



# Применения метода меченых нейтронов

М.Г.Сапожников

ООО "Диамант"



ДИАМАНТ

# История проекта

1998, Конференция по физике высоких энергий, Ванкувер

2001, Тема в ОИЯИ - В.Г.Кадышевский

2005, Стационарный детектор ВВ

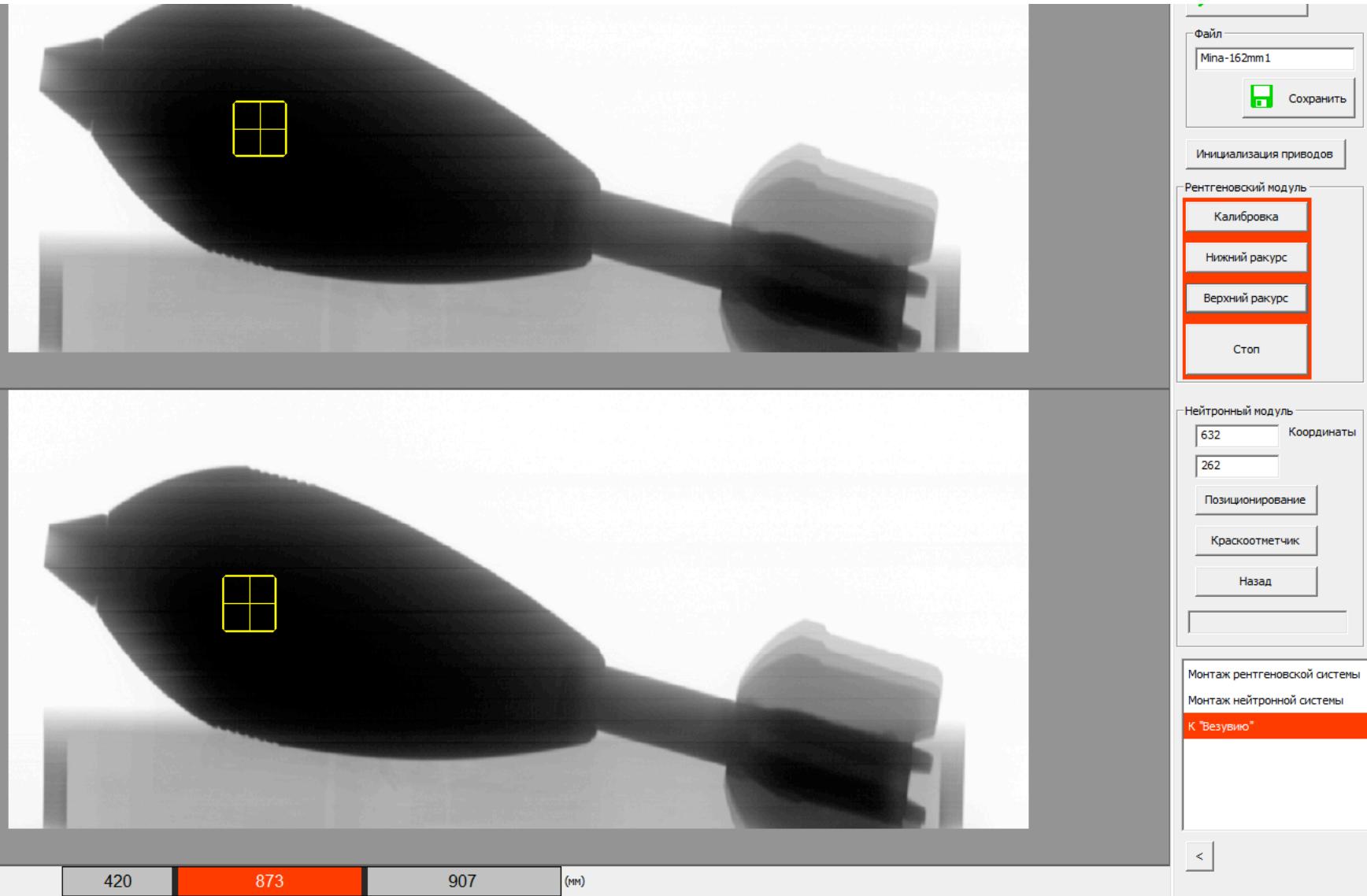
2008, ООО «ДВиН» - А.Н.Сисакян

2009, ДВиН – резидент ОЭЗ «Дубна»

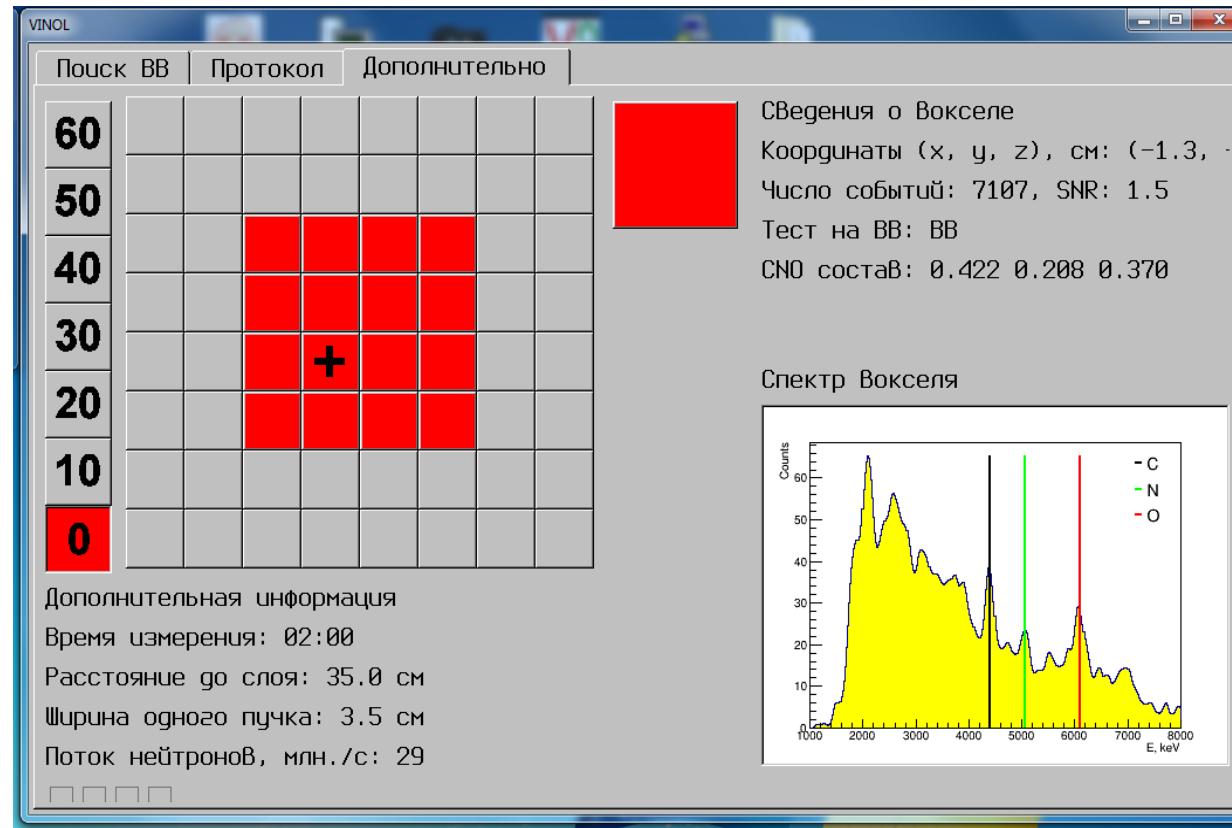
2010, ООО «Нейтронные технологии» - ОИЯИ, Роснано,  
ДВиН

2015, ООО «Диамант» - резидент Сколково

# Что внутри объекта?

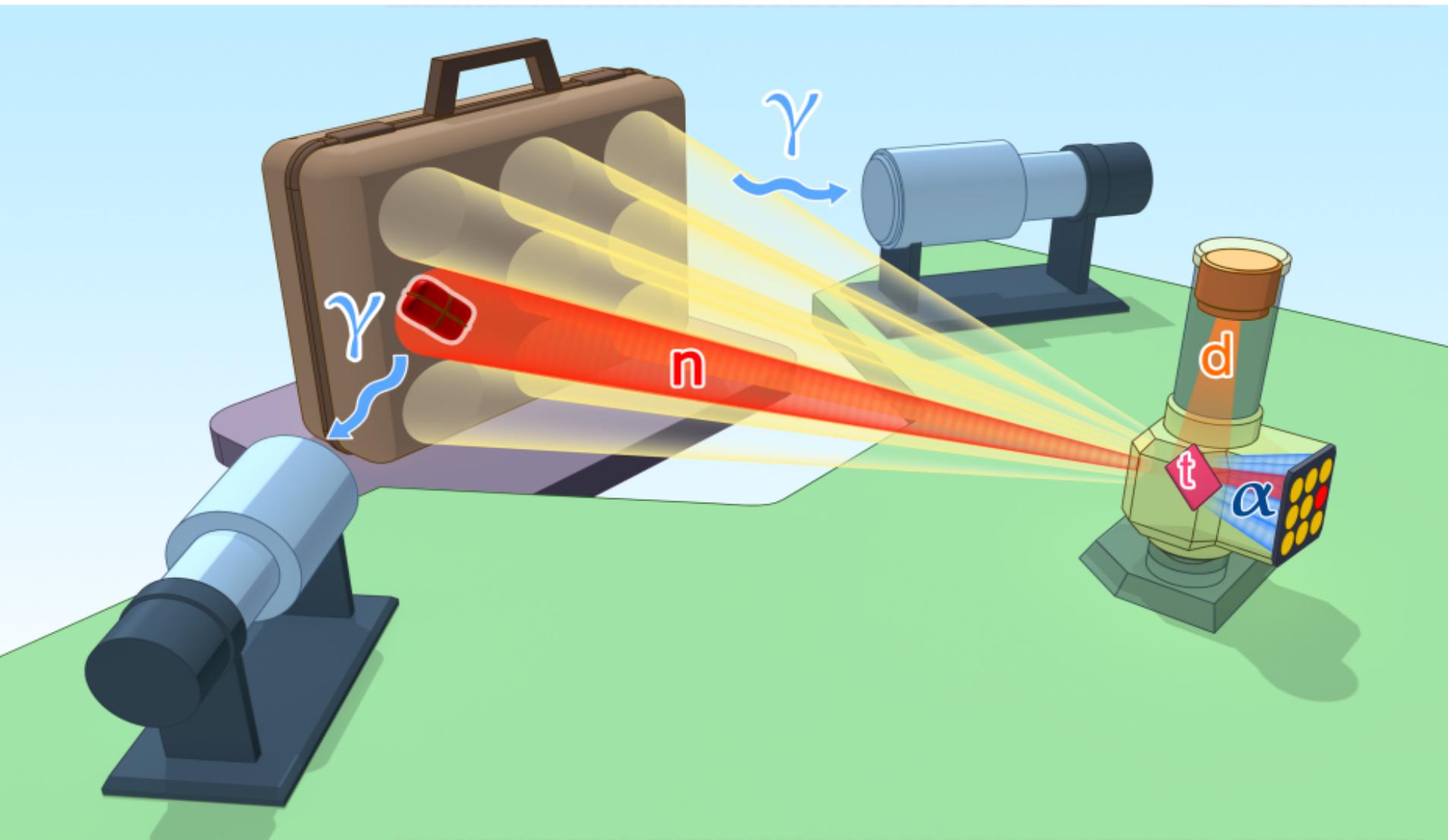


# Результат ММН-анализа

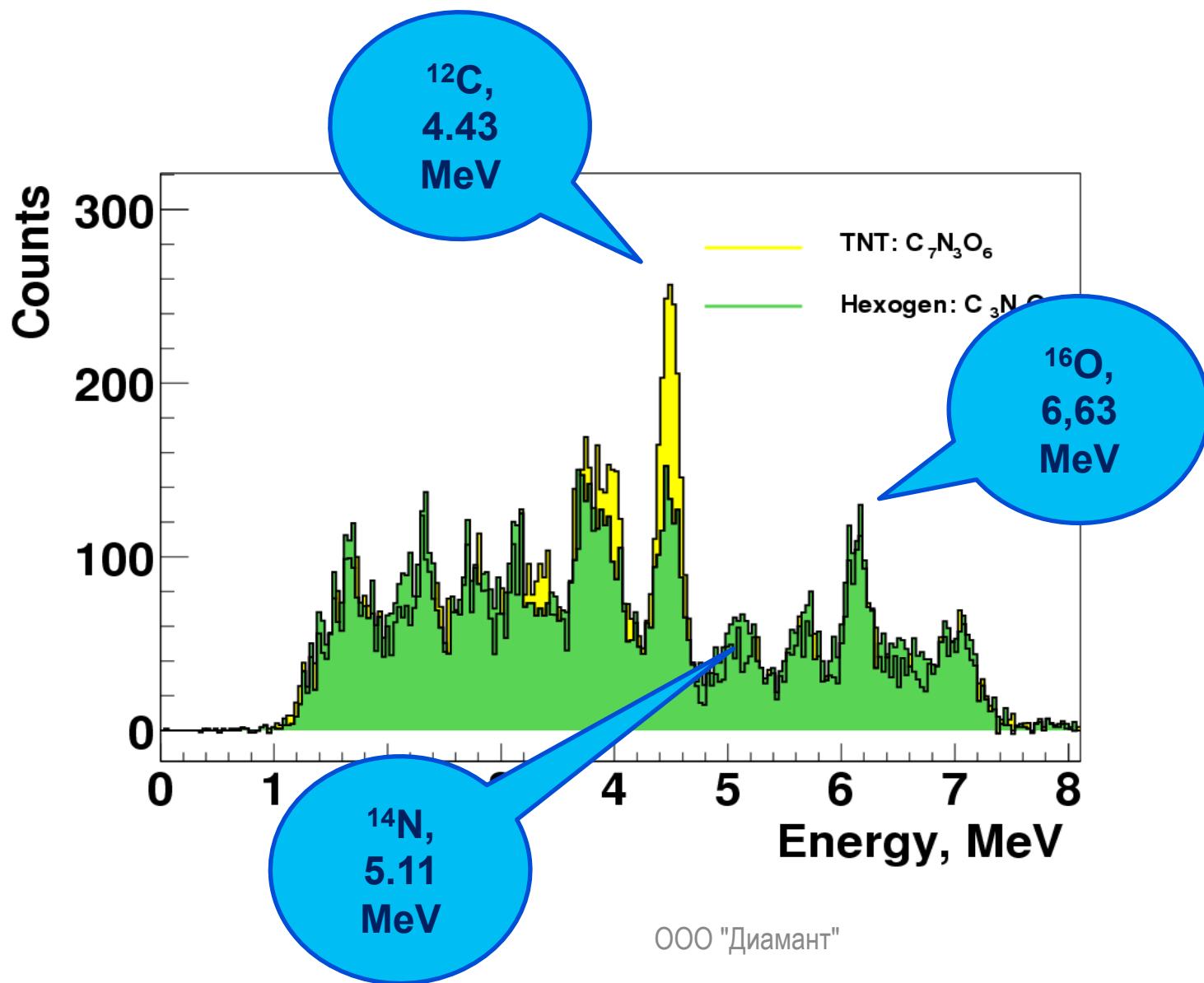


Внутри – взрывчатое вещество  
Взрывчатое вещество – ТЭН,  $C_5H_2NO_3$   
Время анализа – 2 мин.

# Объект досмотра облучается пучками быстрых нейтронов 14 МэВ



Направление вылета нейтрона метится  $\alpha$ -частицей  
Регистрируются  $\gamma$ -кванты из объекта досмотра



ТНТ  
( $\text{C}_7\text{N}_3\text{O}_6$ )  
и  
гексоген  
( $\text{C}_3\text{N}_6\text{O}_6$ )

# Основные достоинства

- Дистанционное определение элементного состава вещества.
- Информация о времени пролета дает:
  - 3D локализацию измеряемого объекта.
  - Определение элементного состава одновременно и по поверхности, и по толщине объекта.
  - Увеличивает отношение Сигнал/Шум (200 раз)
- Нейтроны 14 МэВ имеют большую проникающую способность, как и гамма-кванты 2-8 МэВ.
- Обнаружение происходит без участия оператора

# Применения ММН

- Детекторы взрывчатых веществ (**C,N,O**)
- Обнаружение алмазов в кимберлите (**C**)
- Элементный анализ горных пород  
**Na, Mg, C, N, O, F, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Pb, Sn, Bi**
- Медицина (**N,Ca**)



# Детекторы взрывчатых веществ

# Линейка детекторов ДВИН

- Переносной детектор.
- Стационарный детектор.
- Детектор для досмотра заминированных автомобилей.
- Портал для досмотра крупногабаритных грузов.
- Система для досмотра объектов под водой.
- Детектор жидких взрывчатых веществ для аэропортов.
- Рентгено-нейтронный портал для досмотра грузов 150x150x3000 см.

# Линейка детекторов ДВИН



ООО "Диамант"



# Преимущества ММН

## Газоанализаторы

- Сильная зависимость от герметичности объекта.
- Нет информации о местоположении ВВ.
- Не все ВВ дают пары.

## Детекторы ММН

- Нет зависимости от герметичности объекта.
- **Есть полная информация о местоположении ВВ в объекте досмотра.**
- **Возможность идентификации ВВ**

# Автоматическое обнаружение 30 ВВ

- ТНТ, тринитробензол, дазин, гексонитrostильбен, ПВВ-5А, ТС, ТАТБ, гексоген, окфол, окфол-3.5, ТГ-50, А-IX-3Т, ГЛ-24, изопропилнитрат, окфел-20, ОЛА-8Т, сейсмон, ЛД-70, пентолит, ПВВ-85, ТГА-16, ТМ, токраф, тетрил, селитра, аммонит, аммонит-19, ПВВ-7, ТЭН, ТА-23.

# Обнаружение алмазов в кимберлите

# Проблема:



- Все крупные алмазы – повреждены.
- Нет технологии, позволяющей определить наличие алмаза внутри камня кимберлита.

# Знание – сила!



В одном из 33 образцов было зафиксировано локальное превышение сигнала от углерода. Дополнительное обследование этого образца в г. Мирный позволило обнаружить в нем два неоднородных включения алмазов, размером до 7 мм, состоящих из мелких частиц от 1 до 2 мм



# Установка на ОФ Ломоносовского ГОК

- Прототип на 1 т/ч
- Опытный образец - 5 т/ч

Разрабатывается по контракту с компанией Dimascan



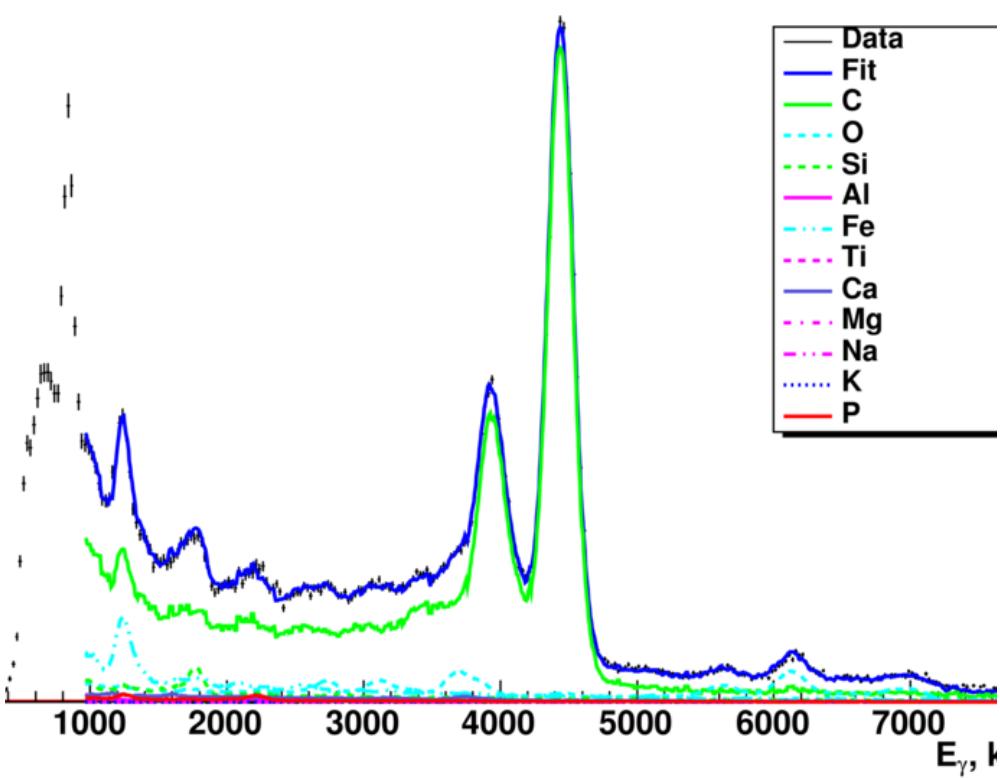
# Элементный анализ горных пород

# Фосфор

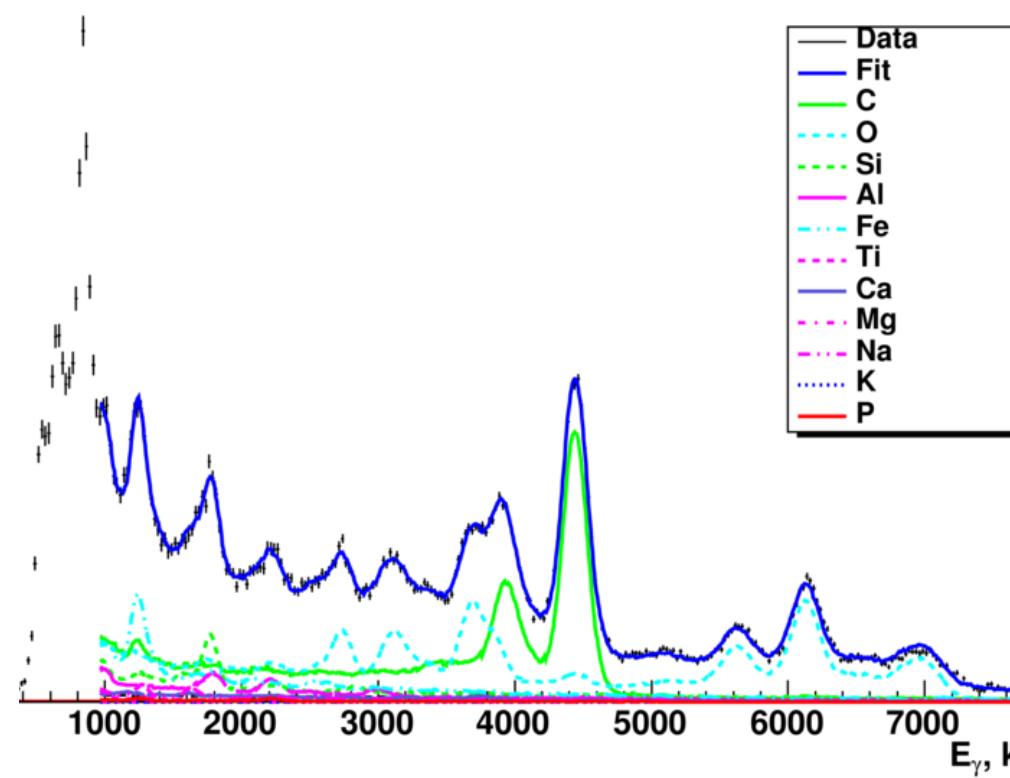


Пробы 5-7 кг из карьера, крупностью -100 мм измерялись без какой-либо пробоподготовки.

# Уголь



Донбасс, Зольность 6.3%



Кузбасс, Зольность 22.3 %

# Медицина

ООО "Диамант"

# Определение N in-vivo

In Vivo Measurement of Body Nitrogen by Analysis of Prompt Gammas from Neutron Capture

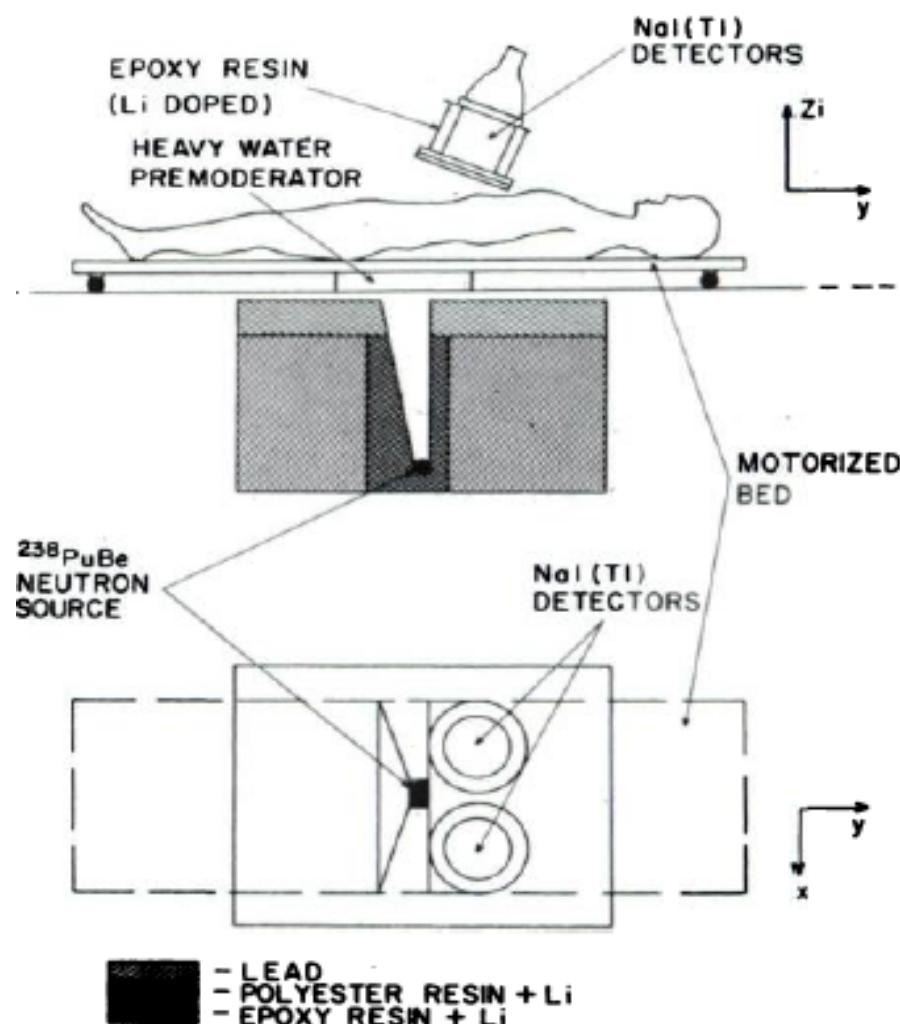
David Vartsky, Kenneth J. Ellis, and Stanton H. Cohn

Brookhaven National Laboratory, Upton, New York

A method for the in vivo determination of body nitrogen by prompt gamma photons from neutron capture is described. An 85-Ci  $^{238}\text{Pu-Be}$  source provides the neutrons. The gamma detection system consists of two  $15.24 \times 15.24$  cm  $\text{NaI(Tl)}$  detectors placed above the patient. Absolute value of body nitrogen is determined using body hydrogen as an internal standard. The reproducibility of the method is  $\pm 3\%$  for a body dose of 26 mrem.

J Nucl. Med. v20: 1158-1165, 1979

# Определение N in-vivo



- Нейтронный пучок –  $E_{av} = 4.5$  МэВ
- Интенсивность –  $I = 2.3 \cdot 10^8$   $\text{с}^{-1}$
- Расстояние до источника – 50 см
- Измерения в 8 точках от плечей до колен
- 14 здоровых мужчин
- Полное время облучения – 20 мин
- Полная доза – 26 mrem
- Точность определения концентрации азота  $\pm 3\%$

1. Irradiation-detection facility.

# Облучение ягнят

*Asia Pacific J Clin Nutr (1995) 4: 187-189*

**Whole body measurement of C, N and O using 14 MeV neutrons and the associated particle time-of-flight technique**

*S. Mitra<sup>1</sup>, J. E. Wolff<sup>1</sup>, R. Garrett<sup>2</sup> and C. W. Peters<sup>3</sup>*

*Growth Physiology Group, AgResearch, Ruakura, Hamilton, New Zealand;*

*Department of Physics, University of Auckland, Auckland, New Zealand;*

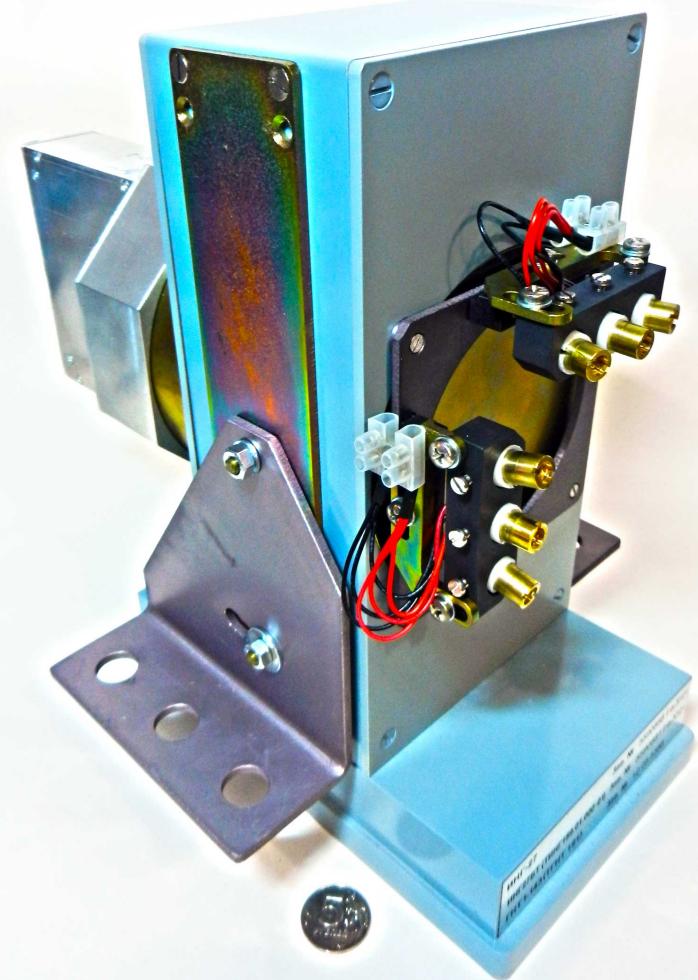
*Nuclear Diagnostic Systems Inc., Springfield, VA, USA.*

Our aim has been to construct a portable prototype instrument for measuring the whole body composition *in vivo* of growing lambs in terms of fat, protein and water by determining the mass of carbon, nitrogen and oxygen present. A small and compact sealed tube neutron generator which has the capability of exploiting the associated particle time-of-flight technique has been used for prompt gamma 14 MeV neutron activation analysis of C, N and O.

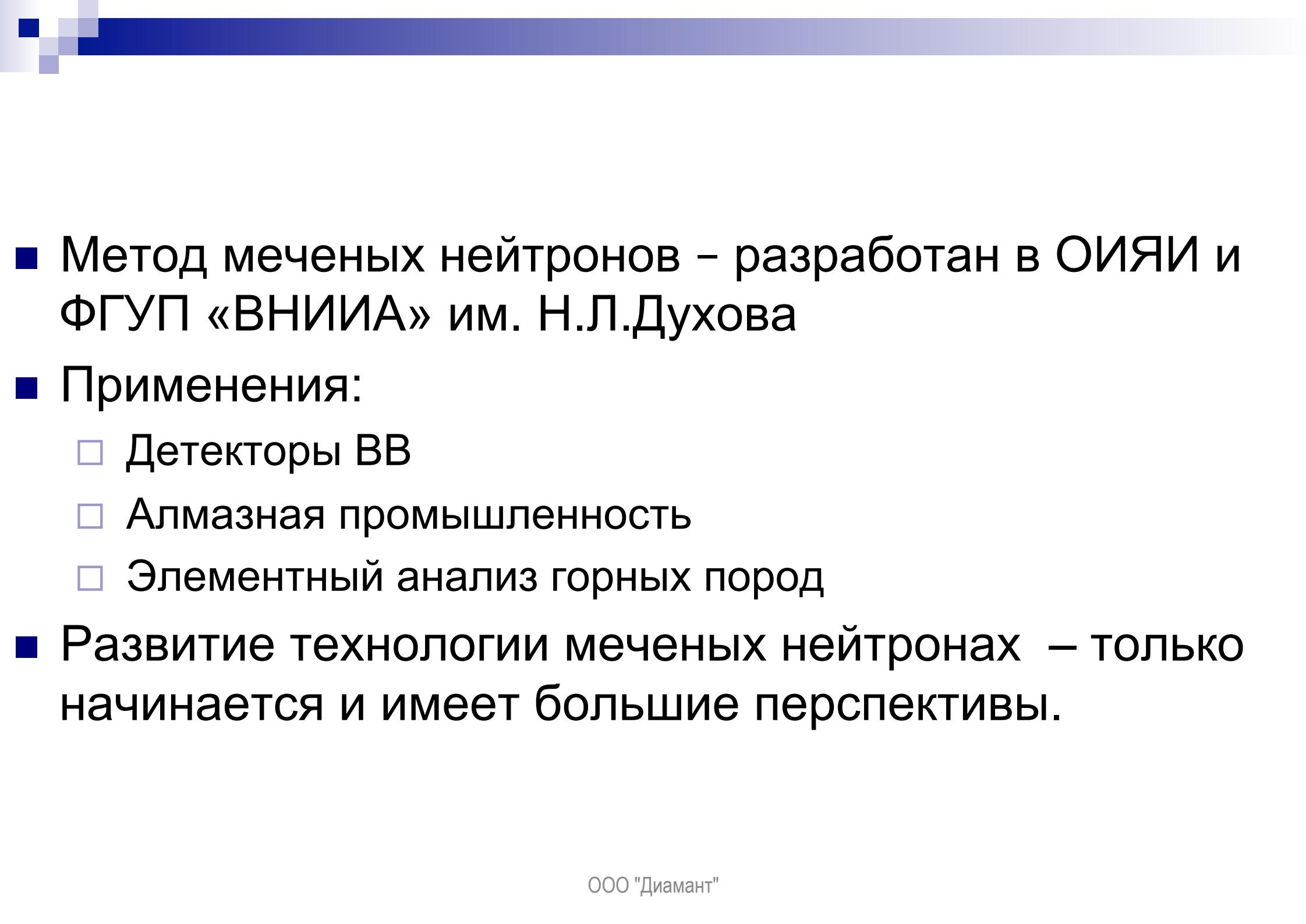
**The radiation dose delivered would be ~0.03 mSv.**



■ Нейтронный генератор ЛНФ  
ОИЯИ (Дубна), 6 этажей



Нейтронный генератор ВНИИА  
им.Н.Л.Духова, 300 мм



- Метод меченых нейтронов – разработан в ОИЯИ и ФГУП «ВНИИА» им. Н.Л.Духова
- Применения:
  - Детекторы ВВ
  - Алмазная промышленность
  - Элементный анализ горных пород
- Развитие технологии меченых нейтронах – только начинается и имеет большие перспективы.