



**ВОЛГОГРАДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**КАФЕДРА
ПАТОФИЗИОЛОГИИ,
КЛИНИЧЕСКОЙ
ПАТОФИЗИОЛОГИИ**



МЕТОДЫ ДОЗИМЕТРИИ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ

**Лекция по дисциплине «Общая и медицинская
радиобиология»
для студентов, обучающихся по
специальности
«Медицинская биохимия»**

Лектор:
доцент кафедры патофизиологии, клинической
патофизиологии, к.м.н. Е.А. Музыко



Цель лекции:

сформировать представление об основных методах дозиметрии радиационных поражений.



Вопросы лекции:

1. Дозы ионизирующих излучений и единицы их измерения. Принципы дозиметрии.
2. Количественные методы диагностики радиационных поражений.



**1. ДОЗЫ
ИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ И ЕДИНИЦЫ
ИХ ИЗМЕРЕНИЯ.
ПРИНЦИПЫ
ДОЗИМЕТРИИ.**



Для количественной характеристики уровня воздействия ионизирующего излучения используют физические величины:

- 1) доза,**
- 2) мощность дозы,**
- 3) активность.**

1.1. ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА ИЗЛУЧЕНИЯ



Исторически первым критерием, примененным для измерения ионизирующих излучений, стал суммарный заряд частиц с электрическим зарядом одного знака, образовавшихся в единичном объеме воздуха вследствие его ионизации излучением. Именно таков физический смысл **экспозиционной дозы** X , определяемой по формуле:

$$X = dQ/dm$$

В Международной системе единиц (СИ) единицей экспозиционной дозы является **кулон на килограмм (Кл/кг)**. Более часто применяется внесистемная единица экспозиционной дозы — **рентген (Р)**.

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р и наоборот; } 1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

Экспозиционная доза определяет дозовые характеристики поля излучения, не зависящие от свойств облучаемого вещества. Поэтому, в частности, удобно использовать ее в практических измерениях. Шкалы дозиметров фотонного излучения проградуированы в единицах экспозиционной дозы. Вместе с тем, невозможность применения экспозиционной дозы для характеристики смешанных излучений, ограничение по энергии гамма-квантов $E \geq 3 \text{ МэВ}$ и некоторые другие соображения привели к тому, что **использование этой величины не рекомендуется с 1.01.1990г.**





1.2. ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА

Поглощенная доза или доза излучения (D) применяется для определения количества энергии ионизирующего излучения, поглощенного облучаемым веществом. **Физический смысл**— количество средней энергии dE , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = dE/dm,$$
$$dm \rightarrow 0$$



Под переданной энергией в определении поглощенной дозы понимается:

$$E = E_{\text{ВХ}} - E_{\text{ВЫХ}} + \sum Q1 - \sum Q2$$

где $E_{\text{ВХ}}$ – суммарная кинетическая энергия всех непосредственно и косвенно ионизирующих частиц, входящих в данный объем, $E_{\text{ВЫХ}}$ – кинетическая энергия частиц, которые покидают указанный объем.

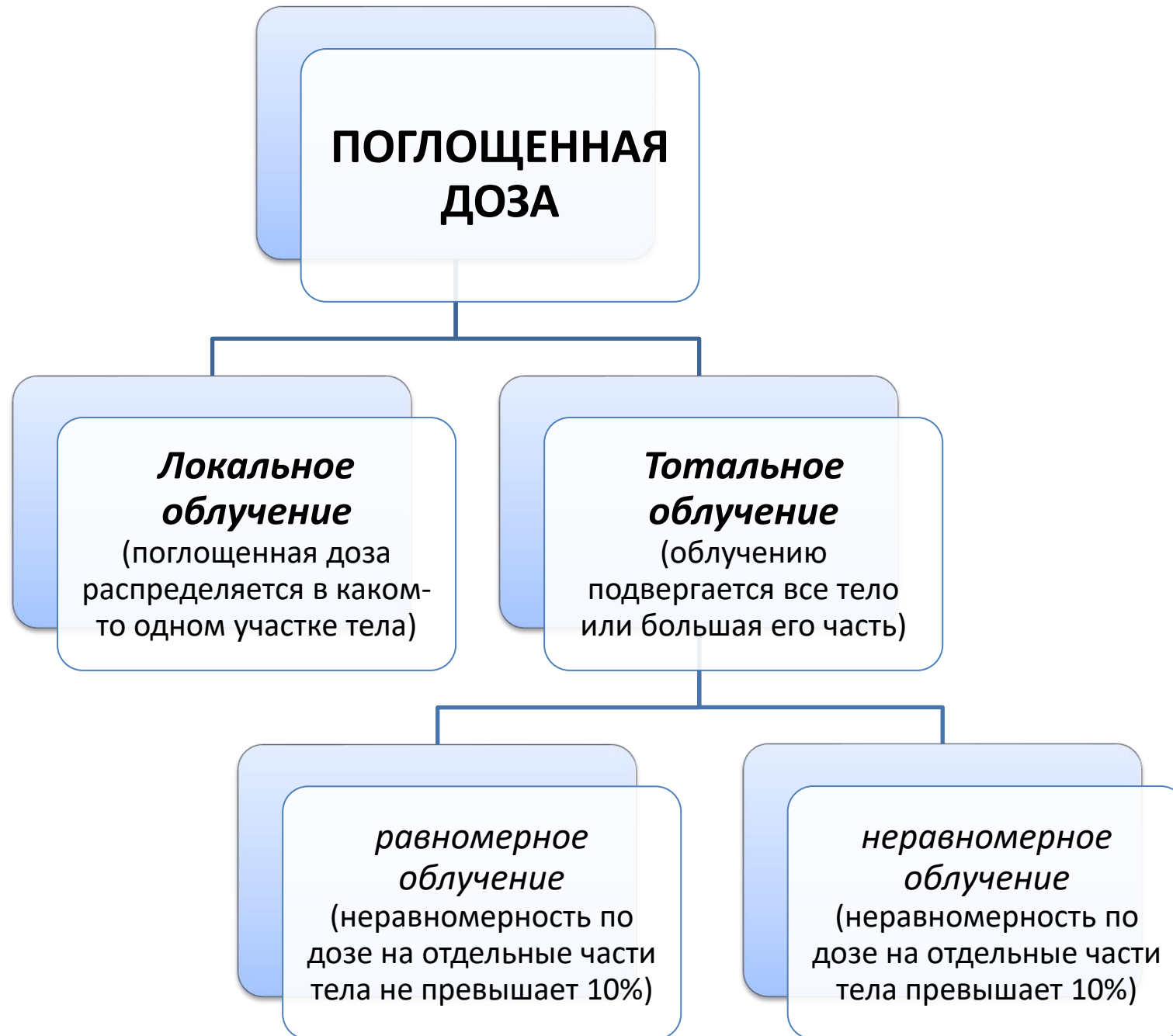
Внутри данного объема возможны ядерные реакции и превращения элементарных частиц. В этих случаях возможны как выделение, так и затраты энергии. Суммарная выделившаяся при этом энергия обозначена $\sum Q1$, а суммарная затраченная энергия $\sum Q2$.



В системе СИ поглощенную дозу выражают в джоулях на килограмм или греях (Гр):

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

Часто применяют внесистемную единицу поглощенной дозы — *рад*, являющуюся аббревиатурой слов «*radiation absorbed dose*». Рад численно равен сантигрею ($1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$).





1.3. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА

Для сравнительной оценки биологического действия различных видов ионизирующих излучений введено понятие **эквивалентной дозы H** .

Она определяется как поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения;

$$H=DQ,$$

где **D** — поглощенная доза в данной точке ткани;

Q — средний коэффициент качества излучения, который устанавливается для каждого вида излучения в зависимости от его ЛПЭ.

Значения взвешивающего коэффициента Q для некоторых видов излучения



Вид излучения	Q
Фотоны, электроны, мюоны любых энергий	1
Протоны с энергией более 2 МэВ	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ или более 20 МэВ	5
Нейтроны с энергией от 10 кэВ до 100 кэВ	10
Нейтроны с энергией от 100 кэВ до 2 МэВ	20
Нейтроны с энергией от 2 МэВ до 20 МэВ	10



В системе СИ единицей эквивалентной дозы служит *зиверт (Зв)*, а внесистемной единицей является *бэр* (аббревиатура слов «биологический эквивалент рентгена»):

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$$

**Для рентгеновского, гамма- и бета-излучений
1 Зв соответствует поглощенной дозе в 1 Гр.**



1.4. ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА

Эффективная доза E — это величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности ($Зв$).

Для оценки опасности ионизирующих излучений для группы людей или для популяции в целом следует пользоваться понятием **коллективная эффективная доза**. Она рассчитывается как сумма индивидуальных эффективных доз, полученных группой людей, и измеряется в **человеко-зивертах (чел.-Зв)**.

Коллективная эффективная доза - это мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения, равная сумме индивидуальных эффективных доз.



2. МОЩНОСТЬ ДОЗЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Для характеристики интенсивности воздействия ионизирующих излучений используют величину **мощности дозы излучения**. Мощность дозы понимают как дозу (экспозиционную, поглощенную или эквивалентную), регистрируемую за единицу времени.

Мощность экспозиционной дозы.

Единицей в системе СИ является *кулон, деленный на килограмм в секунду* ($\text{Кл}/(\text{кг} \cdot \text{с})$), то есть *ампер на килограмм* ($\text{А}/\text{кг}$). Внесистемная единица мощности экспозиционной дозы - *рентген в час* ($\text{Р}/\text{ч}$) и ее производными ($\text{мР}/\text{ч}$, $\text{мкР}/\text{ч}$).



Единицами **мощности поглощенной дозы** служат *грей в секунду (Гр/с), рад в секунду (рад/с)* и их производные.

При хронических воздействиях недифференцированных потоков ионизирующих излучений используют внесистемные единицы **мощности эквивалентной дозы:** *зиверт в год и бэр в год.*



ОБЛУЧЕНИЕ

Кратковременное

импульсное воздействие у-нейтронного излучения ядерного взрыва, а также облучение мощностью дозы свыше 0,02 Гр/мин.

Пролонгированное

промежуточное положение между кратковременным и хроническим

Хроническое

непрерывное радиационное воздействие в течение нескольких месяцев или лет

3. АКТИВНОСТЬ



Источниками ионизирующего излучения чаще всего являются радиоактивные вещества.

Активность радиоактивного источника ионизирующего излучения — это:

- 1) характеристика интенсивности радиоактивного излучения, определяемая отношением общего числа распадов ядер радионуклида в источнике ко времени;
- 2) мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени:

$$A = dN/dt$$

где: dN — ожидаемое число спонтанных ядерных превращений из данного энергетического состояния, происходящих за промежуток времени dt .



Единицей активности в системе СИ является *беккерель (Бк)*. **Один беккерель равен одному распаду в секунду.**

Ранее использовалась и до сих пор нередко применяется внесистемная единица активности — *кюри*. Кюри — активность 1 г чистого радия (Ra-226). Условно считается что 1 Ки точно равняется $3,7 \cdot 10^{10}$ самопроизвольным ядерным превращениям в радиоактивном источнике за 1 секунду.

Таким образом, $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.



Отношение активности радионуклида в радиоактивном источнике (образце) к массе, объему (для объемных источников), площади поверхности (для поверхностных источников) или длине (для линейных источников) источника (образца) называется **удельной $A_m(t)$, объемной $A_V(t)$, поверхностной $A_S(t)$ или линейной $A_L(t)$ активностью радионуклида** соответственно.



Распад ядер сопровождается испусканием частиц и (или) фотонов, при этом **число ядерных превращений далеко не всегда совпадает с числом испускаемых частиц** и, еще реже — с числом испускаемых фотонов. Связать активность радионуклида с числом испускаемых корпускулярных частиц или фотонов можно, зная схему распада нуклида.

Пример. У нуклида $^{30}\text{Zn}_{65}$ β^+ -частицы испускаются лишь в 1,4% случаев распада, а фотоны — в 50,6% случаев распада. Следовательно, этот радионуклид активностью 1 ГБк будет испускать $1,4 \cdot 10^7$ β^+ -частиц и $5,06 \cdot 10^8$ фотонов в 1 с.



С течением времени активность изменяется согласно закону радиоактивного распада:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

где: A_0 – активность источника в начальный момент времени (паспортная активность),

$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ — постоянная радиоактивного распада,

$T_{1/2}$ — период полураспада,

t — время прошедшее с момента измерения A_0 .



Между активностью (Бк) и массой радиоактивных веществ (г) существует определенная связь. Если во взятом количестве радиоактивного вещества будет происходить в каждую секунду $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов, то общее число атомов N , дающее эту активность, будет равно активности вещества ($3,7 \cdot 10^{10}$ Бк), деленной на постоянную распада λ , с^{-1} , т.е. $N=A(t)/\lambda$: $N = 3,7 \cdot 10^{10} / \lambda = 3,7 \cdot 10^{10} T_{1/2} / \ln 2$.

Общее количество радиоактивного вещества в граммах m , обладающего активностью $A(t) = 1$ Бк, равно

$$m = \frac{N}{3,7 \cdot 10^{10}} \frac{M}{N_A}$$

где M – молярная масса данного радионуклида, г/моль; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$ — число Авогадро; M/N_A — масса одного атома.

Соответственно активность $A(t)$ 1г любого радионуклида в единицах Бк (Бк/г) равна:

$$A(t) = \frac{1}{0,24 \cdot 10^{-23} M T_{1/2}}$$



2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ.



Количественную оценку дозы облучения проводят различными методами.

Наиболее часто используемые методы измерения ионизирующих излучений:

- 1) ионизационные,
- 2) химические,
- 3) сцинтилляционные,
- 4) люминесцентные.



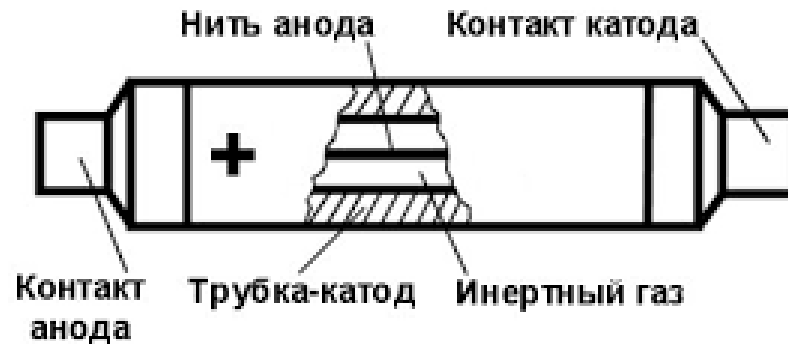
Ионизационный метод

Сущность ионизационного метода заключается в том, что *под воздействием ионизирующих излучений в среде (газовом объеме) происходит ионизация молекул*, в результате чего электропроводность этой среды увеличивается. Если в нее поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами возникает направленное движение ионов, т.е. проходит так называемый ионизационный ток, который легко может быть измерен. Такие устройства называют детекторами излучений. В качестве детекторов в дозиметрических приборах используются ионизационные камеры и газоразрядные счетчики различных типов.

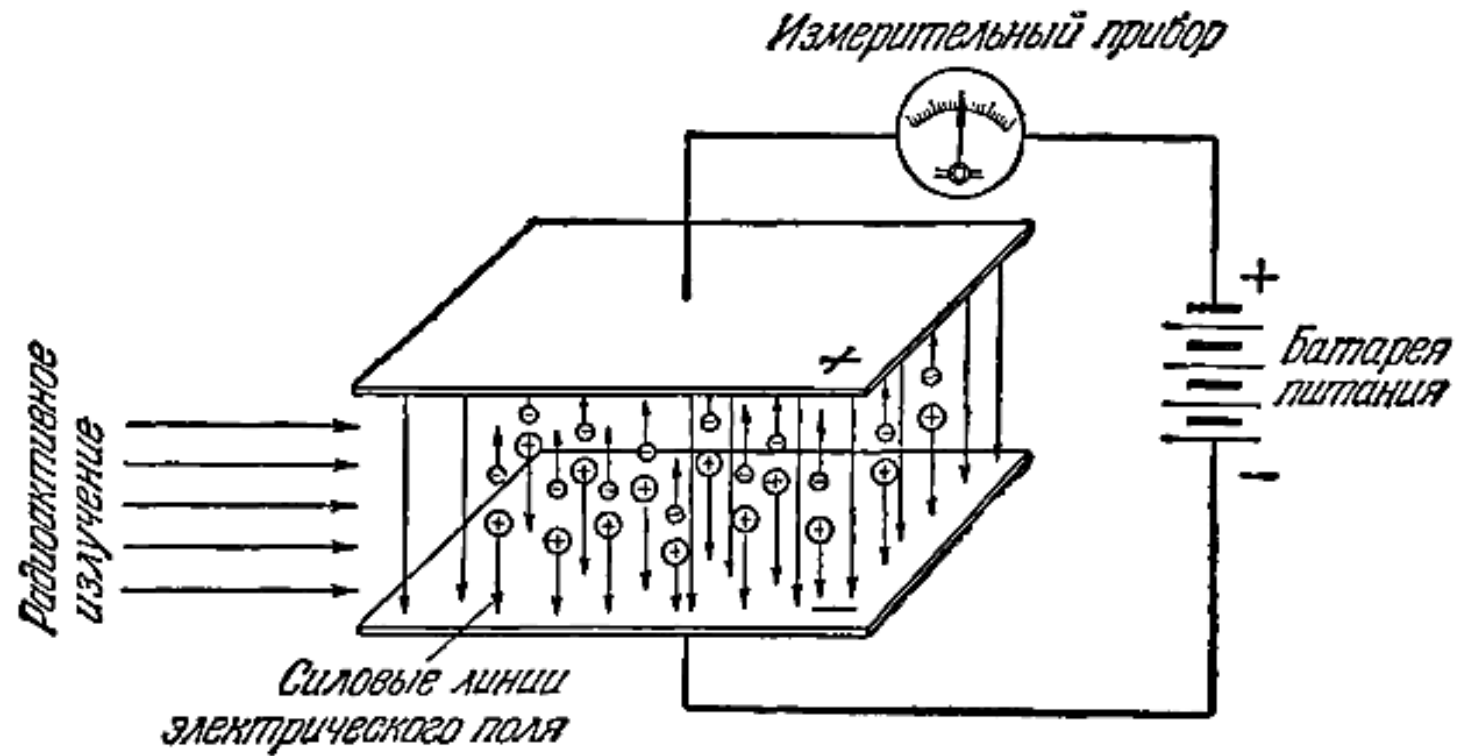
В зависимости от режима работы приборы, основанные на появлении ионизационного тока в газах, могут использоваться:

- 1) для измерения потоков частиц (счетчики Гейгера—Мюллера),
- 2) для измерения дозы излучения и ее мощности (ионизационные камеры).

Счетчик Гейгера-Мюллера



Принцип действия ионизационной камеры





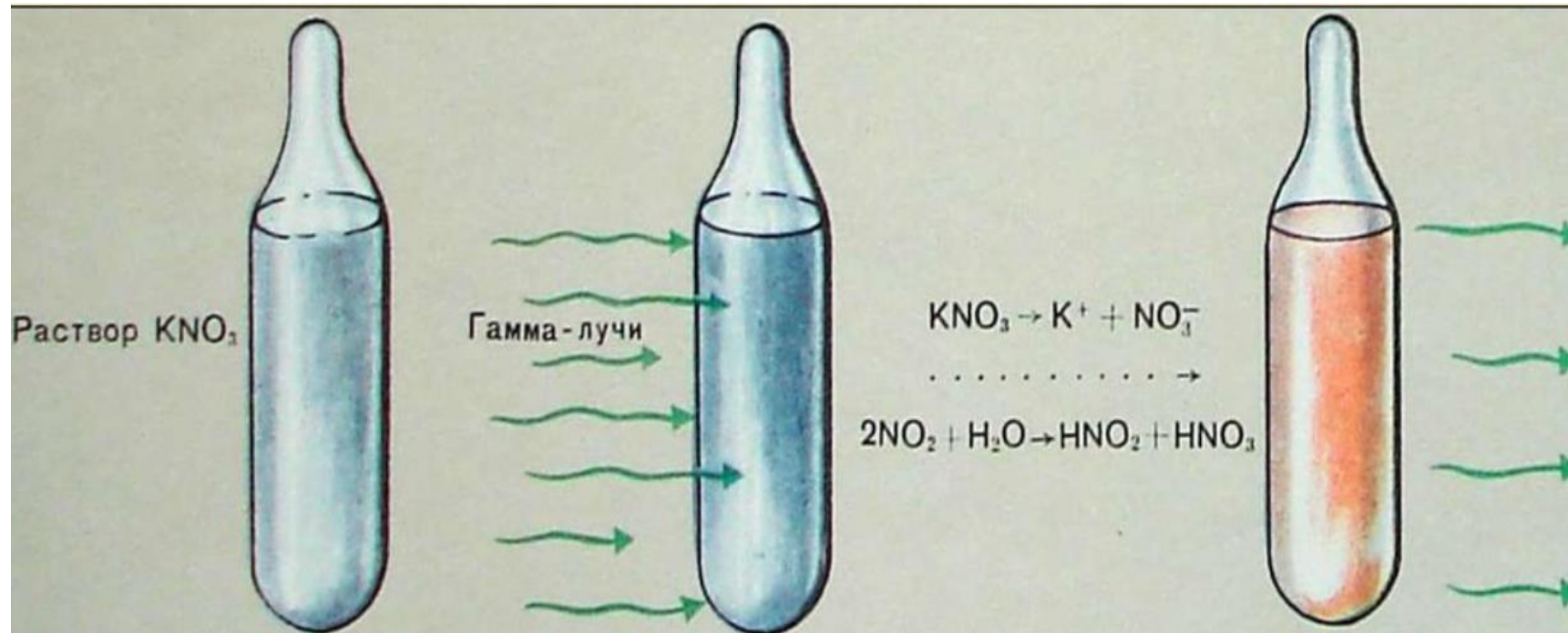
Химические методы

Метод основан на том явлении, что возникающие под воздействием ионизирующих излучений ионы, атомы и молекулы могут образовывать свободные радикалы, которые вступают в химические реакции между собой и другими атомами и молекулами, образуя новые вещества, появление и количество которых позволяет судить о качественной и количественной характеристике ионизирующих излучений.

Данный метод имеет две разновидности:

1. Собственно химический метод.
2. Фотографический метод.

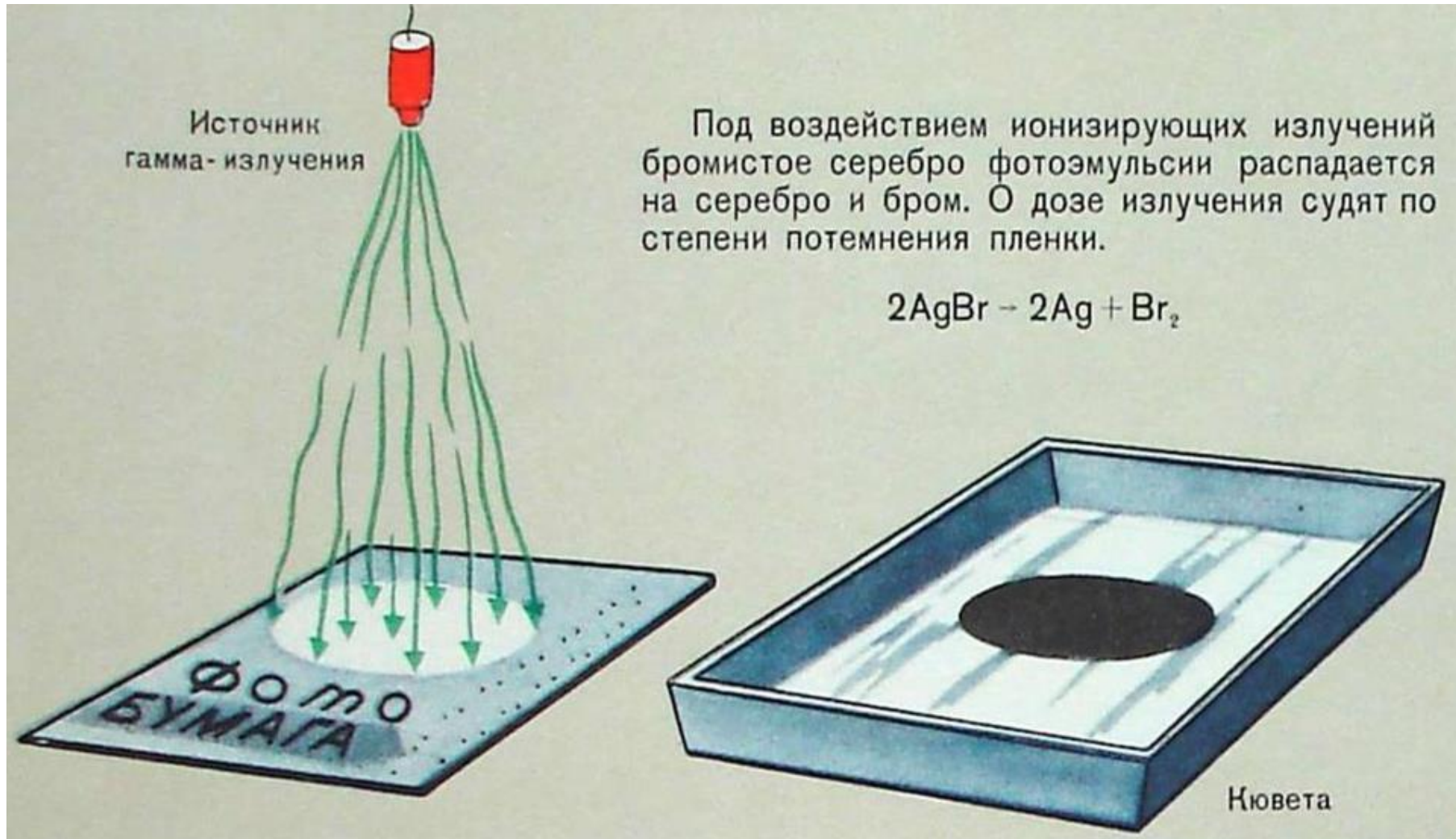
Собственно химический метод



Некоторые сложные химические вещества под воздействием ионизирующих излучений распадаются.

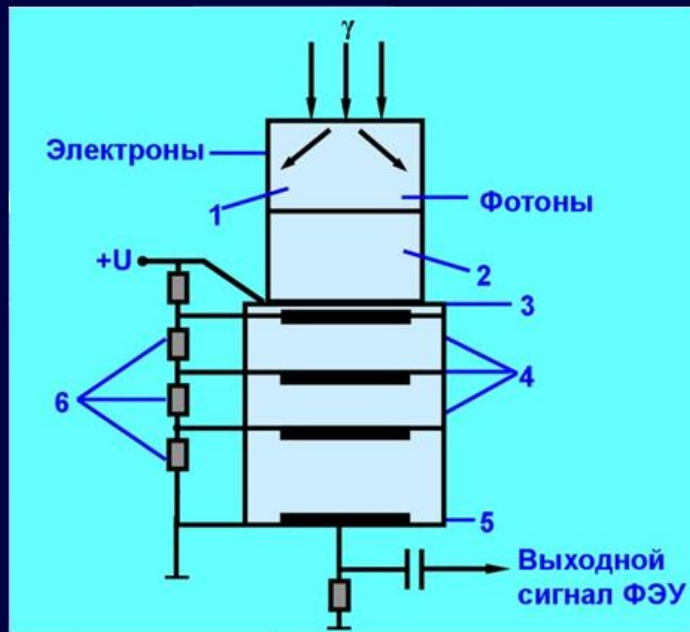
Количество образовавшейся, например, азотистой кислоты пропорционально дозе излучения и определяется по степени окраски добавляемого в раствор индикатора.

Фотографический метод



Сцинтилляционные методы

Принципиальная схема сцинтилляционного дозиметра (счетчика)



1 – сцинтиллятор, 2 – световод, 3 – фотокатод ФЭУ, 4 – диноды, 5 – анод ФЭУ, 6 – делитель напряжения.

основаны на регистрации вспышек света, возникающих при взаимодействии излучения с некоторыми органическими и неорганическими веществами (антрацен, стильбен, сернистый цинк и др.).



Люминесцентные методы

Под действием ионизирующего излучения в некоторых твердотельных изоляторах (кристаллы, стекла) носители электрических зарядов изменяют свое положение и частично задерживаются в дефектах кристаллической решетки с соответствующими максимумами и минимумами электрического поля.

Это сопровождается изменением оптических свойств кристалла (стекла) и появлением радио-, фото- и радиотермолюминесценции, интенсивность которых пропорциональна дозе излучения.

По функциональному предназначению приборы и средства, используемые для измерения или контроля ионизирующих излучений, подразделяются на:





Наиболее точным и надежным показателем, указывающим на наличие или отсутствие лучевого поражения, а также на вероятную степень его тяжести (особенно в случае общего равномерного гамма- или гамма-нейтронного облучения) являются данные физической дозиметрии.

Следует помнить, что индивидуальный дозиметр дает точную информацию о поглощенной дозе излучения **лишь в области его расположения** и поэтому при неравномерном облучении информация о тяжести лучевого поражения, полученная с помощью физической дозиметрии, может оказаться **некорректной.**



В случае применения ядерного оружия, при возникновении радиационных аварий или других случаях **неконтролируемого облучения** нельзя исключить ситуаций, когда **данные физической дозиметрии будут полностью отсутствовать.**

Погрешность большинства современных приборов **физической дозиметрии** колеблется в пределах **10-30%**, что, наряду с другими факторами, существенно снижает **диагностические возможности методов физической дозиметрии.**

Поэтому в ряде случаев используются методы биологической дозиметрии, особенно при индикации различных степеней тяжести костномозговой формы ОЛБ.



**Благодарю за
внимание!!!**