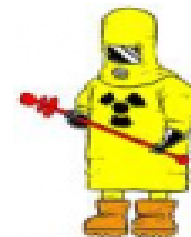


«Защита от ионизирующих излучений»

Тема 1.1:

Ионизирующее излучение и классификация его источников



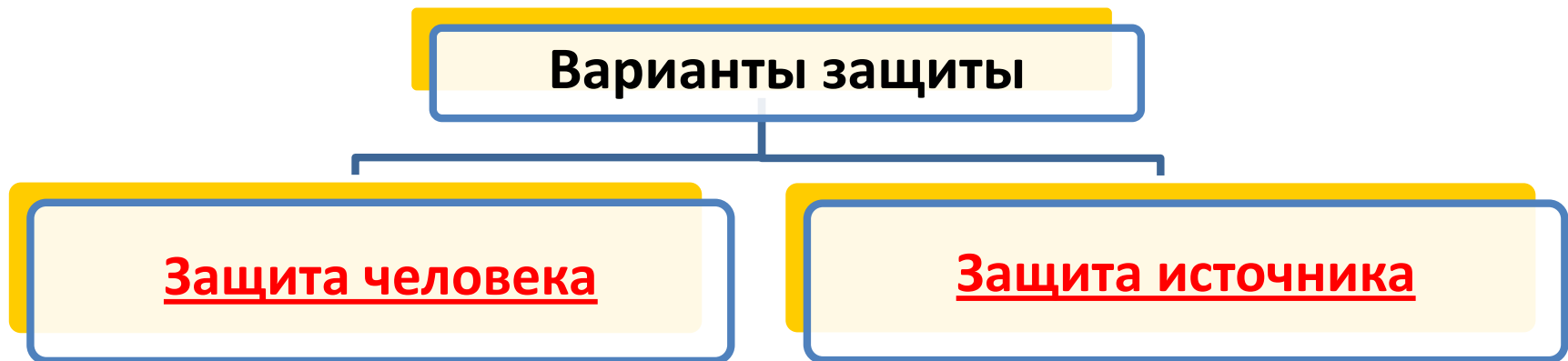
Энергетический факультет
2015/2016 учебный год



Белорусский национальный
технический университет

Радиационная защита

- **Радиационная защита** – комплекс мер (радиационно-гигиенических, проектных, технических, организационных), направленных на защиту людей от облучения в результате воздействия ИИ.



Радиационная защита человека



Радиационная защита источника ИИ



- Защитный контейнер



- Защита помещения

- Контейнмент реактора (гермооболочка)



Радиационная защита

- Для ядерно-технических установок с большой мощностью, таких как АЭС, расходы на поддержание безопасности составляют до 50 % стоимости, из них 20-30% - стоимость конкретно биологической защиты
- Еще сложнее организовать защиту на мобильных установках - ускорители, генераторы, летательные аппараты – так как требуется эффективная защита с малым весом и стоимостью.

Чтобы эффективно организовать защиту нужно знать:

- Виды излучения и особенности их взаимодействия с веществом
- Методы расчета защиты (в первом приближении - инженерные)
- Радиационно-гигиенические и организационные меры защиты (нормативная документация)

Ионизирующее излучение

Ионизирующее излучение (ИИ)

- **Ионизирующее излучение** - любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков
- ИИ возникает при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе.
- **Процесс ионизации** заключается в том, что заряженная частица, кинетическая энергия которых достаточна для ионизации атомов, при своем движении в среде взаимодействует с электрическим полем атомов и теряет часть своей энергии на выбивание электронов с электронных оболочек атомов.

Ионизирующее излучение (ИИ)

- Непосредственную ионизацию среды могут производить только заряженные частицы - электроны, протоны и другие элементарные частицы и ядра химических элементов.
- Нейтральные частицы и электромагнитное излучение не производят ионизацию, но ионизируют среду косвенно, через различные процессы передачи своей энергии среде с порождением вторичного излучения в виде заряженных частиц (электронов, протонов), которые и производят ионизацию среды. Взаимодействие этих вторичных частиц с веществом и приводит к его ионизации.

Классификация ионизирующих излучений

По характеру ионизации

Ионизирующее излучение

Прямо ионизирующее

заряженные частицы, имеющие кинетическую энергию, достаточную для непосредственной ионизации при столкновении с атомом

- электроны
- протоны
- альфа-частицы
- тяжелые ионы ...

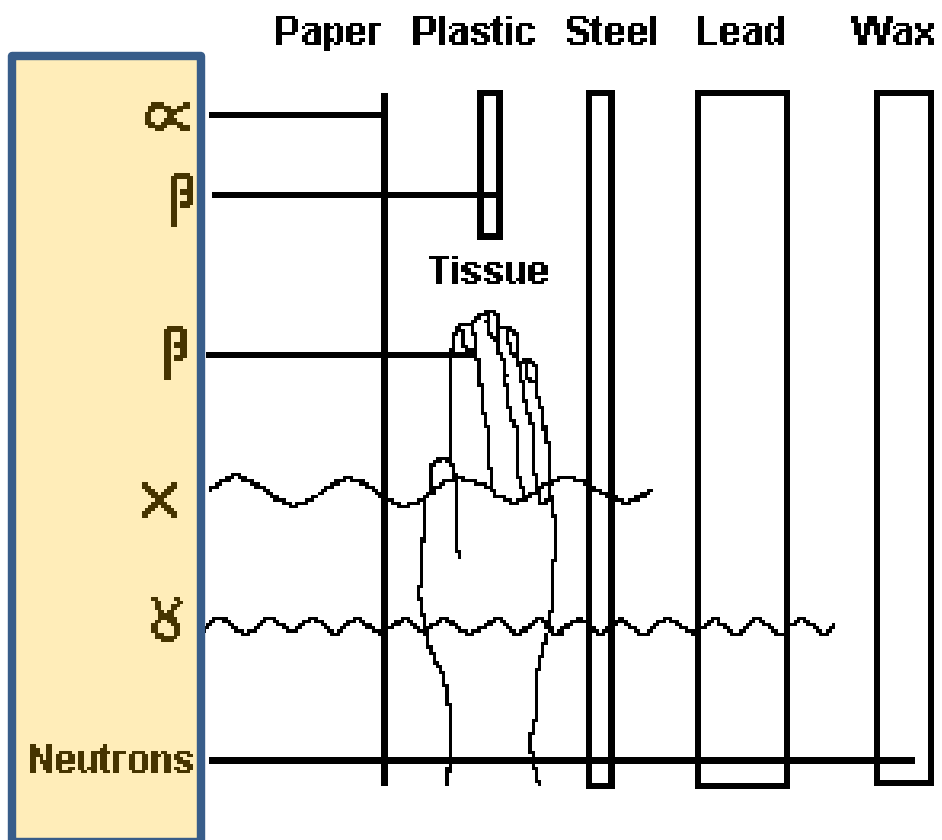
Косвенно ионизирующее

незаряженные частицы, для которых взаимодействие со средой приводит к появлению заряженных частиц, способных далее ионизировать атомы веществам

- нейтроны
- гамма-кванты
- рентгеновское излучение

Защита от ИИ

- Деление ИИ на прямо и косвенно ионизирующее имеет важное значение для решения проблем защиты



The penetrating properties of ionizing radiation

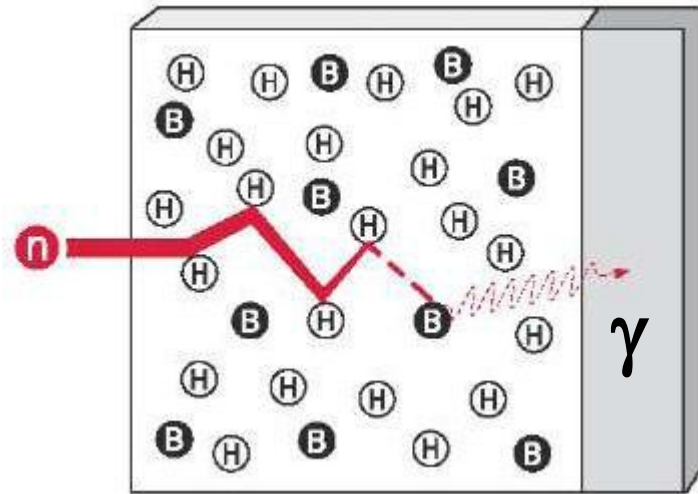
- Прямо ионизирующее излучение** сильно взаимодействует с веществом защиты, и поэтому его **легко можно остановить**
- Косвенно ионизирующее излучение**, напротив, может быть **сильно проникающим**, а защита от него — массивной и дорогой.

По порядку возникновения

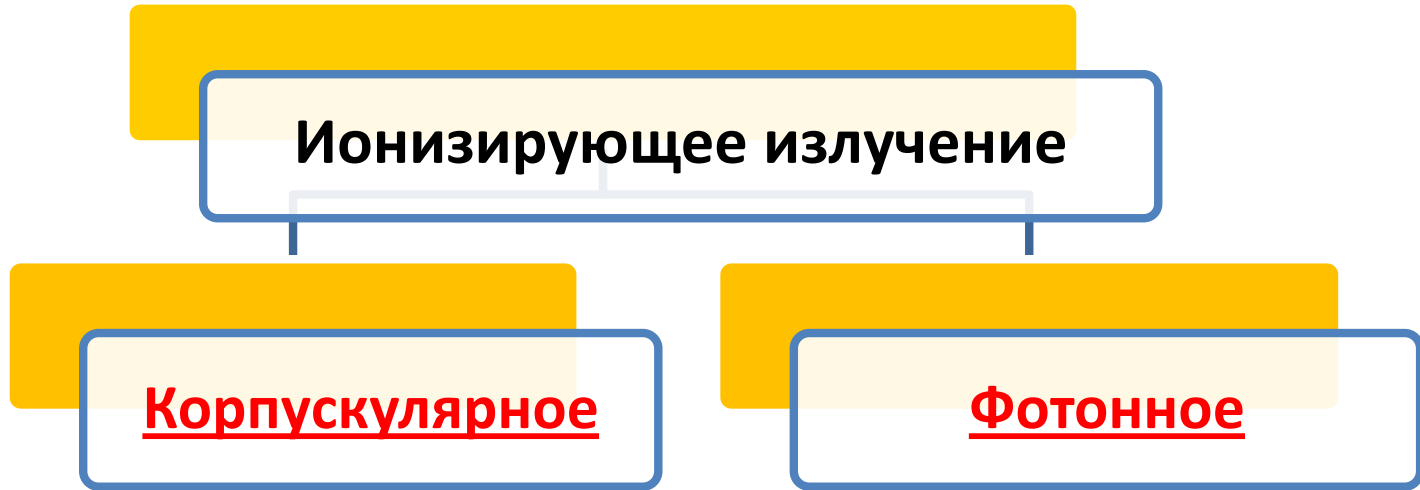
- **Первичное** – в данном процессе взаимодействия со средой принимается за исходное.
- **Вторичное** - возникает в результате взаимодействия первичного ИИ с данной средой

По составу

- **Однородное** – состоит из частиц одного вида
- **Смешанное** – из частиц различного вида



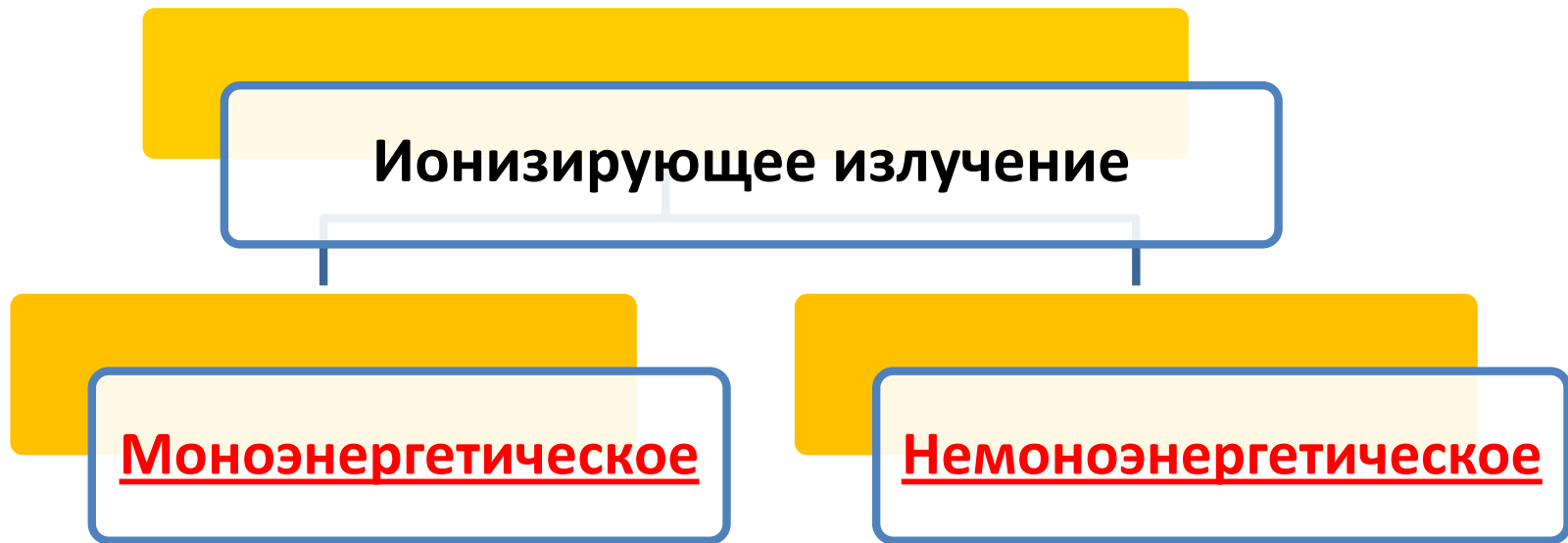
По типу частиц



Корпускулярное – состоит из частиц, имеющих отличную от нуля массу покоя: потоки альфа- и бета-частиц, протонов, ускоренных ионов и электронов, нейтронов и др.

Фотонное ИИ – это все виды электромагнитного излучения, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер, электронов атомов или аннигиляции частиц: гамма-кванты, рентгеновское излучение (состоящее из тормозного и/или характеристического).

По энергии частиц

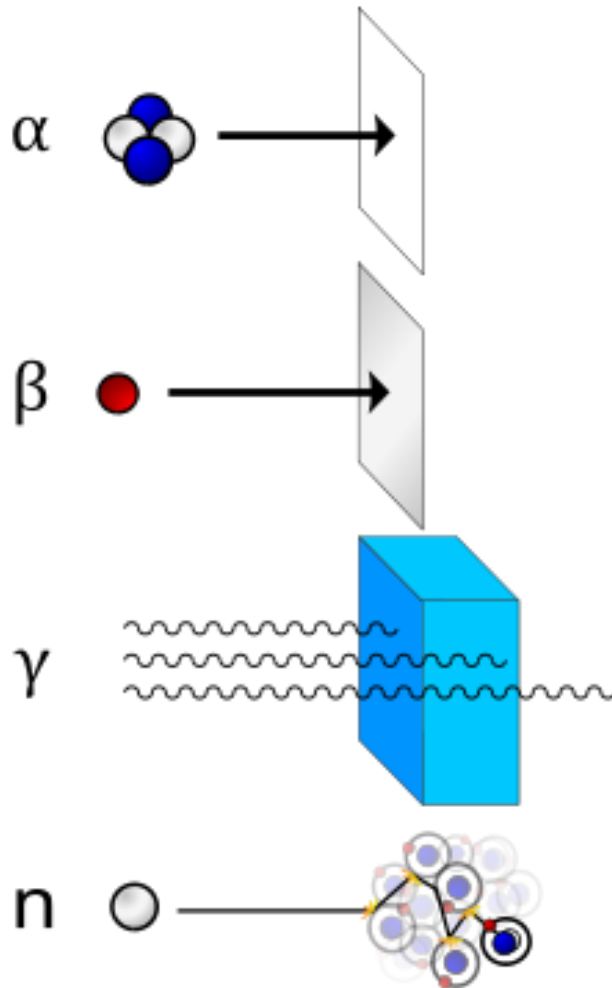


Моноэнергетическое - состоит из частиц одного вида с одинаковой энергией.

Немоноэнергетическое ИИ - состоит из частиц одного вида различных энергий. Так, бета-излучение радиоактивных нуклидов всегда является немонотоническим

Проникающая способность ИИ

- Толщина защиты зависит не только от вида частиц, но и от их энергии



- α -излучение с энергией 6 МэВ проходит в воздухе 4,5 см, его остановит алюминиевая фольга толщиной 30 мкм или 56 мкм биологической ткани.
- β - излучение с энергией 3 МэВ проходит в воздухе до 15 м, в биологической ткани до 12 мм, в алюминии до 5 мм.
- γ -излучение с энергией 1 МэВ ослабляется $\sim$ в 1000 раз, если пройдет через 10 см свинца
- Чтобы остановить быстрые нейтроны, их нужно замедлить в водородосодержащей среде (вода, парафин, полиэтилен...). 10 см парафина замедлит нейтроны до тепловых.

По механизму прохождения через вещество частицы делятся на четыре группы:

- **тяжелые заряженные частицы**
(их масса $M \gg m_e$, где m_e – масса электрона: α , p , d , t , легкие и тяжелые ионы)
- **легкие заряженные частицы**
(e^- , e^+ , $\mu^\pm$, $\pi^\pm$)
- **гамма-излучение**
- **нейтроны**

• Основные характеристики частицы, необходимые для описания ее взаимодействия с веществом:

-масса m , заряд Z , энергия E , импульс p .

• Основные характеристики вещества:

атомная плотность n , средний потенциал ионизации $I_{\text{ион}}$, атомный номер A , заряд Z образующих вещество элементов.

Источники ионизирующего излучения

Источник ИИ

- **Источник ИИ** – радиоактивное вещество или устройство, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение сверх уровней, установленных нормативными правовыми актами.
- Источник ИИ предназначен для получения потока ионизирующих частиц с определенными свойствами.
- Источники ИИ активно применяются в науке, промышленности, медицине, например, в таких приборах как: медицинские гамма-терапевтические аппараты, гамма-дефектоскопы, плотномеры, толщиномеры, нейтрализаторы статического электричества, пожарные извещатели, измерители зольности угля, сигнализаторы облучения, и многое др.

Гамма-дефектоскопы

- Применяются для обнаружения внутренних дефектов объекта (неразрушающий контроль).
- Метод основан на различном поглощении веществами γ -лучей. При контроле изделия источник располагается с одной стороны, а детектор - с другой. В местах изделия, где есть внутренние дефекты, излучение поглощается слабее. Дефект обнаруживается по увеличению потока γ -излучения, попадающего в детектор.
- Гамма-дефектоскоп состоит из радиоизотопа, заключенного в герметичную металлическую ампулу, которая помещается в защитный контейнер, и пульта управления, обеспечивающего выпуск и перекрытие пучка излучения с безопасного расстояния.
- Гамма-дефектоскоп является единственным средством контроля в труднодоступных местах и в полевых условиях



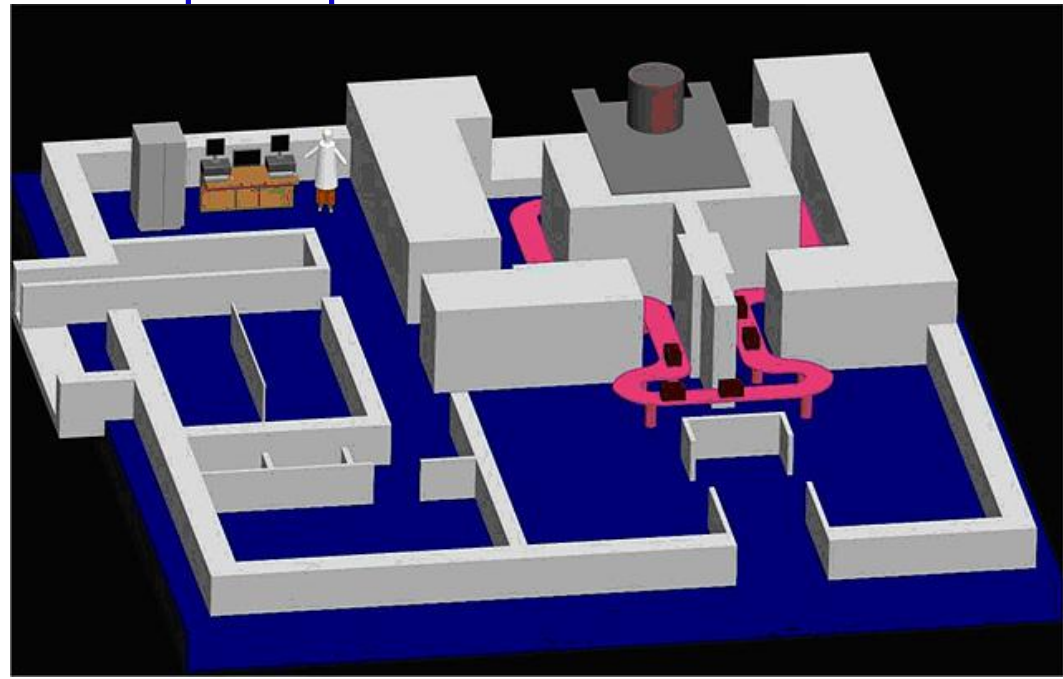
Плотномеры

- Радиоизотопный плотномер предназначен для бесконтактного непрерывного измерения плотности различных сред (жидких, твердых, газообразных).
- Принцип действия основан на регистрации рассеянного и поглощенного гамма-излучения на электронах атомов объекта.
- Плотномер применяется в горнорудной, химической, металлургической промышленности, на предприятиях ядерно-топливного цикла, в гражданском и промышленном строительстве, а также в сельском хозяйстве.



Радиационные стерилизаторы

- аппараты, использующие либо 1) гамма-установки (Co-60, реже Cs-137), либо 2) ускорители электронов (с энергией 3-10 МэВ) с целью стерилизации перевязочного материала, хирургического инструментария, медпрепаратов, пищевых продуктов и др.
- Материалы стерилизуют конвейерно в упакованном виде. При мощности установки 10 Вт/кг для получения стерильности материала его следует подвергнуть воздействию ионизирующих лучей в течение примерно 5 ч.
- Эффективность стерилизации зависит от общей дозы излучения и не зависит от времени. Доза 25 кГр надежно гарантирует уничтожение высокорезистентных споровых форм микроорганизмов

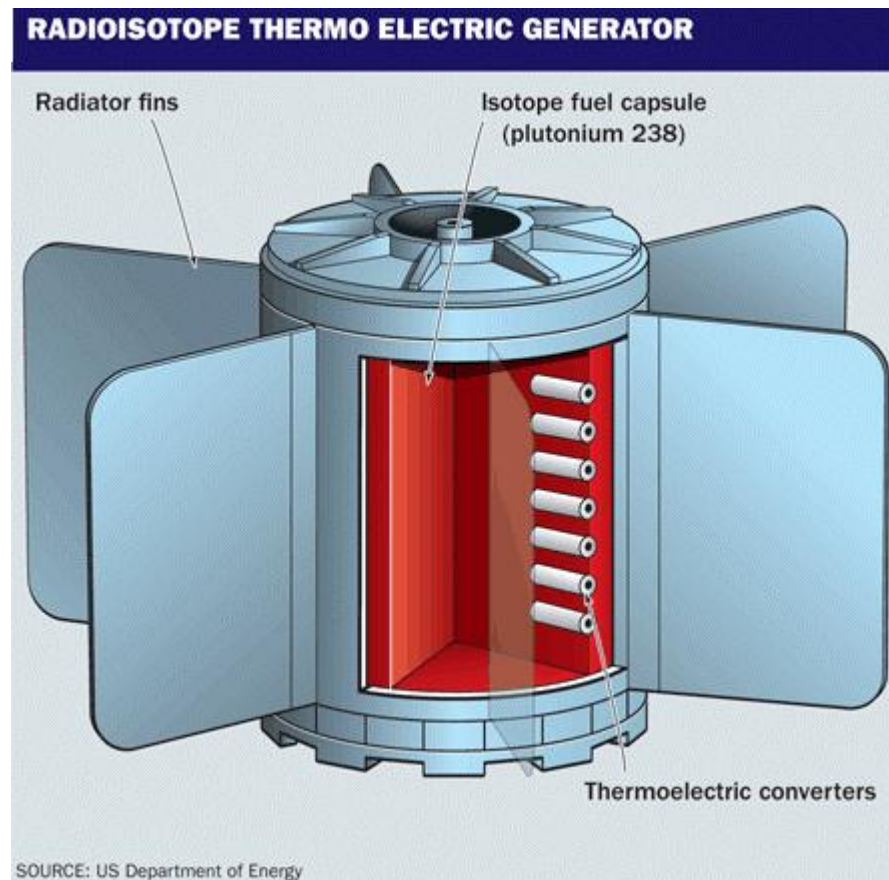


Радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГи)

- - это радиоизотопный источник электроэнергии, использующий тепловую энергию, выделяющуюся при естественном распаде радиоизотопов (Sr-90, Po-210, Pu-238) и преобразующий её в электроэнергию с помощью термоэлектродгенератора.
- является наиболее приемлемым источником энергии для автономных систем, нуждающихся в нескольких десятках-сотнях ватт при очень длительном времени работы, слишком долгим для аккумуляторов.
- В космосе применяется для обеспечения питания спутников, а на земле - в навигационных маяках, радиомаяках, метеостанциях и подобном оборудовании, установленном в местности, где по техническим или экономическим причинам нет возможности воспользоваться другими источниками электропитания.

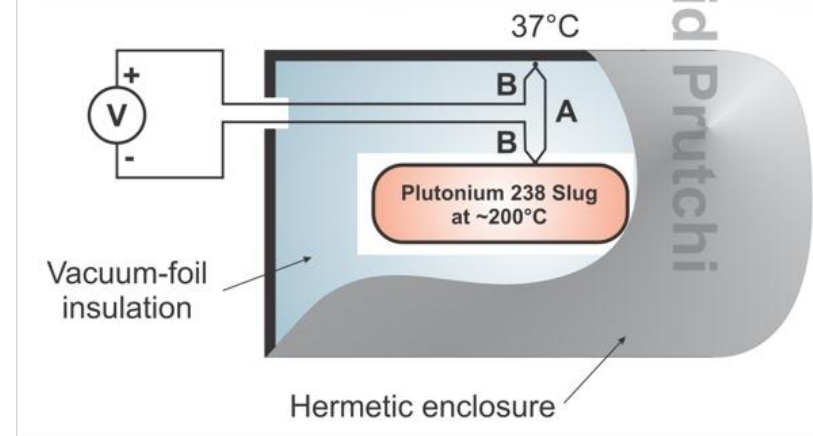


Радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГи)



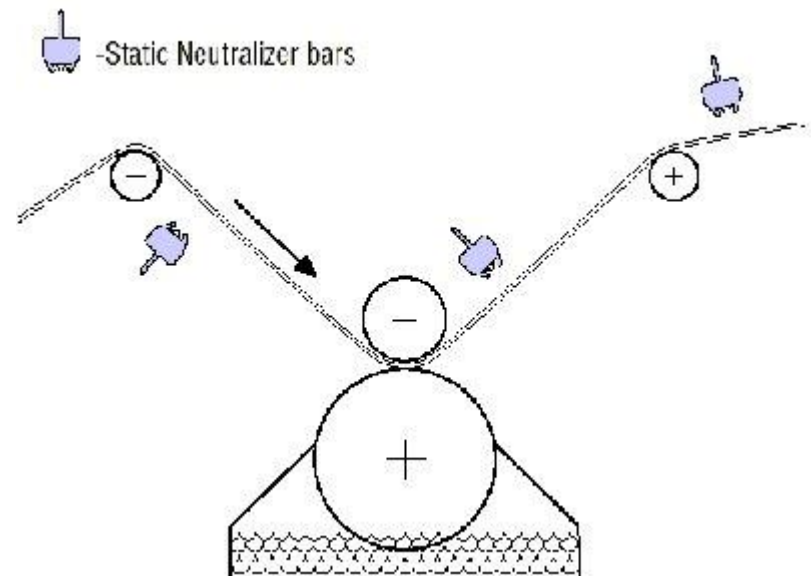
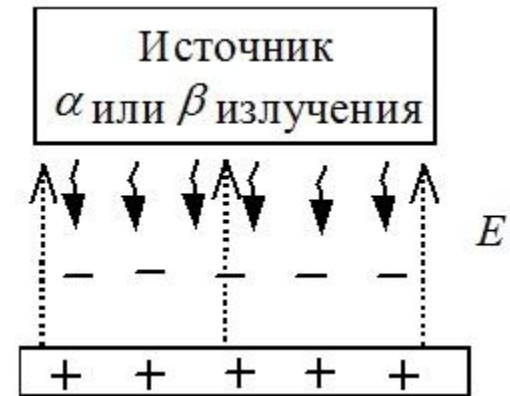
Атомные батареи

- радиоизотопный источник электрической энергии, в котором энергия радиоактивного распада преобразуется в электрическую. Используется в инвазивной медтехнике и др.
- простейшая ядерная батарея состоит из источника излучения и отделенного от нее диэлектрической пленкой коллектора;
- при распаде источник испускает бета- (или альфа-) излучение, вследствие чего он заряжается положительно, а коллектор — отрицательно и между ними возникает разность потенциалов.



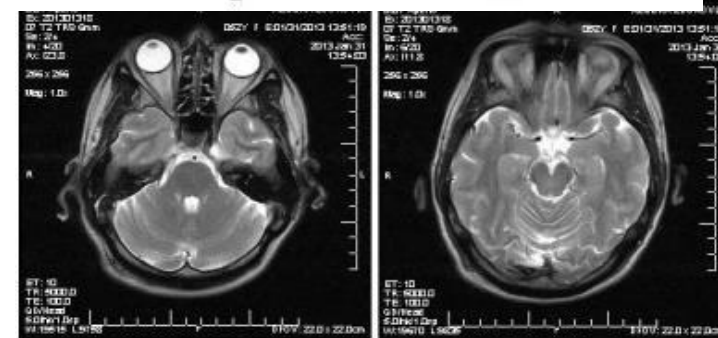
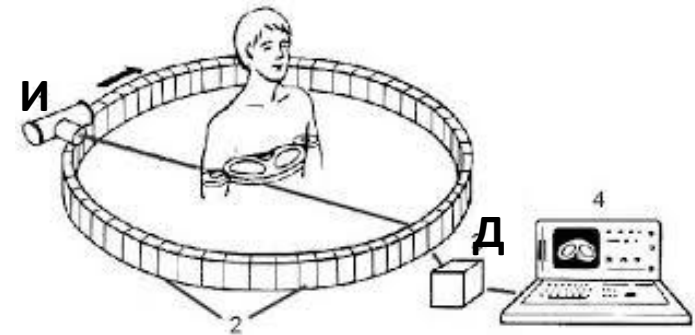
Нейтрализаторы статического электричества

- - представляют собой плоские металлические пластинки, одна сторона которых покрыта радиоактивным изотопом.
- Заряженное излучение (α, β) ионизирует воздух. Ионы оседают на поверхности диэлектрика, нейтрализуя его. Расстояние от ионизатора до конвейера должно составлять 15 — 35 мм.
- Для нейтрализации зарядов статического электричества на открытых поверхностях (пленки, ленты, ткани, листы) применяются нейтрализаторы на основе Pu-239 или трития.
- Нейтрализаторы взрывобезопасны и не требуют питания.



Компьютерная томография (КТ)

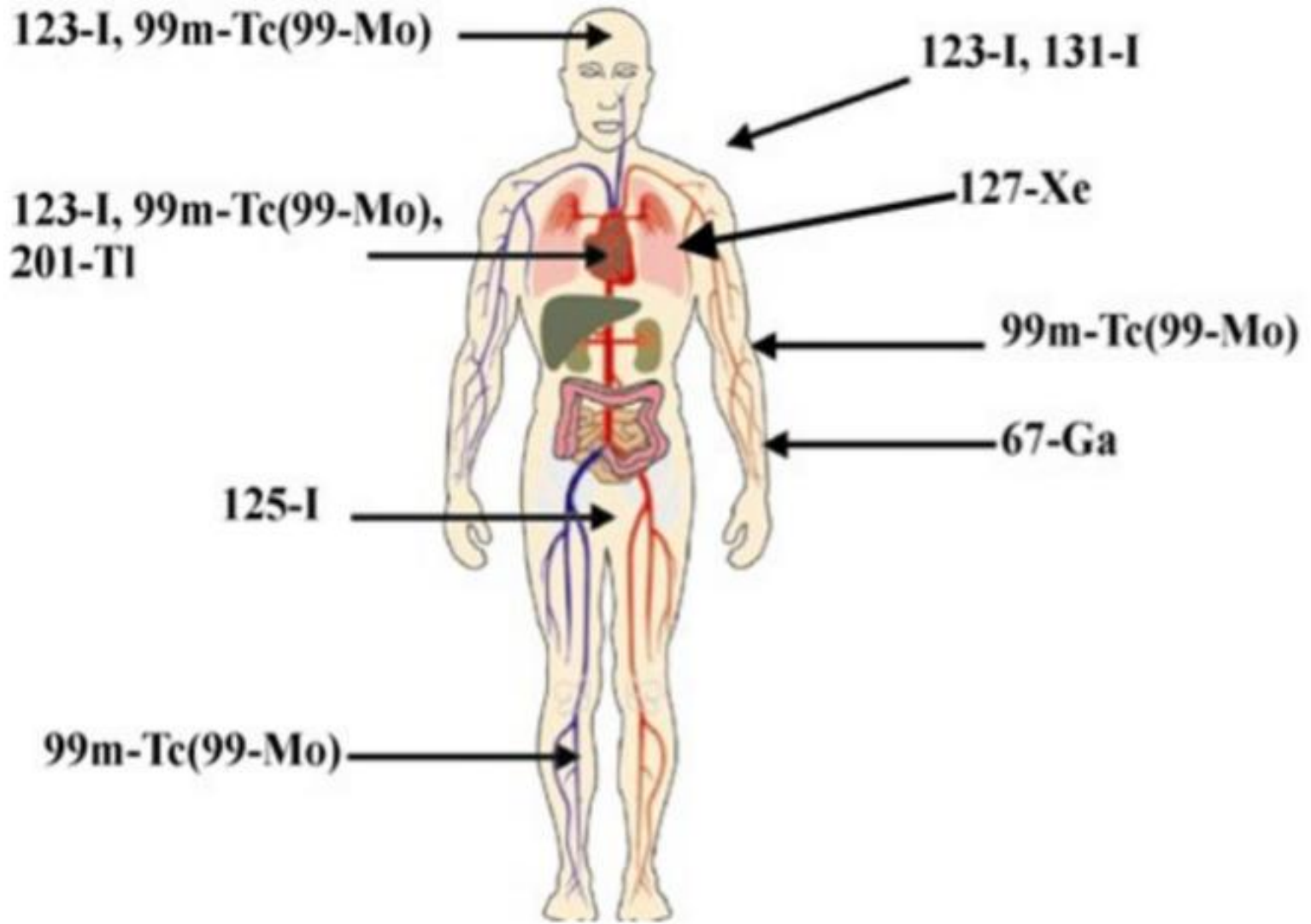
- Метод диагностики основан на измерении и сложной компьютерной обработке разности ослабления рентгеновского излучения различными по плотности тканями.
- Спиральное сканирование предполагает одновременное выполнение двух действий: непрерывного вращения источника излучения (рентгеновской трубки) вокруг тела пациента, и непрерывного поступательного движения стола с пациентом вдоль продольной оси сканирования.
- КТ позволяет получить изображение с высоким пространственным и контрастным разрешением за несколько секунд.



Радионуклидная диагностика

- Используют препараты, меченые короткоживущими радионуклидами. Наблюдая за их распределением в организме человека с помощью специальной детектирующей аппаратуры можно получить изображение органа, а также судить о жизнедеятельности органа в целом или его частей.
- Самый прогрессивный метод – ПЭТ (позитронно-эмиссионная томография) - в организм вводят ультракороткоживущие излучатели позитронов (^{18}F , ^{11}C , ^{13}N и ^{15}O , $T_{1/2}$ равен 109, 20, 10 и 2 минуты, соответственно). Клетки внутренних органов накапливают их с различной интенсивностью, а испускаемое ими излучение фиксирует позитронно-эмиссионный томограф.
- Важно подобрать изотоп, преимущественно накапливающийся в этом органе. Злокачественные клетки более активно потребляют глюкозу, что приводит к усиленному локальному накоплению радиофармпрепаратов.
- ПЭТ+КТ = одновременно выполняют два исследования – изучение структуры при помощи КТ и функции органа, используя позитронно-эмиссионную томографию

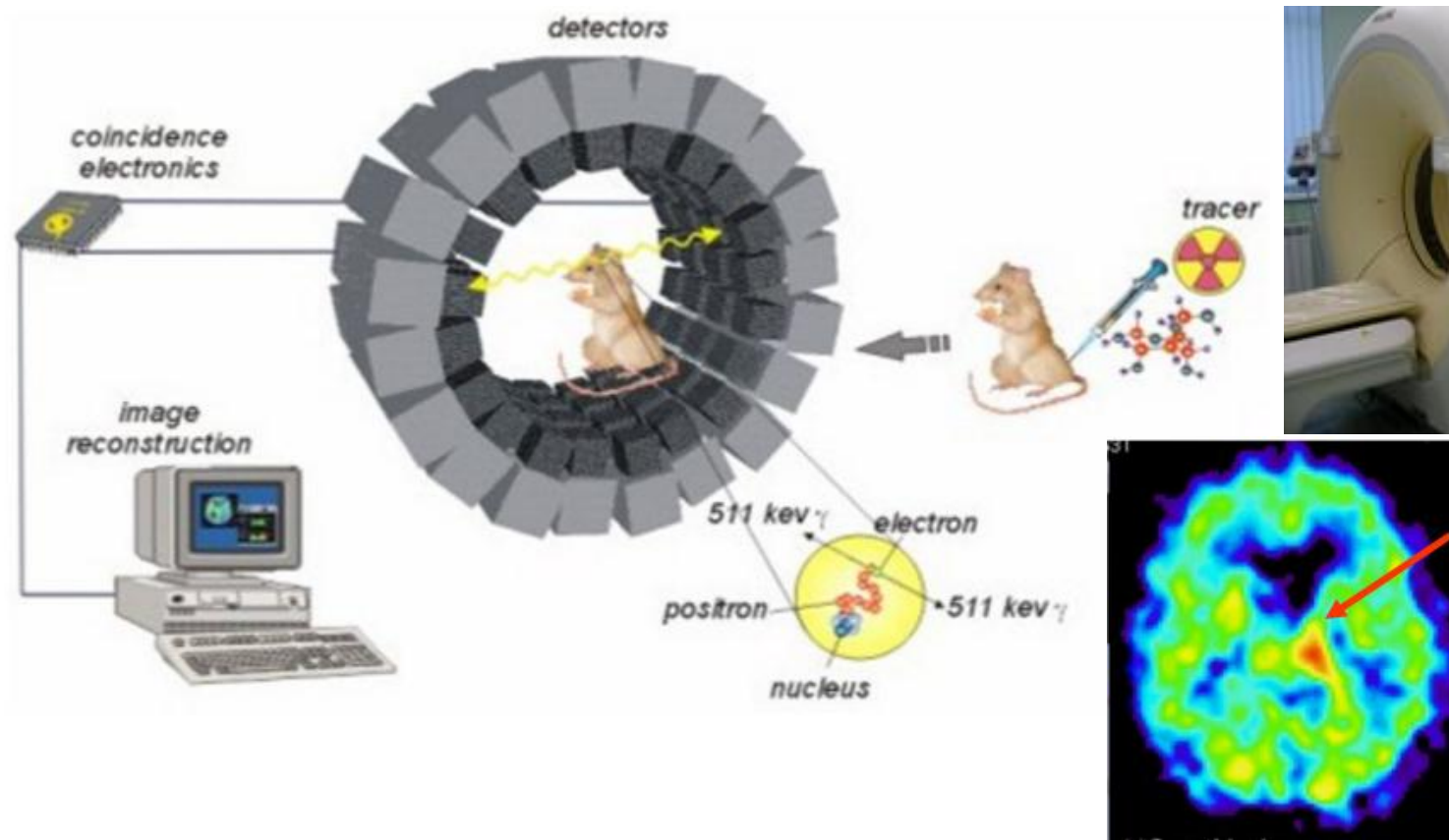
Радионуклидная диагностика



Пример использования некоторых радионуклидов при диагностике

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)

- Метод основан на регистрации пары гамма-квантов, возникающих при аннигиляции позитронов из радиофармпрепарата, вводимого перед исследованием



Выявление с помощью ПЭТ опухоли головного мозга

- ПЭТ позволяет на самых ранних этапах выявлять онкологию и оценивать эффективность лечения

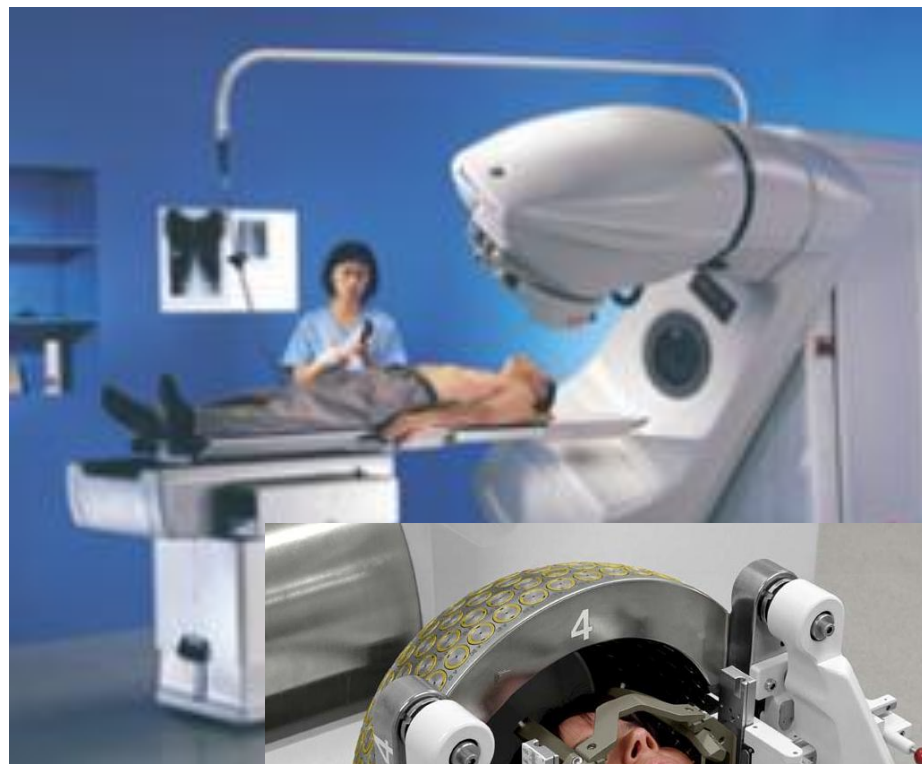
Радионуклидная терапия с помощью радиофармпрепаратов

- Используются методы, при которых радионуклиды в составе радиофармпрепаратов (РФП) доставляются непосредственно к поврежденному органу (перорально, внутривенно, внутриволостным или внутритканевым способом)
- Адресная доставка РФП позволяет формировать в очагах очень высокие поглощенные дозы (до нескольких сотен Грей) при минимальном повреждении нормальных тканей и незначительных побочных эффектах.
- Самым известным и распространенным методом в онкологической практике является радиоiodтерапия, она применяется для лечения больных дифференцированным раком щитовидной железы.



Гамма-терапевтические аппараты

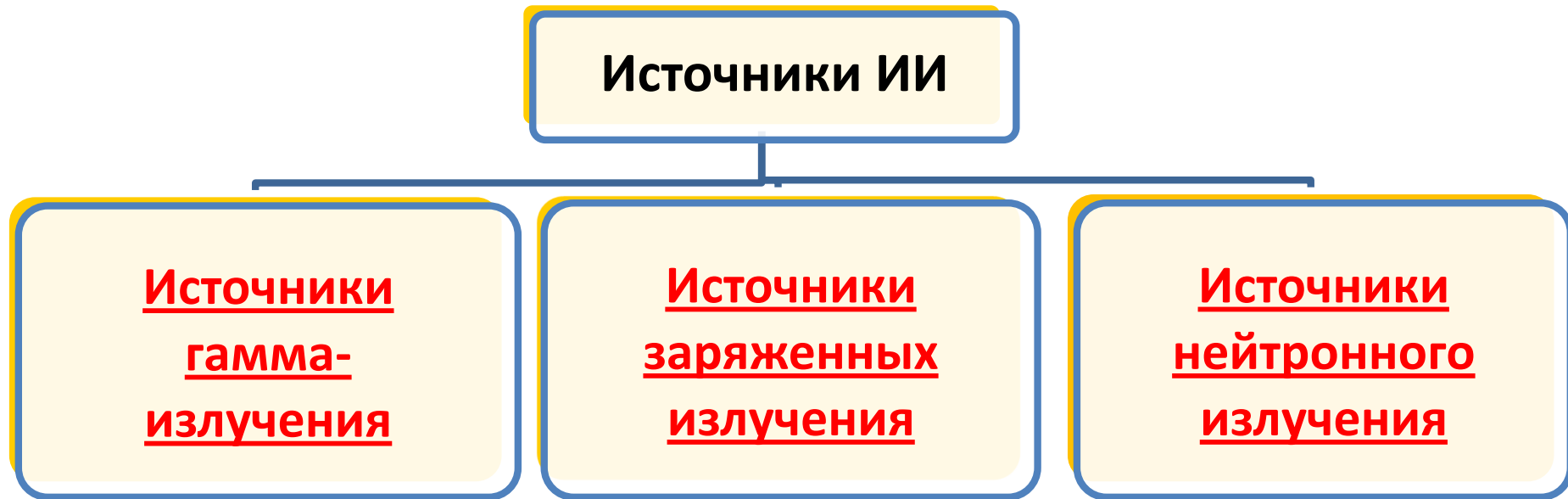
- Стационарные дистанционные установки для лучевой терапии, основным элементом которых является радиационная головка с источником гамма-излучения (Co-60, Cs-137)
- Радиационной головка, содержащая источник гамма-излучения, сделана из тяжелого металла (свинца, вольфрама, урана), укреплена на штативе и направляется на стол-манипулятор, на котором размещается больной. В момент терапии затвор на головке открывается и излучение направляется строго на намеченное для терапии место.
- Активность гамма-установки может достигать до 6300 Кюри!



Гамма-нож

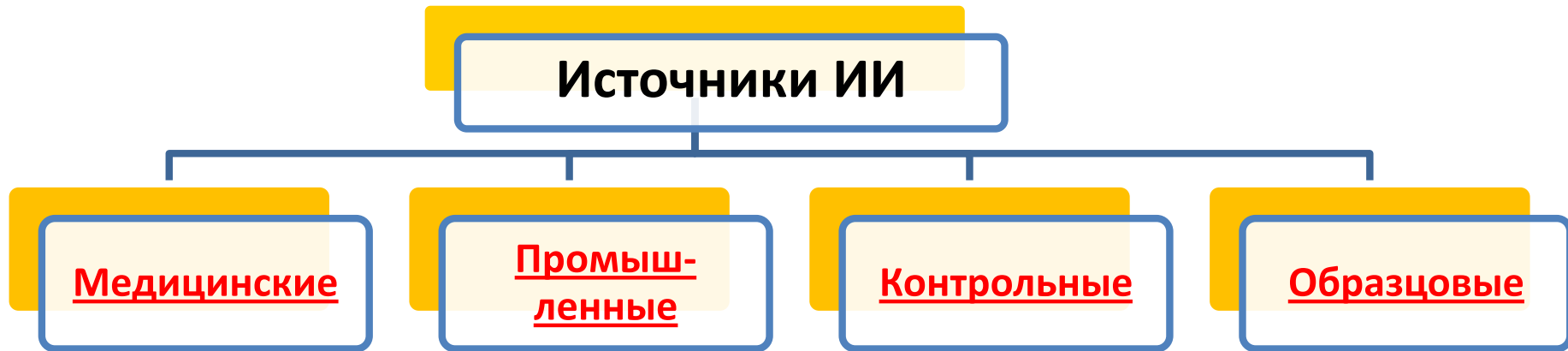
Классификация источников ИИ

По видам излучения



- Для радионуклидных источников такое разделение не является абсолютным, т.к. при ядерных реакциях, индуцирующих излучение, основной вид излучения источника может сопровождаться сопутствующими видами излучения.

По назначению



- **Медицинские** - предназначены для применения в медицинской практике с диагностической, профилактической и терапевтической целями.
- **Промышленные** - применяют в различных производственных и научных процессах и установках производственного назначения (ядерные методы каротажа, бесконтактные методы контроля технологических процессов, методы анализа вещества, дефектоскопия и т.п.).
- **Контрольные** - используются для проверки работоспособности и настройки радиационных приборов и установок (спектрометров, радиометров, дозиметров и пр.) путем контроля за стабильностью и повторяемостью показаний приборов в определенной геометрии положения источника относительно детектора излучения.
- **Образцовые (калибровочные)** источники - используются при калибровке и метрологической поверке радиационной, ядерно-физической аппаратуры.

По физической основе генерации излучения

Источники ИИ

РАДИОНУКЛИДНЫЕ

- создаются на основе естественных и искусственных радиоактивных изотопов

Закрытые

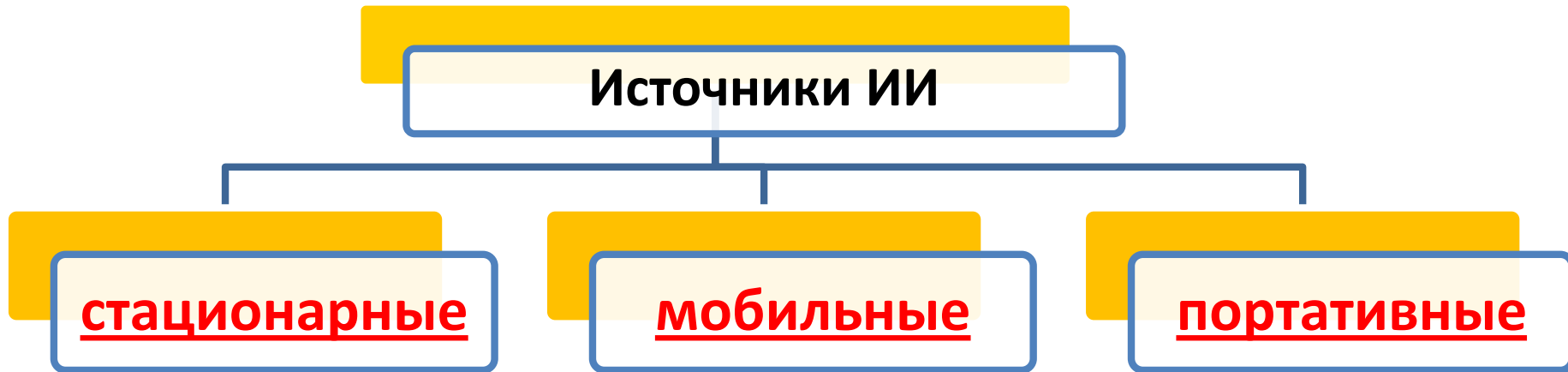
Открытые

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ

- устройства, генерирующие ионизирующее излучение (нейтронные и рентгеновские трубки, ускорители заряженных частиц и пр.)

- **закрытый** - источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан
- **открытый** - источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду

По транспортируемости



- **Стационарные** - ИИИ, назначение и конструкция которых предполагают их эксплуатацию в течение всего срока службы на постоянном месте. Для их размещения и эксплуатации требуются специально оборудованные сооружения (или помещения) и дополнительные технические системы и средства;
- **Мобильные (передвижные)** - ИИИ, смонтированные и используемые по назначению на транспортных средствах;
- **Портативные (переносные)** - ИИИ, конструкция и масса составных частей которых позволяют их переносить (или в случае необходимости перевозить, в том числе в собранном виде) и использовать по назначению непосредственно в месте проведения работ в помещениях (без переоборудования и усиления защиты помещений) или в полевых условиях.

По степени радиационной опасности

Категория	Отношение активности A/D	Вид категории опасности
I	$1000 \leq A/D$	Источник наивысшей опасности
II	$10 \leq A/D \leq 1000$	Источник высокой опасности
III	$1 \leq A/D \leq 10$	Опасный источник
IV	$0,01 \leq A/D \leq 1$	Потенциально опасный источник
V	$\frac{\text{Уровень освобождения}}{D} \leq A/D \leq 0,01$	Наименее потенциально опасный источник

Здесь А – активность источника в ТБк; D - показатель опасности

Показатель опасности D

Показатель опасности D — **активность источника, характеризующая вероятность возникновения детерминированных эффектов для заданных сценариев облучения:**

- ношение незащищенного источника в течение 1 часа в руке или в течение 10 часов в кармане;
- нахождение в помещении с незащищенным источником в течение от нескольких дней до нескольких недель;
- Рассеивание, рассыпание источника (например, при пожаре или взрыве), приводящее к облучению от ингаляции, приема пищи и / или загрязнению КОЖИ.

Значения D для конкретных радионуклидов приведены в Приложении 2 к Правилам «Безопасность при обращении с источниками ИИ. Общие положения» (Постановление МЧС РБ от 31 мая 2010 г. N 22).

Значения показателей опасности D для распространенных радионуклидов

Радионуклид	D, ТБк		Радионуклид	D, ТБк
Am-241	6.E-02	1 ТБк = 10 ¹² Бк	Ir-192	8.E-02
Am-241/Be	6.E-02		Kr-85	3.E+01
Au-198	2.E-01		Mo-99	3.E-01
Cd-109	2.E+01		Ni-63	6.E+01
Cf-252	2.E-02		P-32	1.E+01
Cm-244	5.E-02		Pd-103	9.E+01
Co-57	7.E-01		Pm-147	4.E+01
Co-60	3.E-02		Po-210	6.E-02
Cs-137	1.E-01		Pu-238	6.E-02
Fe-55	8.E+02		Pu-239/Be	6.E-02
Gd-153	1.E+00		Ra-226	4.E-02
Ge-68	7.E-02		Ru-106 (Rh-106)	3.E-01
H-3	2.E+03		Sr-90 (Y-90)	1.E+00
I-125	2.E-01		Tc-99m	7.E-01
I-131	2.E-01		Tl-204	2.E+01
Ir-192	8.E-02		Yb-169	3.E-01

Примеры источников различных категорий опасности

Категория	Источник	Вид категории опасности
I	гамма-установки для дистанционной лучевой терапии	Источник наивысшей опасности
II	Дефектоскопы, ускорители	Источник высокой опасности
III	Плотномеры, толщиномеры, приборы для каротажа	Опасный источник
IV	Нейтрализаторы статического электричества	Потенциально опасный источник
V	Контрольные, образцовые источники	Наименее потенциально опасный источник

Здесь А – активность источника в ТБк; D - показатель опасности

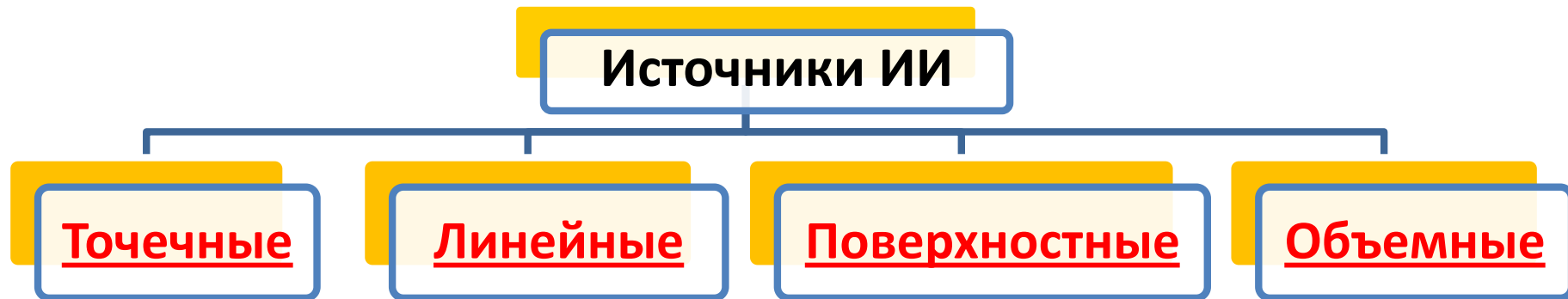
Технические характеристики источников ИИ

Технические характеристики источников ионизирующего излучения

- 1. Вид излучения**
- 2. Геометрия**
- 3. Активность**
- 4. Энергетический состав**
- 5. Угловое распределение излучения**

Геометрия источника

- характеризует форму и размеры источника



Точечный – источник, максимальные размеры которого $\ll$ расстояния до точки детектирования и длины свободного пробега излучения в материале источника (ослаблением внутри источника можно пренебречь)

Линейный – поперечные размеры источника $\ll$ расстояния до точки детектирования и длины свободного пробега излучения в материале источника

Поверхностный – толщина $\ll$ расстояния до точки детектирования и длины свободного пробега излучения в материале источника

Объемный – радиоактивное вещество распределено во всех трех направлениях

Протяженные
источники

Активность

- количество распадов в единицу времени
- Задание активности характерно для радионуклидных источников
- для физико-технических источников вместо активности вводят характеристику **мощности** или **плотности потока излучения** ИИ
- Важной информацией является **распределение активности (или мощности излучения) по протяженному источнику**. Оно может быть **неравномерным!**

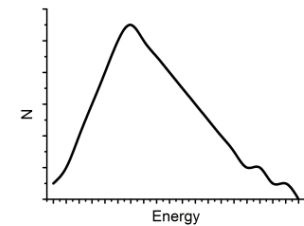
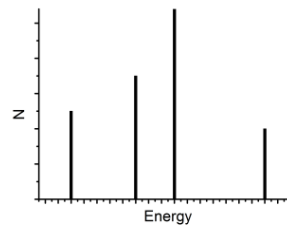
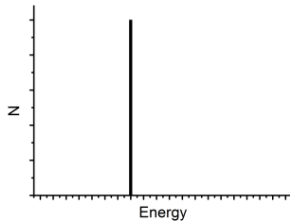
Энергетический состав

Энергетический спектр источников ИИ

Моноэнергетический

Дискретный

Непрерывный



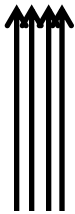
- **Моноэнергетический спектр** - испускаются частицы одной фиксированной энергии.
- **Дискретный спектр** - испускаются моноэнергетические частицы нескольких энергий.
- **Непрерывный (сплошной) спектр** - испускаются частицы разных энергий в пределах некоторого энергетического диапазона.

Угловое распределение излучения

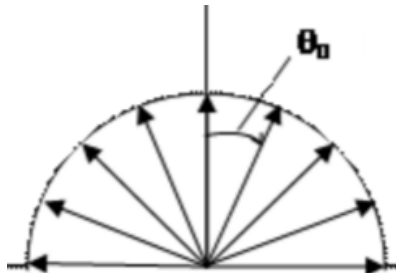
- по направленности излучения различают:

Источники ИИ

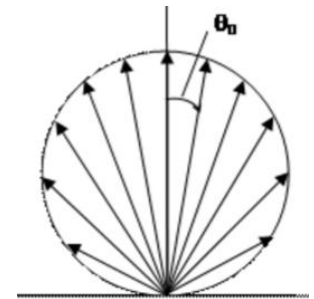
Мононаправ-
ленное излучение



Изотропное
излучение



Другие виды
(например,
косинусоидальное
распределение
излучения)



- **мононаправленный источник** – излучение распространяется в одном направлении, образуя плоскопараллельный пучок излучения;
- **изотропный источник** – любые направления распространения частиц и фотонов являются равновероятными.

Угловое распределение излучения

- **Точечный изотропный источник** – частицы и фотоны распространяются из одной точки по всем возможным направлениям с одинаковой вероятностью
- Свойства среды, в которой распространяется излучение, оказывают существенное влияние на его поле.
- В вакууме поле излучения радионуклидного источника имеет вид поля точечного изотропного источника (если расстояние между источником и приемником излучения намного больше линейных размеров источника)
- Но! По мере увеличения расстояния от источника поле его излучения в вакууме переходит в моноподобное.

