

# 3. Дозиметрия ионизирующих излучений

## 3.1 Активность

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N$$

где  $A$  – активность;  $\lambda$  – постоянная распада;  
 $N$  – число нераспавшихся ядер в момент времени  $t$ ;  $dN$  – число ядер распавшихся за время от  $t$  до  $(t + dt)$ .

- **Активность** *характеризует количество распадов, происходящих за одну секунду.* **Определяется** *количеством еще нераспавшихся ядер и скоростью их распада.*

**За единицу активности в системе СИ принимается беккерель (Бк) – одно ядерное превращение в секунду.**

**Внесистемная единица активности – кюри (Ки).**

Кюри – это единица активности радиоактивного препарата, при которой за 1 с происходит  $3.7 \cdot 10^{10}$  распадов (это примерно равно числу распадов 1 г изотопа  $^{226}\text{Ra}$  за 1 с).

$$\mathbf{1 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}}$$

**Активность, отнесенную к единичной массе (объему или поверхности), называют соответственно удельной массовой (объемной или поверхностной) активностью**

$$A_m = \frac{A}{\Delta m}, \text{ Бк/кг (Ки/кг)}; A_v = \frac{A}{\Delta V}, \text{ Бк/м}^3 \text{ (Бк/л, Ки/л)};$$

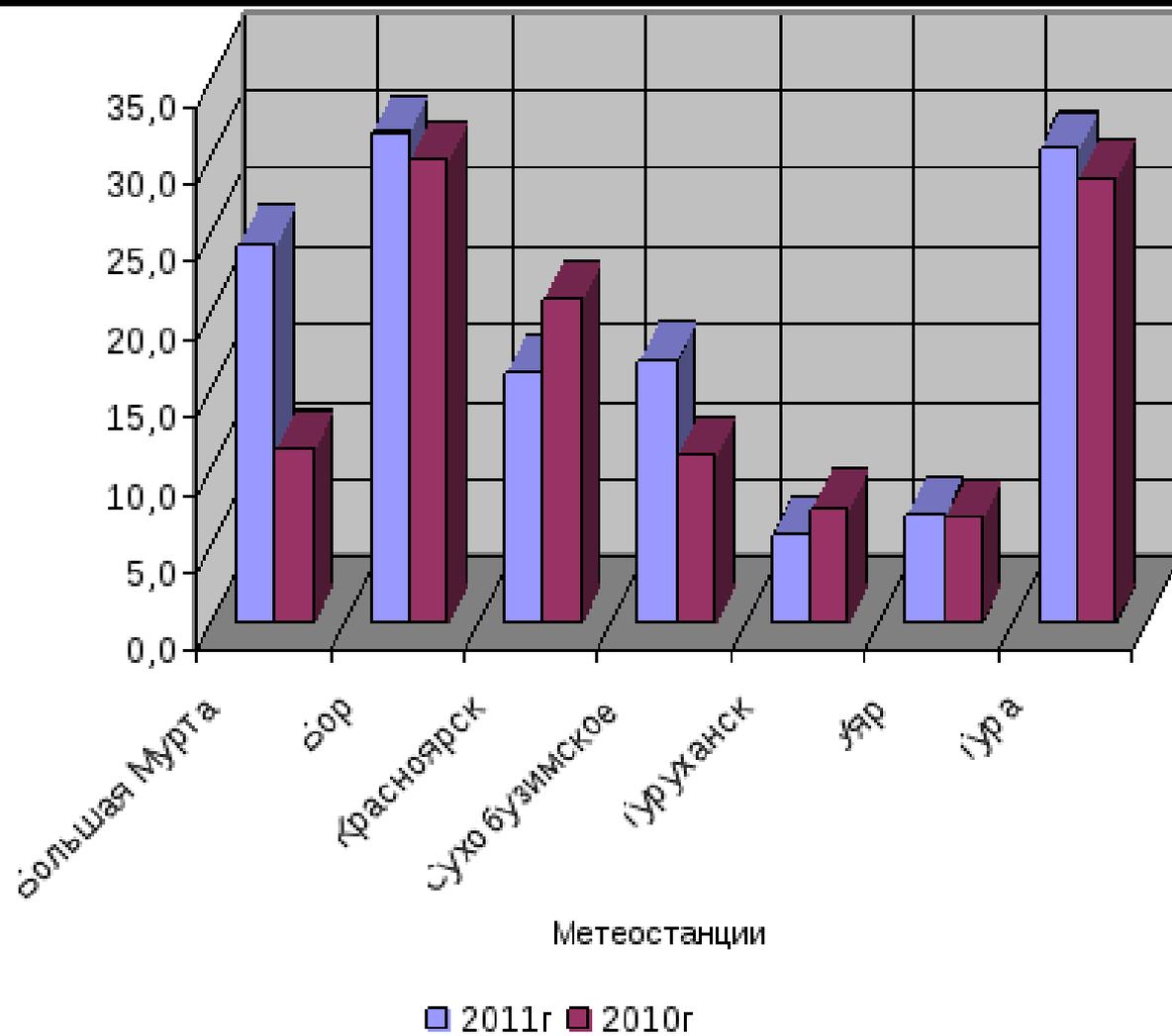
$$A_s = \frac{A}{\Delta S}, \text{ Бк/м}^2 \text{ (Ки/км}^2\text{)}.$$

- С уменьшением  $\lambda$  или с возрастанием  $T$  масса радиоактивного вещества при одной и той же активности возрастает. Так, для йода-131 с периодом полураспада 8,06 сут., активность 1 Ки имеют 0,008 мг вещества. Масса урана-238 с активностью 1 Ки составляет 3 т.

- **Объемная удельная активность используется для определения уровня радиоактивного загрязнения воздуха, жидких и сыпучих веществ (например, продуктов питания, молока, круп и т.п.).**



ММАРНАЯ БЕТА-АКТИВНОСТЬ, 10-5  
БК/МЗ

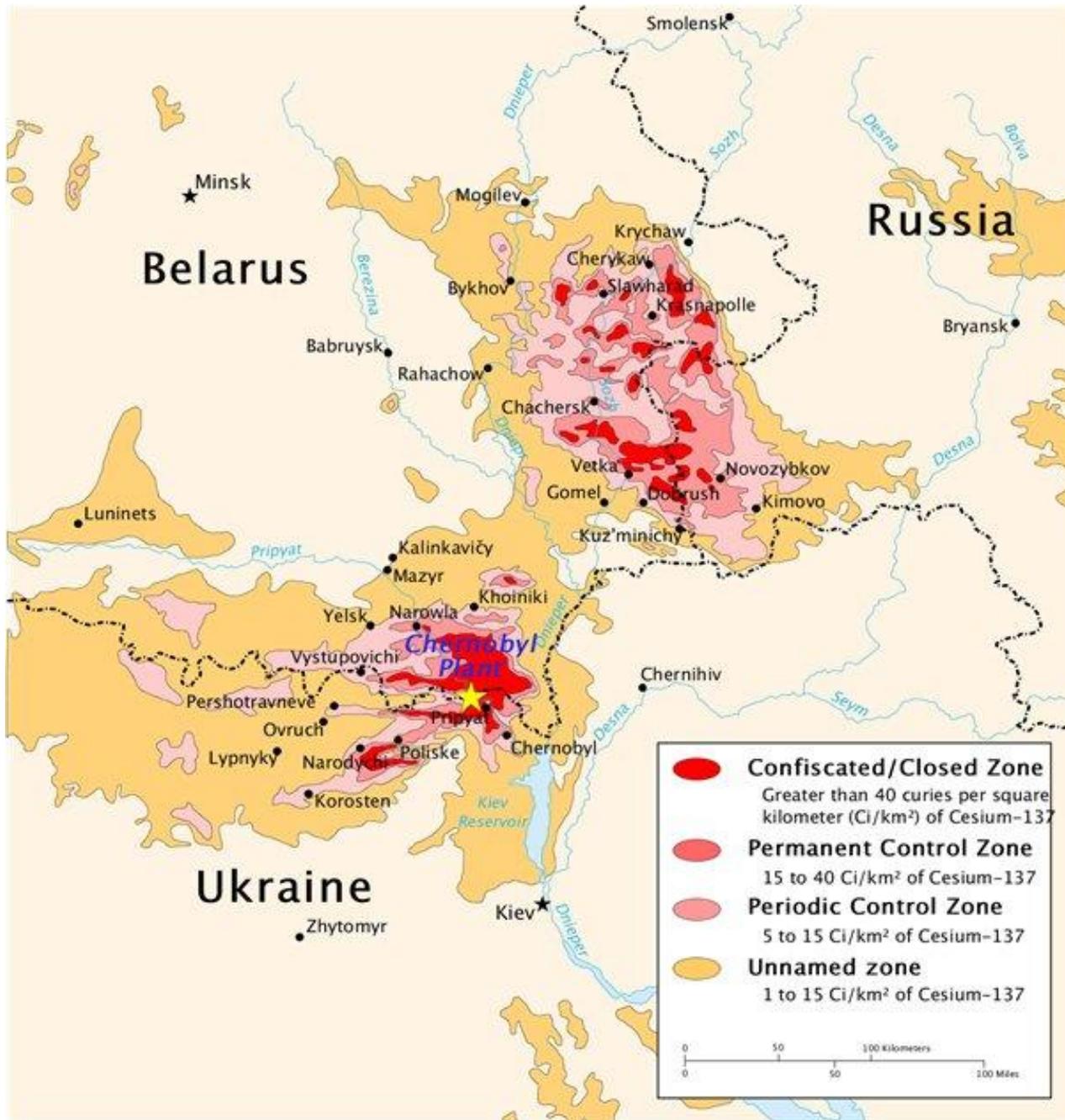


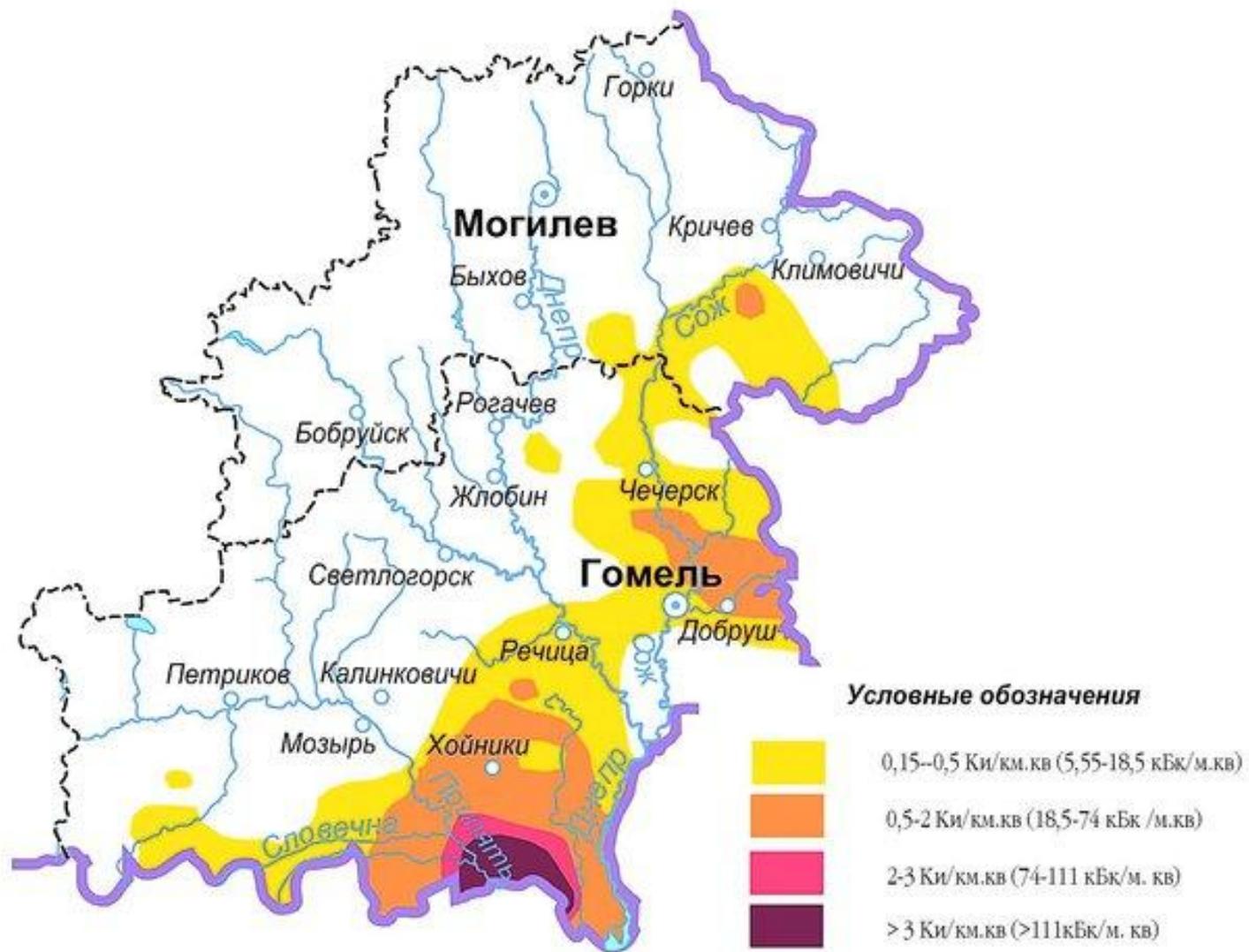


- **Поверхностная активность** отражает степень загрязнения местности (количество радионуклидов, приходящихся на  $1 \text{ км}^2$ ).

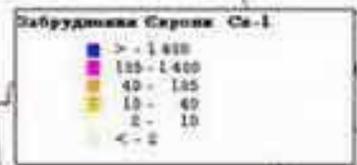
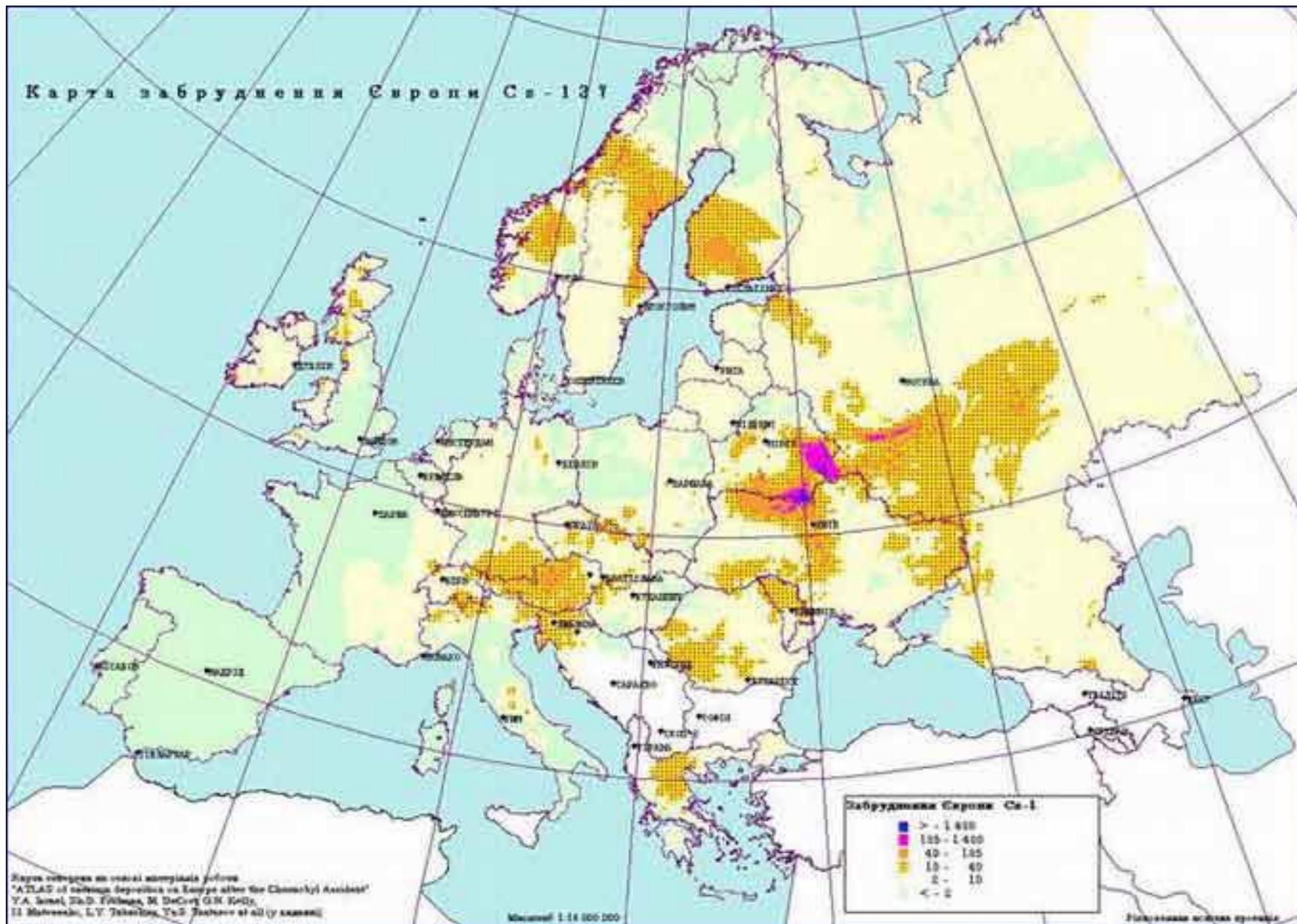
Для цезия-137 активностью  $5 \text{ Ки/км}^2$  (или  $185000 \text{ Бк/м}^2$ ) соответствует масса  $0.0575 \text{ мкг}$ , рассеянная на  $1 \text{ м}^2$ , или масса  $0.0575 \text{ г}$ , рассеянная на  $1 \text{ км}^2$ .

**Согласно действующему законодательству, территория с уровнем загрязнения  $40 \text{ Ки/км}^2$  является зоной эвакуации, с уровнем  $15 - 40 \text{ Ки/км}^2$  - зоной последующего отселения, с уровнем  $5 - 15 \text{ Ки/км}^2$  - зоной с правом на отселение.**





# Карта забруднення Європи Св-131



Карту складено за матеріалами звітів  
 "ATLAS of radionuclide deposition in Europe after the Chernobyl Accident"  
 Y.A. Izrael, Zh.D. Zil'berman, M. DeCour, G.N. Kozlov,  
 I.I. Mal'tsevich, L.Y. Tselikova, Yu.S. Zaslavskiy et al. (у сканові)

Масштаб: 1:14 000 000

Розроблено в Інституті географії НАН України

- **Радиометр** – прибор для измерения активности.





## 3.2. Доза облучения

Количество переданной веществу энергии излучения называется *дозой*. Дозу можно рассчитывать для вещества или организма.

Также доза зависит от типа излучения.

- **Экспозиционная доза – электрический заряд, образующийся в 1 кг сухого воздуха за счёт его ионизации фотонным (ЭМ) излучением.**

$$X = \frac{Q}{m}, \text{ 1 Кл/кг, Рентген, 1 Р}$$

- **Рентген** – единица экспозиционной дозы фотонного излучения, при прохождении которого через 0,001293 грамма сухого воздуха создается  $2 \cdot 10^9$  пар ИОНОВ.
- **$1 R = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$  ,  $1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 R$**

- **Мощность экспозиционной дозы:** величина дозы, получаемой за **единичный интервал времени (1 с, 1 час )**.

$$\dot{X} = \frac{\Delta X}{\Delta t}, \quad 1A / \kappa\Gamma, 1P / \text{ч}$$

- **Мощность экспозиционной дозы радиационного фона в Витебской обл. составляет 12 – 15 мкР/ч.**

- **$1 \text{ A/кг} = 1,397 \cdot 10^7 \text{ P/ч}; 1 \text{ P/ч} = 7,16 \cdot 10^{-8} \text{ A/кг}$**

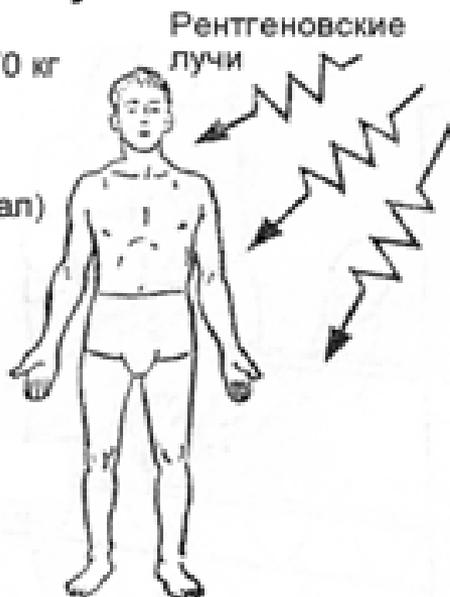
- **Поглощенная доза** есть энергия, поглощенной единицей массы облученного вещества.

$$D = \frac{E}{m} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{E}{V}$$

### Общее облучение тела

Масса тела - 70 кг

Поглощенная энергия -  
~ 280 Дж (67 кал)



*a*

### Чашка горячего кофе

Разница температур  
 $60^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C} = 23^{\circ}\text{C}$

Объем выпитого кофе,  
эквивалентного энергии 67 кал -  
3 мл (1 чайная ложка)



*б*

### Работа при поднятии тела человека

Масса тела - 70 кг

Высота подъема,  
эквивалентная  
280 Дж - ~ 41 см



*в*

- В качестве единицы поглощенной дозы в системе СИ принят грей (Гр), т.е.  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ .

- Внесистемная единица поглощенной дозы – рад.

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$$

**Мощность поглощенной дозы:**  
величина дозы, получаемой за  
единичный интервал времени (1  
с, 1 час ).

$$\dot{D} = \frac{\Delta D}{\Delta t} \quad \text{Гр/с, Гр/ч}$$

- **Пример: человек провел  $\Delta t=3$  часа в условиях, в которых мощность поглощённой дозы составляла 10 мГр/ч.**
- **В итоге поглощённая доза, которую получит данный человек составит:**

$$\Delta D = \dot{D} \cdot \Delta t = 10 \text{ мГр/ч} \cdot 3 \text{ ч} = 30 \text{ мГр}$$

- Степень радиационного риска можно определить, например, по числу погибших от излучения организмов.
- Но летальная доза (*ЛД*) зависит от вида и уровня сложности организмов (табл. ), а также пола, возраста облучаемого и других факторов.
- Потому часто используют более сложные критерии, например,  $LD_{50/30}$  – *полулетальная доза (50 % погибших за 30 суток)*.

# Полулетальные дозы для различных объектов живой природы

Объект	Вирусы	Бактерии	Мхи	Насекомые	Деревья
LD <sub>50</sub> , Гр	10000	2000	500–5000	600	10–350
Объект	Рыбы	Птицы	Кролик	Обезьяна	Человек
LD <sub>50</sub> , Гр	7–15	6–8	6	3–6	2–3

**Известно, что при одинаковых  
поглощенных дозах, благодаря  
огромной ионизирующей  
способности,  $\alpha$ -излучение  
примерно в 20 раз опаснее  $\beta$  и  $\gamma$ -  
излучений.**

- Коэффициент, показывающий, во сколько раз поражающее действие данного вида излучения выше, чем рентгеновского, называют *относительной биологической эффективностью (КОБЭ)* или *коэффициентом качества излучения K*.

## Коэффициенты качества

Вид излучения	$k$
Рентгеновское и $\gamma$ -излучение	1
Электроны, позитроны ( $\beta$ -излучение)	1
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией в диапазоне 0.1–10 МэВ	10
$\alpha$ -частицы с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжелые ядра отдачи (осколки распада)	20

Учет поражающего действия на  
человеческий организм  
различных излучений  
производится введением понятия  
*эквивалентной дозы H*:

$$H = D \cdot K$$

$$H = k_{\alpha} D_{\alpha} + k_{\beta} D_{\beta} + k_{\gamma} D_{\gamma} + \dots$$

- **Единица измерения эквивалентной дозы – Зиверт (Зв). Она меньше поглощенной единичной дозы в  $K$  раз**

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} / K.$$

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр (биологический эквивалент рентгена)}$$

**Различные органы человека  
обладают различной  
чувствительностью к излучению.**

**Например, легкие значительно  
чувствительней, чем костная ткань  
или щитовидная железа.**

- Поэтому дозы облучения органов и тканей следует учитывать, вводя коэффициент радиационного риска  $r$ .
- Умножив эквивалентные дозы  $H_i$  соответствующих частей тела на их коэффициенты риска  $r_i$  и просуммировав по всем органам и тканям, получим эффективную эквивалентную дозу  $H_{\text{э}} = \sum H_i \cdot r_i$

## Коэффициенты риска

<b>Биологическая ткань</b>	<b>r</b>
<b>Красный костный мозг</b>	<b>0.12</b>
<b>Щитовидная железа</b>	<b>0.03</b>
<b>Легкие</b>	<b>0.12</b>
<b>Молочная железа</b>	<b>0.15</b>
<b>Половые железы</b>	<b>0.25</b>

# Места накопления радионуклидов в организме и период полураспада

## Щитовидная железа

Йод-129 15,7 млрд. лет

## Печень

Цезий-137 30,1 года  
Плутоний-238 88 лет  
Плутоний-239 24,4 тыс. лет

## Кости

Углерод-14 5,7 тыс. лет  
Плутоний-238 88 лет  
Плутоний-239 24,4 тыс. лет  
Радий-226 1,6 тыс. лет  
Стронций-89 50,6 лет  
Стронций-90 28 лет  
Торий-234 14,1 млрд. лет  
Уран-233 1,6 млн. лет

## Лёгкие

Плутоний-238 88 лет  
Плутоний-239 24,4 тыс. лет  
Уран-233 1,6 млн. лет

## Почки

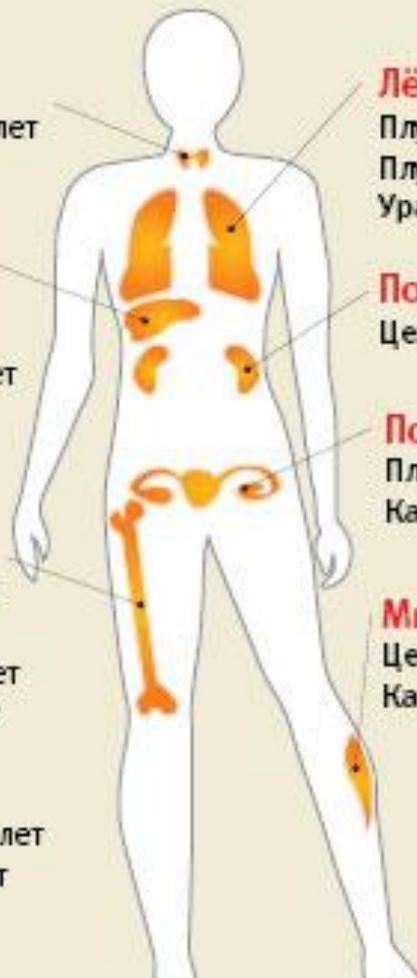
Цезий-137 30,1 года

## Половые органы

Плутоний-239 24,4 тыс. лет  
Калий-40 1,28 млрд. лет

## Мышцы

Цезий-137 30,1 года  
Калий-40 1,28 млрд. лет

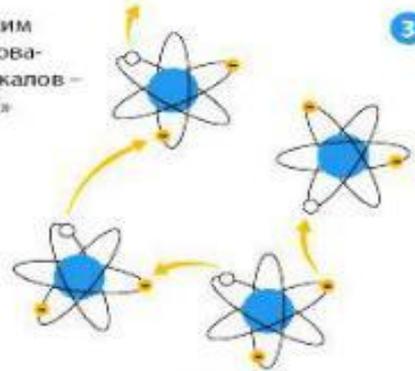


Источники:  
ssmpborisov1.narod.ru;  
chemister.da.ru

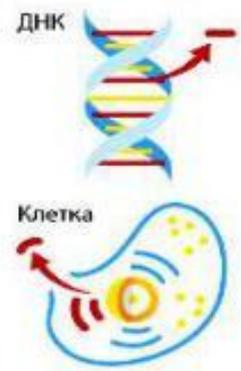
# Воздействие радиации на организм человека



**1** Ионизация, создаваемая жестким излучением, приводит к образованию в клетках свободных радикалов – атомов и молекул с «нехваткой» электрона



**3** Нарушается целостность клеток и молекул ДНК



**2** Свободный радикал пытается отобрать «недостающий» электрон у соседних соединений, вызывая цепную реакцию образования свободных радикалов

**Результатом воздействия радиации становится:**

- массовая гибель клеток
- развитие раковых заболеваний
- развитие генетических мутаций



**100**  
Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы

## Воздействие различных доз облучения

Доза, Гр\*

0,0007-0,002

Доза, получаемая за год в нормальных условиях

0,05

Предельно допустимая доза профессионального облучения в год

0,1

Уровень удвоения вероятности генных мутаций

0,25

Однократная доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах

1,0

Доза возникновения острой лучевой болезни

3-5

Без лечения 50% облученных умирает в течение 1-2 месяцев вследствие нарушения деятельности клеток костного мозга

**10-50**  
Смерть наступает через 1-2 недели вследствие поражений главным образом желудочно-кишечного тракта

\* - Единица поглощенной дозы радиации – грей (Гр)

**Для учёта воздействия облучения на большой контингент людей введено понятие *коллективной дозы*.**

**Например, коллективной эффективной эквивалентной дозы, которая измеряется в человеко-зивертах (чел-Зв).**

**Коллективная доза после аварии на ЧАЭС только от цезия-137 превысит 1 миллион чел.-Зв. Из них 52 % приходится на европейские страны, 37 % на территорию бывшего СССР, 10 % – на Азию.**

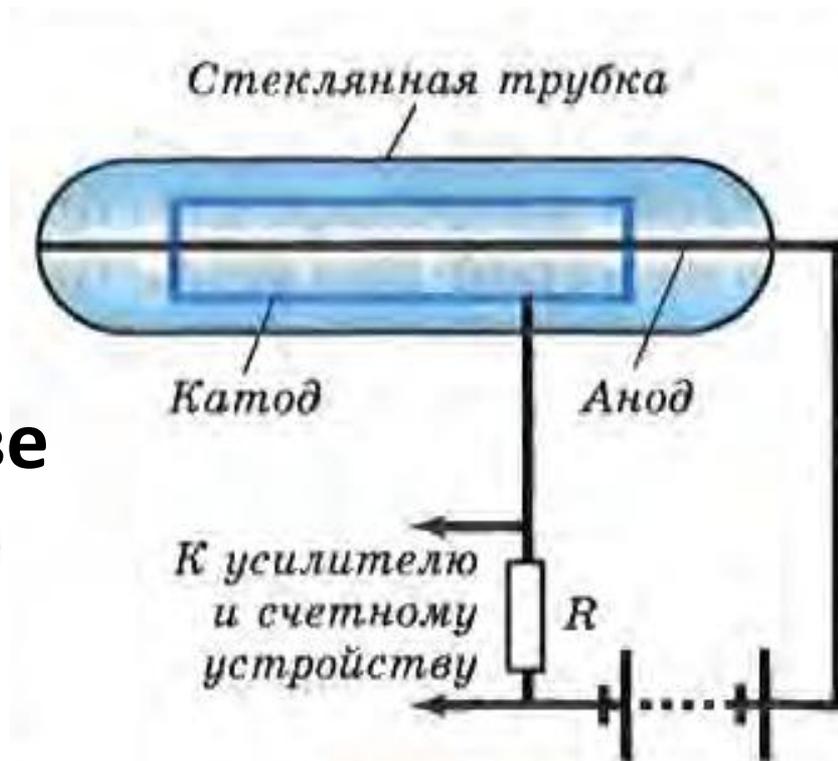
- Приборы, предназначенные для измерения доз и мощностей доз называются *дозиметрами*.



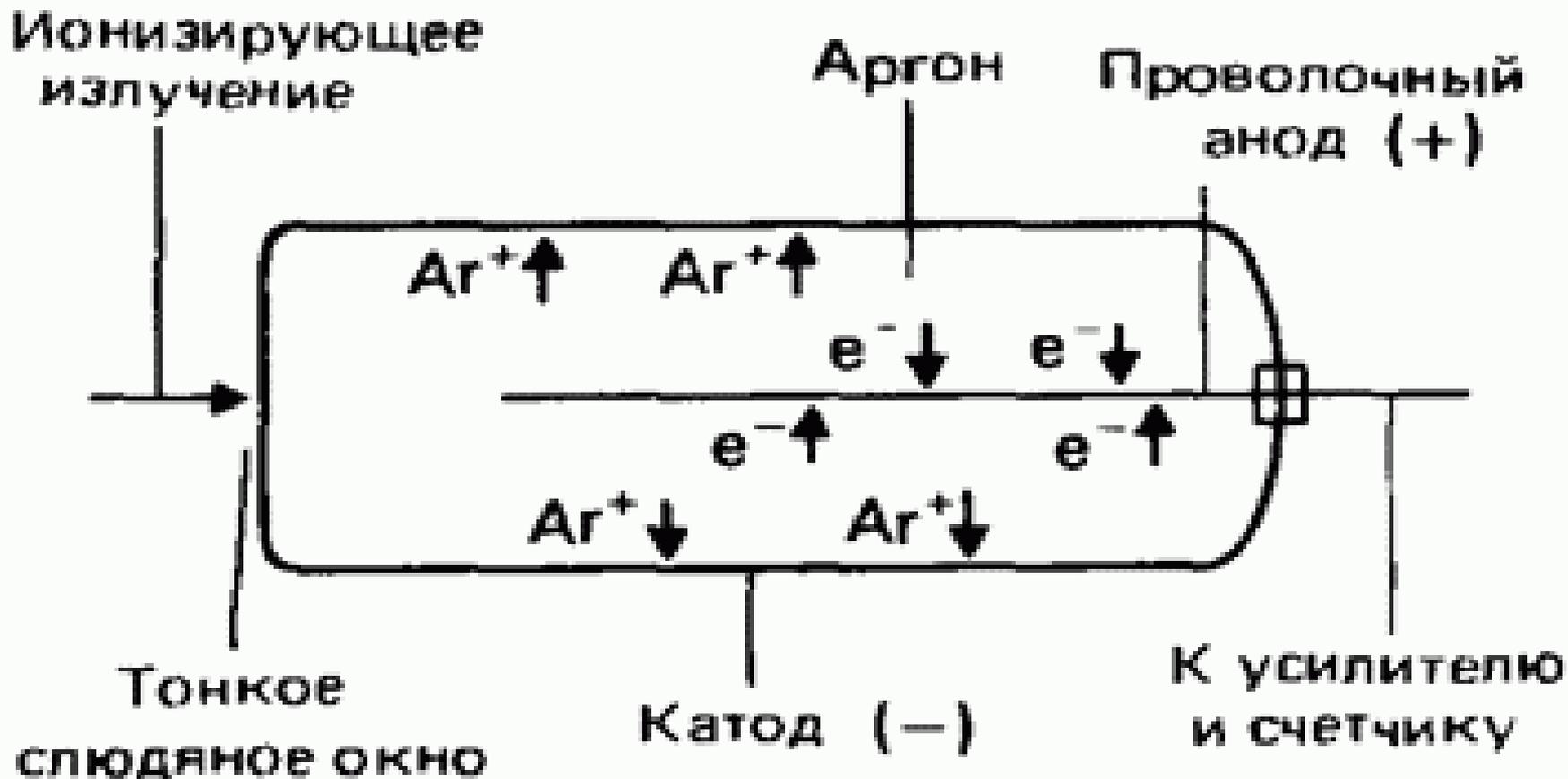
# 3.3 Методы детектирования ионизирующих излучений

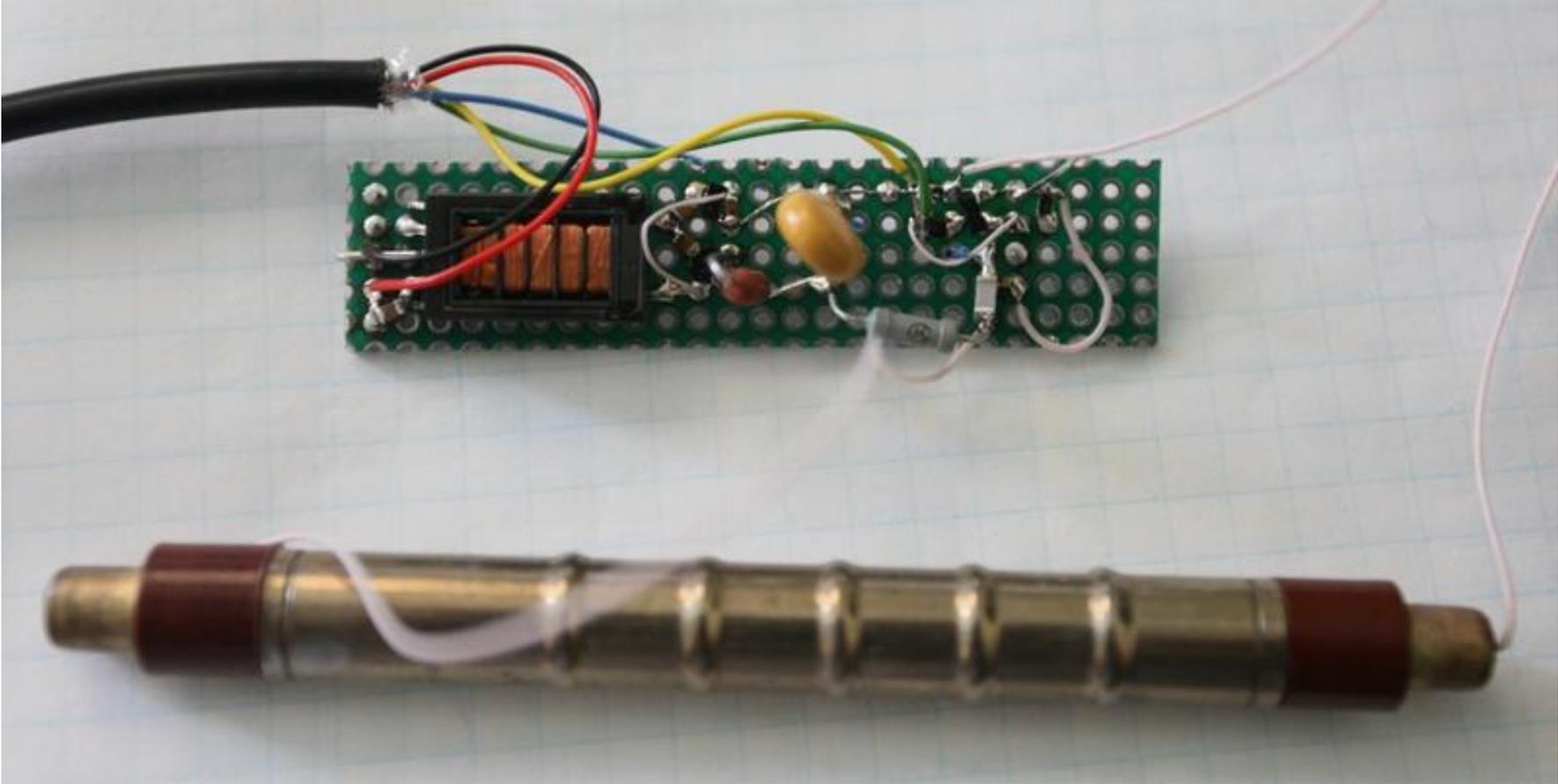
## 1. Ионизационный.

- Регистрация электрических зарядов, образующихся в газе (ионы и электроны) при его ионизации радиацией.



# Газоразрядный счетчик Гейгера-Мюллера.



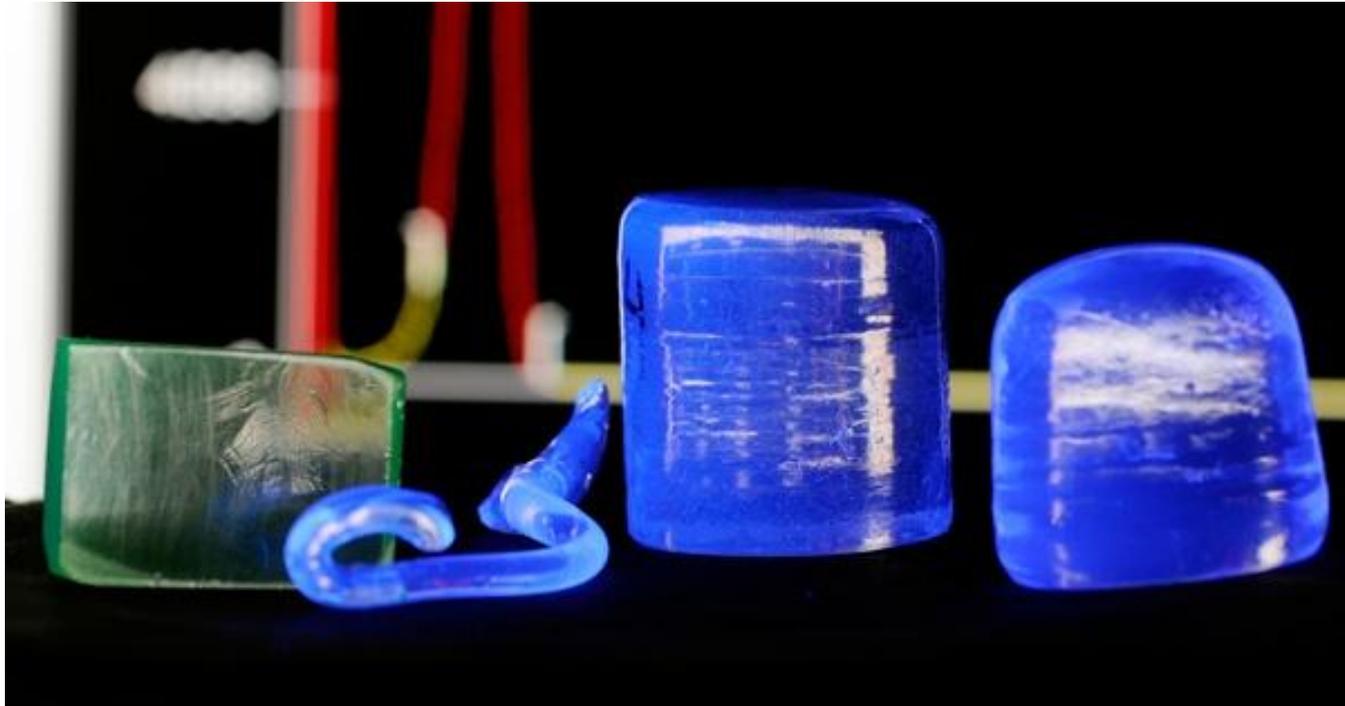




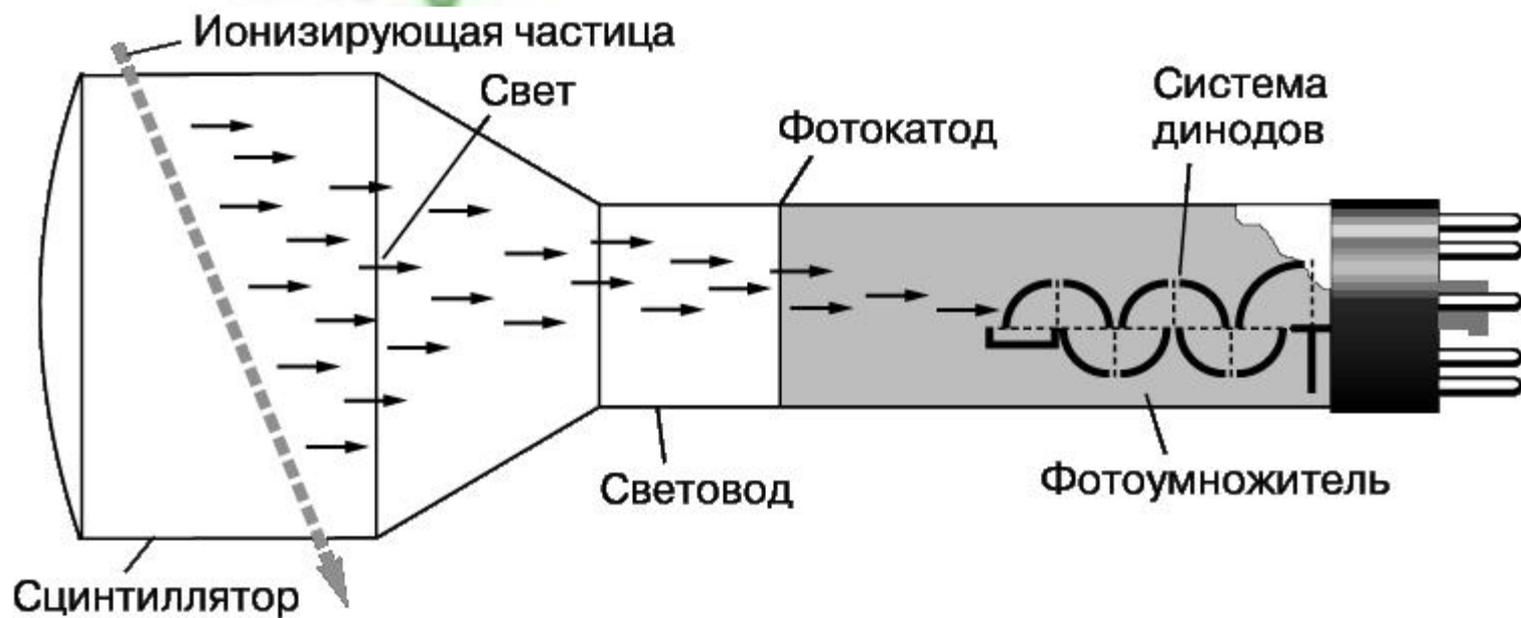
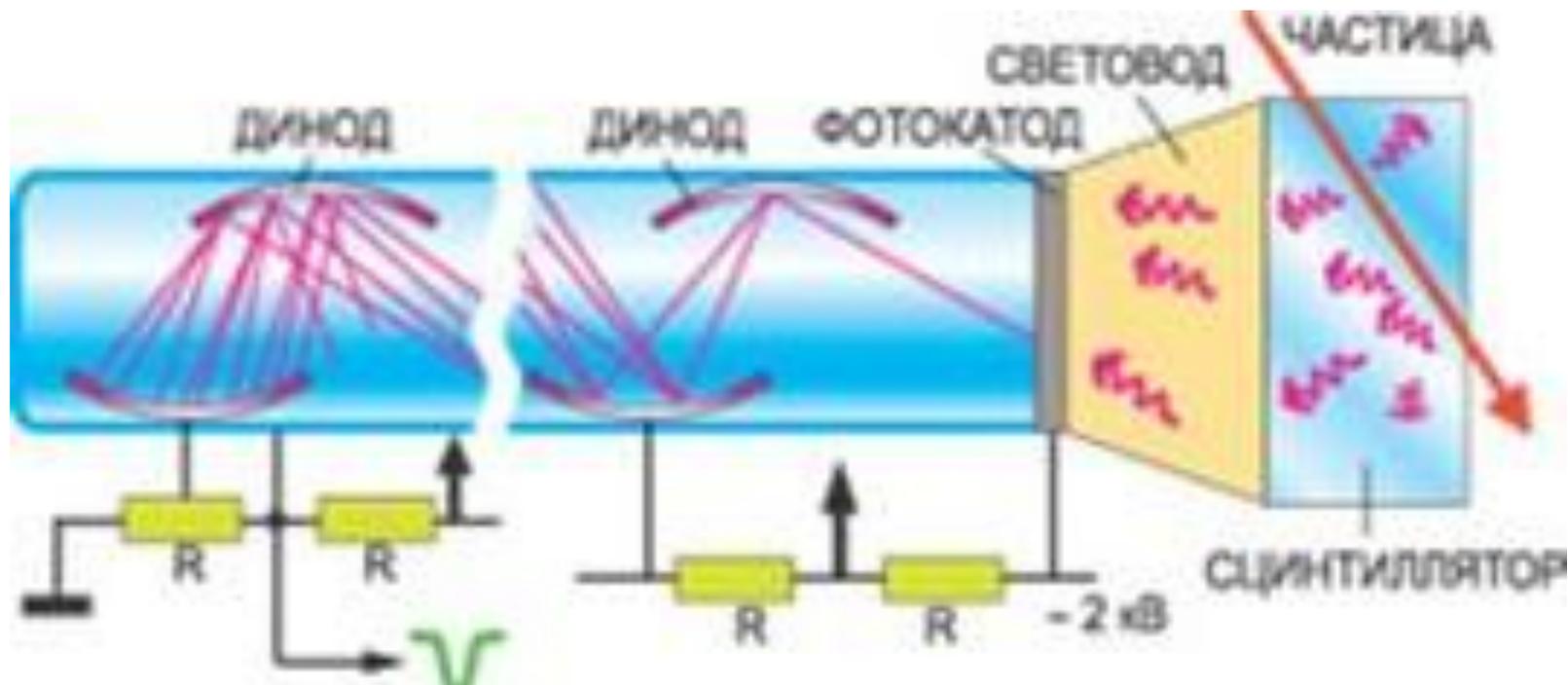


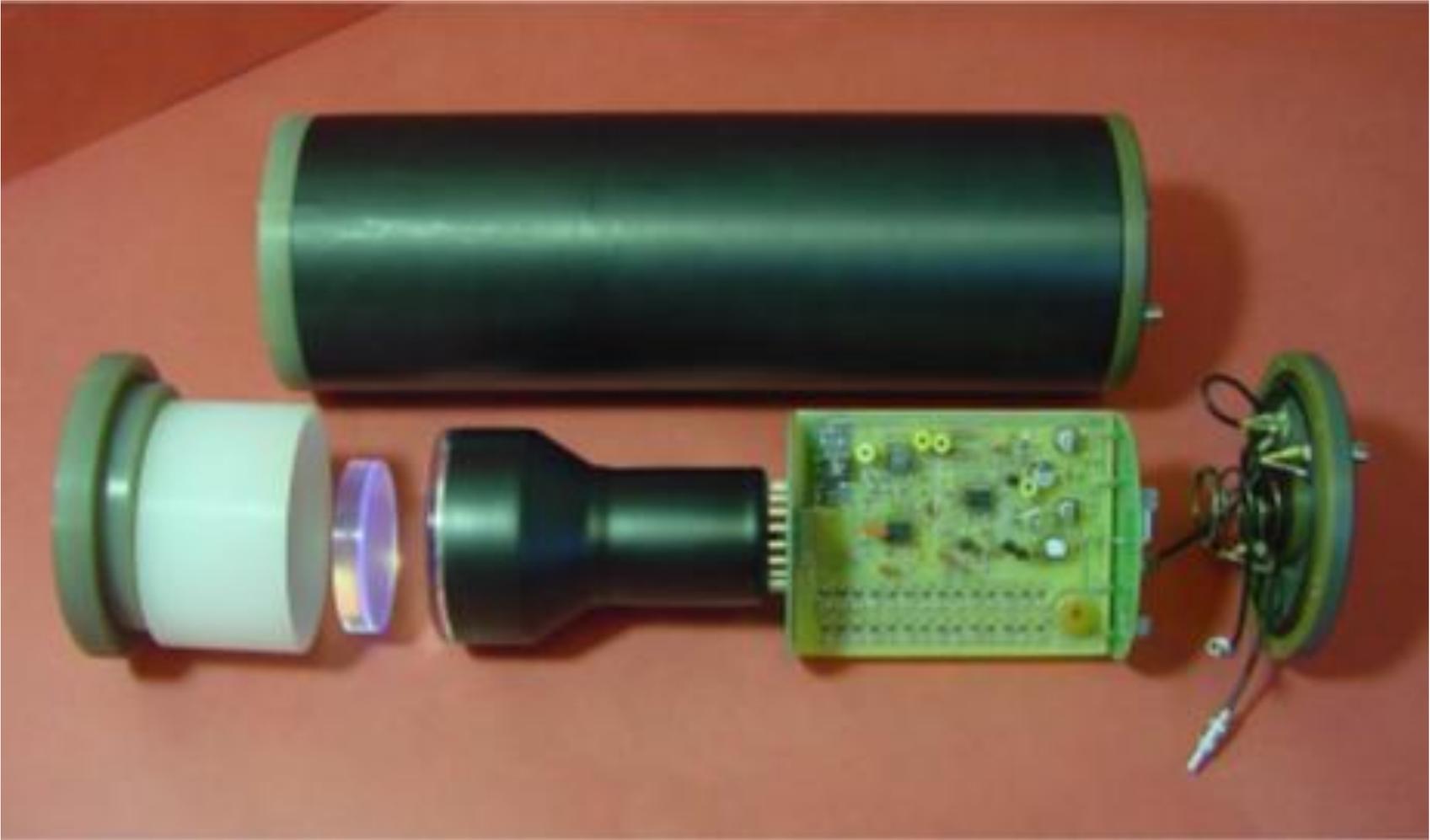


## 2. Сцинтилляционный.



**Регистрация свечения, вызываемого радиацией в веществе сцинтиллятора.**







### 3. Химический.

Под действием радиации протекают химические реакции в веществе детектора (напр., плёнке).



