

ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

0

Понятие дозы излучения. Виды доз и единицы измерения.

1

0

Понятие мощности дозы и единицы измерения.

2

0

Защита от ионизирующих излучений.

3

Доза излучения - мера воздействия излучения на вещество.

Развитие дозиметрии связано с необходимостью защиты человека от вредного от воздействия рентгеновского и γ -излучений природных радионуклидов, применяемых в медицине.

В дозиметрии используются следующие виды доз:

Экспозиционную дозу рентгеновского и γ -излучения в воздухе;

Поглощенную дозу для любых радиоактивных излучений;

Эквивалентную дозу и связанную с ней:

- **Эффективную**

- **Коллективную** дозы излучения.



Вильгельм Кóнрад Рентгéн
1845-1923

Открытие X-лучей, одним из свойств которых, являлась ионизация воздуха.

Ионизация среды под воздействием ионизирующих излучений явилась первым физическим эффектом, который был сопоставлен с биологическим эффектом излучения.

Экспозиционная доза

Используют в качестве характеристики воздействия фотонного излучения с энергией **0,005-3 МэВ** на среду

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Экспозиционная доза X фотонного излучения - это отношение суммарного заряда всех ионов одного знака dQ , образованных в сухом воздухе при полном торможении вторичных электронов и позитронов в элементарном объеме dV , к массе воздуха dm в этом объеме.

принята на 2-м Международном радиологическом конгрессе (1928 г.)

Единица экспозиционной дозы - **1 кулон на килограмм (Кл/кг)**.

Внесистемная единица экспозиционной дозы – **Рентген (Р)**.

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$$

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

1 Р – это доза фотонного излучения, при которой в **1 см³** сухого атмосферного воздуха при ионизации образуется при нормальных условиях заряд **q** , равный **$3,34 \cdot 10^{-10}$ Кл** каждого знака, что соответствует возникновению **$n = 2,08 \cdot 10^9$ пар ионов**.

Так как **1 см³** воздуха имеет массу **$1,29 \cdot 10^{-6}$ кг**,
то **$1 \text{ Р} = 3,34 \cdot 10^{-10} / 1,29 \cdot 10^{-6} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$** .

В соответствии с РД 50-454-84 использовать экспозиционную дозу и ее мощность после 01.01.1990 г. не рекомендуется

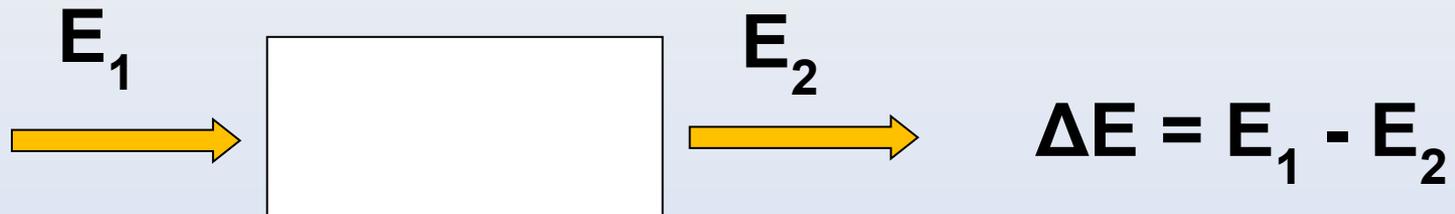
Поглощенная доза

$$D = \frac{dE}{dm}$$

где dE – поглощенная энергия излучения;

dm – масса облучаемого вещества.

Поглощенной дозой излучения (D) называется количество энергии любого вида ионизирующего излучения, поглощенное единицей массы любого вещества.



Позволяет дать количественную оценку действия различных видов излучения в различных средах.

Она не зависит от объема и массы облучаемого вещества и определяется главным образом ионизирующей способностью и энергией излучений, свойствами поглощающего вещества и продолжительностью облучения.

Поглощенная доза введена как основная дозиметрическая величина, которая является мерой энергии, переданной ионизирующим излучением веществу.

Единица поглощенной дозы – **Грей (Гр)**, это такая поглощенная доза когда веществу массой в 1 кг передается энергия в 1 Дж,

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

Названа по имени английского физика Л. Грея.

Внесистемная единица поглощенной дозы – **рад**
(rad - radiation adsorbed dose)

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад.}$$

Экспозиционной дозе **1 Р** соответствует поглощенная доза

$D = 0,87 \text{ рад}$ в воздухе или

$D = 0,96 \text{ рад}$ в биологических тканях.

Эквивалентная доза

Эквивалентная доза служит для характеристики биологического действия различных видов ионизирующих излучений.

Различие в величине радиационного воздействия можно учесть, приписав каждому виду излучений свой **взвешивающий коэффициент** W_R (коэффициент качества) излучения.

$$H = D \cdot W_R$$

Эквивалентная доза (H) – это поглощенная доза, умноженная на взвешивающий коэффициент W_R излучения, который отражает способность данного вида излучения повредить ткани организма.

Коэффициент W_R характеризует степень разрушительного действия на биологический объект и показывает **во сколько раз** данный вид излучения по биологической эффективности **больше, чем рентгеновское излучение** при одинаковой поглощенной дозе.

Взвешивающие коэффициенты W_R для разных видов излучений

Вид излучения и диапазон энергии	W_R
Рентгеновское и γ- излучение (фотоны)	1
β -Излучение (электроны и позитроны)	1
Нейтроны с энергией <10 кэВ	5
Нейтроны с энергией от 10 до 100 кэВ	10
α-Частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Единицей измерения **эквивалентной дозы** является **джоуль на килограмм**, и она имеет специальное наименование **Зиверт (Зв)**.

Единица эквивалентной дозы названа по имени шведского ученого Р. Зиверта первого председателя МКРЗ.

Внесистемная единица эквивалентной дозы – **бэр**.

бэр – **биологический эквивалент рада** - доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие, как и доза рентгеновских или гамма-лучей в 1рад.

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$$

В тканях с погрешностью в **5%** экспозиционную дозу в рентгенах - **Р** и поглощенную дозу в **радах** можно считать одинаковыми.

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр} \approx 100 \text{ рад} \approx 100 \text{ Р.}$$

$$1 \text{ мкЗв} \approx 100 \text{ мкР}$$



Rolf Maximilian Sievert

Эффективная

Органы и биологические **доза** ткани имеют разную радиочувствительность.

В первую очередь поражаются: красный костный мозг, толстый кишечник, легкие, желудок, молочная железа. Учет радиочувствительности производят с помощью взвешивающего коэффициента w для тканей и органов.

Эффективная доза – сумма эквивалентной дозы, умноженной на коэффициент w_T , учитывающий разную радиочувствительность различных тканей к облучению.

$$E = \sum_{i=1}^n W_{Ti} \cdot H_{Ti}$$

Взвешивающий коэффициент w_T (коэффициент радиационного риска) показывает отношение риска облучения данного органа или ткани к суммарному риску при равномерном облучении всего тела.

Взвешивающие коэффициенты w_T (коэфф. радиационного риска)

при равномерном облучении всего тела

Ткани или орган	w_T	Ткани или орган	w_T
1. Красный костный мозг	0,12	9. Пищевод	0,04
2. Толстый кишечник	0,12	10. Печень	0,04
3. Легкие	0,12	11. Щитовидная железа	0,04
4. Желудок	0,12	12. Костная поверхность	0,01
5. Молочная железа	0,12	13. Кожа	0,01
6. Остальные ткани*	0,12	14. Головной мозг	0,01
7. Гонады	0,08	15. Слюнные железы	0,01
8. Мочевой пузырь	0,04	ВСЕГО	1,0

* Ост. ткани: надпочечники, ткани экстрагепатобиллярного отдела, жёлчный пузырь, сердце, почки, лимфоузлы, мышечная ткань, слизистая полости рта, поджелудочная железа, тонкий кишечник, селезёнка, тимус, предстательная железа (мужчины), матка/шейка матки (женщины).

Коллективная

При воздействии излучения **доза** определенное количество людей (коллектив) необходимо определить ожидаемый эффект от их коллективного облучения. Для этой цели применяется **коллективная доза** (для N человек).

Коллективная эффективная доза S – мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения и равна сумме индивидуальных эффективных доз всех групп людей $N = \sum N_i$, в каждой из которых отдельный человек получил эффективную дозу E_i за данный промежуток времени

$$S = \sum_i N_i \cdot E_i$$

где N_i – количество людей в группе (коллективе);

Единицей измерения коллективной дозы в СИ является **человеко-зиверт (чел.-Зв)**.

Внесистемная единица – **человеко-бэр (чел.-бэр)**.

0 2 Понятие мощности дозы и единицы измерения.

Мощность дозы или уровень радиации может изменяться во времени. Доза излучения, отнесенная к единице времени называется **мощностью дозы или уровнем радиации.**

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

Отношение экспозиционной дозы ко времени есть мощность экспозиционной дозы (**МЭД**).

Единицей измерения МЭД является **кулон в секунду на килограмм – ампер на килограмм.**

$$1 \text{ Кл/кг} \cdot \text{с} = 1 \text{ А/кг}$$

На практике еще используется внесистемная единица экспозиционной дозы – **рентген в секунду (Р/с) и миллирентген в час (мР/ч).**

$$1 \text{ Р/ч} = 2,8 \times 10^{-4} \text{ Р/с};$$

$$1 \text{ мР/ч} = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ Р/с}.$$

$$1 \text{ Р/ч} = 7,2 \times 10^{-6} \text{ Кл/кг} \cdot \text{с}.$$

Допустимая **мощность экспозиционной дозы (МЭД) в Республике Беларусь – 20 мкР/ч.**

Отношение поглощенной дозы излучения ко времени есть мощность поглощенной дозы

Мощность поглощенной дозы есть количество энергии ионизирующих излучений, поглощаемое в единице массы (объема) за единицу времени, и выражает собой скорость накопления дозы.

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Единицей измерения мощности поглощенной дозы излучения является

Дж/кг·с или **Гр/с**
внесистемная единица - **рад в секунду (рад/с)**.

Измерение мощности доз позволяет определять время, в течение которого создаются дозы, не вызывающие опасного биологического эффекта в организме, или наоборот, вызывающие его поражение, а также позволяет определить границы пространства, в пределах которого создаваемые в течение некоторого времени дозы могут оказаться опасными

Защита от ионизирующих излучений.

По воздействию на человека все источники излучения можно разделить на две группы:

Закрытые источники – рентгеновские установки, ускорители, ядерные реакторы, закрытые радиоактивные препараты.

При их использовании (если радионуклиды не попадают в окружающую среду) персонал может подвергаться только **внешнему** облучению.

Человек подвергается облучению только во время нахождения в опасной зоне вблизи самих источников.

Открытые источники – радиоактивные вещества, распределенные в среде (в почве, воде, воздухе) или находящиеся на поверхности предметов, с которыми соприкасается человек.

Действие связано с **внешним облучением** и попаданием радиоактивных веществ внутрь организма (**внутреннее облучение**) и не может быть прекращено с выходом человека из опасной зоны.

Человек может подвергаться воздействию ИИ в течение того промежутка времени, пока

Защита поглощающими экранами и сооружениями.

Уменьшение интенсивности ионизирующих излучений происходит в результате взаимодействия с веществом.

Защитные свойства поглощающих экранов характеризуются краткостью ослабления $K_{осл}$, под которой понимается отношение мощности дозы падающих на экран излучений к мощности дозы излучений, прошедших через экран .

$$K_{осл} = \frac{X_0}{X}$$

Слой вещества, при прохождении которого число γ -квантов в направлении их первоначального распространения уменьшается в два раза по сравнению с числом упавших на это вещество квантов, **называется слоем половинного ослабления $d_{1/2}$.**

$$d_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu ,$$

где μ – линейный коэффициент ослабления материала.

Вода $d_{1/2} = 13$ см; Бетон $d_{1/2} = 5,6$ см; Дерево $d_{1/2} = 19$ см; Свинец $d_{1/2} = 1,3$ см.

Защита путем ограничения времени облучения.

Доза, воздействующая на организм, равна произведению мощности дозы на время t действия излучений:

$$D (H) = D (H) \cdot t$$

Чтобы облучение оставалось в пределах допустимой дозы $D_{\text{доп}}$, допустимое время $t_{\text{доп}}$ не должно превышать величины

$$t_{\text{доп}} = D_{\text{доп}} / D_t$$

Соблюдение этого условия позволяет надежно защитить организм от поражения.

Защита расстоянием.

Мощность дозы X , создаваемая точечным источником с активностью A на некотором расстоянии R от источника, обратно пропорциональна квадрату расстояния:

$$X = A/R^2$$

В соответствие с уравнением:

если увеличить расстояние R между источником и объектом облучения в **два раза**, воздействующая на него мощность дозы X уменьшится **в четыре раза**.

Во столько же раз уменьшится при том же времени облучения и получаемая объектом доза:

$$D = (X \cdot t)/R^2.$$

Применение индивидуальных средств защиты.

При работе с открытыми радиоактивными веществами, а также на местности, загрязненной радиоактивными веществами, применяются **индивидуальные средства защиты:**

- противогазы,
- респираторы,
- специальная одежда,
- защитные перчатки.

Кроме того, при работе с открытыми радиоактивными веществами используются вытяжные шкафы и закрытые камеры с защитными перчатками.

Эти средства применяются для того, чтобы предохранить организм от попадания в него

Защита применением химических средств.

Предупредить поражение организма ионизирующими излучениями можно с помощью некоторых химических веществ называемых **радиопротекторами**, отнесенные к двум классам химических соединений:

Аминотиолы

Индолилалкиламины

К ним относятся **цистамин, меркаптоэтилгуандин** и другие, сходные с ними, вещества.

Защитное действие этих веществ проявляется, если их ввести в организм, за от 5-15 до 30 мин до облучения.

Механизм действия защитных веществ объясняется тем, что они, вступая в реакцию с образовавшимися под действием излучений радикалами, предупреждают образование активных перекисей.

С помощью химических веществ действие ионизирующих излучений на организм **ослабляется примерно в два раза.**

ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ РЕГИСТРАЦИИ

0
1

Радиационный фон. Естественный радиационный фон и его источники.

0
2

Искусственные источники ионизирующих излучений.

0
3

Способы обнаружения и измерения радиоактивных излучений.

Радиационный фон Земли

состоит из

Естественного (природного) радиационного фона образуют ИИ от природных источников космического и земного происхождения

- космическое излучение и солнечная радиация
- излучение от радиоактивных изотопов, находящихся в земной коре и в окружающих нас объектах

Искусственного радиационного

фона Ядерная энергетика

- Медицинское обследование
- Последствия ядерных испытаний

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ

Естественный (природный) радиационный фон
2,42 мЗв/год

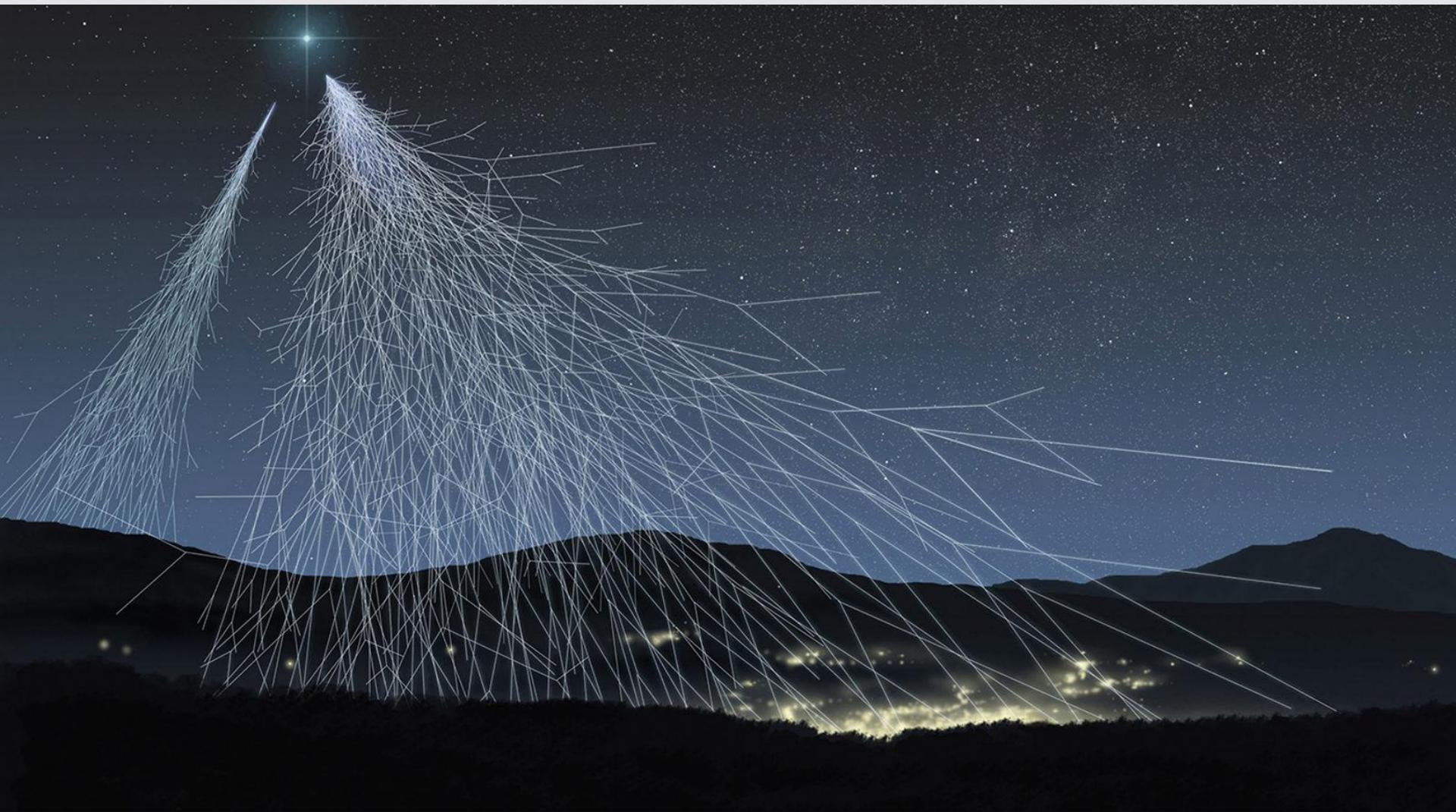
Природный радиационный фон

Космические
излучения
0,39 мЗв/год

Излучения земного
происхождения
2,03 мЗв/год
0,48 мЗв/год – внешнее
облучение;
1,55 мЗв/год -
внутреннее облучение

**Технологически измененный
естественный радиационный
фон**

- Тепловая энергетика
- Индустрия строительных материалов и т.д.



Космические излучения - 0,39 мЗв/год

Солнечные излучения

Галактические излучения

Первичное излучения

Вторичное излучения - 0,38 мЗв/год (внешнее облучение)

Космогенные радионуклиды - 0,01 мЗв/год (внутреннее облучение)

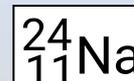
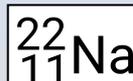
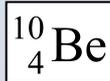
поток частиц, падающих в земную атмосферу и идущих из глубины космоса со скоростью света.

состоит из протонов 92 %, альфа-частиц 6 %, ядра легких элементов (Li, Be, B, C, N, O, F), электроны, нейтроны и фотоны - 2 %.

образуется в результате ядерных взаимодействий между первичным излучением с ядрами атомов, входящих в состав земной атмосферы.

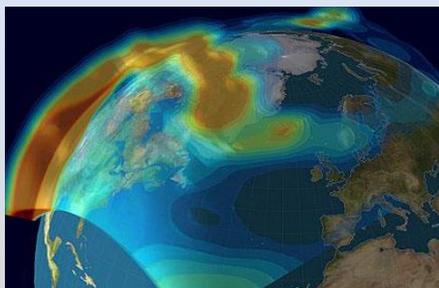
У поверхности Земли состоит в основном из фотонов, электронов, позитронов, других ядерных частиц, а также небольшой доли нейтронов.

образуются в результате взаимодействия первичного и вторичного излучений с ядрами элементов атмосферы.



и другие.

рождаются на Солнце во время солнечных вспышек



Облучению от естественных источников радиации подвергается любой житель Земли, однако одни из них получают большие дозы, чем другие.

Радиационный фон в

0,1 – 0,2 мкЗв/ч (пределах: **10 – 20 мкР/ч**) считается **нормальным**

0,2 – 0,6 мкЗв/ч (**20 – 60 мкР/ч**) считается **допустимым**

0,6 – 1,2 мкЗв/ч (**60 – 120 мкР/ч**) считается **повышенным**

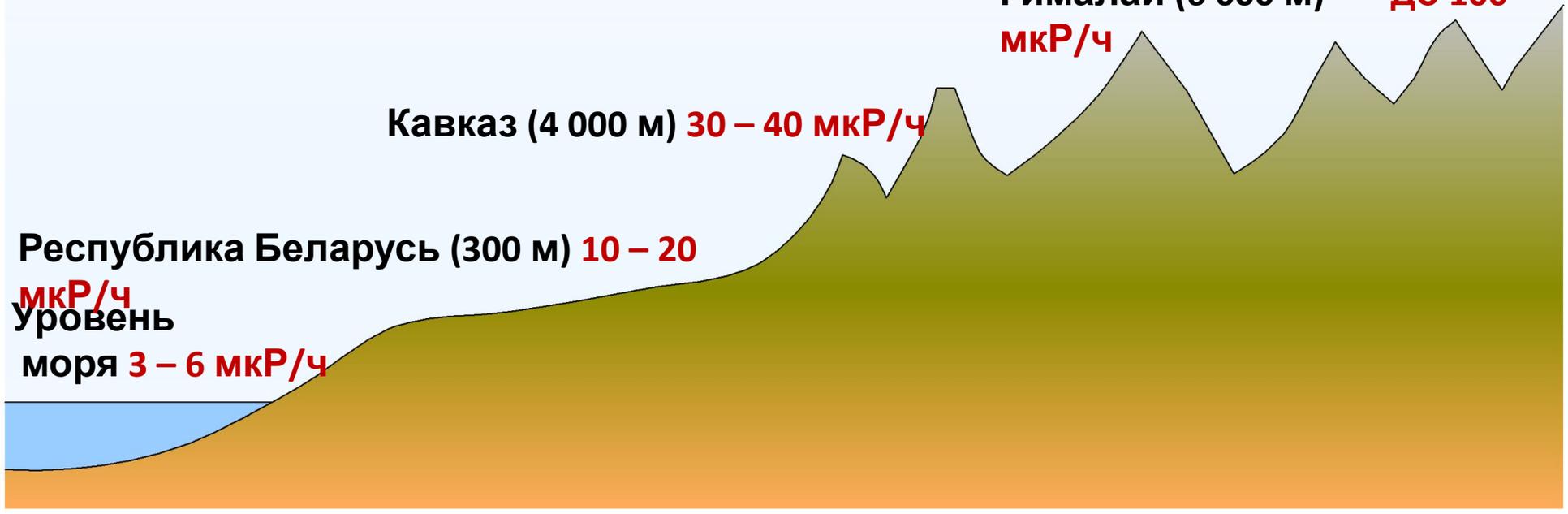
Самолет (12 000 м) **500 мкР/ч**



Гималаи (6 000 м) **до 100 мкР/ч**

Кавказ (4 000 м) **30 – 40 мкР/ч**

Республика Беларусь (300 м) **10 – 20 мкР/ч**
Уровень моря **3 – 6 мкР/ч**



Излучения земного происхождения
 происхождения
 2,03 мЗв/год
 0,48 мЗв/год – внешнее облучение;
 1,55 мЗв/год - внутреннее облучение

Первая группа естественных радионуклидов:
 радионуклиды уранорадиевого и ториевого семейств, которые берут свое начало от урана-238 и тория-232

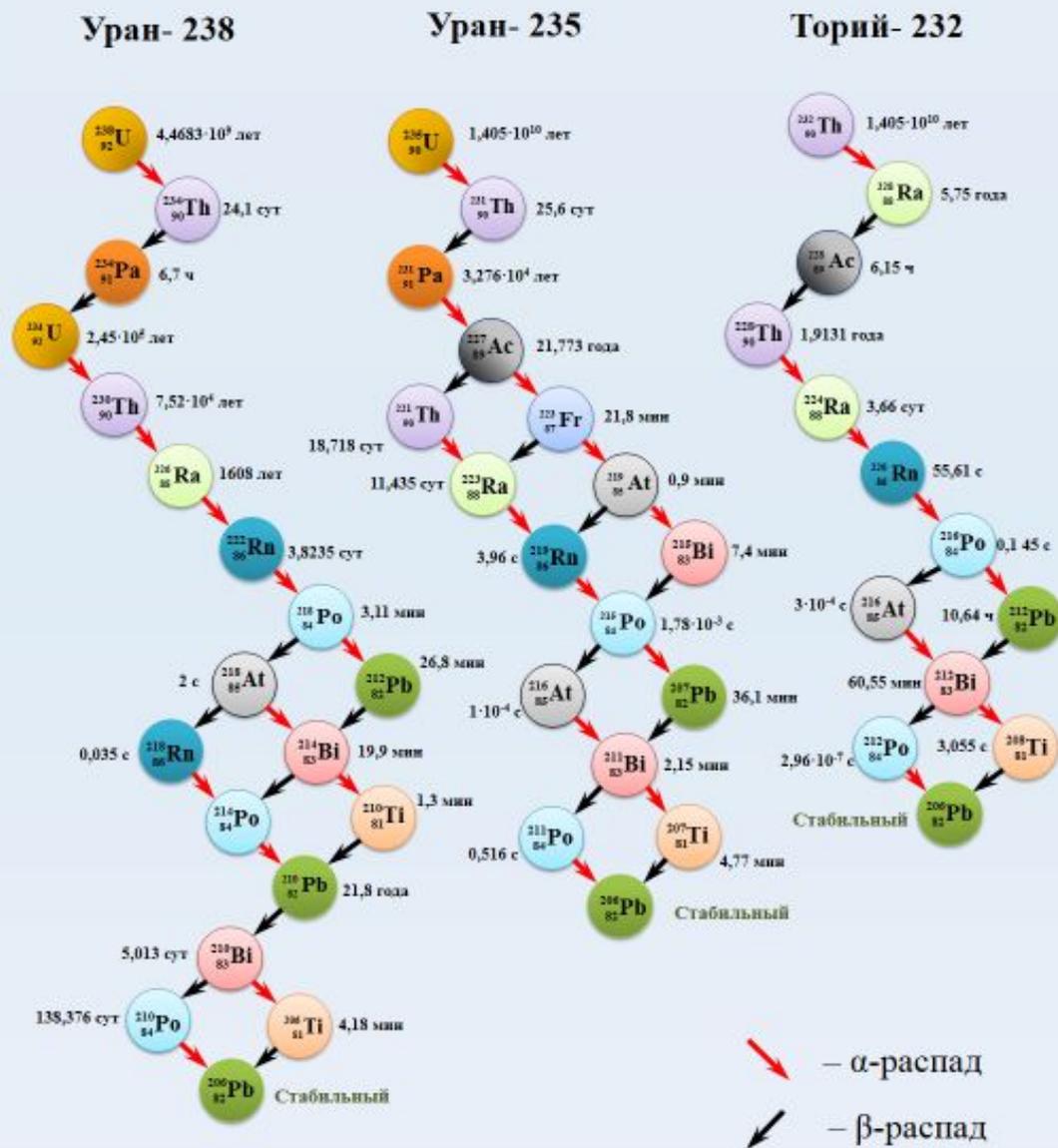
(всего 82 радионуклида)

1,58 мЗв/год

Вклад радона-222 и торона-220
 1,25 мЗв/год



РАДИОАКТИВНЫЕ СЕМЕЙСТВА



Вторая группа естественных радионуклидов

11 долгоживущих радионуклидов

калий-40

кальций-48

рубидий-87

цирконий-96

6

индий-115

лантан-138

церий-142

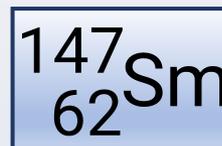
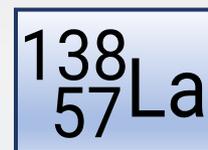
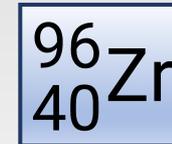
неодим-144

самарий-147

лютеций-175

8

рений-187



0,45
мЗв/год

Калий-40 - период полураспада равен $1,4 \cdot 10^9$ лет.

Внешнее / Внутреннее облучение **0,12 / 0,18**

(мЗв/год)

В природном калии содержится 0,01% радиоактивного калия-40 и это соотношение постоянно везде, где бы калий не встречался.

Смесь изотопов калия входит в состав мышечной ткани, и в среднем в организме человека весом 70 кг содержится калия-40 активности до 4200 Бк

Rn – (радон) собой инертный одноатомный газ не имеющий вкуса и запаха, в 7,5 раза тяжелее воздуха.

Имеется три изотопа (**α**-излучатели):

^{219}Rn (актинон) – производное ^{235}U ;

^{220}Rn (торон) – производное ^{232}Th ;

^{222}Rn (радон) – производное ^{238}U .

Наибольшую значимость имеют изотопы ^{220}Rn и ^{222}Rn .

Образование их зависит от концентрации в материалах ^{228}Ra и ^{226}Ra . Их много в горных породах, особенно в гранитах.

В жилой дом радон поступает:

- из грунта, через фундамент и подвальные помещения – **70 %**
- за счет воздухообмена с атмосферным воздухом – **13 %**
- за счет (выделения) из строительных материалов из которых построено здание – **7 %**
- с водопроводной водой – **5-10 %**
- бытовым газом – **4 %**
- от др. источников – **2 %**



Характерная особенность изотопов Rn – способность создавать на соприкасающихся с ними телах радиоактивный осадок, состоящий из дочерних продуктов радиоактивного распада радона – короткоживущих и долгоживущих изотопов полония, свинца, висмута.

Образующиеся в результате распада радона в воздухе его **дочерние продукты распада (ДПР)** тут же прикрепляются к микроскопическим пылинкам-аэрозолям.

Поверхность легких у человека составляет несколько десятков квадратных метров. ДПР радона «обстреливают» альфа и бета-частицами поверхность легких и обуславливают свыше 97% дозы.

Основной медико-биологический эффект облучения от радона и его ДПР – **рак легких.**

В соответствии с **НРБ-2000** и **ОСП-2002** эквивалентная равновесная объемная активность радона (ЭРОА)

- не более **100 Бк/м³** - для вводимых в эксплуатацию,

- не более **200 Бк/м³** - для эксплуатируемых зданий и сооружений жилого

и общественного назначения.

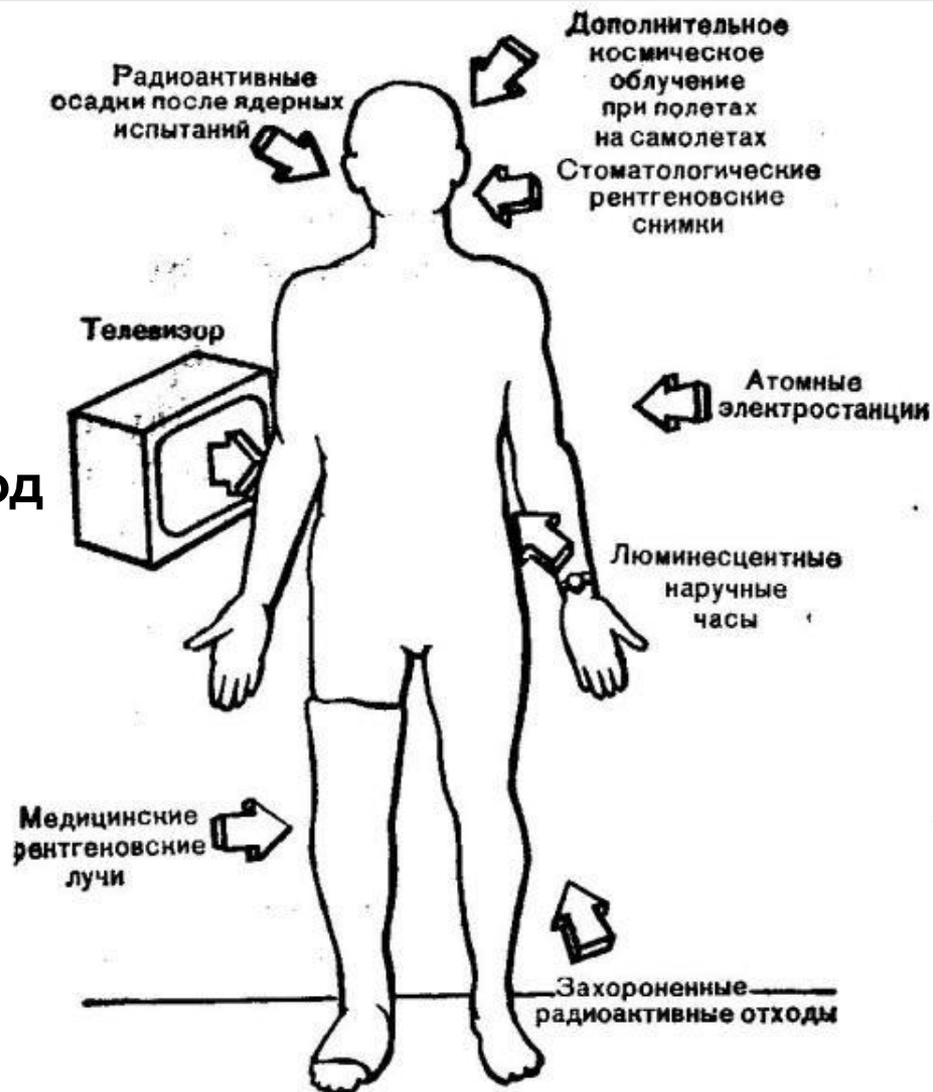


Концентрация радона **вне помещений** варьируется в довольно широких пределах

0
2

Искусственные источники ионизирующих излучений.

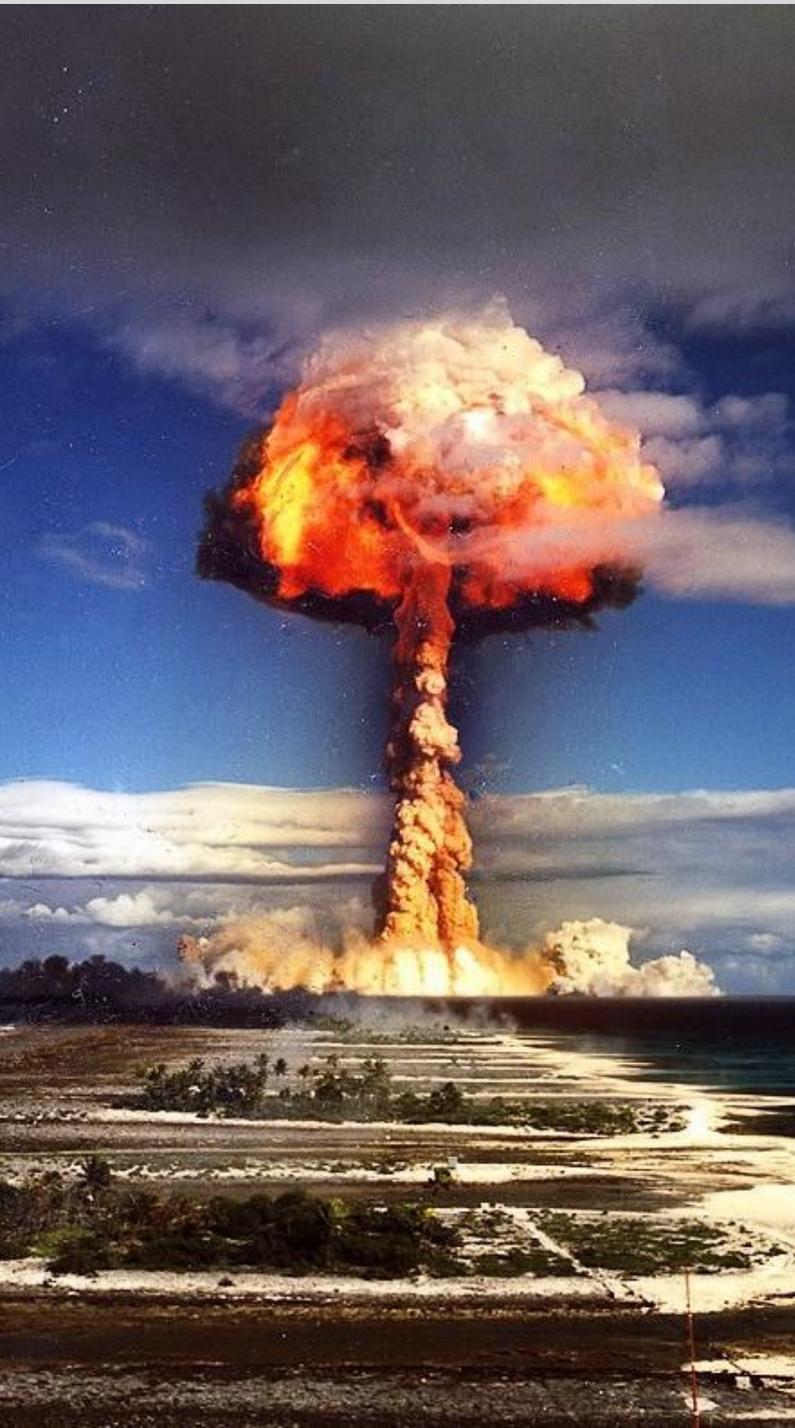
Искусственный радиационный фон - 0,421 мЗв/год



Медицинские процедуры - 0,4 мЗв/год

Радиоактивные осадки
(испытания ядерного оружия) 0,02
мЗв/год

Атомная энергетика - 0,001 мЗв/год



Испытания ядерного оружия США, СССР, Англией, Францией и Китаем - **основным источником техногенного повышения радиационного фона** земли.

Всего взорвано свыше **2000** ядерных зарядов различной мощности, в том числе свыше **500** в атмосфере. Это привело к выбросу в атмосферу изотопов цезия-137 и стронция-90, активности которых оценены в 26 и 20 МКи соответственно.

По данным Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) эквивалентная доза, полученная жителями

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ

Радиационный фон земли (суммарная доза – 2,841 мЗв/год)

Естественный (природный) радиационный фон

- 2,42 мЗв/год

Природный радиационный фон

Космические излучения

- 0,39 мЗв/год

Солнечные излучения

Галактические излучения

Первичное излучения

Вторичное излучения
- 0,38 мЗв/год
(внешнее)

Космогенные радионуклиды
- 0,01 мЗв/год
(внутреннее облучение)

Излучения земного происхождения

- 2,03 мЗв/год

(0,48 мЗв/год – внешнее облучение;

Первая группа радионуклидов
(32 радионуклида уранорадиевого и ториевого семейств)

- 1,58 мЗв/год

Вклад

Вторая группа радионуклидов
(11 долгоживущих радионуклида, не входящих в семейства)

- 0,45 мЗв/год

Вклад Калий-40 – 0,3 мЗв/год

Искусственный радиационный фон

- 0,421 мЗв/год

Медицинские процедуры
- 0,4 мЗв/год

Радиоактивные осадки (испытания ядерного оружия)
- 0,02 мЗв/год

Атомная энергетика
- 0,001 мЗв/год

Ионизирующие излучения обнаруживают по тем эффектам, которые проявляются при их взаимодействии с веществом.

Различают следующие методы обнаружения излучений:

- сцинтилляционный;**
- химический;**
- фотографический;**
- метод, основанный на проводимости кристаллов;**
- тепловой или калориметрический;**
- ионизационный и др.**

Сцинтилляционный метод

Сцинтилляции – это кратковременные световые вспышки, возникающие при воздействии ионизирующих излучений на некоторые вещества, называемые люминофорами (сцинтилляторами).

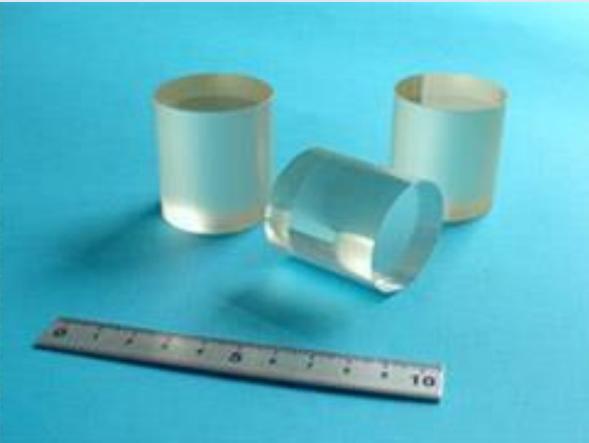
В основе сцинтилляционного метода обнаружения излучений лежит явление **люминесценции**: свечение вещества, вызванное возбуждением атомов и молекул, когда входящие в их состав электроны переходят на более высокие энергетические уровни и спустя некоторое время возвращаются в основное состояние.

К сцинтилляторам (люминофорам) относятся:

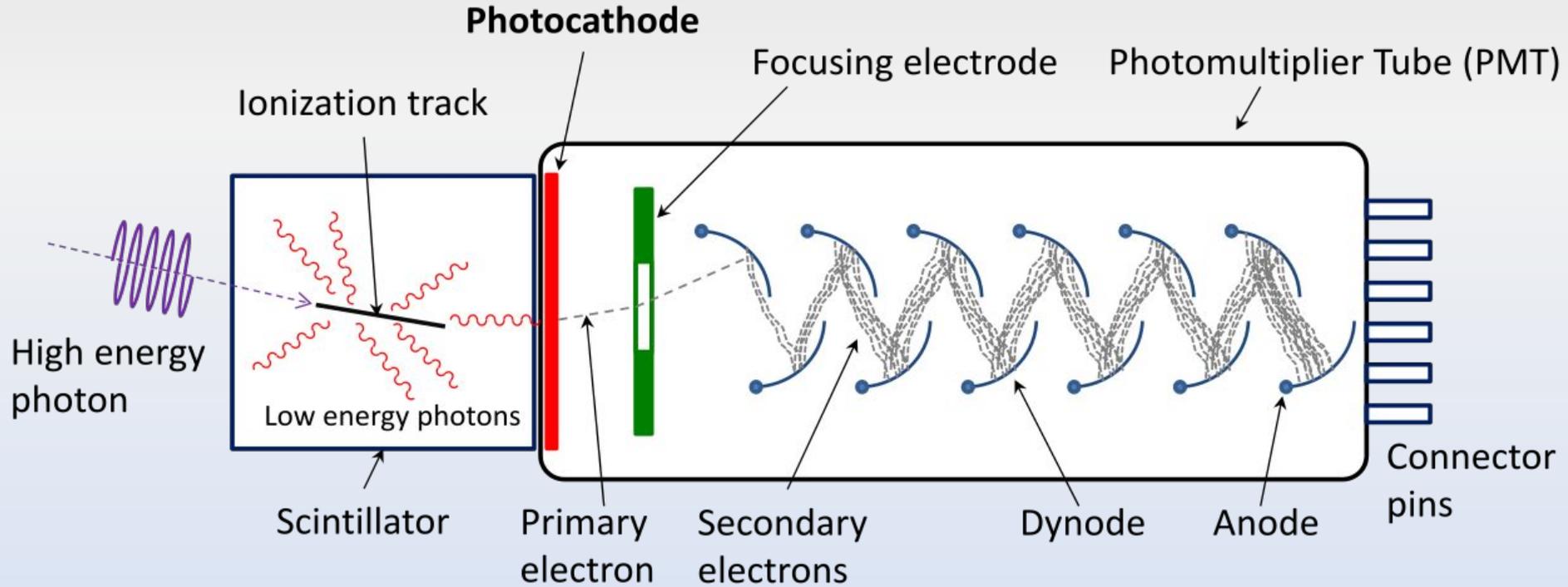
Неорганические монокристаллы кристаллы ZnS, активированные Ag или Cu - для обнаружения α - излучений. Для регистрации β - и γ -излучений применяют монокристаллы NaI, KI, CsI, LiI, активированные таллием (Tl). Реже применяются вольфраматы щелочно-земельных элементов CaWO_4 , CdWO_4 и соли BaF_2 , CaF_2

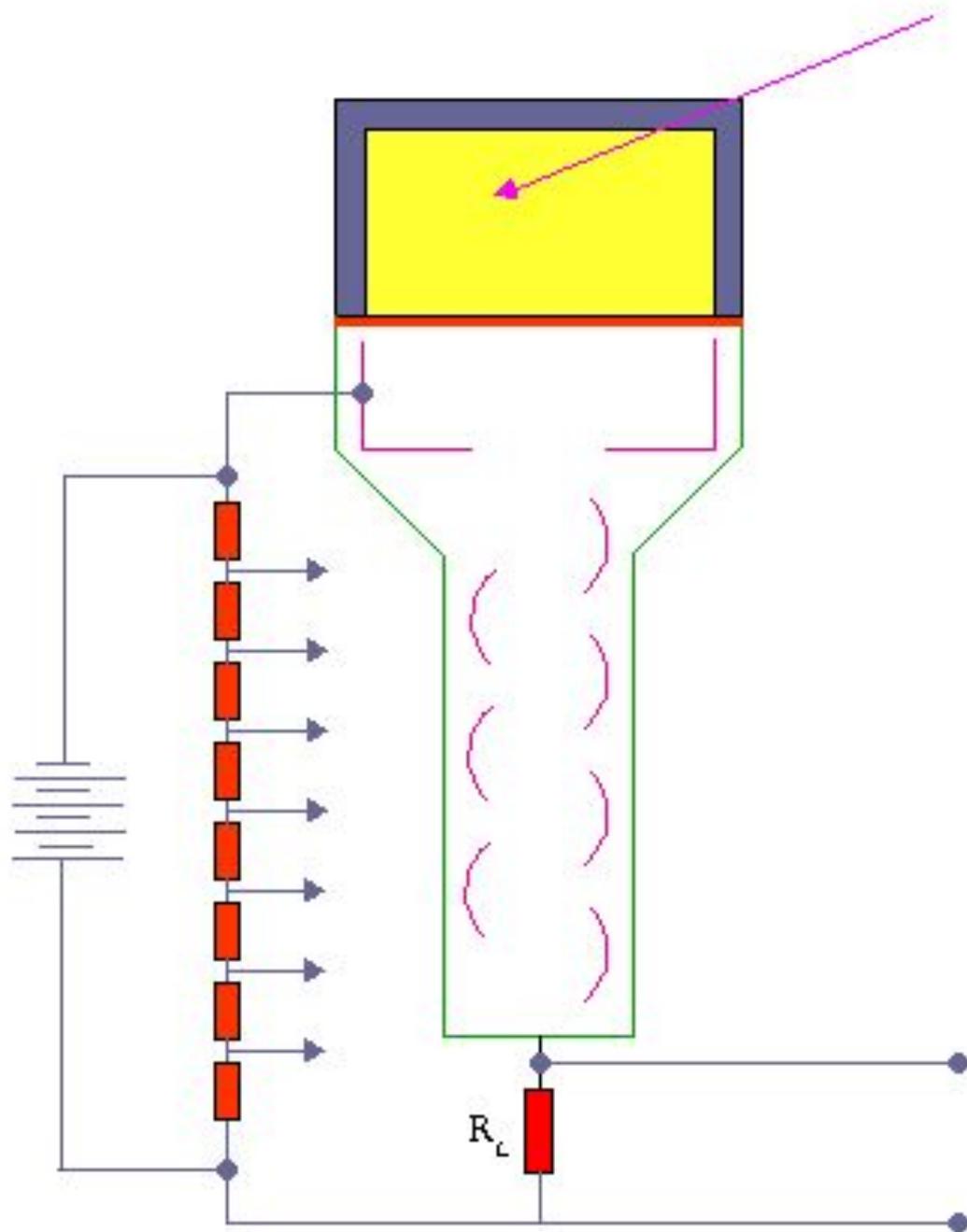
Органические сцинтилляторы – это монокристаллы органических углеводородов – антрацен ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}$), стильбен ($\text{C}_{14}\text{H}_{12}$), нафталин (C_{10}H_8), пластмассы (твердые растворы сцинтилляторов на основе полистирола и поливинилтолуола).

3) В качестве сцинтилляторов применяются и **инертные газы** – гелий, аргон, неон и др.



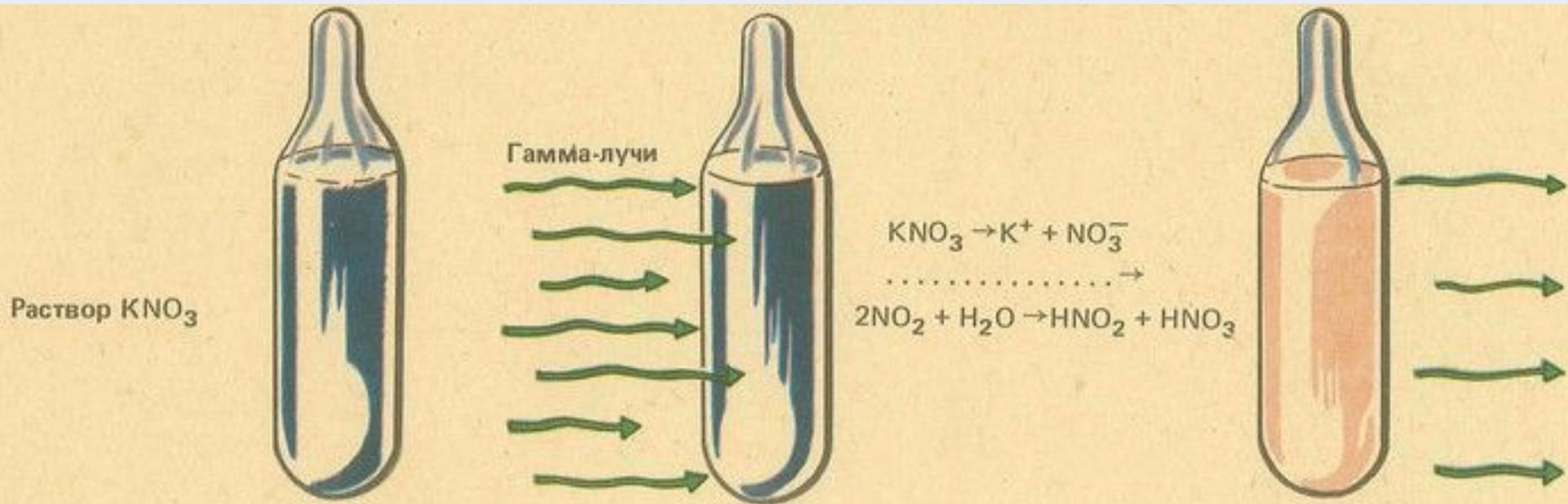
СЦИНТИЛЯЦИОННЫЙ СЧЕТЧИК





Химический метод

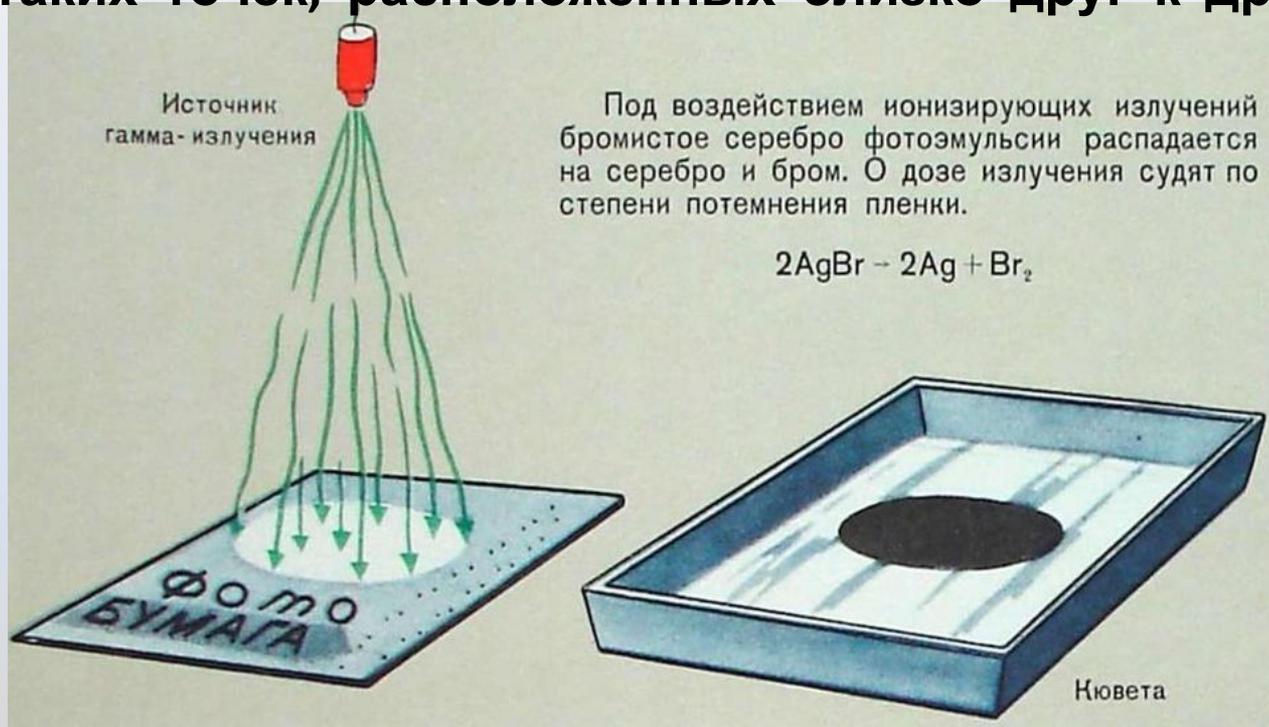
Основан на том явлении, что возникающие при воздействии излучений ионы и возбужденные атомы и молекулы вещества могут диссоциировать, образуя свободные радикалы. Эти ионы и радикалы вступают в реакцию между собой или другими атомами и молекулами, образуя новые вещества, появление и количество которых позволяет судить о наличии и количественной характеристике ионизирующих излучений.



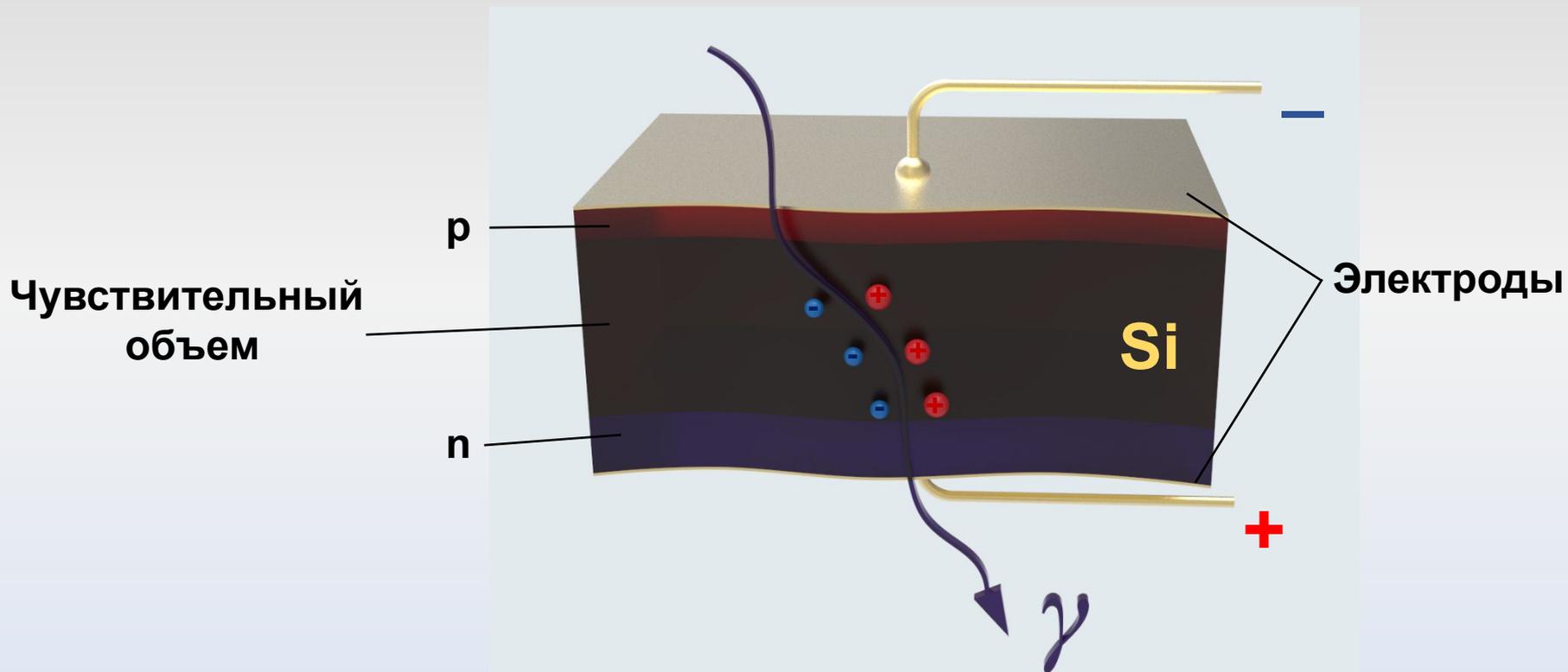
Фотографический метод

Фоточувствительный слой- мелкие кристаллы галогенидов серебра, распределенные в желатине, нанесенные на прозрачную подложку.

Под воздействием ионизирующих излучений зерна превращаются в центры скрытого почернения. Последующий процесс проявления, заключающийся в воздействии на эти центры химическими реактивами, приводит к восстановлению серебра, которое выпадает в виде длинных тонких нитей, свернутых в комок и хорошо поглощающих свет. Место, где произошло образование металлического серебра, воспринимается как черная точка, а совокупность таких точек, расположенных близко друг к другу, как черное пятно.



Полупроводниковый метод (основанный на проводимости кристаллов)



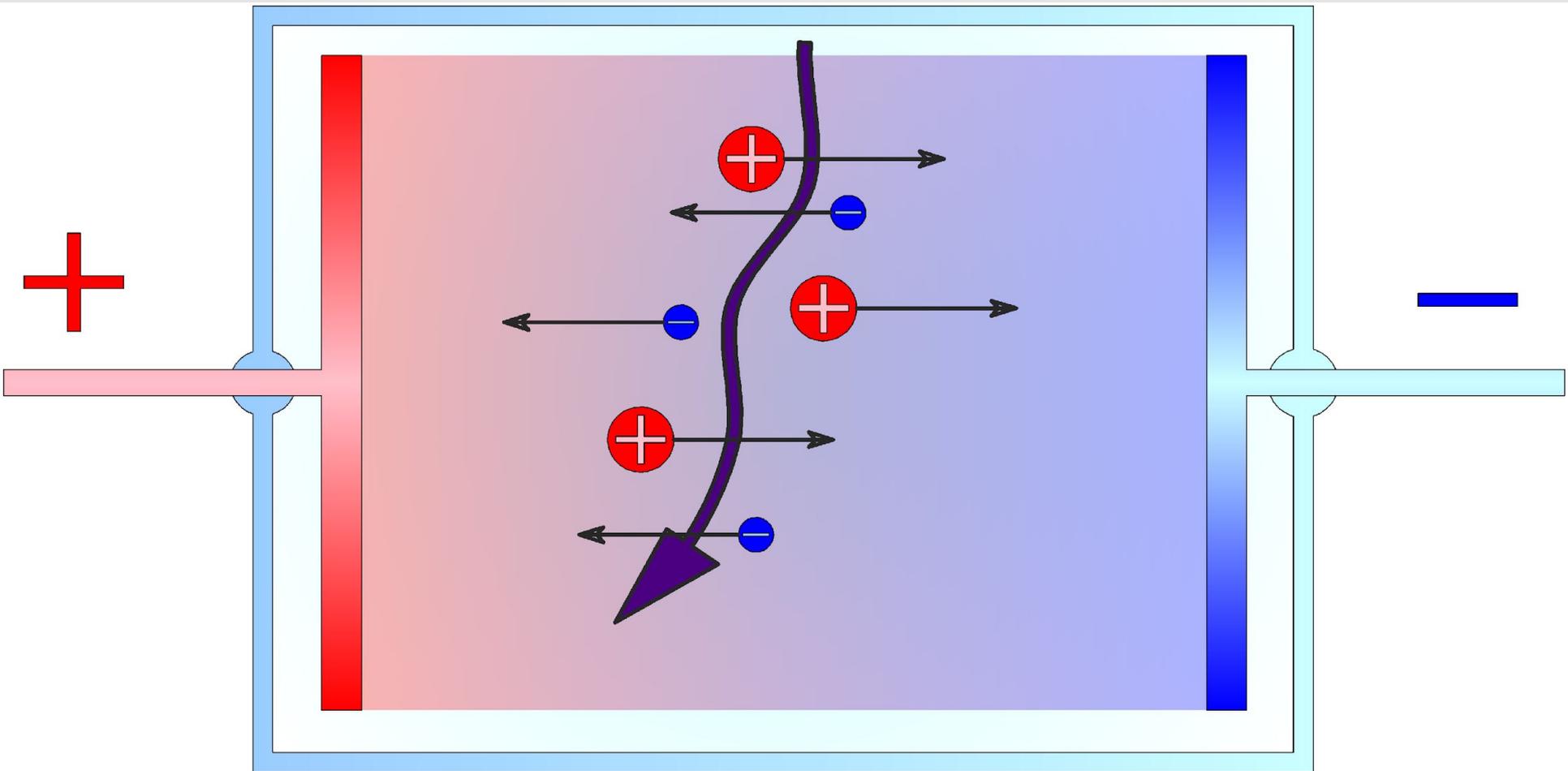
При поглощении ионизирующих частиц или квантов из атома кристалла выбиваются валентные электроны с большей энергией. Эти электроны, проходя через кристалл, затрачивают энергию на отрыв от атомов большого числа других вторичных электронов. Таким образом, в кристалле возникают свободные электроны, которые при наличии электрического поля могут образовать ток в кристалле полупроводника.

Калориметрический (тепловой) метод

Энергия ионизирующих излучений, поглощенная в веществе, в конечном итоге превращается в тепло. Этот тепловой эффект используется в калориметрах для измерения активности вещества или мощности дозы. Для регистрации нейтронных потоков используются термоэлементы, стан которых покрыт бором. При калориметрических измерениях объекты, подвергающиеся облучению, должны находиться в термостатах. С помощью термопар и гальванометра определяется изменение температуры этих объектов под воздействием ионизирующих излучений и соответствующее этому изменению температуры количество поглощенного тепла, которое и позволяет производить измерения в общеэнергетических единицах и т.п. Этот метод характеризуется высокой точностью.

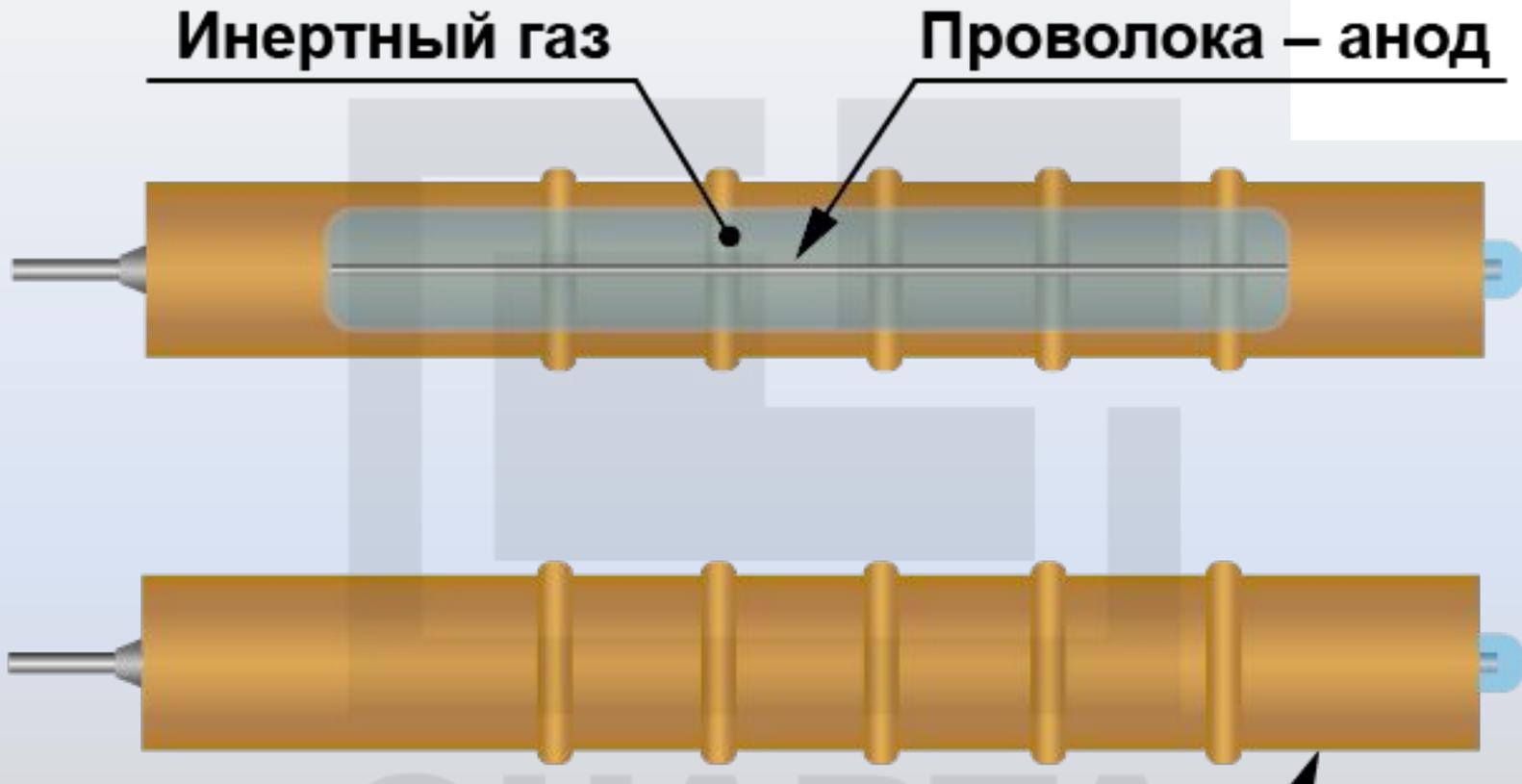
Ионизационный метод

При ионизационном методе обнаружения и измерения различных характеристик ионизирующих излучений в качестве рабочей среды используются **газы**, в которых образующиеся ионы обладают большой подвижностью. Воздействуя на газовую среду электрическим полем, ионы создаваемые излучением приходят в направленное движение. Возникающий при этом **электрический ток** является не только указанием на то, что газовая среда облучается, но и позволяет также судить об активности источников ионизирующих излучений, о создаваемой ими дозе и мощности дозы излучений.



Газоразрядный счетчик

Газоразрядный счетчик представляет собой устройство, состоящее из замкнутого резервуара из двух электродов, между которыми находится газовая среда, где и создается электрическое поле.





Бета-5



Бета-1



СБТ-10



Бета-2



СИ8Б



СБТ11