СВОЙСТВА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом.** В ве­ществе быстрые заряженные частицы взаимодействуют с элект­ронными оболочками и ядрами атомов. В результате взаимодей­ствия с быстрой заряженной частицей электрон получает до­полнительную энергию и переходит на один из удаленных от ядра энергетических уровней или совсем покидает атом. В первом случае происходит возбуждение, во втором — ионизация атома.

При прохождении вблизи атомного ядра быстрая частица испытывает торможение в его электрическом поле. Торможение заряженных частиц сопровождается испусканием квантов тормоз­ного рентгеновского излучения. Наконец, возможно упругое и неупругое соударение заряженных частиц с атомными ядрами.

Длина пробега частицы зависит от ее заряда, массы, началь­ной энергии, а также от свойств среды, в которой частица движется. Пробег увеличивается с возрастанием начальной энер­гии частицы и уменьшением плотности среды. При одинаковой начальной энергии массивные частицы обладают меньшими ско­ростями, чем легкие. Медленно движущиеся частицы взаимо­действуют с атомами более эффективно и быстрее растрачивают имеющуюся у них энергию.

Проникающую способность бета-частиц обычно характеризуют минимальной толщиной слоя вещества, полностью поглощающего все бета-частицы. Например, от потока бета-частиц, максималь­ная энергия которых 2 МэВ, полностью защищает слой алюминия толщиной 3,5 мм.

Альфа-частицы, обладающие значительно большей массой, чем бета-частицы, при столкновениях с электронами атомных обо­лочек испытывают очень небольшие отклонения от своего перво­начального направления и движутся почти прямолинейно. Про­беги альфа-частиц в веществе очень малы. Например, у альфа-частицы с энергией 4 МэВ длина пробега в воздухе примерно 2,5 см, в воде или в мягких тканях животных и человека — сотые доли миллиметра.

Благодаря небольшой проникающей способности альфа- и бета-излучения обычно не представляют большой опасности при внешнем облучении. Плотная одежда может поглотить значитель­ную часть бета-частиц и совсем не пропускает альфа-частицы. Однако при попадании внутрь человеческого организма с пищей, водой и воздухом или при загрязнении радиоактивными вещест­вами поверхности тела альфа- и бета-излучения могут причинить человеку серьезный вред.

Нейтроны, не имеющие электрического заряда, при движении в веществе не взаимодействуют с электронными оболочками атомов. При столкновениях с атомными ядрами они могут вы­бивать из них заряженные частицы, которые ионизируют и воз­буждают атомы среды.

Гамма-кванты взаимодействуют в основном с электронными оболочками атомов, передавая часть своей энергии электронам — это явления фотоэффекта (см. § 58), эффекта Комптона (см. § 63) или рождения электронно-позитронных пар (см. § 90). Во­зникающие быстрые электроны производят ионизацию атомов среды.

Пути пробега гамма-квантов и нейтронов в воздухе измеря­ются сотнями метров, в твердом веществе — десятками сантимет­ров и даже метрами. Проникающая способность гамма-излуче­ния увеличивается с ростом энергии гамма-квантов и умень­шается с увеличением плотности вещества-поглотителя. В табли­це 5 приведены в качестве примера значения толщины слоев воды, бетона и свинца, ослабляющих потоки гамма-излучения различ­ной энергии в десять раз.

Потоки гамма-квантов и нейтронов — наиболее проникающие виды ионизирующих излучений, поэтому при внешнем облучении они представляют для человека наибольшую опасность.

**Поглощенная доза ионизирующего излучения.** Универсальной мерой воздействия любого вида излучения на вещество является *поглощенная доза излучения,* равная отношению энергии, передан­ной ионизирующим излучением веществу, к массе вещества:

***D=E/m***

За единицу поглощенной дозы в СИ принят грей (Гр). 1 Гр *равен поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой* 1 кг *передается энергия ионизирующего из­лучения* 1 Дж:

1 Гр=1 Дж/1 кг=1 Дж/кг

Отношение поглощенной дозы излучения ко времени облу­чения называется *мощностью дозы излучения:*

***D=D/t***

Единица мощности поглощенной дозы в СИ — грей в секун­ду (Гр/с).

**Эквивалентная доза.** Поглощенная доза *D,* умноженная на коэффициент качества *k,* характеризует биологическое действие поглощенной дозы и называется *эквивалентной дозой Н:*

***H=Dk***

Единицей эквивалентной дозы в СИ является з и вер т (Зв). 1 Зв *равен эквивалентной дозе, при которой поглощенная доза равна* 1 Гр *и коэффициент качества равен единице.*

**Биологическое действие ионизирующих излучений.** Основа физического воздействия ядерных излучений на живые организ­мы — ионизация атомов и молекул в клетках.

При облучении человека смертельной дозой гамма-излучения, равной 6 Гр, в его организме выделяется энергия, равная при­мерно:

***E=mD=70* кг6 Гр=420 Дж.**

Такая энергия передается организму человека одной чайной ложкой горячей воды. Поскольку эта энергия мала, естественно предположить, что тепловое воздействие ионизирующей радиации не является непосредственной причиной лучевой болезни и гибели человека. Действительно, основной механизм биологического воз­действия ионизирующей радиации на живой организм обуслов­лен химическими процессами, происходящими в живых клетках после их облучения.

Организм млекопитающего состоит примерно на 75% из воды. При дозе 6 Гр в 1 см3 ткани происходит ионизация примерно 1015 молекул воды. Процессы ионизации и химических взаимодей­ствий продуктов ионизации происходят в клетке за миллионные доли секунды. Биохимические изменения в клетке, обусловленные образованием новых молекул, чуждых нормальной клетке, начи­наются сразу после момента облучения, но не завершаются за короткое время. Некоторые следствия биохимических измене­ний в клетке проявляются уже через несколько секунд после облучения, другие могут привести к гибели клетки или ее рако­вому перерождению через десятилетия.

Одним из первых следствий действия облучения на живую клетку является нарушение ее функции деления как самой слож­ной функции. Поэтому в первую очередь нарушаются функции органов и тканей организма, в которых происходит деление клеток, образование новых клеток.

**Острое поражение.** Острым поражением называют повреж­дение живого организма, вызванное действием больших доз облу­чения и проявляющееся в течение нескольких часов или дней после облучения. Первые признаки общего острого поражения организма взрослого человека обнаруживаются, начиная пример­но с 0,5—1,0 Зв. Эту эквивалентную дозу можно считать порого­вой для общего острого поражения при однократном облучении. При такой эквивалентной дозе начинаются нарушения в работе кроветворной системы человека. При эквивалентных дозах об­лучения всего тела 3—5 Зв около 50% облученных умирает от лучевой болезни в течение 1—2 месяцев. Главной причиной гибели людей при таких дозах облучения является поражение костного мозга, приводящее к резкому снижению числа лейкоци­тов в крови. При дозах облучения в 10—50 Зв смерть наступает через 1—2 недели от кровоизлияний в желудочно-кишечном тракте. Эти кровоизлияния происходят в результате гибели клеток слизистых оболочек кишечника и желудка.

**Отдаленные последствия облучения.** Значительная часть по­вреждений, вызванных радиацией в живых клетках, является необратимыми. Эти повреждения увеличивают вероятность воз­никновения различных заболеваний, из которых наиболее опасны раковые заболевания. Средняя продолжительность времени от момента облучения до гибели от лейкоза составляет 10 лет.

Вероятность возникновения ракового заболевания увеличи­вается пропорционально дозе облучения. Эквивалентная доза облучения 1 Зв в среднем приводит к 2 случаям лейкоза, 10 слу­чаям рака щитовидной железы, 10 случаям рака молочной железы у женщин, 5 случаям рака легких на 1000 облученных. Раковые заболевания других органов под действием облучения возникают значительно реже.

**Ядерные взрывы.** Ядерные взрывы, производимые с 1945 г. в атмосфере и под водой, привели к загрязнению атмосферы Земли и земной поверхности радиоактивными продуктами деле­ния ядер урана. Среди продуктов деления ядер урана наиболь­шую роль в длительном облучении играют радиоактивные изотопы стронция-90 и цезия-137 с периодами полураспада около 30 лет. Эти изотопы усваиваются из почвы растениями, затем с пищей попадают в организм человека и надолго задерживаются в его тканях и органах, подвергая организм внутреннему об­лучению.

**Биологическое влияние малых доз излучения.** Приносят ли дозы ионизирующего излучения, сравнимые с естественным фо­ном, какой-то ущерб здоровью человека? На этот вопрос невоз­можно дать точный и однозначный ответ, подобно тому, как нельзя дать однозначный ответ на вопрос о влиянии на орга­низм человека обычного солнечного света. Солнечный свет, без­условно, необходим человеку, без него жизнь на Земле невоз­можна. Но ультрафиолетовое излучение Солнца может вызвать ожог кожи, быть причиной заболеваний кожи и крови.

Аналогична картина и с естественным фоном ионизирующей радиации. С одной стороны, человек как вид появился на Земле в результате эволюции живой природы. Необходимыми условиями эволюции являются изменчивость и естественный отбор. Изменчивость есть следствие мутаций генов, а одним из факторов, вызывающих мутации, является естественный фон ионизирующей радиации. По современным представлениям, без участия естест­венного радиационного фона, вероятно, не было бы и жизни на Земле в настоящем ее виде. Поэтому нет оснований сетовать на судьбу, что нам досталась планета, содержащая в себе радио­активные изотопы. Не будь радиоактивности и космического излучения, видимо, не было бы и человека на Земле.

Но может быть, естественный фон ионизирующей радиации был полезным для эволюции жизни на ранних этапах ее разви­тия, но вреден сейчас?Против такого предположения свиде­тельствует ряд фактов.Опыты **с** растениями показали, что ес­ли их практически полностью защитить от внешнего ионизирующего излучения, удалить из почвы естественные радиоактивные изотопы, то развитие растений замедляется, их продуктивность снижается. Многократно повторенные опыты показали, что не­большие дозы излучения, сравнимые с уровнем естественного фона, стимулируют развитие растений. Сходные результаты полу­чены и в опытах на животных. Безвредность малых доз облу­чения для человеческого организма подтверждается исследова­ниями средней продолжительности жизни людей в зависимости от уровня естественного фона ионизирующей радиации.

**Предельно допустимые дозы.** Люди некоторых профессий под­вергаются дополнительному облучению ионизирующей радиацией. Это врачи-рентгенологи, работники атомных электростанций, уче­ные и технический персонал, работающие в области ядерной физики и физики элементарных частиц, космонавты. Полностью устранить дополнительное действие ионизирующей радиации на их рабочих местах оказывается невозможным. Поэтому нужно было определить допустимую границу дополнительной дозы облу­чения.

*Предельно допустимой дозой* (ПДД) облучения для лиц, про­фессионально связанных с использованием источников ионизи­рующей радиации, является 50 мЗв за год. Этот уровень облучения был принят за допустимый на том основании, что он близок к уровню естественного радиационного фона в некоторых местах на Земле и никаких отрицательных последствий для человека при действии таких доз не обнаружено. Санитарными нормами установлен допустимый уровень разового аварийного облучения для населения—0,1 Зв. Это примерно равно дозе фонового облучения человека за всю жизнь.

В качестве предельно допустимой дозы систематического об­лучения населения установлена эквивалентная доза облучения 5 мЗв за год, т. е. 0,1 ПДД.

За все время жизни человека (70 лет) допустимая доза облучения для населения составляет 5 мЗв/год-70 лет= =350 м3в=0,35 Зв.

**Радиофобия.** Паническую боязнь любого ионизирующего из­лучения в любом количестве называют *радиофобией* (от греч. *phobos —* страх). Неразумно выбегать из комнаты, в которой ра­ботает счетчик Гейгера и регистрирует естественный радиоак­тивный фон. Он лишь регистрирует то, что есть в природе. Неразумно пугаться радиоактивного препарата, от которого счет­чик регистрирует 100 или даже 1000 импульсов в минуту. Нужно понимать, что такой препарат не более опасен, чем любой человек, так как в теле человека происходит примерно 5-Ю5 распадов в минуту. Скорость счета счетчика почти не увеличивается при приближении к нему человека не потому, что человек не радиоак­тивен, а лишь потому, что практически все бета-частицы, ис­пускаемые радиоактивными ядрами в теле человека, поглощаются в тканях его организма.

Радиофобия в настоящее время распространилась на телеви­зор как источник рентгеновского излучения и на самолет как транспортное средство, выносящее человека в верхние слои ат­мосферы, где более высок уровень космического излучения. Те­левизор действительно является источником рентгеновского излу­чения, но очень мягкого и малой мощности. При ежедневном просмотре телевизионных программ по три-четыре часа в день за год будет получена доза порядка 10 -5 Зв. Это в 100—200 раз меньше уровня естественного фона. Полет в современном самолете на расстояние 2000 км обусловливает примерно такое же облуче­ние, т.е. одну сотую долю среднего значения уровня естествен­ного облучения в год.

Уменьшение дозы излучения при необходимости работы с источником ионизирующего излучения может быть осуществлено тремя путями: увеличением расстояния от источника; уменьше­нием времени пребывания около источника; установкой экрана, поглощающего излучение. При удалении от точечного источника доза излучения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния.