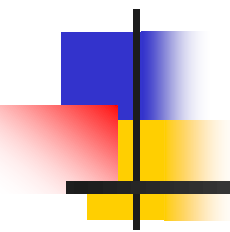


РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ НЕЙТРОННОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ВЕЩЕСТВА

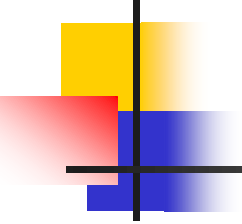


И.А.Митропольский

Лаборатория ядерной спектроскопии
Петербургский институт ядерной физики им.Б.П.Константинова
НИЦ «Курчатовский институт»

РНСИ-КС – 2014

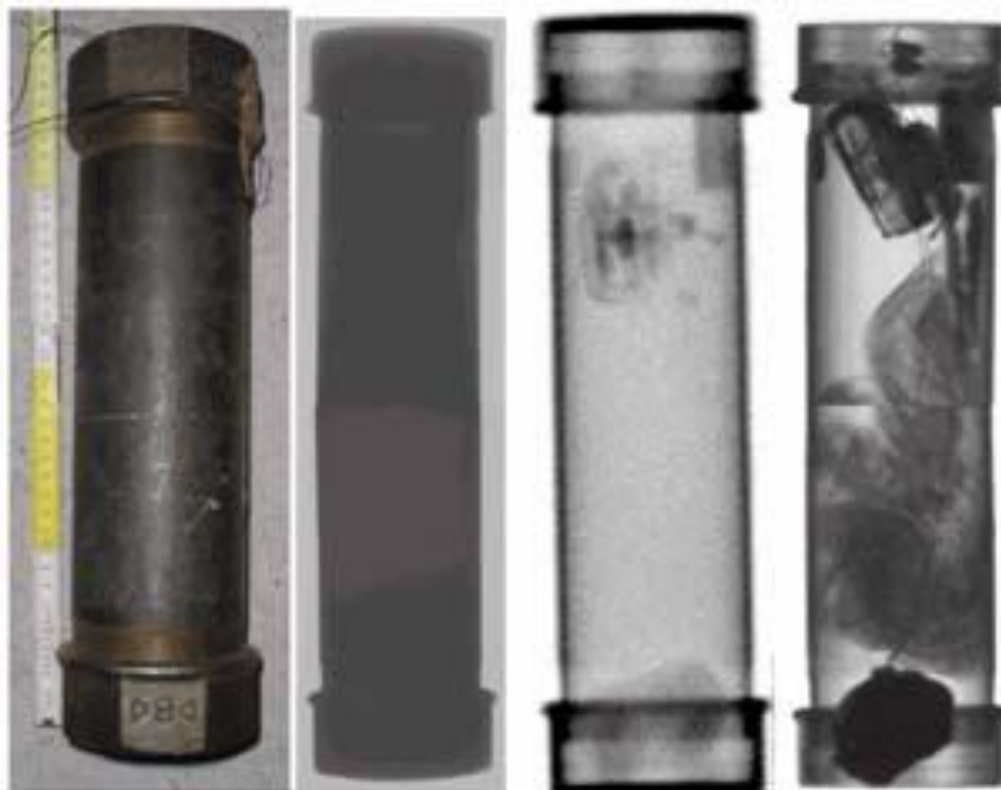
Нейтронные методы исследования вещества



- Исследование неоднородностей плотности – нейтронография.
- Исследование структуры вещества – рассеяние нейтронов.
- Исследование состава вещества – ядерные реакции.

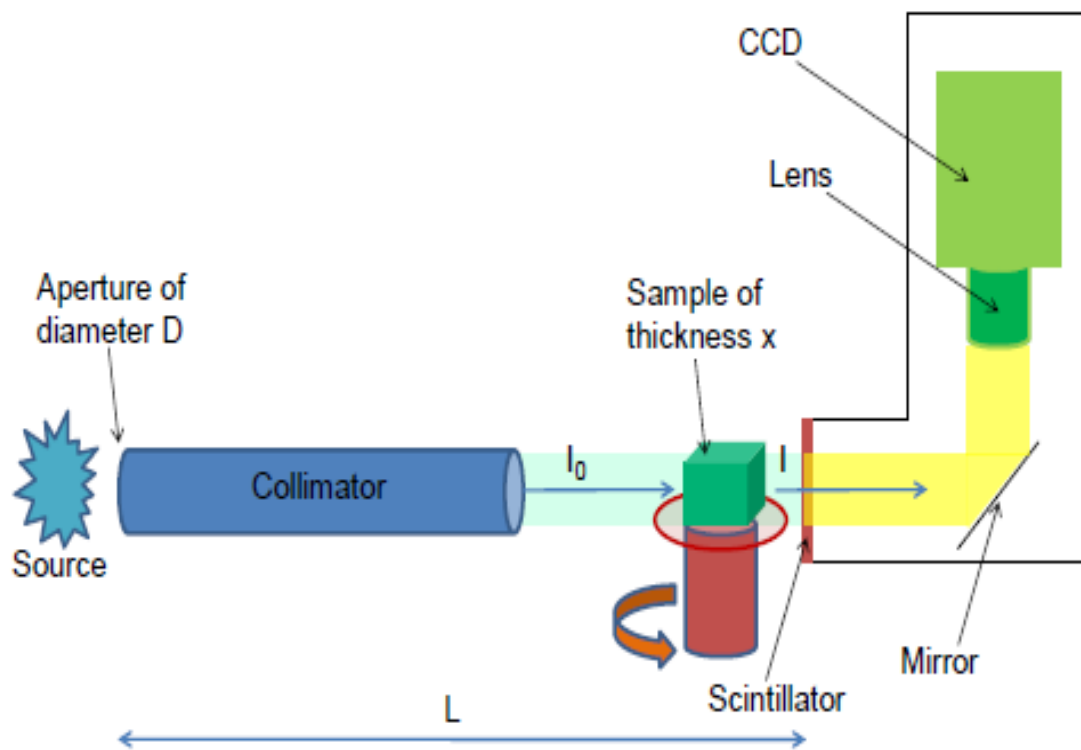
*Переход к регистрации ядерного излучения –
возможность определения изотопного состава.*

Нейтронография



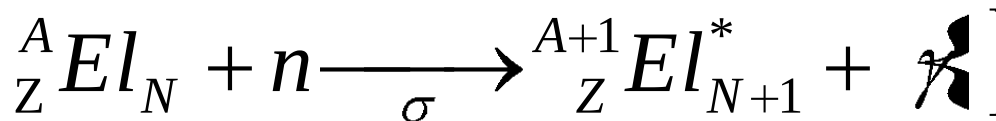
Муляж бомбы: обычное фото (а) и изображения в рентгеновских лучах (150 keV) (б), в гамма-лучах (1.3 MeV) (в) и с помощью тепловых нейтронов (г).

Нейтронография



Нейтронно-радиационный анализ

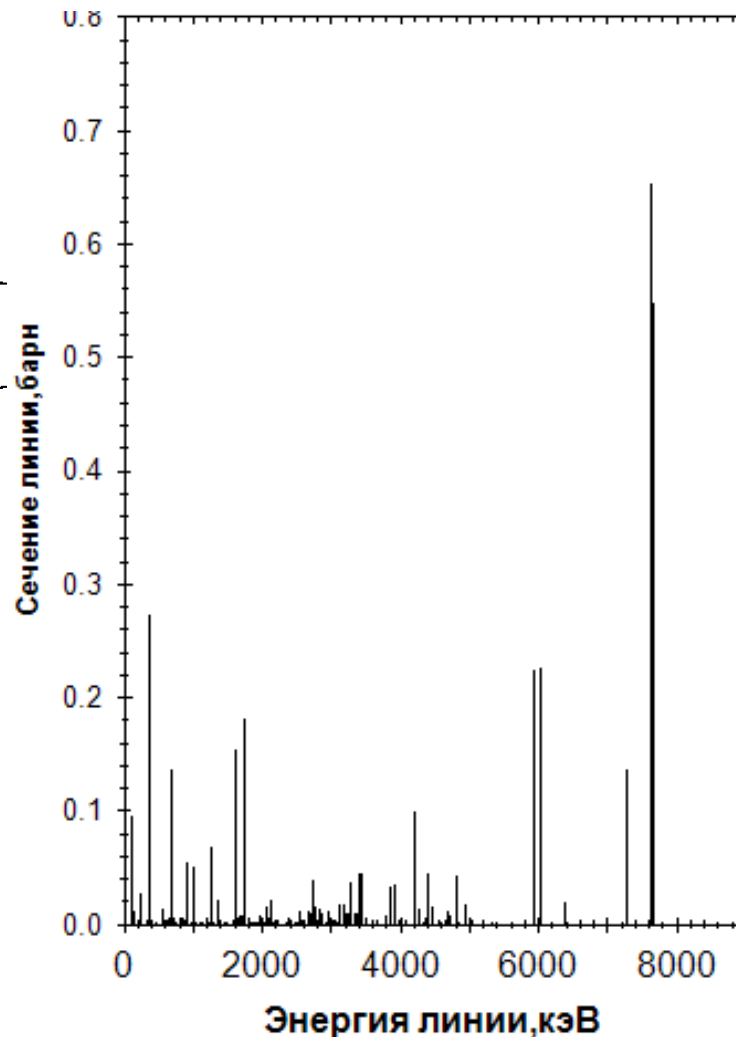
Реакция радиационного захвата
тепловых нейтронов:



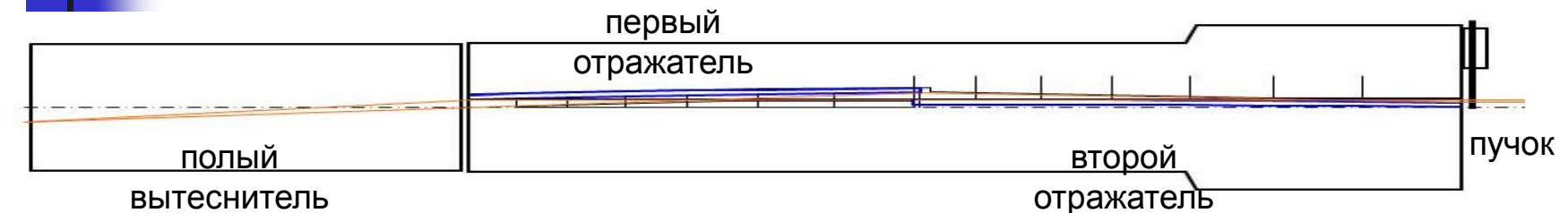
Энергии γ -квантов от ед. кэВ до
10 МэВ (энергия связи нейтрона).

Время высвечивания $\sim 10^{-14}$ сек.

Спектр гамма-излучения из реакции
 ${}^{56}\text{Fe}(n,\gamma){}^{57}\text{Fe}$:



Внутриканальный изогнутый нейтронотвод

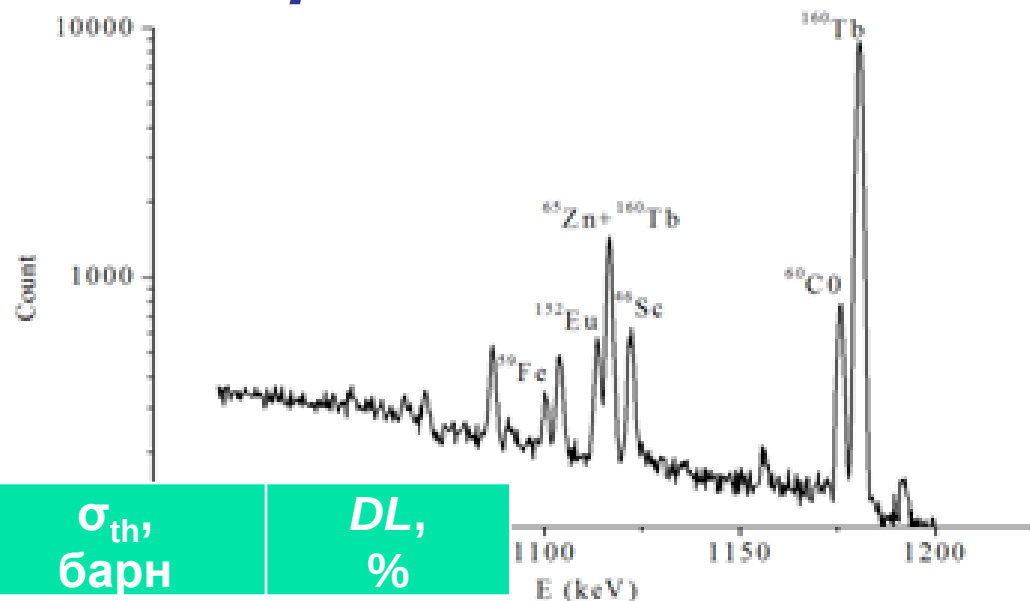
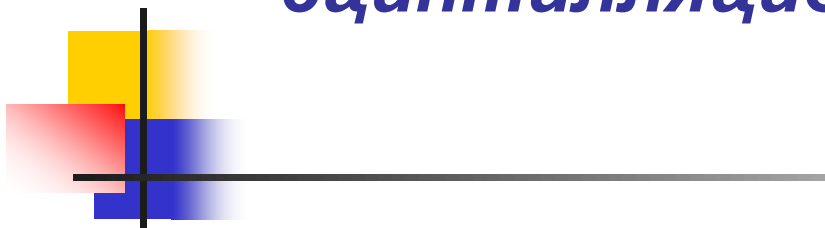


Первый отражатель – зеркало, покрытое тонким слоем ^{58}Ni , изогнутое по логарифмической спирали. Служит для полного отражения тепловых нейтронов с длиной волны $\sim 1,8 \text{ \AA}$.

Второй отражатель формирует узкий параллельный пучок тепловых нейтронов.



Нейтронный анализ $Gd_2O_2S:Me$ сцинтилляционных керамик

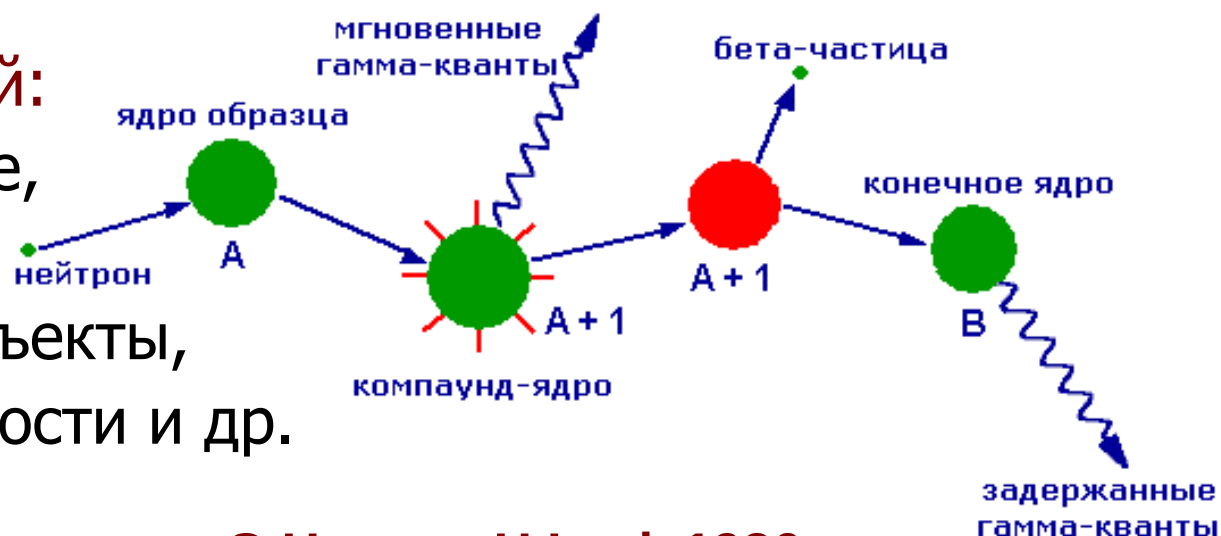


Реакция	p , %	E_γ , кэВ	σ_{th} , барн	DL , %
$^{45}\text{Sc}(n,\gamma)^{46}\text{Sc}$	100	1120.92	27.2 ± 0.2	$1.3 \cdot 10^{-8}$
$^{58}\text{Fe}(n,\gamma)^{59}\text{Fe}$	0.28	1099.45	1.32 ± 0.03	$3.7 \cdot 10^{-5}$
$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	100	1173.52	37.18 ± 0.06	$2.9 \cdot 10^{-7}$
$^{64}\text{Zn}(n,\gamma)^{65}\text{Zn}$	48.6	1115.55	0.79 ± 0.02	$6.3 \cdot 10^{-6}$
$^{133}\text{Cs}(n,\gamma)^{134}\text{Cs}$	100	796.09	30.3 ± 1.1	$3.6 \cdot 10^{-7}$
$^{139}\text{La}(n,\gamma)^{140}\text{La}$	99.91	1596.65	9.04 ± 0.04	$1.2 \cdot 10^{-7}$
$^{140}\text{Ce}(n,\gamma)^{141}\text{Ce}$	88.45	145.44	5.8 ± 0.02	$5.8 \cdot 10^{-5}$
$^{141}\text{Pr}(n,\gamma)^{142}\text{Pr}$	100	1575.6	11.5 ± 0.3	$1.6 \cdot 10^{-4}$
$^{151}\text{Eu}(n,\gamma)^{152}\text{Eu}$	47.8	1408.3	9200 ± 100	$7.8 \cdot 10^{-8}$
$^{159}\text{Tb}(n,\gamma)^{160}\text{Tb}$	100	966.42	23.4 ± 0.4	$8.7 \cdot 10^{-8}$

Нейтронно-активационный анализ

Области приложений:

- материаловедение,
- геология,
- биологические объекты,
- системы безопасности и др.



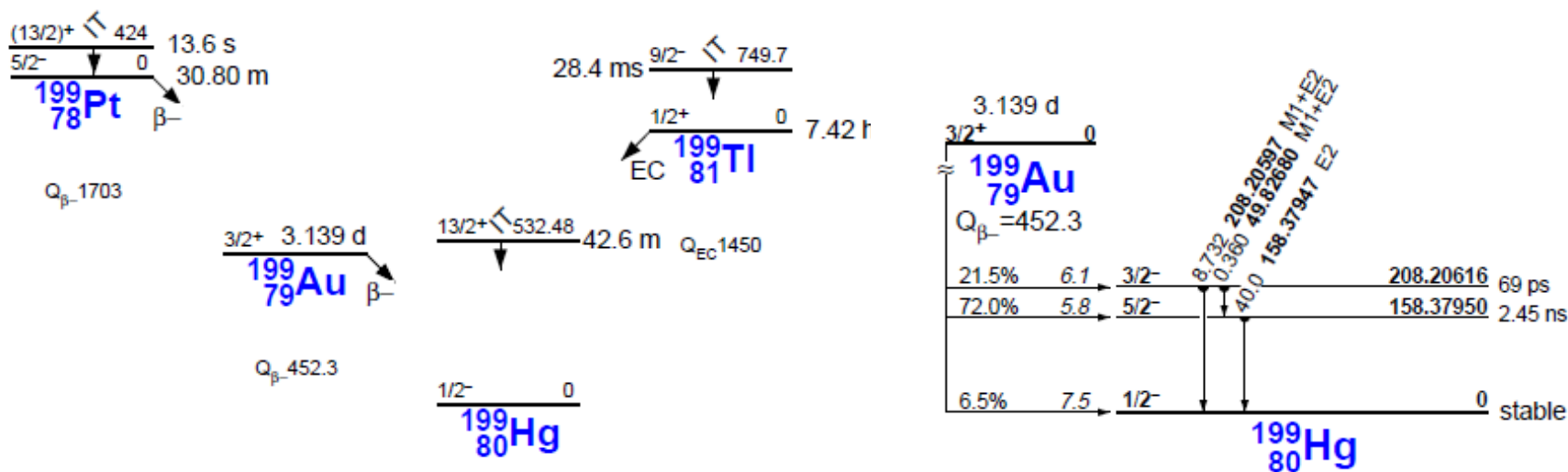
G.Hevesy, H.Levi, 1936.

Элементы методики, определяющие новизну:

- пробоподготовка,
- облучение и детектирование,
- обработка спектров.

Определение содержания платины

Природная платина содержит 6 изотопов: четыре стабильных, ^{194}Pt (32,9%), ^{195}Pt (33,8%), ^{196}Pt (25,2%), ^{198}Pt (7,2%), и два радиоактивных - ^{190}Pt (0,013%, $6,9 \cdot 10^{11}$ лет), ^{192}Pt (0,78%, 1015 лет). Сечение активации сравнительно невелико - 8,8 барн; периоды полураспада малы. Для определения содержания платины лучше всего подходит распад изотопа ^{199}Pt от нейтронного захвата на изотопе ^{198}Pt по цепочке $^{199}\text{Pt} \rightarrow ^{199}\text{Au} \rightarrow ^{199}\text{Hg}$, с периодом полураспада – 3.14 дня:

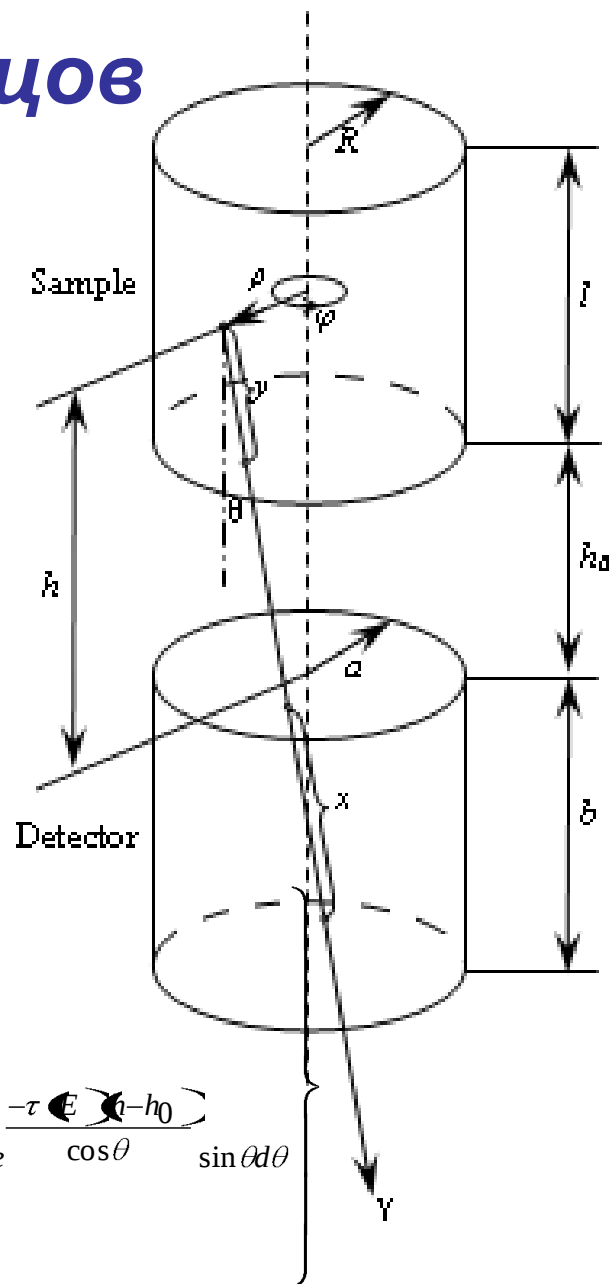


Анализ больших образцов

Геометрия «детектор-источник»
для объемного образца:

Эффективность детектора:

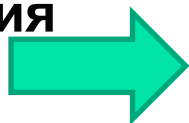
$$\varepsilon = \frac{1}{\pi l a^2} \int_{h_0}^{h_0+l} dh \int_0^a \rho d\rho \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} d\varphi \left\{ \begin{aligned} & \int_0^{\theta_1} \left[1 - e^{\frac{-\mu \rho \sin \varphi}{\cos \theta}} \right] e^{\frac{-\tau (h-h_0)}{\cos \theta}} \sin \theta d\theta + \\ & + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left[1 - e^{\left[\frac{-\rho \sin \varphi + \sqrt{a^2 + \rho^2 \cos^2 \varphi}}{\sin \theta} - \frac{h}{\cos \theta} \right] \mu} \right] e^{\frac{-\tau (h-h_0)}{\cos \theta}} \sin \theta d\theta \end{aligned} \right\}$$



Абсолютный нейтронно-активационный анализ образцов нефти большого объема

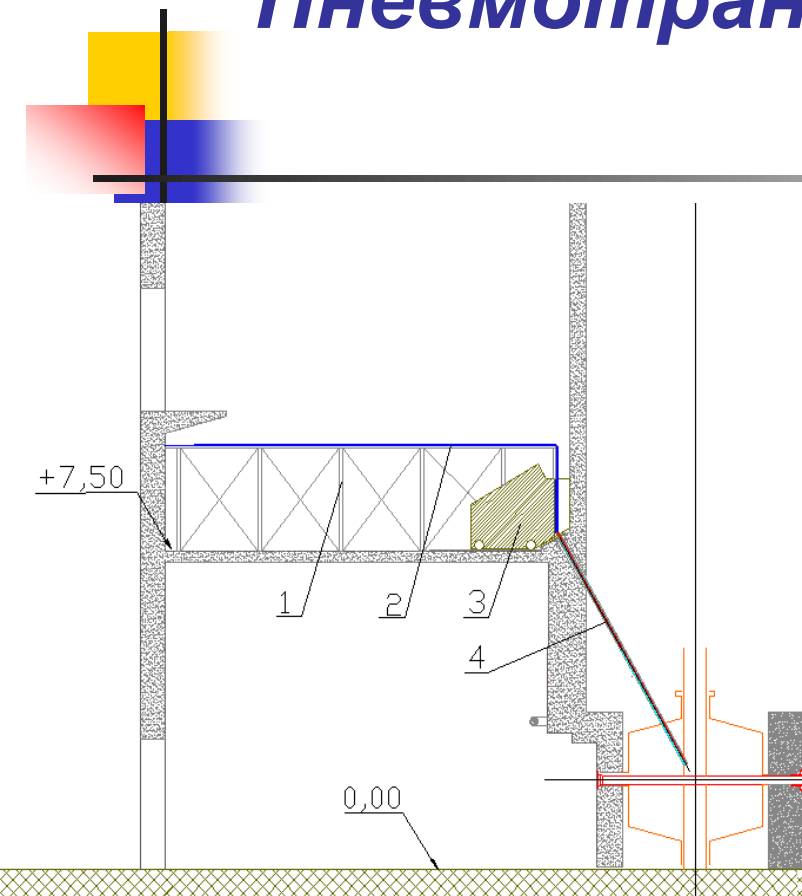
Вычисления неоднородности нейтронного потока и сечений в объёме образца дополнены измерениями. Определены концентрации элементов в образцах восточно-сибирской нефти в пределах от 10^{-9} до 0.5 %.

Пределы
определения
DL, ppm

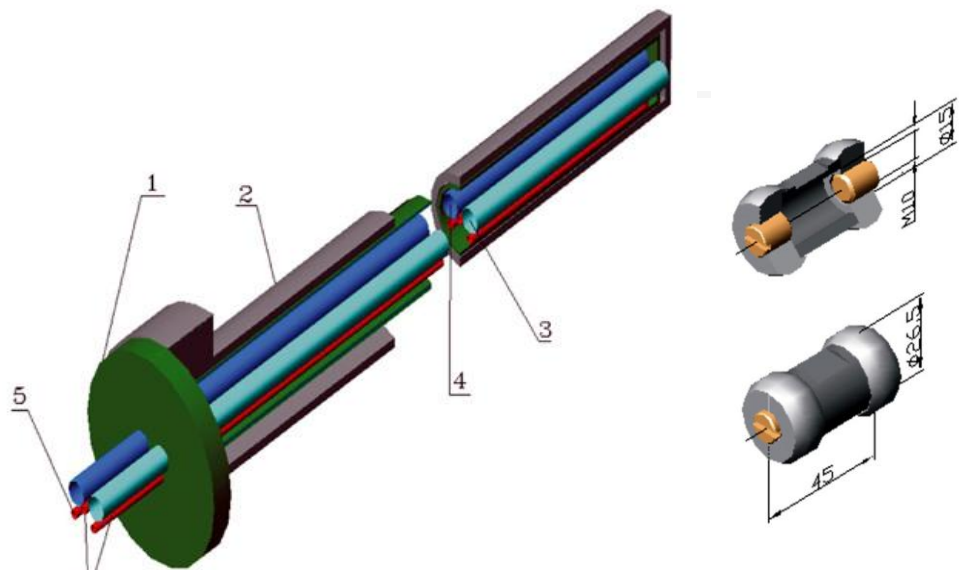


Элемент	<i>DL</i>	Элемент	<i>DL</i>	Элемент	<i>DL</i>
Na	0.1	Zn	0.2	Sm	0.0002
K	2	Ga	0.0003	Yb	0.0001
Ca	10	As	0.0001	W	0.0007
Sc	0.0001	Sr	0.1	Pt	0.007
Cr	0.006	Ag	0.001	Au	0.00008
Fe	0.6	Sn	0.007	Hg	0.0002
Co	0.0005	Ba	0.02	U	0.001

Пневмотранспортная установка



1 – эстакада, 2 – пневмотранспортная магистраль в помещение ИНАА, 3 – шибер, 4 – НЭК-6.



1 – фланец, 2 – корпус канала, 3 – магистраль ИНАА с подвижным кадмиевым экраном, 4 – магистраль без кадмиевого экрана, 5 – трубка охлаждения, 6 – трубки поддува CO_2 .

Скорость транспортировки образца 10 м/с в контейнерах из высокочистого графита. Рабочий газ - CO_2 при давлении 0,4–0,6 МПа.

Информационное обеспечение исследований с нейтронами

Справочная система ELENA

Программа ELENA (ELEmentNavigator)

Таблица элементов | Свойства элемента | Изотопный состав

Выберите элемент

Fe

Группа: 8
Период: 4
Семейство: Переходный металл

Программа ELENA (ELEmentNavigator)

Таблица элементов | Свойства элемента | Изотопный состав

Карта изотопов элемента: Fe, выбрать изотоп: Помощь

45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74								

Общие свойства изотопов:

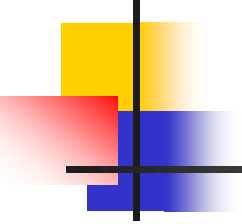
A	Избыток массы(кэВ)	Энергия связи(кэВ)	Атомная масса	Пер...			
45	13793	196	7313	4	45014807	211	1.89
46	755	354	7613	8	46000810	380	13.0
47	-6614	261	7779	6	46992900	280	21.9
48	-18160	70	8026	1	47980504	75	45.3
49	-24824	149	8163	3	48973350	160	64.7
50	-24499.523	60.003	8254.268	1.2	49962075.04	64.414	155

56Fe

Свойства | Энергии и времена жизни уровней | Захватные гамма линии

Гамма линии из реакции 56Fe (N,G) 57Fe Помощь

Egamma(keV)	Sigma	K0
7631.136(14)	0.653(13)	0.0354(7)
7645.5450(10)	0.549(11)	0.0298(6)
352.347(12)	0.273(3)	0.01481(16)
6018.532(20)	0.227(5)	0.0123(3)
5920.449(21)	0.225(5)	0.0122(3)
1725.288(21)	0.181(3)	0.00982(16)
1612.786(18)	0.1530(22)	0.00830(12)
14.411(14)	0.149(3)	0.00809(16)
7278.838(10)	0.137(4)	0.00743(22)
691.960(19)	0.1370(18)	0.00743(10)
4218.27(5)	0.099(3)	0.00537(16)
122.077(14)	0.096(3)	0.00521(16)
1260.448(19)	0.0684(11)	0.00371(6)
898.27(3)	0.0540(10)	0.00293(5)
1018.93(3)	0.0507(11)	0.00275(6)
366.758(10)	0.0497(7)	0.00270(4)
4406.07(7)	0.0453(13)	0.00246(7)
3436.66(9)	0.045(4)	0.00244(22)
3413.13(5)	0.0449(14)	0.00244(8)



Спасибо за внимание!

mitrplsk@pnpi.spb.ru