

# **СТАЦИОНАРНЫЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДРМ**

---

ТУКЕЕВ Дмитрий Леонидович  
доктор технических наук,  
профессор кафедры  
Технических средств таможенного  
контроля и криминалистики

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

ДРМ являются источником повышенной опасности, таможенное оформление данной группы товаров должно производиться в приоритетном порядке по отношению к другим группам товаров, организация же данного вида таможенного контроля должна иметь структуру, позволяющую быстро и эффективно производить таможенный контроль.

Особенности данной группы товаров:

1. Являются сырьем для производства ядерного оружия.
2. Относятся к категории опасных грузов, которые в случае нарушения требований безопасности при их перевозке могут нанести вред здоровью людей и вызвать радиоактивное загрязнение окружающей среды.
3. Представляют значительную материальную ценность.
4. ДРМ связаны с проблемой захоронения радиоактивных отходов.
5. Товары с повышенным уровнем ионизирующего излучения, в том числе и бытового предназначения, опасны для здоровья граждан.

Перед службой таможенного контроля ДРМ стоят серьезные задачи, в том числе связанные с проблемой международного терроризма; проблемой государственной экономической и экологической безопасности, задачами защиты прав и интересов граждан, предприятий и учреждений Российской

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

---

По возможным последствиям попытка незаконного перемещения радиоактивного груза через таможенную границу должна рассматриваться как радиационная авария (аварийная ситуация). Это определяет особые требования к действиям персонала таможенных органов при обнаружении товара с повышенной радиоактивностью, необходимость четкого взаимодействия с органами государственного регулирования радиационной безопасности и оперативного проведения первичной идентификации задержанного товара с соблюдением необходимых требований радиационной безопасности.

При этом следует учитывать, что многие грузы могут иметь повышенную радиоактивность естественного происхождения (строительные материалы, некоторые виды минерального сырья, огнеупорные изделия и т.д.), либо являющуюся следствием аварии на Чернобыльской атомной электростанции (пищевые продукты, продукция лесной промышленности и т.д.), удовлетворяющую гигиеническим нормативам и не являющуюся препятствием для их перемещения через таможенную границу и реализации на территории России.

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

---

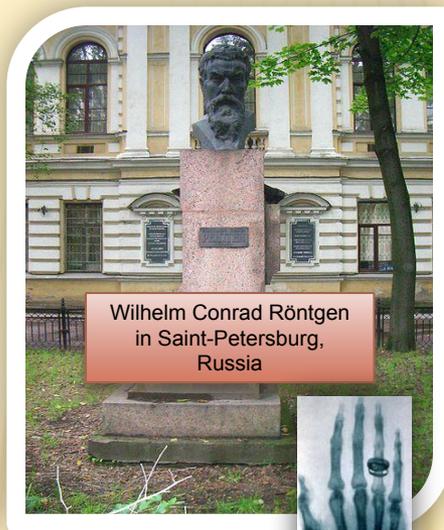
Пропуск таких грузов должен, в ряде случаев, производиться только по согласованию с органами Госсанэпиднадзора, оформленному в виде санитарно-эпидемиологического (гигиенического) заключения установленного образца. При этом на сельскохозяйственное сырье, пищевые продукты, стройматериалы и металлолом санитарно-эпидемиологическое (гигиеническое) заключение может выдаваться территориальными органами Госсанэпиднадзора. На иные виды продукции (минеральное сырье, огнеупорные изделия, иные товары, имеющие повышенное содержание естественных или техногенных радионуклидов) санитарно-эпидемиологическое (гигиеническое) заключение должно выдаваться Роспотребнадзором.

Радиоактивные материалы в процессе распада испускают ионизирующие излучения:

1. нейтронное излучение;
2. гамма-излучение;
3. бета-излучение;
4. альфа-излучение.

Указанные виды излучения можно использовать для инструментального определения наличия ДРМ в различных объектах.

# ОБОРУДОВАНИЕ, ВКЛЮЧАЮЩЕЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



# КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

---

**Источники ИИ  
( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, n)**

```
graph LR; A[Источники ИИ (α-, β-, γ-, n)] --> B[Ядерные материалы, ядерные установки, ТВС, облученные ТВС]; A --> C[Радиоактивные вещества, радиационные источники]; A --> D[Радиоактивные отходы]; A --> E[Товары, имеющие повышенный уровень радиоактивных излучений]; A --> F[Физические лица, прошедшие лечение радиоактивными медпрепаратами];
```

**Ядерные материалы, ядерные установки, ТВС, облученные ТВС**

**Радиоактивные вещества, радиационные источники**

**Радиоактивные отходы**

**Товары, имеющие повышенный уровень радиоактивных излучений**

**Физические лица, прошедшие лечение радиоактивными медпрепаратами**

# КЛАССИФИКАЦИЯ ДРМ ПО КОДАМ ТН ВЭД ТС

Код			Наименование позиции
позиция	субпозиция	Код ТН ВЭД	
2612	2612 10		Руды и концентраты урановые
	2612 20		Руды и концентраты ториевые
2844	2844 10		Уран природный и его соединения
	2844 20		Уран, обогащённый ураном-235, и его соединения; плутоний и его соединения
	2844 30		Уран, обеднённый ураном-235, и его соединения; торий и его соединения
	2844 40		Элементы радиоактивные, изотопы и соединения, кроме указанных в субпозиции 2844 10, 2844 20 или 2844 30
	2844 50		Отработанные (облученные) тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) ядерных реакторов
8401		8401 30 000 0	Тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы), не облученные (для ядерных реакторов)
9022	9022 21 9022 29 .....		Аппаратура, основанная на использовании ИИ для медицинского, хирургического, стоматологического, ветеринарного и другого использования

# ОБЪЕКТЫ ЛЕГАЛЬНОЙ ТОРГОВЛИ

ДРМ, являющиеся непосредственными объектами ВЭД  
либо входящие в состав иных товаров – объектов ВЭД

## а. Ядерные материалы

- исходный материал
- специальный расщепляющийся

### Делящиеся материалы

(Правила МАГАТЭ)

*U-235*

*U-233*

*Pu-239*

*Pu-241*

*Pu-238*

*U*

*Th*

*Pu*

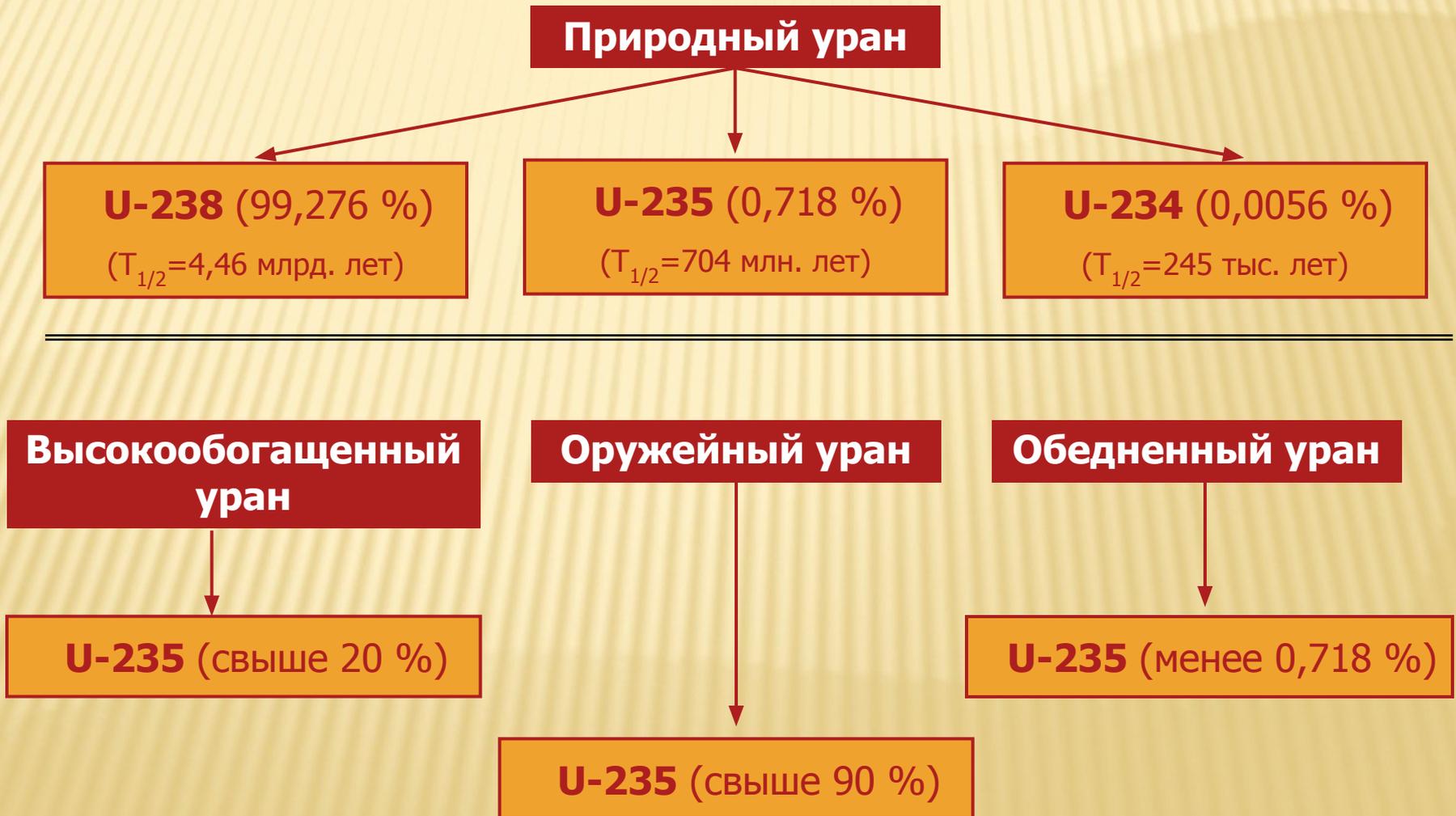
*Np-237*

## б. Радиоактивные материалы

*Радиоактивные  
элементы*

*Радиоизотопная  
продукция*

# КЛАССИФИКАЦИЯ УРАНА



# ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. УРАН. ТОРИЙ. ПЛУТОНИЙ

---

## Уран – U-92

Открыт в 1789 г. М.Г. Клаптроном.

Запасами высокообогащенного урана обладают 43 государства мира (в т. ч. 28 – развивающихся).

## Торий – Th-90

- ◆ Открыт в 1828 г. Й.Я. Берцелиусом.
- ◆ Известно 7 изотопов тория, из них в природе наиболее распространен  ${}_{90}\text{Th}^{232}$ .

## Плутоний – Pu-94

- ◆ Открыт в 1940 г. Г. Сиборгом, Э. Макмилланом, Кеннеди и А. Уолхом в Беркли при бомбардировке мишени из урана дейтронами из циклотрона.
- ◆ В результате испытаний ядерного оружия на землю выпало около 3,9 т плутония.
- ◆ Только в 35 странах накоплено 1830 т плутония, из которых 257 т приходилось на оружейный плутоний. Ежегодное пополнение запасов реакторного плутония составляет около 50 т.
- ◆ Запасами плутония обладают 12 стран.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

---

В качестве топлива для ядерных реакторов (U-235, Pu-239).

В производстве ядерного оружия (U-235, U-233, Pu-239, U-238).

В качестве материалов для изготовления транспортных упаковочных контейнеров (U-238).

Как источник тепла в радиоизотопных термоэлектрических генераторах (РИТЭГ) (Pu-238).

Как легирующая добавка в конструкционные, электродные и другие материалы (Th-232).

Как добавка в светосоставы постоянного действия (Th-232).

В медицинских целях.

# ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ВЕЩЕСТВ)

## Область применения

■

- Промышленность
- Наука
- Медицина
- Биология
- Геология
- Навигация
- Космические исследования
- В военных целях

## Особенности обнаружения ядерных материалов:

- ◆ **Признаком присутствия ядерных материалов (в т.ч. делящихся) в объектах контроля является наличие нейтронного излучения**
- ◆ **Для эффективного обнаружения ядерных материалов в объектах контроля в процессе таможенного наблюдения и таможенного осмотра в обязательном порядке используются двухканальные (гамма-, нейтронный) приборы.**

# ОБЪЕКТЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ ИМЕТЬ ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Строительные материалы

Руды и концентраты

Минеральные удобрения

Изделия из камня, гипса, цемента, асбеста

Керамические изделия

Отходы и лом металлов

Промышленные изделия, приборы и оборудование, имеющие в своем составе радиоизотопные источники

Материалы, не подпадающие под действие Норм радиационной безопасности



**Физические лица, прошедшие лечение радиоактивными медицинскими препаратами**

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от пациента при его выписке из медицинского учреждения не должна превышать 3 мкЗв/ч.

*п. 5.4.5. НРБ-99/2009*

# СУЩНОСТЬ ТКДРМ

**Таможенный контроль делящихся и радиоактивных материалов (ТКДРМ) – это неотъемлемая часть таможенного контроля, представляющая собой совокупность:**

- объектов контроля;**
- административных мер;**
- правовых документов;**
- технических средств;**
- технологических операций,**

**осуществляемых таможенными органами РФ с целью обеспечения соблюдения участниками ВЭД законодательства в области использования атомной энергии, ядерной и радиационной безопасности в отношении перемещения ДРМ через таможенную границу Таможенного союза.**

# ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТКДРМ

---

**Цель ТКДРМ** – пресечение незаконного перемещения ДРМ через таможенную границу ТС в соответствии с функциями таможенных органов.

## **Задачи ТКДРМ:**

- организация таможенного контроля и осуществления таможенных операций в отношении делящихся и радиоактивных материалов, перемещаемых через таможенную границу ТС;
- осуществление постоянного радиационного контроля всех транспортных средств, товаров и пассажиров (багажа), пересекающих таможенную границу ТС;
- обнаружение, локализация, идентификация и хранение в специально отведенных местах незаконно перемещаемых ИИИ с последующей передачей их компетентным органам.

# ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТҚДРМ

---

Осуществление **постоянного** радиационного контроля физических лиц, товаров и транспортных средств при их перемещении через таможенную границу ТС.

**Приоритетность** действий по обеспечению радиационной безопасности перед действиями процессуального характера, направленными на привлечение к ответственности нарушителя.

Организация **эффективного** контроля без ухудшения условий для участников внешнеэкономической деятельности и без причинения вреда контролируемым объектам.

# ДРМ КАК ОБЪЕКТ КОНТРАБАНДЫ И НАРУШЕНИЯ ТАМОЖЕННЫХ ПРАВИЛ

## Правовой аспект и последствия контрабанды для безопасности государства



# ДРМ КАК ОБЪЕКТ КОНТРАБАНДЫ И НАРУШЕНИЯ ТАМОЖЕННЫХ ПРАВИЛ

## Реагирование на срабатывание ТС ТКДРМ

В 2010 г. должностные лица таможенных органов в соответствии с профилями риска реагировали более 65 тыс. раз на срабатывания стационарных и переносных приборов. При этом было в 2010 г. выявлено более 2000 фактов незаконного перемещения ДРМ и товаров с повышенным уровнем ионизирующего излучения; в 2006 г. – 480 фактов.



**РЕАГИРОВАНИЕ  
НА СРАБАТЫВАНИЕ**

**65 000**

**ВЫЯВЛЕНИЕ**



**≥ 2000**

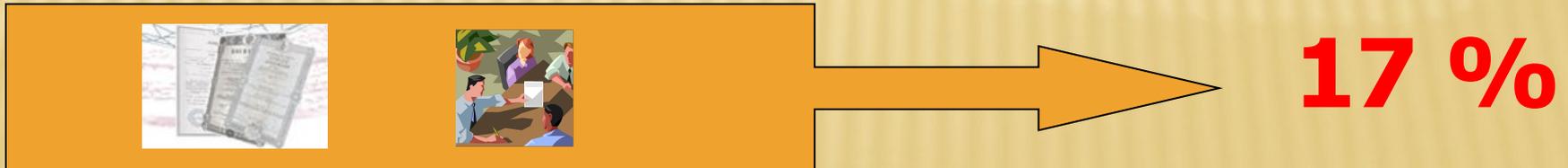
# ДРМ КАК ОБЪЕКТ КОНТРАБАНДЫ И НАРУШЕНИЯ ТАМОЖЕННЫХ ПРАВИЛ

За последние 5 лет с использованием технических средств было выявлено 83 % фактов незаконного перемещения ДРМ от общего их количества и 17 % – по документам и оперативной информации.

*– выявлений при использовании стационарных и переносных технических средств обнаружения ДРМ:*



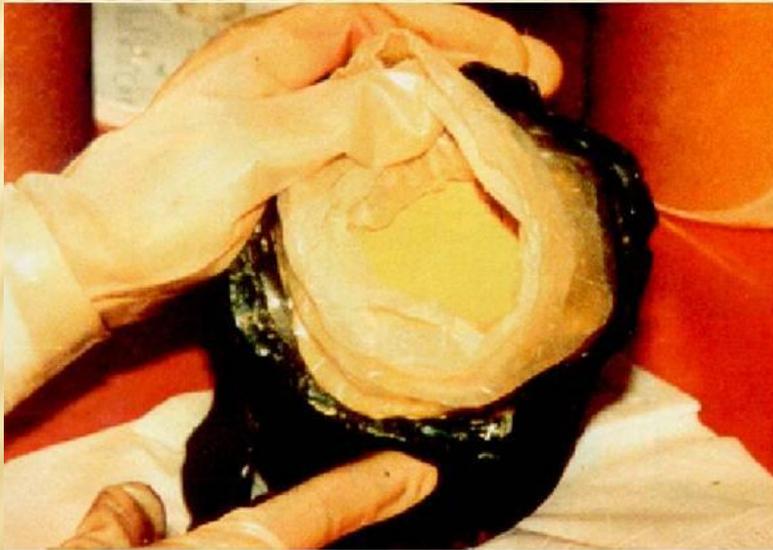
*– выявлений при документальном контроле, по оперативной информации и др.:*



# ОБЪЕКТЫ КОНТРАБАНДЫ

## ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### УРАН



«Желтый кек» – концентрированная окись урана ( $U_3O_8$ )

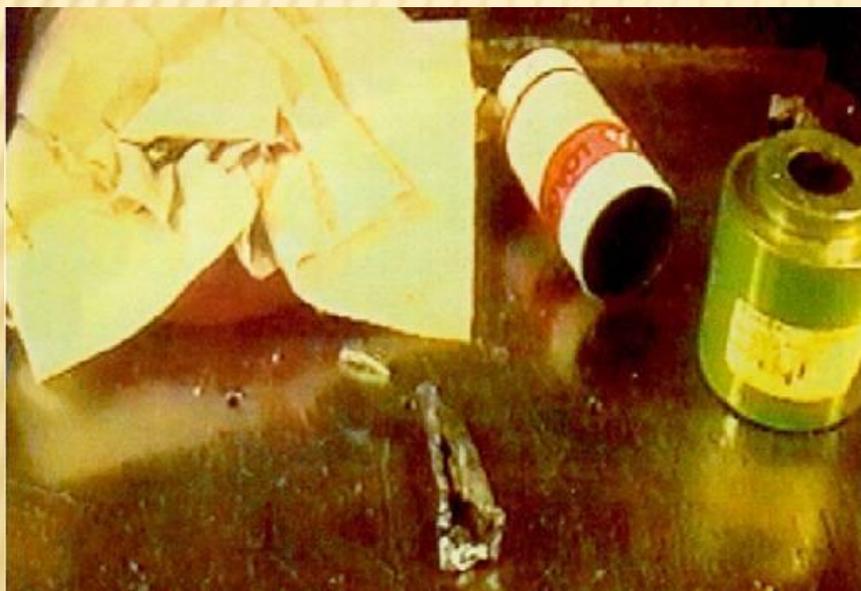


*Топливные элементы*

# ОБЪЕКТЫ КОНТРАБАНДЫ

## РАДИОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### ЦЕЗИЙ



*Стальные контейнеры с Cs-133*

*Cs-133 в контейнере*

# ОБЪЕКТЫ НАРУШЕНИЯ ПРАВИЛ

## ТОВАРЫ, ИМЕЮЩИЕ ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ



*Часы*



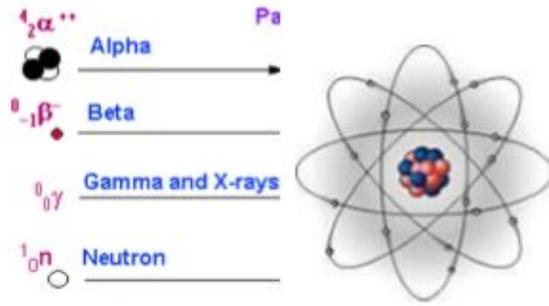
*Статуэтка из чаройта*

---

# **Методы регистрации ионизирующих излучений**

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## Процессы, происходящие при взаимодействии ионизирующих излучений с веществом

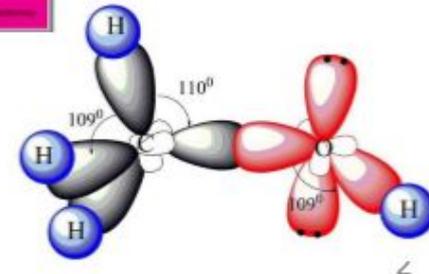
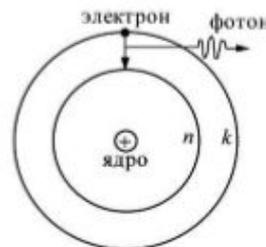
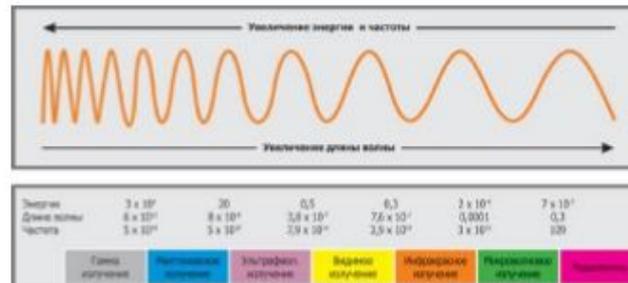
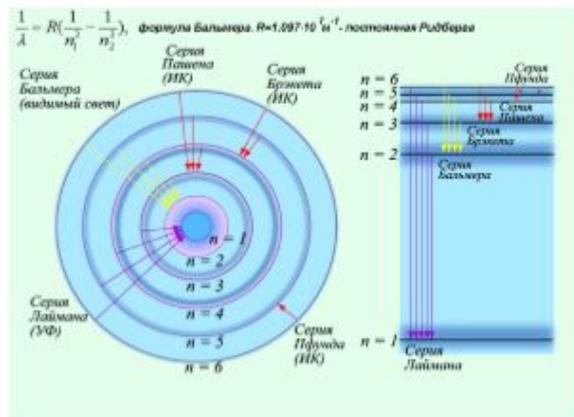


Воздействие ИИ на вещество проводит:

1. К возбуждению атомов и молекул, в результате происходят:

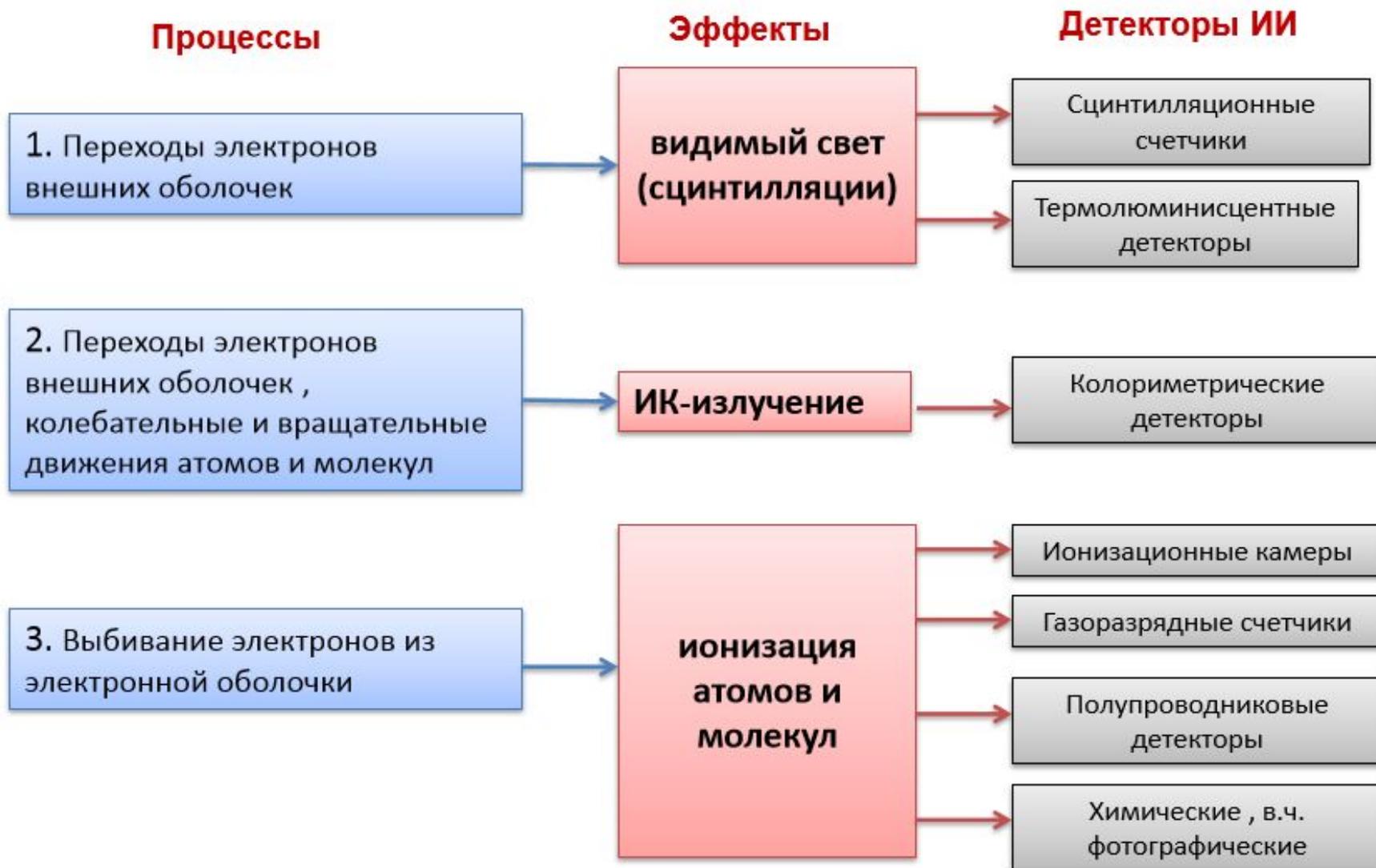
- Переходы электронов внутренних оболочек → **X- и УФ-излучение.**
- Переходы электронов внешних оболочек → **видимый свет, ИК-излучение.**
- Колебательные и вращательные движения атомов и молекул → **ИК-излучение** (нагревание вещества).

2. К удалению электронов из электронной оболочки → **ионизация атомов и молекул.**

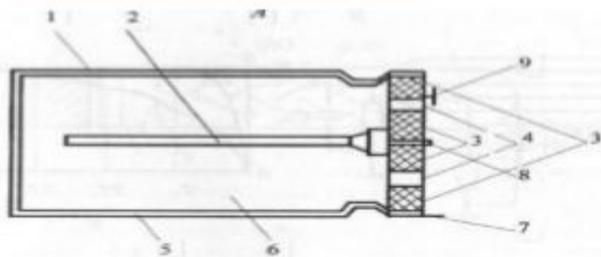
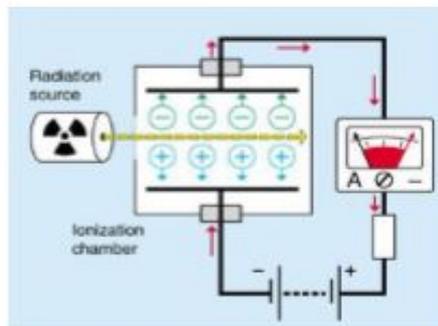


# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

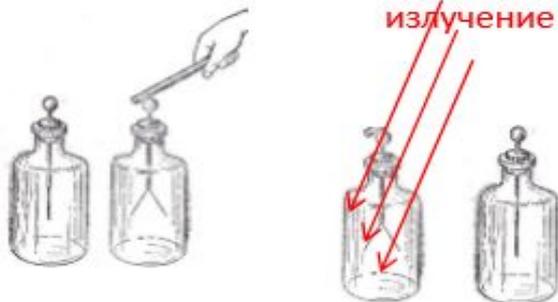
## Виды детекторов ионизирующих излучений



## Ионизационная камера



Ионизирующее  
излучение



### Принцип работы:

Между электродами создается разность потенциалов (90 В).

При взаимодействии ИИ с воздухом образуются положительно заряженные ионы и электроны.

Под действием электрического поля электроны и положительные ионы движутся соответственно к положительному и отрицательному электродам камеры.

В цепи возникает суммарный ток камеры.

По величине падения напряжения определяется доза ионизирующего излучения.

### Состав:

1, 2 - алюминиевые цилиндр и стержень - положительный и отрицательный электроды;

3 - изоляторы;

4 - охранное кольцо;

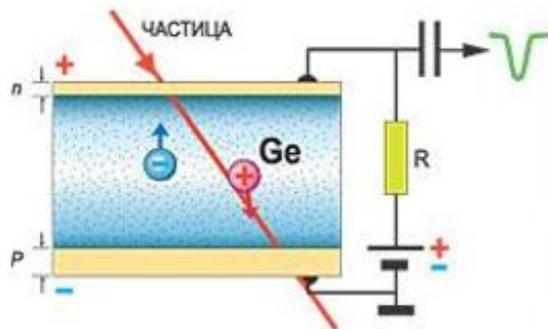
5 - аквадаг (суспензия графита в воде, применяемая для образования электропроводящего слоя);

6 - воздух;

7, 8 - выводы положительного и отрицательного электродов.

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

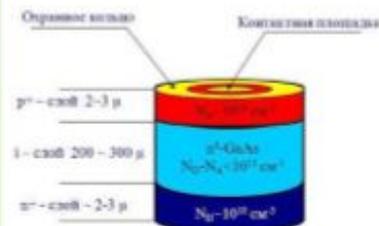
## Полупроводниковый детектор



### Устройство:

Полупроводниковый диод, на который подано обратное (запирающее) напряжение.

Слой полупроводника вблизи границы *p-n*-перехода «обеднён» носителями тока (электронами проводимости и дырками) и обладает высоким удельным сопротивлением.



### Принцип работы:

Заряженная частица, проникая область *p-n*-перехода, создаёт электронно-дырочные пары, которые под действием электрического поля перемещаются к электродам.

Во внешней цепи возникает электрический импульс, который усиливается и регистрируется.

Количество импульсов соответствует количеству частиц, попавших в область *p-n*-перехода.

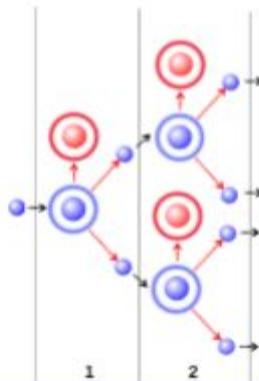
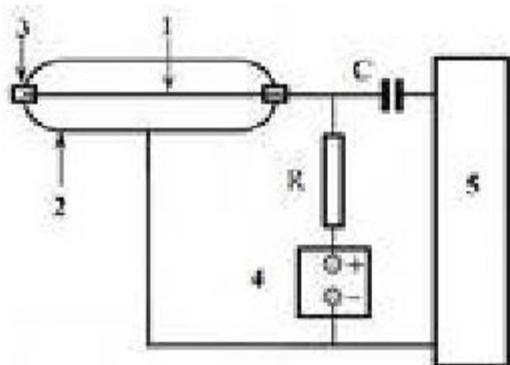
Величина импульсов соответствует энергии частиц.



Мобильный спектрометрический комплекс СКС-50М

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## Газоразрядный счетчик



### Состав

1. Тонкая нить внутри цилиндра – *положительный* электрод.
2. Цилиндр, заполненный специальным газом (галогены или пары спирта) – *отрицательный* электрод;

### Принцип работы:

Между электродами создается высокое напряжение (более 390 В).

При взаимодействии ИИ с газом образуются электроны и положительно заряженные ионы.

В электрическом поле электроны разгоняются и ионизируют нейтральные молекулы газа.

Возникает лавина электронов, которая разряжается на положительном электроде - тонкой нити внутри цилиндра.

В цепи появляется импульс напряжения.

Каждой частице попавшей в счетчик соответствует импульс напряжения.

По количеству импульсов определяется доза ионизирующего излучения.



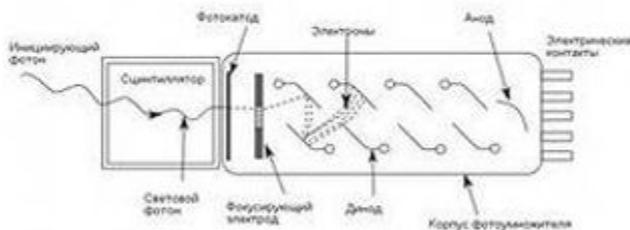
Дозиметр гамма-излучения ДКГ-PM1203



Дозиметр рентгеновского гамма-излучения ДКГ-PM1621

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## Сцинтилляционный счетчик



### Состав:

- I — сцинтиллятор ZnS (Ag); NaI (Tl); антрацен, нафталин.;
- II — фокусирующий электрод;
- III — фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).
- 1 — фотокатод;
- 2 — 7 — эмиттеры;
- 8 — коллектор (анод);
- 9 — нагрузочное сопротивление

### Принцип работы:

При попадании ИИ в сцинтиллятор в объеме сцинтиллятора появляются вспышки света (кванты света):

- количество вспышек соответствует количеству частиц ИИ;
- интенсивность вспышек пропорциональна энергии частиц ИИ.

Кванты света попадают на фотокатод ФЭУ и выбивают из него электроны, которые ускоряются и умножаются системой его динодов.

В электрической цепи появляется импульс напряжения:

- каждой частице попавшей в сцинтиллятор соответствует импульс напряжения;
- величина импульса напряжения соответствует энергии частицы.

По количеству импульсов определяется доза ионизирующего излучения.

По величине импульса определяется энергия частиц, что позволяет идентифицировать радионуклид.



ФЭУ



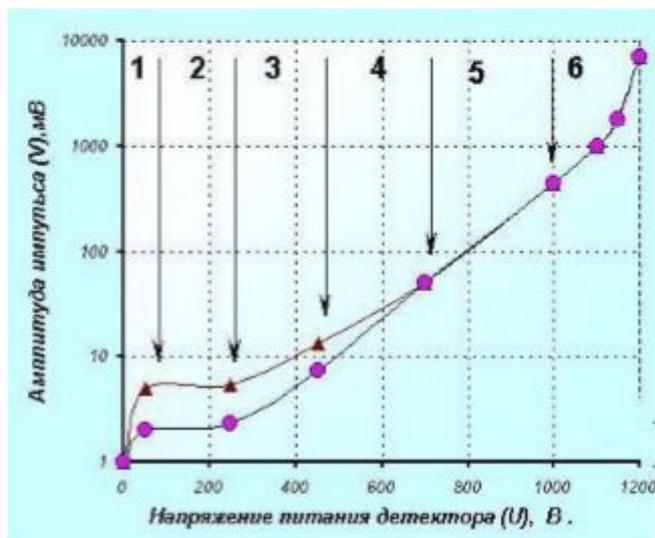
Радиометр-спектрометр  
МКС- А02



Радиометр-спектрометр  
МКС- А03

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## Вольтамперная характеристика газовых детекторов



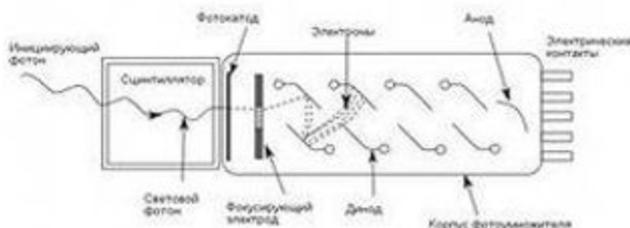
- 1 – область Ома;
- 2 – область ионизационной камеры;
- 3 – область пропорционального детектора;
- 4 – область ограниченной пропорциональности;
- 5 – область Гейгера;
- 6 – область непрерывного разряда



Рис. 5.4 Зависимость амплитуды импульса  $A$  от напряжения  $U$  для различных режимов работы импульсного ионизационного детектора

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## Сцинтилляционный счетчик



### Состав:

- I — сцинтиллятор ZnS (Ag); NaI (Tl); антрацен, нафталин.;
- II — фокусирующий электрод;
- III — фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).
- 1 — фотокатод;
- 2 — 7 — эмиттеры;
- 8 — коллектор (анод);
- 9 — нагрузочное сопротивление

### Принцип работы:

При попадании ИИ в сцинтиллятор в объеме сцинтиллятора появляются вспышки света (кванты света):

- количество вспышек соответствует количеству частиц ИИ;
- интенсивность вспышек пропорциональна энергии частиц ИИ.

Кванты света попадают на фотокатод ФЭУ и выбивают из него электроны, которые ускоряются и умножаются системой его динодов.

В электрической цепи появляется импульс напряжения:

- каждой частице попавшей в сцинтиллятор соответствует импульс напряжения;
- величина импульса напряжения соответствует энергии частицы.

По количеству импульсов определяется доза ионизирующего излучения.

По величине импульса определяется энергия частиц, что позволяет идентифицировать радионуклид.



ФЭУ



Радиометр-спектрометр  
МКС- А02



Радиометр-спектрометр  
МКС- А03

## Термолюминесцентные детекторы

### Принцип работы:

Термолюминесценция возникает при нагревании вещества, предварительно возбуждённого светом или жёстким излучением.

Термолюминесценцией обладают минералы, содержащие примеси редкоземельных элементов (флюорит, апатит, ангидрит и др.), а также многие силикаты (полевой шпат, кварц, содалит и др.), карбонаты, сульфаты.

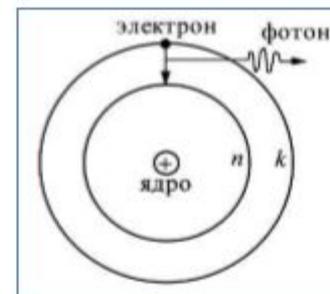
В кристаллофосфоре под действием излучения образуются свободные носители заряда (электроны и дырки).

Носители заряда локализуются в электронно-дырочных центрах захвата (ловушках) и удерживаются в них длительное время.

При нагревании (до 240-300°C) кристаллофосфора захваченные носители заряда освобождаются из ловушек и вызывают свечение (термолюминесценцию).

Количество квантов света пропорционально поглощенной дозе излучения.

Образующийся световой поток регистрируется с помощью термолюминесцентных приборов (ФЭУ и др.).



Анализ кривой термолюминесценции с помощью программного обеспечения ПЭС.  
Вычисление отклика детектора.  
Расчет величины поглощенной дозы



Система регистрации термолюминесценции и преобразования отклика в цифровой вид

Система преобразования

ФЭУ

Детектор

Система управления нагрева детектора



## Способы регистрации нейтронов

Для регистрации нейтронов используются процессы :

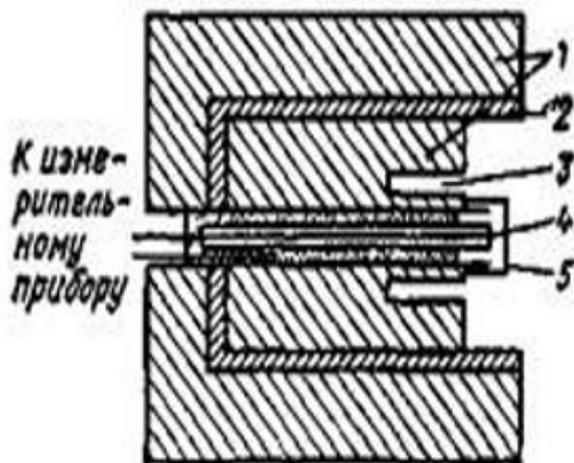
1. Рассеяния нейтронов на ядрах с передачей им энергии.
2. Захват нейтрона ядром, возбуждение ядра , переход ядра в невозбужденное состояние:
  - а). Расщепление ядра с испусканием заряженной частицы: ядерные реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ ,  $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ .
  - б). Разделяется на осколки: деления тяжелых ядер  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ .
  - в). Испускание гамма-кванта.

### Виды детекторов нейтронов:

- Пропорциональные счетчики.
- Камеры деления.
- Сцинтилляционные счетчики.
- Трековые детекторы.
- Термолюминесцентные дозиметры.
- Ядерные фотографические фотоэмульсии.

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## 1. Пропорциональные счетчики



1 - парафиновые блоки;  
2 - экран слоя окиси бор; 3-  
отверстия для повышения  
эффективности счетчика;  
4 - пропорциональный  
борный счетчик;  
5 - кадмиевый колпачком  
для экранировки от  
прямого пучка тепловых  
нейтронов.

Назначение: регистрация быстрых нейтронов.

Способ регистрации: ядерная реакция  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ .

Энергия альфа-частиц и ядер лития, соответственно ,1,6  
и 0,9 МэВ

Устройство:

Бор включается в наполнение двумя способами:

- счетчик заполняется газом  $\text{BF}_3$ ;
- внутренняя поверхность стенки счетчика покрывается слоем твердого вещества  $\text{B}_4\text{C}$ .

Замедление быстрых нейтронов достигается помещением детектора в водородсодержащее вещество (парафин, полиэтилен).

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## 2. Камеры деления

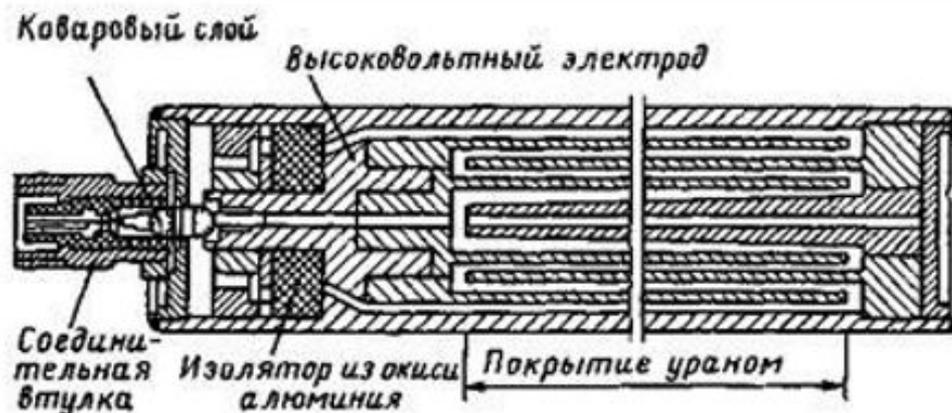
Назначение: регистрация нейтронов любых энергий.

Способ регистрации: деление тяжелых ядер ( $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ ).

Устройство:

Делящееся вещество ( $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ ) наносится тонким слоем (0,02 - 2 мг/см<sup>2</sup>) на электроды ионизационной камеры.

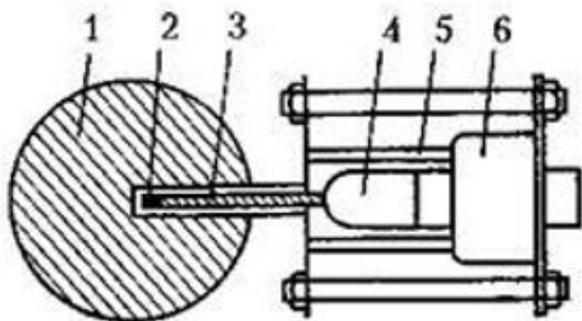
Ионизационная камера заполнена аргоном.



По сравнению с борными счетчиками камеры деления более долговечны и могут работать при высокой температуре.

Эффективность камер деления с  $^{235}\text{U}$  равна 0,6%, что значительно ниже, чем для борных счетчиков.

## 3. Сцинтилляционные счетчики



1 - замедлитель; 2 - сцинтиллятор  $\text{LiI}(\text{Eu})$ ;  
3 - световод;  
4 - ФЭУ;  
5 - экран;  
6 - предусилитель

Назначение: регистрация тепловых и быстрых нейтронов.

Способы регистрации быстрых нейтронов:

- смесь  $\text{ZnS}(\text{Ag})$  с плексигласовым порошком (замедлитель);
- смесь  $\text{ZnS}(\text{Ag})$  с парафином и полиэтиленом (замедлитель);
- сцинтилляторы содержащие водород (замедлитель) и бор

Регистрируются протоны отдачи и альфа-частицы с ядрами лития по реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ .

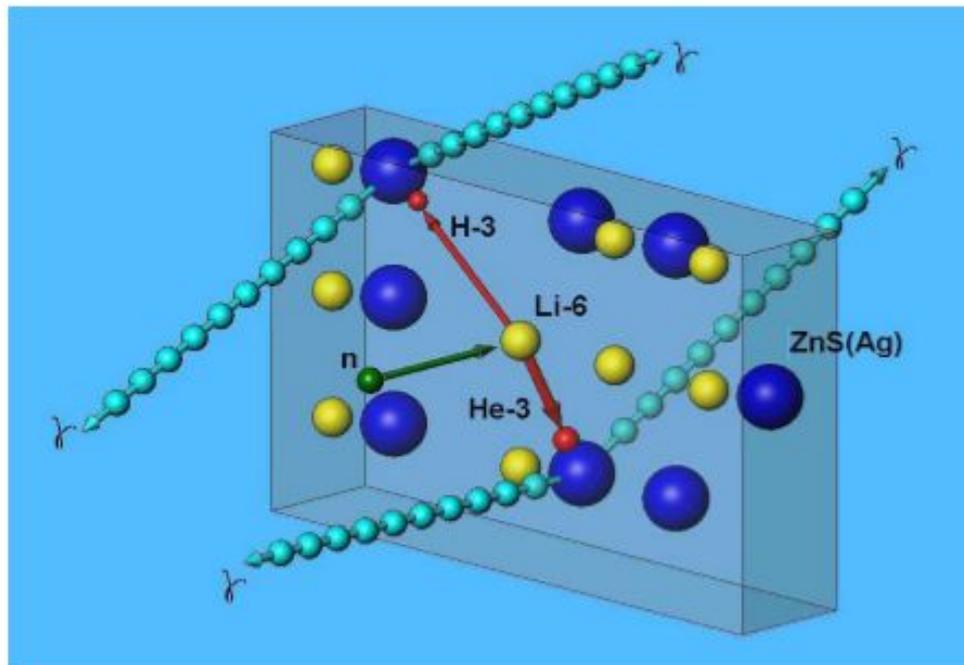
Способы регистрации тепловых нейтронов:

- сцинтилляторы из смеси  $\text{ZnS}(\text{Ag})$  с  $\text{B}_2\text{O}_3$ ;
- смесь  $\text{ZnS}(\text{Ag})$  и делящееся вещество  $^{238}\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## Принцип работы нейтронного сцинтиллятора

Реакция захвата нейтрона:  $6\text{Li} + n \rightarrow \text{He} + 3\text{H} + 4.8 \text{ MeV}$



## 4. Трековые детекторы

### Трековый детектор:

При взаимодействии тяжелых заряженных частиц с твердыми веществами с большим электрическим сопротивлением (слюда, стекло, поликарбонат и др.) образуют ионные пары.

Электроны быстро удаляются от траектории частицы, а положительные ионы взаимно отталкиваются, повреждая кристаллическую структуру детектора (зону структурных повреждений диаметром порядка 5 мкм).

После облучения производится протравливание: слюда и стекло – плавиковой кислотой, полимерные материалы – щелочью.

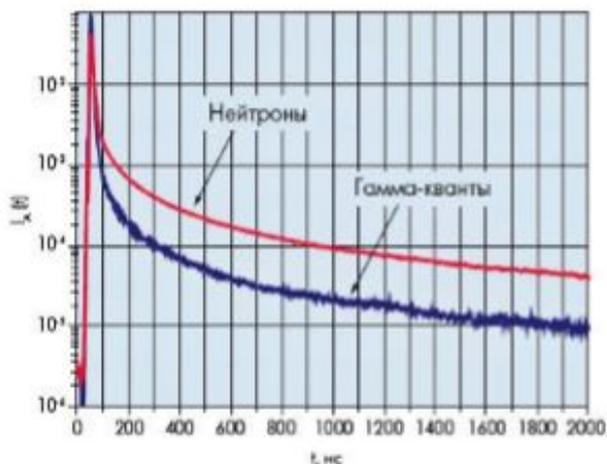
Треки сосчитываются с помощью обычного оптического микроскопа.

### Трековый нейтронный детектор:

трековый детектор + делящийся материал ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ).

Повышение чувствительности за счет увеличения массы делящегося нуклида ограничено высокой удельной гамма – активностью  $^{237}\text{Np}$  : один мг нуклида обуславливает дозу  $\sim 1.4$  рад/год

## 5. Идентификация нейтронов и гамма-квантов на основе цифровых методов



Сложность дозиметрии нейтронов в том, что в потоке ионизирующего излучения обычно кроме нейтронов присутствуют и гамма-кванты, сигналы от которых трудно различить.

Задача может быть решена на основе цифровых методов.

Лучшие результаты дают методы идентификации нейтронов и гамма-квантов по форме *сцинтилляционного* импульса.

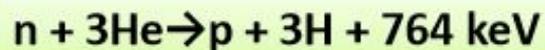
Суть метода: При использовании органических монокристаллов (стильбен, паратерфинил) и жидких сцинтилляторов форма импульсов радиолюминесценции характеризуется наличием двух компонент, высвечивание которых затухает в  $e$  раз за время порядка  $\tau_1 \approx 5$  нс и  $\tau_2 \approx 300$  нс соответственно (см. рис.).

Метод цифровой идентификации позволяет:

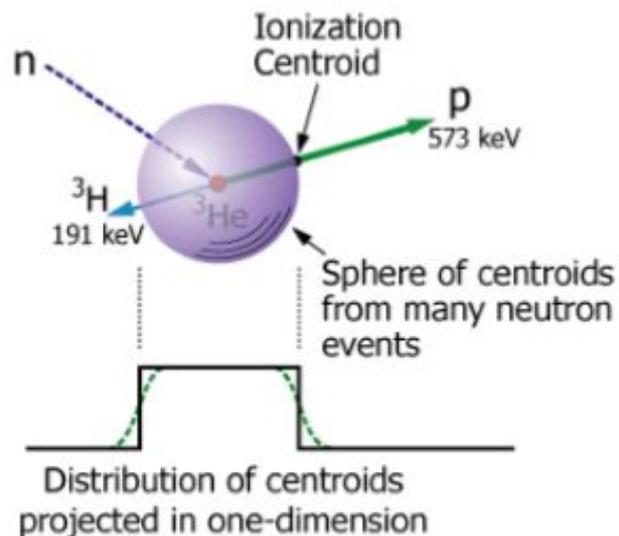
- измерять экв. дозу и мощность дозы одновременно и отдельно от нейтронов и гамма-квантов,;
- погрешность  $\sim 10\%$ .

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## Газовый детектор нейтронов



~25,000 электрон-ионных пар FWHM



Преимущества газовых детекторов:

- Практически нечувствительны к гамма
- высокое временное разрешение сигналов
- высокое пространственное разрешение

FWHM ~ 0.8  $\times$  пробег  
протона (~4.2 мм при 1 атм. пропана)

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

---

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## 5. Термолюминесцентные дозиметры

1. Люминофор – фосфоры содержащие лития  ${}^6\text{Li}$  (имеет большое сечение захвата тепловых нейтронов). Природный литий содержит 7,5%  ${}^6\text{Li}$  и 92,5%  ${}^7\text{Li}$ .

Изотопный состав фосфоров, выпускаемых фирмой Harshaw:

Фосфор	${}^6\text{Li}$ %	${}^7\text{Li}$ , %	Что регистрируется
ТЛД-100	7,5	92,5	
ТЛД-600	95,6	4,4	n тепловые + гамма-излучение
ТЛД-700	0,07	99,93	гамма-излучение

2. Люминофор на основе тетрабората лития.  ${}^{10}\text{B}$  имеет большое сечение захвата тепловых нейтронов.

Чувствительность тетрабората лития и эффективность фильтров

Ионизирующее излучение	${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_2\text{O}_7$	${}^7\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7$	Sn	Cd
n тепловые	нечувств.	очень чувств.	проходят	поглощаются
n надтепловые	нечувств.	чувств.	проходят	проходят
n быстрые	нечувств.	нечувств.	проходят	проходят
гамма-излучение	Чувств.	(эквивалентно)	частично проходит	проходят

# ПРЕСЕЧЕНИЕ НЕЗАКОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДРМ ЧЕРЕЗ ТАМОЖЕННУЮ ГРАНИЦУ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА

---

## Последовательность применения форм таможенного контроля ДРМ:

Таможенное наблюдение с использованием ТС ТКДРМ (**первичный радиационный контроль**).

Таможенный осмотр с использованием ТС ТКДРМ (дополнительный радиационный контроль товаров и транспортных средств без их вскрытия).

Таможенный досмотр с использованием ТС ТКДРМ (дополнительный радиационный контроль и углубленное радиационное исследование).

По результатам осуществления таможенного контроля (в формах таможенного осмотра и досмотра) назначается экспертиза ИИИ.

# ТАМОЖЕННОЕ НАБЛЮДЕНИЕ (ПЕРВИЧНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ)

**Цель** – выявление объектов с повышенным относительно естественного радиационного фона уровнем ИИ.

**Осуществляют** – должностные лица таможенных органов, участвующие в таможенном контроле товаров и транспортных средств (требования по допуску к работам с ИИИ к указанным должностным лицам не предъявляются).

**Используются ТС** – **стационарные таможенные системы обнаружения ДРМ типа «Янтарь»** или переносные поисковые приборы типа РМ1401 с детекторами гамма- и нейтронного излучения.

**Осуществляется постоянно** – в пунктах пропуска через Государственную границу РФ, местах и пунктах международного почтового обмена, а также в местах доставки, являющихся одновременно и СВХ и местонахождением таможенного органа.

В иных случаях таможенное наблюдение (первичный РК) носит разовый характер.



# ТАМОЖЕННЫЙ ОСМОТР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТС ТКДРМ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ БЕЗ ИХ ВСКРЫТИЯ)

**Цель** – определение на поверхности объекта точек (участков) с максимальной интенсивностью ИИ, измерение радиационных характеристик и оценка степени радиационной опасности.

**Осуществляют** – ДЛТО, имеющие допуск к работам с ИИИ (должностные лица досмотровых подразделений, уполномоченные на проведение ТКДРМ).



**Используются ТС** – поисковые приборы радиационного контроля, дозиметры, радиометры-спектрометры.

## **Основания для проведения:**

- результаты таможенного наблюдения (первичного РК);
- выявление косвенных признаков наличия ДРМ (например, наличие на упаковке знака радиационной опасности);
- оперативная информация;
- сведения, содержащиеся в товаросопроводительных документах, которые указывают на наличие в товарах ДРМ.

# ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В РАМКАХ ТАМОЖЕННОГО ДОСМОТРА ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ



**Цель** – поиск и локализация ИИИ в составе объекта, предусматривающие вскрытие объекта, измерение радиационных характеристик и оценку степени радиационной опасности.

**Осуществляют** – должностные лица подразделений ТКДРМ.

**Используются ТС** – поисковые приборы радиационного контроля, дозиметры, радиометры-спектрометры.

**Основание для проведения**

- ▣ результаты таможенного наблюдения и дополнительного радиационного контроля в рамках таможенного осмотра.

# УГЛУБЛЕННОЕ РАДИАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В РАМКАХ ТАМОЖЕННОГО ДОСМОТРА ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Цель** – максимально возможная локализация, первичная идентификация ИИИ и предварительное отнесение ИИИ к одной из следующих групп:

ядерные материалы или изделия на их основе;

радиоактивные вещества или изделия на их основе;

радиоактивные отходы;

иные товары и транспортные средства с повышенным содержанием радионуклидов.



**Осуществляют** – должностные лица подразделений ТКДРМ.

**Используются ТС** – радиометры-спектрометры, гамма-спектрометры.

**Основание для проведения**

- результаты дополнительного радиационного контроля.

# **УГЛУБЛЕННОЕ РАДИАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В РАМКАХ ТАМОЖЕННОГО ДОСМОТРА ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

---

## **Дальнейшие действия:**

- обеспечение безопасного обращения с выявленным ИИИ (в т.ч. во взаимодействии с другими органами исполнительной власти);**
- при выявлении товаров с повышенным содержанием радионуклидов – контроль наличия разрешительных документов государственных органов, осуществляющих санитарно-эпидемиологический надзор;**
- привлечение к ответственности за нарушение таможенного законодательства.**

# ПРЕСЕЧЕНИЕ НЕЗАКОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДРМ ЧЕРЕЗ ТАМОЖЕННУЮ ГРАНИЦУ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА

---

Основные этапы первичного реагирования при срабатывании технических средств ТКДРМ:

**установление** местонахождения объекта, вызвавшего срабатывание ТС, в зоне таможенного контроля (ЗТК);

**повторное использование ТС**, фиксирование канала (гамма- или нейтронного) ТС, по которому произошло срабатывание;

рассмотрение сопроводительных документов;

размещение объекта на определённом участке в ЗТК и обеспечение охраны;

дополнительный радиационный контроль;

документирование результатов таможенного контроля.

# ПРЕСЕЧЕНИЕ НЕЗАКОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДРМ ЧЕРЕЗ ТАМОЖЕННУЮ ГРАНИЦУ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА

---

## Основные направления повышения эффективности ТКДРМ с использованием ТС:

- ▣ объединение ТС ТКДРМ в единые системы реагирования на базе автоматизированных комплексов радиационного контроля;
- ▣ создание многоуровневой автоматизированной системы поддержки принятия решений (проект «Интеграция»).

# ТАМОЖЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДРМ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ В РАМКАХ ВЭД

## Таможенный контроль ДРМ в пунктах пропуска:

- ▣ при прибытии на таможенную территорию ТС, помещении под процедуру таможенного транзита (ТТ);
- ▣ при убытии с таможенной территории ТС.

**Осуществляют** – должностные лица таможенного органа, имеющие допуск к работам с ИИИ.

**Используются ТС** – поисковые приборы радиационного контроля, дозиметры, радиометры-спектрометры.

## Таможенный контроль ДРМ при декларировании и выпуске ДРМ

**Осуществляют** – должностные лица подразделений ТКДРМ, имеющие допуск к работам с ИИИ.

Таможенный орган (место декларирования) должен обладать правомочиями на совершение таможенных операций в отношении ДРМ.

**Используются ТС** – поисковые приборы радиационного контроля, дозиметры, радиометры-спектрометры, гамма-спектрометры.

# ТАМОЖЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДРМ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ В РАМКАХ ВЭД



**Таможенный контроль ДРМ в пункте пропуска**

# ТАМОЖЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДРМ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ В РАМКАХ ВЭД

---

## Особенности осуществления таможенного контроля ДРМ при их декларировании и выпуске

- ▣ **Документальный контроль** – предусматривает участие специалистов подразделения ТКДРМ при проверке сведений, заявленных в декларации на товары, контроле правильности определения кода товара по ТН ВЭД ТС, а также при контроле соблюдения запретов и ограничений.
- ▣ **Фактический контроль** – осуществляется специалистами подразделения ТКДРМ в форме таможенного досмотра (без вскрытия контейнера).
- ▣ **Таможенный досмотр** – предусматривает:
  - измерение МЭД и поверхностного загрязнения радионуклидами;
  - определение с использованием  $\gamma$ -спектрометров количественных и качественных характеристик ДРМ (наименование, изотопный состав – для ЯМ, активность – для РВ).

---

**Стационарная таможенная  
система обнаружения ДРМ  
«Янтарь»**

# Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

## Назначение и модификации

**Назначение:** обнаружение незаконного перемещения через таможенную границу ДРМ и иных товаров с повышенным уровнем ИИ.



Янтарь-1СН



Янтарь-2П



Янтарь-1А



Янтарь-1Ж

**Модификации:** пешеходный (П), автомобильный (А, У), железнодорожный (Ж), пешеходно-багажный (1С), автомобильно-железнодорожный (2С).

# Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

## Технические характеристики

- режим работы – автоматический, непрерывно, круглосуточно;
- обнаруживаемое излучение – гамма и нейтроны, гамма (1С и 2С) (Для целей таможенного контроля должны использоваться только модификации СТСО ДРМ «Янтарь», имеющие детекторы  $\gamma$ - и нейтронного излучений).
- ширина полосы контроля – 1.5м (П), 10м (1Ж);
- сигнализация – звуковая, световая (на стойке и на пульте);
- скорость движения объекта контроля: 15 км/ч (автомобили), 25 км/ч (ж/д транспорт)
- гамма-детектор – на основе органических пластмассовых сцинтилляторов;
- нейтронный детектор – на основе  $^3\text{He}$ -пропорциональных счетчиков;
- автоматическая адаптация к изменению естественного фона;
- запись в архив информации о событии: дата, время, скорость счета детекторов, тип канала (гамма- или нейтронный). При комплектовании системой видеорегистрации дополнительно записывается видеоролик объекта тревоги;
- диапазон рабочих температур – От  $-50^\circ\text{C}$  до  $+50^\circ\text{C}$ ;
- соответствие требованиям к аппаратуре ядерного приборостроения по ЭМС;
- возможность удаленного доступа;
- срок службы - 12 лет;



Пешеходные и почтово-багажные



Транспортные

# Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

## Характеристики модификаций системы «Янтарь»

Условное обозначение прибора	Типичное применение	Рекомендуемая ширина полосы контроля, м	Каналы регистрации
Янтарь-1П	Пешеходный	0,7–1,5	Гамма и нейтроны
Янтарь-2П	Пешеходный	0,3–3,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-1А	Автомобильный (грузовой)	6,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-2А	Автомобильный (грузовой)	4,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-1Ж	Железнодорожный	6,2	Гамма и нейтроны
Янтарь-2Ж	Железнодорожный	5,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-1СН	Пешеходный, багажный	3,0	Гамма и нейтроны
Янтарь-2СН	Автомобильный, железнодорожный	6,0	Гамма и нейтроны

# Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

## Минимальные значения масс ядерных материалов, обнаруживаемые системой «Янтарь», (г)

Тип системы	Плутоний-239	Уран-235	Плутоний-239 в защите
Янтарь-1П	0,36	12,5	26,4
Янтарь-2П	0,30	5,7	22,0
Янтарь-1Ж	11,00	1747	348
Янтарь-1А	3,50	374	80

Чувствительность по гамма-излучению – 400тыс.расп./сек (Cs-137) для  
Янтарь-2П.

# Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

## Минимальные значения активности источников гамма-излучения, обнаруживаемые системой «Янтарь», (кБк)

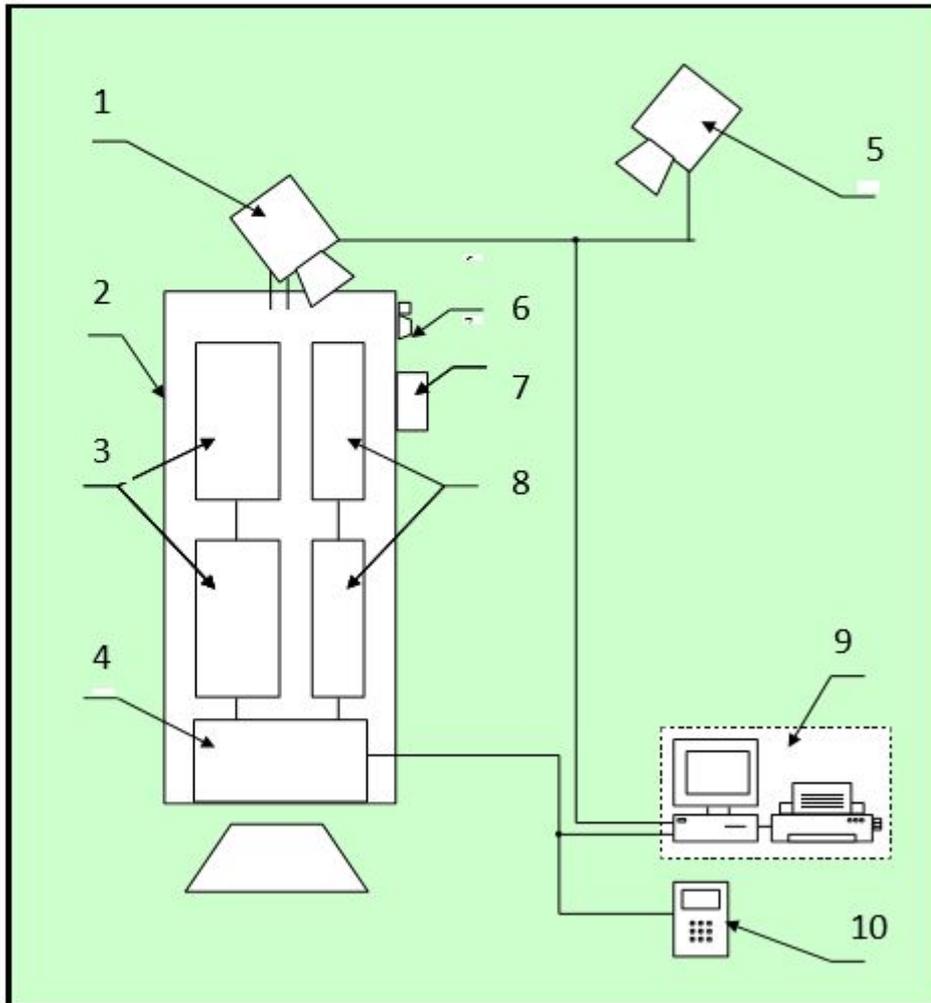
Тип системы	Cs-137	Co-60	Ra-226	Th-232	K-40
Янтарь-1С	420	118	177	180	2360
Янтарь-1П	40	56	43	43	1133
Янтарь-2П	11	7,4	7,4	7,4	444
Янтарь-1Ж	900	300	400	450	5400
Янтарь-1А	300	91	136	143	1800

**Проверка чувствительности** систем «Янтарь» производится с использованием:

- источников гамма-излучения *Ba-133*, *Cs-137*, *Co-60* (проверка гамма-канала);
- источников нейтронов: *Cf-252* и *Sm-244* (проверка нейтронного канала).

# Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

## Схема устройства СТСО ДРМ «Янтарь-1П»



1. Камера видеонаблюдения
2. Корпус стойки
3. Блок детектирования гамма-излучения
4. Блок питания и обработки информации
5. Камера видеонаблюдения обзорная
6. Световая и звуковая сигнализации
7. Датчик присутствия
8. Блок детектирования нейтронов
9. Рабочее место оператора (АРМ)
10. Пульт ПВЦ-01 (в комнате оперативного дежурного.)

# Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

## Принцип работы

**Режим измерения фона** (объект контроля отсутствует):

1. Непрерывно измеряется естественный радиационный фон по нейтронному и гамма-излучению  $N_{\phi}$  (количество зарегистрированных частиц в единицу времени).
2. Определяется порог срабатывания по формуле:  $N_{\text{пор}} = N_{\phi} + L \cdot \sqrt{N_{\phi}}$   
 $L$  – число устанавливаемое при настройке – 4, 6, 8

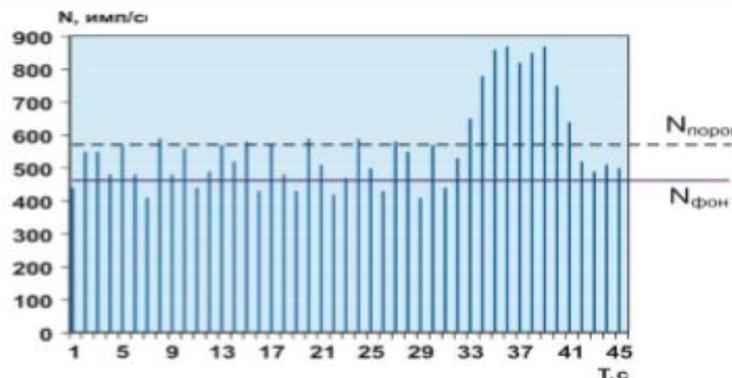
**Режим контроля** (после срабатывания датчика присутствия ).

Сигнализация срабатывает если  $N \geq N_{\text{пор}}$

$N$  - значение скорости счета при наличии объекта контроля.

Длительность режима контроля – несколько секунд.

**Ложное срабатывание** возможно если перед измерением очередного объекта предыдущий объект контроля задержался и началось измерение фона. Наличие при этом объекта в месте измерения приводит к снижению фона и, следовательно, к снижению порога срабатывания.



# Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

## Окно данных при тревоге

Видеоролик

К серверу подключены пешеходный и автомобильный варианты системы



В окно выводятся:

1. Видеоролик
2. Название монитора
3. Время тревоги
4. Максимальная скорость счета, фон и их отношение
5. График счета
6. Рекомендации оператору по первому этапу обработки тревоги
7. Карта объекта, где сработал монитор
8. Запись о тревоге в списке тревог

Рекомендации для оператора

Журнал срабатываний

# Стационарная таможенная система обнаружения ДРМ «Янтарь»

## Техническое обслуживание

№№ пп	Вид технического обслуживания	Периодичность
1	Внешний осмотр	Ежедневно
2	Чистка и протирка наружных частей от пыли	
3	Промывка спиртом розеток и вилок	1 раз в 6 месяцев
4	Удаление пыли с внутренних узлов стойки	
5	Проверка параметров калибровки	
6	Проверка работы нейтронного и гамма-каналов	
7	Проверка количества ложных срабатываний	1 раз в год
8	Проверка состояния аккумуляторов	
9	Профилактические работы	При появлении неисправностей