

2.3.1 Рентгеновское излучение

Рентгеновские лучи - электромагнитное ионизирующее излучение, занимающее спектральную область между гамма- и ультрафиолетовым излучением в пределах длин волн $10^{-3} - 100$ нм (от 10^{-12} до 10^{-5} см). Энергетический диапазон от 100 эВ до 0,1 МэВ. Рентгеновские лучи с длиной волны $l < 0,2$ нм условно называются жёсткими, с $l > 0,2$ нм — мягкими рентгеновскими лучами.

Рентгеновские лучи используются в медицине для исследований, диагностики и лечения определенных органических нарушений органов тела, в особенности - внутренних органов. Открыты в 1895 году В.К.Рентгеном и названы им X-лучами (этот термин применяется во многих странах).

В зависимости от механизма возникновения рентгеновских лучей их спектры могут быть непрерывными (тормозными) или линейчатыми (характеристическими).

Линейчатое излучение возникает после ионизации атома с выбрасыванием электрона одной из его внутренних оболочек. Такая ионизация может быть результатом столкновения атома с быстрой частицей, например электроном (первичные рентгеновские лучи), или поглощения атомом фотона (флуоресцентные рентгеновские). Ионизованный атом оказывается в начальном квантовом состоянии на одном из высоких уровней энергии и через $10^{-16} - 10^{-15}$ сек переходит в конечное состояние с меньшей энергией. При этом избыток энергии атом может испустить в виде фотона определённой частоты. Частоты линий спектра такого излучения характерны для атомов каждого элемента, поэтому линейчатый рентгеновский спектр называется характеристическим. Зависимость частоты ν линий этого спектра от атомного номера Z определяется законом Мозли: $\sqrt{\nu} = AZ + B$, где A и B — величины, постоянные для каждой линии спектра.

Характеристическое рентгеновское излучение — электромагнитное излучение, испускаемое при переходах электронов с внешних электронных оболочек атома на внутренние (характеристический спектр).

Характеристический спектр — линейчатый рентгеновский спектр, возникающий при переходах электронов верхних оболочек атома на более близко расположенные к ядру K-, L-, M-, N – оболочки. Частоты линий характеристического спектра химических элементов подчиняется закону Мозли (Рис.7).

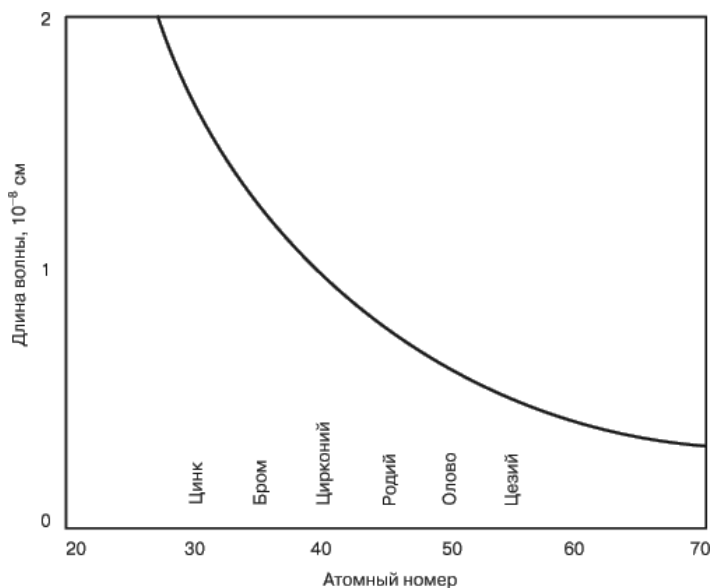


Рис. 7. Длина волны характеристического рентгеновского излучения, испускаемого химическими элементами, зависит от атомного номера элемента. Кривая соответствует закону Мозли: чем больше атомный номер элемента, тем меньше длина волны характеристической линии.

Закон Мозли — линейная зависимость квадратного корня из частоты характеристического рентгеновского излучения от атомного номера химического элемента. Установлен экспериментально Г.Мозли в 1913 году. Закон Мозли — основа рентгеновского спектрального анализа.

Непрерывный рентгеновский спектр испускают быстрые заряженные частицы в результате их торможения при взаимодействии с атомами мишени;

этот спектр достигает значительной интенсивности лишь при бомбардировке мишени электронами. Интенсивность тормозных рентгеновских лучей распределена по всем частотам до высокочастотной границы ν_0 , на которой энергия фотонов $h\nu_0$ (h — Планка постоянная) равна энергии eV бомбардирующих электронов (e — заряд электрона, V — разность потенциалов ускоряющего поля, пройденная ими). Этой частоте соответствует коротковолновая граница спектра $l_0 = hc/eV$ (c — скорость света).

Тормозное рентгеновское излучение.

Тормозное рентгеновское излучение (рентгеновские лучи) с непрерывным энергетическим спектром - коротковолновое электромагнитное (фотонное) излучение. Диапазон частот, $3 \cdot 10^{16} \div 3 \cdot 10^{19}$ Гц, диапазон длин волн $10^{-8} \div 10^{-12}$, м. Образуется при уменьшении кинетической энергии (торможении, рассеянии) быстрых заряженных частиц, например, при торможении в кулоновском поле ускоренных электронов. Существенно для легких частиц электронов и позитронов. Спектр тормозного излучения непрерывен, максимальная энергия равна начальной энергии частицы.

Обычный рентгеновский спектр состоит из непрерывного спектра (континуума) и характеристических линий (острые пики). Линии $K\alpha$ и $K\beta$ возникают вследствие взаимодействий ускоренных электронов с электронами внутренней K -оболочки (**Рис.8**).

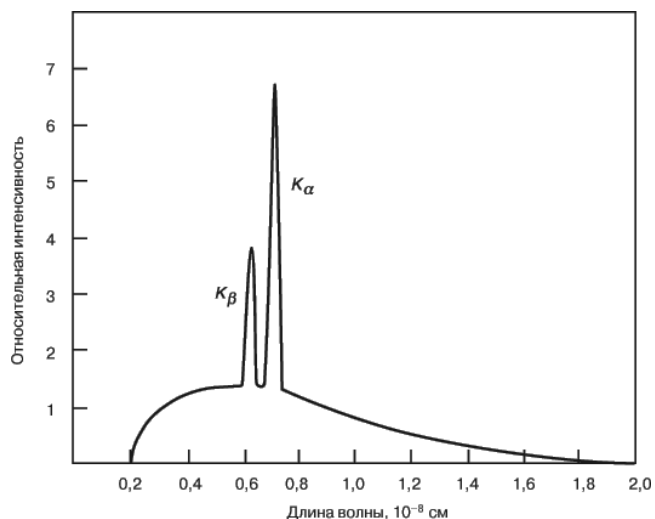


Рис. 8. Типичный рентгеновский спектр.

Примеры: тормозное рентгеновское излучение в рентгеновской трубке, тормозное гамма-излучение быстрых электронов ускорителя при их попадании на мишень и т. д. Традиционный метод генерации рентгеновских лучей - бомбардировка металлического электрода в вакуумной трубке пучком ускоренных электродов. Рентгеновское излучение обладает большой проникающей

способностью, действует на фотографическую эмульсию, вызывает люминесценцию, активно действует на клетки живого организма, ионизирует газы, взаимодействует с ионами кристаллической решётки, обладает корпускулярными свойствами, невидимо.

Тормозное рентгеновское излучение, испускаемое очень тонкими мишенями, полностью поляризовано вблизи n_0 ; с уменьшением n степень поляризации падает. Характеристическое излучение, как правило, не поляризовано.

Рентгеновское излучение применяется в медицине (рентгенотерапия, рентгенография), дефектоскопии, спектральном и структурном анализе (рентгеноструктурный анализ), лазеры.

При больших энергиях тормозящихся заряженных частиц, тормозное рентгеновское излучение переходит в энергетический диапазон γ - излучения.

Как и видимый свет, рентгеновское излучение вызывает почернение фотопленки. Это его свойство имеет важное значение для медицины, промышленности и научных исследований. Проходя сквозь исследуемый объект и падая затем на фотопленку, рентгеновское излучение изображает на ней его внутреннюю структуру. Поскольку проникающая способность рентгеновского излучения различна для разных материалов, менее прозрачные для него части объекта дают более светлые участки на фотоснимке, чем те, через которые излучение проникает хорошо. Так, костные ткани менее прозрачны для рентгеновского излучения, чем ткани, из которых состоит кожа и внутренние органы. Поэтому на рентгенограмме кости обозначатся как более светлые участки и более прозрачное для излучения место перелома может быть достаточно легко обнаружено. Рентгеновская съемка используется также в стоматологии для обнаружения кариеса и абсцессов в корнях зубов, а также в промышленности для обнаружения трещин в литье, пластмассах и резинах.

Рентгеновское излучение используется в химии для анализа соединений и в физике для исследования структуры кристаллов. Пучок рентгеновского излучения, проходя через химическое соединение, вызывает характерное вторичное излучение, спектроскопический анализ которого позволяет химику установить состав соединения. При падении на кристаллическое вещество пучок рентгеновских лучей рассеивается атомами кристалла, давая четкую правильную картину пятен и полос на фотопластинке, позволяющую установить внутреннюю структуру кристалла. Применение рентгеновского излучения при лечении рака основано на том, что оно убивает раковые клетки. Однако оно может оказать нежелательное влияние и на нормальные клетки. Поэтому при таком использовании рентгеновского излучения должна соблюдаться крайняя осторожность.