



Рис. 1. Схема K-, L- и M-уровней энергии атома и основные линии K- и L-серий; n, l, j — главное, орбитальное и внутреннее квантовые числа уровней энергий K, L₁, L₂ и др.

атомов возбуждается и испускает излучение q-серии: интенсивность I_q линий растёт. Для напряжений V_q < V < 3V_q интенсивность q-линий I_q ~ (V - V_q)². С дальнейшим ростом V рентг. излучение частично поглощается атомами анода при выходе из него, рост I_q замедляется. При V ≈ 11V_q с дальнейшим повышением V интенсивность I_q уменьшается, т. к. большинство возбуждённых атомов располагается так глубоко в аноде, что их излучение поглощается в нём.

При возбуждении первичным излучением флуоресценции в рентг. диапазоне длин волн (см. Люминесценция) интенсивность линий флуоресценции зависит от энергии ħω фотонов первичного излучения. Если ω < ω_q, где ω_q — частота порога возбуждения q-серии, то I_q = 0. При ω = ω_q появляется вся q-серия флуоресцентного излучения, но с дальнейшим возрастанием ω > ω_q интенсивность I_q быстро падает. Поэтому для возбуждения флуоресцентного излучения для анода используют вещество, яркие линии характеристич. спектра к-рого расположены со стороны частот ω > ω_q и как можно ближе к ω_q. Для возбуждения флуоресцентного излучения q-серии данного элемента можно также использовать тормозное излучение анода рентг. трубки из атомов элементов с возможно большим Z.

Интенсивность характеристич. спектра (как первичного, так и флуоресцентного) зависит от вероятности p_r излучат. перехода атома с вакансией на q-уровне, к-рая определяется суммарной вероятностью испускания фотонов при заполнении данной вакансии электроном каждого из вышерасположенных уровней. Однако с вероятностью p_A та же вакансия может заполняться электроном безызлучательно в результате *же-эффекта*. Для K-серии средних и тяжёлых элементов p_r > p_A, для лёгких элементов p_r < p_A. Для остальных серий всех элементов p_r ≪ p_A. Отношение f = p_r / (p_r + p_A) наз. выходом характеристич. излучения.

Кроме линий характеристич. излучения, появляющихся после однократной ионизации атома, в спектре обнаруживаются и более слабые линии, возникающие при двукратной (или даже многократной) ионизации атома, когда на разных его оболочках одноврем. образуются 2 (или более) вакансии. Если, напр., в атоме образовалась лишь одна вакансия в K-оболочке и она заполняется электроном L_{2,3}-оболочки, то атом испускает дублет Kα_{1,2}. Если кроме вакансии в K-оболочке в атоме образовалась ещё одна вакансия в L_{2,3}-оболочке, к-рая сохраняется при переходе атома из начального состояния двукратной ионизации KL_{2,3} в конечное состояние также двукратной ионизации L_{2,3}L_{2,3}, то атом испускает излучение с энергией, немного превышаю-

щей энергию дублета Kα_{1,2}: в спектре появляется дублет Kα_{3,4}, называемый сателлитом осн. дублета Kα_{1,2}. В результате процессов, связанных с начальной двукратной (или многократной) ионизацией атома, в Р. с. появляются многочисл. сателлиты — спутники осн. линий однократной ионизации атома. Интенсивность сателлитов в десятки или сотни раз слабее интенсивности осн. линии, однако при бомбардировке атомов тяжёлыми ионами высокой энергии вероятность многократной ионизации атома превосходит вероятность его однократной ионизации и интенсивность осн. линии оказывается значительно меньше интенсивности сателлитов.

Тормозной рентгеновский спектр. Тормозное излучение рентг. трубки возникает при рассеянии электронов на электростатич. поле атома. Потери энергии электрона на излучение при этом носит квантовый характер и сопровождается испусканием фотона с энергией ħω, к-рая не может превосходить кинетич. энергию ε электрона: ħω ≤ ε. Частота ω₀, соответствующая равенству ħω₀ = ε, наз. квантовой границей тормозного спектра. Длина волны λ₀ = 2πc/ω₀ (также называемая границей тормозного спектра) зависит от напряжения V на рентг. трубке:

$$\lambda_0 = hc/eV = 1,240/V$$

(λ₀ — в нм, V — в кВ). При λ < λ₀ интенсивность тормозного излучения I_T = 0. С ростом λ от λ₀ до λ_m = (3/2)λ₀ интенсивность I_T возрастает, а затем падает, т. к. возрастает поглощение тормозного излучения веществом анода, т. е. возбуждение его K-серии (рис. 2).



Рис. 2. Спектральное распределение интенсивности I_T тормозного излучения рентгеновской трубки по длинам волн λ; λ₀ — квантовая граница спектра, λ_m — длина волны излучения при максимальной интенсивности, λ_k — квантовая граница возбуждения K-серии атома анода.

Интенсивность I_T скачкообразно возрастает при значении λ, большем значения λ_k (см. ниже). В области больших λ становится существенным поглощение излучения «окном» рентг. трубки (атомами Be), вследствие чего при λ > 1,5 нм интенсивность рентг. излучения практически равна нулю. С возрастанием напряжения V на рентг. трубке λ₀ и λ_m сдвигаются в сторону меньших λ.

Спектр поглощения получают, пропуская тормозное излучение рентг. трубки или синхротронное излучение через тонкий поглотитель. При энергиях фотонов ħω > ε_K — энергия ионизации K-уровня атомов поглотителя) из атома в результате фотоэффекта могут быть вырваны электроны с любого из уровней энергии атома, т. е. в процессе поглощения участвуют электроны всех оболочек атома. При ε_L < ħω < ε_K электроны K-оболочки не вырываются излучением и в процессе поглощения участвуют лишь электроны всех остальных оболочек, начиная с L-оболочки. Поэтому при ħω = ε_K наблюдается скачок поглощения S_K. В этой точке спектра поглощение резко уменьшается и интенсивность рентг. излучения, прошедшего через поглотитель, скачком возрастает. Скачок поглощения S_K изменяется с ат. номером Z элементов от 35 для самых лёгких элементов до 5 для самых тяжёлых. Аналогичные скачки поглощения наблюдаются и при переходе через энергии ε_q остальных q-уровней атома. Поскольку каждой энергии ε_q соответствует свой скачок поглощения, эти энергии наз. крайями поглощения q-уровней. Каждый край поглощения определяет вместе с тем и квантовую границу возбуж-