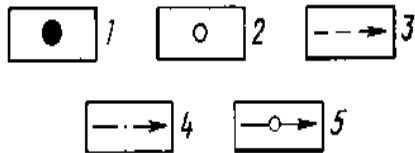
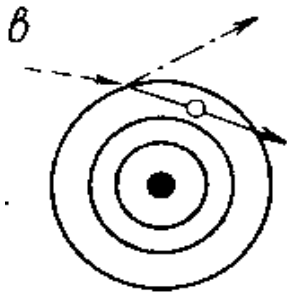
Комптоновское рассеяние (эффект Комптона) происходит в результате соударения кванта с одним из электронов. Гамма-квант передает часть своей энергии электрону и изменяет направление своего движения, а затем распространяется в горной породе, испытывая многократное рассеяние с изменением первоначального направления движения.

Этот процесс возможен при любых энергиях гамма-квантов и является основным при $0.2 < E < 3$ МэВ.

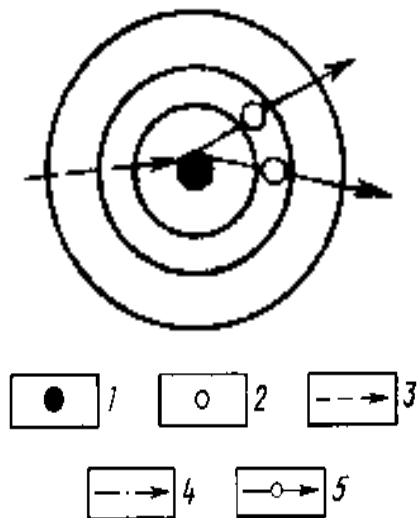
Макроскопическое сечение этого процесса пропорционально количеству электронов в единице объема (электронной плотности вещества).

$$n_e = \frac{N_A \cdot Z \cdot \delta}{M}$$

где n_e – число электронов в единице объема вещества;
 N_A – число Авогадро, $N_A = 6.022$ моль⁻¹; Z – атомный номер;
 M – атомная масса, а.е.м; δ – плотность вещества, кг/м³



Эффект образования электрон-позитронной пары



Эффект образования пар сводится к исчезновению кванта с образованием пары частиц – электрона и позитрона.

Поперечное сечение эффекта образования пар увеличивается с ростом атомного номера пропорционально квадрату атомного номера Z^2 . При энергии кванта менее 1.02 МэВ этот процесс не происходит, а при большей энергии его вероятность растет с увеличением энергии. Для большинства горных пород он становится существенным лишь при энергии гамма-кванта более 5 МэВ.

- Рассеяние нейтронов.
 - Упругое рассеяние нейтронов.
 - Неупругое рассеяние нейтронов.
- Поглощение нейтронов.

Деление нейтронов по величине энергии (указана средняя энергия нейтронов при температуре 20°C)

- Холодные ($E_n=0.001$ эВ).
- Тепловые ($E_n=0.025$ эВ).
- Медленные ($E_n=0.5$ эВ).
- Резонансные ($E_n=0.5 - 10^4$ эВ).
- Промежуточные ($E_n=10^4 - 10^5$ эВ).
- Быстрые ($E_n=10^5 - 10^8$ эВ).

Нейтроны с энергией выше 0.025 эВ называются надтепловыми.

Упругое рассеяние аналогично столкновению двух идеально упругих шаров: часть кинетической энергии нейтрона передается ядру без изменения внутреннего состояния последнего. Из основных элементов горных пород наибольшее сечение упругого рассеяния $(20 - 80) \cdot 10^{-28} \text{ м}^2$ характерно для водорода.

Потеря энергии нейтрона при его упругом соударении зависит от массы ядра. Наибольшее изменение энергии достигается при соударении с ядром водорода, масса которого наиболее близка к массе нейтрона. При столкновении с ядром водорода нейтрон в среднем уменьшает свою энергию в 2 раза, тогда как, например, для ядер кислорода и кремния это уменьшение составляет всего 11 % и 6 % соответственно.

Водород является аномальным замедлителем нейтронов.

При неупругом рассеянии энергия нейтрона расходуется не только на создание кинетической энергии ядра, но и на его возбуждение, то есть увеличение его внутренней энергии. Потеря энергии в среднем больше, чем при упругом рассеянии. Однако неупругое рассеяние на легких элементах происходит лишь при больших энергиях нейтронов и в радиометрии скважин играет меньшую роль, чем упругое рассеяние.

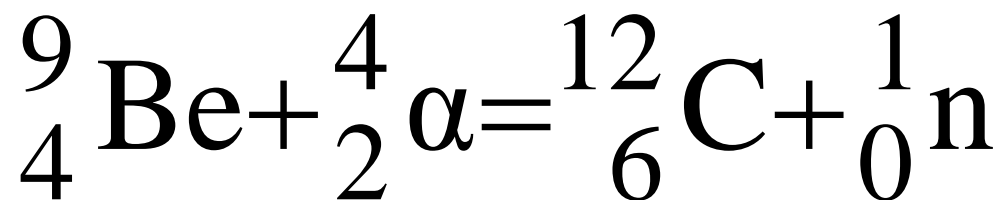
Поглощение нейтронов сопровождается испусканием какой-либо ядерной частицы. Это может быть протон, альфа-частица, один или несколько гамма-квантов и т. д. Соответствующие ядерные реакции принято обозначать (n, p) , (n, α) и (n, γ) . Последняя реакция с испусканием гамма-квантов называется радиационным захватом нейтрона.

Реакция радиационного захвата (n, γ) с высокой вероятностью происходит лишь при малой энергии нейтрона (для легких ядер менее 1 – 10 эВ). Реакции (n, p) и (n, α) , наоборот, происходят обычно лишь при очень высокой энергии нейтронов (как правило, выше 5 МэВ) и при радиометрии скважин имеют ограниченное значение.

Аномальные поглотители тепловых нейтронов – кадмий, бор, хлор, литий и др.

Стационарные источники быстрых нейтронов

В качестве источников быстрых нейтронов используют чаще всего смесь порошков бериллия с радиоактивным веществом, испускающим альфа-частицы (например, полоний, плутоний и др.).



Интенсивность стационарных источников при исследовании скважин, как правило, составляет не менее $(3 - 4) \cdot 10^6$ нейтр./с.

Стационарные источники быстрых нейтронов



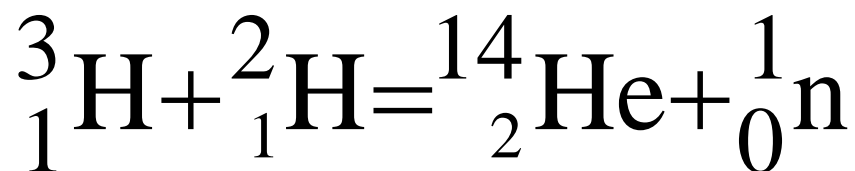
Источники дают быстрые нейтроны с энергией, достигающей для полоний - бериллиевых источников 11 МэВ; максимумы распределения по энергии приходятся на 3 и 5 МэВ.



Импульсный источник быстрых нейтронов (генератор нейтронов)



В генераторе нейтронов титановая или циркониевая мишень с растворенным в ней изотопом водорода тритием (${}^3_1\text{H}$) бомбардируется дейтонами (ядрами тяжелого водорода ${}^2_1\text{H}$) ускоренными линейным ускорителем под напряжением около 10^5В .



В ходе реакции образуются нейтроны с энергией 14 МэВ. Более высокая энергия нейтронов и монохроматизм излучения являются преимуществом таких генераторов. Другое преимущество – возможность включать и выключать источник, что повышает безопасность работ и позволяет доводить его интенсивность до $10^8 - 10^9$ нейтр./с.

Источник жесткого гамма-излучения (более 1 МэВ) – ^{60}Co , испускающий кванты с энергией 1.17 и 1.33 МэВ.

Источники мягкого гамма-излучения (менее 0.3–0.4 МэВ):

^{75}Se , излучающий кванты с энергией 0.138 и 0.268 МэВ.

^{203}Hg с энергией квантов 0.279 МэВ

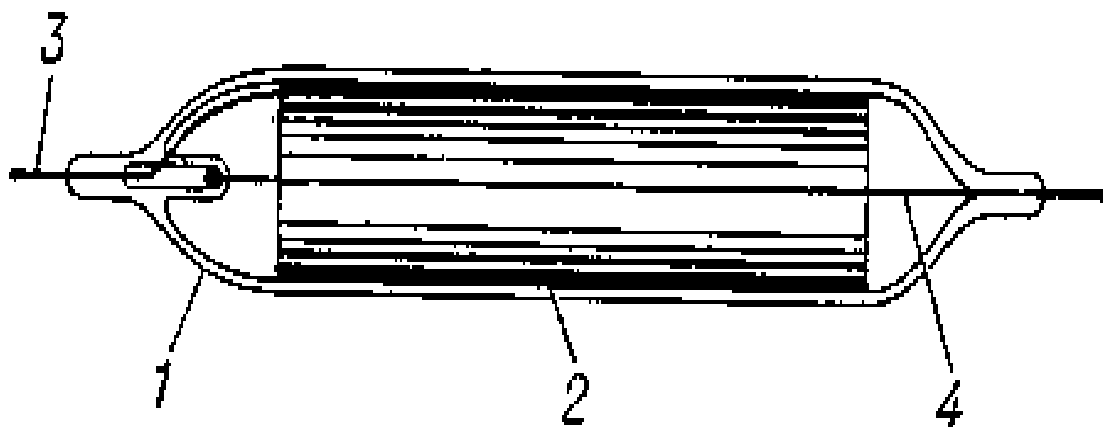


Схема стеклянного счётчика Гейгера – Мюллера

1 – герметически запаянная стеклянная трубка

2 – катод (тонкий слой меди на трубке из нержавеющей стали)

3 – вывод катода

4 – анод (тонкая натянутая нить)

Сцинтилляционный счетчик

