

Ионизирующие излучения

Явление радиоактивности

Радиоактивность – свойство самопроизвольного превращения ядер атомов одних химических элементов в другие, сопровождающееся испусканием ионизирующего излучения.

Слово **радиация** происходит от латинского radiatio (излучение). Вся Вселенная, мир, который нас окружает, состоят из двух видов объектов: непрерывных (полей) и дискретных (частиц). Первые это электромагнитные излучения (ЭМИ), вторые – молекулы и атомы. Длина волн ЭМИ варьирует от $3 \cdot 10^4$ - $3 \cdot 10^{-3}$ м (радиоволны) до 10^{-15} - 10^{-16} м (космические лучи). Рентгеновские (X-лучи), гамма-лучи и космические лучи имеют наименьший диапазон волн (10^{-8} - 10^{-16} м) и в связи с этим наибольшую проникающую способность. Последняя обратно пропорциональна длине волны, линейной потере энергии и плотности среды пробега, и находится в прямой зависимости от скорости распространения (это относится и к корпускулярным видам излучений).

Характеристика ионизирующих излучений.

Среди электромагнитных и корпускулярных излучений только те способны вызвать ионизацию и возбуждение, энергетические запасы которых больше энергии связи электронов в атоме. Эти излучения при прохождении через вещество (в том числе и через ткани организма) вызывают ионизацию и возбуждение атомов и молекул среды, образуя ионы (частицы, несущие положительные или отрицательные заряды). Ионизирующая способность пропорциональна массе ионизирующей частицы и обратно пропорциональна ее скорости.

Ионизирующие излучения состоят из следующих видов лучей: альфа (α), бета (β) и гамма (γ). α -лучи представляют поток ядер атомов гелия He^4_2 . β -лучи – поток либо электронов, либо позитронов. γ -лучи – коротковолновое электромагнитное излучение.

Рентгеновское излучение занимает область электромагнитного спектра между гамма- и ультрафиолетовым излучениями и представляет собой поток квантов (фотонов), распространяющихся прямолинейно со скоростью света. Эти кванты не имеют электрического заряда. Масса кванта составляет ничтожную часть атомной единицы массы. Рентгеновское излучение возникает при торможении быстрых электронов в электрическом поле атомов вещества или при перестройке внутренних оболочек атомов (характеристическое рентгеновское излучение).

Сравнительная характеристика ионизирующих излучений представлена в таблице.

Сравнительная характеристика ионизирующих излучений

Вид ИИ	Энергия (Мэв)	Скорость (км/с)	Длина пробега в воздухе	Длина пробега в тканях	Ионизирующая способность (пар/ионов)
α-лучи	1 – 10	20 000	20 см	50 мкм	До 20000 /мм
β-лучи	0,1 – 2,0	270 000	15 м	До 1 см	5 – 10 /мм
γ-лучи	1 - 20	300 000	Сотни м	Десятки см	1 – 2 /см

Основные свойства ионизирующих излучений:

1. Высокая проникающая способность.
2. Ионизирующая способность.
3. Не ощутимость воздействия (ни у одного из живых существ на Земле нет рецептора, способного воспринимать ИИ).
4. Способность вызывать отдаленные последствия после облучения.
5. Кумулятивное действие на организм (суммация всех облучений).

Источники ионизирующих излучений и виды радиоактивных распадов.

Облучение различают:

- **внешнее** - от источника, расположенного вне организма;
- **внутреннее** - в результате распада инкорпорированных в органах и тканях радиоактивных веществ.

Источниками ИИ являются ядра атомов **естественно радиоактивных элементов**, расположенных в конце таблицы Д.И. Менделеева ($z > 83$). Все эти элементы образуются в результате последовательных радиоактивных превращений и составляют **радиоактивные семейства**. Главными их являются элементы с максимальным порядковым номером, а конечным членом – стабильный элемент свинец (Pb).

В настоящее время установлены следующие **виды радиоактивного распада** и превращений атомных ядер:

альфа-распад, бета-распад, электронный захват, внутренняя конверсия, изомерные переходы, деление тяжелых ядер, синтез легких ядер.

Ядро атома состоит из протонов, нейтронов и других элементарных частиц, удерживающихся вместе благодаря ядерным силам сцепления, которые гораздо больше кулоновских сил отталкивания одноименно заряженных частиц, но действуют лишь на очень малых расстояниях. При приближенных расчетах масса протона и нейтрона округляется до единицы. Масса ядра равна сумме масс составляющих его протонов и нейтронов. Массовое число любого химического элемента представляет собой сумму масс протонов и нейтронов и обозначается буквой А; массой электронов пренебрегают.

Числу протонов в ядре соответствует количество электронов на орбитах, и в целом атом электронейтрален. Если из атома удалить электрон, он превращается в положительно заряженный ион. Если электрону сообщить энергию, недостаточную для его выбрасывания за пределы атома, он переходит на более высокий энергетический уровень и такой атом становится возбужденным.

Число протонов в ядре и соответствующее им число электронов в нейтральном атоме характерно для данного химического элемента и равно его порядковому номеру в таблице Менделеева.

Число нейтронов в ядре данного элемента может быть различным.

Такие разновидности атомов одного и того же элемента, отличающиеся по числу нейтронов, называются **изотопами**.

Изотопы имеют одинаковые химические свойства, но могут резко отличаться по физическим свойствам.

У многих изотопов ядра атомов нестойки, они распадаются с выделением излучений. Такие изотопы называются радиоактивными.

Для лечебных целей в практике медицинской радиологии используются радионуклиды (р/н), обладающие пятью первыми видами ядерных превращений. По современным представлениям в ядре протон и нейтрон с большой частотой (10^{-23} с) обмениваются пи-мезонами, превращаясь в друг друга. Их принято считать двумя состояниями одной ядерной частицы – нуклона. Нестабильность ядер может быть двоякой: либо избыток, либо недостаток нейтронов.

α -радиоактивными являются ядра атомов тяжелых элементов с избыточным количеством в ядрах и протонов и нейтронов. При этом распаде получается новый элемент, номер которого меньше на 2, а масса на 4 единицы исходного.

β -радиоактивными являются ядра атомов, в ядрах которых наблюдается избыток или недостаток нейтронов. Он характерен как для естественных, так и для искусственных р/н. Ядра, образующиеся при этом распаде дают в результате *изобары (элементы, атомы которых имеют одинаковую массу, но разный заряд)*, число зарядов которых увеличивается на 1 (при β^-). Или уменьшается на 1 (при β^+).

И α -распад и β -распады сопровождаются **γ -излучениями**. Чаще это происходит мгновенно, но иногда возбужденный уровень нуклида имеет большее время жизни (минуты или часы).

Это **метастабильные состояния ядра**. Такие радионуклиды испускают только **γ -излучение** (например, ^{99m}Tc), что обуславливает перспективность их применения в клинической диагностике вследствие небольших дозовых нагрузок и возможности получения их из генераторных систем в лабораторных условиях (например, генератор ^{99m}Tc – молибден ^{99}Mo). **α -излучающие р/н не могут быть β -излучающими** и наоборот.

Основной величиной, характеризующей радиоактивное вещество является его **физический период полураспада** ($T_{1/2\text{физ.}}$) – время, в течение которого распадается половина атомов радионуклида. Кроме того выделяют еще **биологический период полураспада** ($T_{1/2\text{биол.}}$) – время, за которое из организма выводится половина радионуклида и **эффективный период полураспада** ($T_{1/2\text{эф.}}$) – сумма двух предыдущих. Например, $T_{1/2}$ физ. урана около 5 млрд. лет, радия – 1590 лет, радона – несколько дней, радия А – несколько минут, радия С – 10^{-4} сек. Никакие усилия не могут разрушить атомы стабильных элементов. Радиоактивные же атомы, наоборот, разрушаются самопроизвольно, и никакие силы (ни температура, ни давление) не могут ни остановить, ни ускорить, ни задержать этот процесс. Единица, измеряющая энергию ядерных частиц называется **электрон-вольт (ЭВ)** – это кинетическая энергия электрона, прошедшего разность потенциалов в 1 вольт. $1 \text{ эв} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$.

Кулон (Кл) = $6,2 \times 10^{18}$ электронов.

Активность - мера количества радиоактивного вещества. Единица измерения системная Бк (Беккерель) - размерность 1 распад в 1 секунду. внесистемная - Ки (Кюри), размерность $3,7 \times 10^{10}$ распадов в секунду. $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$.

Характеристика доз.

Дозой ионизирующего излучения называется энергия, переданная излучением элементарному объему или массе облучаемого вещества.

Появление ядерных технологий и широкое применение ионизирующих излучений в медицинской практике, народном хозяйстве и научных исследованиях повысили возможность облучения человека в дозе, превышающей природный радиоактивный фон. Основное значение имеет медицинское облучение. Оно обуславливает примерно 90% популяционной дозы.

Техника безопасности и охрана труда при работе с ИИ регламентированы официальными документами. Контроль за выполнением инструкций осуществляют органы санитарного надзора. Но многие из требований должны быть известны каждому медицинскому работнику. Для персонала, занимающегося лучевой диагностикой предусмотрены особые дозовые пределы суммарного внешнего и внутреннего облучения за календарный год.

При радионуклидных диагностических исследованиях предельно допустимые дозы устанавливаются для того, чтобы предотвратить как непосредственное лучевое поражение, так и возможные генетические последствия.

Единицей активности радионуклида в системе СИ является **беккерель**.

1 Бк равен одному ядерному превращению за секунду.

На практике чаще пользуются внесистемной единицей **Кюри**. $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10}$ ядерных превращений за секунду.

Поглощенная доза (Д) - основная дозиметрическая единица. Она равна отношению средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме. Единицей поглощенной дозы в СИ является Грей (Гр). $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. Поглощенную дозу определяют расчетным путем или путем введения в облучаемые ткани и полости тела миниатюрных датчиков.

Летальная доза (ЛД) - количество ИИ, полученное всей поверхностью тела, которая является смертельной для человека или животного.

ЛД для всех млекопитающих = 10 Гр.

Пороговая доза (ПД) - минимальная доза облучения, ниже которой эффект повреждения не выявляется. Для человека ПД = 1 Гр.

Средняя летальная доза (ЛД₅₀) - количество радиации, полученное всей поверхностью тела и вызывающая смерть в 50% случаев. ЛД₅₀ для человека составляет 4-5 Гр.

Для оценки влияния ионизирующих излучений на здоровье человека и всего населения в целом большое значение имеет определение популяционных доз, ими обычно являются генетически значимые и среднекостномозговые дозы.

Биологическое действие каждого вида ИИ разное и зависит как от плотности ионизации, так и от способности передавать окружающим частицам энергию.

Относительная биологическая эффективность различных видов ИИ представлена в таблице.

Относительная биологическая эффективность (коэффициент качества излучения).

Вид ионизирующего излучения	Коэффициент качества (k)
1. R-, γ -излучения всех энергий	1
2. β -частицы, электроны и мюоны всех энергий	1
3. Протоны с энергией > 2 Мэв	5
4. Тепловые нейтроны энергий <10кэв	5
5. Нейтроны энергий 10 - 100 кэв	10
6. Нейтроны энергий от 100 кэв до 2 Мэв	20
7. Нейтроны с энергией 2 - 20 Мэв.	10
8. Нейтроны с энергией > 20 Мэв.	5
9. α -излучения и тяжелые ядра отдачи	20

Способы и методы защиты от ионизирующих излучений.

Методы защиты от ионизирующих излучений.

Противолучевая защита обеспечивается целым рядом факторов. К ним относятся правильное размещение радиодиагностических кабинетов в медицинских учреждениях и наличием стационарных и нестационарных защитных устройств. Существенным фактором противолучевой защиты является рациональное расположение рабочих мест персонала с максимальным удалением их от источников излучения - это так называемая защита расстоянием. Кроме того медицинский персонал сталкивающийся с ионизирующим излучением должен проходить специальную подготовку и выполнять свои функции как можно точнее и быстрее.

1. **Защита расстоянием** – интенсивность излучения уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния (если расстояние увеличить в 2 раза от источника ИИ, то интенсивность излучения уменьшится в 4 раза).
2. **Защита экраном** - на пути ИИ необходимо поставить преграду из материала, через который они не проникнут. Например, экраном от α -излучения является ткань или лист бумаги, от β -излучения - пластик, оргстекло, от γ -излучения - свинцовые блоки различной толщины, от нейтронного - баритобетон.
3. **Защита временем** - чем меньше времени мы находимся в зоне воздействия ИИ, тем меньшую дозу мы получаем (прямо пропорциональная зависимость).
4. **Защита количеством излучения** - необходимо вводить строго определенную дозу радиоактивного вещества для каждого конкретного исследования.

Способы защиты от ионизирующих излучений.

1. **Коллективные** - экраны, вытяжная система, защита проектированием помещений.
2. **Индивидуальные** - спецодежда, маски, перчатки, очки.