



# 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

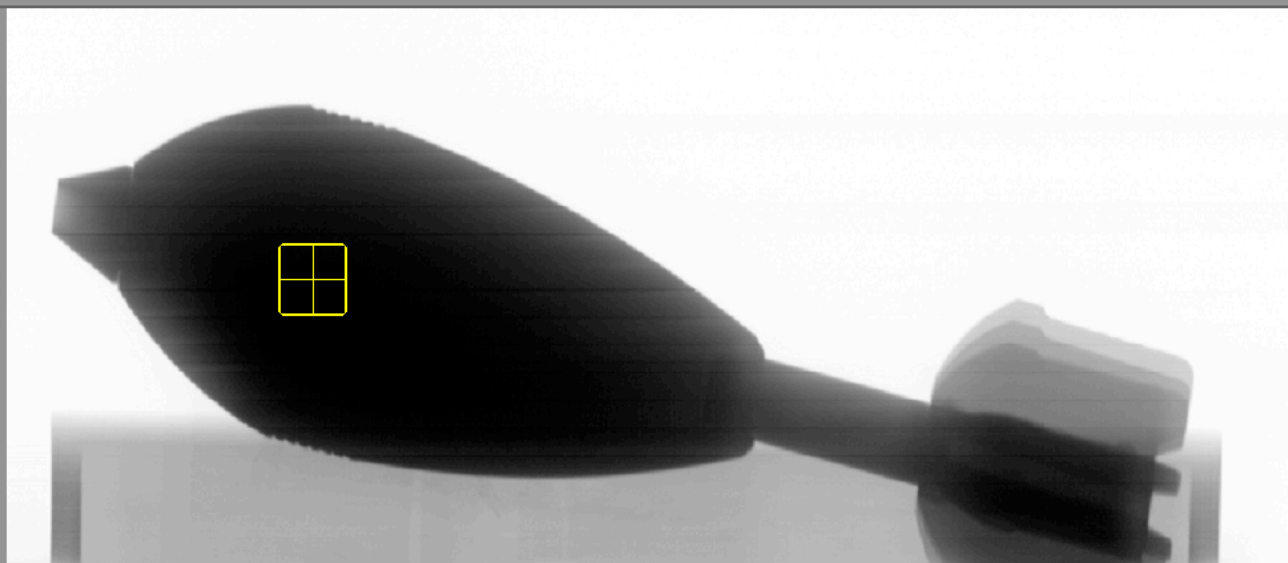
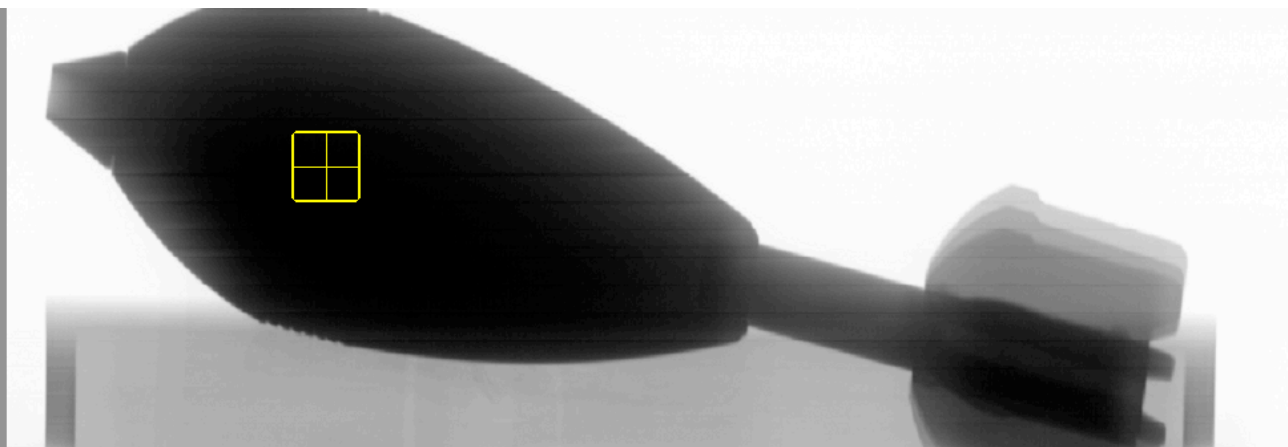
2008, ООО «ДВиН» - А.Н.Сисакян


2009, ДВиН – резидент ОЭЗ «Дубна»

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

2015, ООО «Диамант» - резидент Сколково

# Что внутри объекта?



Файл  
Mina-162mm1  
 Сохранить

Инициализация приводов

Рентгеновский модуль

Калибровка

Нижний ракурс

Верхний ракурс

Стоп

Нейтронный модуль

632 Координаты

262

Позиционирование

Краскоотметчик

Назад

Монтаж рентгеновской системы

Монтаж нейтронной системы

К "Везувию"

<

420

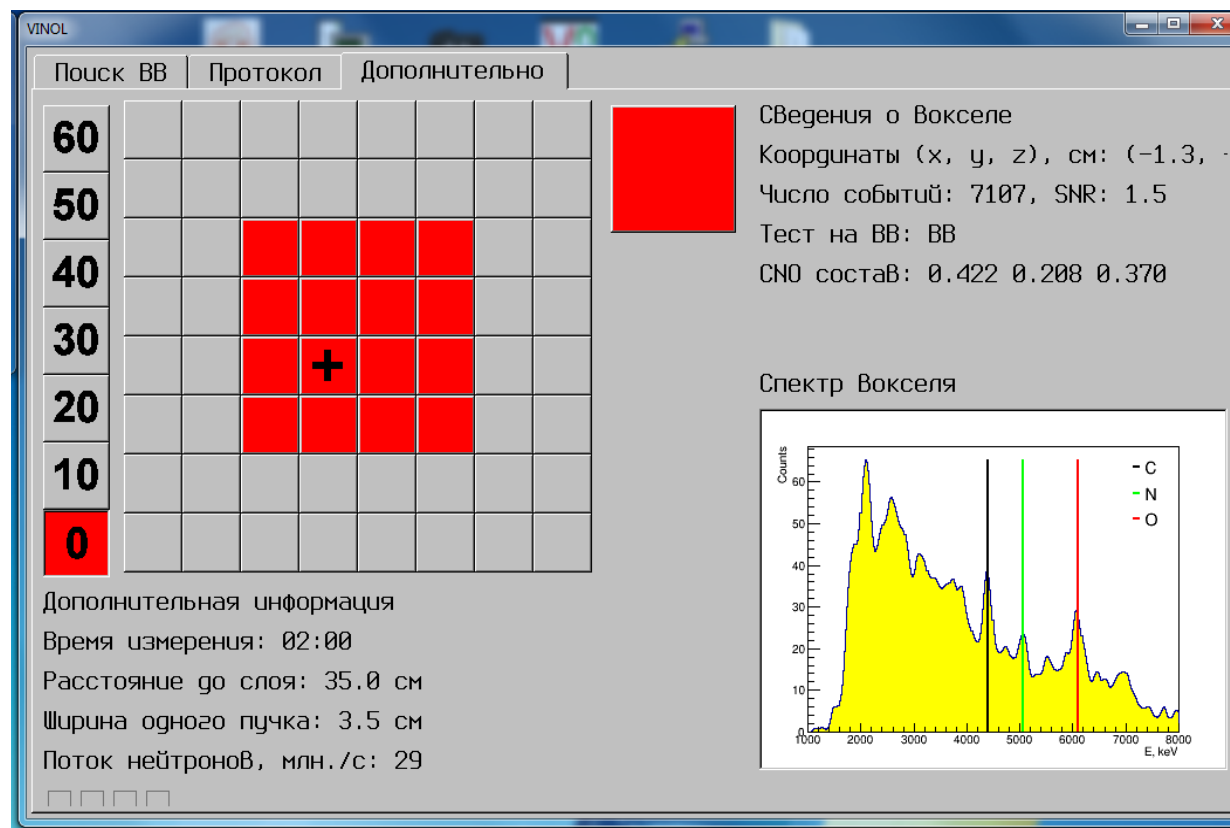
873

907

(мм)

ООО "Диама́нт"

# Результат ММН-анализа

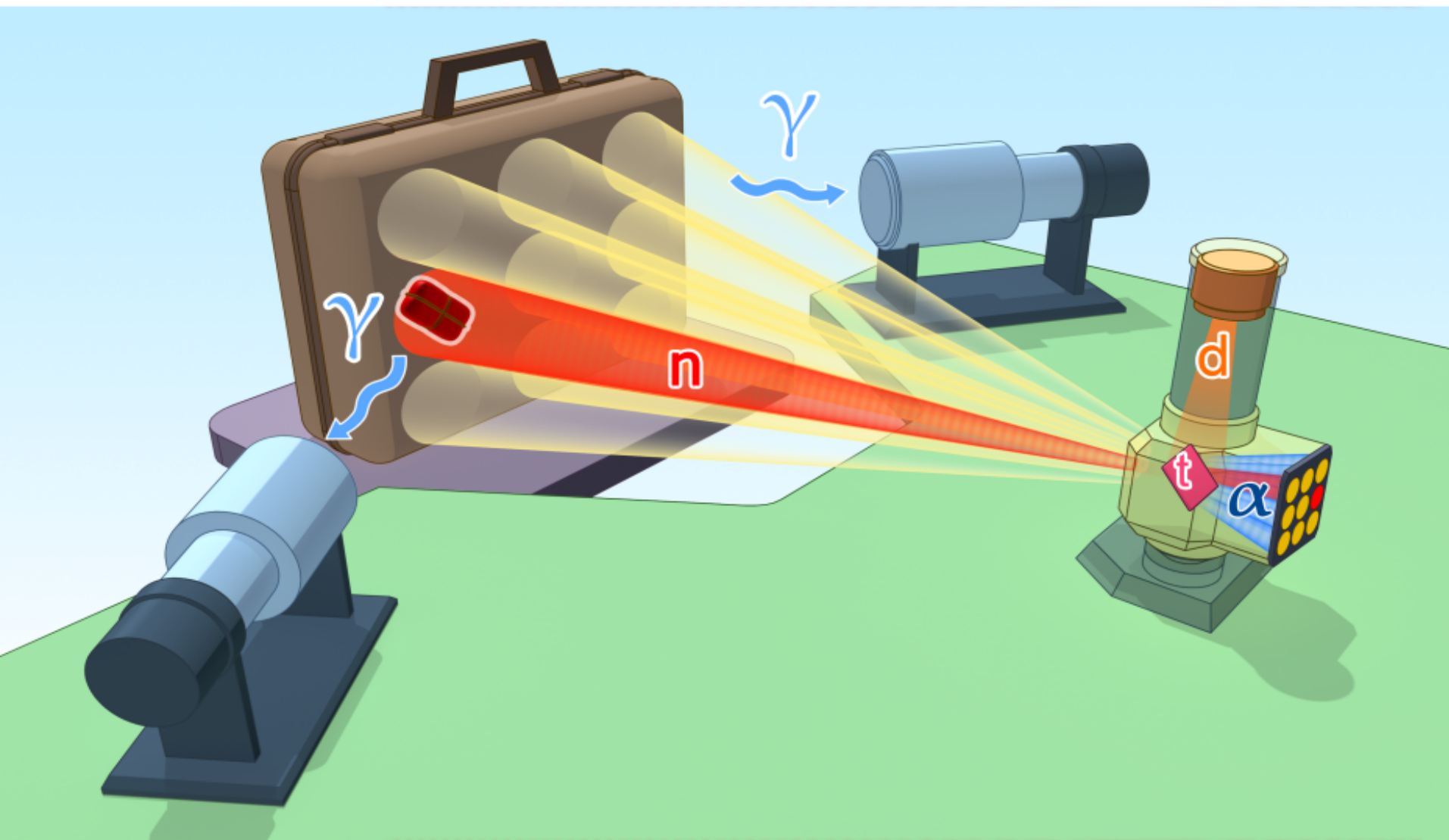


Внутри – взрывчатое вещество

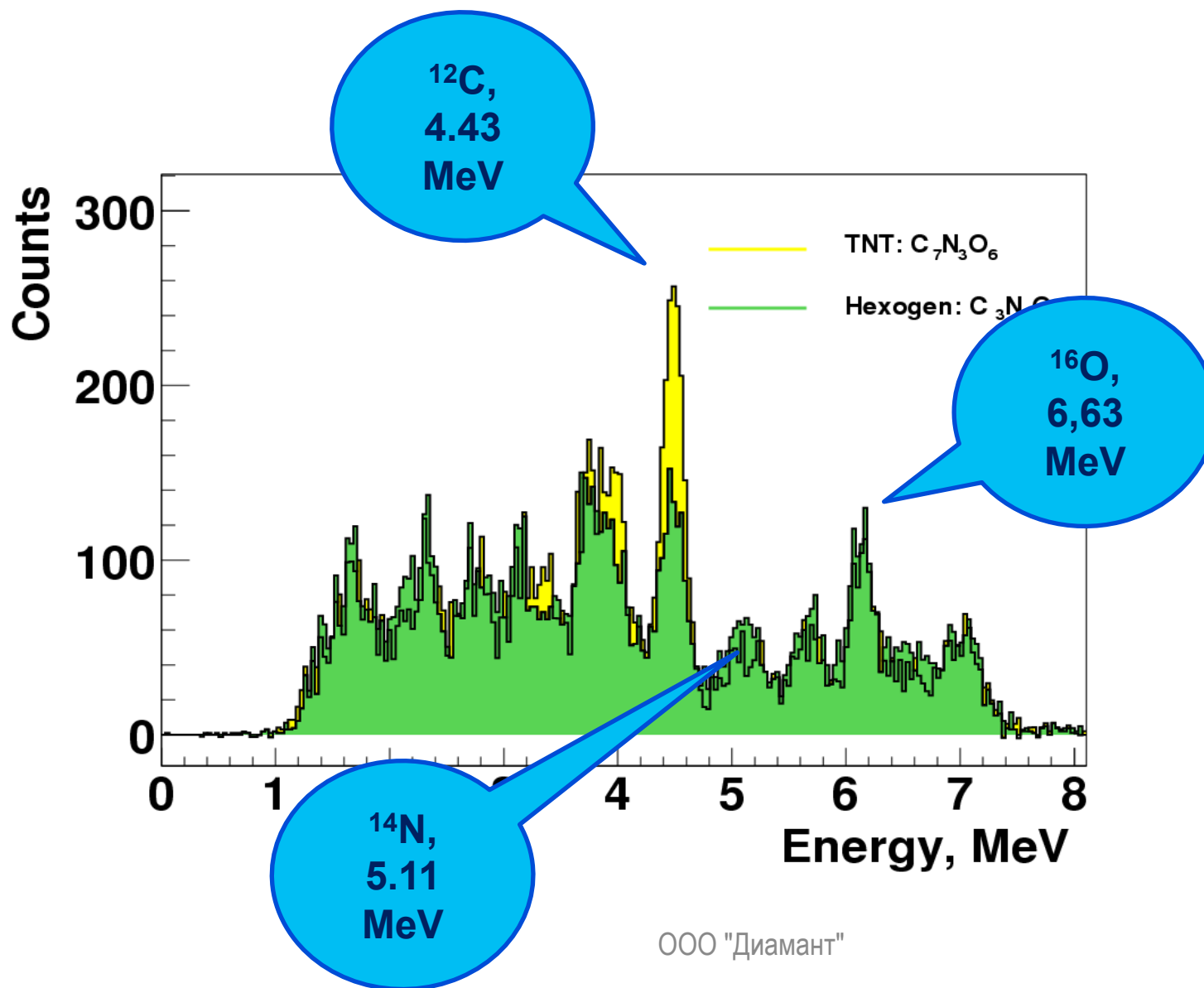
Взрывчатое вещество – ТЭН,  $C_5H_2NO_3$

Время анализа – 2 мин.

# Объект досмотра облучается пучками быстрых нейтронов 14 МэВ



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



TNT  
( $C_7N_3O_6$ )  
и  
гексоген  
( $C_3N_6O_6$ )

# 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 информации о местоположении ВВ в объекте досмотра.**
- **Возможность идентификации ВВ**

# Автоматическое обнаружение 30 ВВ

- ТНТ, тринитробензол, дазин, гексонитростильбен, 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, токаф, 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



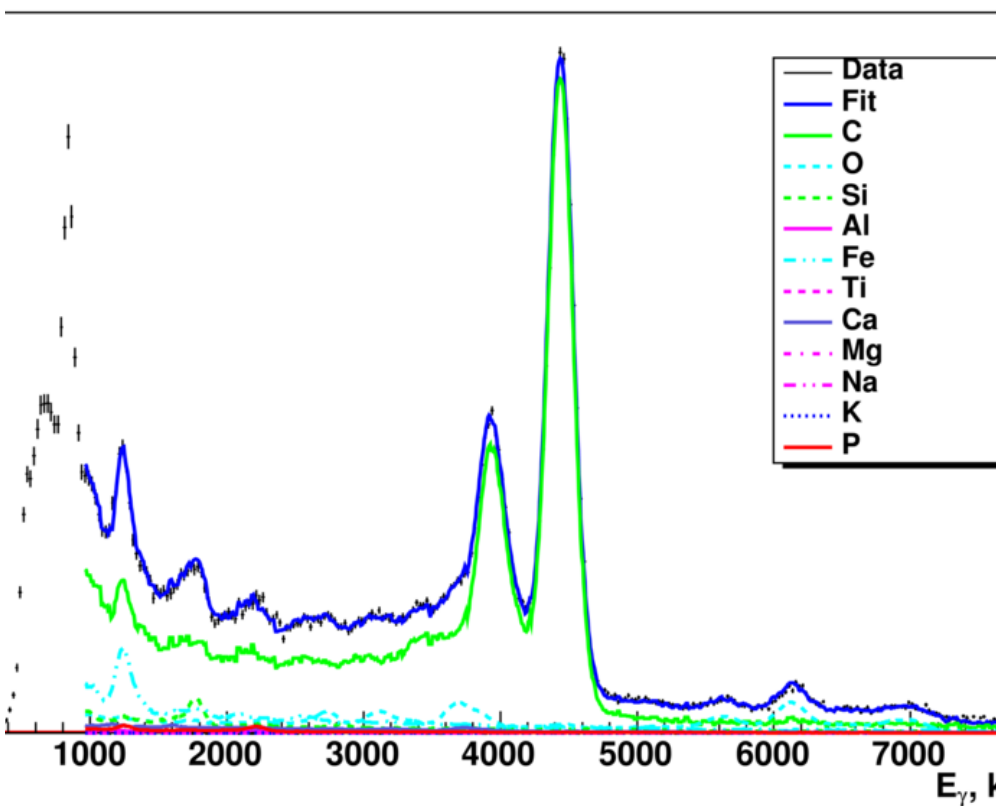
# Фосфор



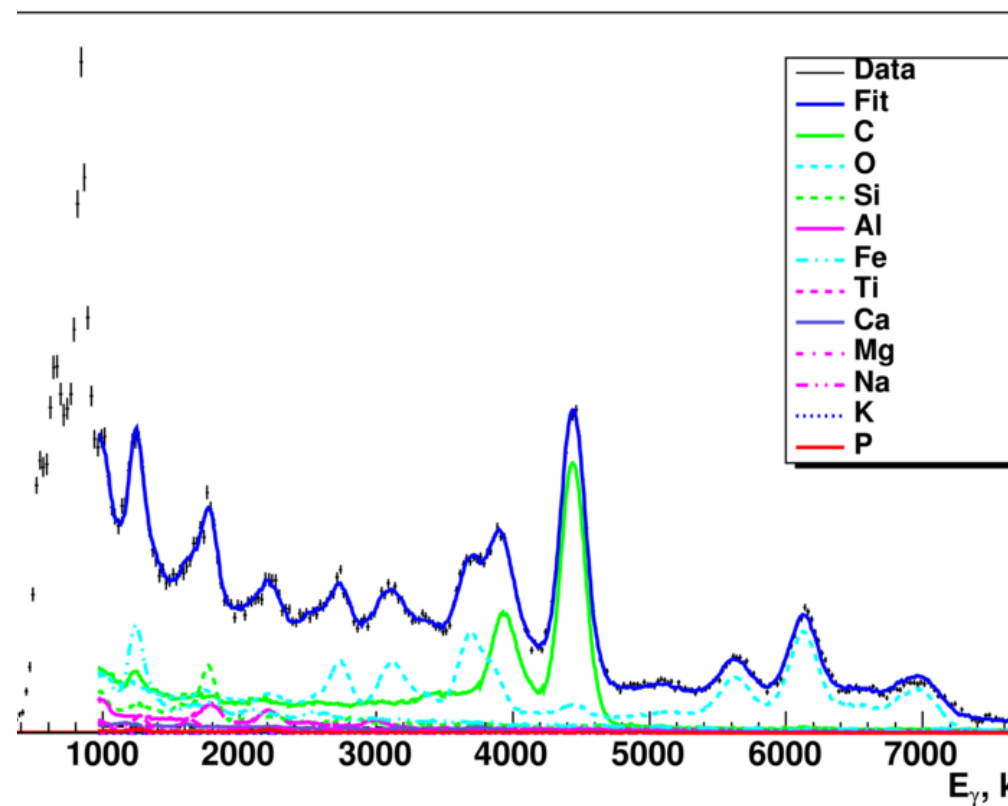
Пробы 5-7 кг из карьера, крупностью -100 мм измерялись без какой-либо пробоподготовки.

ООО "Диамант"

# Уголь



Донбасс, Зольность 6.3%



Кузбасс, Зольность 22.3 %



# Медицина

# Определение N in-vivo

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

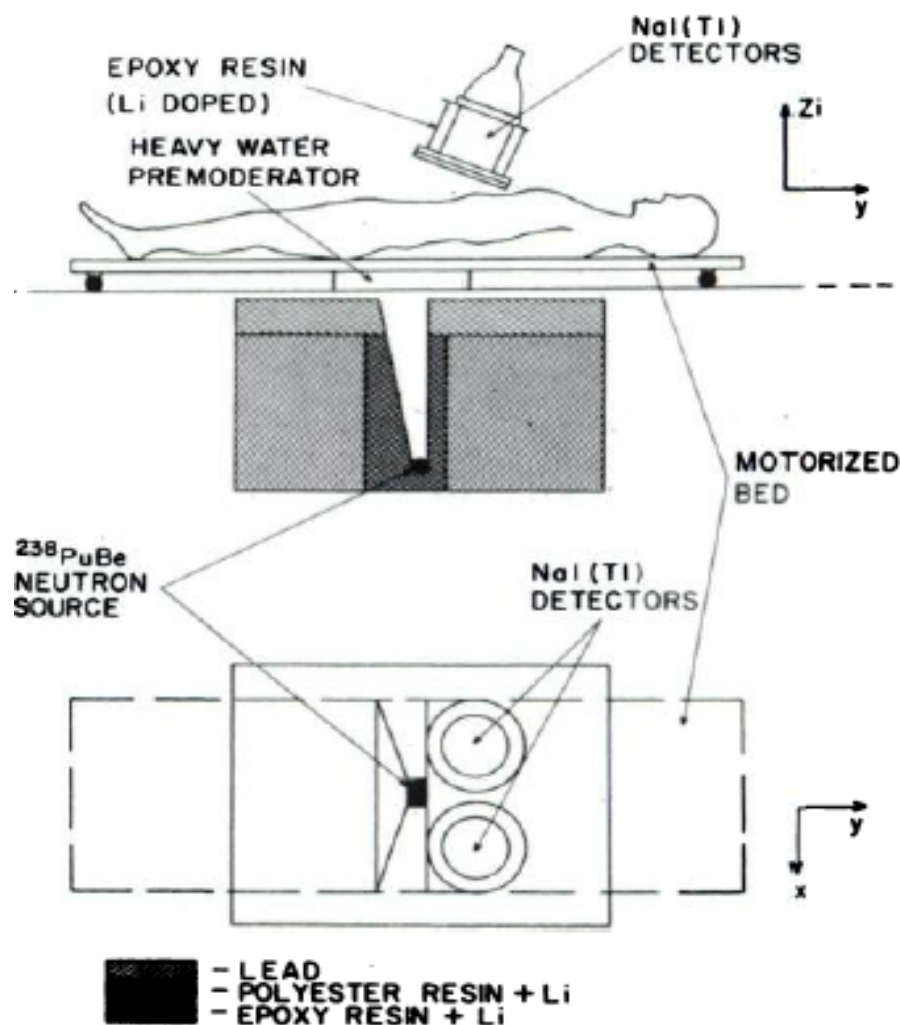
David Vartsky, Kenneth J. Ellis, and Stanton H. Cohn

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  $^{85}\text{Ci}$   $^{238}\text{Pu}$ -Be source provides the neutrons. The gamma detection system consists of two 15.24 X 15.24 cm 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



1. Irradiation-detection facility.

- Нейтронный пучок –  $E_{av} = 4.5 \text{ МэВ}$
- 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  $\pm 3\%$



# 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.*

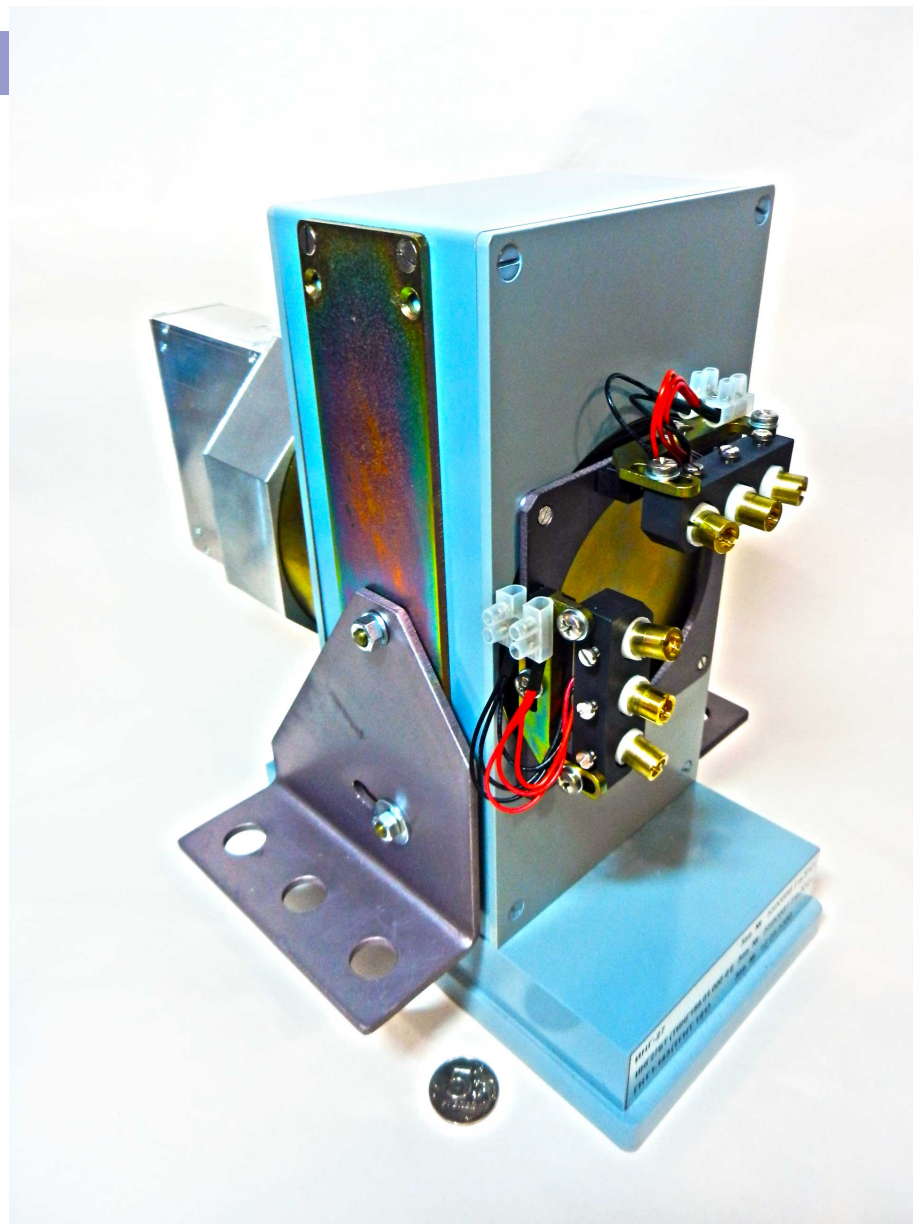
Our aim has been to construct a portable prototype instrument for measuring the whole body composition in vivo of growing lambs in terms of fat, protein and water by determining the mass of carbon, nitrogen and oxygen present. A small and compact sealed tube neutron generator which has the capability 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 нейтронов – только начинается и имеет большие перспективы.