

# Использование портативного нейтронного генератора со встроенным $\alpha$ -детектором.

Рогов Ю.Н.  
ЛФЧ, ОИЯИ  
4 октября 2004

## План доклада

---

- История проекта “ДВИН”
- ММН (метод меченых нейтронов, API - Associated Particle Imaging)
- Портативный нейтронный генератор
- Идентификация скрытых веществ с помощью нейронной сети
- Выводы

## История проекта

---

- “ДВИН”:  
Быстрицкий В.М., Замятин Н.И.,  
Кадышевский В.Г., Кобзев А.П.,  
Никитин В.А., Рогов Ю.Н., Руфанов  
И.А., Сапожников М.Г., Сисакян А.Н.,  
Слепнёв В.М.
- Сотрудничество: “Аспект” (Дубна), ГТК  
РФ, ФСБ РФ, ВНИИА (Москва), INFN  
(Padova, Pavia), UC (Irvine, Ca)

## История проекта

---

- 1998, Rochester Conference, Vancouver.  
Talk of B.Maglich
- 1999, R&D на ван-Граафе ЛНФ (“Аспект”)
- 2000-2001, Создание откачного НГ (И.Н.Иванов, А.И.Сидоров)
- Тема ОИЯИ 02-7-1045- 2002/2004 (рук. В.М.Быстрицкий, М.Г.Сапожников)
- 2002-2004, Создание отпаянного НГ совместно с ВНИИ “Автоматика”

# История проекта

---

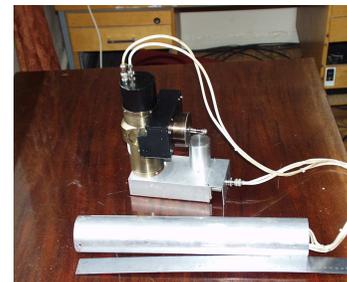
R&D, 1999-2003,  
Ван де Грааф



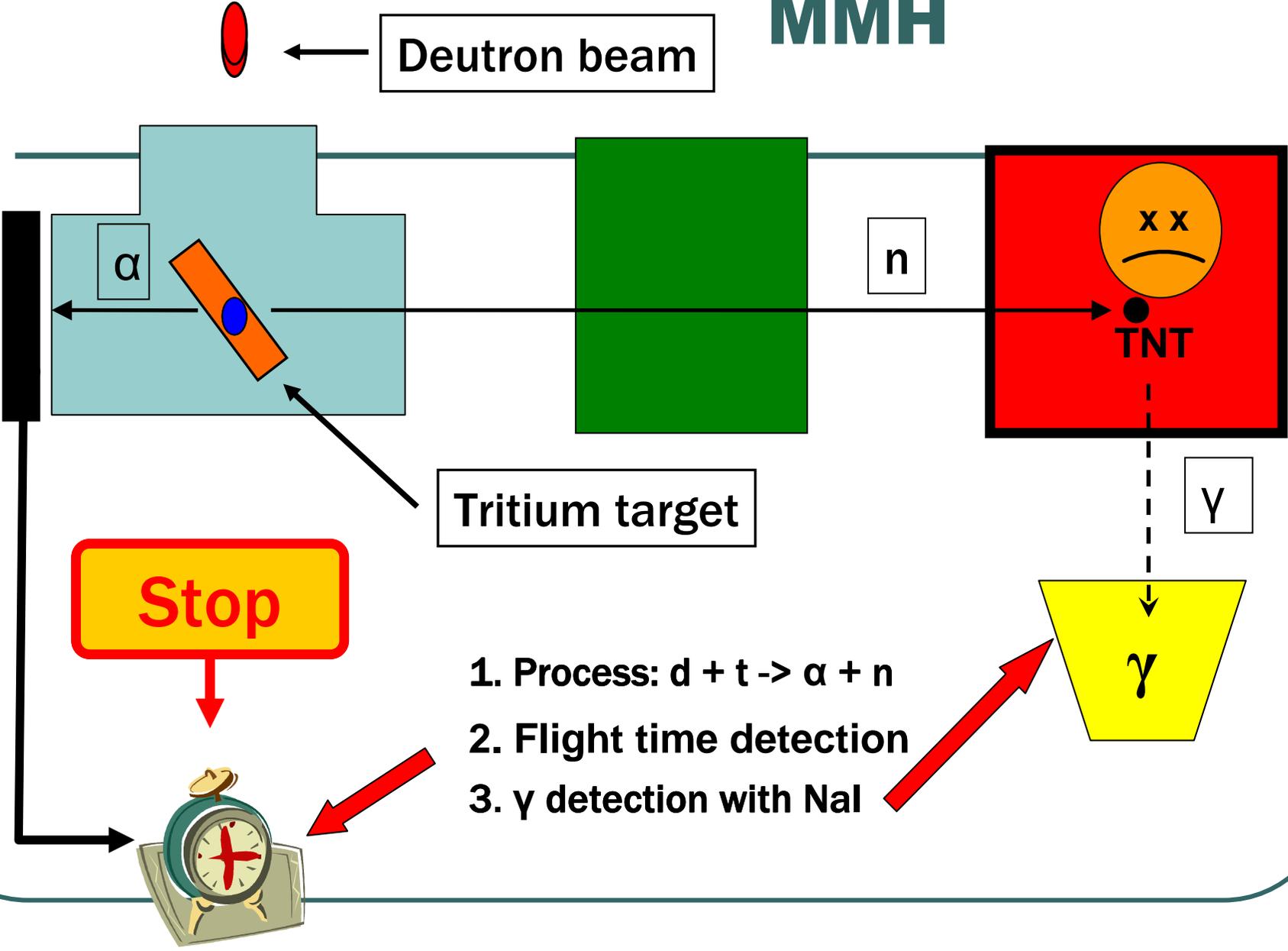
Отпаянный НГ  
2000-2001



Откачной НГ  
2002-2004

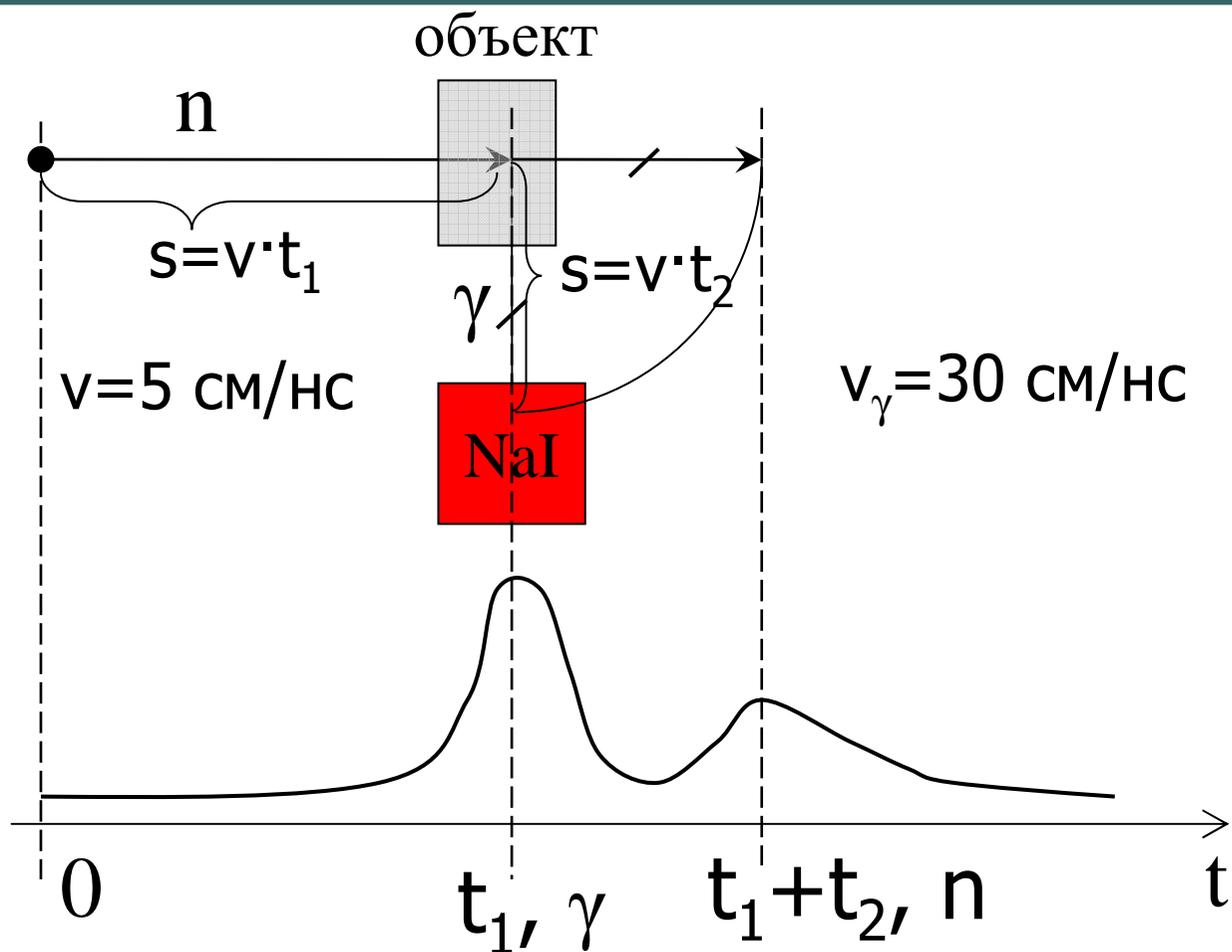


# MMH



# ММН

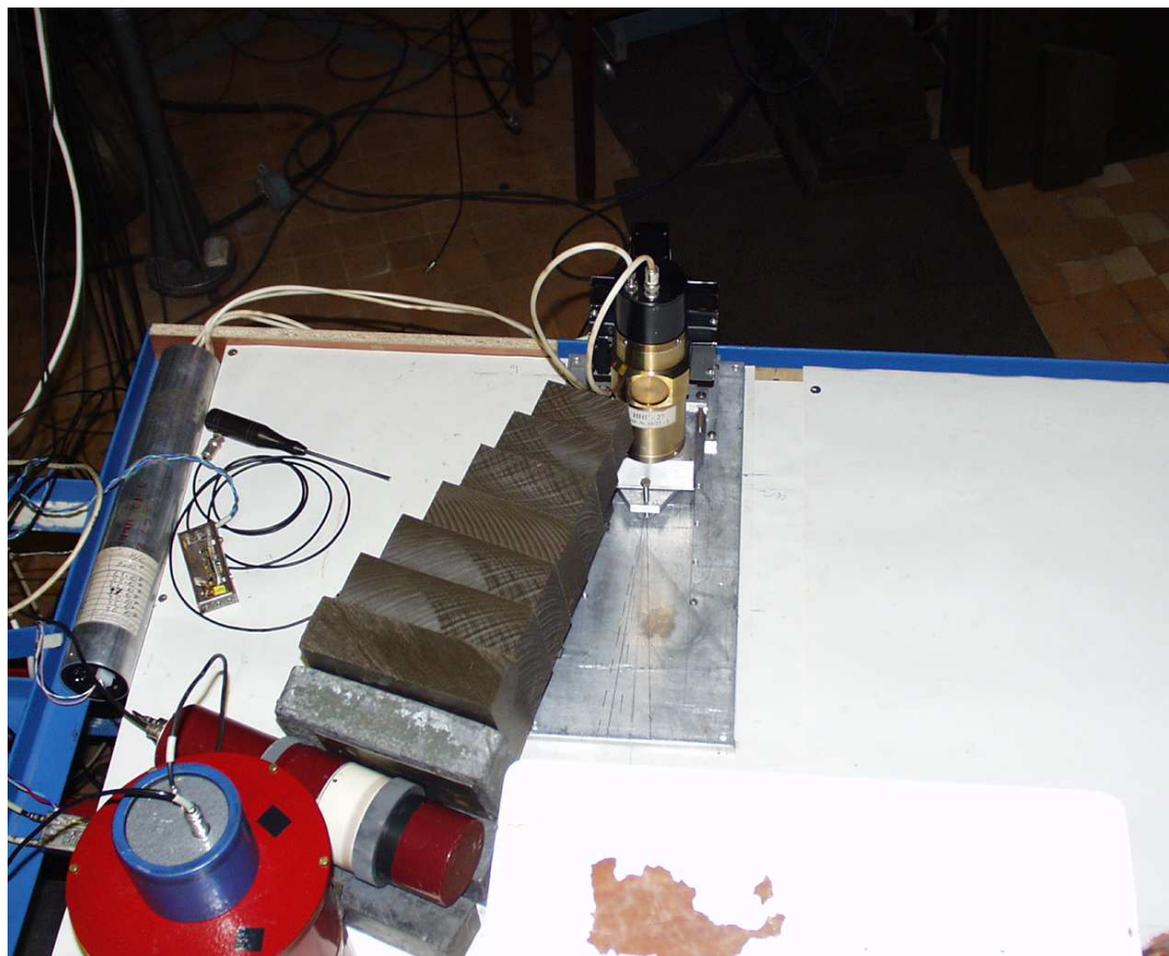
## $\alpha$ - $\gamma$ совпадения



# ММН

## Экспериментальная установка

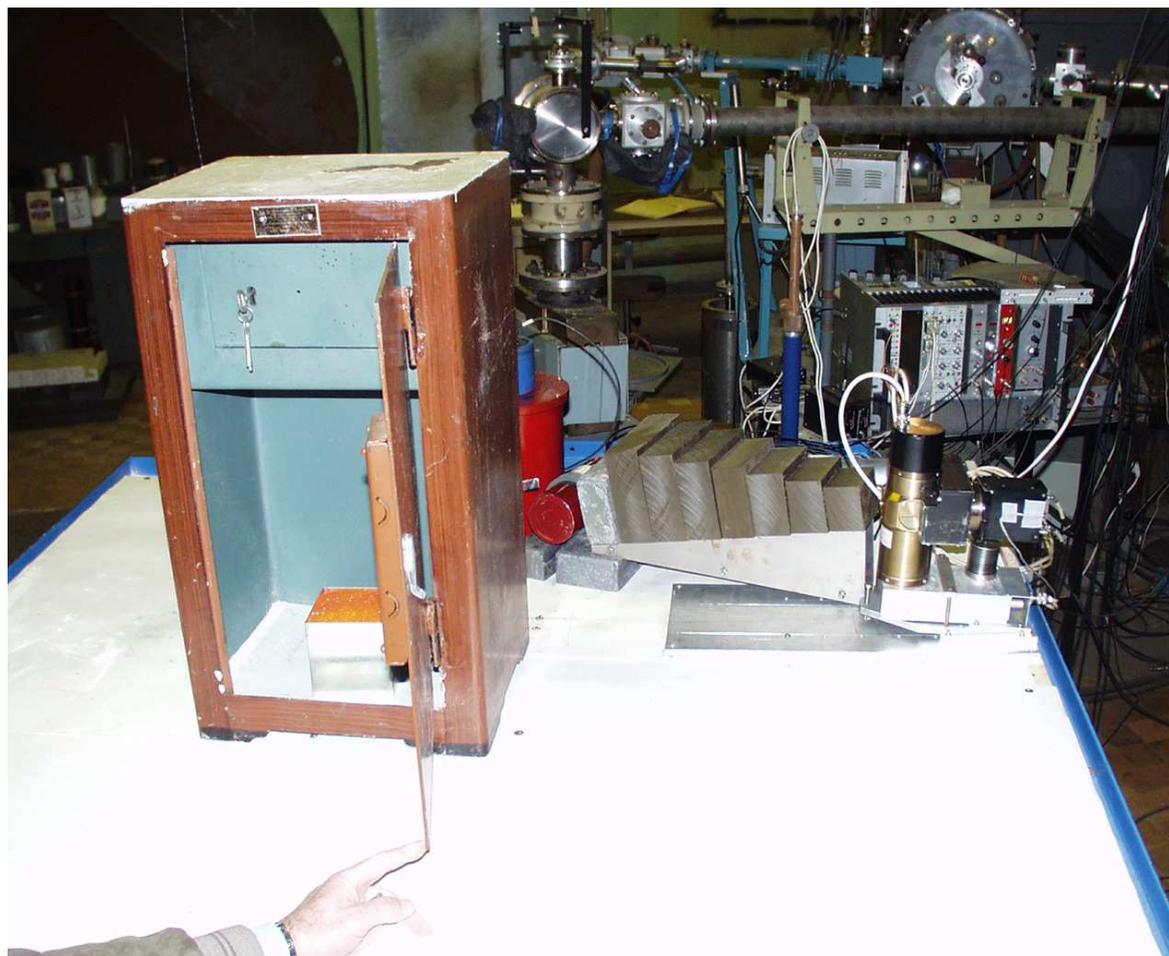
---



# МНН

## Экспериментальная установка

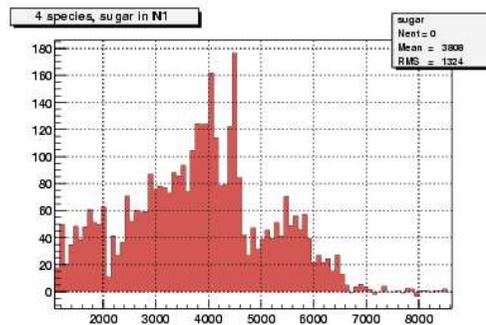
---



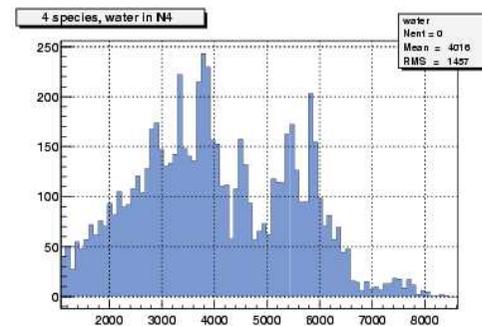
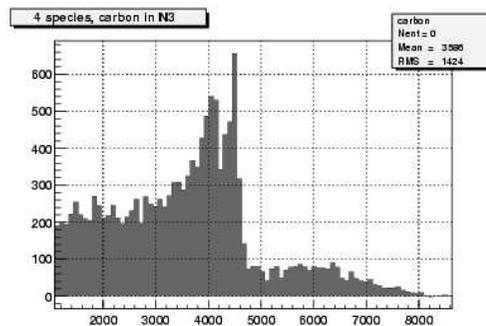
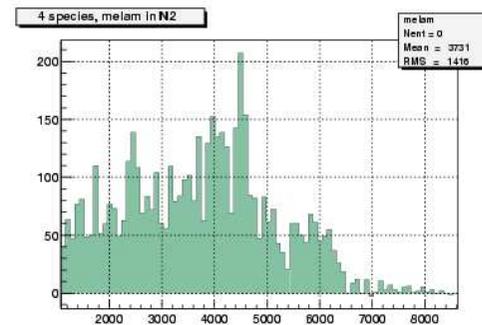
# ММН

## Идентификация веществ

сахар



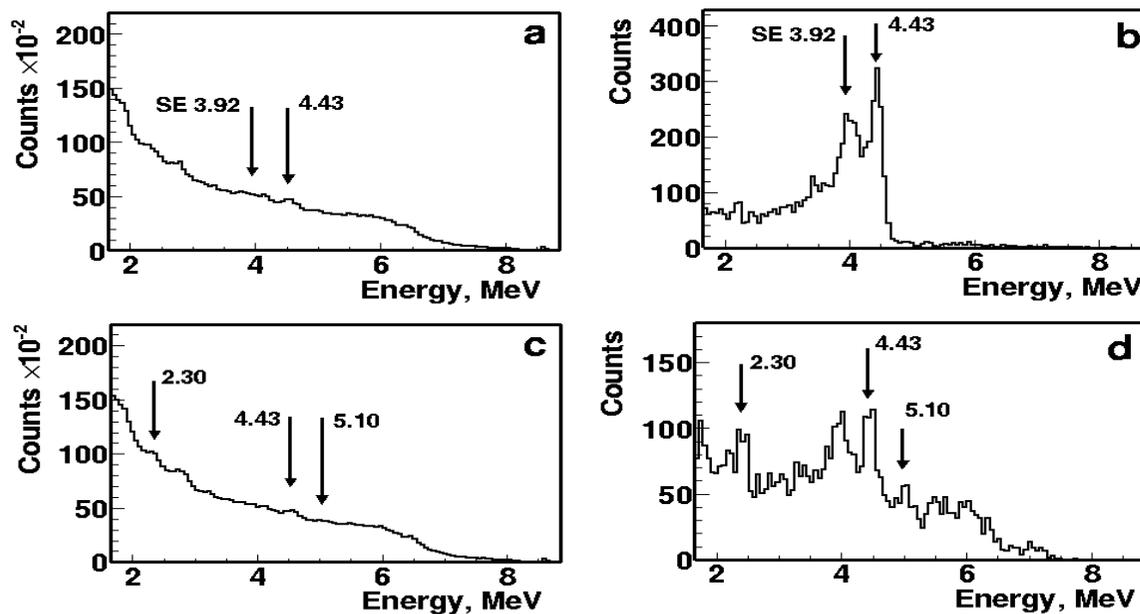
меламин



углерод

вода

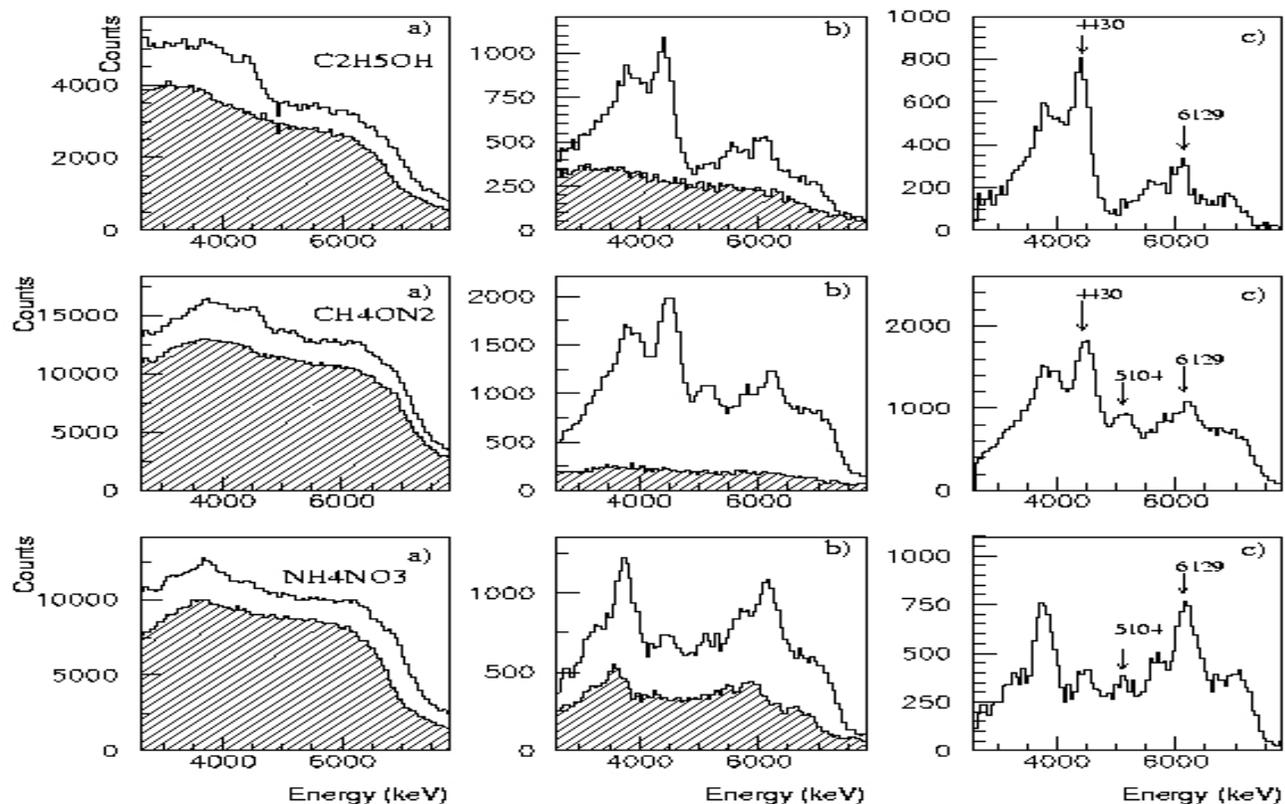
# Надежность обнаружения скрытого вещества



- Отношение Сигнал/Фон  
лучше в  $\sim 200$  раз

меламин ( $C_3H_6N_6$ )

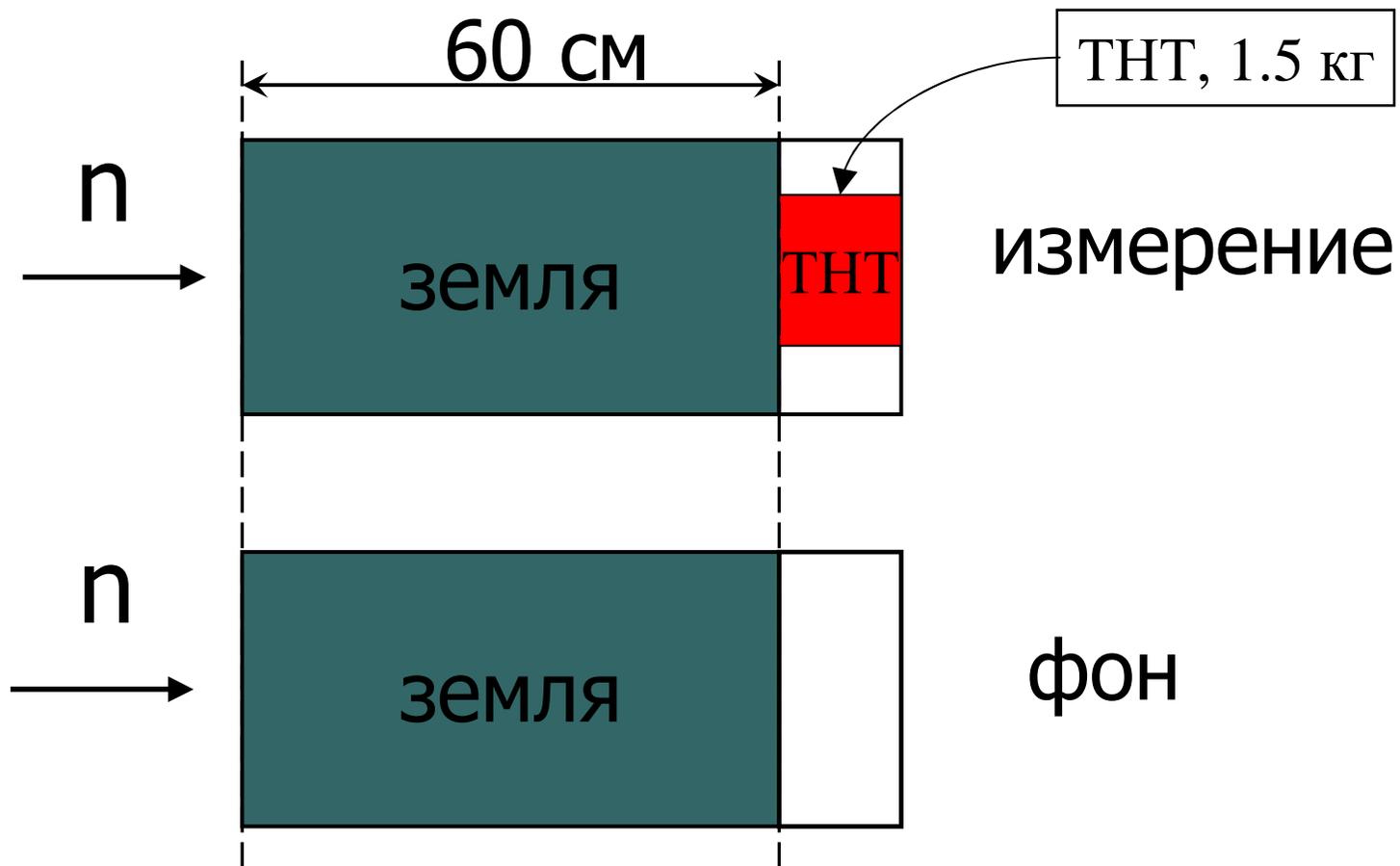
# Надежность обнаружения скрытого вещества



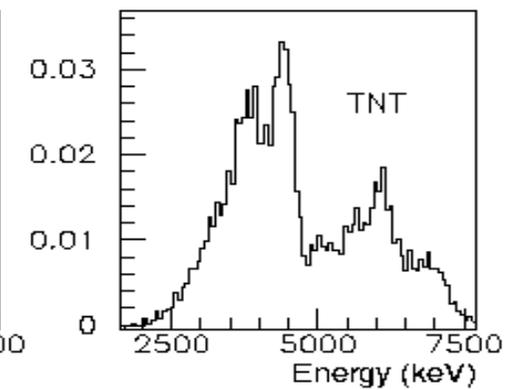
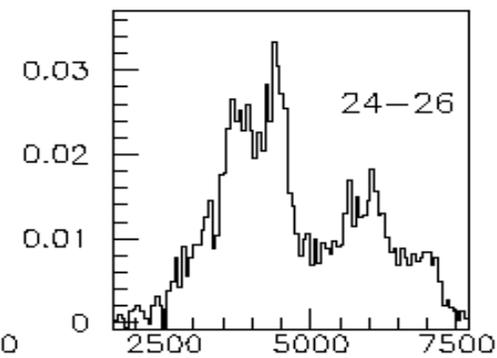
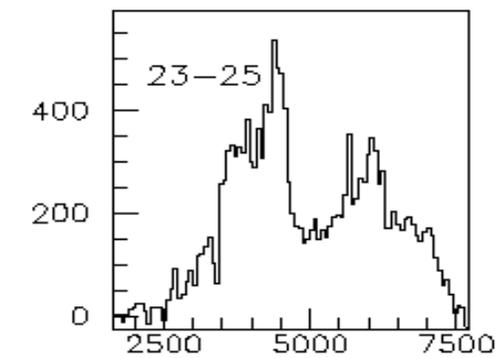
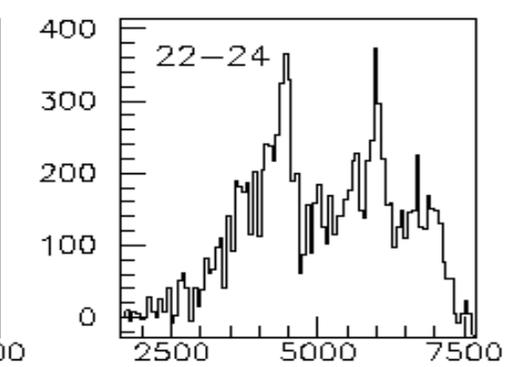
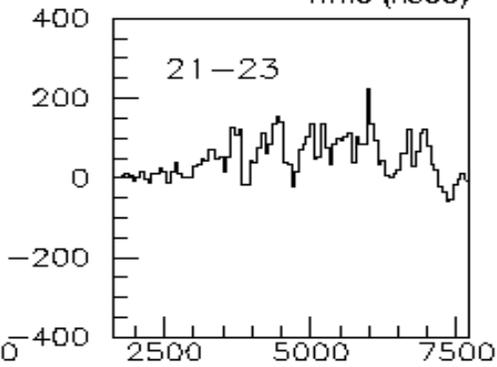
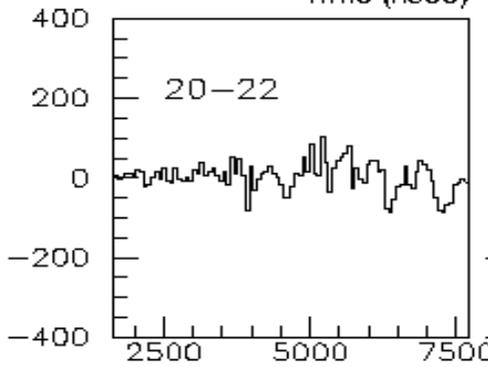
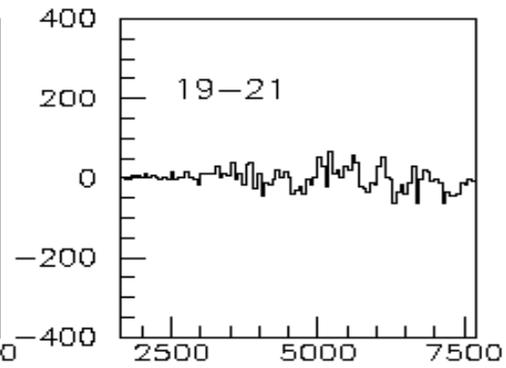
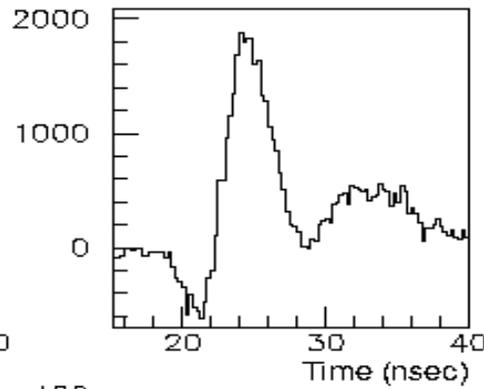
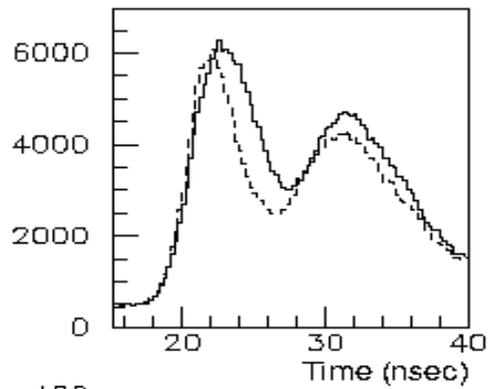
Обычный метод

Метод  $\alpha\gamma$ -совпадений

# ММН TNT в земле

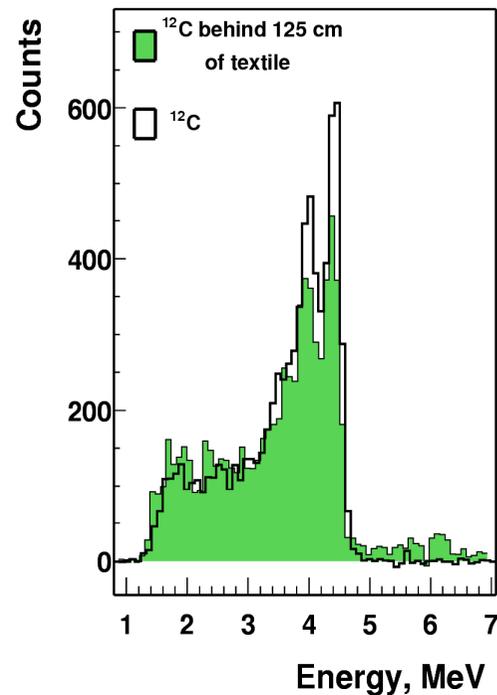
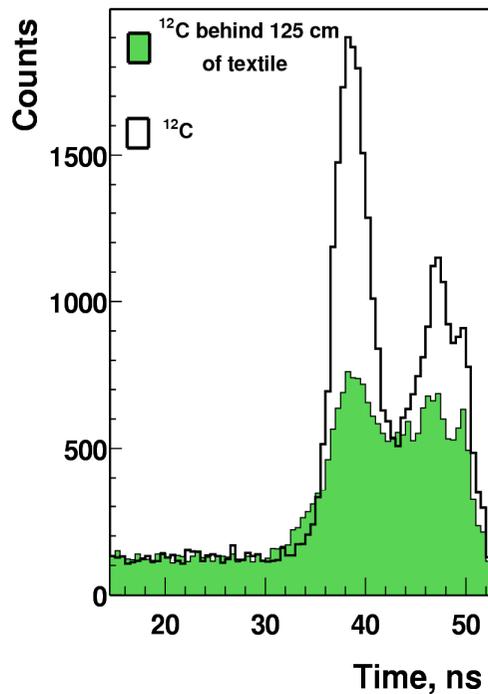


### *TNT underground.*

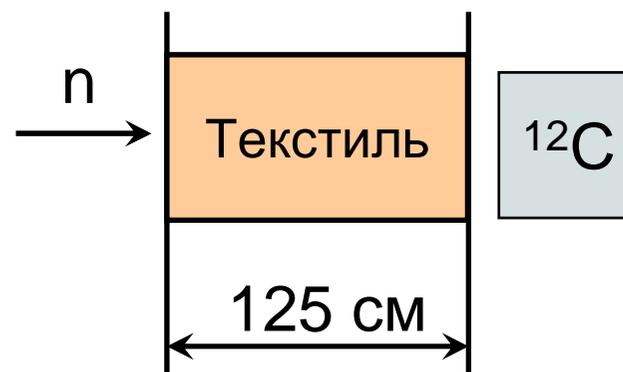


# ММН

## Экранированные вещества

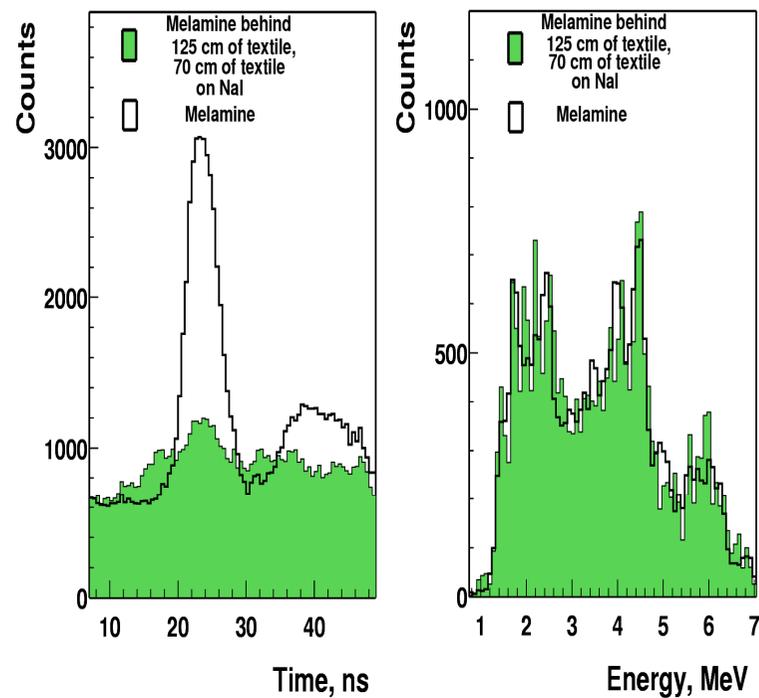


- Углерод, экранированный слоем текстиля толщиной 125 см



# ММН

## Экранированные вещества



- Идентификация сильно экранированных (100-130 см) веществ за 5-10 мин возможна при массах от 10-20 кг

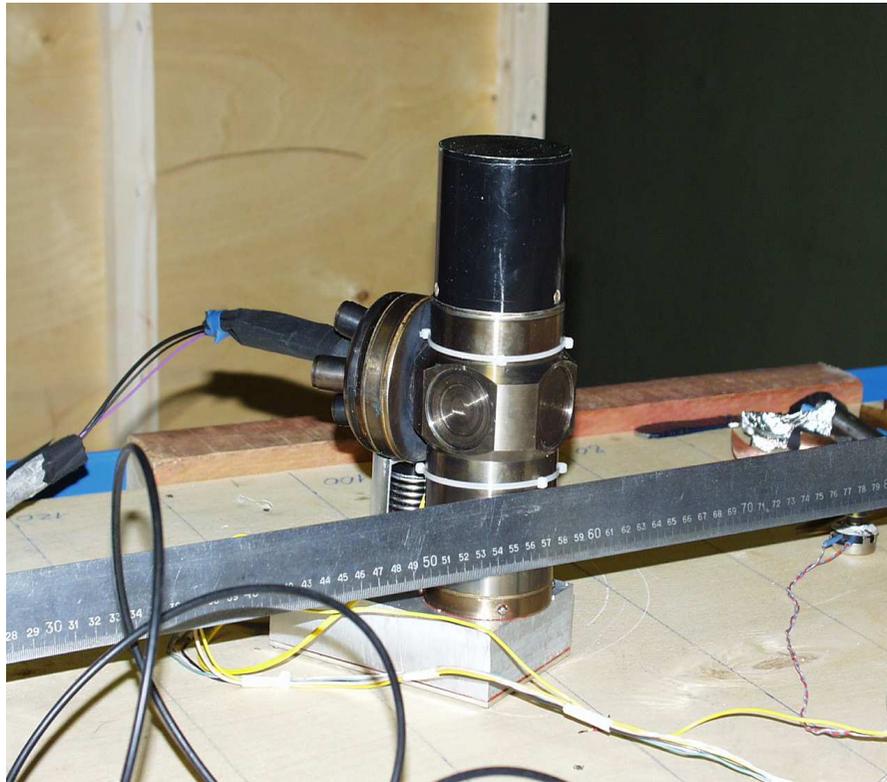
# ММН

## Основные достоинства

---

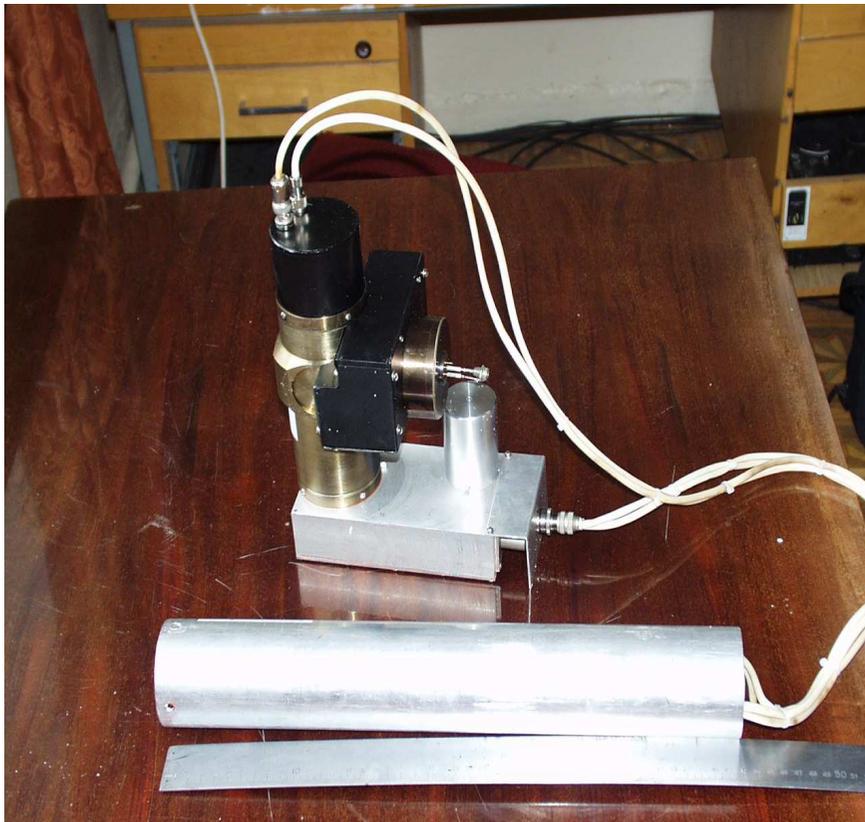
- Чувствительность к **химическому составу** вещества.
- Трехмерное изображение объекта
- Проникающая способность - до 1-1.5 м
- Наилучшие условия обнаружения контролируемого вещества (соотношение эффект/фон в 200 раз лучше)
- Томография объекта за одно измерение

# Портативный НГ с УАР $\alpha$ -детектором



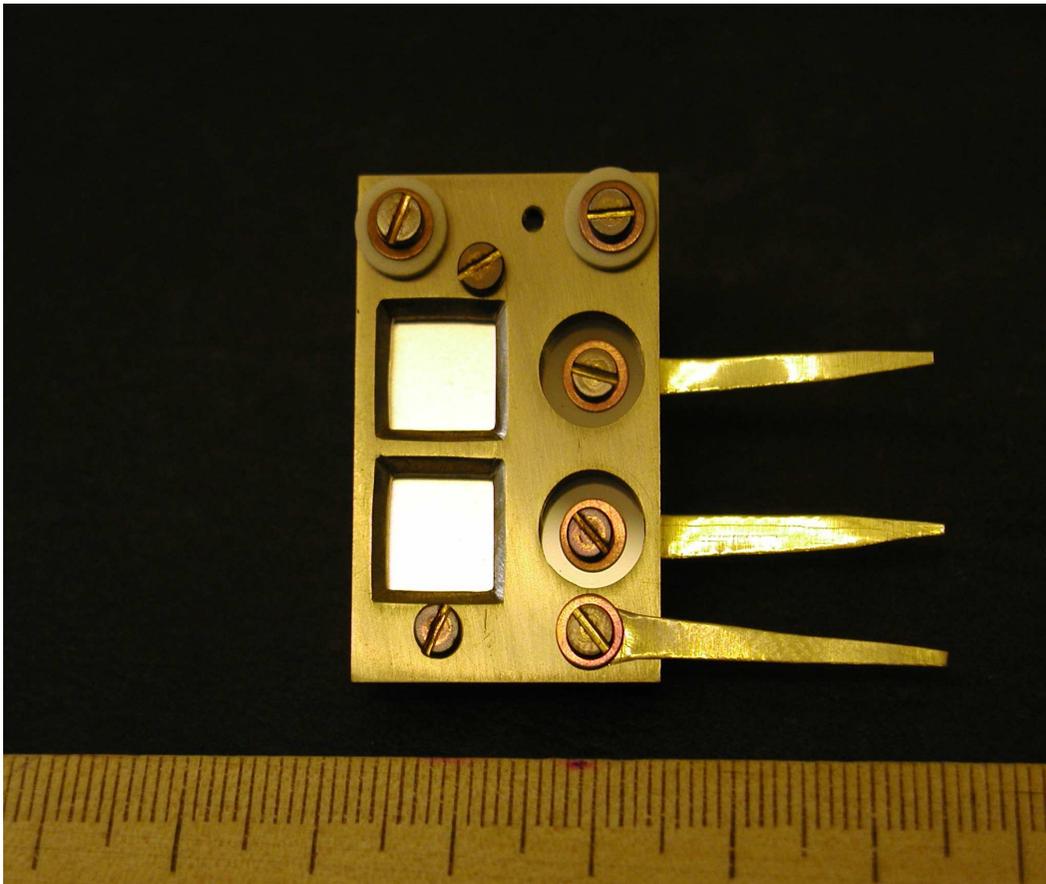
- Совместная разработка ВНИИА (генератор) и ОИЯИ ( $\alpha$ -детектор)
- Достигнутая интенсивность –  
 $I = 5 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$
- Большие технические трудности при создании

# Портативный НГ с кремниевым $\alpha$ -детектором



- Совместная разработка ВНИИА (генератор) и ОИЯИ ( $\alpha$ -детектор)
- Достигнутая интенсивность –  
 $I = (3-5) \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$
- Проработал 300 часов
- Уникальный прибор

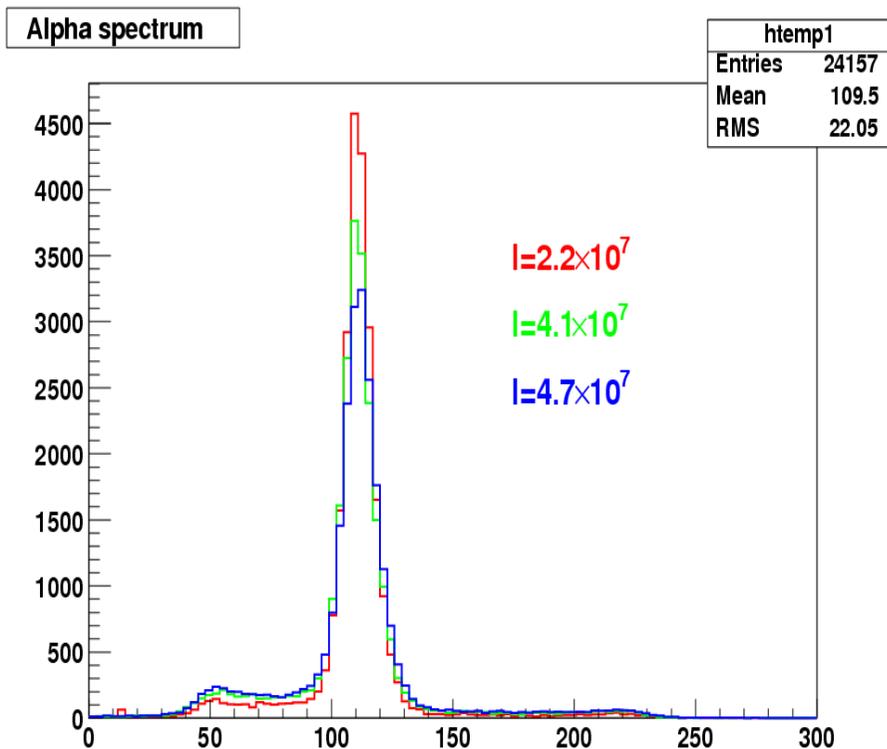
# Портативный НГ $\alpha$ -детектор



- 2 ячейки  
8x8 мм<sup>2</sup>
- П/п, из  
кремния
- Типичный  
счёт  $\sim 10^4$  с<sup>-1</sup>

# Портативный НГ

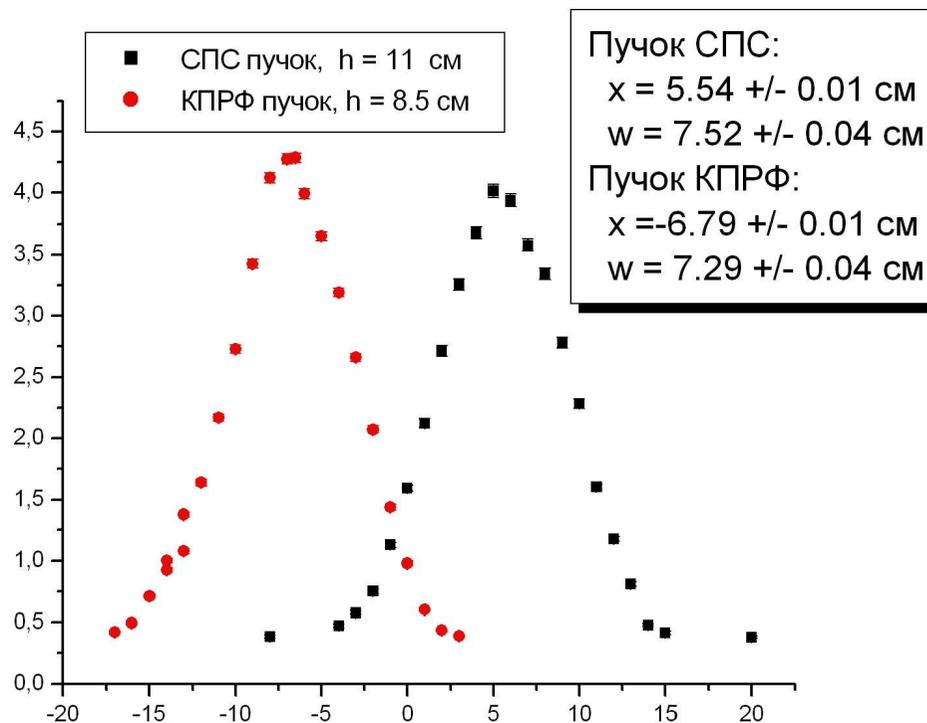
## Спектр $\alpha$ -частиц



- Спектр уширяется с ростом  $I$
- Это не мешает работе прибора

# Портативный НГ

## Пучок меченых нейтронов

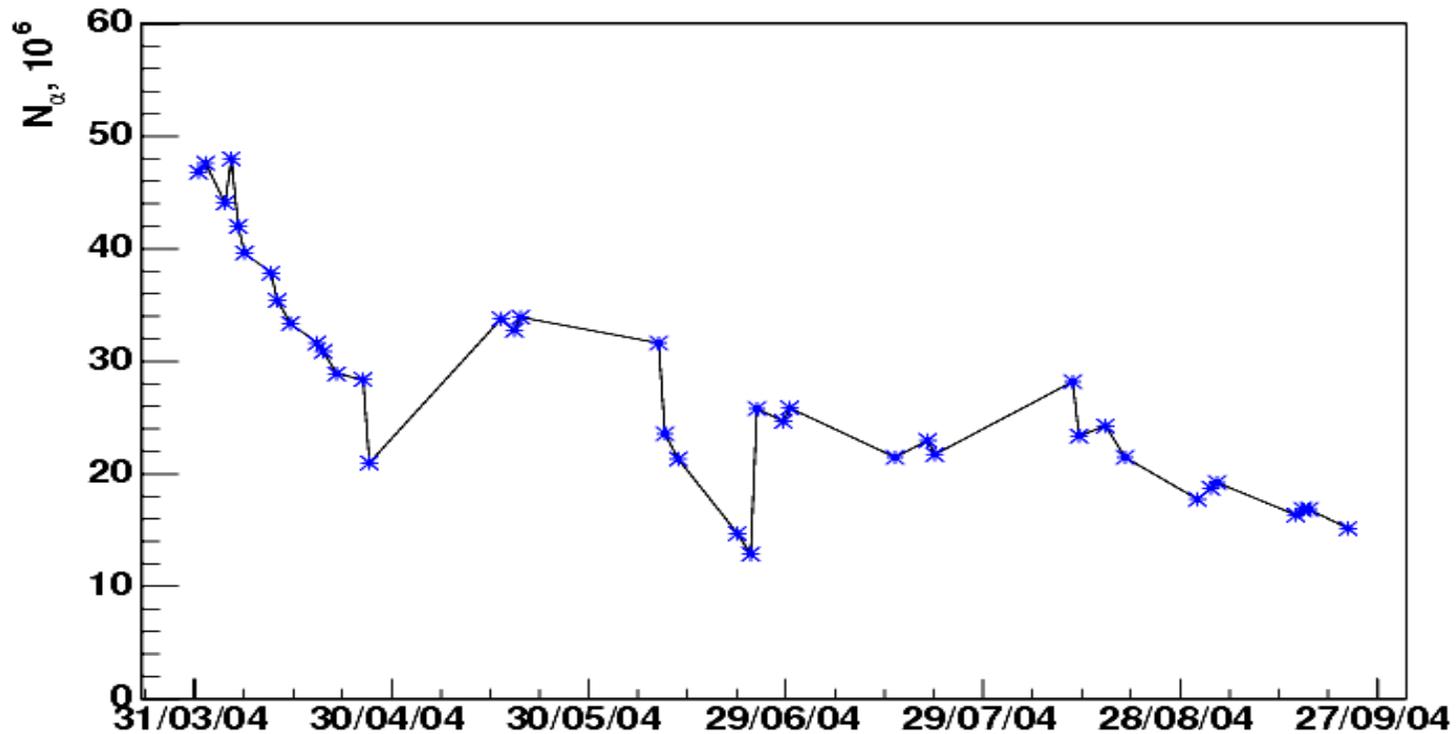


- Квадрат 7x7 см<sup>2</sup> на расстоянии 70 см
- $N_{\alpha 1}/N_{\alpha 2}=3/2$

# Портативный НГ

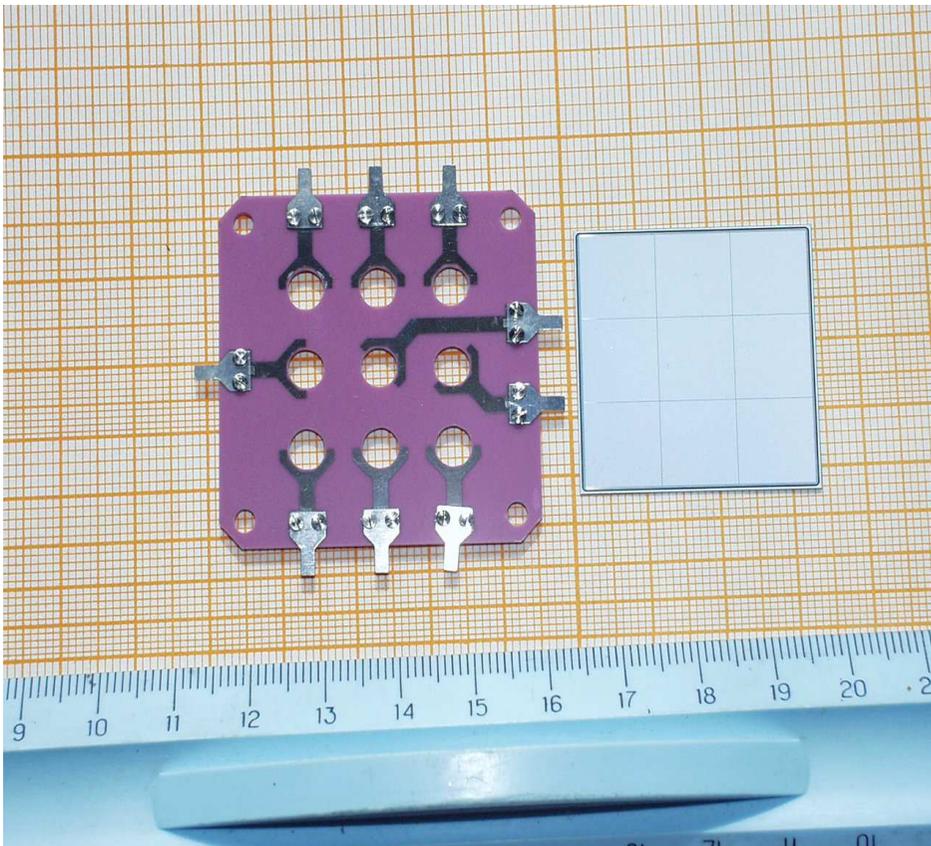
## Интенсивность

Generator intensity (average)



# Портативный НГ Новый $\alpha$ -детектор

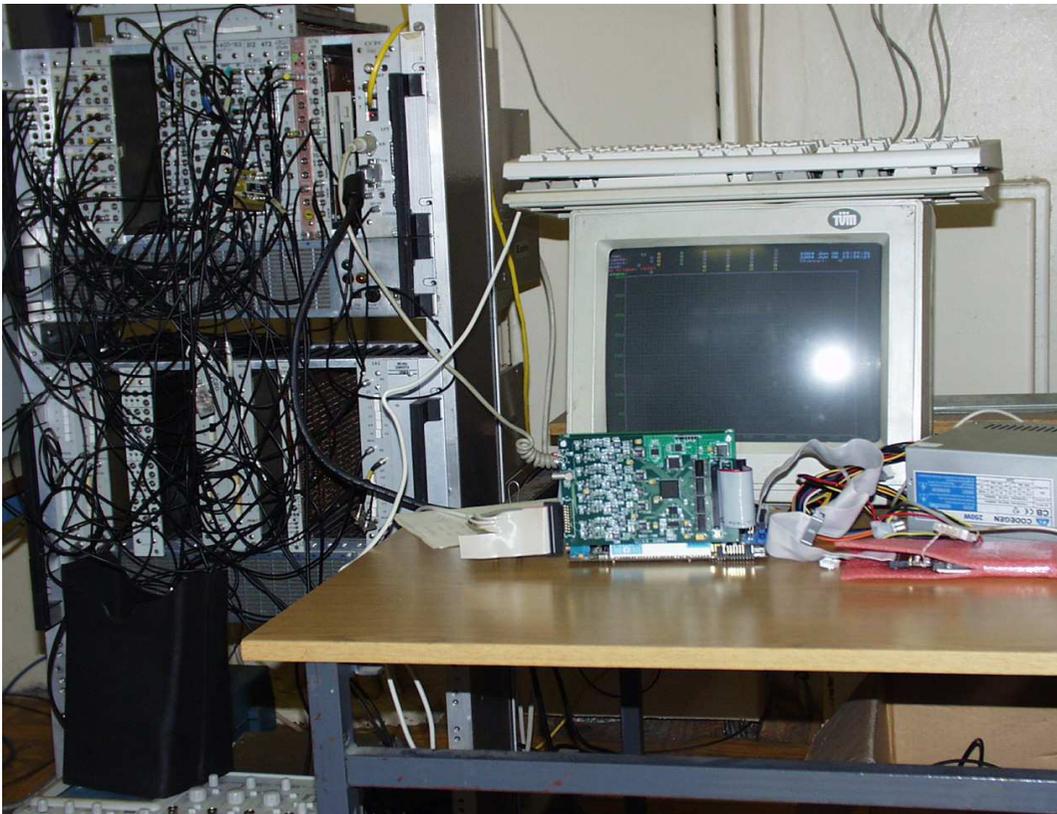
---



- 9 ячеек 10x10 мм<sup>2</sup>

# Портативный НГ

## Электроника сбора данных

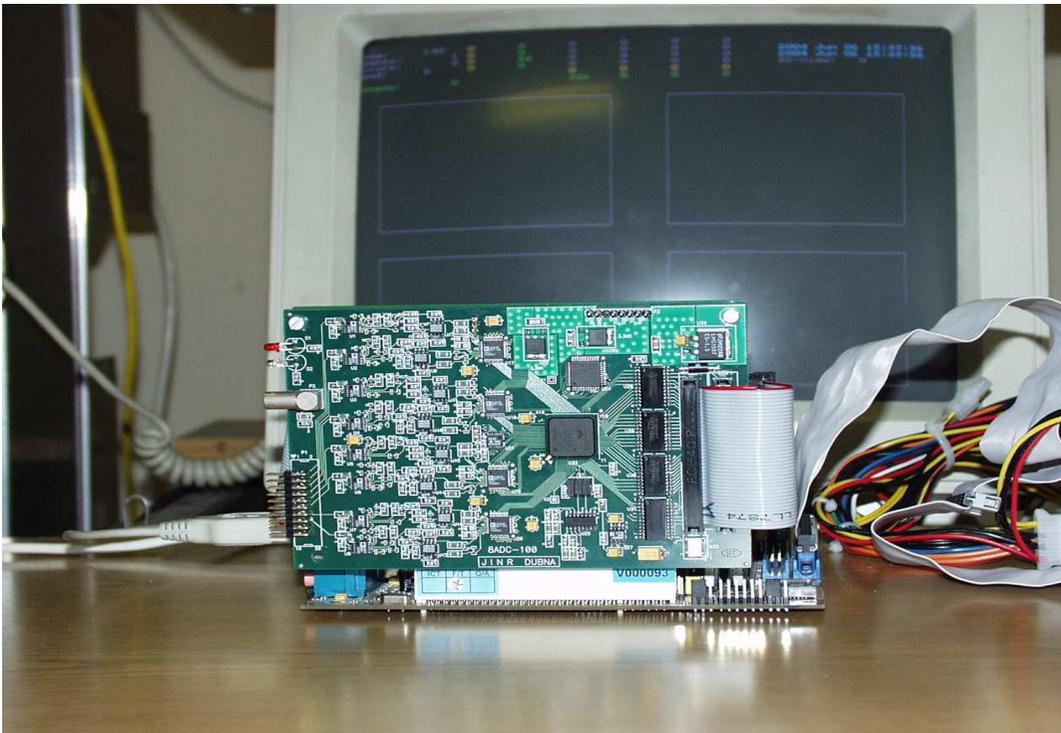


- Разработана плата электроники для съема информации с 4 $\alpha$ - и 4  $\gamma$ -детекторов (в центре), которая заменит крейт старой электроники съема данных (на фото – слева)

# Портативный НГ

## Электроника сбора данных

---

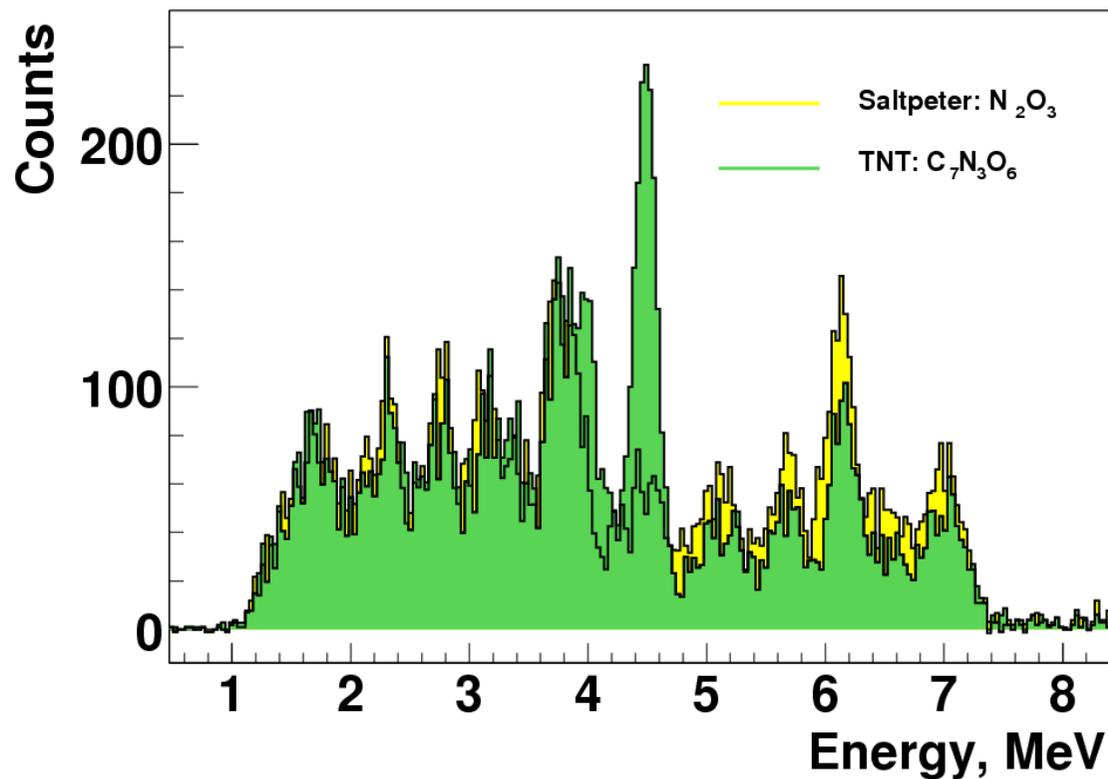


- Плата электроники

# Идентификация веществ

## Спектры $\gamma$ -квантов

---

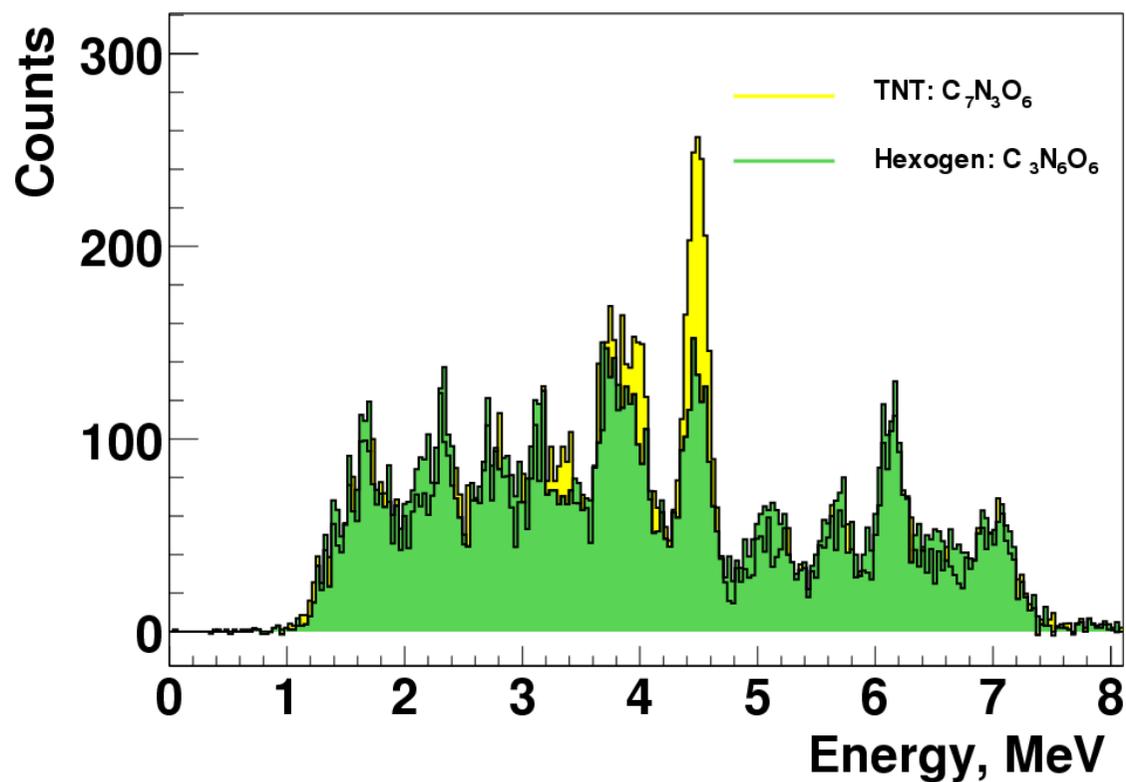


Селитра  
( $N_2O_3$ )  
и  
тротил  
( $C_7N_3O_6$ )

# Идентификация веществ

## Спектры $\gamma$ -квантов

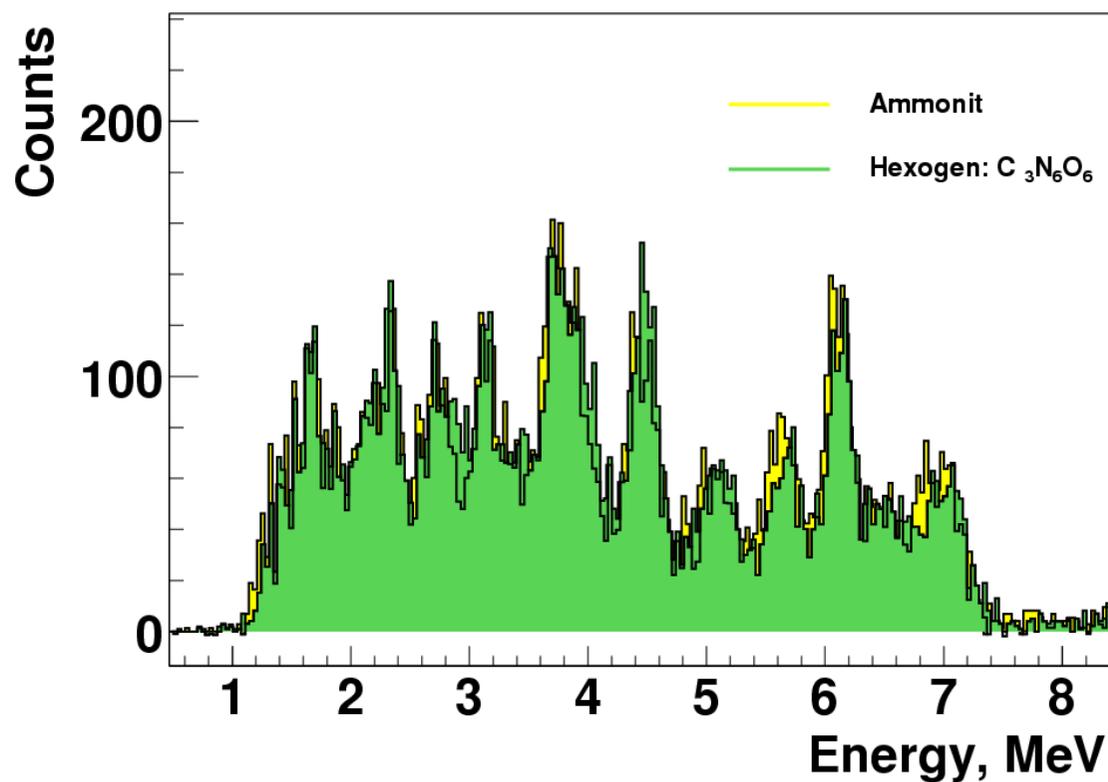
---



Тротил  
(C<sub>7</sub>N<sub>3</sub>O<sub>6</sub>)  
и  
гексоген  
(C<sub>3</sub>N<sub>6</sub>O<sub>6</sub>)

# Идентификация веществ

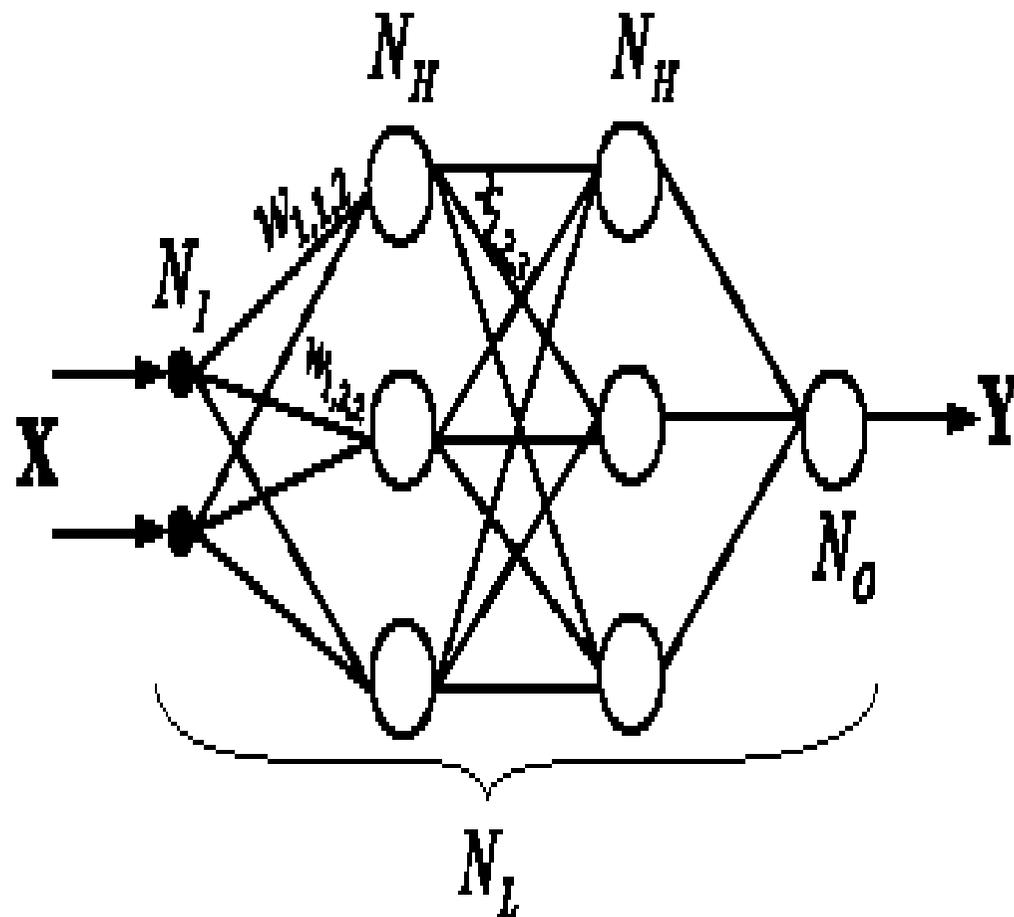
## Спектры $\gamma$ -квантов - проблемы



**АММОНИТ**  
(20% ТНТ + 80% селитры)  
( $\sim\text{C}_3\text{N}_5\text{O}_7$ )  
И  
гексоген  
( $\text{C}_3\text{N}_6\text{O}_6$ )

# Идентификация скрытых веществ с помощью нейронной сети

---

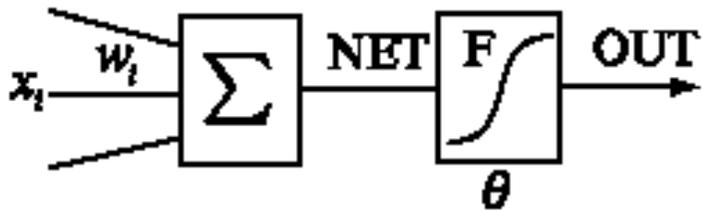


# Идентификация спектров

## Формальный нейрон

---

$$\text{OUT} = F\left(\sum_i w_i x_i - \theta\right)$$

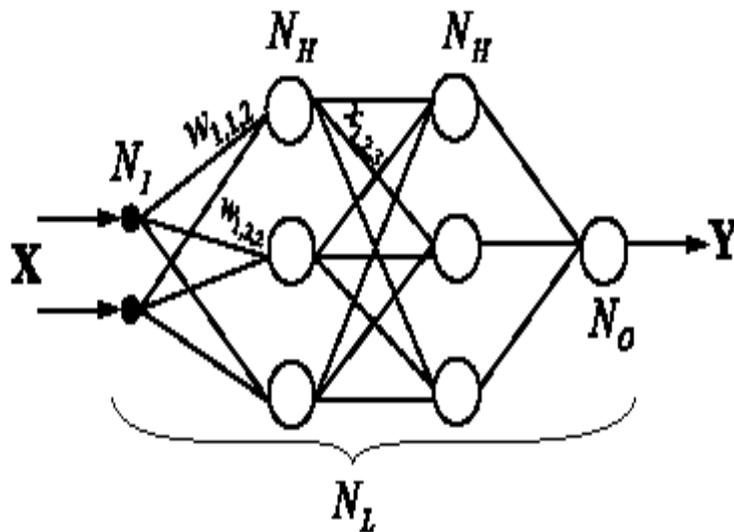


$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

- $x_i$  – входные сигналы
- $w_i$  - весовые коэффициенты
- $\theta$  - пороговый уровень
- $F()$  - функция активации

# Идентификация спектров

## Многослойный персептрон



- несколько слоёв: входной, скрытый(ые), выходной.
- $X$  – входной вектор
- $Y$  – выходной вектор
- $N_I$  - входной слой
- $N_H$  - скрытый слой
- $N_O$  – выходной
- $w_{i,j,k}$  – матрица весов

# НС – pros et contras

## Идентификация спектров

---

### Pros:

- Сверхбыстрая работа
- обучаемость
- «Мистическое» обнаружение закономерностей (обобщение и абстрагирование)

### Contras:

- Неоднозначность выбора конфигурации сети
- Трудности с представлением данных
- Нетривиальность выбора обучающего материала
- «Мистическое» обнаружение закономерностей

# Идентификация спектров

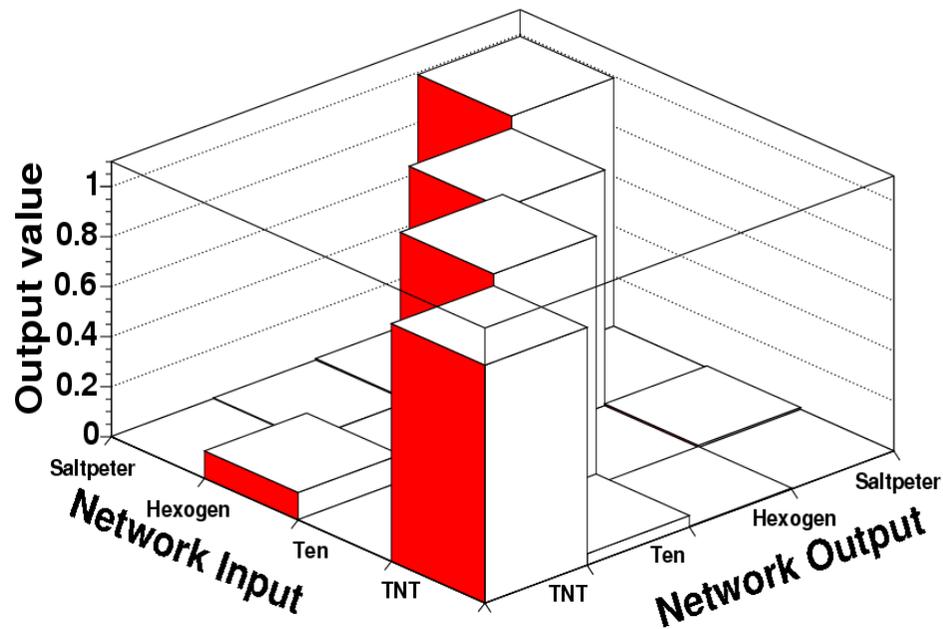
## Обучение сети

---

- Набор опорных спектров с большой статистикой
- Размножение спектров методом МС - по  $2000 \pm 500$  событий в спектре
- Обучение сети из пакета NeuNet (<http://e.home.cern.ch/e/ernen/www/NN/index.html>), вход сети – энергетический спектр, выход  $\delta_{km}$
- Выбранная конфигурация  $34 \rightarrow 15 \rightarrow 4$

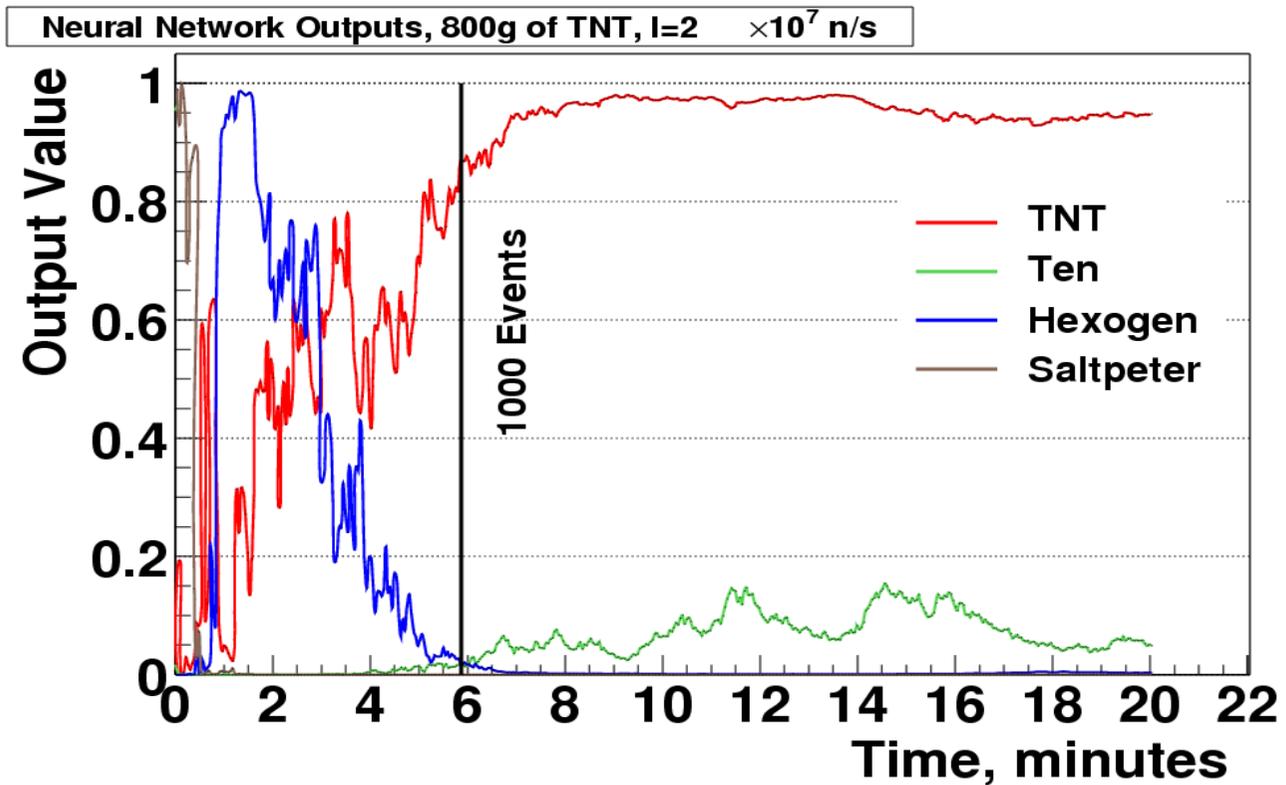
# Идентификация спектров

## Обучение сети



- Образцы по 800г
- Обучение: часовые экспозиции
- Проверка: 20-ти минутные экспозиции

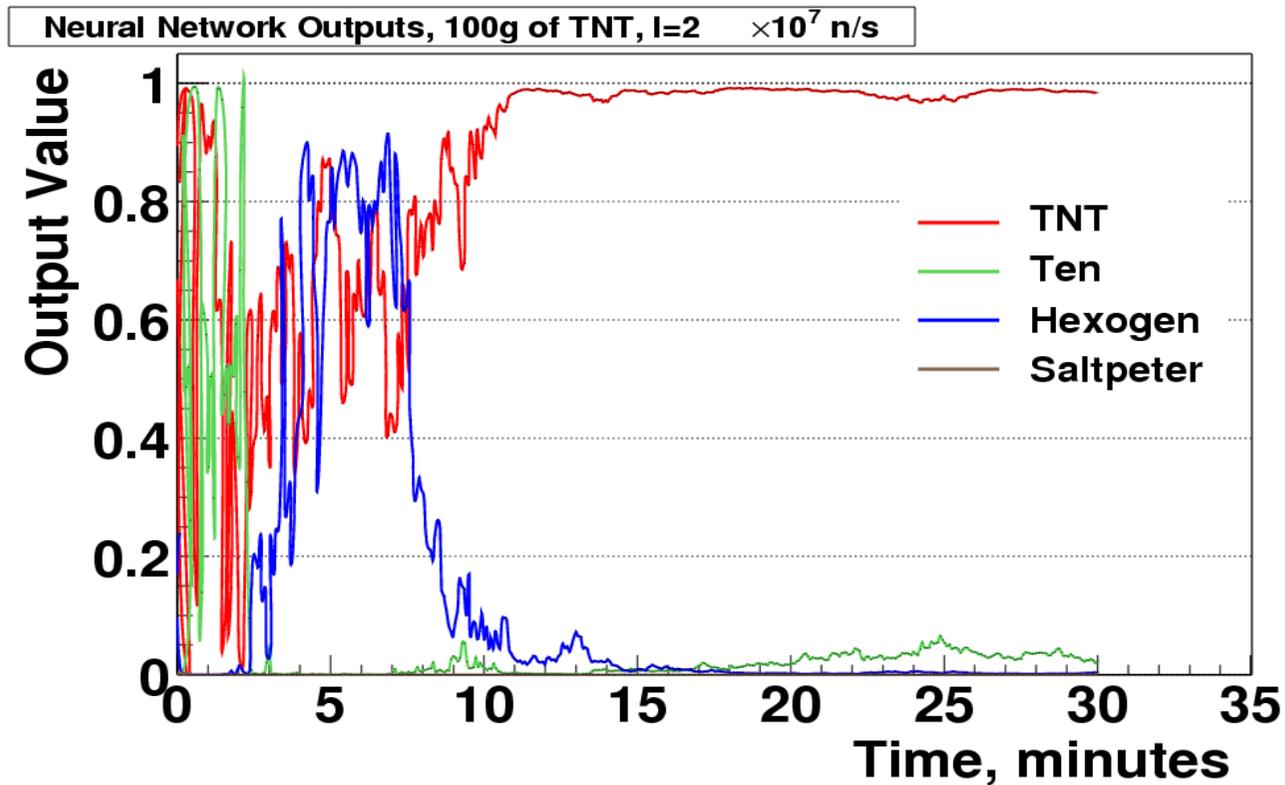
# Идентификация спектров Динамика выходов сети



# Идентификация спектров

## Динамика выходов сети

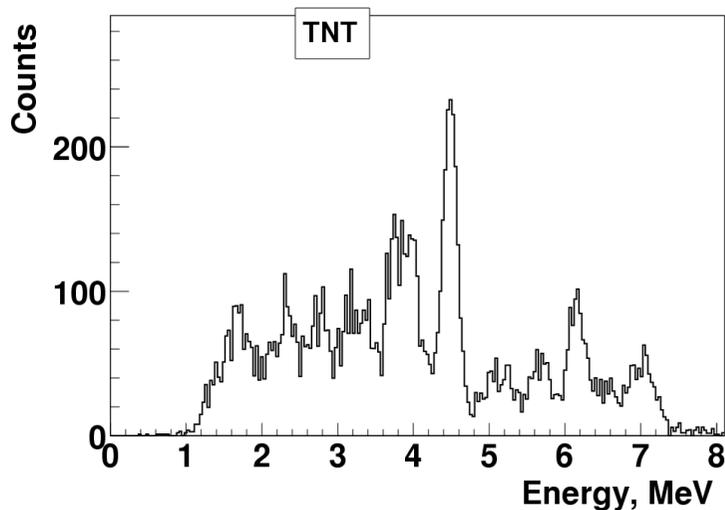
---



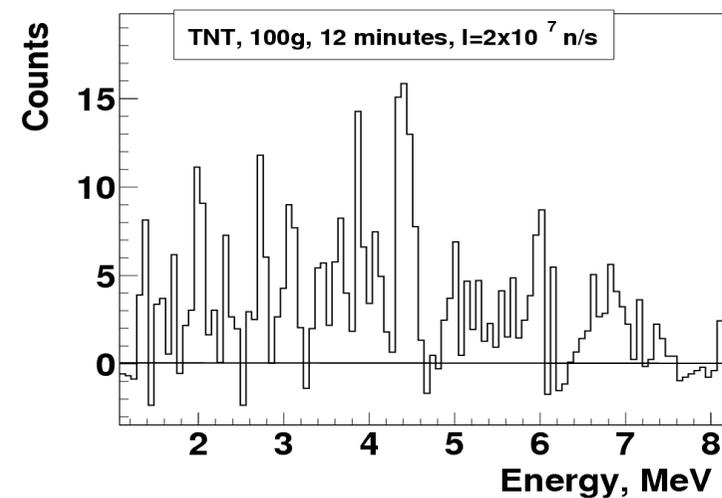
# Идентификация спектров

## Динамика выходов сети

---

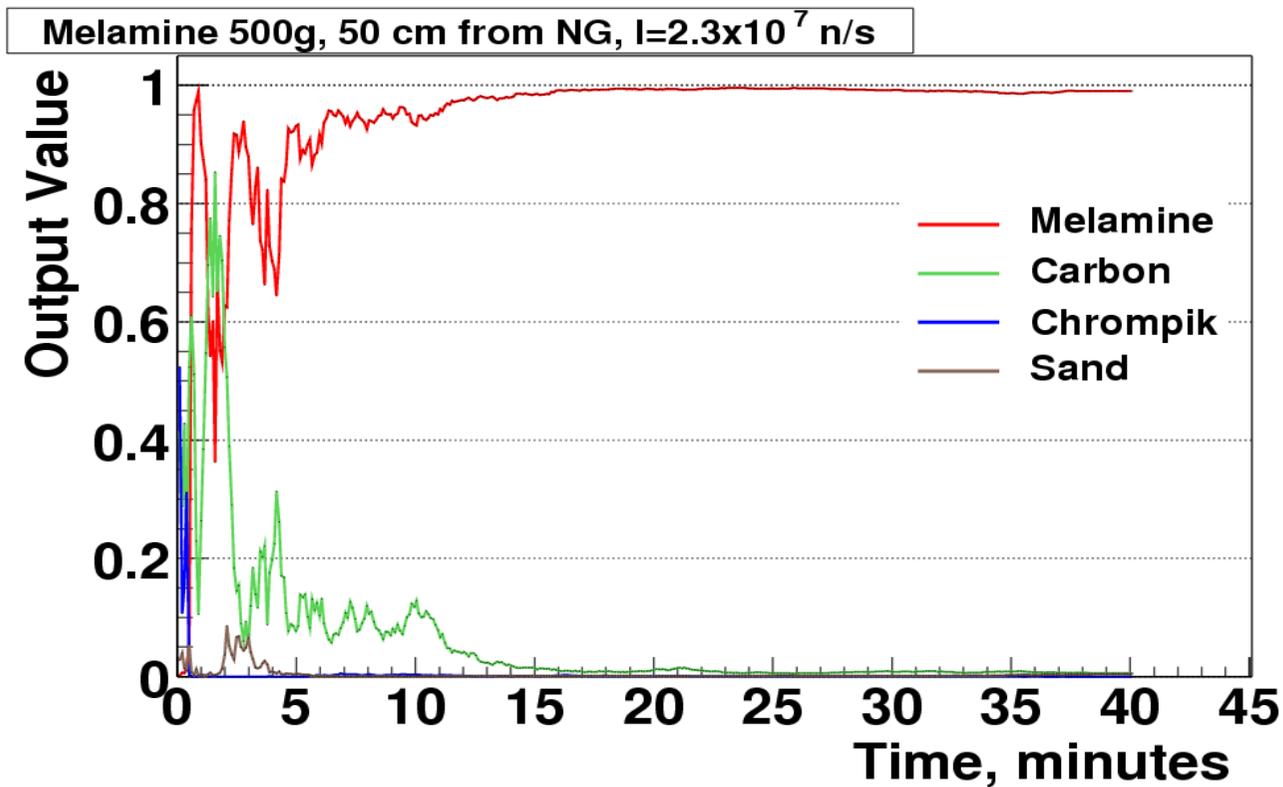


Опорный спектр  
ТНТ

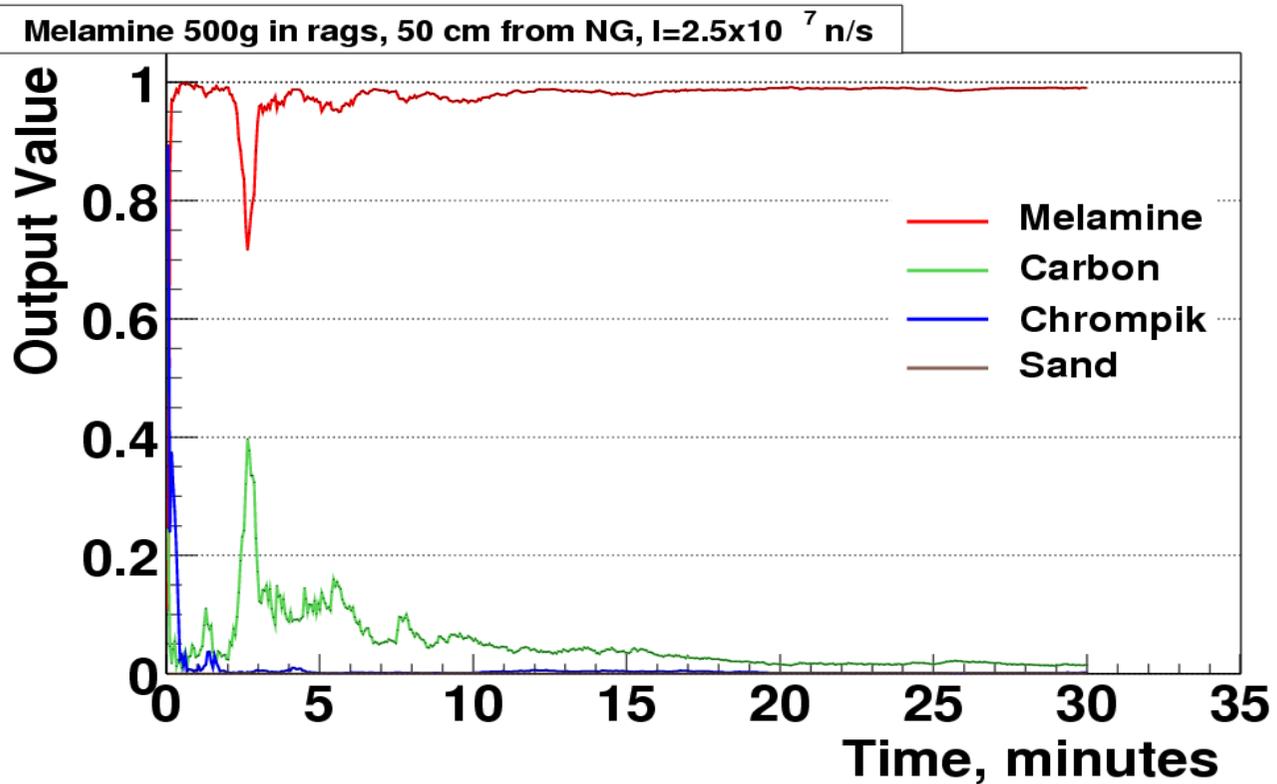


Спектр на котором  
произошло  
определение

# Идентификация спектров Динамика выходов сети



# Идентификация спектров Динамика выходов сети



## **Идентификация спектров**

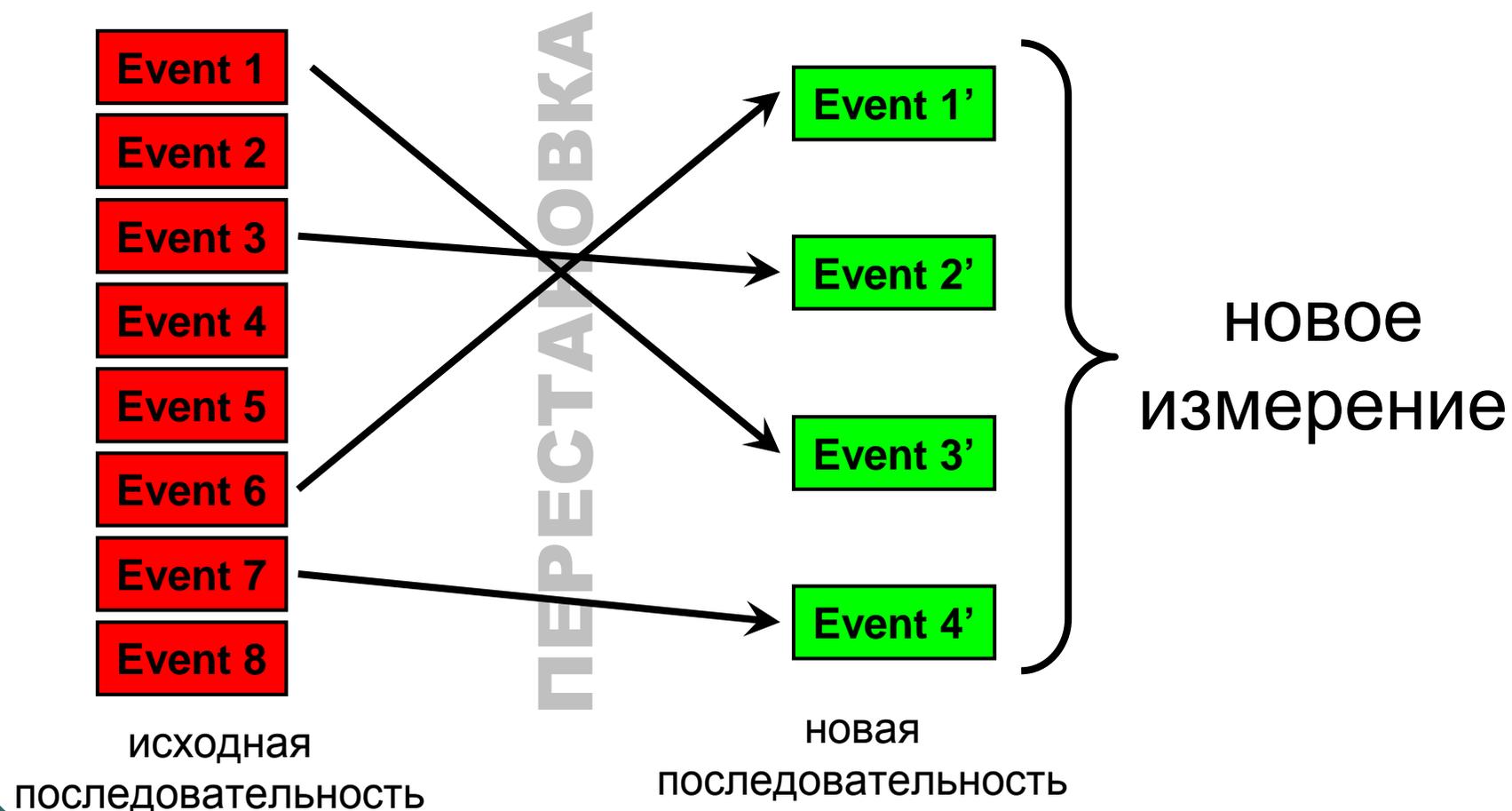
### **Оценка времени идентификации**

---

- Время идентификации: значение выхода “главного” нейрона больше 0.8, значение выходов всех остальных нейронов меньше 0.2
- Нельзя определять по одному измерению
- Где взять столько измерений?

# Идентификация спектров

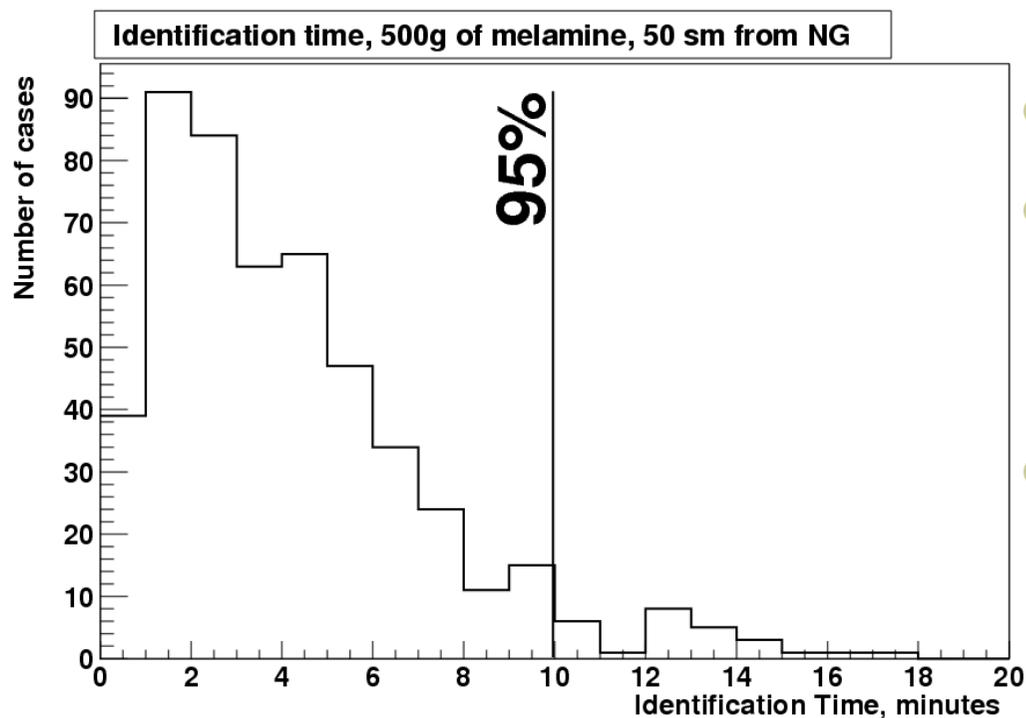
## Оценка времени идентификации



# Идентификация спектров

## Оценка времени идентификации

---



- 500 испытаний
- с вероятностью 95% определение за 10 минут
- большая часть определена за меньшее время

## **Выводы**

---

- R&D – выполнено. Исследованы возможности МНН.
- Работаящий прототип детектора – создан. Испытания ГТК успешно пройдены.
- Опытный образец – создаётся (ГТК, ФСБ).