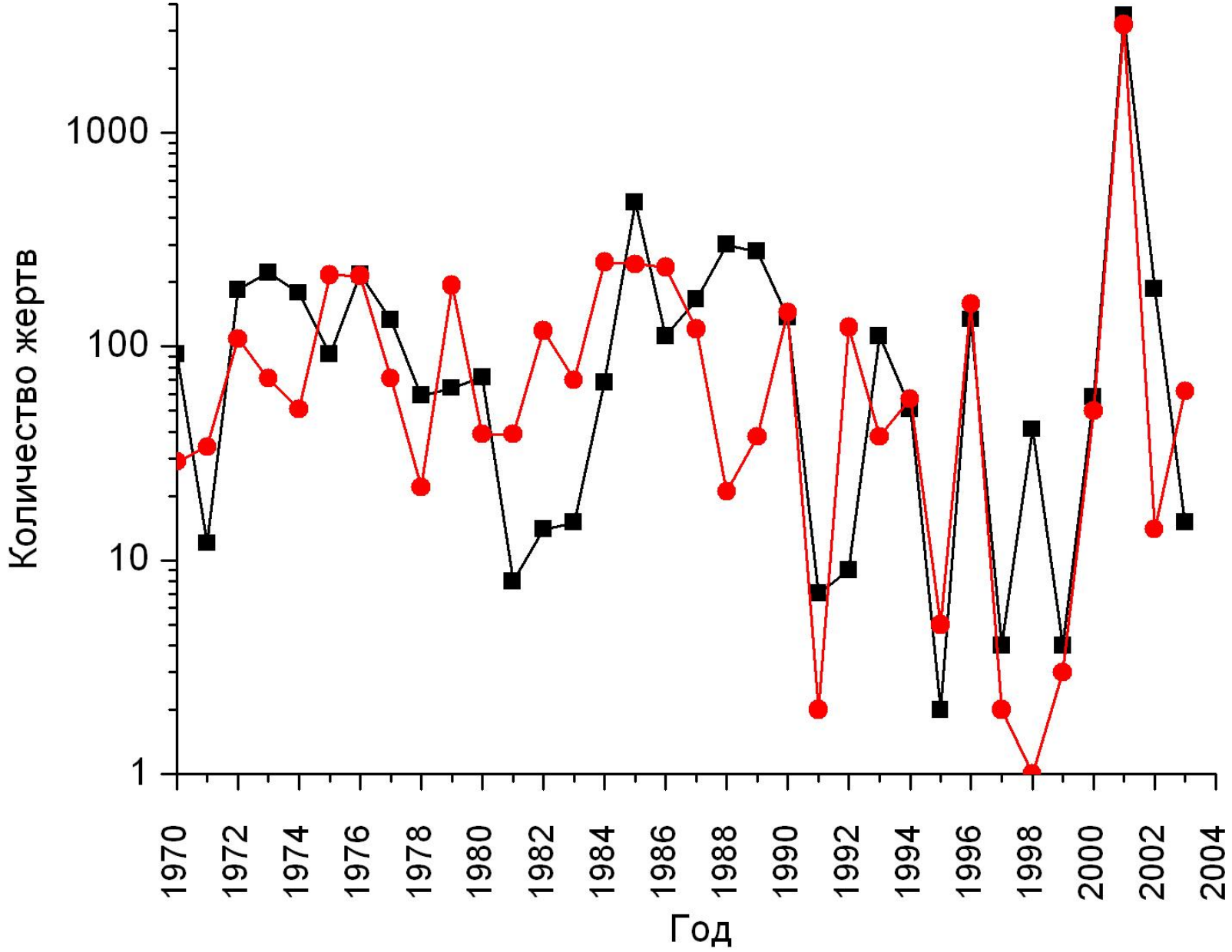
. Жертвы террористических актов последнего двадцатилетия

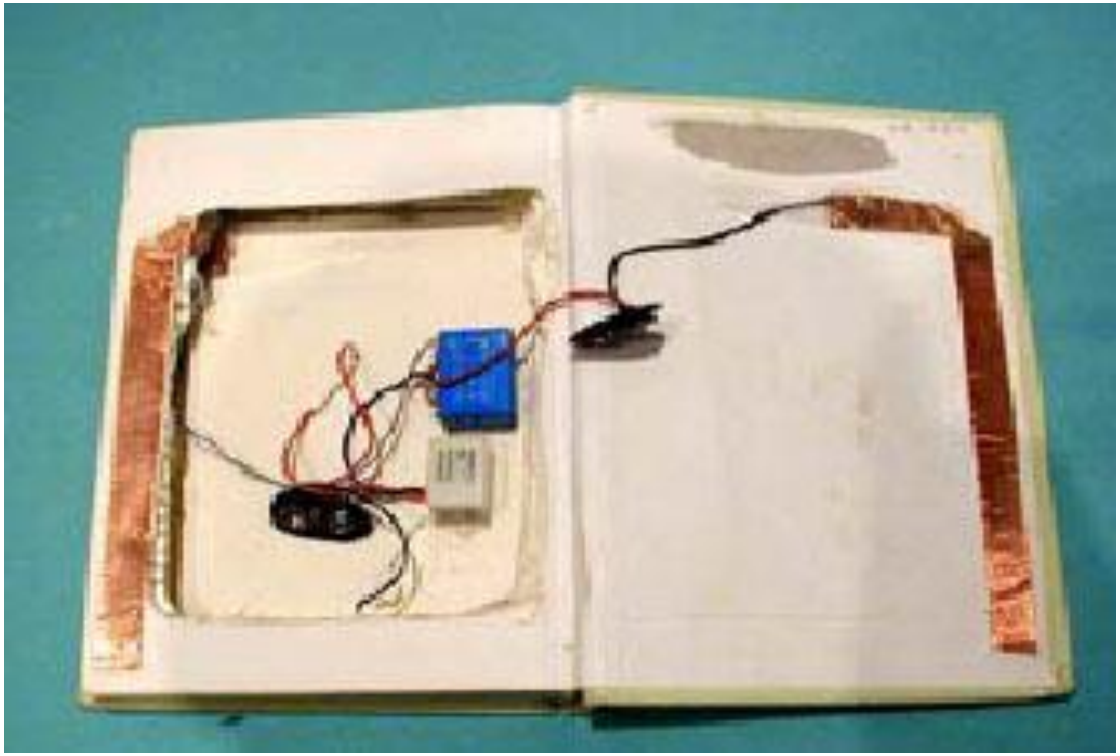
Год	Местонахождение	Тип ВВ	Кол-во раненных	Кол-во убитых
1983	Бейрут (Ливан)	С4, 12 кг ТЭ		300
1993	Нью-Йорк (США)	Нитрат мочевины, 480 кг	~1000	6
1993	Бомбей (Индия)	RDX	~1200	317
1993	Лондон (Великобритания)	Селитра 1200 кг	40	1
1995	Оклахома-Сити (США)	ANFO (смесь аммонала и мазута) 2000 кг	~1000	168
1996	Манчестер (Великобритания)	Селитра 400 кг	~200	0
1996	Кобар Тауэрс (Саудовская Аравия)	С4, 0.5- 30 кг ТЭ	372	19
2000	Йемен (Йемен)	400 кг ТНТ	39	17
2002	Бали (Индонезия)	Хлорат аммония, 100 кг	209	202
2003	Стамбул (Турция)	Вероятно С4	450	28
2004	Мадрид (Испания)	Гелигнит	~600	191
2005	Лондон (Великобритания)	Пероксид	~700	56
2006	Мумбаи (Индия)	Гексоген	625	190
2007	Хайдарабад (Индия)	Нет данных	~50	32
2008	Шт. Ассам (Индия)	Нет данных	~300	56

Жертвы терактов в гражданской авиации



Книга- бомба

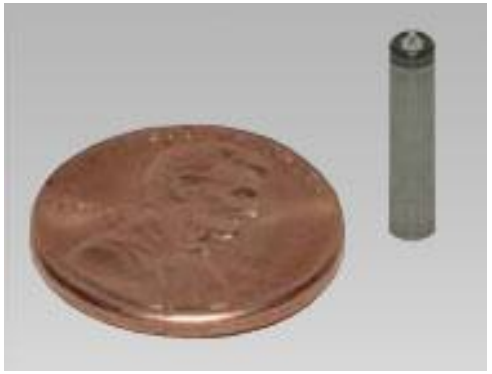
В 1996 году в США был арестован профессор Т. Казинский, который в течении 18 лет держал в страхе всю Америку, рассылая по почте взрывчатые устройства, от которых пострадали десятки людей. Цель террориста-ученого - “изменить направленность” человеческого прогресса, доказать гибельность НТР, урбанизации. Под угрозой новых террористических актов он вынудил ведущие американские газеты опубликовать свой манифест, в котором излагались его взгляды на развитие мира. Был выдан полиции родным братом, арестован 3 апреля 1996.



Взрывное устройство состоит из:

- Закладки бризантного ВВ
- Детонатора ВВ
- Нагревательного элемента
- Источника питания

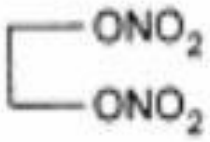
В России -пластит ПВВ-4, тротил и гексоген.
В США и в высокоразвитых странах Европы для террористических актов используют преимущественно самодельные ВВ, на основе амиачной селитры и пероксидов.
Из пластидов чаще используют С-4 на основе RDX, находящегося на вооружении армии США.
Детонатор- ВВ с малым критическим диаметром, например, азид свинца- критический диаметр 0,01 мм. Комбинированный детонатор.



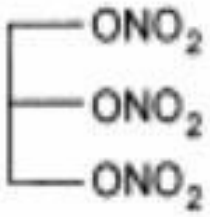
Батарейка QL0003I фирмы Quallion
Масса 0,2 г, ток 15 мА при напряжении 3,6 В. Размеры ⌀2.9 х11.8 мм

Тонкопленочная батарейка
Толщина 0,3- 0,6 мм,
напряжение 3- 4 В,
плотность тока 0,5 мА/см2

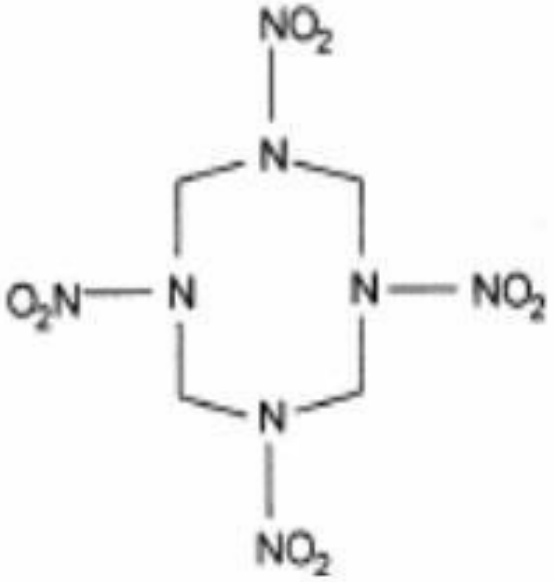
Химическая структура ВВ



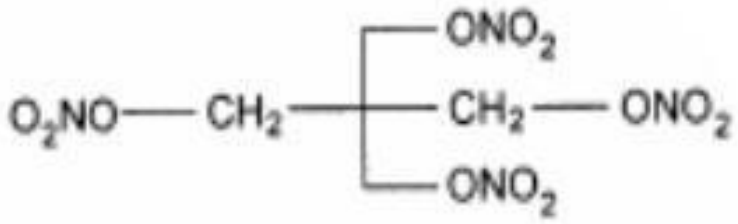
Ethylene Glycol Dinitrate (**EGDN**)



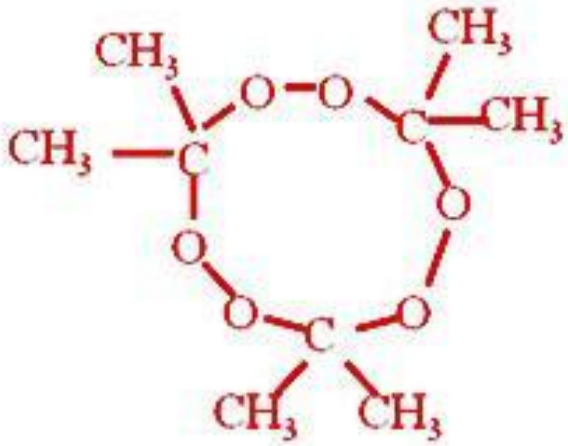
Nitroglycerin (**NG**)



Tetrazacyclooctane(**HMX**)



Pentaerythritol Tetranitrate (**PETN**)



Triacetone- Triperoxide (**TATP**)

Бризантные свойства первичных ВВ

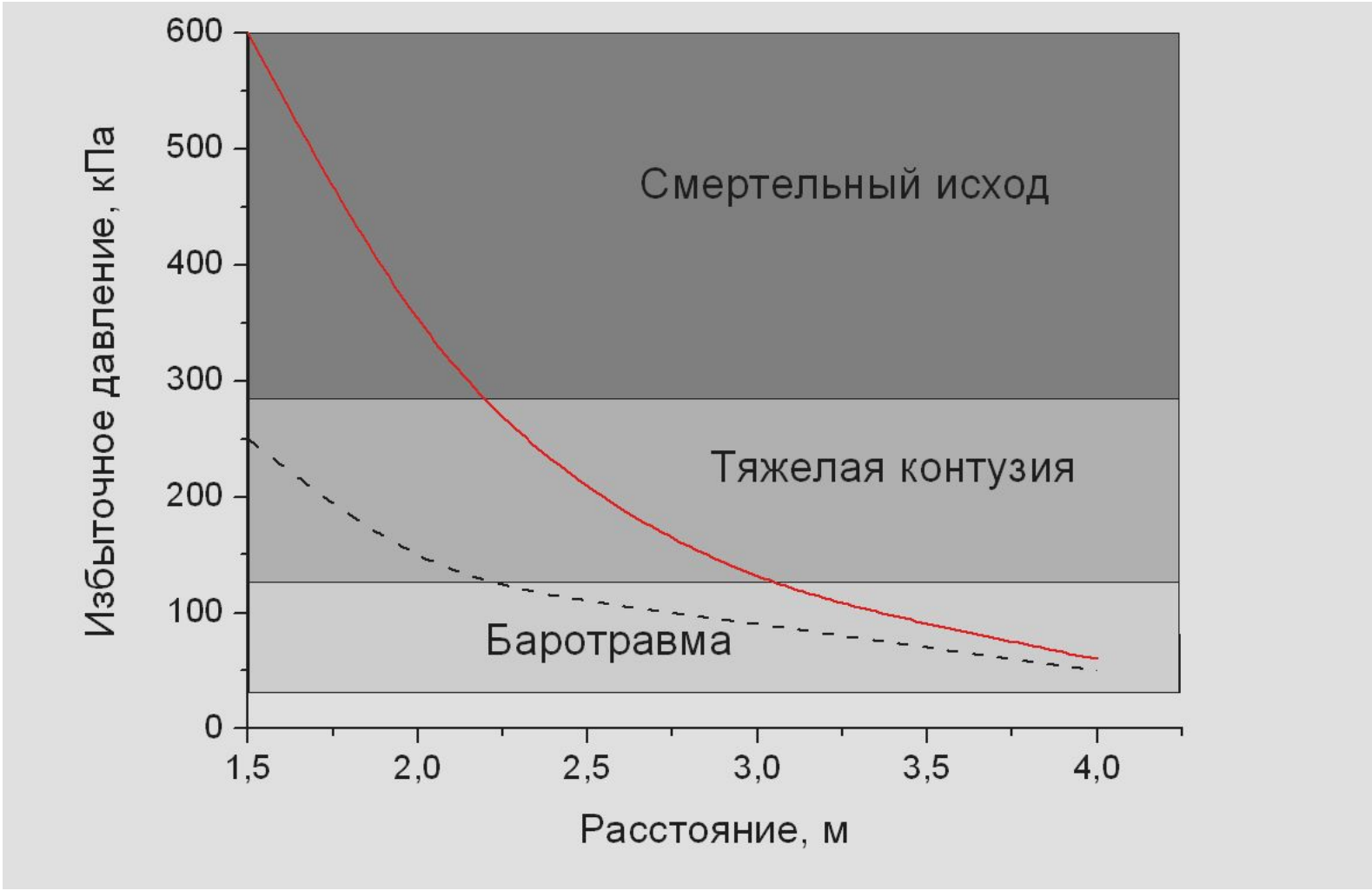
Взрывчатое вещество	Свойства			Скорость детонации, км/сек	
	мол.вес. г/мол	Т пл. С	плотность, г/см^3		
Нитрометан	61	-29	1.1	6.2	110%
PETN	316	143	1.7	8.0	174%
Пикриновая кислота	229	122	1.8	7.7	105%
Тетрил	287	129	1.7	7.7	144%
TNT	227	81	1.6	6.9	100%
RDX	222	204	1.8	8.6	160%
HMX	296	285d	1.9	9.1	160%
Селитра	80	169	1.7	3.7	60%
TATP	222	98	1.2	5.3	88%
HMTD	208	148	1.6	5.1	60%

ВВ способны взрываться без доступа кислорода (в вакууме, под водой)

При взрыве гексогена реализуется реакция

$$(CH^2)^3N^3(NO^2)^3 \rightarrow 3CO + 3H^2O + 3N^2$$

Зависимость избыточного давления от расстояния при взрыве тротила массой 0,5 кг (штриховая линия) и 1,0 кг (сплошная линия)



Зависимость безопасного расстояния от массы ВВ (тротила)

Масса ВВ, кг	Безопасное расстояние, м
<0,5	15-20
0,5-1	20-35
1,0-2,0	30-55
2,0- 4,5	50- 65
4,5-9,0	60- 80
9,0-13,5	70-90

- тип ВВ;
- наличие металлических предметов, например, капсюля детонатора, элементов взрывного устройства (ВУ). При взрыве убойной силой может обладать металлический осколок весом менее 0,1 г
- возраст, антропометрические данные, физическое состояние человека.
- особенности окружающей среды, размеры помещения и т.д.

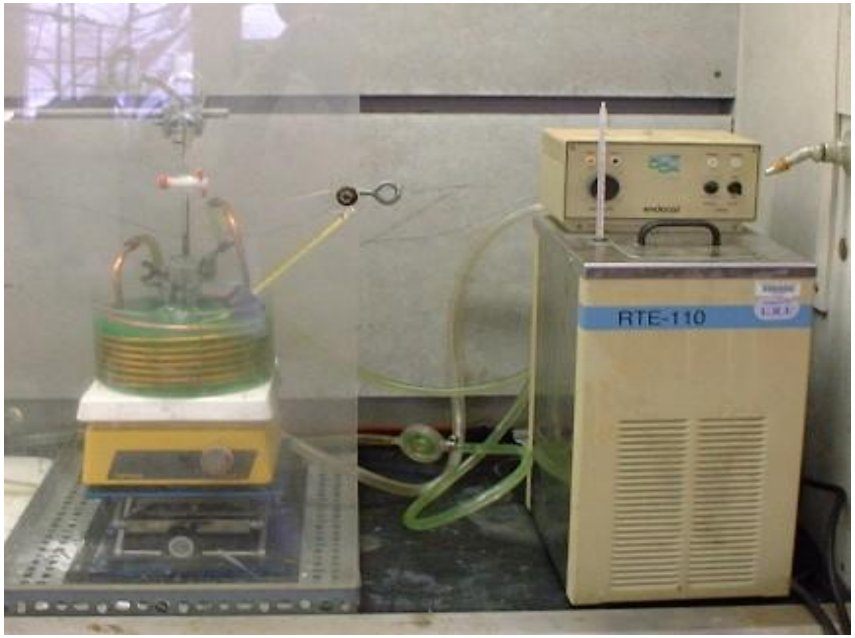
Классификация ВВ

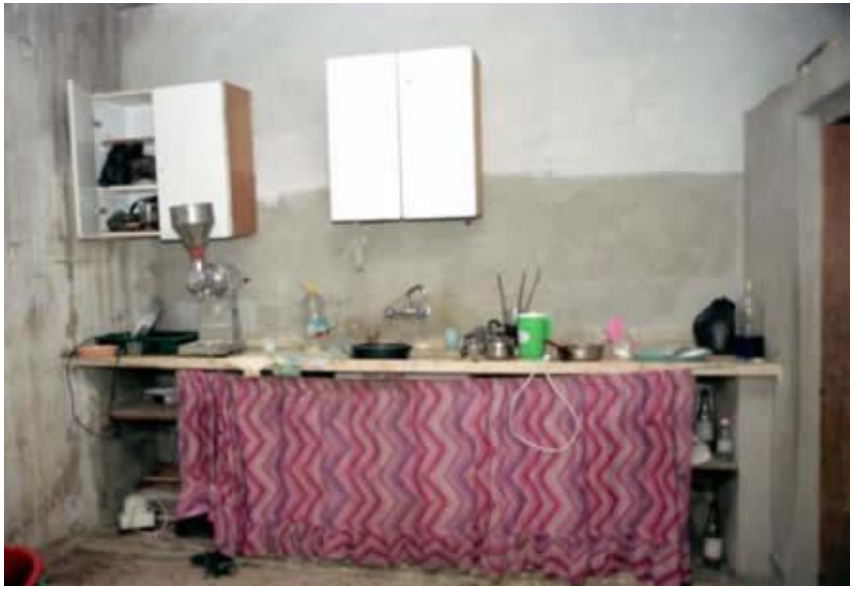
Тип ВВ	Плотность, г/см^3
Первичные бризантные ВВ- оружейные и промышленные ВВ	1.6- 1.9
Порошкообразные ВВ - смесь селитры, первичного ВВ и других ингредиентов (алюминий, древесная мука).	1.0- 1.2
Малоплотные ВВ- смесь гранулированных селитры и тротила) и пенополистирола.	0.3- 0.4
Жидкие или гелеобразные ВВ – смесь первичных ВВ с дизельным топливом или минеральным маслом.	0.85-1.2
Пероксиды- ТАТР	1.2
Самодельные ВВ- комбинации промышленных ВВ с наполнителями. Пример:-гексоген, селитра, алюминиевая пудра, сахар	0.3- 1.9

Критический диаметр взрывчатых веществ

Взрывчатое вещество	Критический диаметр, мм
Тротил (литой)	31,0 - 33,0
Аммониты	15,0 - 30,0
Тротил (прессованный)	10,0 - 12,0
Пикриновая кислота	7,0 - 9,0
Пластит ЭВВ-11	6,0
Тетрил	5,0 -7,0
Пластит ПВВ-4, ПВВ-5А, ПВВ-7	5,0- 6,0
Октоген	4,0
Гексоген	2,5- 4,4
Нитроглицерин (НГЦ)	2,5
ТЕН прессованный	2,0 - 3,2
Азид свинца	<0,01

Подпольные лаборатории по производству ВВ

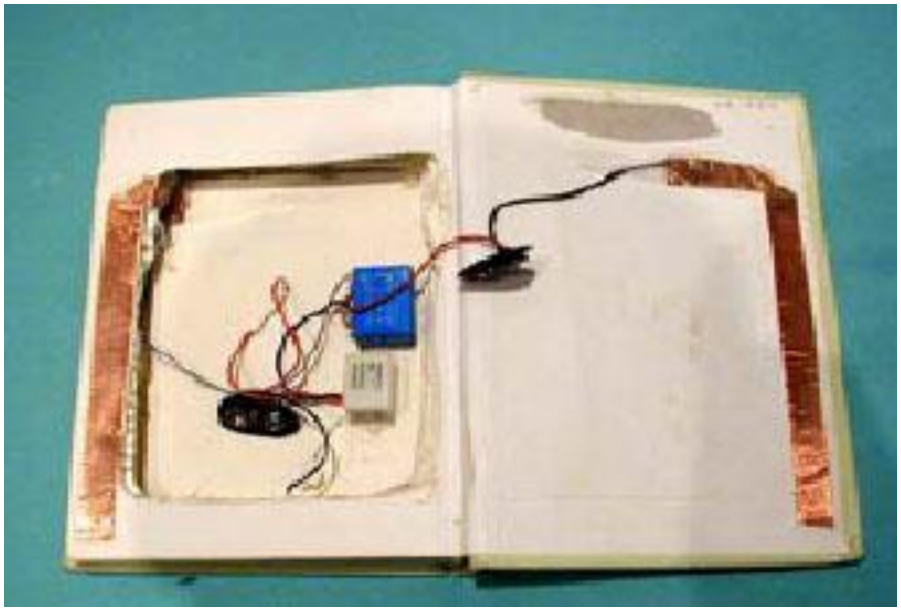




Самодельные боезаряды

Снаряды

ВВ в пищевом контейнере



Книга- бомба

Ботинок- бомба

Требования к системам обнаружения ВВ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ:

- **Отсутствие вредного влияния на содержимое багажа**
- **Надежное обнаружение вне зависимости от формы, положения, и ориентации ВВ в контейнере**
- **Безопасность для обслуживающего персонала**
- **ВВ должна обнаруживаться на фоне бытовых предметов**

ГРАЖДАНСКАЯ АВИАЦИЯ:

- **Минимальное количество обнаруживаемых ВВ (ТНТ)– от 300 г**
- **Вероятность обнаружения ВВ – 95- 98%**
- **Габариты типового багажа 100х70х50см**
- **Скорость движения при контроле - до 1 м/сек**

ТАМОЖЕННЫЙ ДОСМОТР МОРСКИХ КОНТЕЙНЕРОВ:

- **Скорость проверки контейнера- 20 контейнеров в час или 40 см/сек;**
- **Возможность идентификации ВВ за защитой эквивалентной 5 см стали;**
- **Размеры туннеля – 3 х3 м.**
- **минимальная масса обнаруживаемого ВВ (ТНТ) - от 0,5 кг;**
- **возможность работы на открытом воздухе.**

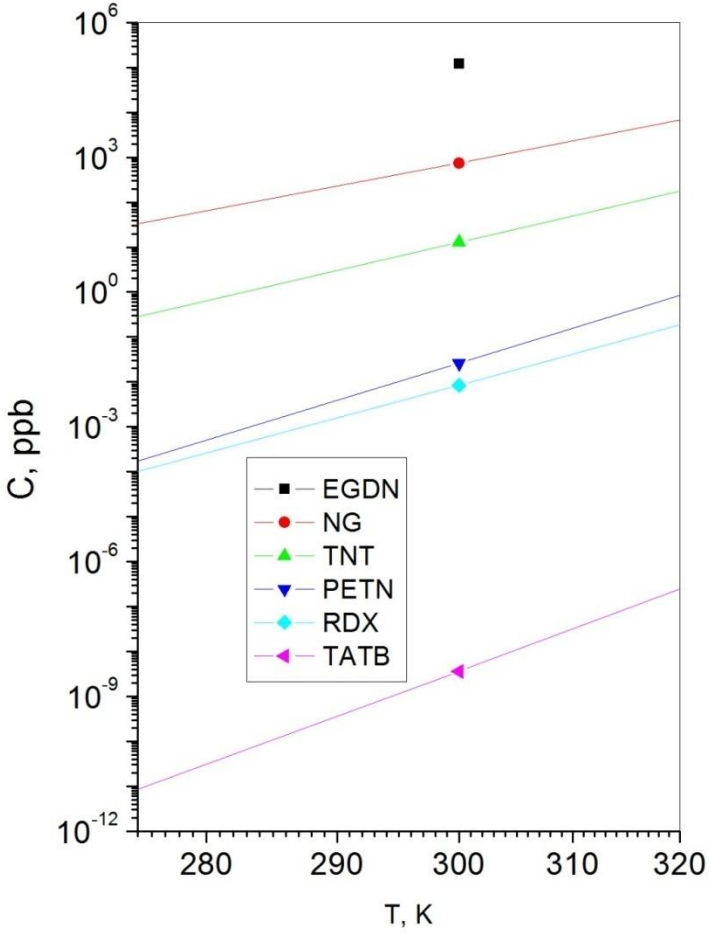
ПОЧТОВЫЕ ОТПРАВЛЕНИЯ:

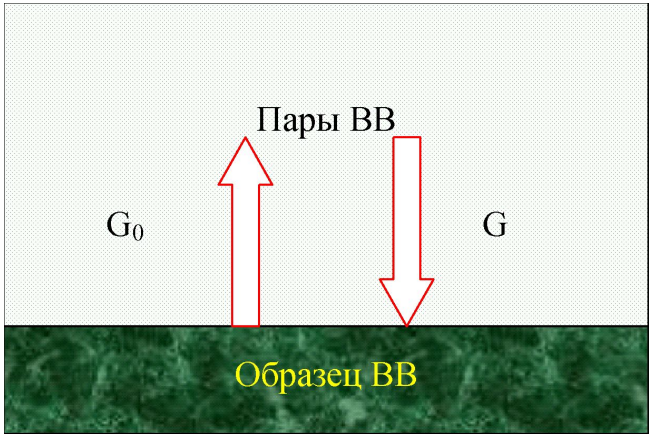
- **Скорость проверки – 2500 ед./час**
- **минимальная масса обнаруживаемого ВВ - 0,03 кг (ТНТ);**
- **габариты пакетов - 350х250х40 мм**

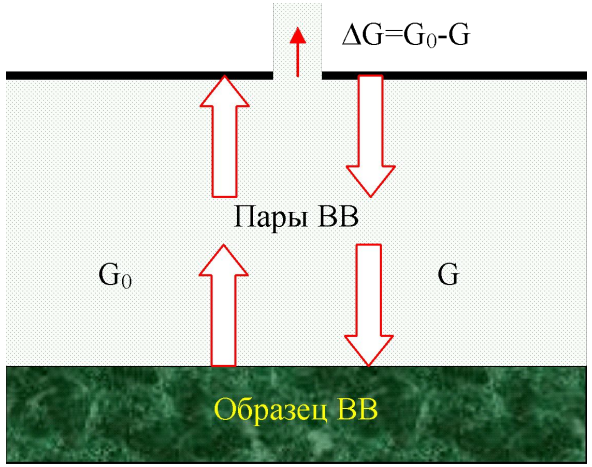
Не ядернофизические методы обнаружения ВВ

Детекторы паров ВВ

1. Собаки (чувствительность, работа в полевых условиях, сложная дрессировка, утомляемость, быстрый выход на пенсию).
2. «Электронный» нос (чувствительность, ложные срабатывания)

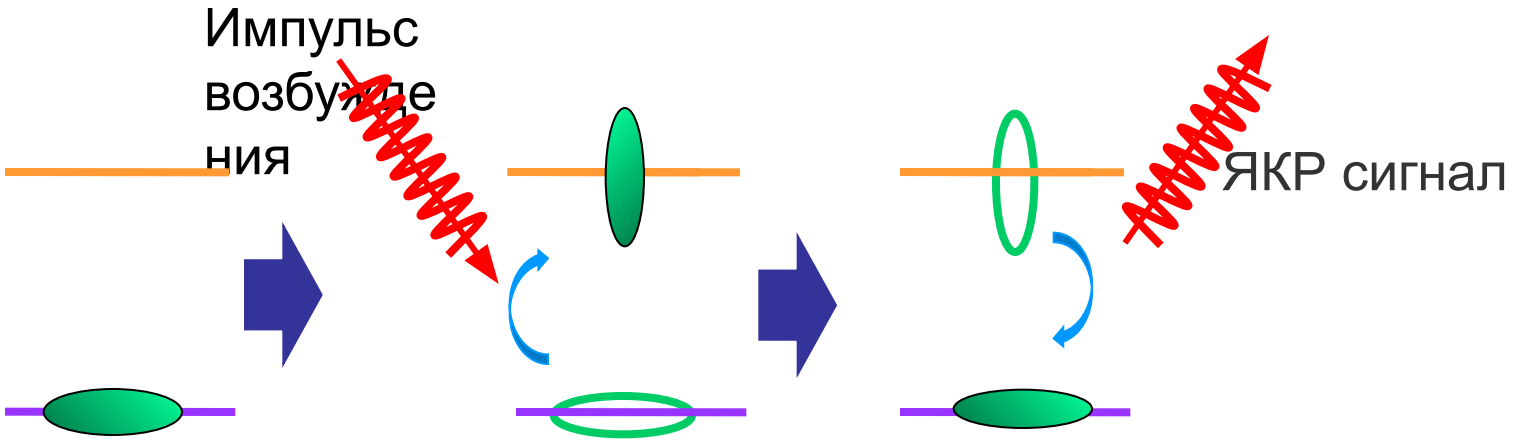


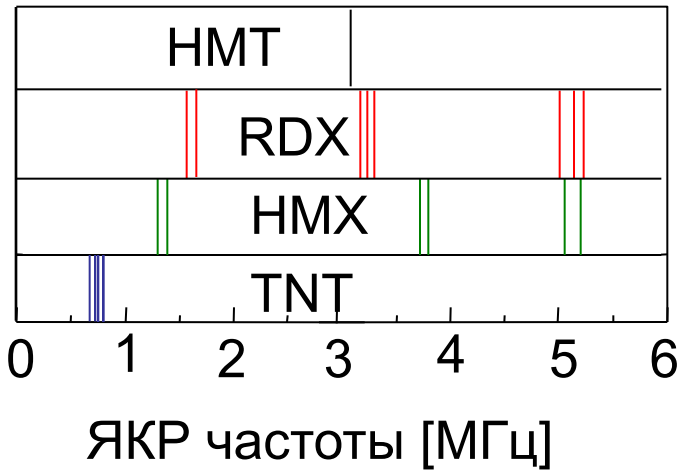




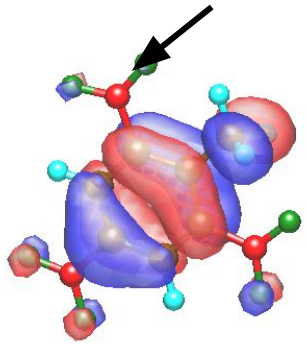
Не ядернофизические методы обнаружения ВВ

Ядерный квадрупольный резонанс





Соединения азота



TNT

Ядерный квадрупольный резонанс

Достоинства:

- Проникающая способность
- Быстродействие
- Высокая чувствительность

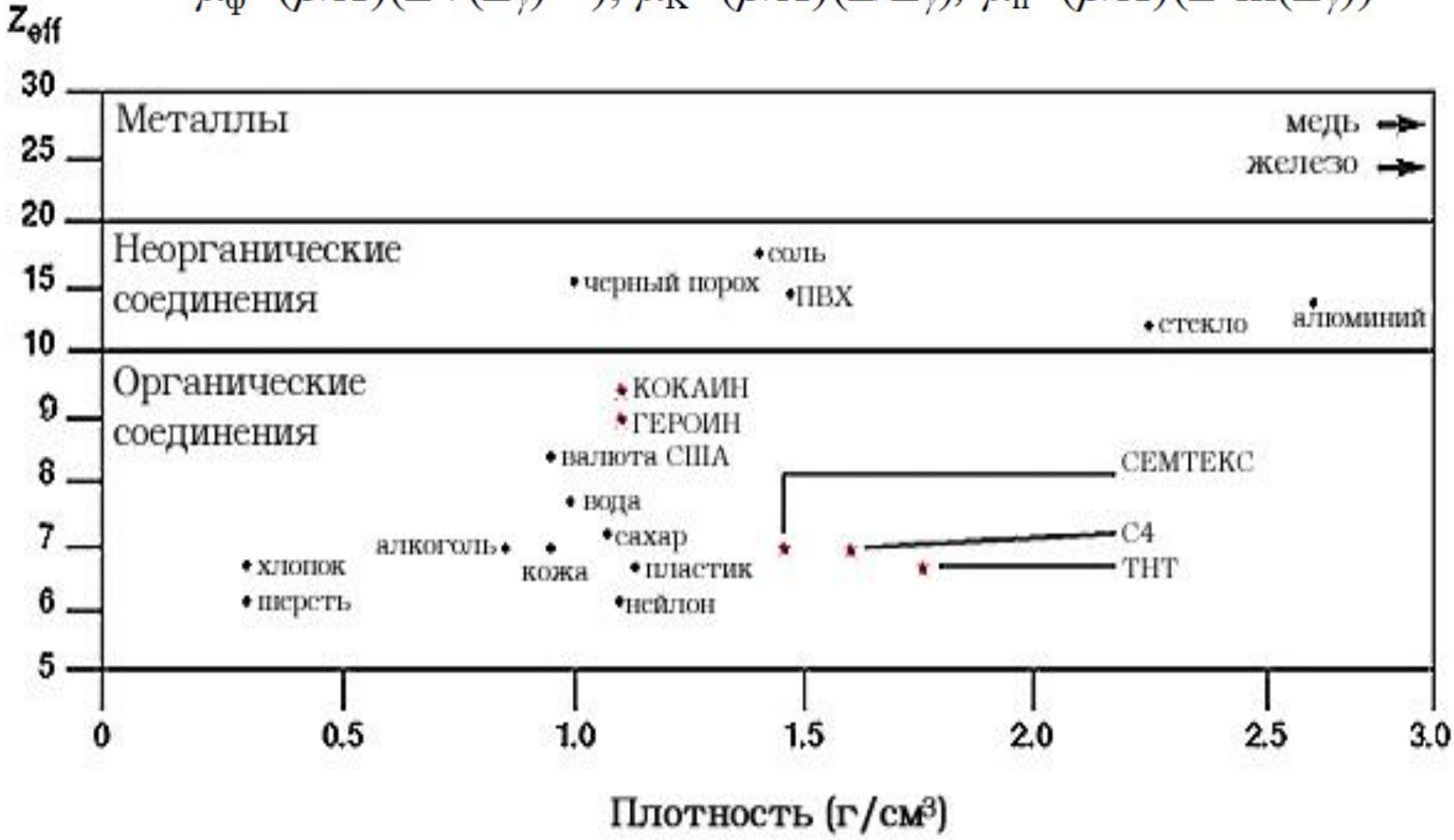
Недостатки

- Экранировка металлом
- Не обнаруживает ВВ, которых нет в БД спектров
- Не обнаруживает жидкие ВВ

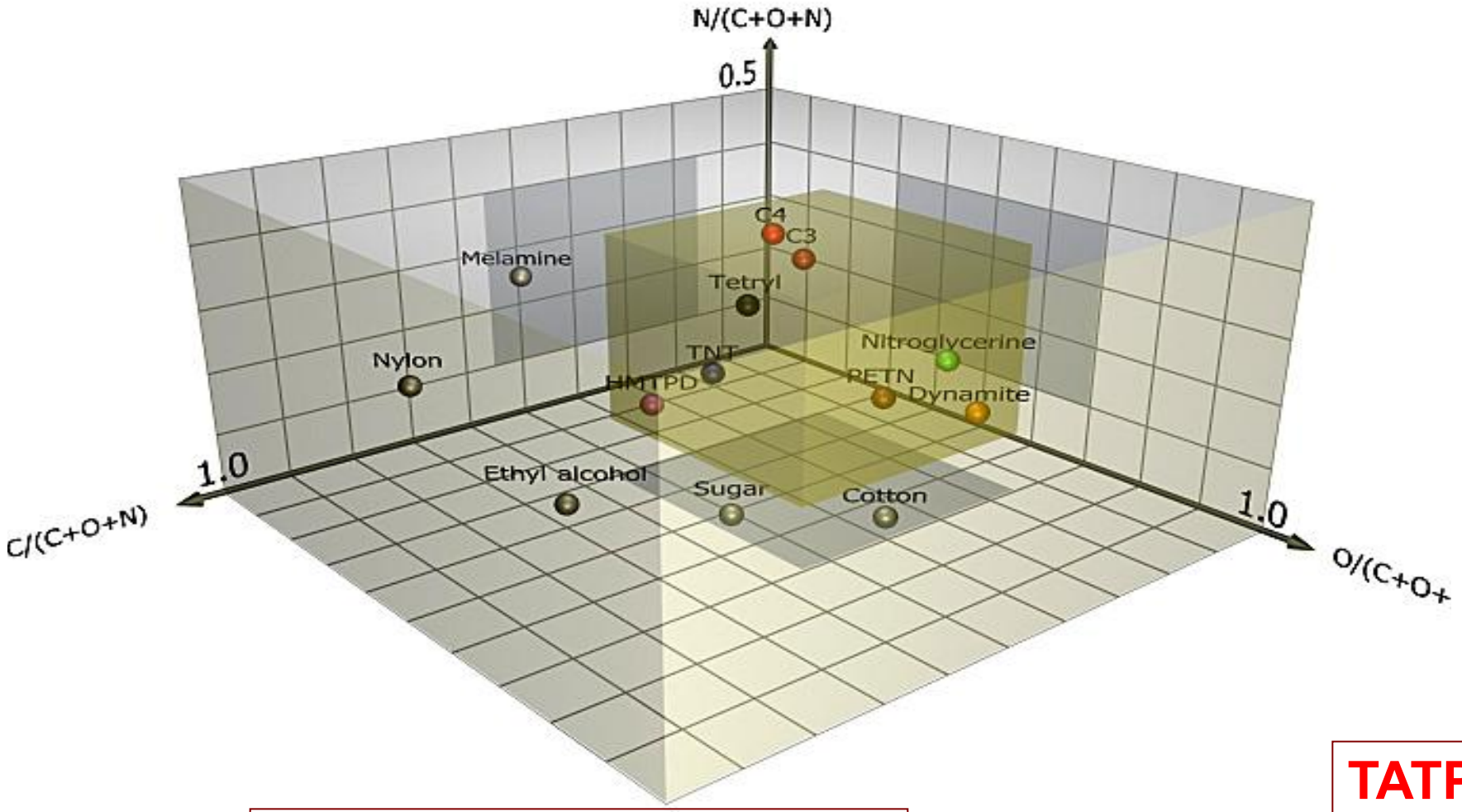
Рентгеноскопические свойства ВВ

$$\mu = \mu_ф + \mu_к + \mu_п$$

$$\mu_ф \sim (\rho/A)(Z^5/(E_\gamma)^{7/2}),\ \mu_К \sim (\rho/A)(Z/E_\gamma),\ \mu_п \sim (\rho/A)(Z^2 \ln(E_\gamma))$$



Химический состав ВВ



n_O = O/(C+N+O) - 0.1-0.4;
n_C = C/(C+N+O) - 0.15-0.55;
n_N = N/(C+N+O) – 0.1- 0.3.

ТАТР

n_O = O/(C+N+O) =0.4
n_C = C/(C+N+O) = 0.6
n_N = N/(C+N+O) =0

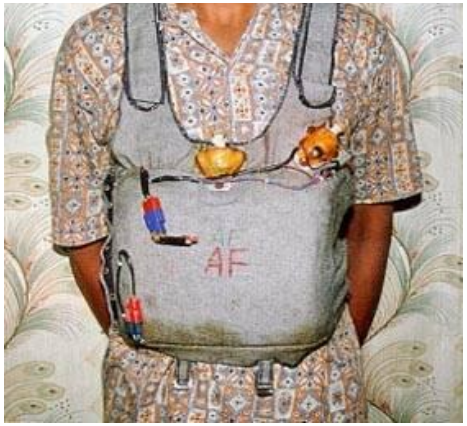
Конфигурации ВВ, наиболее сложные для обнаружения

ВВ (например, на основе пластитов) в форме тонкого листа

ВВ сильно отличающихся по физико-химическим свойствам от первичных ВВ (например, малоплотные ВВ)

ВВ в среде с подобными физико- химическими свойствами (пищевые продукты, мыло, одежда)

ВВ на теле человека



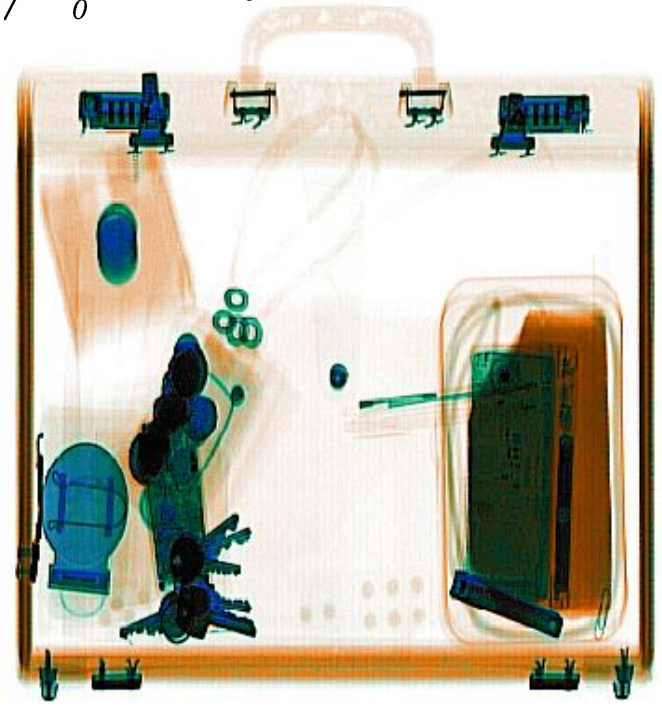
Системы на основе поглощенного тормозного излучения (интроскопы)

$$\frac{I_0 - \Delta I}{I_0} = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} S(E) e^{-\mu(E)h} dE$$

Без селекции по энергии

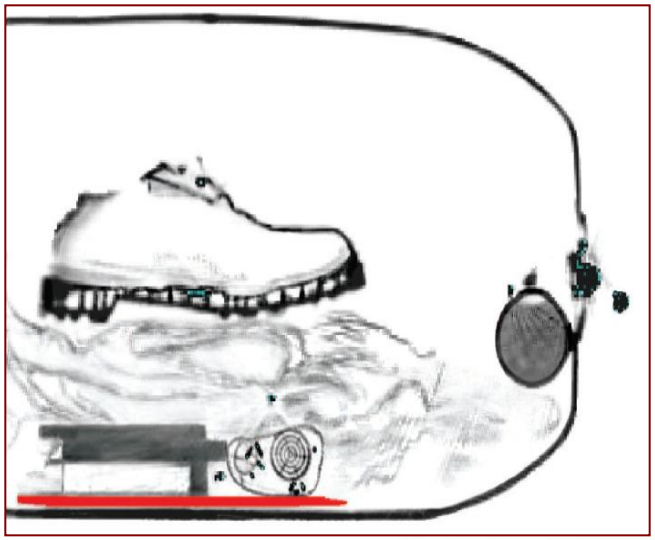
$$\ln\left(I/I_o\right)_h = \ln \int S(E) e^{-\left|A_1 f_1(E) + A_2 f_2(E)\right|} dE$$

$$\ln\left(I/I_o\right)_l = \ln \int S(E) e^{-\left|A_1 f_1(E) + A_2 f_2(E)\right|} dE$$



С раздельной регистрацией низко- и высоко-энергетичных фотонов

Компьютерная томография

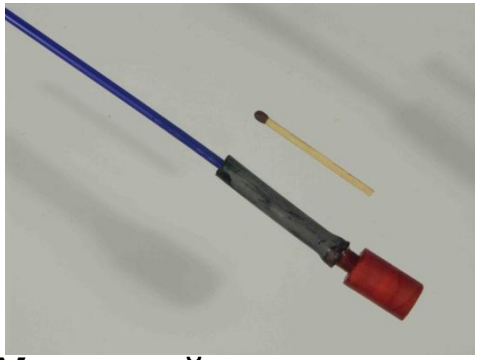


Размеры тунеля, м	1x1.2
Вес, кг	4200
Режим	Непрерывный
Количество детекторов модуля SP, шт.	768
Количество детекторов модуля CT, шт.	480
Скорость движения конвейера, м/сек	0.5
Потребляемая мощность, кВА	12
Ток в трубке, мА	0.9
Напряжение на трубке, кВ	140

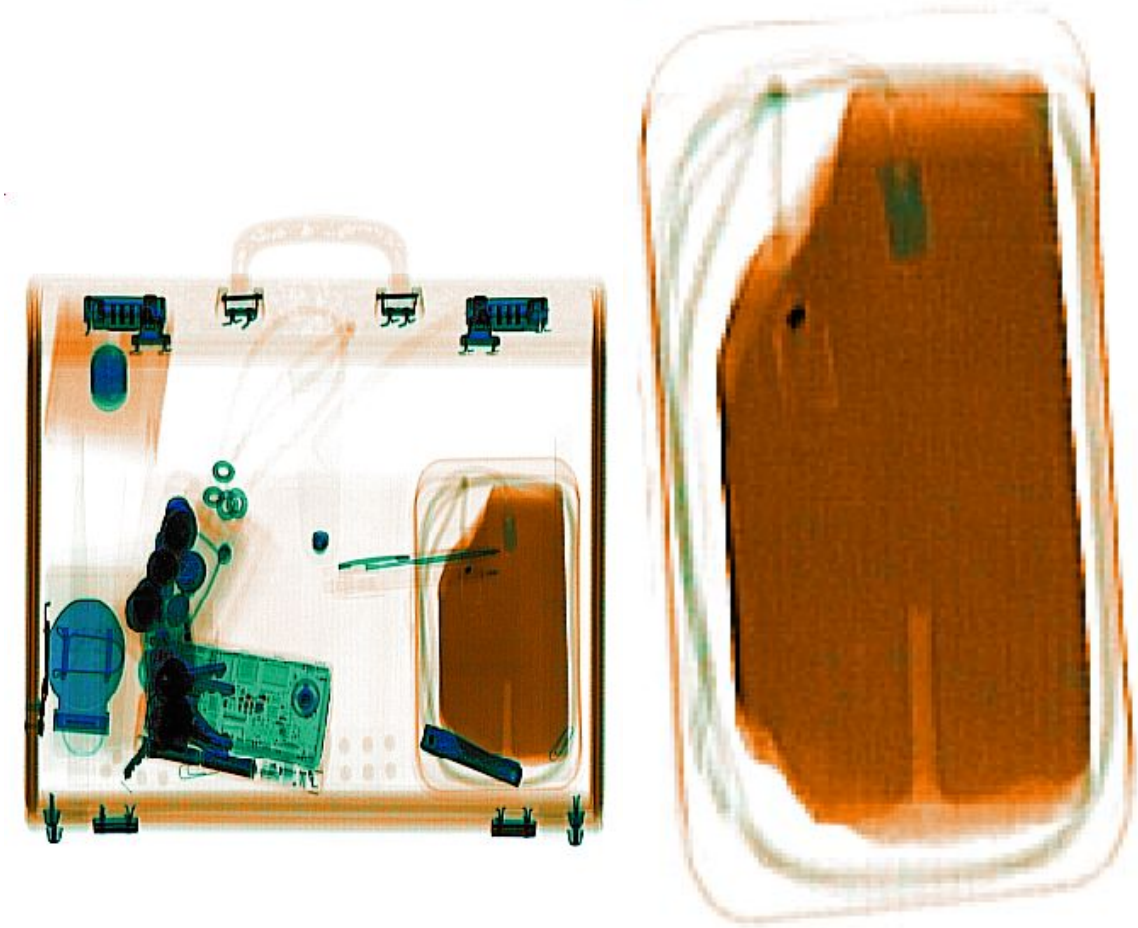
CTX5500DS, InVision Technology (США)

Детонатор

Электродетонатор

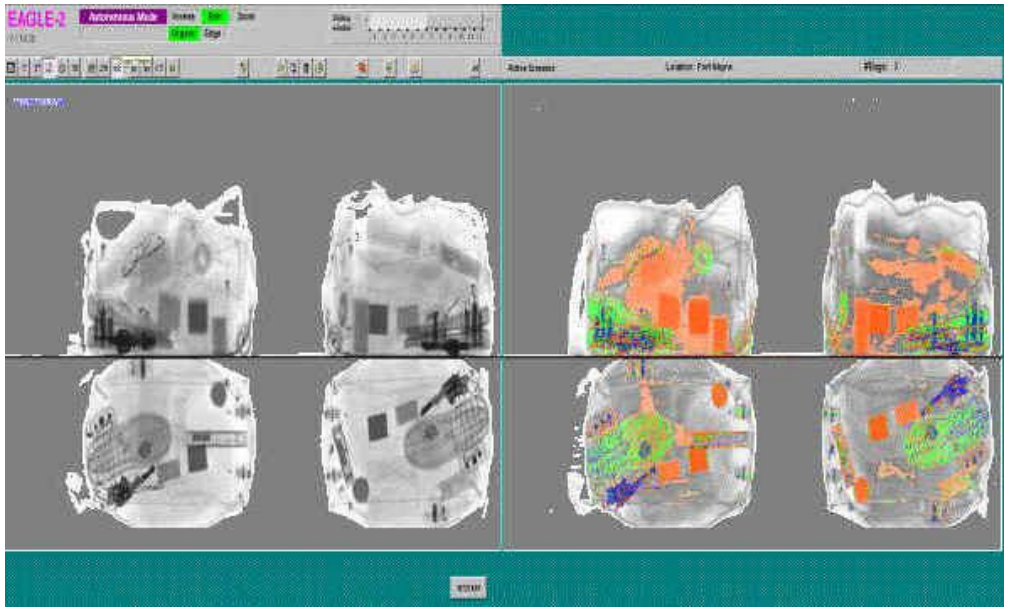


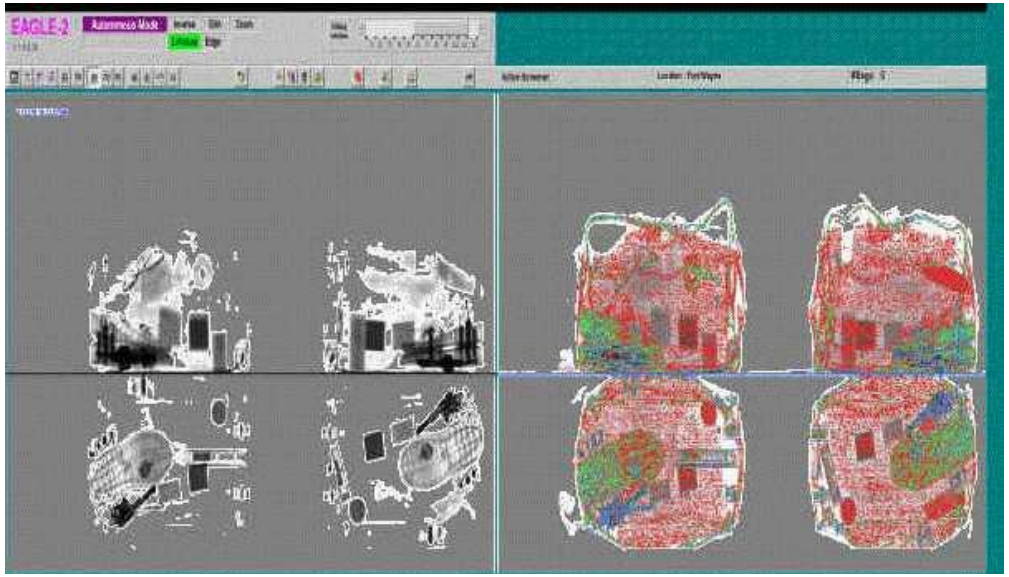
Ударный детонатор



Плотность и эффективный заряд детонатора тот же, что и ВВ. Детонатор не различим.

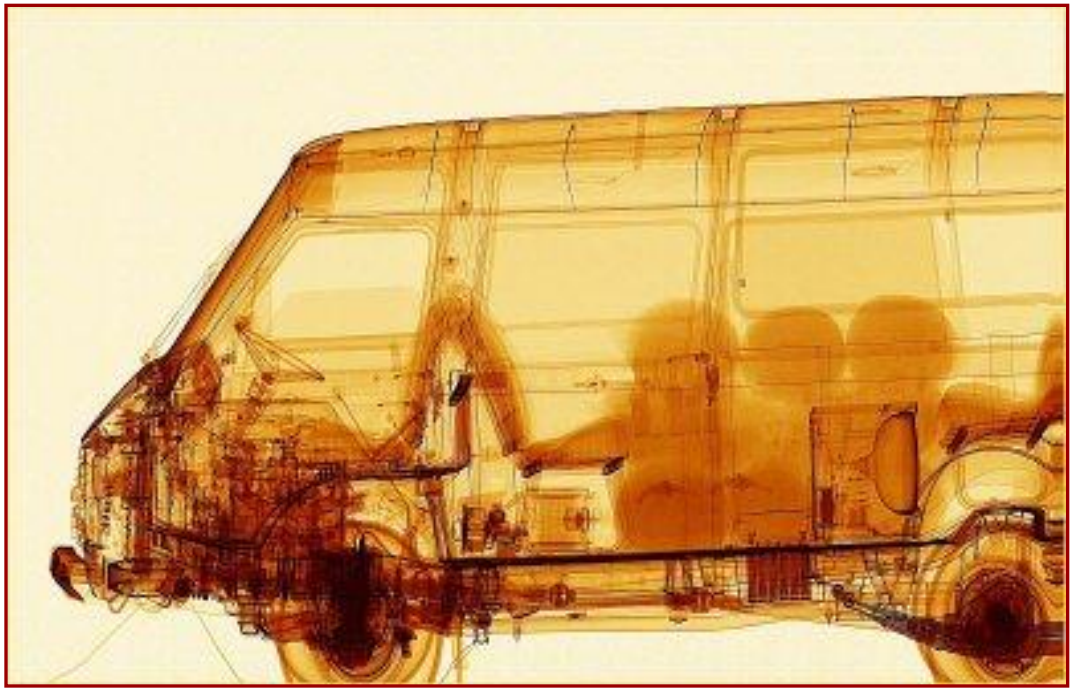
Досмотр малогабаритных грузов

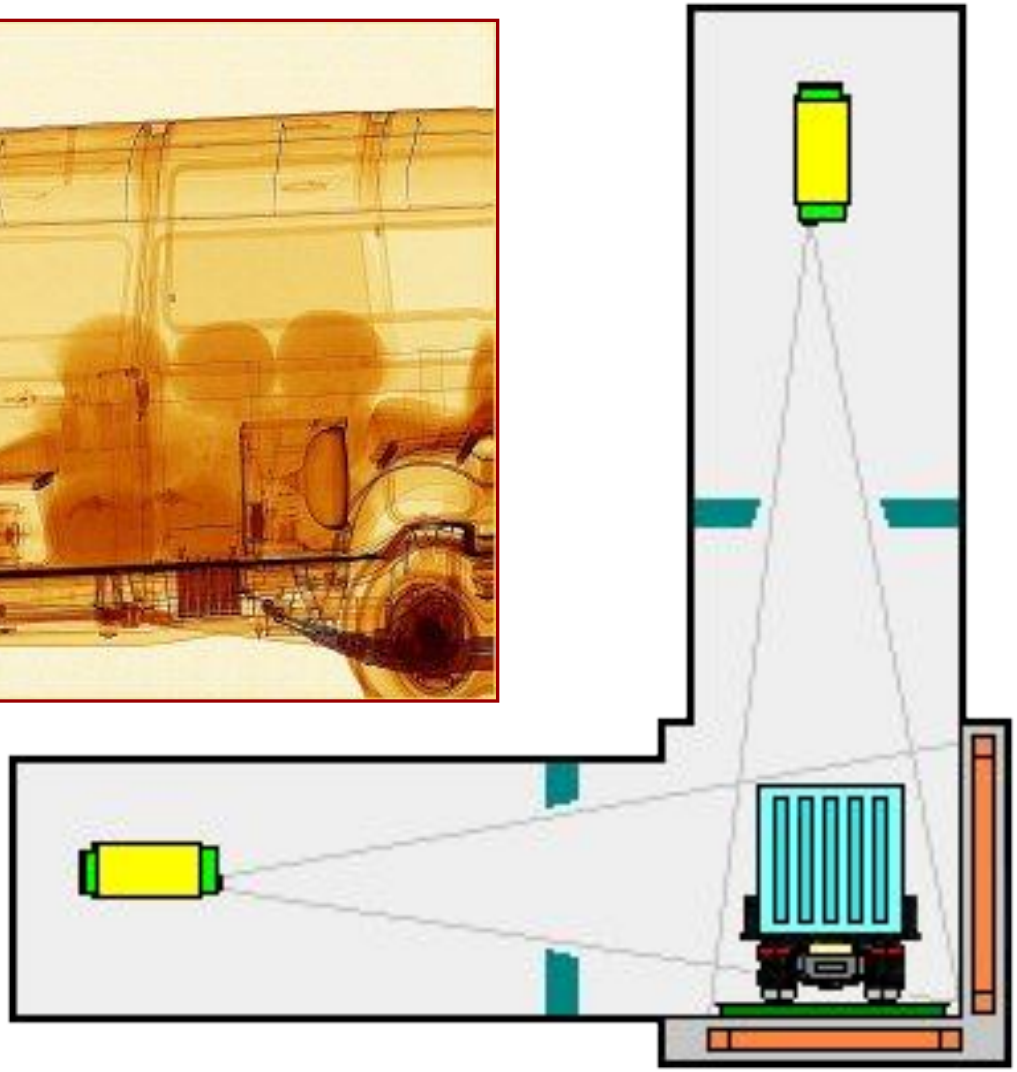




Тунель,м : от 0.5x0.7 до 1x1
Вес, кг : 1000
Доза, мрад : 0.07 на обследование
Режим: непрерывный
За экраном из стали, мм : 30
Разрешение, мм : 0.15
Скорость конвейера, м/сек : 0.25
Потребляемая мощность, кВт : 2
Напряжение на трубке, кВ :170

Досмотр контейнеров и крупногабаритных грузов

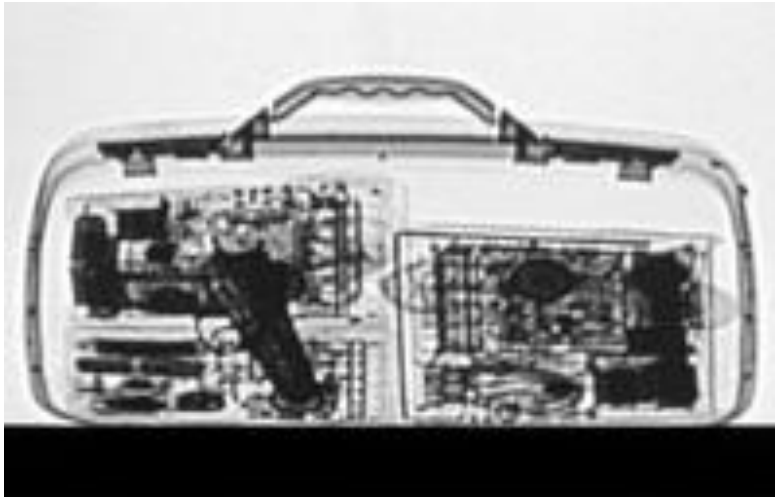




Размеры туннеля, м : 4x4
Доза на обследование, мрад : 25
Проник. Способ. по стали, мм : 280
Разрешение, мм : 2
Скорость конвейера, м/сек : 0.4
Потребляемая мощность, кВт : 40
Энергия ускорителя, МэВ : 5

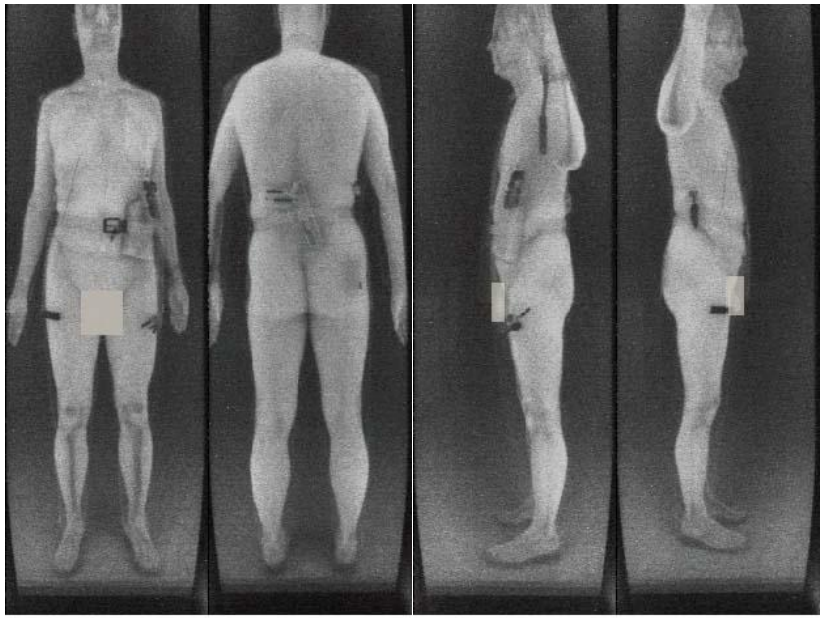
Обратно-рассеянное тормозное излучение

$$E(\theta) = \frac{E_0}{1 + E_0(1 - \cos\theta)/mc^2}$$



PalletSearch, AS&E (США)

Обратно-рассеянное тормозное излучение для досмотра людей



Сьюзан Халловилл, TSA

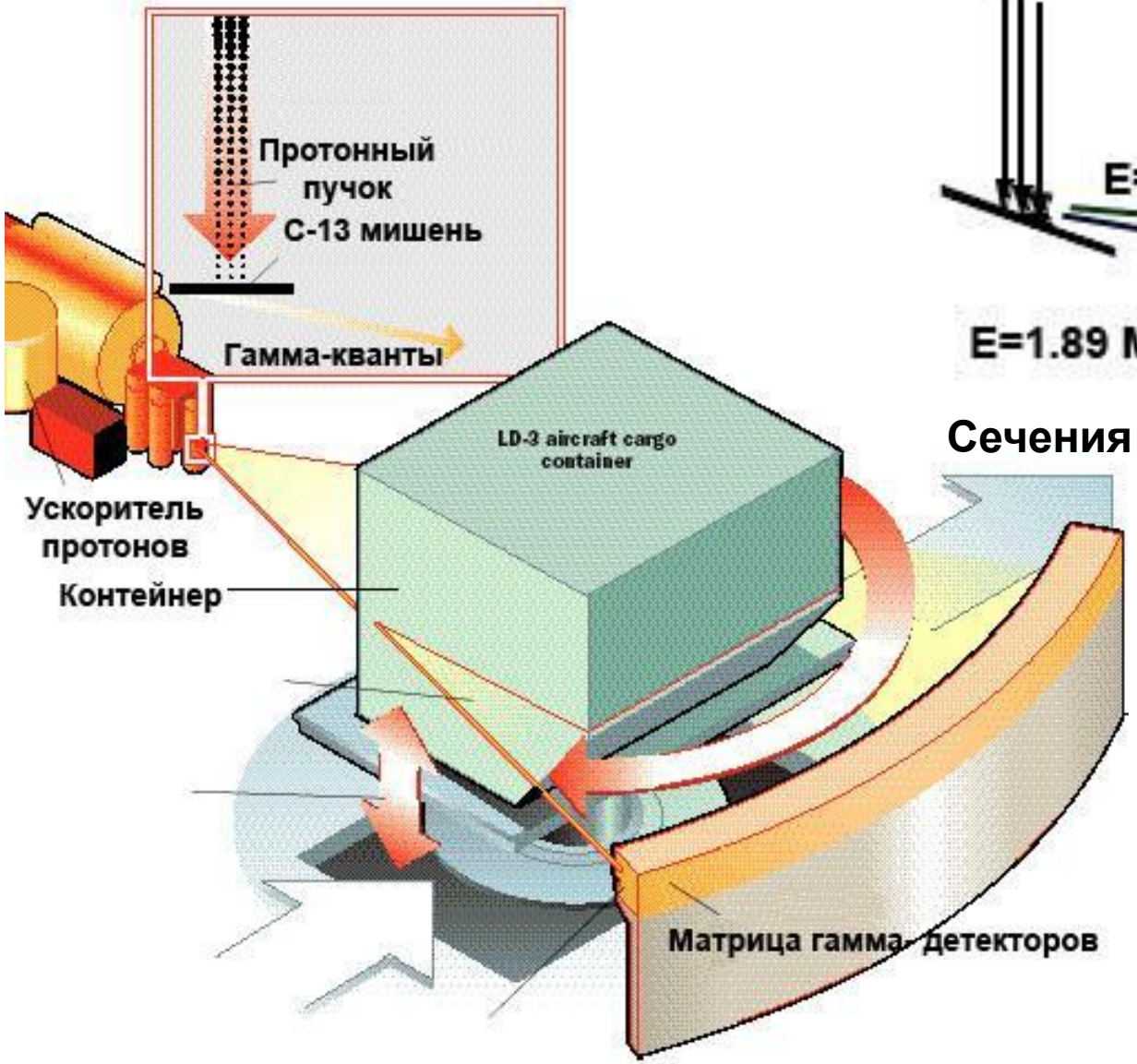
Особенности систем на основе тормозного излучения

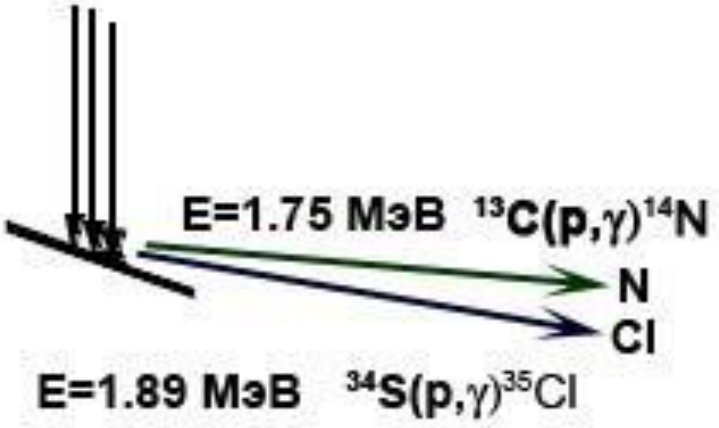
Достоинства:

- Разрешающая способность
- Быстродействие
- Проникающая способность
- Отсутствие наведенной радиоактивности
- Налаженное промышленное производство
- Хорошее сочетание с другими системами контроля

Недостатки

Резонансное поглощение гамма- квантов (GRA)





Сечения поглощения ~ 1 барн

Поглощение ядрами азота гамма-квантов с энергией 9172 кэВ- уровень возбужденного ядра ^{14}N. ширина резонансного уровня 135 эВ

Особенности GRA метода

Достоинства:

Разрешающая способность

Быстродействие

Проникающая способность

Отсутствие наведенной радиоактивности

Недостатки

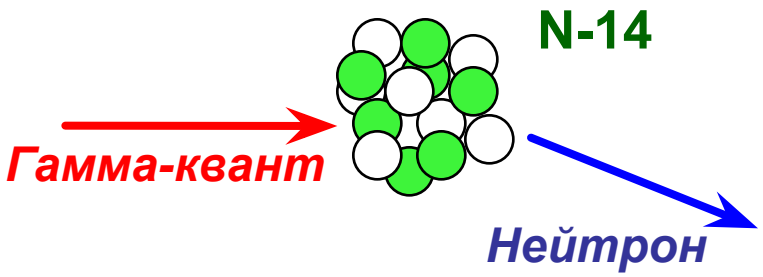
Проблемы с «толстыми» закладками ВВ (многократное рассеяние)

Поиск только по азоту

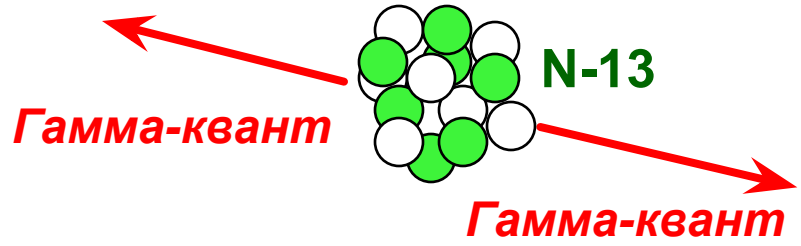
До сих пор нерешенная проблема выгорания С-13 мишени

Гамма-активационный метод 1

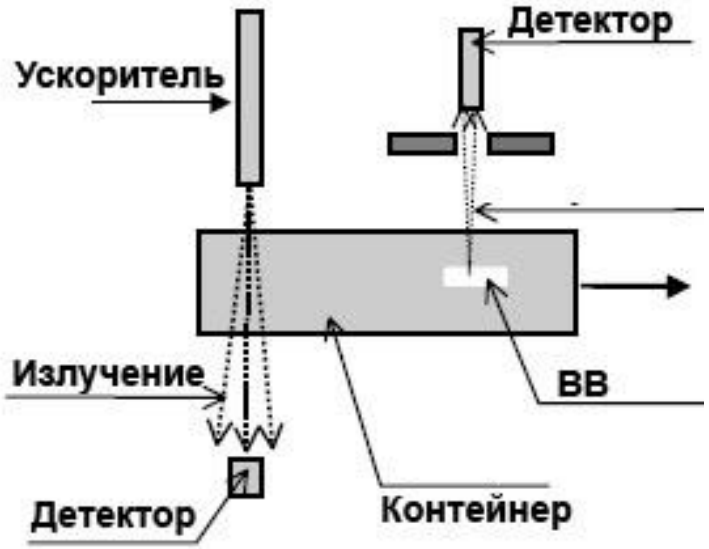
1) Активация *14N(γ,n)13 N*



2) Регистрация бета+- распада



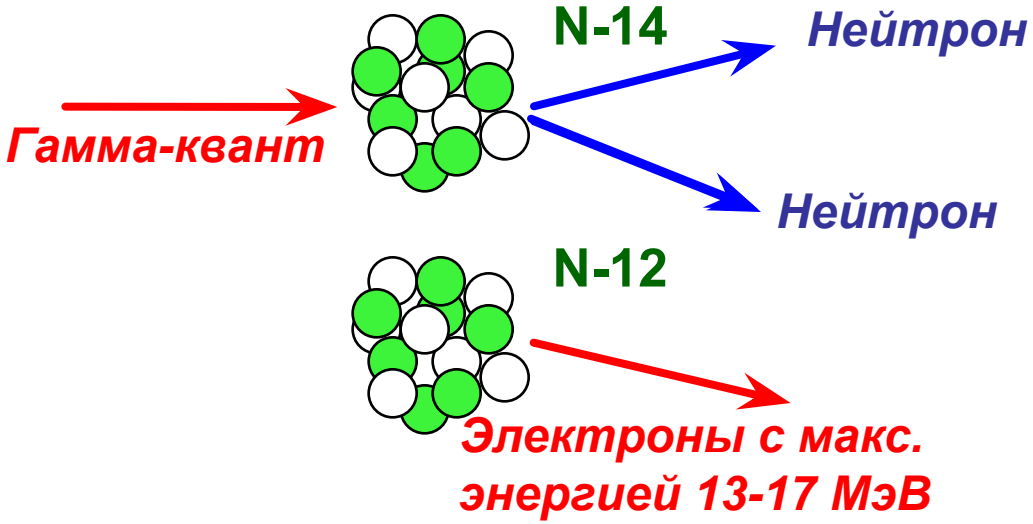
Энергия = 13,5- 14 МэВ



	$E_{пор}$		$T_{1/2}$
^{14}N	10.6	^{13}N	10 мин
^{16}O	15.7	^{15}O	Стаб.
^{27}Al	13.1	$^{2}6Al$	6.7 сек
^{28}Si	17.2	$^{2}7Si$	4 сек

Гамма-активационный метод 2

1) Активация *14N(γ,nn)12N*
14N(γ,pp)12B
13C(γ,p)12B
2) Регистрация бета- распада



Энергия = 50- 70 МэВ

	$E_{пор}$		$T_{1/2}$
^{14}N	24	^{12}N	20 мс
^{14}N	31	^{12}B	11 мс
^{13}C	17		

Особенности гамма-активационного метода

Достоинства:

- Проникающая способность
- Быстродействие

Недостатки

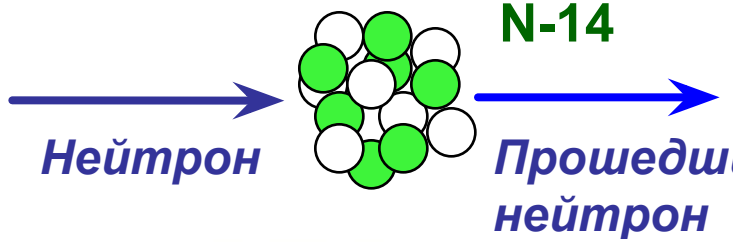
- Высокая стоимость (электронный ускоритель с энергией от 10 до 50 МэВ)

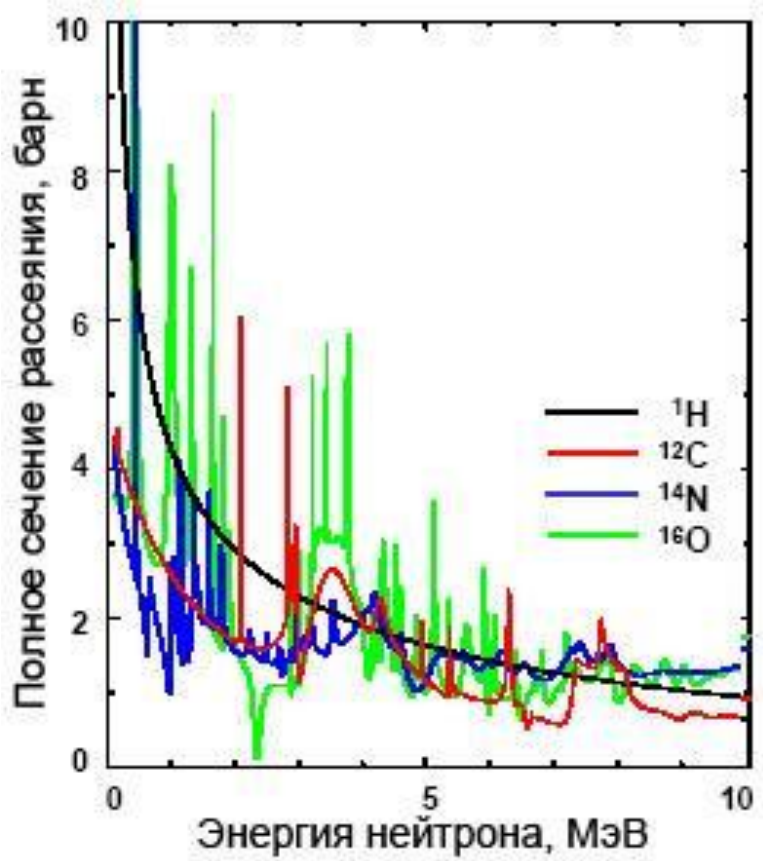
14N(γ,n)13N

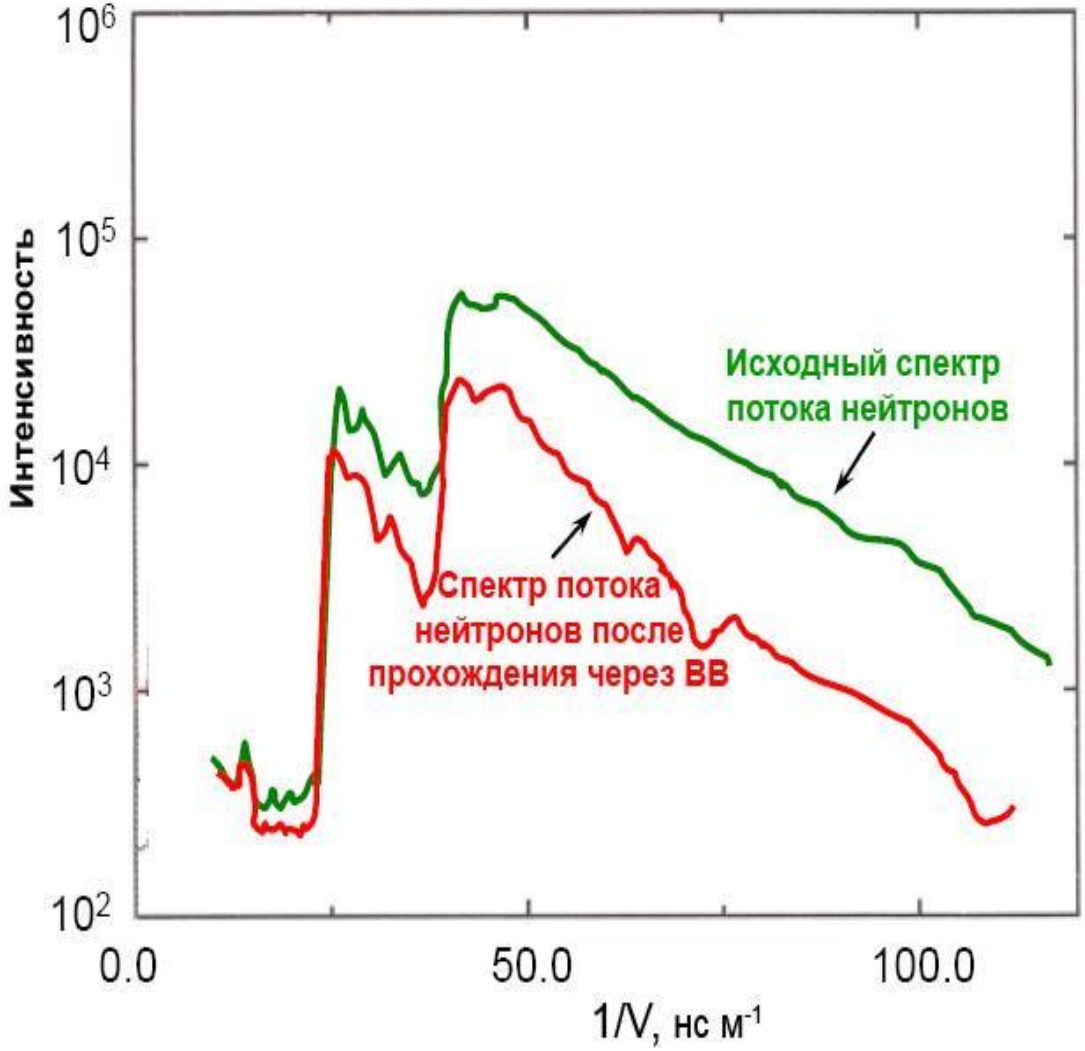
- Поиск фактически только по азоту
- Большая вероятность ложных срабатываний (при активации)

Резонансное поглощение нейтронов (FNTA)

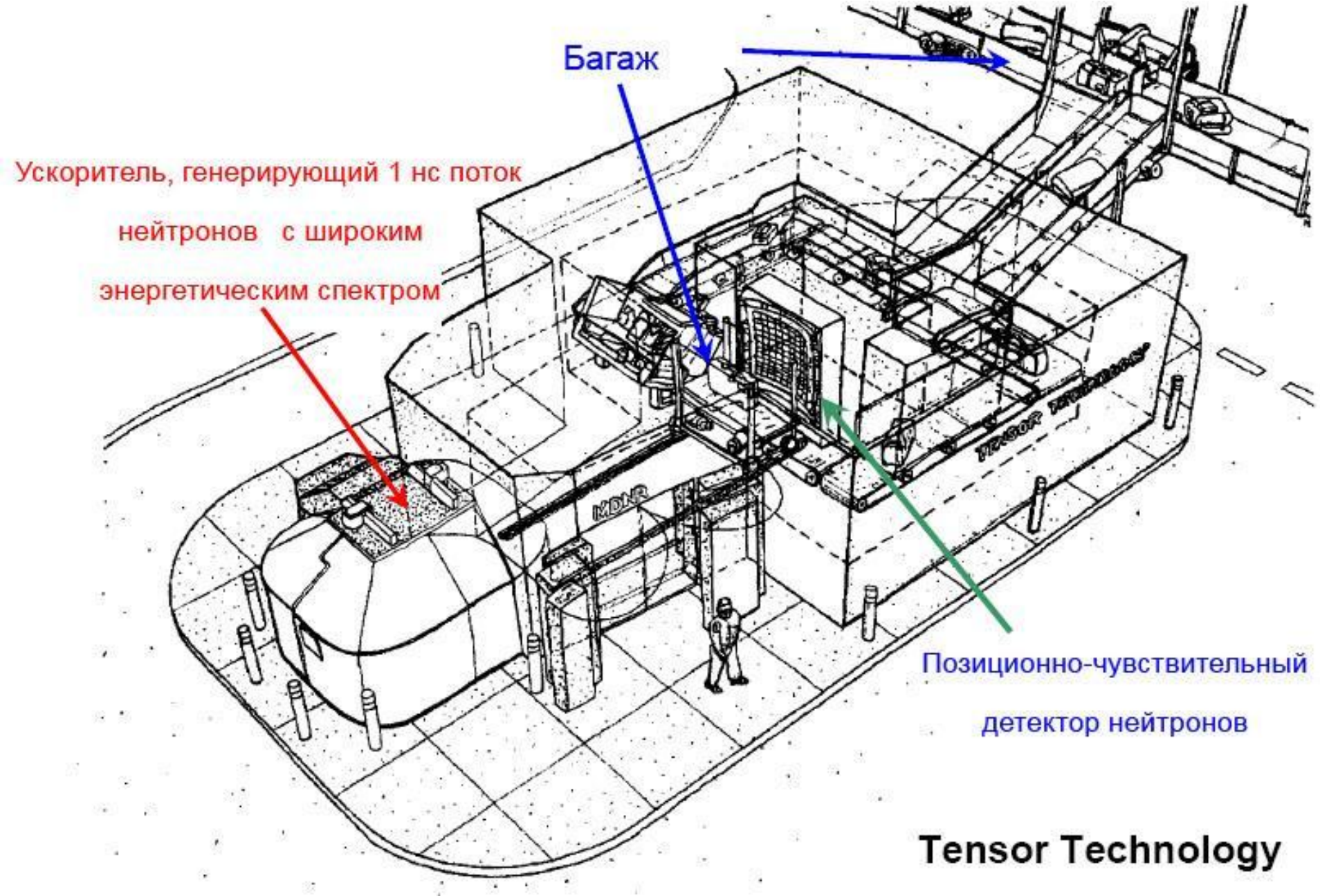
$$Ln(\frac{N_0}{N}) = \sum n_j \sigma_j x$$







Проект FNTA установки фирмы Tensor Technology



Особенности FTNA метода

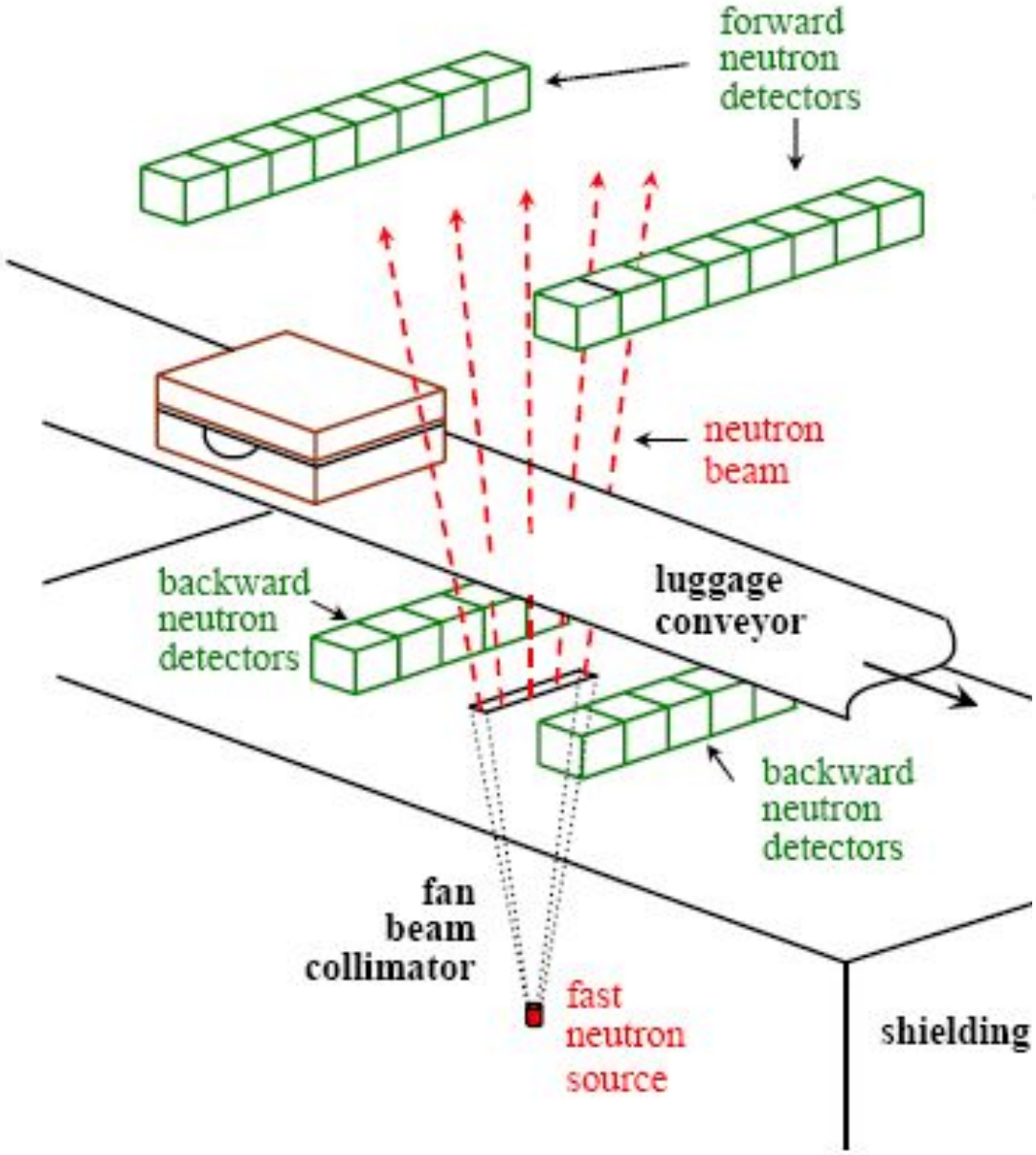
Достоинства:

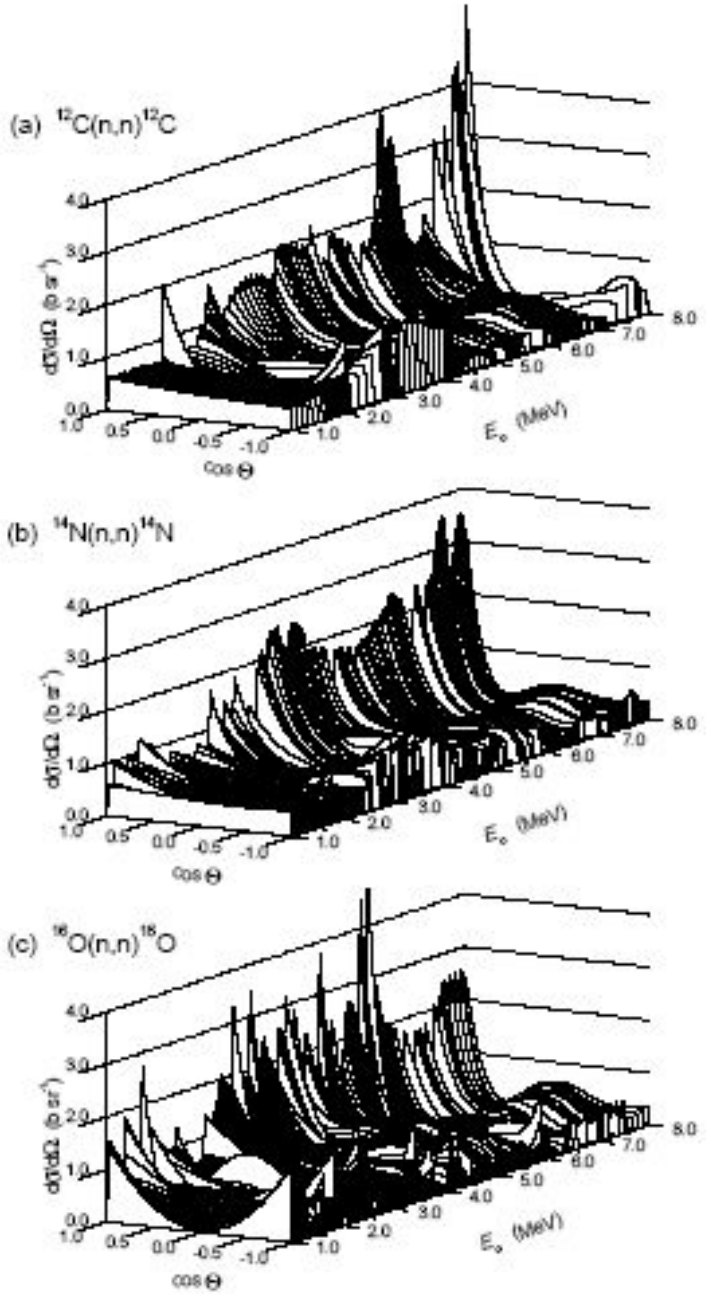
- Проникающая способность
- Высокая точность определение содержания хим. элемента
- Поиск по всем ключевым элементам, входящим в состав ВВ (водороду, углероду, азоту, кислороду)

Недостатки

- Высокая стоимость (ускоритель дейтронов или протонов с выходной энергией несколько МэВ). Например, Be(d,n) реакция, энергия дейтронов 4,5 МэВ, средний ток 1 мкА)
- Низкое разрешение

Резонансное рассеяние нейтронов (FNSA)





Особенности FSNA метода

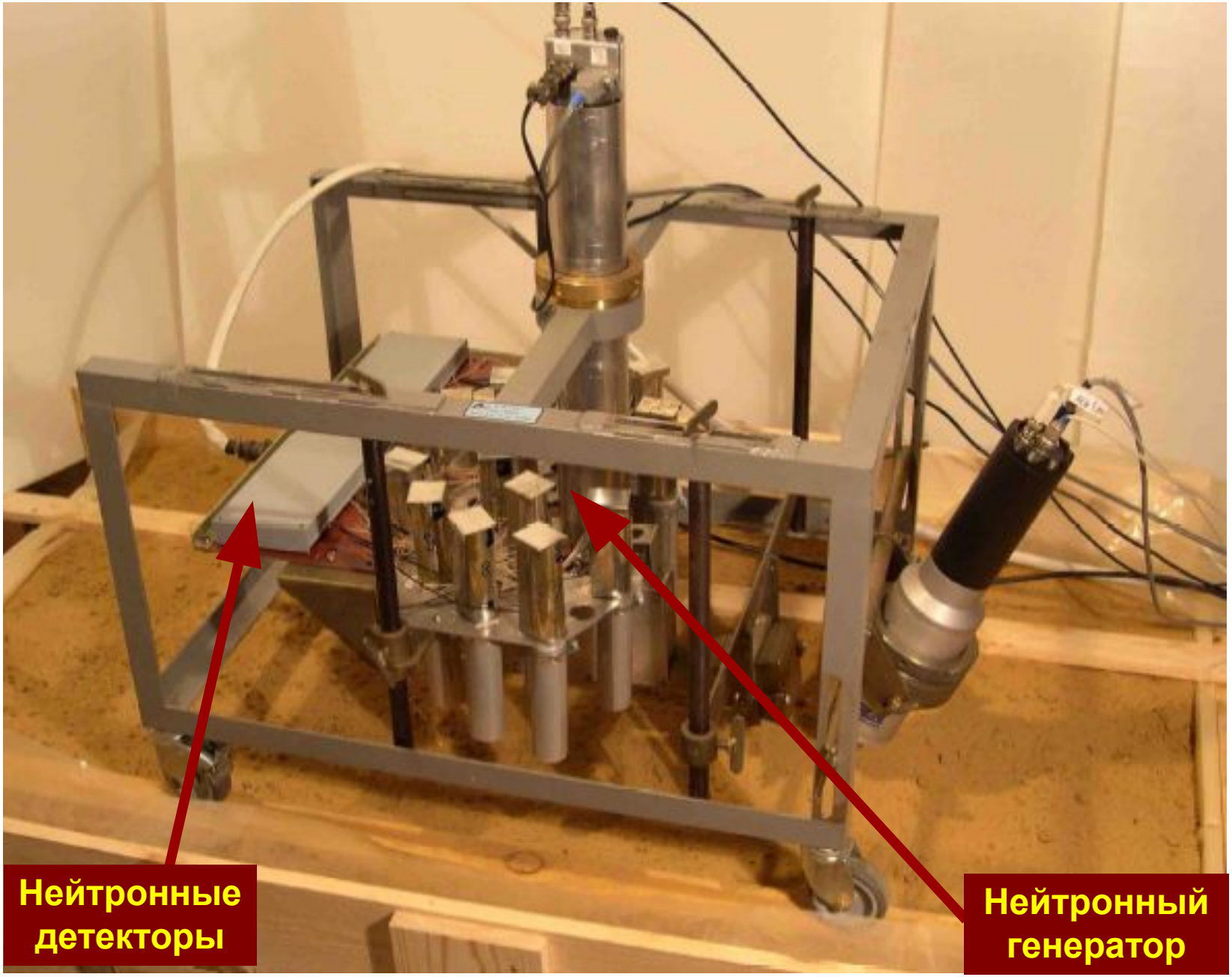
Достоинства:

- Проникающая способность
- Поиск по всем ключевым элементам, входящим в состав ВВ (водороду, углероду, азоту, кислороду)

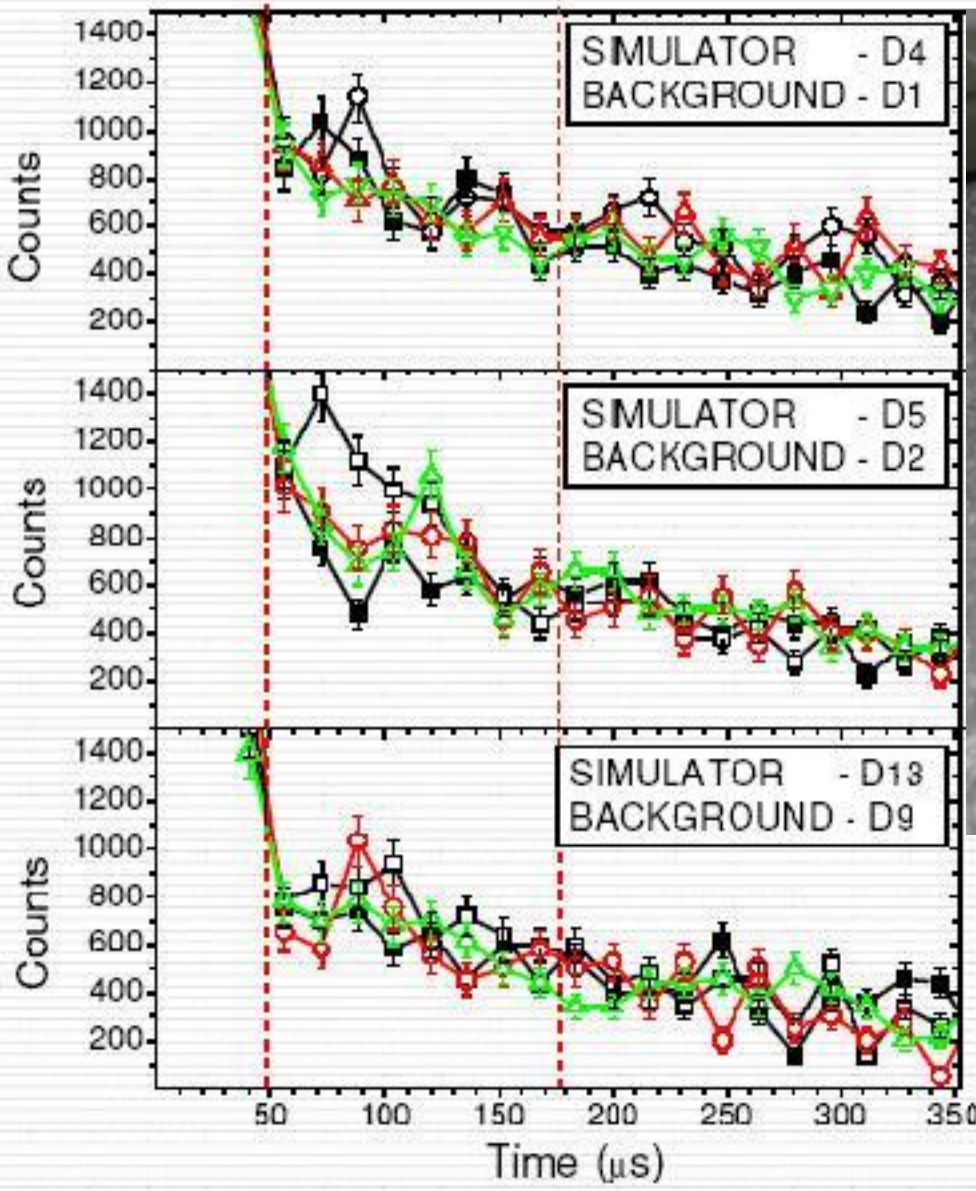
Недостатки

- Высокая стоимость (электростатический ускоритель дейтронов энергией 6- 8 МэВ, система формирования пучка ионов длительностью несколько нс).
- Низкое разрешение
- Проблемы с «толстыми» закладками ВВ (многократное рассеяние

Метод обратного рассеяния нейтронов



Соотношение эффект/фон для метода обратного рассеяния нейтронов



BACKGROUND: S = 3 cm

SIMULATOR: S = 3 cm

S = 10 cm

S = 15 cm

Особенности метода обратного рассеяния нейтронов

Достоинства:

Проникающая способность

Относительно низкая стоимость

Контроль с одной стороны

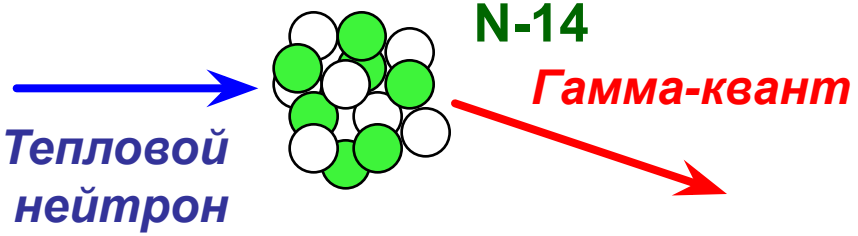
Недостатки

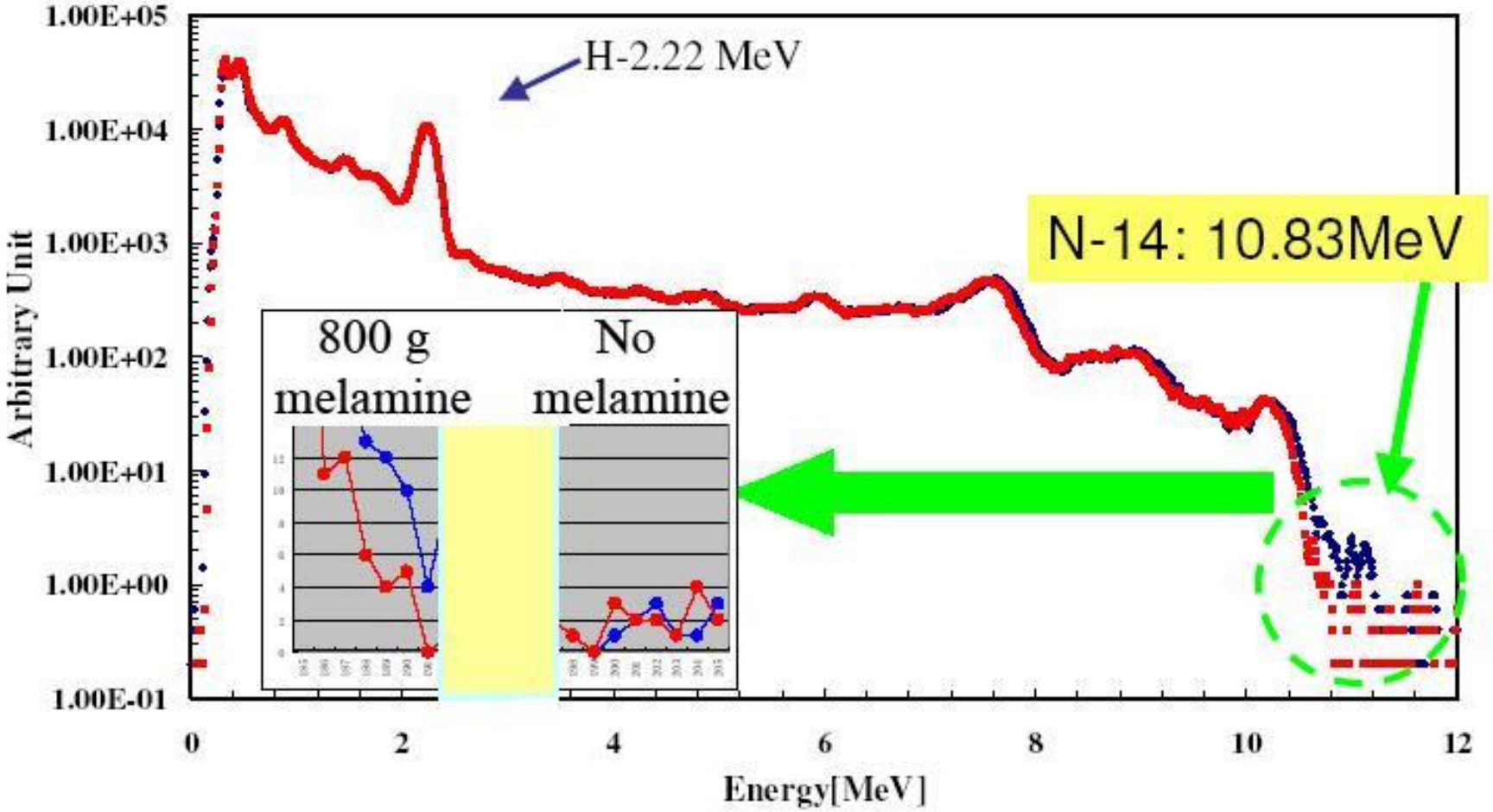
Низкое отношение эффект/фон

Низкое разрешение

Метод нейтронного радиационного анализа (TNA)

Сечение: **77 мбарн**
Энергия гамма-кванта: **10,83 МэВ**
Выход: **13.8%**





Установки, реализующие TNA

УВП-5101 (НТЦ РАТЭК, Россия) для совместной работы с интроскопом

Мобильная установка (Ancore Corporation, USA)

Особенности TNA метода

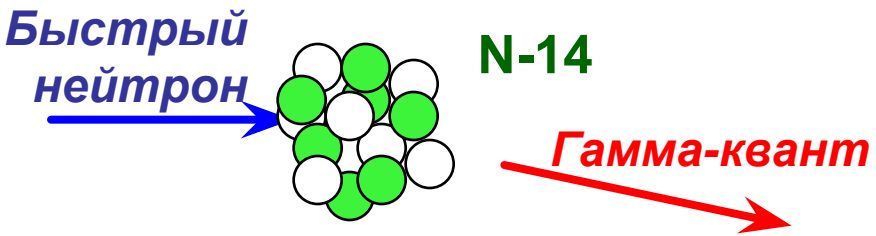
Достоинства:

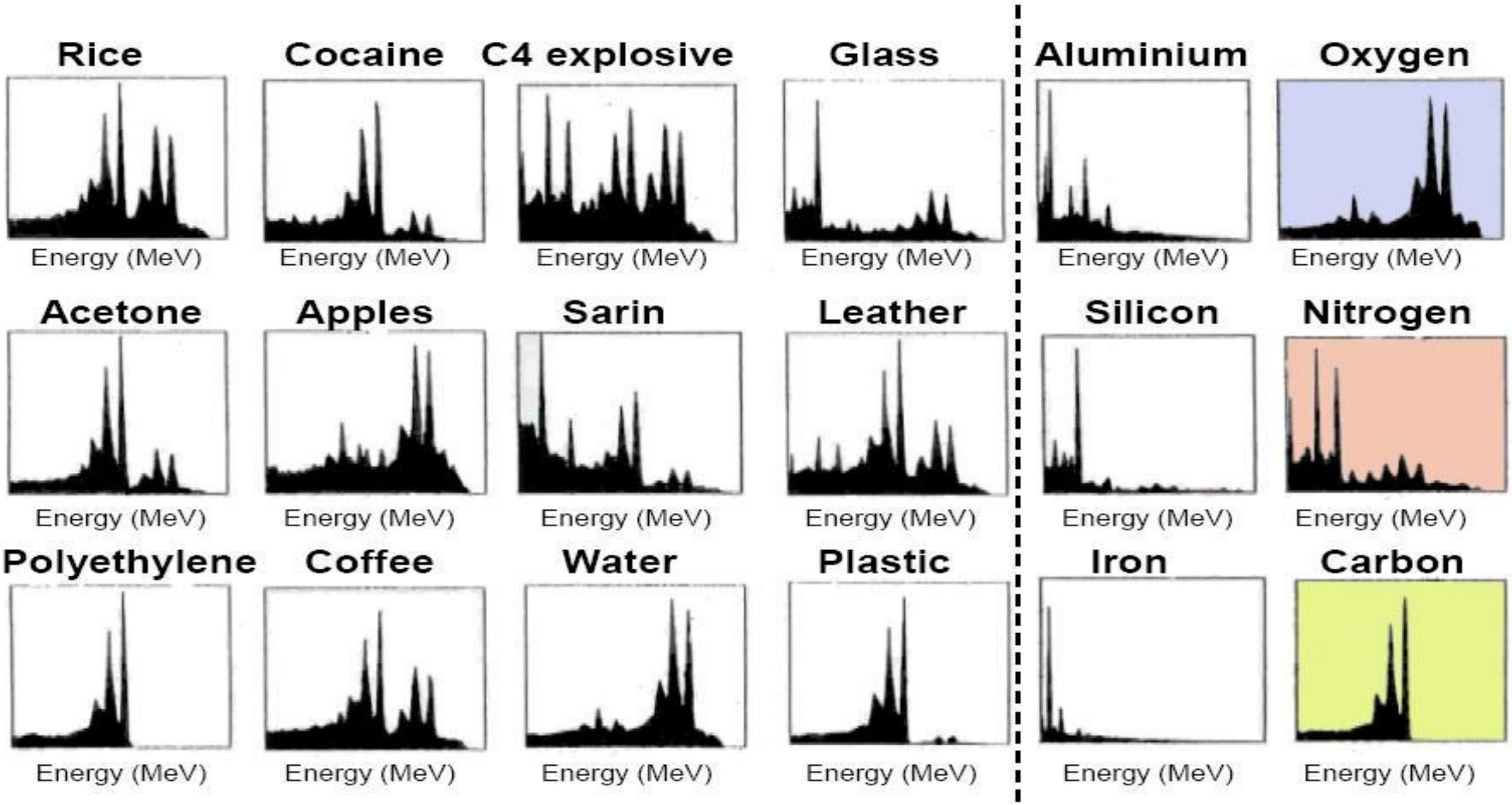
- Относительная простота реализации
- Проникающая способность

Недостатки

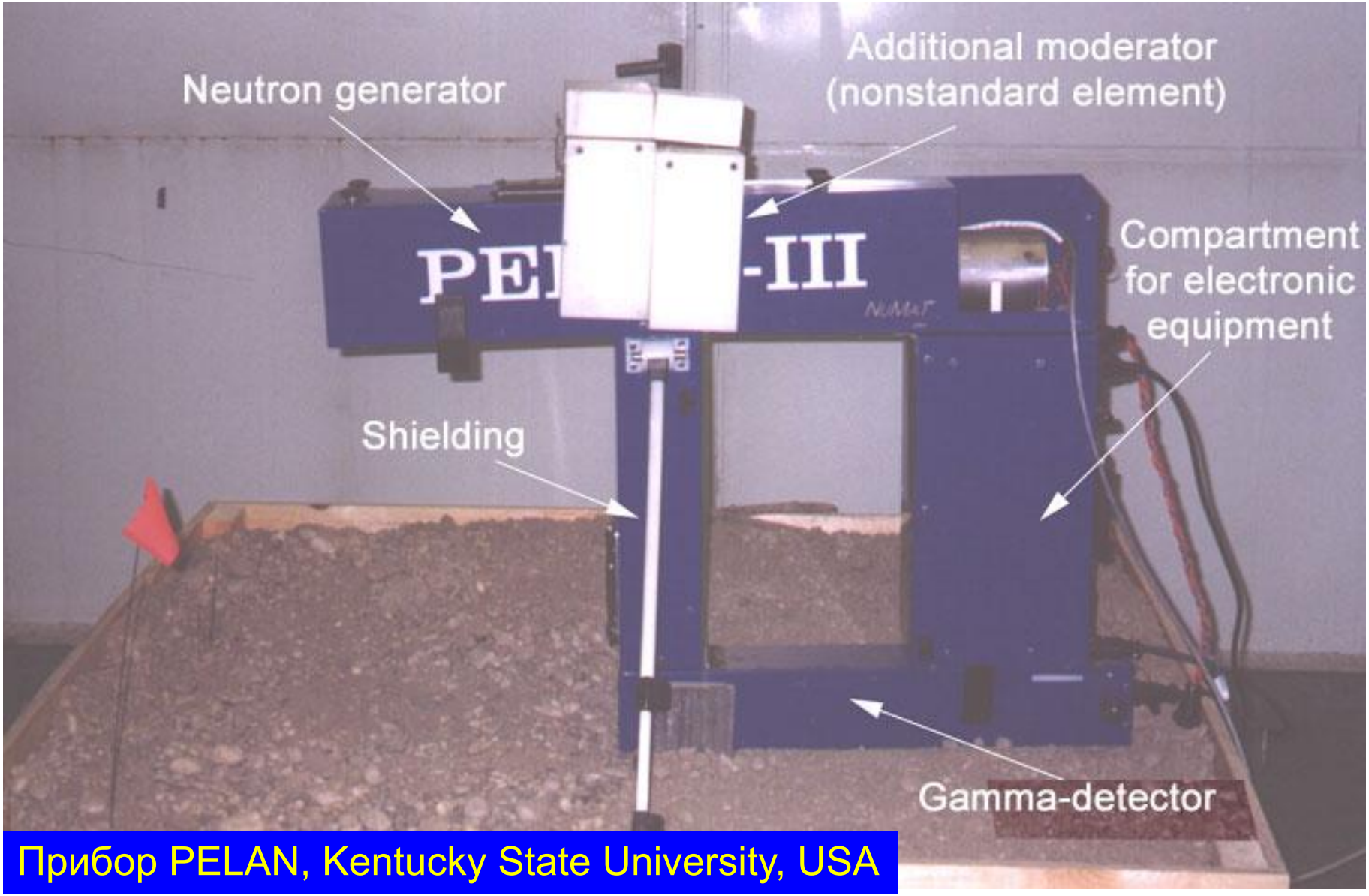
- Низкая селективность
- Низкое отношение эффект/фон
- Большая вероятность ложных срабатываний
- Возможность экранировки поглотителями тепловых нейтронов

Метод неупругого рассеяния нейтронов FNA (Fast Neutron Analysis)





Метод неупругого рассеяния нейтронов
FNA (Fast Neutron Analysis)



Прибор PELAN, Kentucky State University, USA

Особенности FNA метода

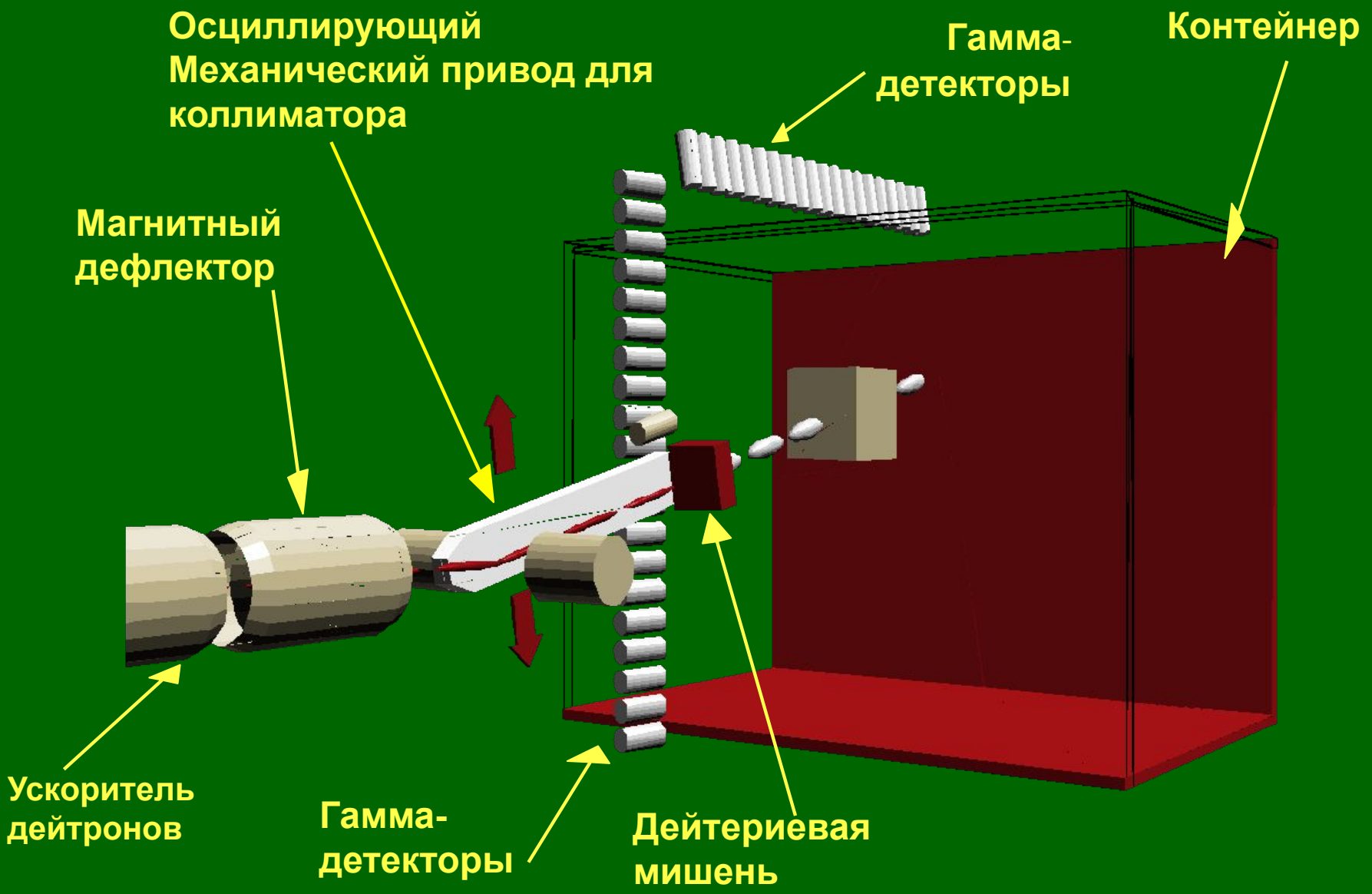
Достоинства:

- Относительная простота реализации
- Проникающая способность

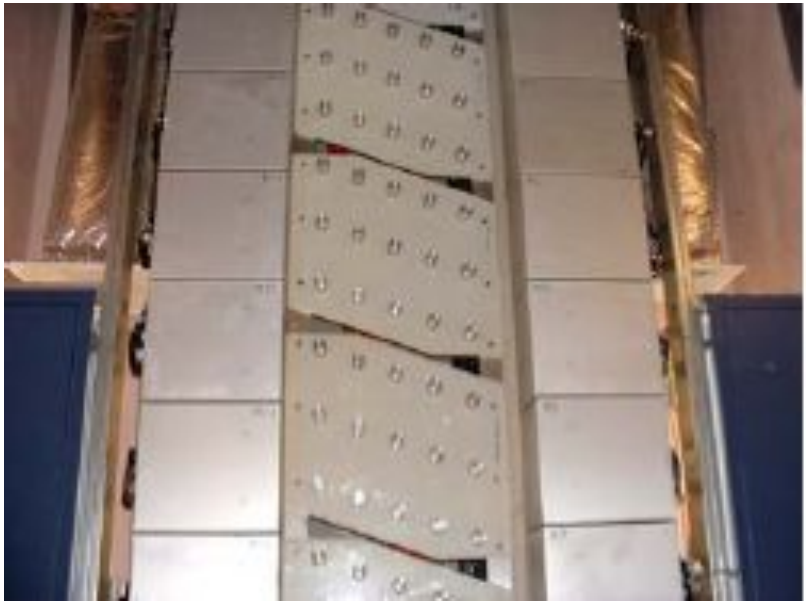
Недостатки

- Низкая селективность
- Низкое отношение эффект/фон
- Большая вероятность ложных срабатываний

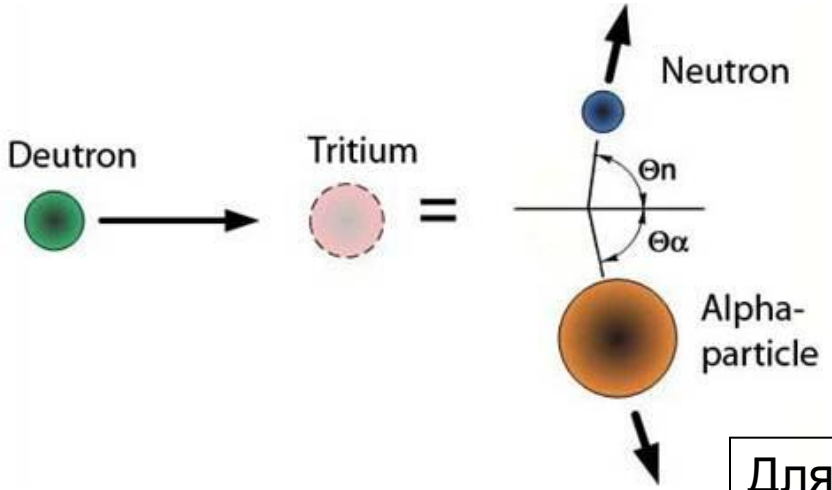
Схема PFNA устройства



PFNA система в Эль-Пасо (США)



Кинематика D-T реакции



$$W_d + W_Q = W_\alpha + W_n$$

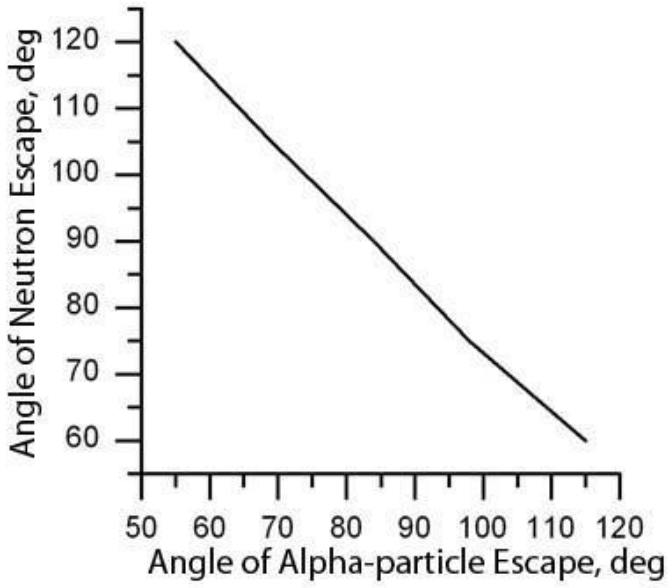
$$p_\alpha^2 = p_n^2 + p_d^2 - 2 p_n p_d \cos\theta_{n-d}$$

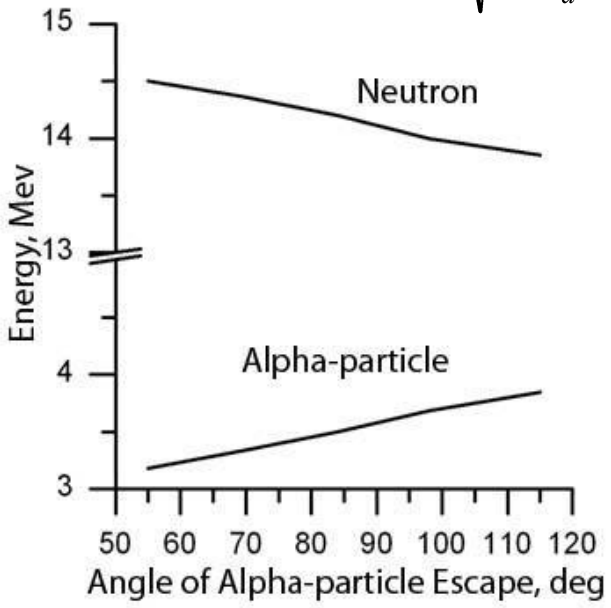
$$p_n^2 = p_\alpha^2 + p_d^2 - 2 p_\alpha p_d \theta_{\alpha-d}$$

$$W_n \approx \frac{6W_d + 4W_Q}{5}$$

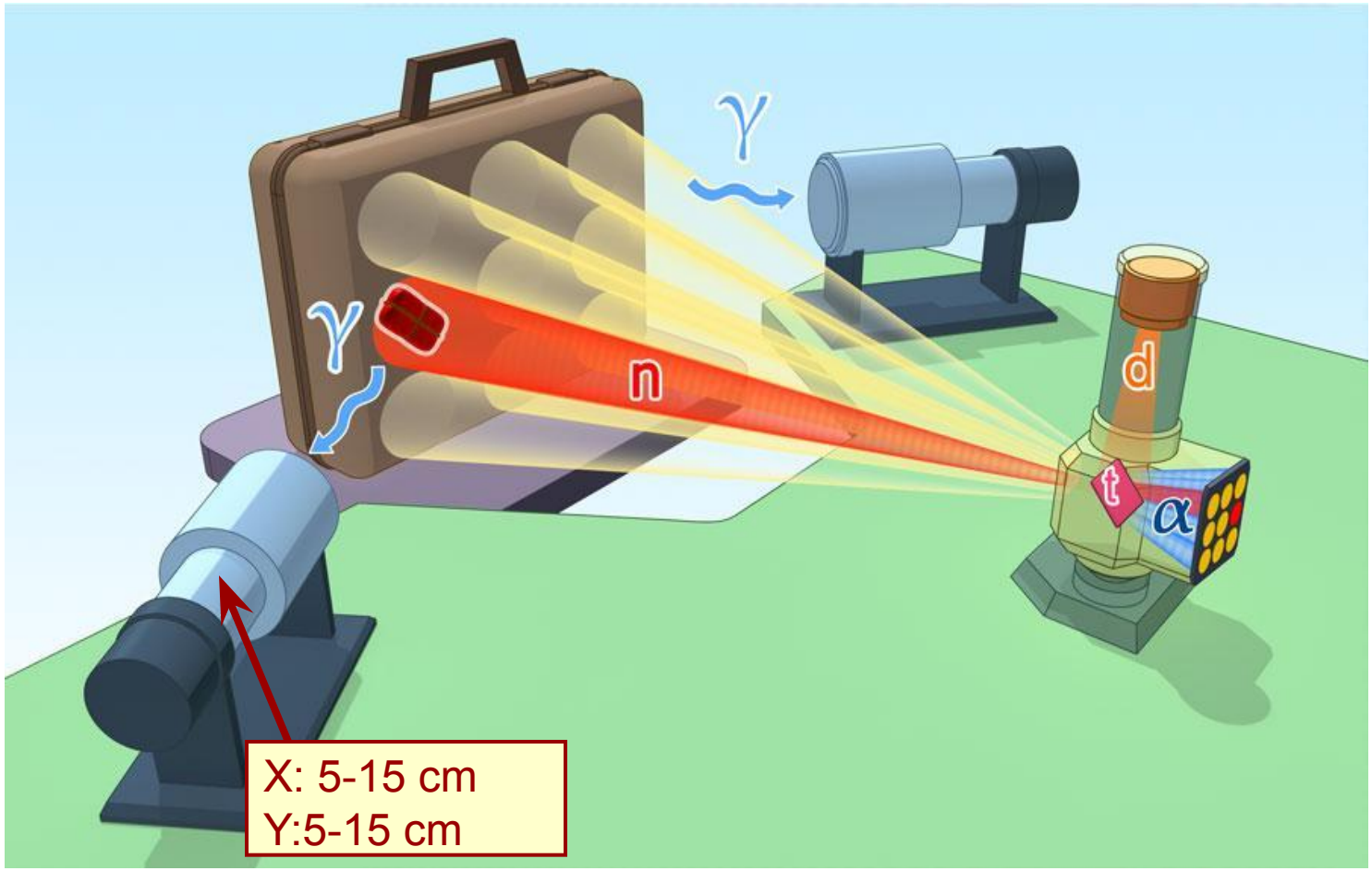
Для $\theta_{a\text{-}d}$ =90 град $\Rightarrow$ $W_\alpha \approx \frac{W_Q - W_d}{5}$

$$\theta_{n-d} \approx \sqrt{\frac{5W_d}{3W_d + 2W_Q}}$$





Метод меченых нейтронов



Достоинства HHA и PFNA методов

- Возможность поиска ВВ в загруженных морских контейнерах
- Обнаружение ВВ по трем ключевым элементам: углероду, азоту и кислороду
- 3D распределение элементов в контейнере, локализация ВВ
- Высокая проникающая способность
- Высокое отношение эффект/фон
- Практическая осуществимость при существующей элементной базе
- Возможность одновременно обнаруживать ДВ по γXα методу (для HHA)

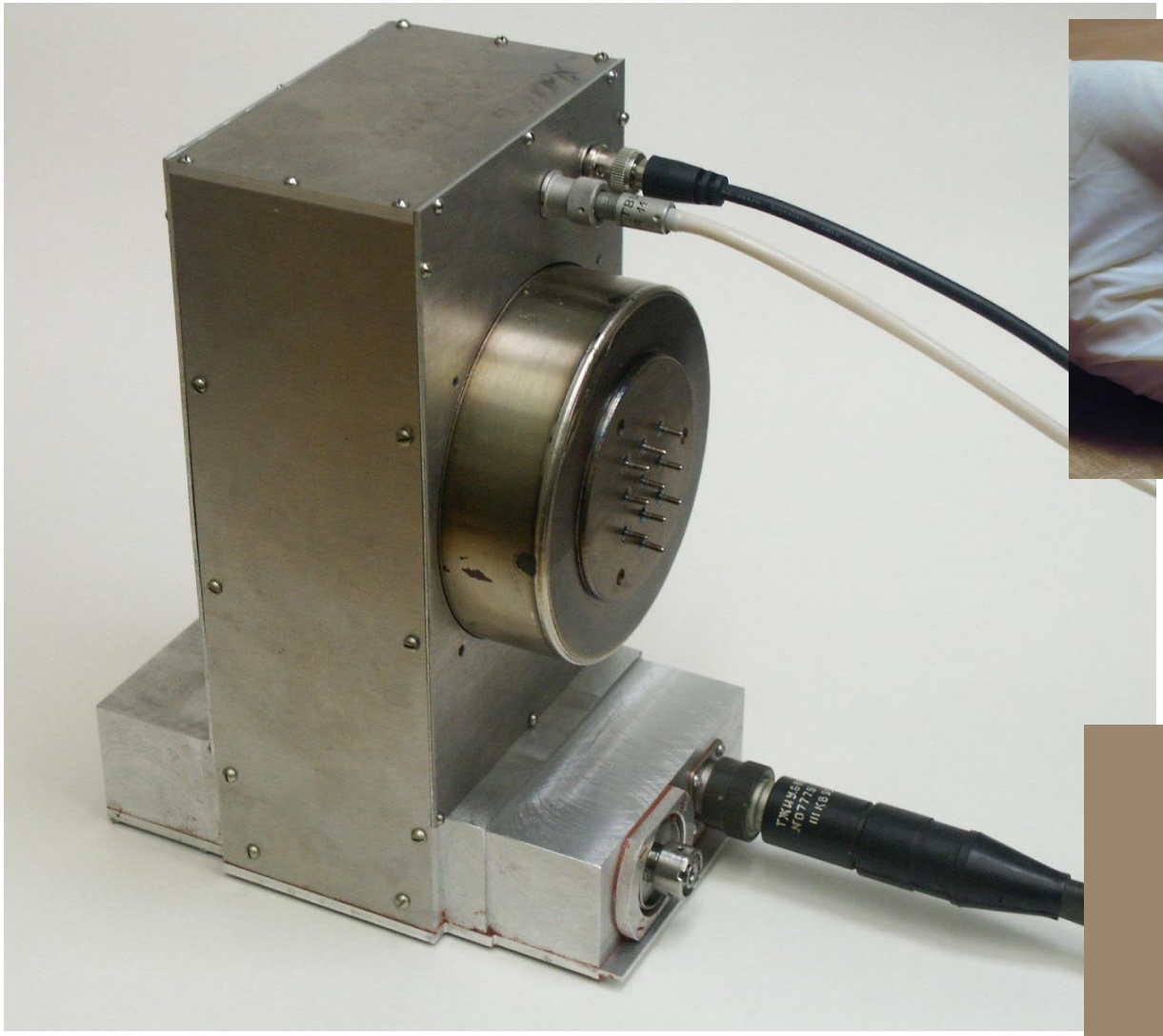
Недостатки

HHA	PFNA
Низкая допустимая интенсивность нейтронов~10^8 1/сек	Высокая стоимость источника (>10 M$)
	Большие габариты и вес источника
	Разрешение^2 ~ 1/скорость досмотра
	Инерционный сканер (25 мин- пустой контейнер)

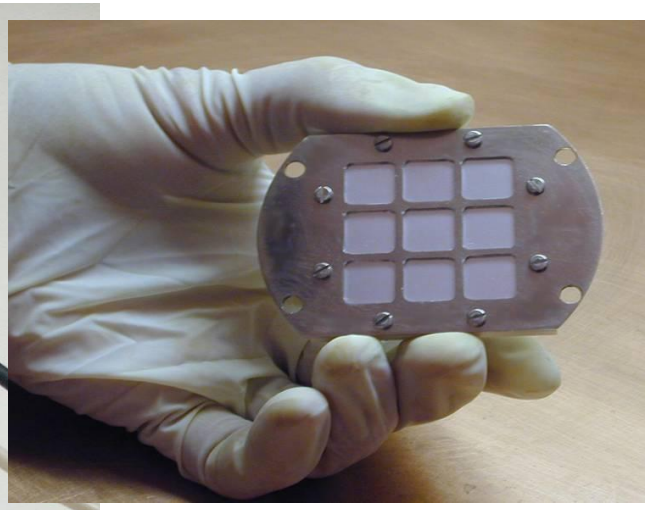
Проблемы реализации метода меченых нейтронов

1. Интеграция альфа-детектора в нейтронный генератор- нагрев генератора до температуры 350-400 град в течении нескольких частот.
2. Электроника для обработки сигналов- скорость срабатывания альфа-детектора 1-10 млн. раз в секунду, гамма-детектора – десятки-сотни тысяч в секунду. Требуемое временное разрешение измерения альфа-гамма совпадений – 1- 3 нс.
3. Алгоритм принятия решений.

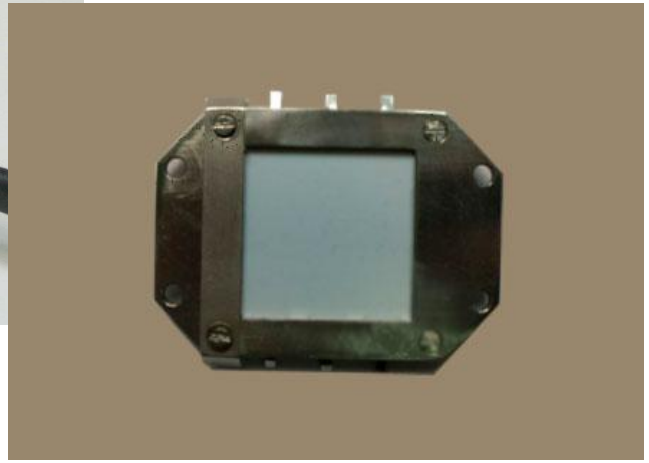
Нейтронный генератор с альфа- детектором



Нейтронный генератор (ВНИИА)

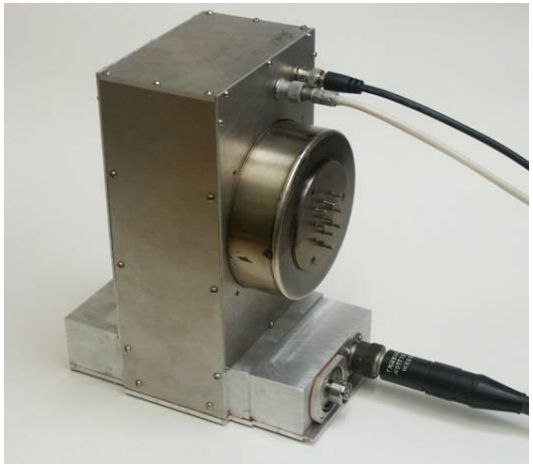


Альфа-детектор

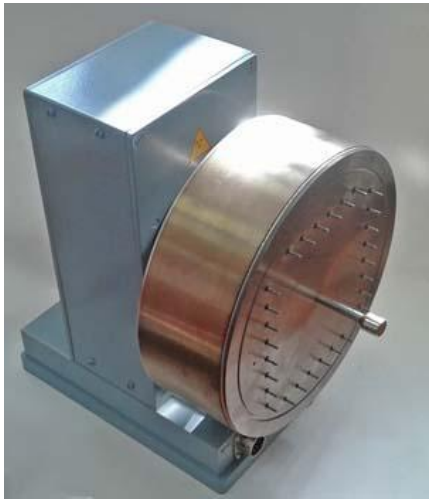


Генераторы меченых нейтронов производства ВНИИА

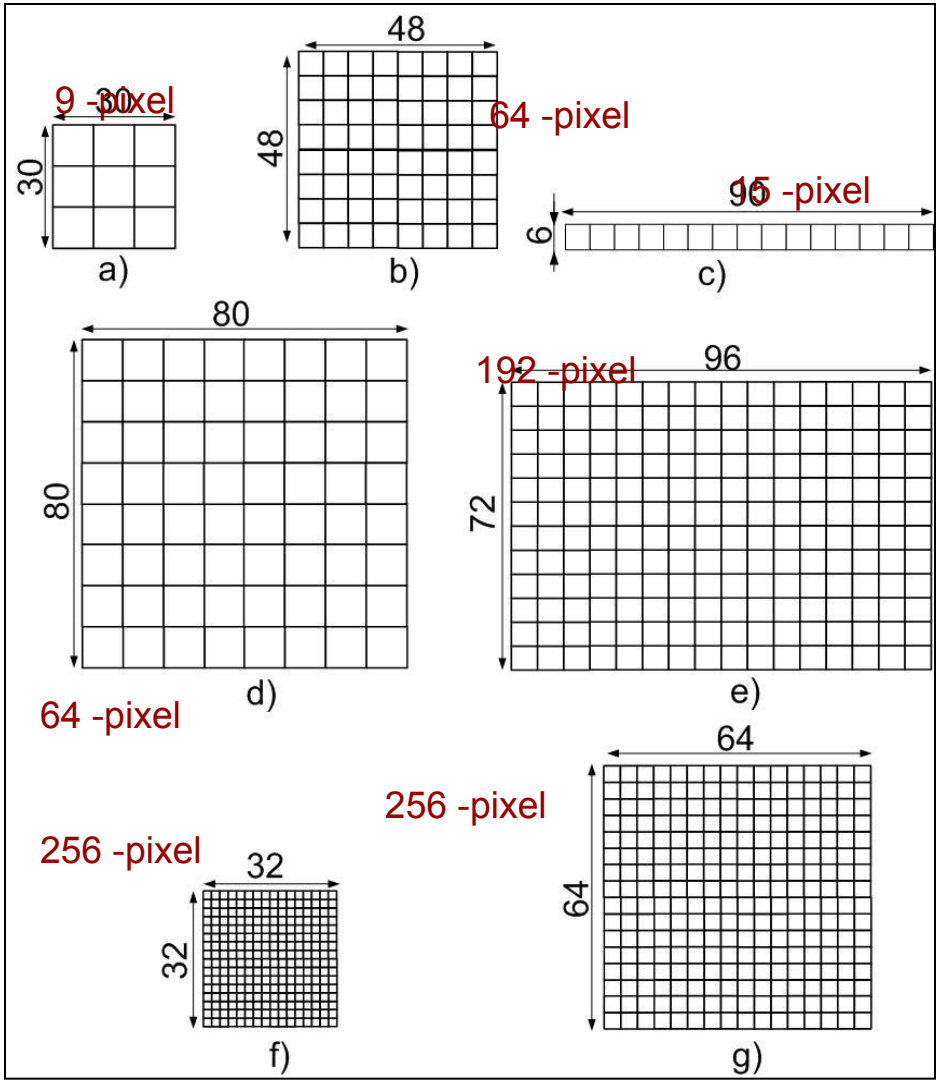
9-ти пиксельный альфа-детектор



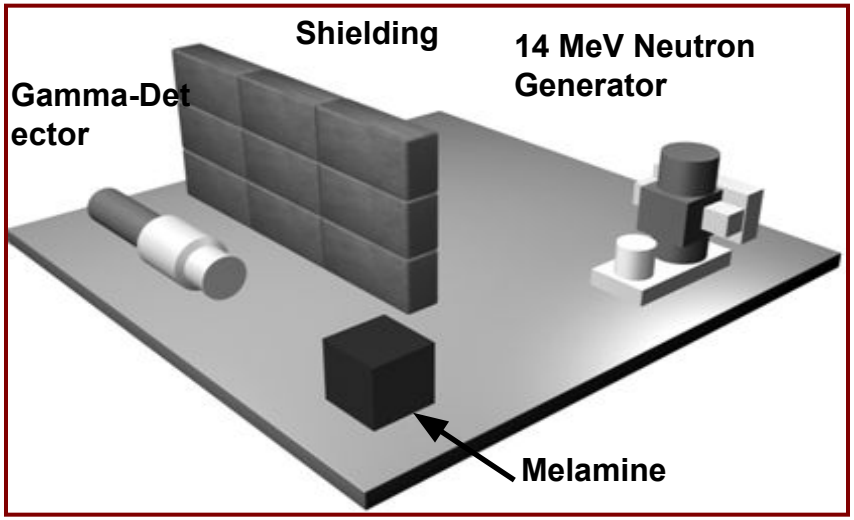
Нейтронный генератор с 256-пиксельным альфа-детектором

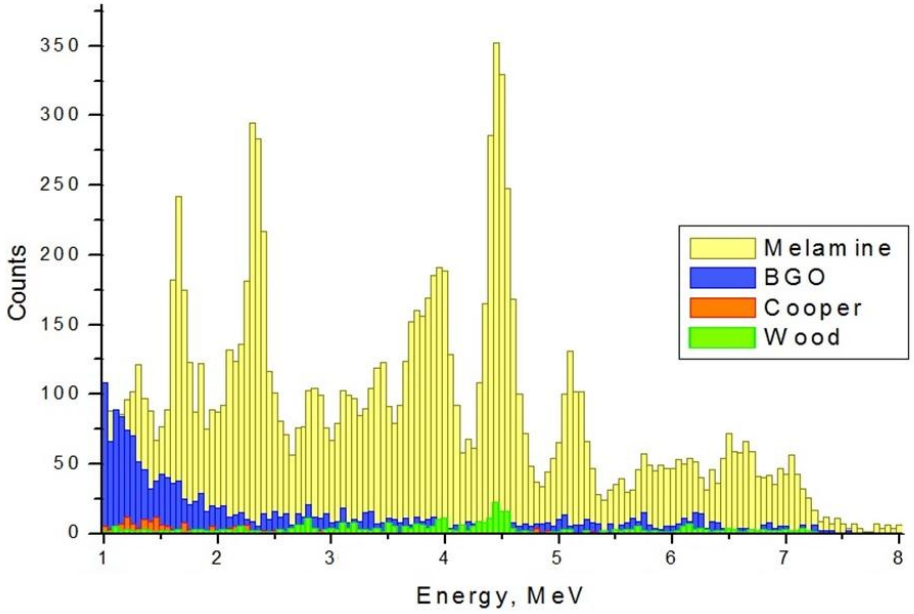


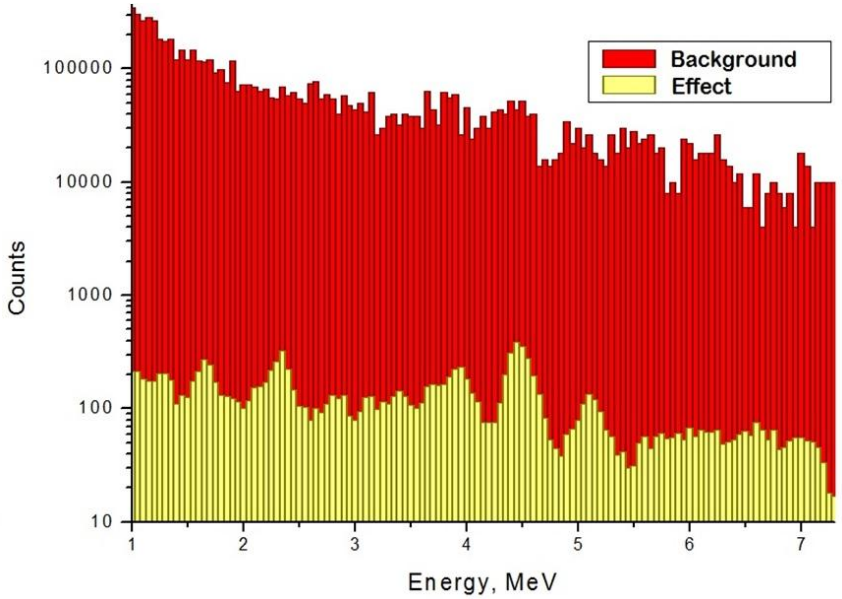
Конфигурации альфа-детектора



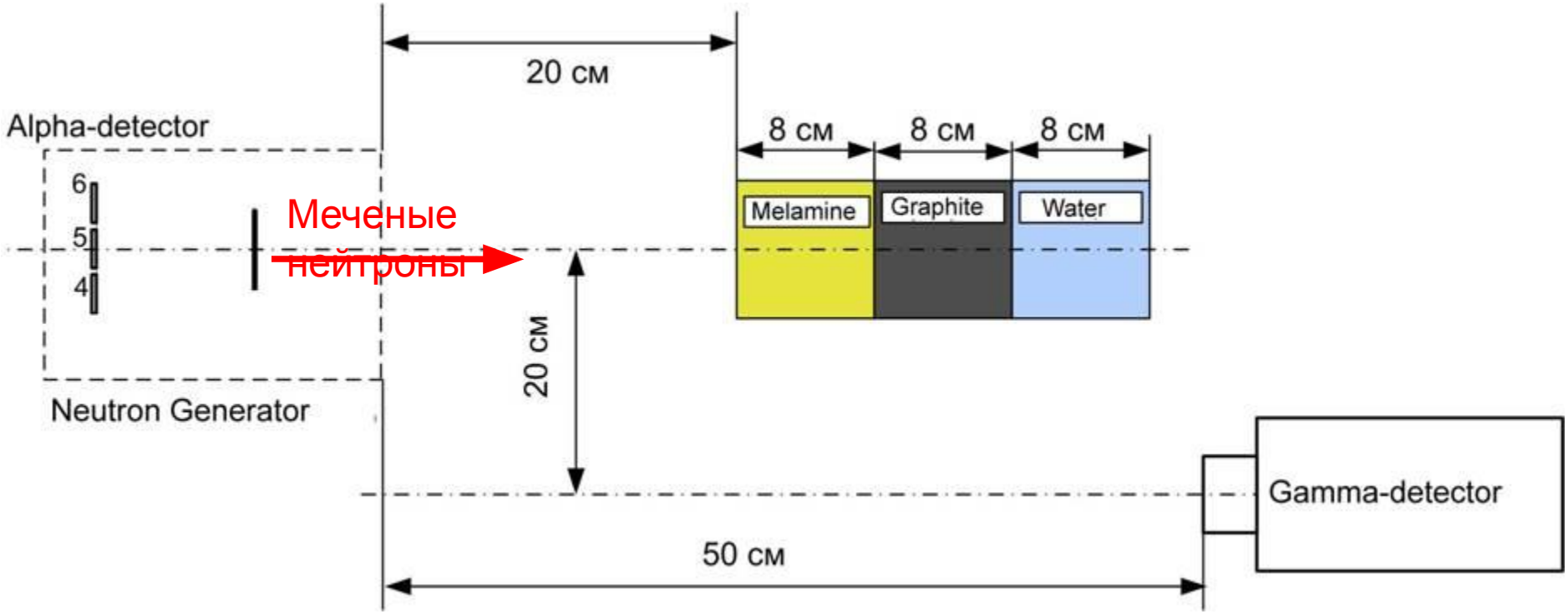
Эффективность дискриминации фона



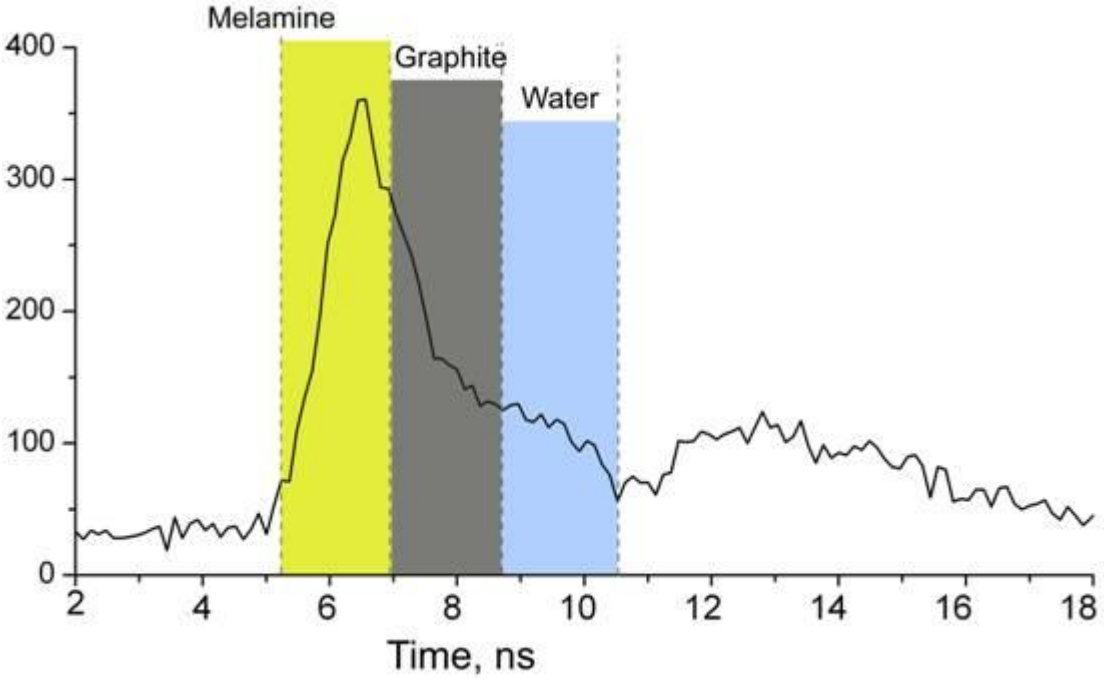


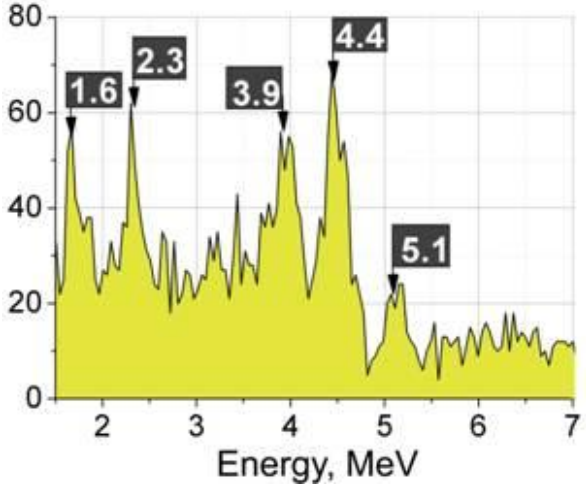


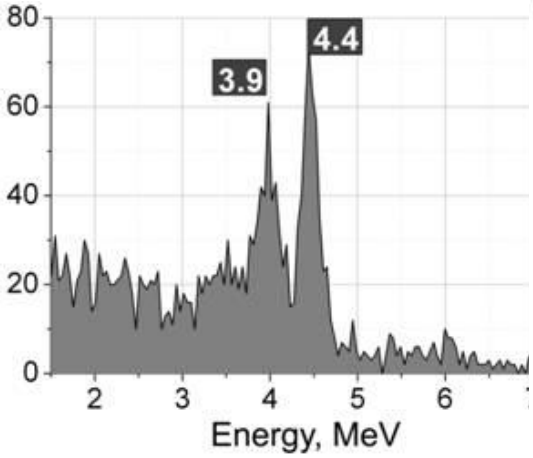
Селекция веществ по времени альфа-гамма совпадений

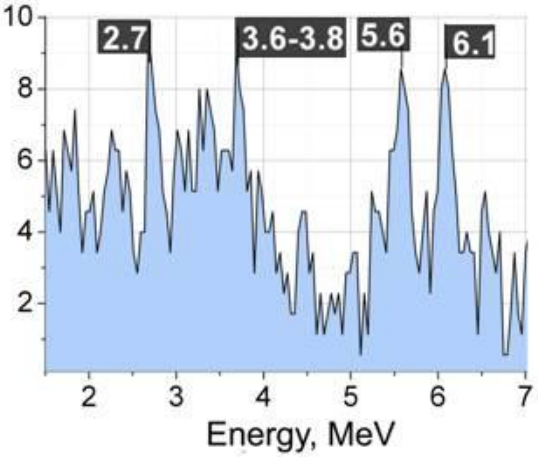


Идентификация веществ по времени альфа-гамма совпадений

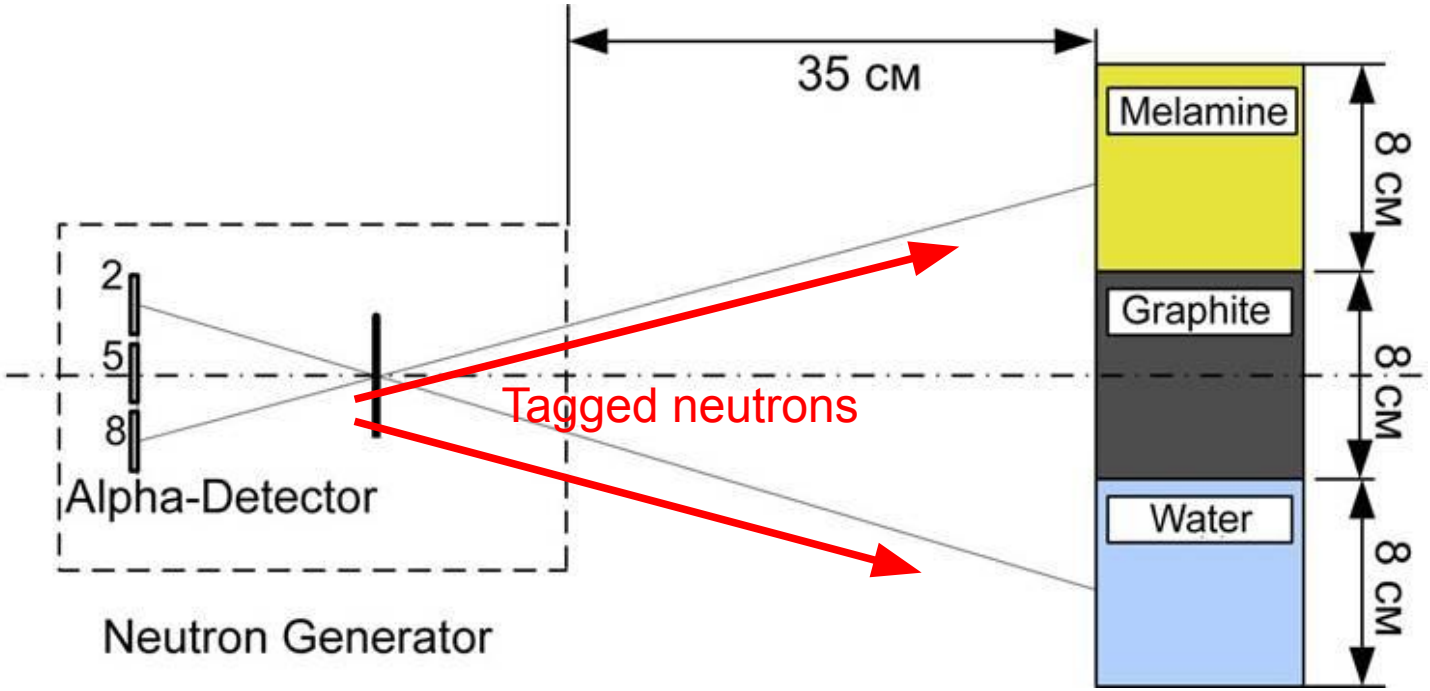




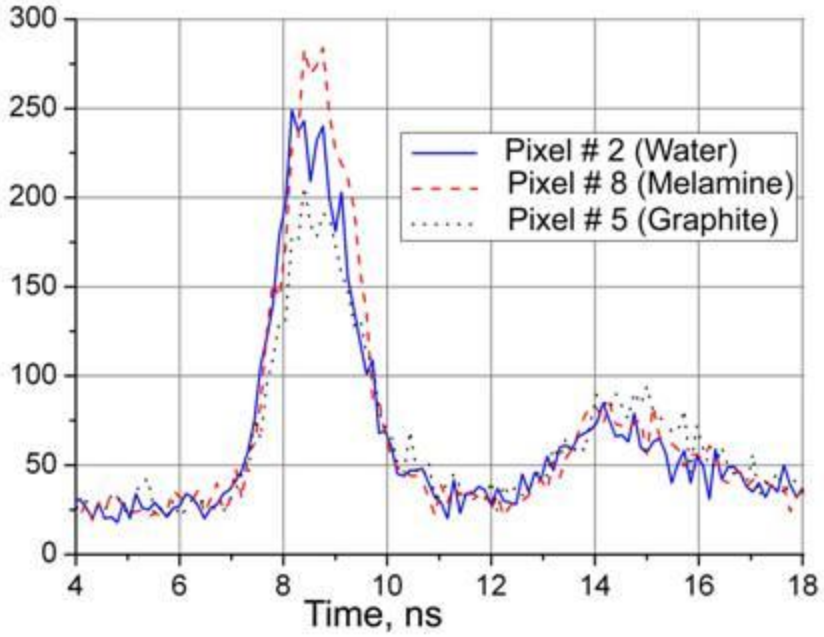


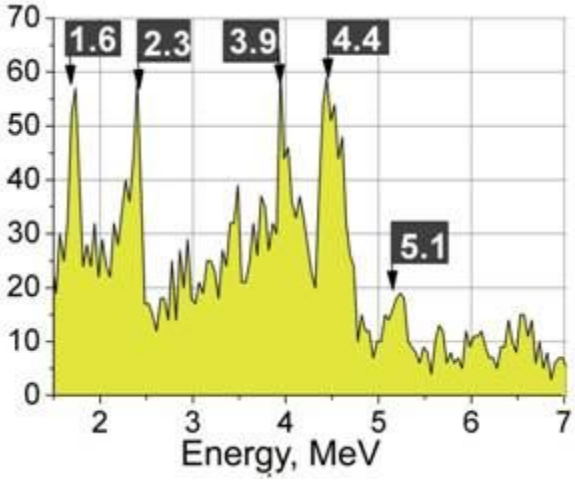


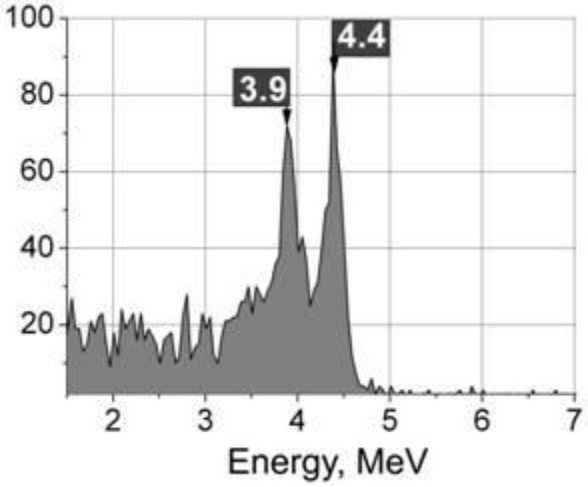
Идентификация веществ по углу вылета нейтронов

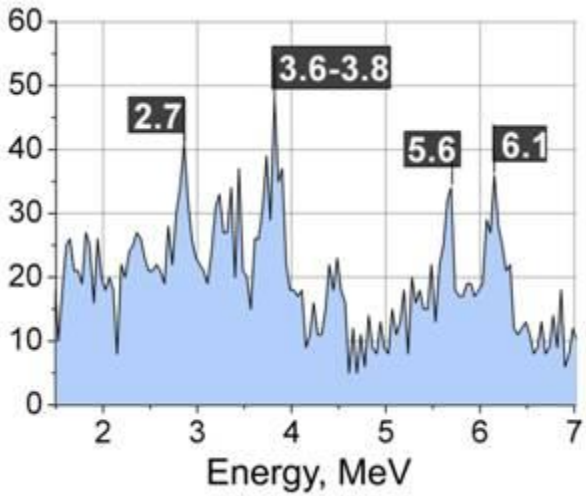


Идентификация веществ по углу вылета нейтронов

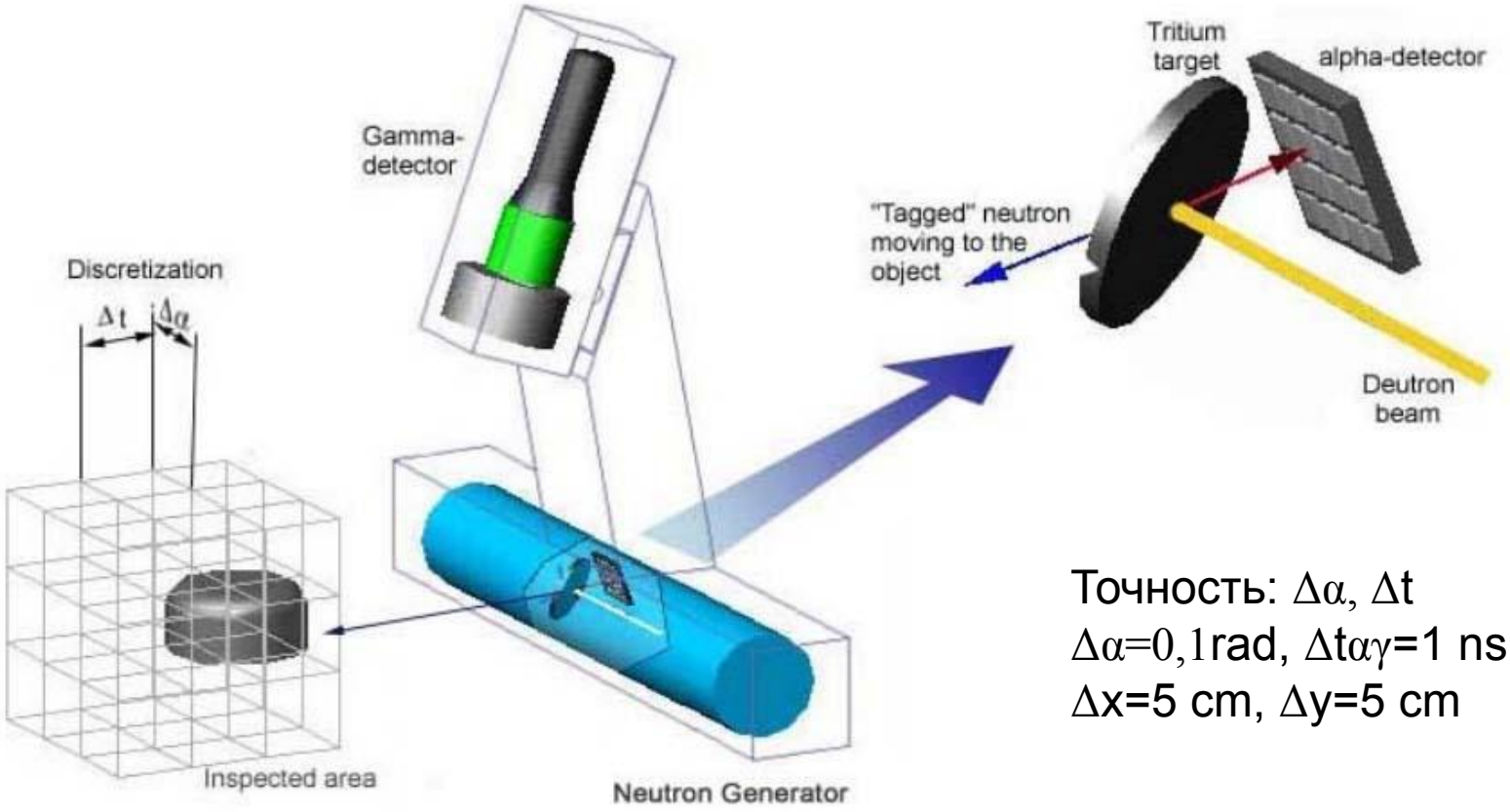








Алгоритм принятия решений



Точность: Δα, Δt
Δα=0,1rad, Δtαγ=1 ns
Δx=5 cm, Δy=5 cm

1) Первичный (трижды дифференциальный) спектр по *E,* времени*T*, и углу вылета *β* $\frac{d^3N}{dEdTd\beta}(E,T,\beta)$

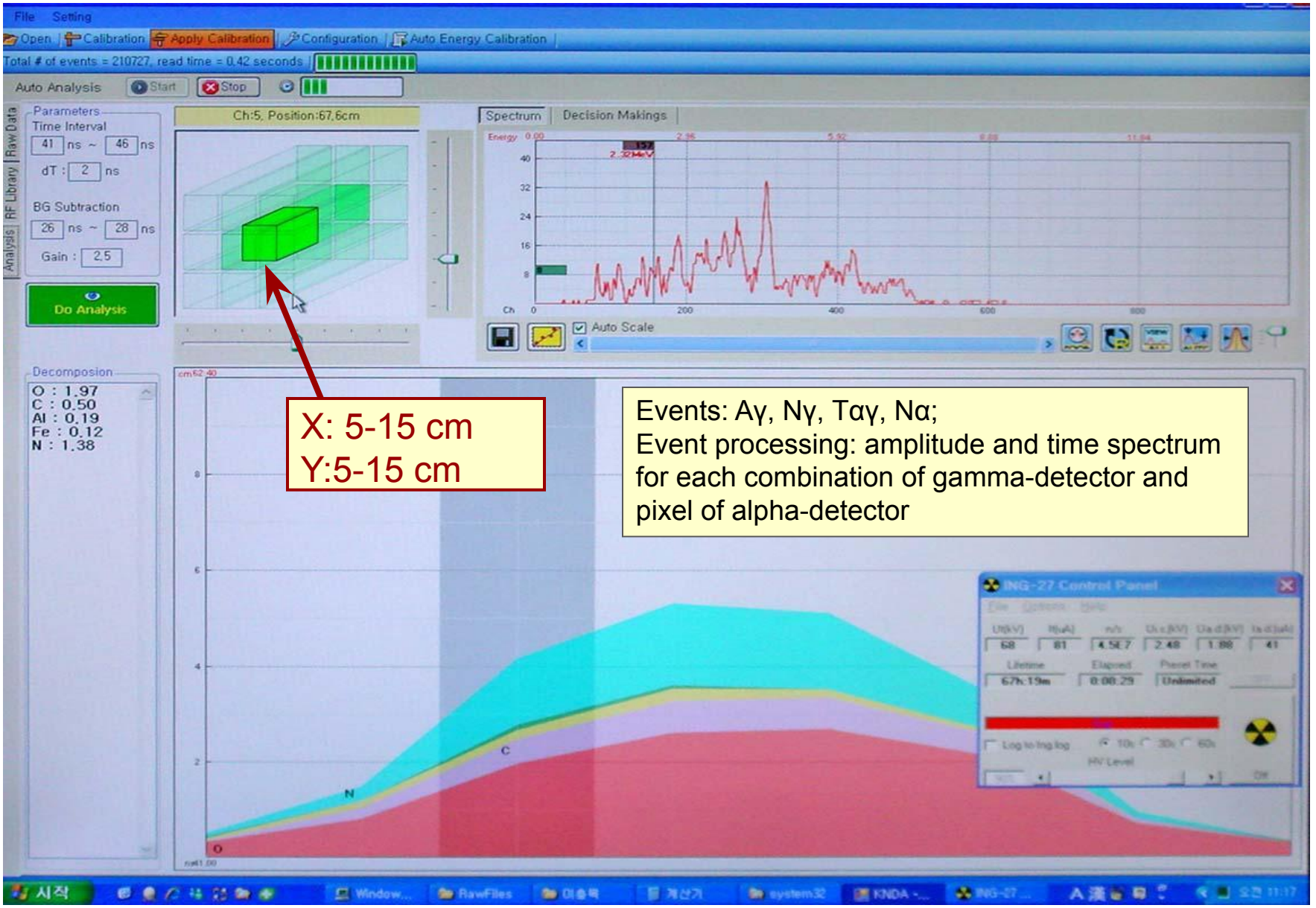
2) Разбиение на воксели, в пределах каждого вокселя *T* и *β* постоянные $\varphi(E,T,\beta)=\sum k(T)\cdot\phi(E)\eta(\beta)$

3) Разложение энергетического спектра на отклики от основных элементов (углерод, азот, кислород)

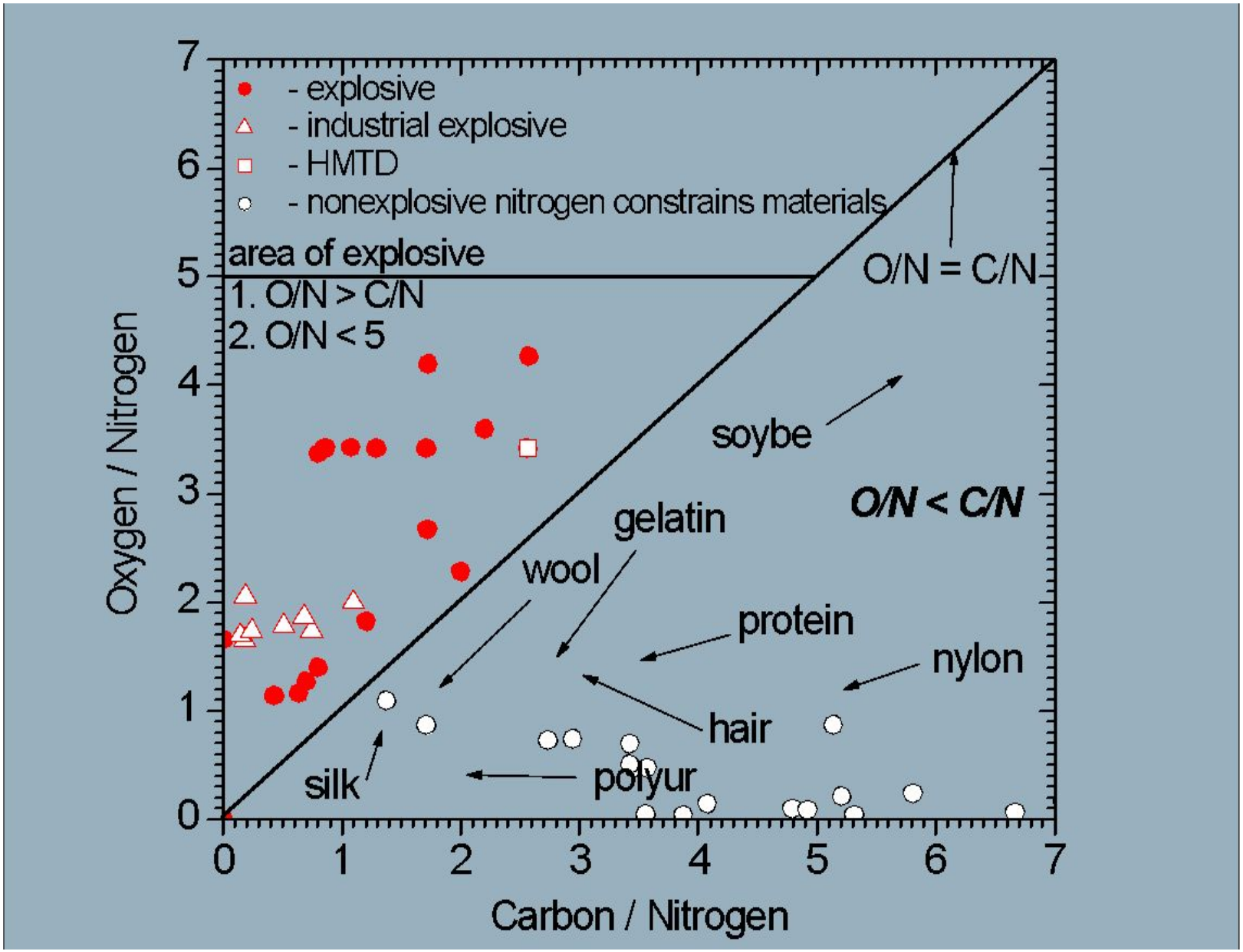
$$C(T,\beta)=\frac{k_C(T,\beta)}{S(T,\beta)} \qquad N(T,\beta)=\frac{k_N(T,\beta)}{S(T,\beta)} \qquad O(T,\beta)=\frac{k_O(T,\beta)}{S(T,\beta)} \qquad S(T,\beta)=\sum_{i=C,N,O}k_i(T,\beta)$$

4) Определение химического состава веществ в каждом вокселе (3 D состав) $A(X,Y,Z)$

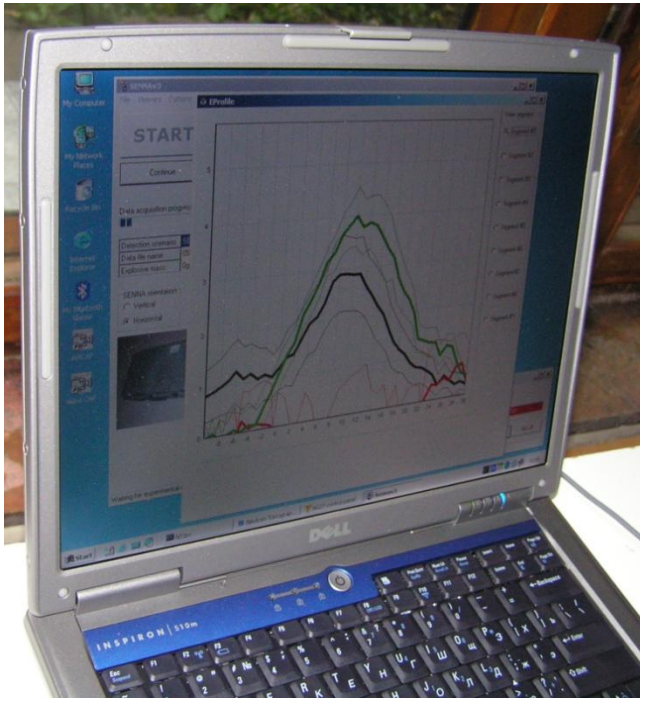
Программа распознавания веществ



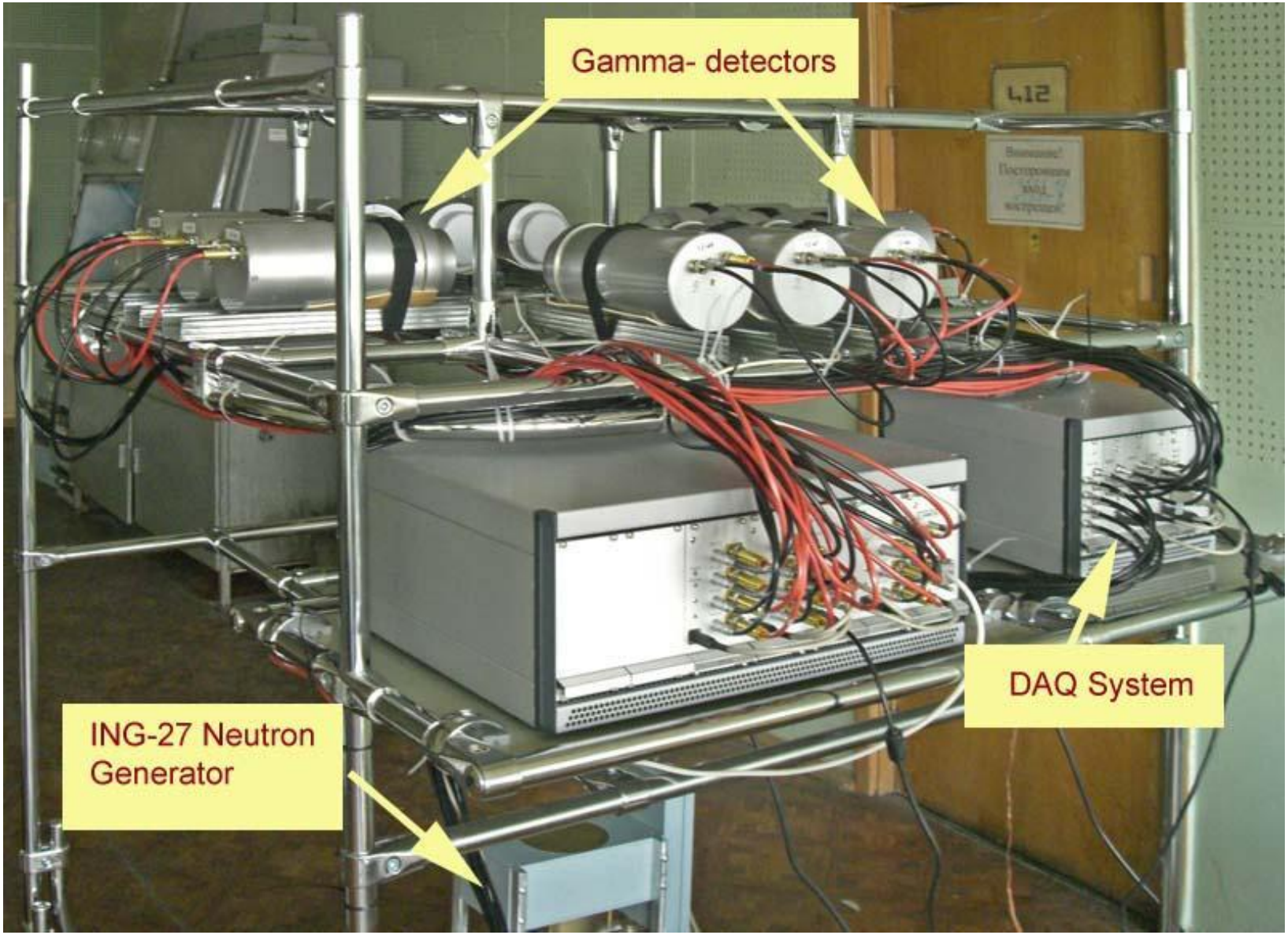
Определение ВВ по O/N и C/N отношению



Переносной обнаружитель ВВ



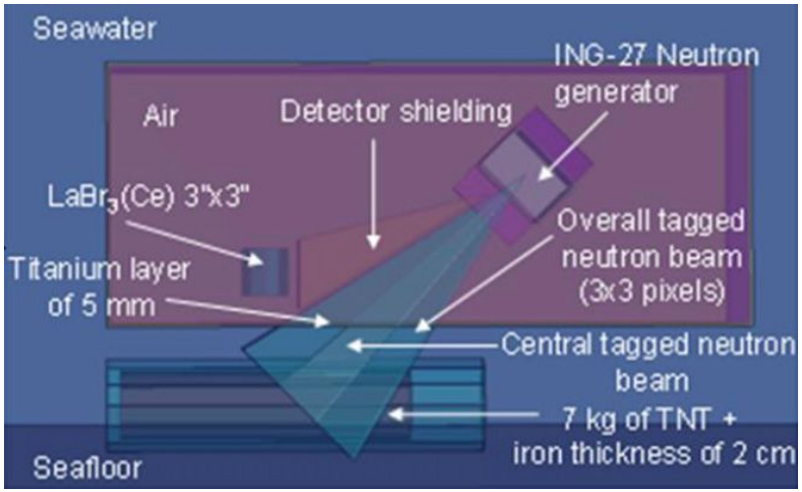
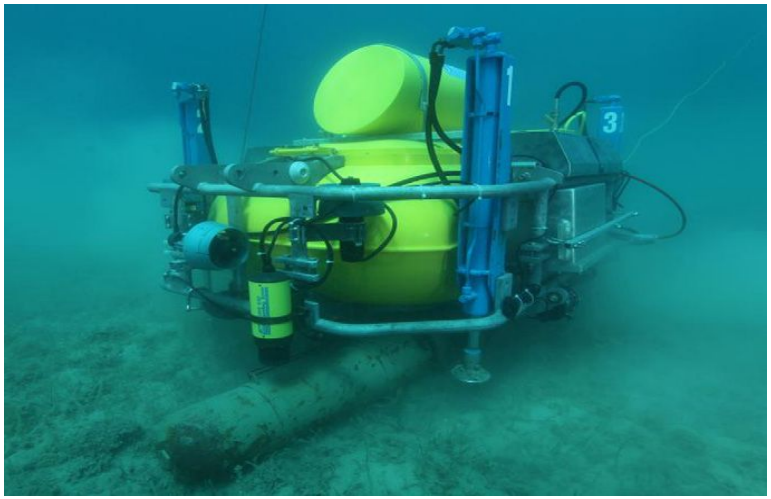
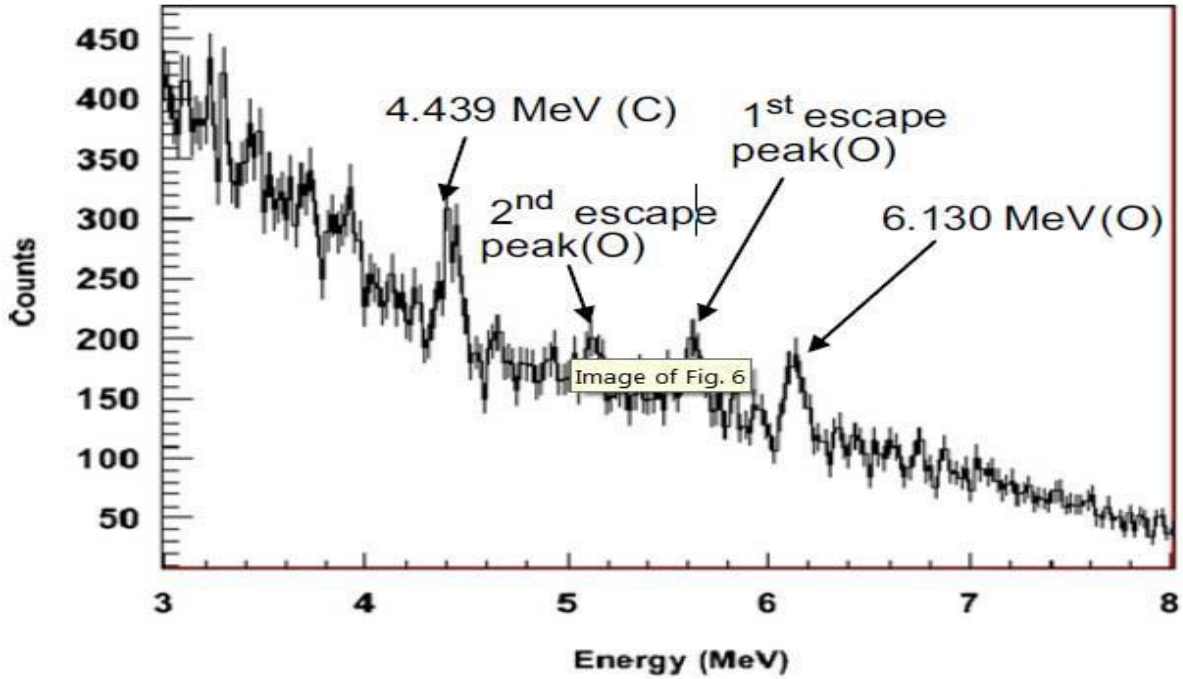
Экспериментальный макет устройства проверки багажа



Проект Euritrack (досмотр больших морских контейнеров)

The portal includes the system for the guided parking of the truck in the selected inspection position.

Neutron generator intensity : $2 \cdot 10^7$ – $1 \cdot 10^8$ 1/s;
22 Gamma-detectors;
64 pixel alpha-detector;

Minimal detectable mass: 25 – 100 kg (TNT);
Identification method- C:N:O ratio.

Обнаружение неразорвавшихся снарядов на морском дне