

Ядерно-физические методики анализа на базе нейтронного генератора НГ-150 в Лаборатории Ядерных Реакций Института Ядерной Физики Академии Наук Республики Узбекистан (г. Ташкент)

С.В. Артемов^{1#}, А.Г. Бажажин^{2*}, О.Ш. Жураев¹, А.А. Караходжаев¹

¹ЛЯР ИЯФ АН РУз (г. Ташкент), #artemov@inp.uz; ²Сектор №1 Трековых детекторов НЭОМД ЛФВЭ ОИЯИ (г. Дубна), *bajajin@jinr.ru.

Описание и вид нейтронного генератора НГ-150

Нейтронный генератор НГ-150 разработки НИИЭФА (Санкт-Петербург) представляет собой ускоритель типа Кокрофта-Уолтона, который при взаимодействии ускоренных до ~ 150 кэВ ионов дейтерия с твёрдой тритиевой мишенью ($TiT_{1.5-1.8}$) генерирует нейтроны с энергией ~ 14 МэВ и выходом до 10^{11} н/с в 4π при монохроматичности не хуже 100 кэВ FWHM (реакция $T(d,n)^4He$).

При замене тритиевой мишени на дейтериевую по реакции $D(d,n)^3He$ генерируются нейтроны с энергией около 2.5 МэВ при выходе нейтронов ~ на два порядка ниже, чем в первой реакции.

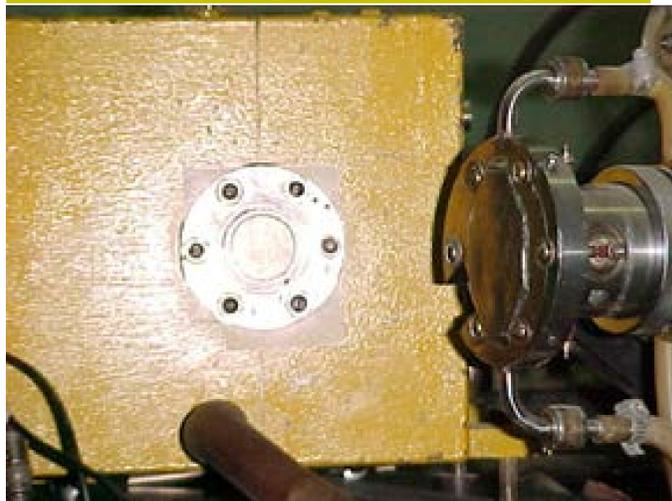
$E_d = 150 \text{ keV}$
Твёрдотельная TiD или TiT мишень
 $d+D \rightarrow ^3He+n, E_n \sim 2.5 \text{ MeV}$
 $d+T \rightarrow ^4He+n, E_n \sim 14 \text{ MeV}$



Основные технические данные НГ-150:

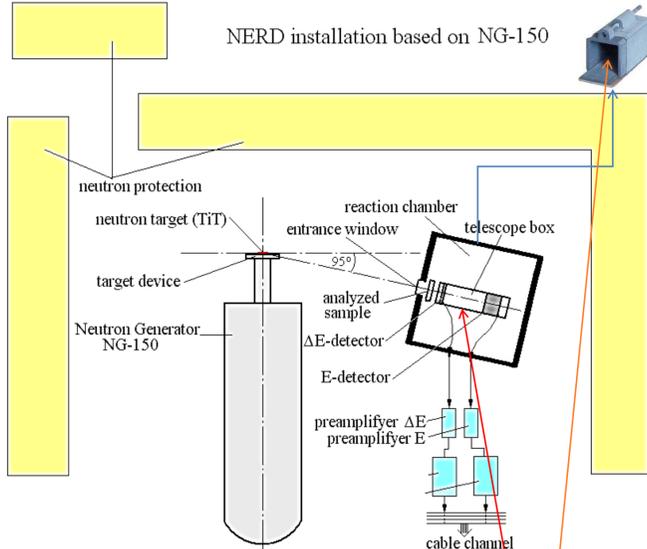
- Максимальный поток нейтронов $2 \cdot 10^{10}$ н/сек.
- Номинальная энергия ускоренных ионов 150 кэВ.
- Пределы регулировки энергии ионов 50-150 кэВ.
- Ток пучка ионов на мишени до 3 мА.
- Диаметр пучка на мишени в номинальном режиме 10-30 мм.
- Режим работы непрерывный.

Входное окно камеры и мишенное устройство



Входное окно стальной камеры реакции. Справа – мишенное устройство нейтронного генератора

Не деструктивный метод измерения профиля концентрации легчайших элементов (NERD - Neutron-induced Elastic Recoil Detection)

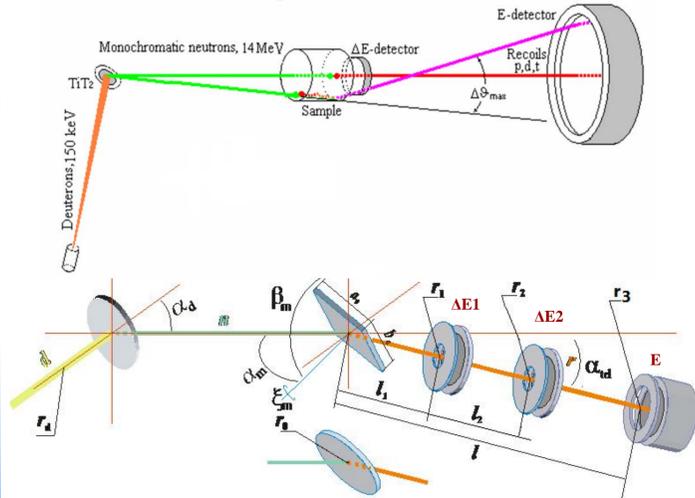


Установка NERD метода на базе НГ-150



Общий вид низкофоновой камеры (слева) и крепление основных узлов на фланце ΔE-E телескоп полупроводниковых детекторов

Принципиальные схемы методики определения профиля концентрации легчайших элементов (водорода и гелия) и их изотопов в приповерхностных слоях различных материалов путем измерения энергетических спектров ядер отдачи при облучении быстрыми нейтронами с идентификацией ядра отдачи ΔE-E и ΔE1-ΔE2-E – детектирующими методами показана ниже.



Результаты анализа с помощью метода NERD

Для настройки и проверки качества идентификации сорта частиц были изготовлены образцы а) и б).

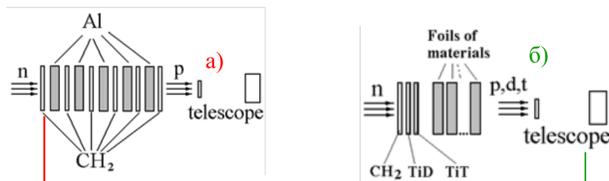
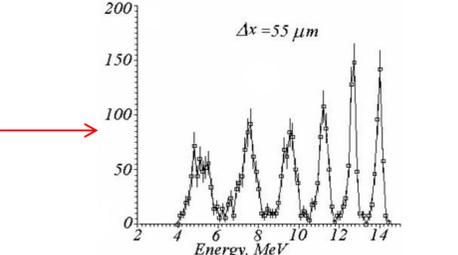
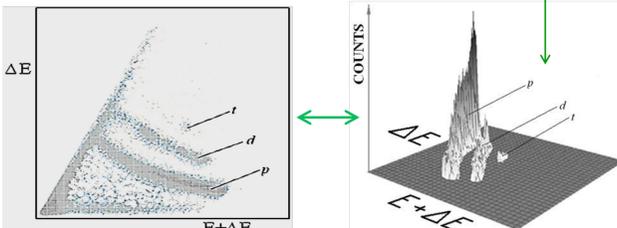


Схема анализа р (слева) и p, d, t (справа) в созданных материалах аналогичных материалам ядерных технологий

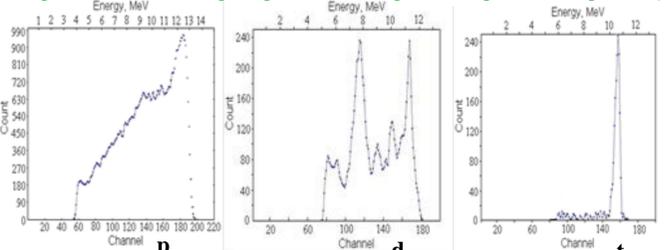


Энергетический спектр протонов от образца а)

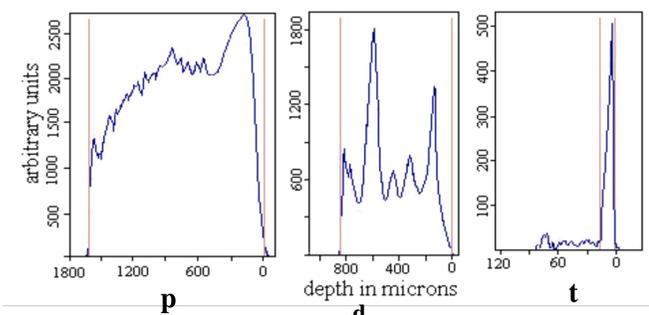


Двумерная матрица событий от сложной мишени б) Трёхмерное представление этих набранных событий

Энергетические спектры протонов, дейтронов и тритонов образца б):



Затем энергетический спектр пересчитывается в глубинный спектр – в зависимость количества водорода от глубины залегания:



Из данных спектров видно, что водород внутри образца находится по всей толщине на глубинах вплоть до 1800 мкм. Дейтерий в образце находится слоями на глубинах до ~800 мкм. Тритий в образце находится в приповерхностной области на глубинах не более ~30 мкм.

Метод нейтронно-активационного анализа на быстрых нейтронах с энергией 14 МэВ (AAFN - Activation Analysis on Fast Neutrons)

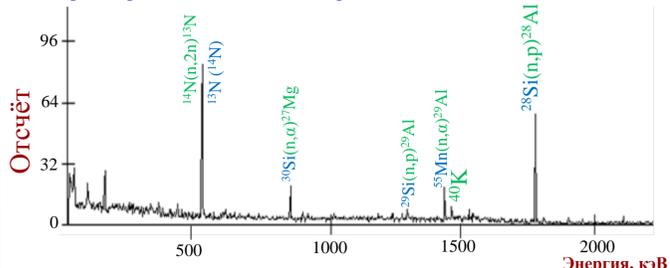
Метод основан на ядерных реакциях (n,p), (n,d) и (n,2n) с последующим временным и амплитудным анализом γ-спектров от активированных проб.

Наведенная активность изотопов определяется относительным методом. В этом случае масса определяемого элемента в образце вычисляется по формуле:

$$M_x = \frac{N_{образ.}}{N_{этал.}} \cdot M_{этал.}$$

где $N_{образ.}$ – число отсчетов в пике полного поглощения в исследуемом образце для конкретной гамма – линии,
 $N_{этал.}$ – то же для эталонного образца,
 $M_{этал.}$ – масса эталонного образца, грамм.

Регистрация наведенной радиоактивности осуществлялась полупроводниковым HP-Ge детектором с эффективностью 25% (фирма CANBERRA). Энергетическое разрешение гамма – спектрометра на линии 1332 кэВ равно 1,8 кэВ.



Спектр γ-излучения технических алмазов партии №2

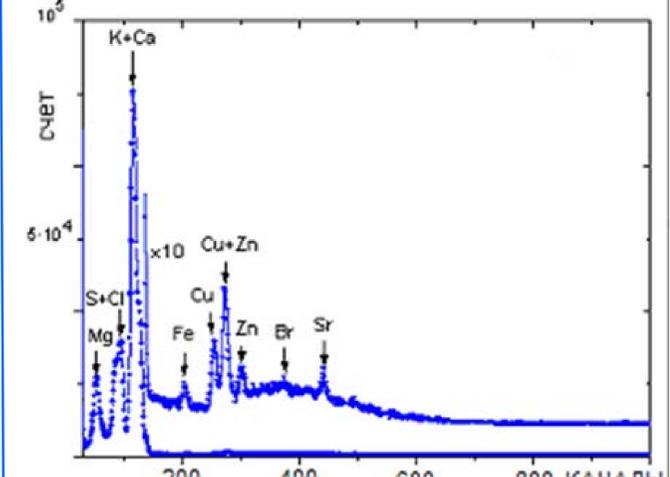
Исследуемые кристаллы алмаза на содержание легких элементов примесей и эталонные образцы облучались одновременно потоком быстрых нейтронов с интенсивностью ~ 10^{10} нейтрон/с. и с энергией 14 МэВ. Время облучения образцов выбиралось равным нескольким периодам полураспада определяемого радиоактивного изотопа: для ^{13}N – 30 мин., для Si – около 10 мин, а для Mn – 10 мин.

Содержание элементов примесей в образцах технических алмазов партии №2

Масса	$^{28}Si+^{29}Si+^{30}Si$		^{55}Mn		$^{13}N+^{14}N$	
	m, грамм	%	m, грамм	%	m, грамм	%
10^{-3} грамм						
4,2	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$7,61 \pm 1,90$	$0,16 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \pm 1,5$	$0,16 \cdot 10^{-3}$	$3,80 \pm 1,33$
					$0,18 \cdot 10^{-3}$	$4,00 \pm 1,33$

Метод регистрации «мгновенного» γ-излучения ядерных реакций (PIGE - Particle Induced Gamma-ray Emission)

В тех случаях, когда периоды полураспада активируемых для анализа радиоизотопов малы, и транспортировка облученного образца в позицию измерений невозможна, содержание элементов определяется методом PIGE, при этом измеряются спектры γ-квантов от пробы непосредственно в процессе её облучения потоком быстрых нейтронов.



PIXE спектр образца мумии

Элемент	Содержание, % масс	Элемент	Содержание, % масс	Элемент	Содержание, % масс
C	582	K	60	Zn	0.18
O	250	Ca	27	Se	<0.004
Mg	33	Mn	0.0066	Br	0.012
S	18	Fe	0.048	Sr	0.042
Cl	26	Cu	0.13		

Элементный состав образца мумии