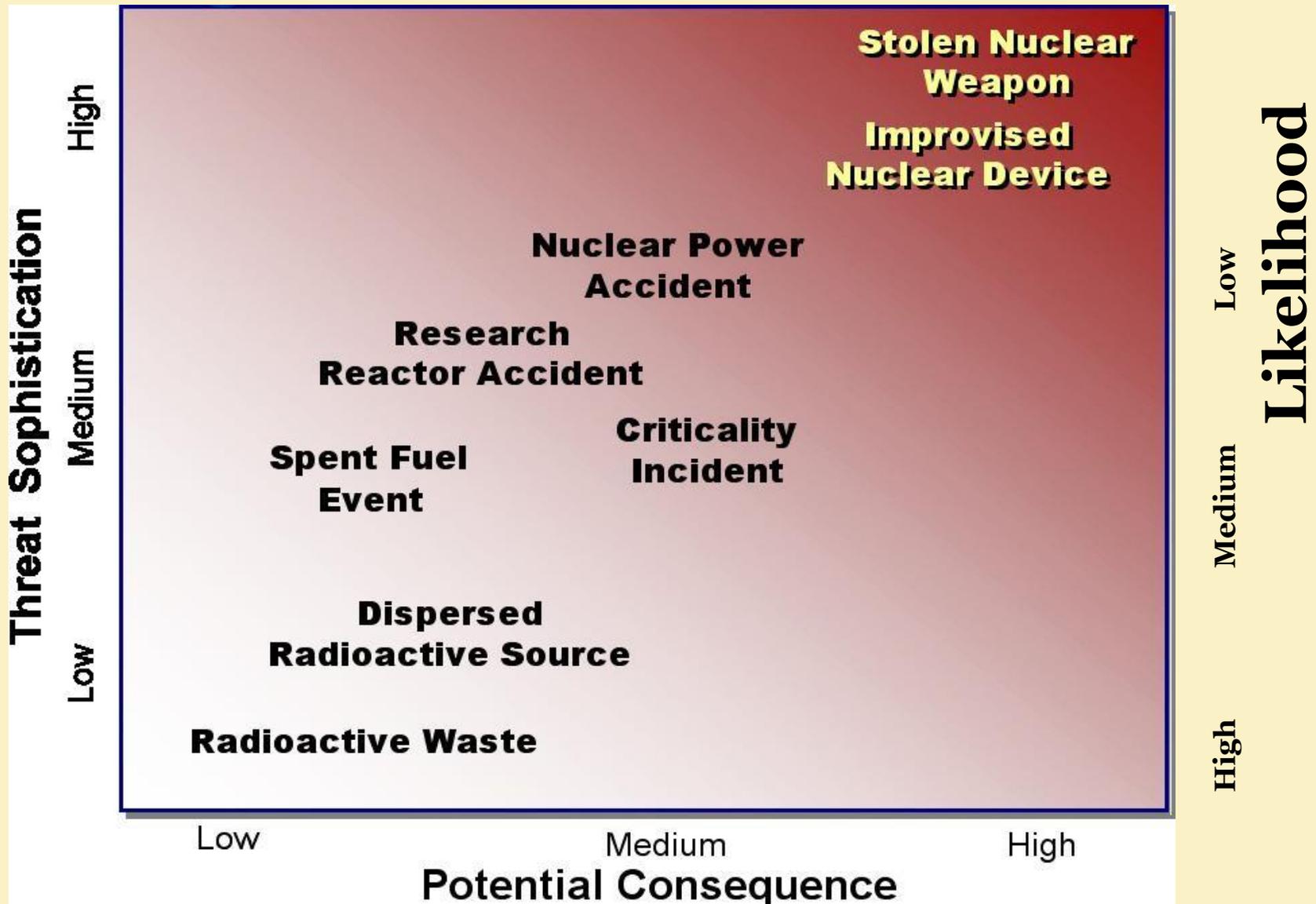
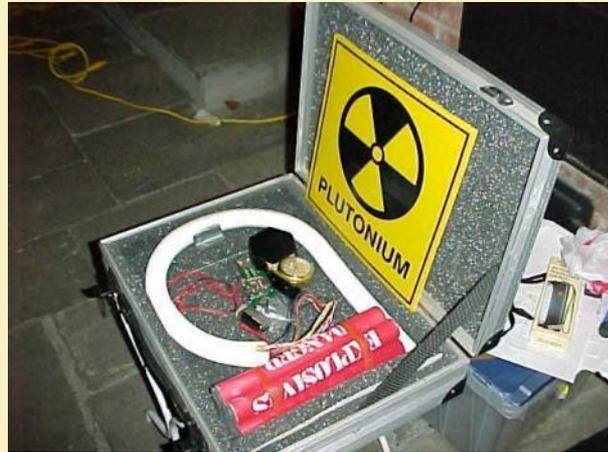


Средства и последствия радиационного и ядерного терроризма



Грязная бомба

Грязная бомба= ВВ + радиоактивное вещество

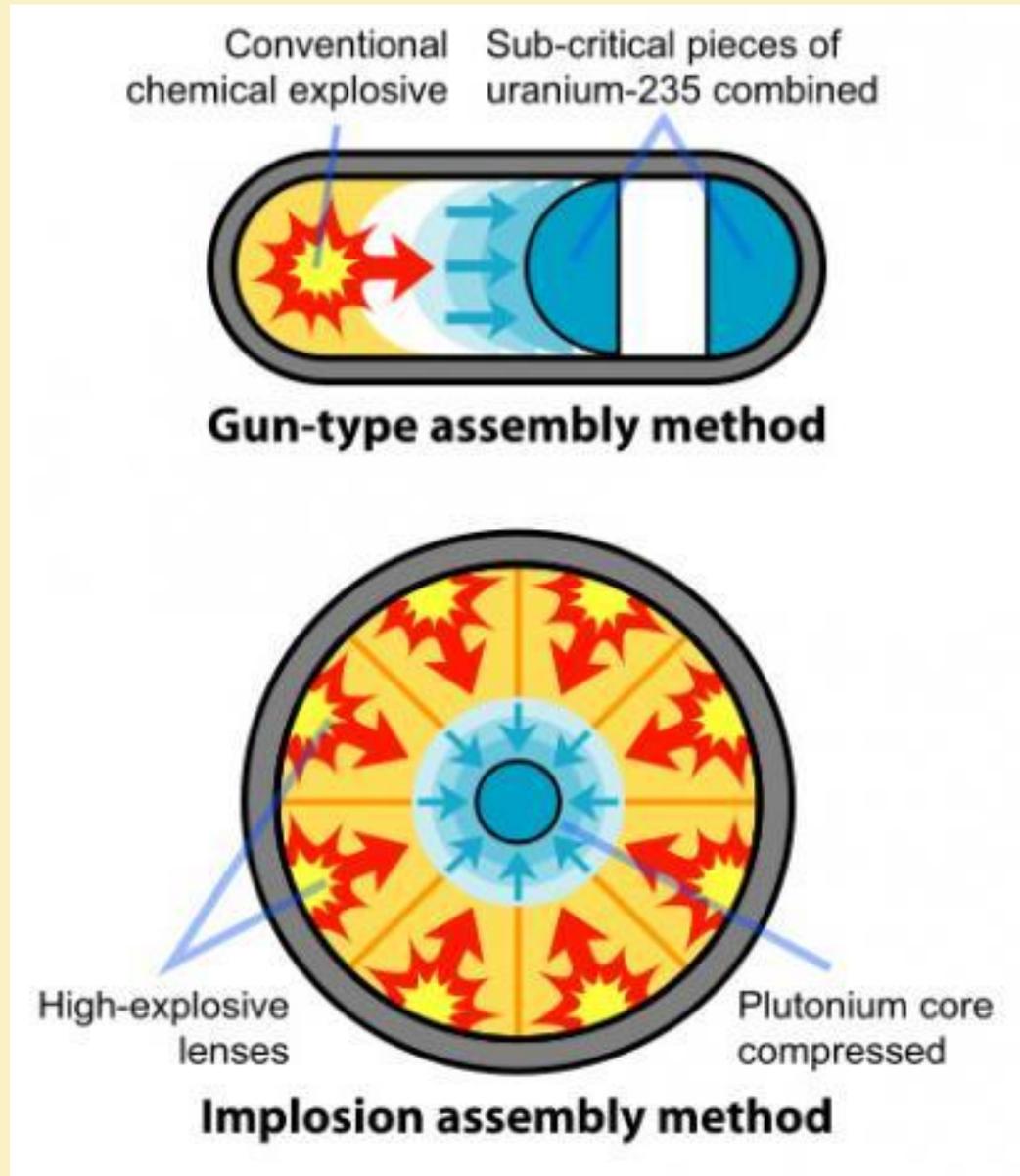


Грязная атомная бомба=атомная бомба+кобальт-59

Нейтрон \longrightarrow кобальт-59= кобальт-60



Первые атомные бомбы Little Boy (Хиросима) и Fat Man (Нагасаки)



Модель атомной бомбы



<i>WgU + depleted uranium</i>	Mass, kg	<i>WgPu + depleted uranium</i>	Mass, kg
Empty	5.77	0	4.25
WgU	7	12	5
Beryllium	9	3	7
Depleted uranium	12	79	10
High explosive	22	71	20
Aluminum	23	17	21
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	182		128

<i>WgU + tungsten</i>	Mass, kg	<i>WgPu + tungsten</i>	Mass, kg
Empty	5.77	0	4.25
WgU	7	12	5
Beryllium	9	3	7
Tungsten	12	81	10
High explosive	22	71	20
Aluminum	23	17	21

Цели применения самодельной ядерной бомбы

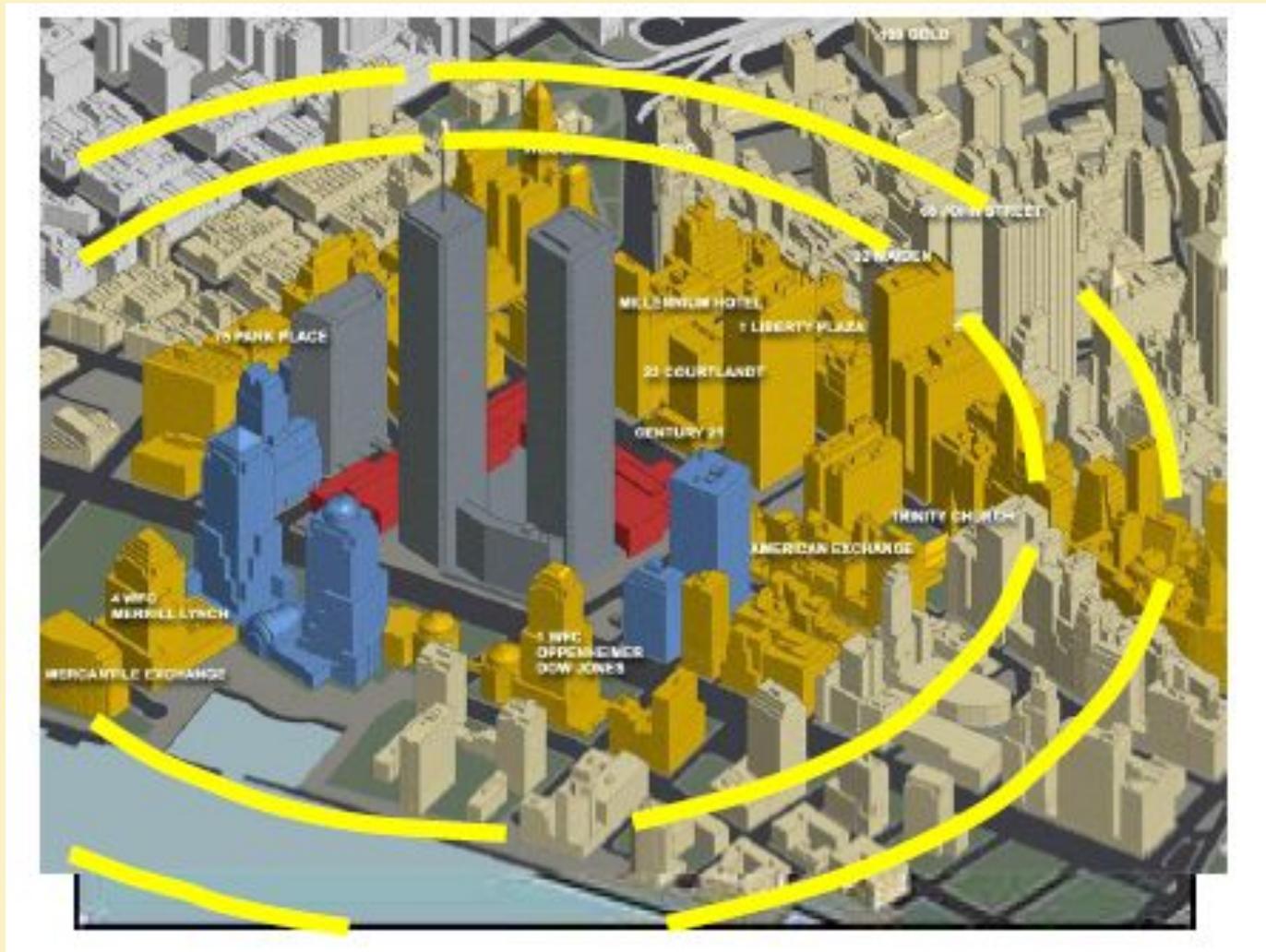
1. Информационное воздействие
2. Шантаж
3. Экономический ущерб

Терроризм- это не стратегия, это тактика

Наиболее вероятная место в США для взрыва самодельной ядерной бомбы

- А). Пустыня Невада.
- Б). Правительственный квартал Вашингтона.
- В). Лос-Анжелес.
- Г). Другое ?

Область разрушений при использовании **2** кт атомной бомбы



Наиболее уязвимые цели для ядерного терроризма

Средства доставки-
большой морской
контейнер 6 x 6 x 20 м

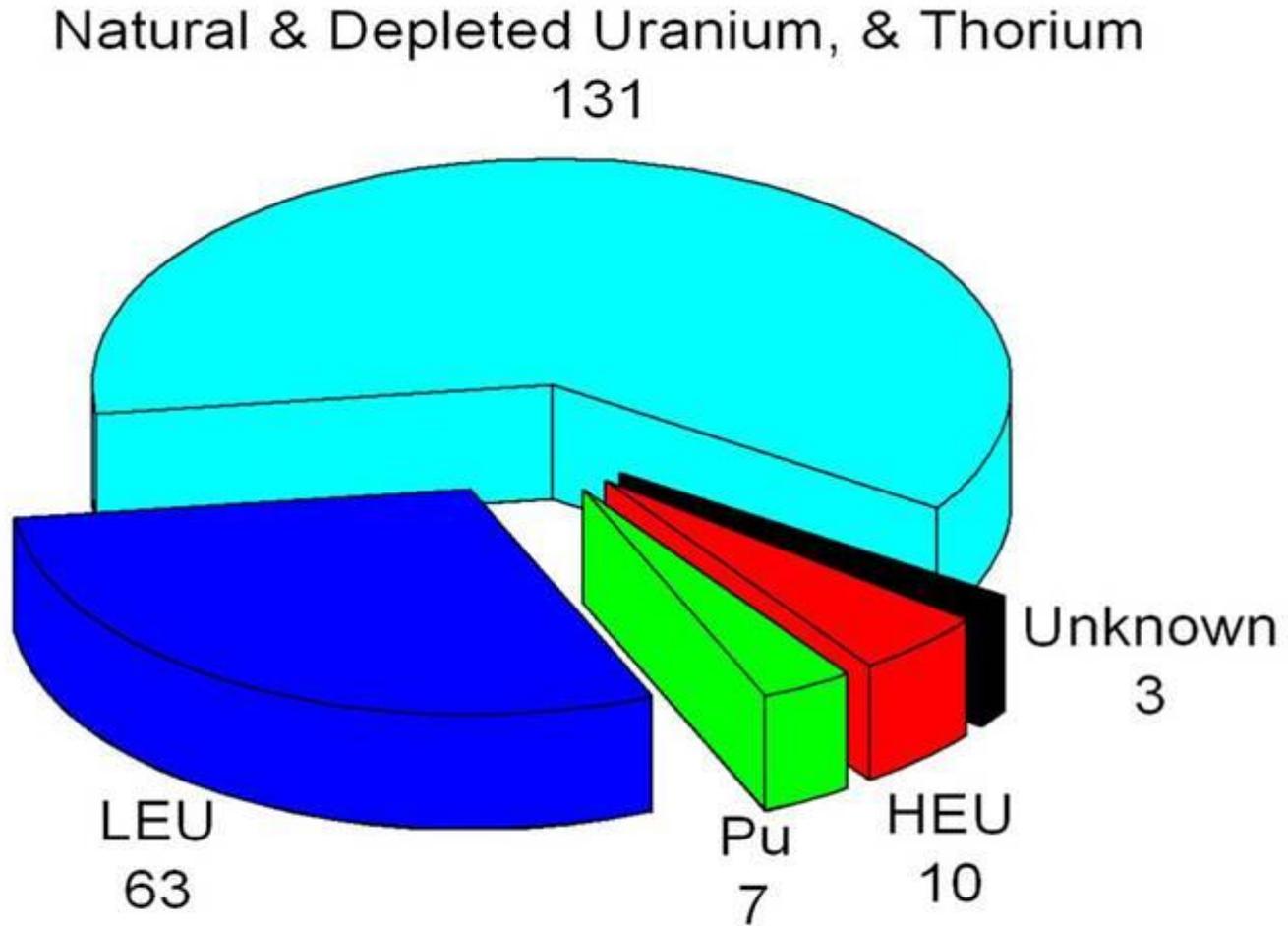


Цель- мегапорт

База данных МАГАТЭ. Случаи незаконного перемещения ЯМ

Annexe A. Incidents involving HEU and Pu confirmed to the ITDB, 1993-2007			
Date	Location	Material Involved	Incident Description
1993-05-24	Vilnius, Lithuania	HEU/ 150 g	4.4 t of beryllium including 140 kg contaminated with HEU were discovered in the storage area of a bank.
1994-03	St Petersburg, Russian Federation	HEU/ 2.972 kg	An individual was arrested in possession of HEU, which he had previously stolen from a nuclear facility. The material was intended for illegal sale.
1994-05-10	Tengen-Wiechs, Germany	Pu/ 6.2 g	Plutonium was detected in a building during a police search.
1994-06-13	Landslut, Germany	HEU/ 0.795 g	A group of individuals was arrested in illegal possession of HEU.
1994-07-25	Munich, Germany	Pu/ 0.24 g	A small sample of PuO ₂ -UO ₂ mixture was confiscated in an incident related to a larger seizure at Munich Airport on 1994-08-10.
1994-08-10	Munich Airport, Germany	Pu/ 363.4 g	PuO ₂ -UO ₂ mixture was seized at Munich airport.
1994-12-14	Prague, Czech Republic	HEU/ 2.73 kg	HEU was seized by police in Prague. The material was intended for illegal sale.
1995-06	Moscow, Russian Federation	HEU/ 1.7 kg	An individual was arrested in possession of HEU, which he had previously stolen from a nuclear facility. The material was intended for illegal sale.
1995-06-06	Prague, Czech Republic	HEU/ 0.415 g	An HEU sample was seized by police in Prague.
1995-06-08	Ceske Budejovice, Czech Republic	HEU/ 16.9 g	An HEU sample was seized by police in Ceske Budejovice.
1999-05-29	Rousse, Bulgaria	HEU/ 10 g	Customs officials arrested a man trying to smuggle HEU at the Rousse customs border check point.
2000-12	Karlsruhe, Germany	Pu/ 0.001 g	Mixed radioactive materials including a minute quantity of plutonium were stolen from the former pilot reprocessing plant.
2001-07-16	Paris, France	HEU/ 0.5 g	Three individuals trafficking in HEU were arrested in Paris. The perpetrators were seeking buyers for the material.
2003-06-26	Sadahlo, Georgia	HEU/ ~170 g	An individual was arrested in possession of HEU upon attempt to illegally transport the material across the border.
2005-03 to 2005-04	New Jersey, USA	HEU/ 3.3 g	A package containing 3.3 g of HEU was inadvertently disposed of.
2005-06-24	Fukui, Japan	HEU/ 0.0017 g	A neutron flux detector was reported lost at an NPP.
2006-02-01	Tbilisi, Georgia	HEU/ 79.5 g	A group of individuals was arrested trying to illegally sell HEU.
2006-03-30	Hennigsdorf, Germany	HEU/ 47.5 g	Authorities discovered trace amounts of HEU on a piece of tube found amidst scrap metal entering a steel mill.

DISTRIBUTION OF INCIDENTS ASSOCIATED WITH ILLICIT TRAFFICKING OF NUCLEAR MATERIAL BY CATEGORY



Several hundred sources of radiation is disappeared each year

Возможные сценарии создания самодельной ядерной бомбы

Ключевые компоненты

- Время, необходимое для создания ЯО;
- Стоимость создания компонент ЯО;
- Скрытность работ;
- Радиационный риск;
- Доступ у ядерному сырью.

Rumyantsev A. et al. A New Look at Metrics for Proliferation Resistance. Proceedings of the INMM 41-th Annual Meeting. New Orleans, LU, USA, 2000.

LEU

HEU

R-Pu

W-Pu

Минимальное количество ДВ, начиная с которого они подлежат государственному учету и контролю

Делящееся вещество	Минимальное количество
Плутоний-239	15 г
Уран-233	15 г
Уран обогащенный Ураном-235 до 10% и более	15 г Урана-235
Уран обогащенный Ураном-235 менее, чем на 10%, но больше, чем естественный Уран	15 г Урана-235
Нептуний-237	15 г
Америций-241	1 г
Америций -243	1 г
Калифорний-252	0,001 г
Уран с концентрацией Урана-235 менее чем 0.7%	500 кг
Торий	500 кг

Требования досмотра для различных категорий контейнеров

Категория контейнера	Максимальные размеры зоны инспекции			Максимальная масса контейнера, кг	Основной досмотр на потоке		Дополнительный досмотр, мин
	Глубина, м	Высота, м	Длина, м		Скорость движения, м/с	Время досмотра, мин	
Почтовые отправления	0,4	0,4	0,5	30	1,2	0,1	1,5 ÷ 2,5
Ручная кладь	–	–	–	–	1,2	0,1	–
	0,3	0,57	0,71	–	–	–	1,5 ÷ 2,5
Пассажирский багаж	0,5	0,7	1,0	40	1-1,2	0,1	–
	–	–	–	–	–	–	1,5 ÷ 2,5
Несопровождаемый багаж	1,0	1,5	1,5	200	1-1,2	0,1	5 ÷ 20
	1,53	1,56	1,6				
Легковой автомобиль	2,0	2,0	5,0	3500	–	10	–
	2,0	1,8	5,6	–	–	–	1,3 ÷ 4
Грузовой автомобиль	2,8	2,8	6,0	40000		10	3,3 ÷ 13
	2,2	2,2	7,6				
Крупногабаритные грузы	3,0	3,0	6 ÷ 12	24000 ÷		10	3,3 ÷ 13
	2,6	3,0	9,1 ÷ 12	31000			
Железнодорожные вагоны	2,9	5,0	27,4			10	

ПРОБЛЕМЫ

РЕШЕНИЯ

- Возможность привлечения специалистов для разработки ЯО.
- Относительная открытость информации по устройству и технологии создания ЯО.

- Возможность контрабанды ЯМ в грузовых контейнерах и а/м.

- Большой грузопоток (до 2 млн контейнеров/год – РФ).

- Экранировка ЯМ.

- Транспортировка с легальными радиоизотопами.

- Неизлучающие специальные неядерные материалы

Угроза ядерного терроризма

Создание самодельного ЯО

Неэффективность современных средств контроля ЯМ

Спрос на ЯМ со стороны нелегальных структур

Хищение ЯМ с ядерных объектов и хранилищ

Федеральная целевая программа «Безопасность и противодействие терроризму»

Развитие технических средств контроля ЯМ

Оперативные мероприятия

Совершенствование учета и контроля

Стандартный грузовой **20**-ти футовый контейнер

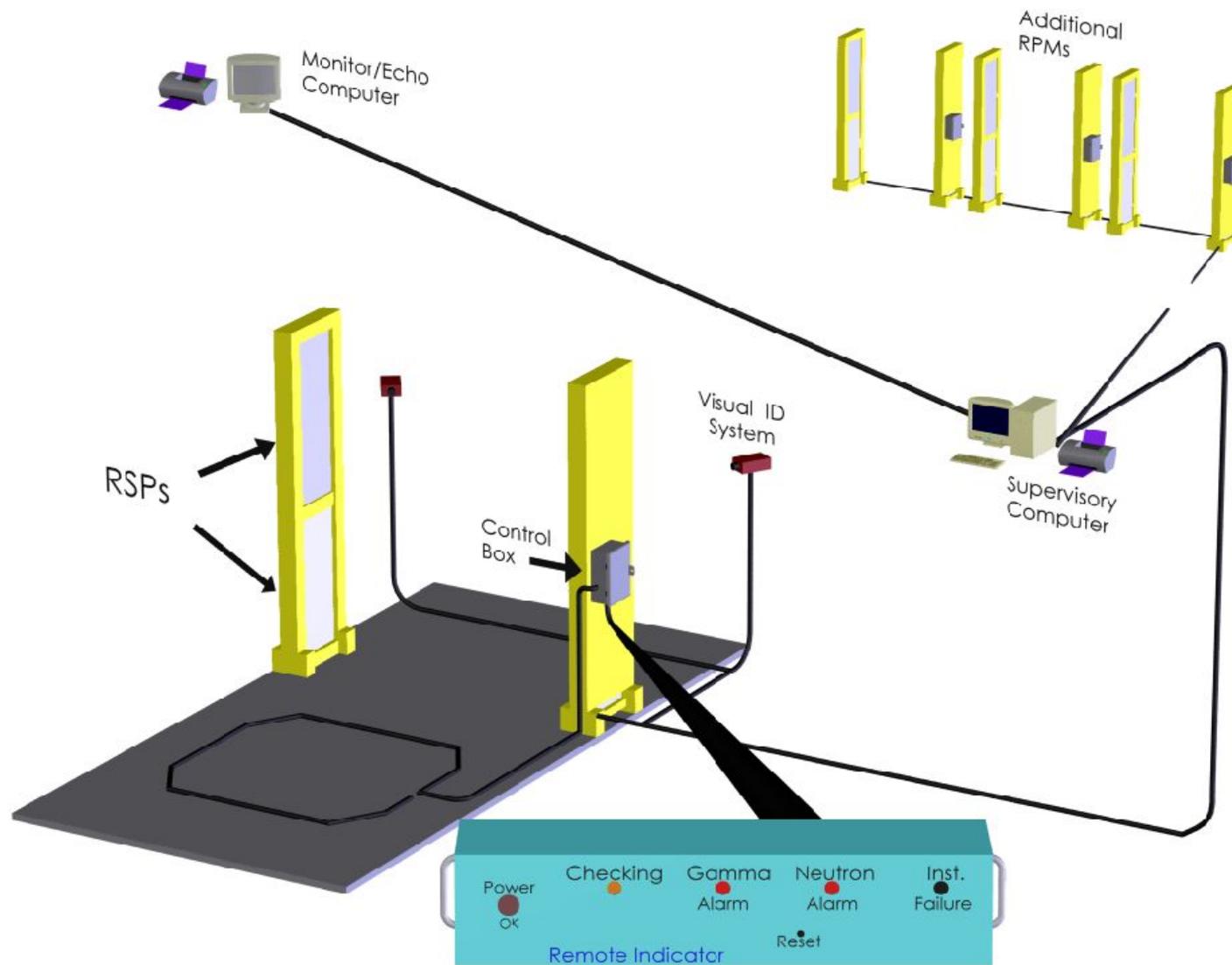


Размеры, мм				Вес, кг		Грузоподъёмность	
	Длина	Ширина	Высота	Макс. вес брутто	Тара	Макс. загрузка, кг	Объём, м ³
Снаружи	6096	2370	2591	24000	2080	21920	33,9
Внутри	5935	2335	2383				

Пункт контроля таможенного терминала

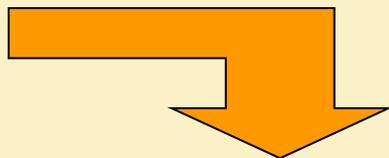


Портальные мониторы

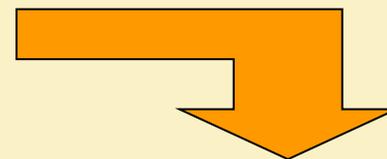


Используемые средства обнаружения РВ и ДВ в грузах

1. Детектирование



2. Локализация



3. Идентификация



Недостаток пассивных средств контроля **1**

Сильноэкранированные радиоактивные источники

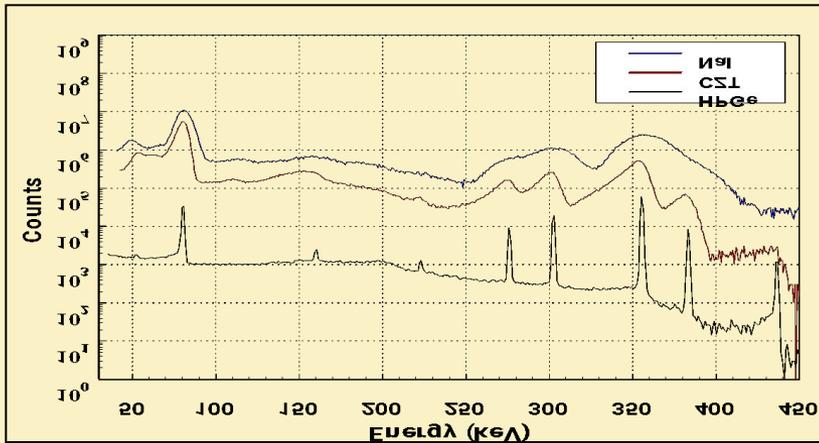


1. Неэкранированные-
чувствительность: 10 г
2. 5 mm свинца-
чувствительность: 50 г
3. 10 mm свинца-
чувствительность : 200 г

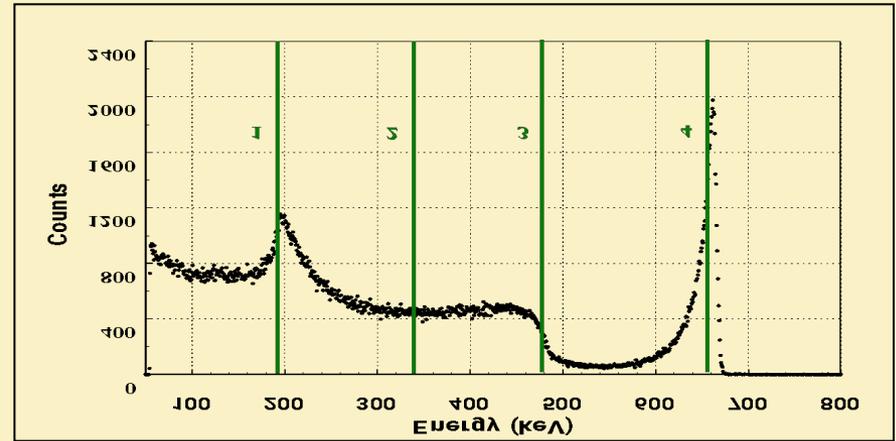
U-235, 1 м/с



Гамма-спектр урана



Гамма-спектр цезия



identify - C:\GENIE2\REPPFILES\Cs137 HEU\40-1.spe

file analysis settings language help

peak search

identified nuclides

Cs137, 3.4E07 +/- 9.8E06Bq, 1/1 peaks

cursor info
nuclide list
peak report
nuclide report

calibrated

780 268.55 keV

HEU + 40 MBq ^{137}Cs : IDENTIFY does not detect ^{235}U

106 [30.67 keV] 1130 [392.2 keV] 2154 [754.43 keV]

Cs137 661.66keV(85.2%)

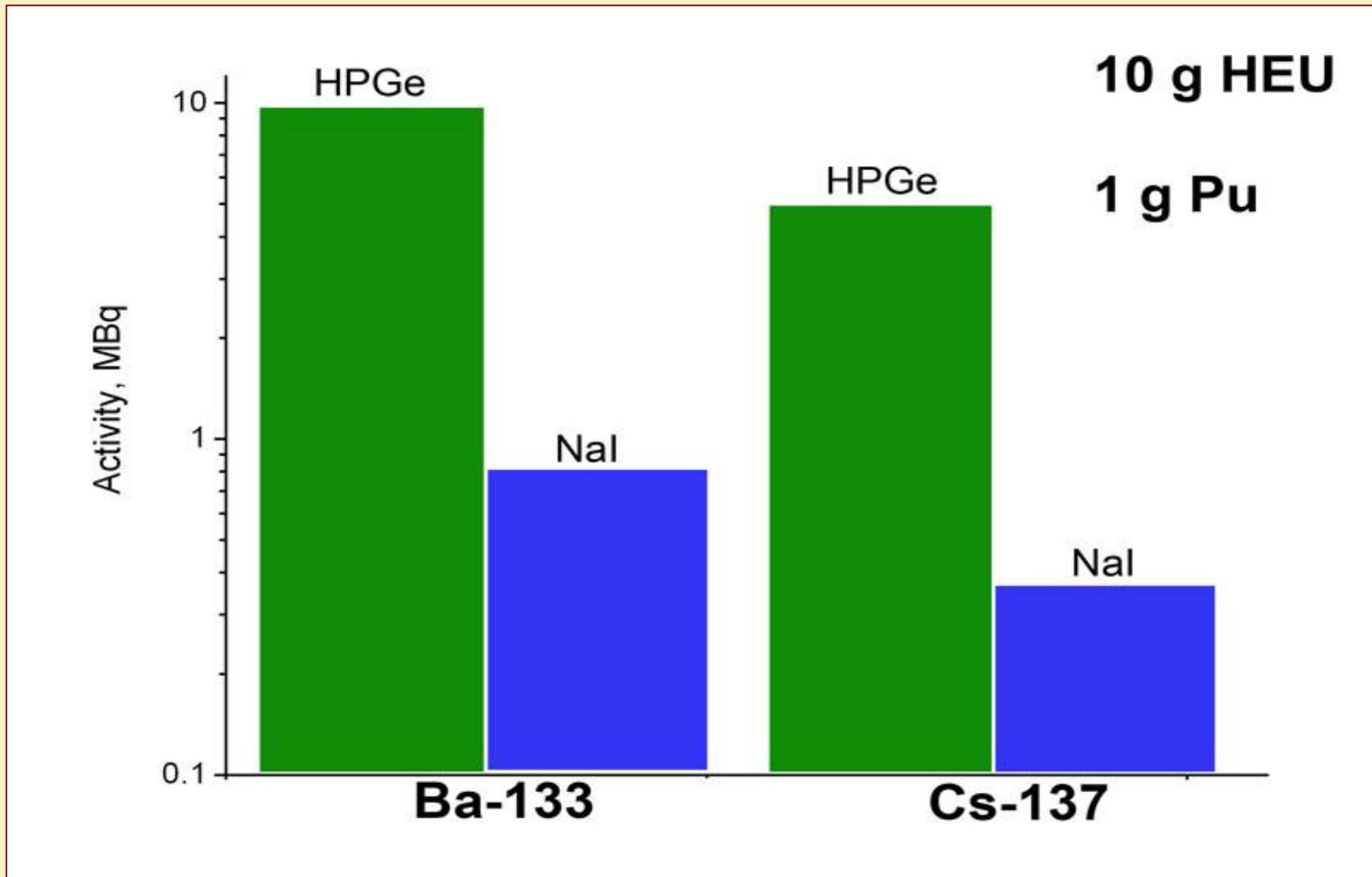
Start Genie 2000 VDM identify - C:\GE... Identife.txt - Notepad Microsoft Word - ID... 8:04

Недостаток пассивных средств контроля **2**

Идентификация радиоактивных материалов в легальных посылках с радиоактивными веществами

Область спектра для маскировки пиков	U-235	Pu-239
Пик комптоновского рассеяния	Cs-137	Not possible
Комптоновский континуум	Co-60	Co-60
Край комптоновского излучения	Not possible	Possible
Интерферирующие пики	Ga-67, Ra-226, I-131, Tl-201	Ga-67, I-131

Активность изотопа для маскировки 10 г HEU и 1 г Pu



Недостаток пассивных средств контроля **3**

Неизлучающие материалы ядерного цикла

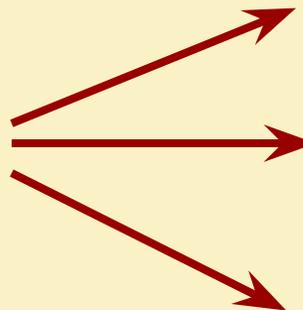
Материал ядерного цикла	Минимально значимое количество
Тритий	0.2 г
Литий-6	1 кг
Дейтерий (кроме тяжелой воды)	2 г
Тяжелая вода	200 кг

Активные методы контроля

Зондирующее
излучение



Объект контроля



Информационное
излучение

Выделение информационного излучения на фоне зондирующего

1. По времени (например, зондирующее- быстрые нейтроны, информационное- запаздывающие нейтроны)
2. По типу излучения (например, зондирующее-тормозное излучение, информационное- нейтроны.
3. По энергетической избирательности детектора (например, зондирующее- тепловые нейтроны, информационное- быстрые нейтроны, счетчик не реагирует на тепловые нейтроны)

Характеристики спонтанного деления

Ядро	Период полураспада, год	Среднее количество нейтронов
^{233}U	$3 \cdot 10^{17}$	2,51
^{235}U	$1,9 \cdot 10^{17}$	2,40
^{239}Pu	$5,5 \cdot 10^{15}$	2,85

Распределение энергии продуктов деления ядра, МэВ

Ядро	Осколки деления	Мгновенные γ -кванты	Мгновенные нейтроны	Запаздывающие γ -кванты	β - частицы
^{233}U	163	7	5,0	7	9
^{235}U	165	7,8	4,9	7,2	9
^{239}Pu	172	7	5,8	7	9

Среднее количество нейтронов, возникающих при делении

Ядро	Энергия нейтронов (МэВ)	Количество нейтронов на один акт деления
^{233}U	$2,5 \cdot 10^{-8}$ (тепловые)	$2,51 \pm 0,02$
	1,8	$2,71 \pm 0,04$
	4	$3,06 \pm 0,12$
	14	$4,23 \pm 0,24$
^{235}U	$2,5 \cdot 10^{-8}$ (тепловые)	$2,44 \pm 0,02$
	1,8	$2,74 \pm 0,05$
	4	$3,11 \pm 0,35$
	14	$4,13 \pm 0,08$
^{239}Pu	$2,5 \cdot 10^{-8}$ (тепловые)	$2,89 \pm 0,03$
	1,8	$3,21 \pm 0,06$
	4	$3,43 \pm 0,11$
	14	$4,62 \pm 0,28$

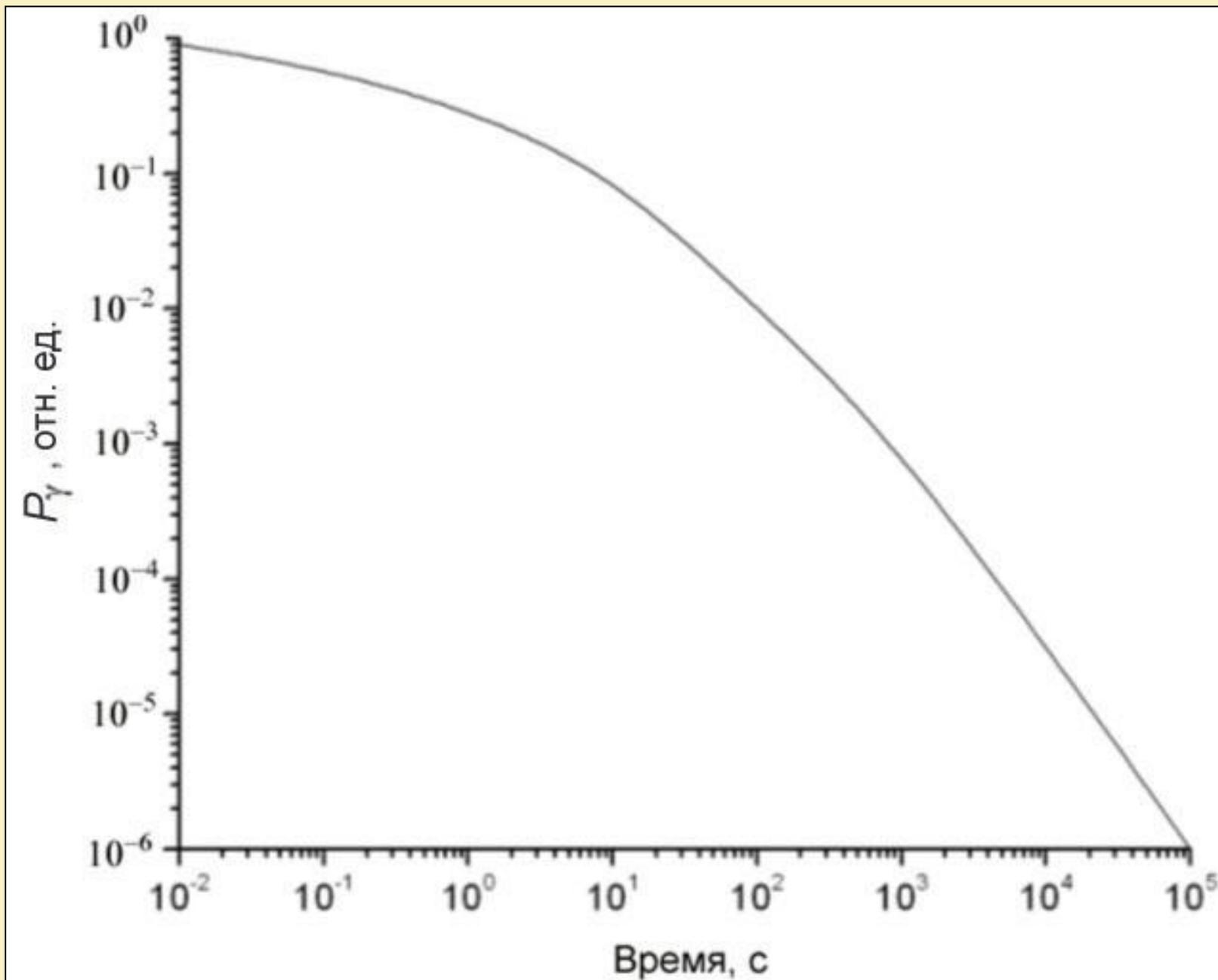
Характеристики запаздывающих нейтронов деления

Ядро	Номер группы	Период полураспада, с	Средняя энергия, кэВ	Относительный выход	Абсолютный выход
^{233}U	1	55,00	250	0,086	0,00057
	2	20,57	460	0,299	0,00197
	3	5,00	405	0,252	0,00166
	4	2,13	450	0,278	0,00184
	5	0,62	520	0,051	0,00034
	6	0,28		0,034	0,00022
	Выход				1,0
^{235}U	1	55,72	250	0,033	0,0006
	2	22,72	460	0,219	0,00192
	3	6,22	405	0,196	0,00159
	4	2,3	450	0,395	0,00222
	5	0,61	520	0,115	0,00051
	6	0,23		0,042	0,00016
	Выход				1,0
^{239}Pu	1	53,75	250	0,038	0,00024
	2	22,29	460	0,28	0,00176
	3	5,19	405	0,216	0,00136
	4	2,09	450	0,328	0,00207
	5	0,55	520	0,103	0,00065
	6	0,216		0,035	0,00022
	Выход				1,0

Источники запаздывающих γ -квантов деления

Изотоп	Период полураспада, с	Выход γ -квантов			
		>3 МэВ		>4 МэВ	>3 МэВ
		Деление тепловыми нейтронами		Деление быстрыми нейтронами	
^{85}Se	39	0	0,0012	0	0,0012
^{87}Br	55,6	0,0045	0,0073	0,0034	0,0056
^{88}Br	16,3	0,0045	0,0072	0,0037	0,0060
^{91}Rb	58,4	0,0052	0,017	0,0035	0,0115
^{92}Rb	4,5	0,011	0,012	0,00084	0,0091
^{93}Rb	5,9	0,00078	0,0073	0,00075	0,0070
$^{98\text{m}}\text{Y}$	0,59	0,003	0,007	0	0,0040
^{136}Te	17,6	0	0,002	0,00080	0,0024
^{140}Cs	63,7	0	0,0038	0	0,0030
Всего		0,0458	0,127	0,034	0,108

Мощность излучения запаздывающих γ -квантов от времени



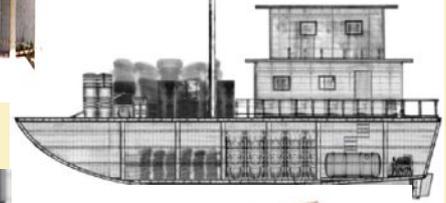
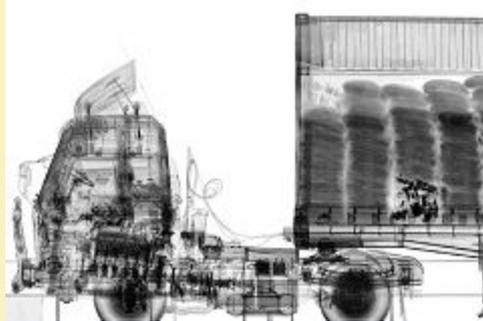
Сечение реакций взаимодействия с тепловыми нейтронами

Ядро	Сечение радиационного захвата (n,γ), барн	Сечение деления (n,f), барн	Полное сечение взаимодействия, барн
D	0,000506	—	4,23
^6Li	940	—	956
^{233}U	45,3	531	589
^{235}U	98,7	585	699
^{239}Pu	271	748	1027

Порог фотоядерных реакций различных веществ

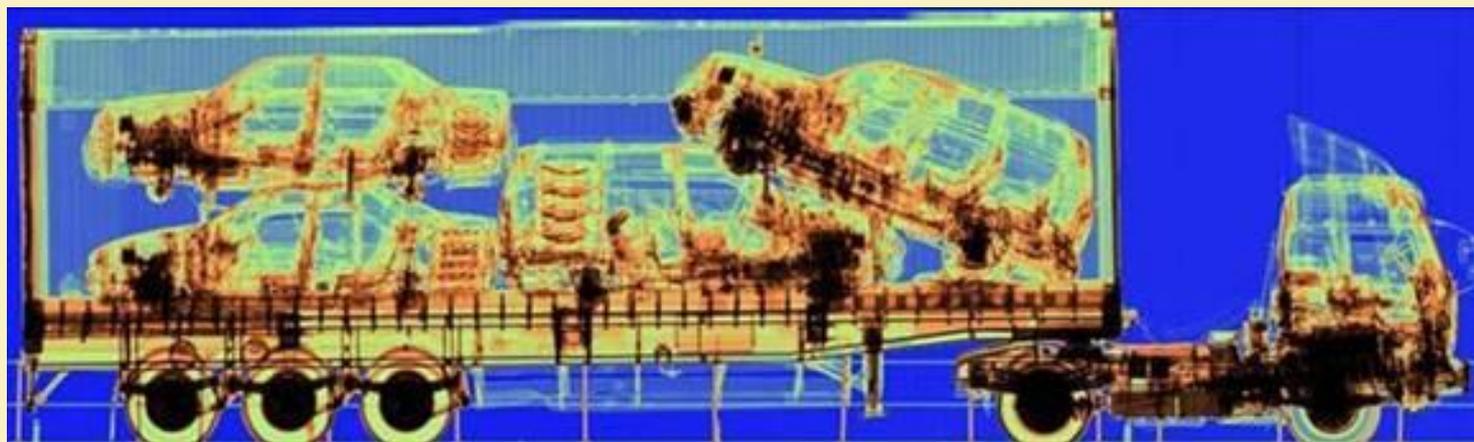
Ядро	Порог реакции (γ, n), МэВ	Порог реакции (γ, f), МэВ
Ядерные материалы		
^{233}U	5,8	5,7
^{235}U	5,3	5,3
^{239}Pu	5,7	5,6
Ядерное топливное сырье		
^{232}Th	6,1	5,8
^{238}U	5,7	5,6
Специальные неядерные материалы		
D	2,2	—
^6Li	5,7	—
Конструкционные материалы и наиболее распространенные химические элементы		
^{12}C	18,7	—
^{13}C	4,9	—
^{14}N	10,6	—
^{16}O	10,4	—
^{27}Al	13,1	—
^{56}Fe	11,2	—
^{57}Fe	7,6	—
^{65}Cu	9,9	—
^{206}Pb	8,1	—
^{208}Pb	7,4	—

In God We Trust, Everything Else We X-Ray

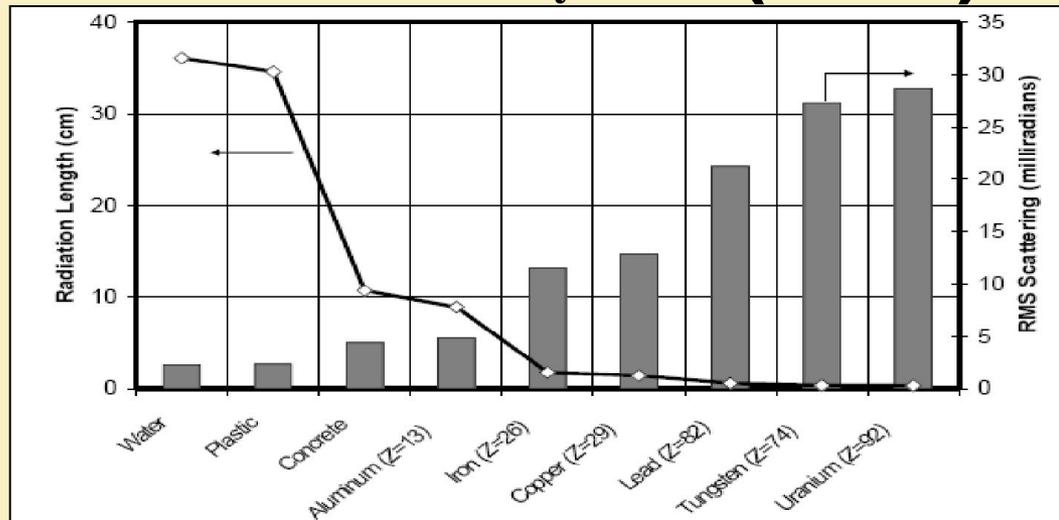


Отношение длин пробега гамма- квантов и нейтронов в различных материалах к длине пробега в высокообогащенном уране

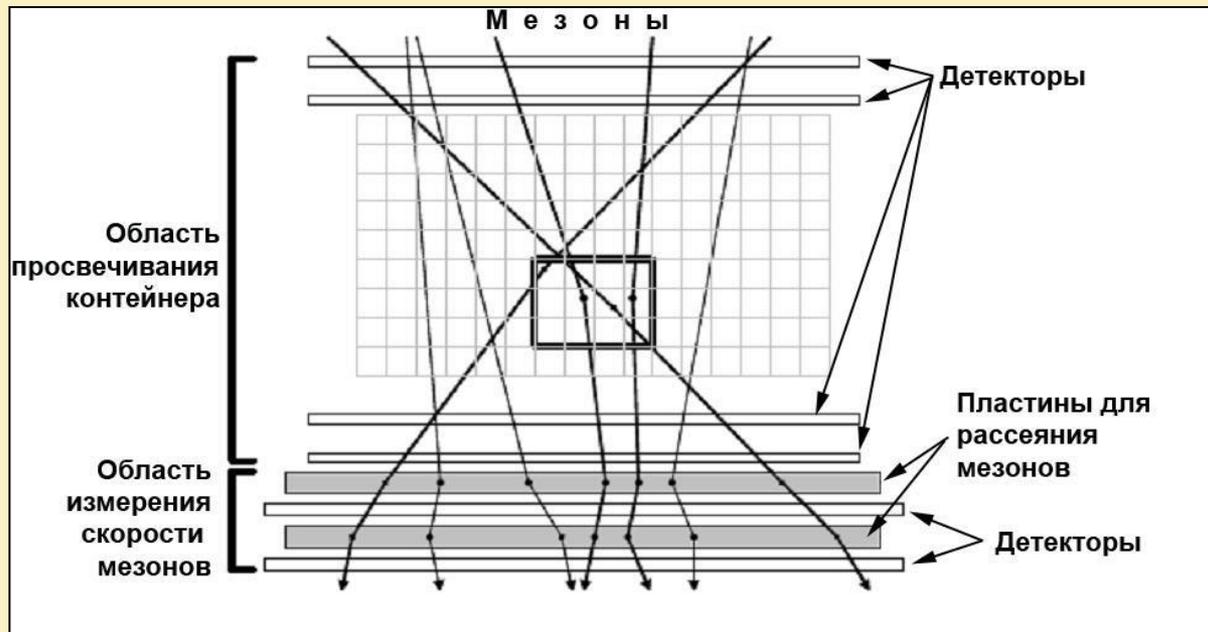
Частицы	Энергия, МэВ	Отношение длин пробега в элементе и уране-235				
		Углерод	Алюминий	Железо	Вольфрам	Свинец
Гамма-кванты	0.4	22	19	6.7	1.4	2.0
	10	23	16	4.3	1.1	1.8
	100	56	27	5.5	1.1	1.7
Нейтроны	тепловые	50	240	24	40	70
	0.001	3	16	2.2	1.6	4.1
	10	2.2	2.4	1.5	0.94	1.5



Использование космического излучения (мезонов)

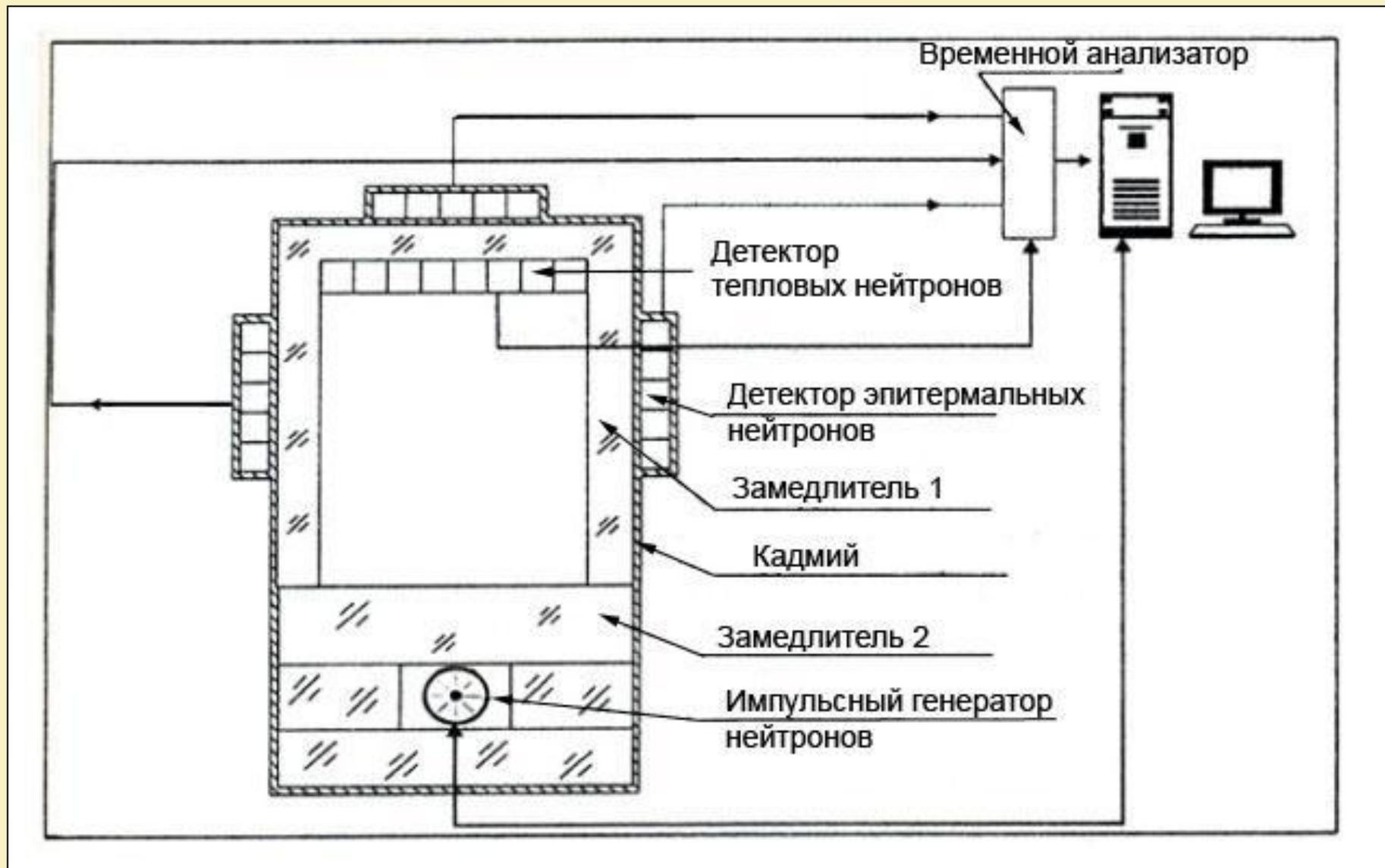


Зависимость радиационной длины и угла рассеяния от заряда ядра для 3 ГэВ мезонов.

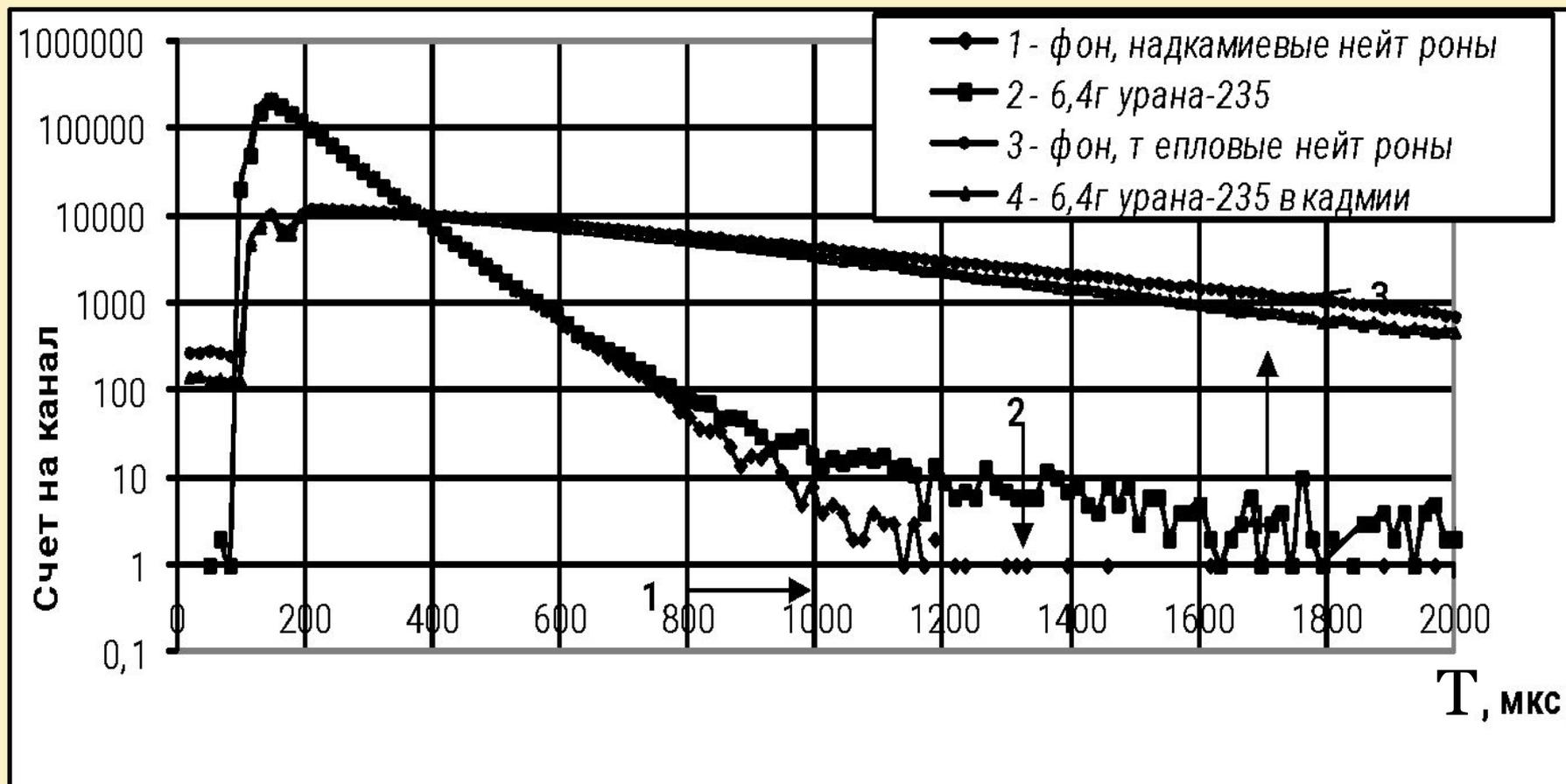


Концепция мезонной радиографии.

Метод дифференциального затухания нейтронов



Временной спектр счета нейтронов в измерительной камере

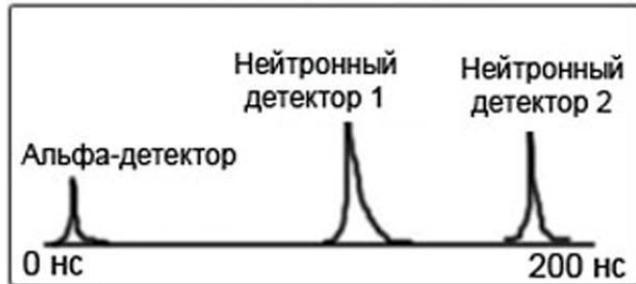


Регистрация запаздывающих нейтронов и гамма-квантов



Метод n^{α} совпадений

ВРЕМЕННОЕ ОКНО



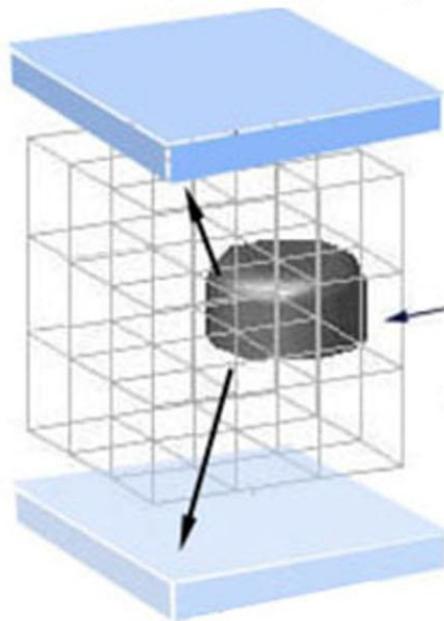
Тритиевая мишень

Альфа-детектор

"Меченный" нейтрон
проходит через
объект

Дейтронный пучок

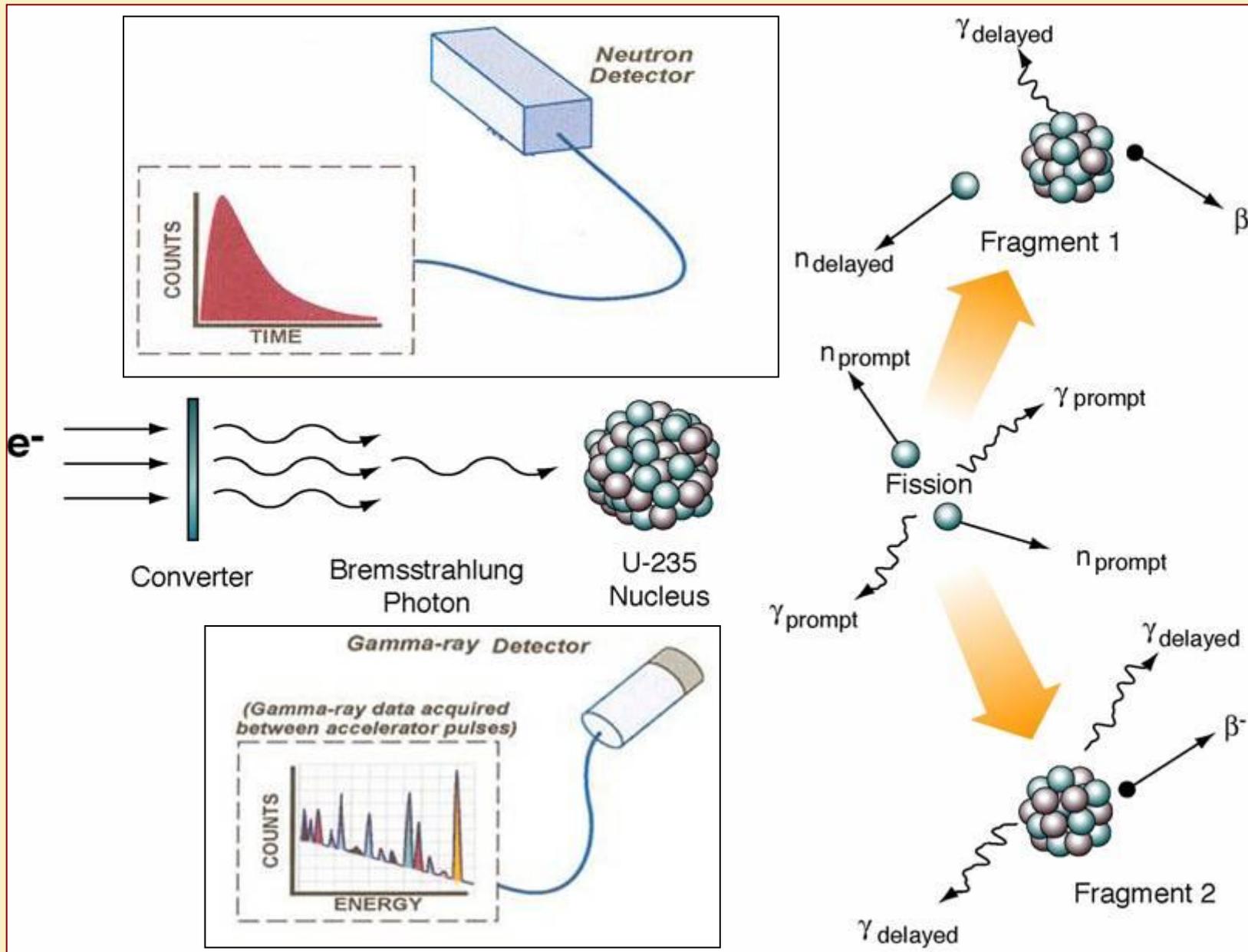
Нейтронный детектор 2



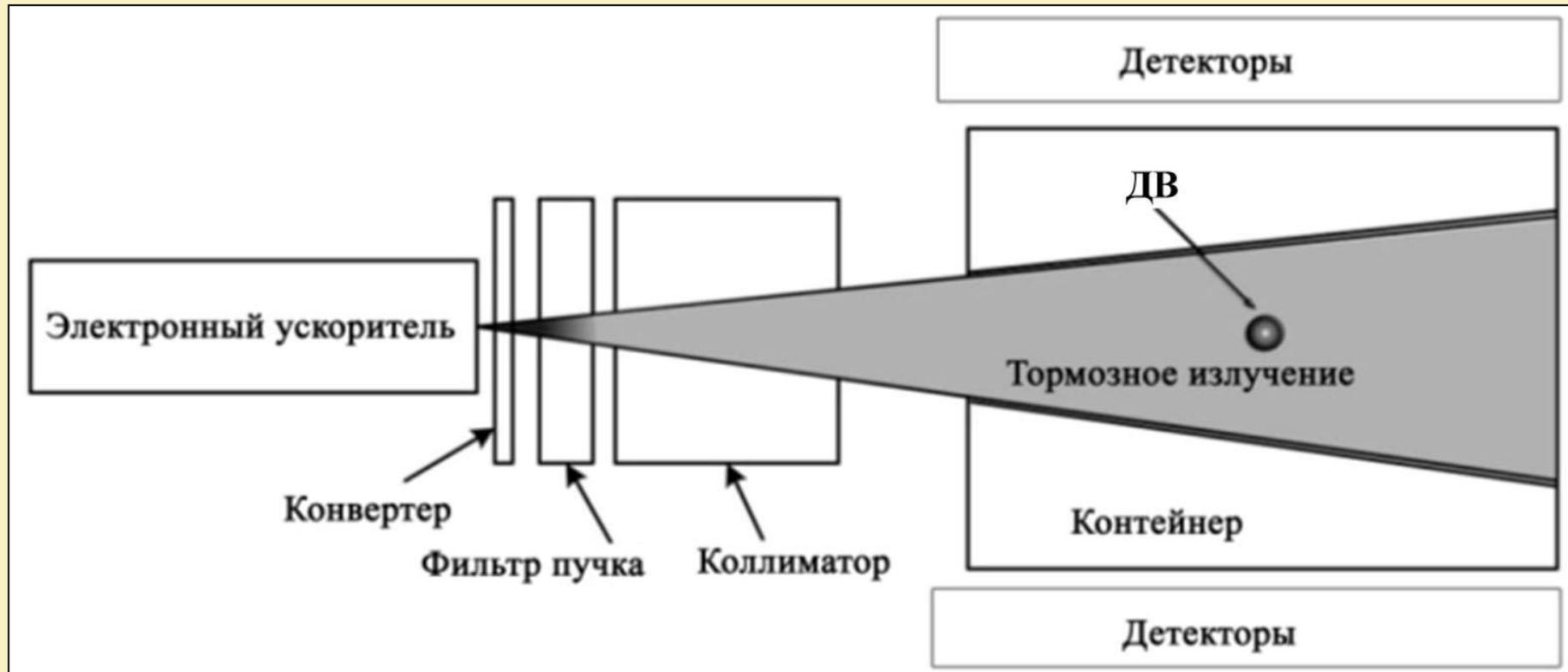
Генератор нейтронов



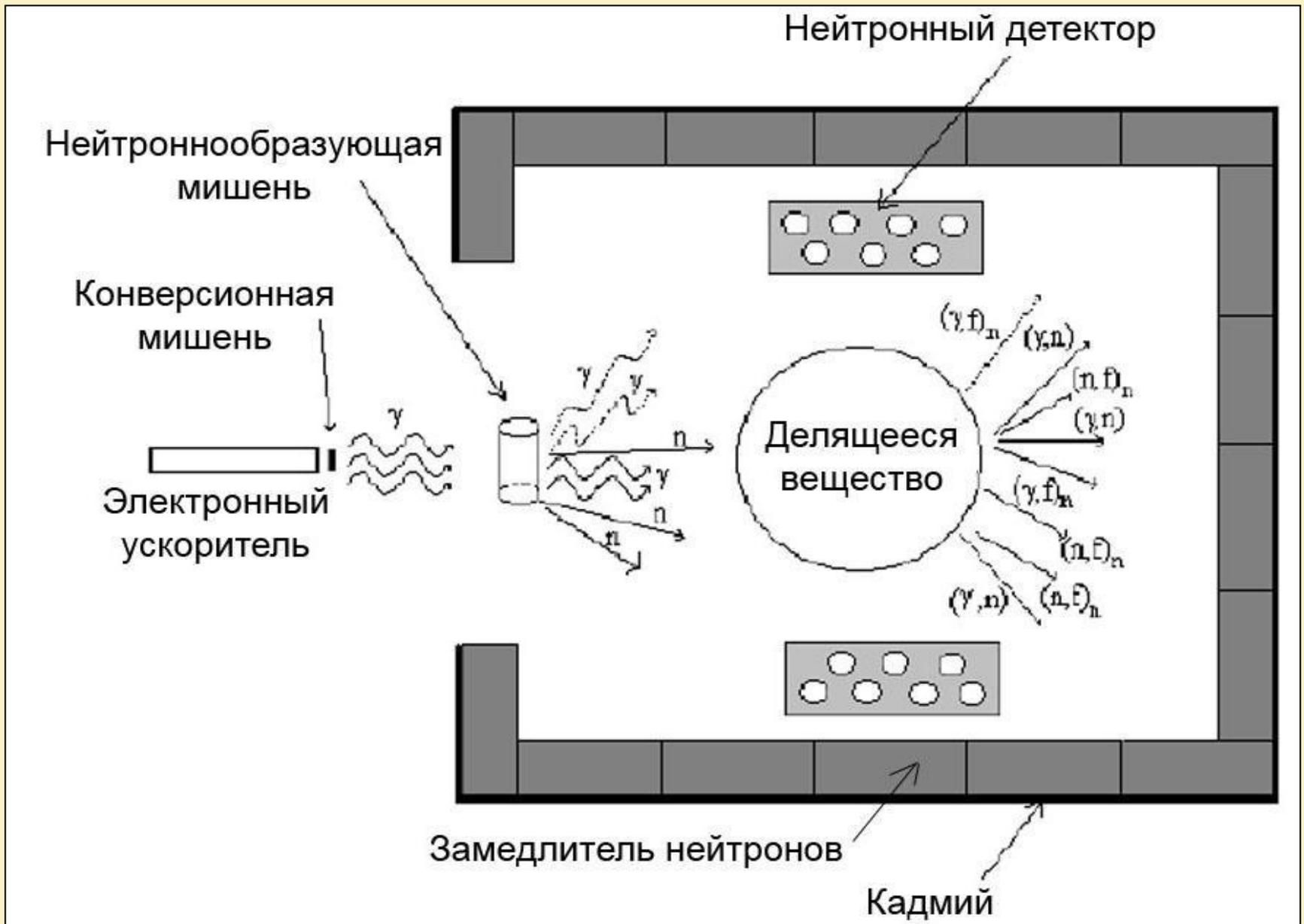
Принцип фотоядерного метода



Реализация фотоядерного метода



Комбинация фотоядерного и нейтронного методов



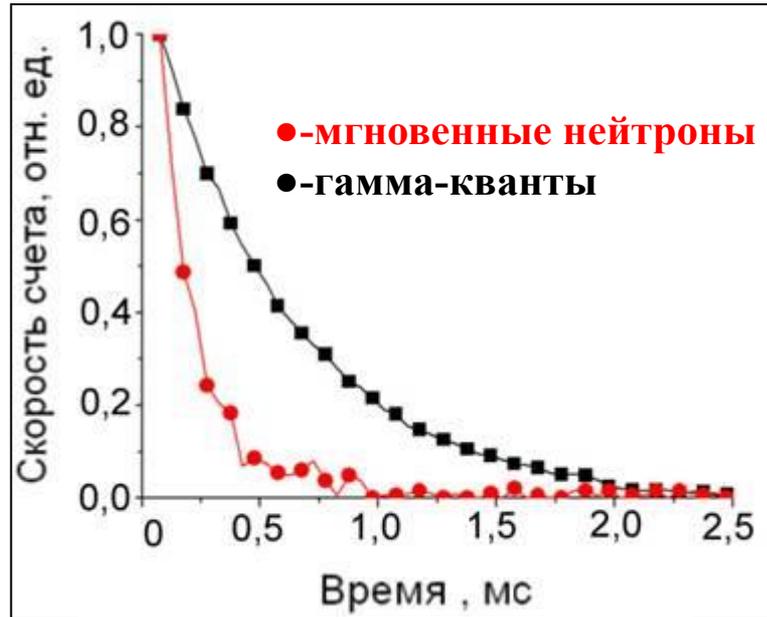
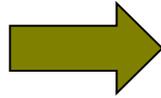
Просвечивание тормозным излучением при фотоядерном методе



M.F. Vorogushin, ELECTROPHYSICAL SYSTEMS BASED ON CHARGED PARTICLE ACCELERATORS. Proceedings of RuPAC XIX, Dubna 2004

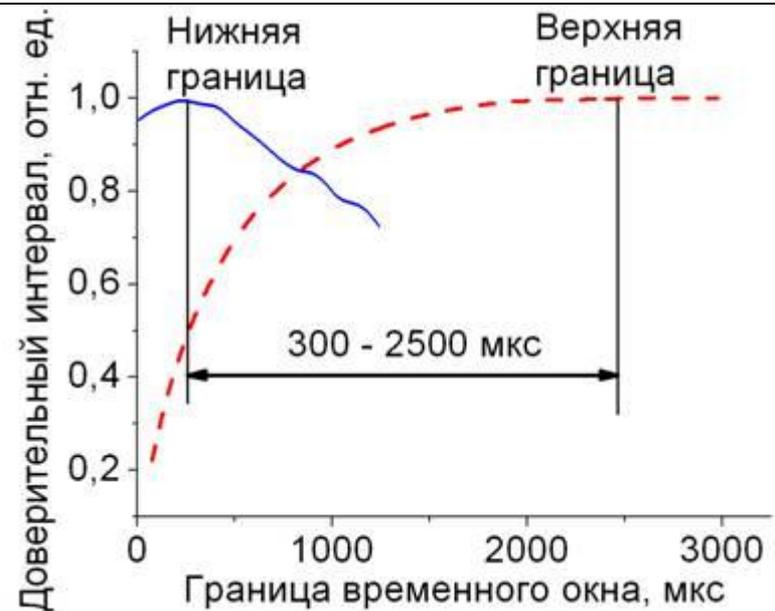
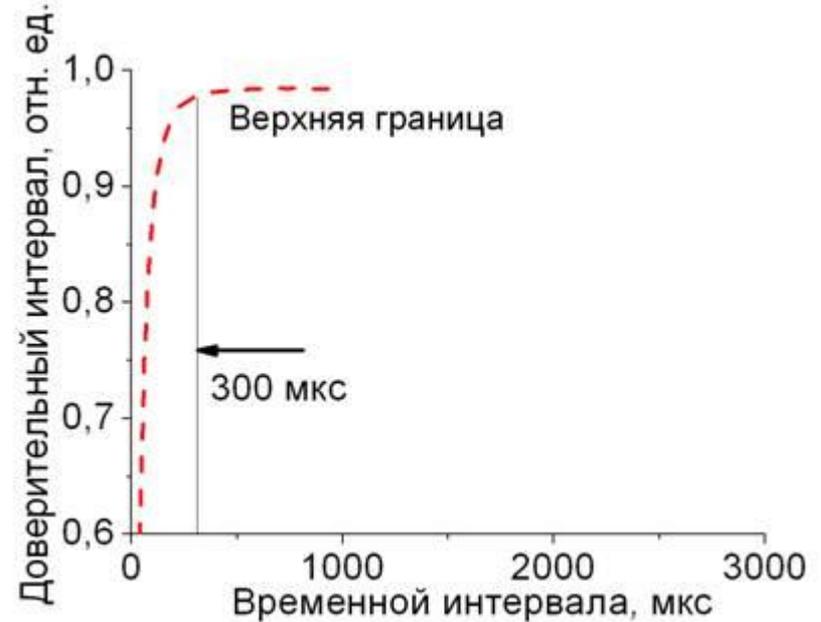
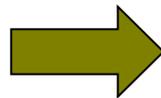
Выбор временного окна измерений нейтронов и гамма-квантов

Регистрация нейтронов

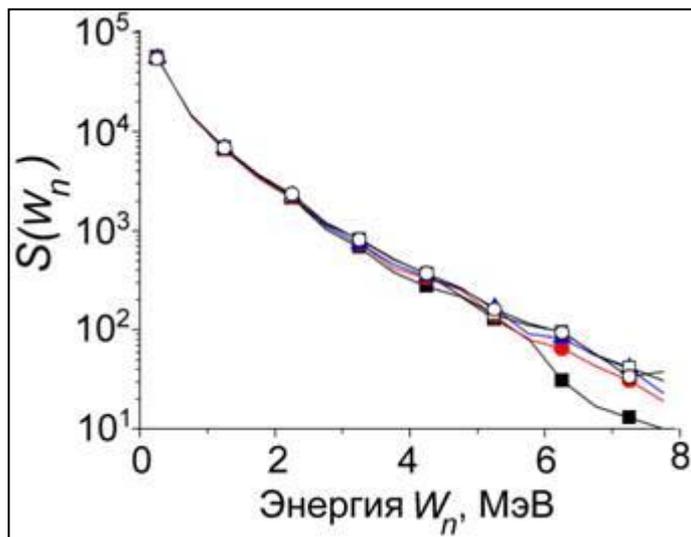


$$\alpha(p) = \sqrt{\left[\frac{1}{A_e} \left(1 + \frac{2A_b}{A_e} \right) \right]^{-1}}$$

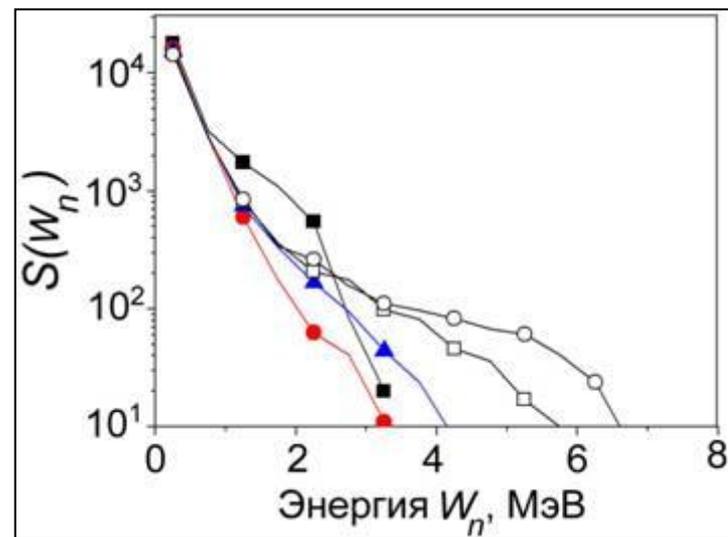
Регистрация гамма-квантов



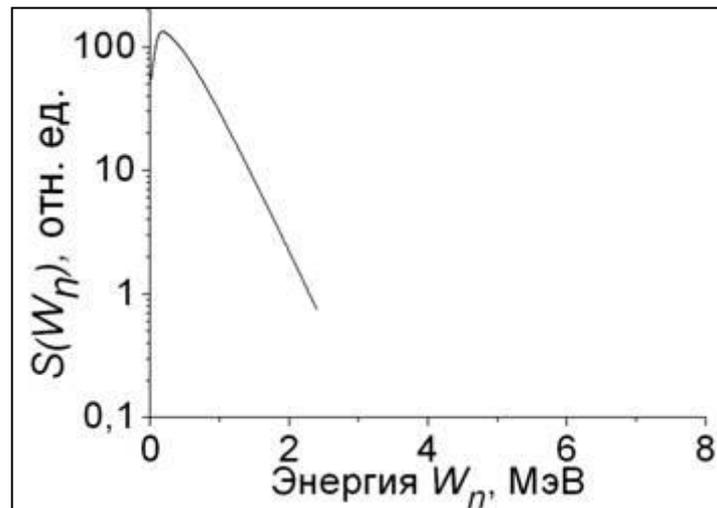
Информационное и фоновое излучение из контейнера



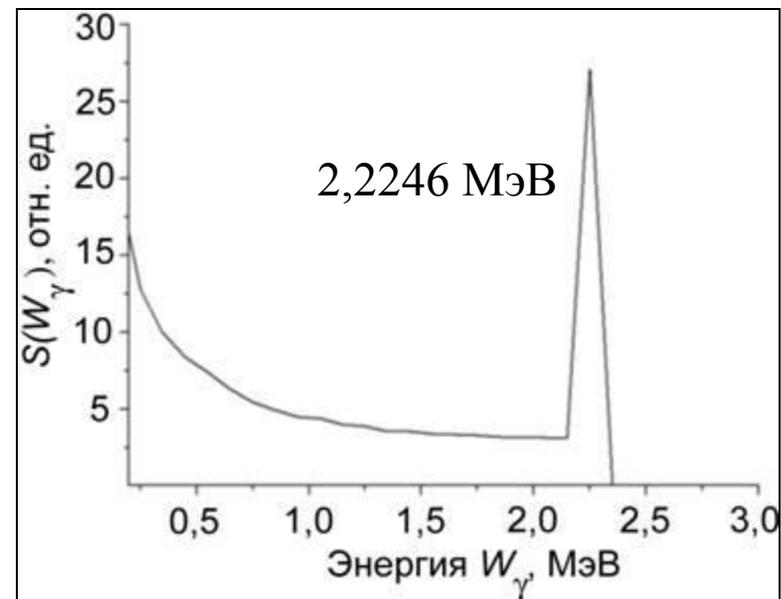
Спектр мгновенных нейтронов
эффекта (уран-235)



Спектр фоновых нейтронов

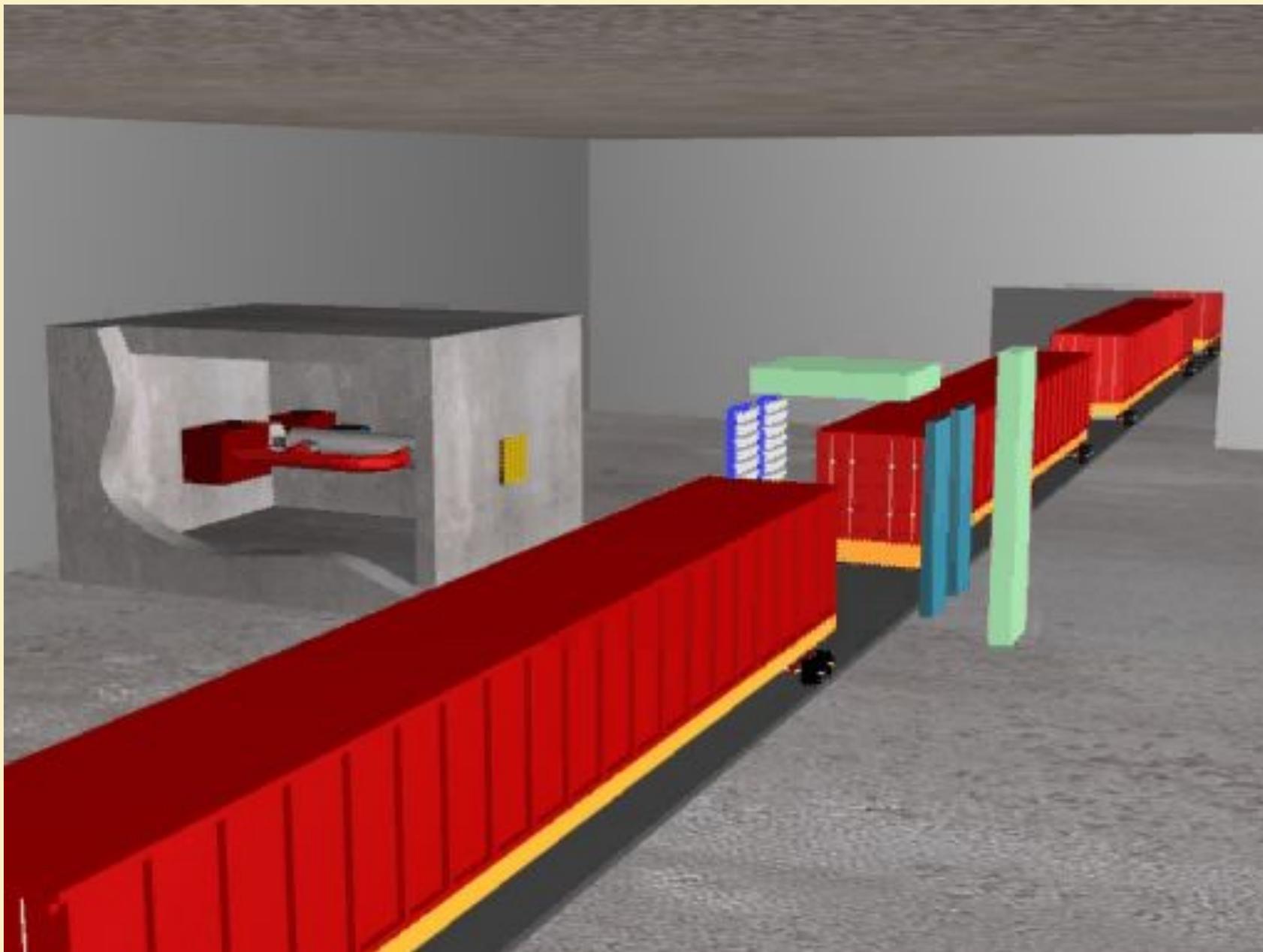


Спектр запаздывающих нейтронов

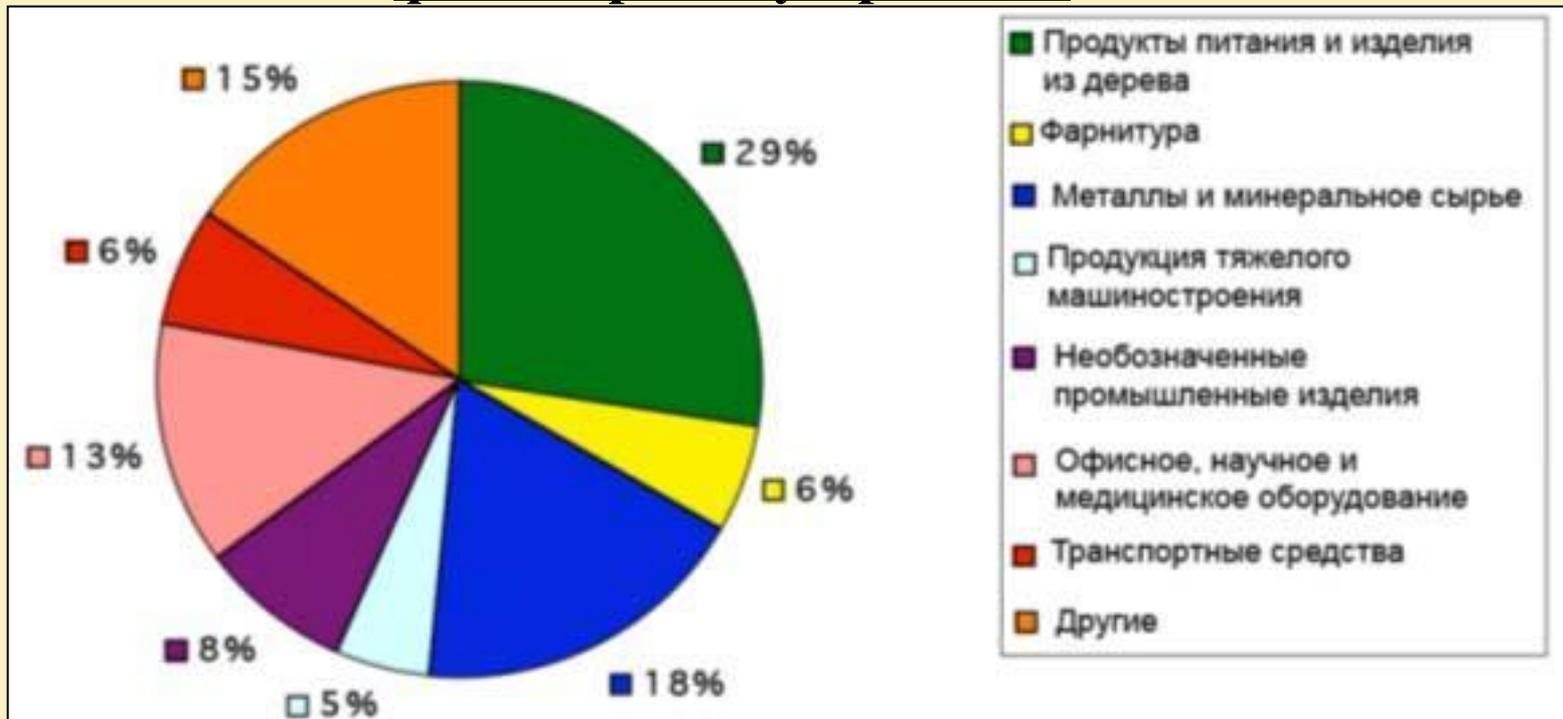


Спектр вторичных гамма-квантов

Контроль грузовых контейнеров на потоке



Контроль «статистических» контейнеров с использованием фотоядерного устройства



	Характеристика контейнера	Доля	МОМ, кг	Время, мин	
1	Сильнозагруженные контейнеры	0,01	0,01- 0,9	12	ANSI 42.41
2	Продукция тяжелого машиностроения, транспортные средства, металлы и сырье	0,29	0,1 – 0,9	12	
3	Продукты питания и изделия из дерева	0,29	0,02	6	
4	Контейнеры с малой загрузкой	0,41	0,03 – 0,4	3	
	Среднее время контроля			7	До 13



Проблемы:

- 1) Контроль сильноэкранированных контейнеров.
- 2) Контроль ЯМ в легальных посылках с радиоактивными источниками.
- 3) Контроль специальных неядерных материалов.



Достоинства:

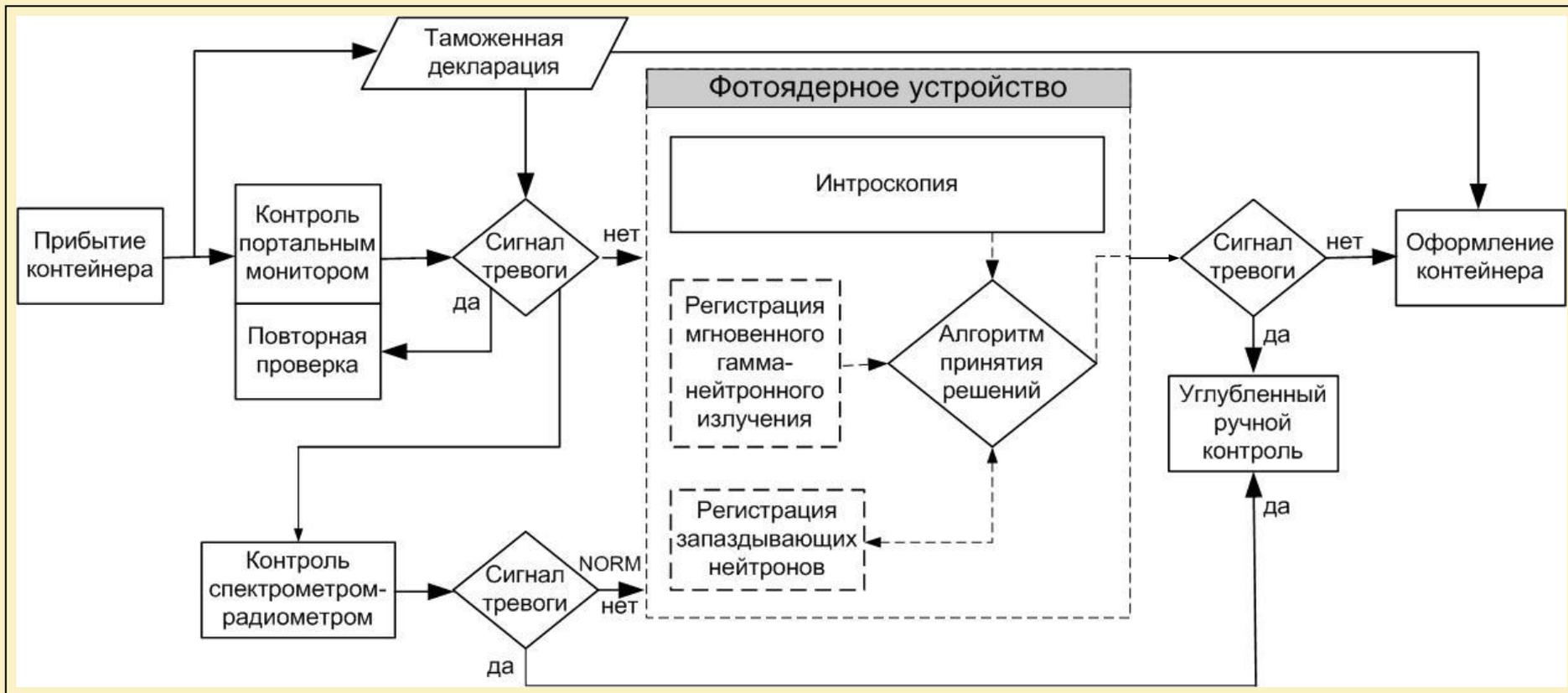
1) Выявляются участки, где потенциально могут быть спрятаны ЯМ.

Проблемы:

Нет возможности идентифицировать ЯМ, что может повлечь большое количество ложных срабатываний.

Сценарий проверки грузового контейнера с использованием фотоядерного устройства

47



Достоинства:

- 1) Обнаружение сильноэкранированных ЯМ и ЯМ в легальных посылках с РВ.
- 2) Обнаружение специальных неядерных материалов.
- 3) Возможность одновременной интроскопии исследуемого объекта.

Особенности:

- 1) Энергия пучка при регистрации мгновенного излучения 8-9 МэВ .
- 2) Энергия пучка при регистрации запаздывающего излучения 12-16 МэВ .

Потенциально- вредные эффекты при использовании фотоядерного метода

Мощность дозы тормозного излучения (приведенная к току пучка): $2 \div 10$ Гр/(мА · с).
 Средний ток пучка: 5-10 мкА, импульсный ток: до 100 мА.
 Средняя мощность тормозного излучения: $100 \div 10$ мГр/с, импульсная: до 1 кГр/с.
 Максимальное время контроля → максимальная поглощенная доза: 1 Гр.



Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах: $10^2 - 10^5$ Гр; $10^4 - 10^9$ Гр/с;
 Изменение электрических и механических свойств полимеров: $10^3 - 10^6$ Гр.
 Радиационная стойкость кварцевых волокон и стекол: $10^5 - 10^6$ Гр.
 Радиационная стойкость пластмассовых оптических волокон: $10^4 - 10^5$ Гр.
При воздействии γ -квантов дозой 0,01 Гр степень почернения : 1.
 Наведенная активность: меньше МЗУА.

Активность после облучения электронным пучком энергией 18 МэВ, током 10 мкА в течении 10 с

Химический элемент	^{19}F	^{23}Na	^{55}Mn	^{56}Fe	^{65}Cu	^{197}Au
Изотоп	^{18}F	^{22}Na	^{54}Mn	^{55}Fe	^{64}Cu	^{196}Au
Период полураспада	1,8 час	2,6 лет	303 сут	2,6 лет	12,8 час	6,18 сут
Активность, Бк/г	6,7	<0,001	0,007	<0,001	0,32	0,52
МЗУА, Бк/г	10	10	10	$1 \cdot 10^4$	100	70

ПРОБЛЕМЫ

РЕШЕНИЯ

- Возможность привлечения специалистов для разработки ЯО.
- Относительная открытость информации по устройству и технологии создания ЯО.

- Возможность контрабанды ЯМ в грузовых контейнерах и а/м.

- Большой грузопоток (до 2 млн контейнеров/год – РФ).

- Экранировка ЯМ.

- Транспортировка с легальными радиоизотопами.

- Неизлучающие специальные неядерные материалы

Угроза ядерного терроризма

Создание самодельного ЯО

Неэффективность современных средств контроля ЯМ

Спрос на ЯМ со стороны нелегальных структур

Хищение ЯМ с ядерных объектов и хранилищ

Федеральная целевая программа «Безопасность и противодействие терроризму»

Развитие технических средств контроля ЯМ

Оперативные мероприятия

Совершенствование учета и контроля

