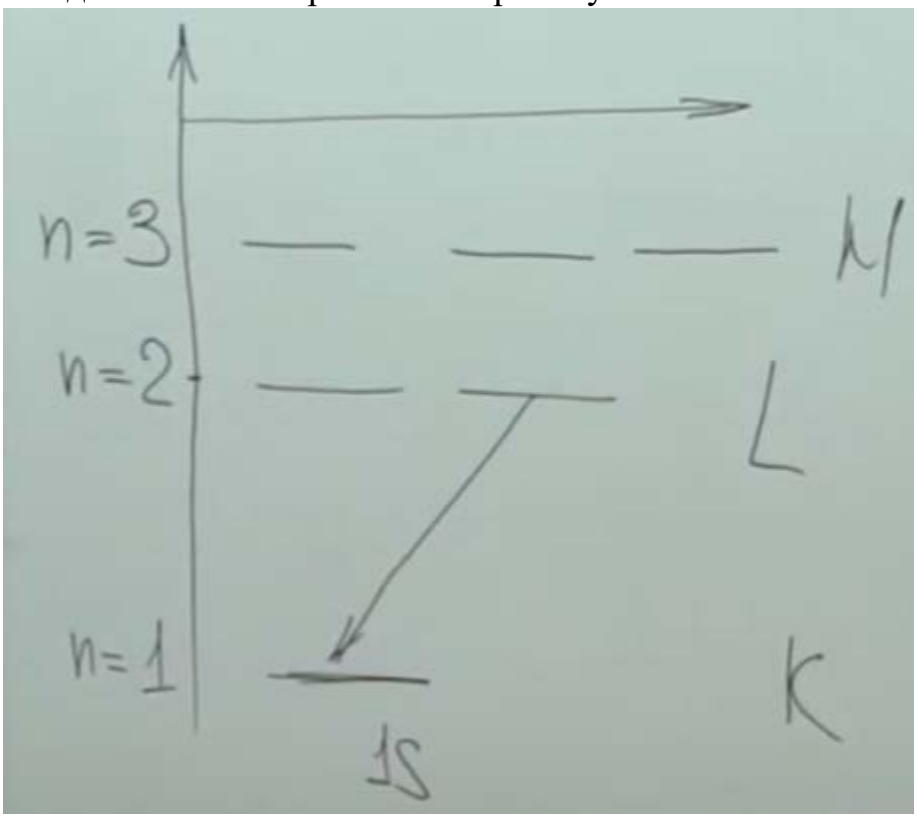
Мы с вами хорошо знаем спектр атома водорода и линии Лаймана, Бальмера и т.д.
Сейчас мы замобашим нечто похожее для многоэлектронных атомов.
Для водорода у нас есть формула

$$-E = \frac{Z^2 R_y}{n^2}$$

Было бы наивно думать, что она верна для всех атомов. Поэтому вводят т.н. $Z_{эфф}$:

$$-E = \frac{Z_{эфф}^2 R_y}{n^2}$$

А в остальном также.
Мы даже можем нарисовать картинку



В этой теме мы пренебрегаем тонкой структурой и считаем, что энергия уровней зависит только от n.
Мы можем нарисовать на этой картинке переходы Лаймана, Бальмера и прочих человек. Правда, теперь уровни энергии (и переходы) будут куда больше по модулю ввиду наличия множителя $Z_{эфф}^2$. Теперь понятно, почему эти переходы называются рентгеновскими – энергии у них гораздо больше, чем в атоме водорода, и будут они уже в рентгеновском диапазоне.

Дабы не путать с водородными сериями Лаймана, Бальмера и прочих грейтист пёрсон, в многоэлектронных атомах их называют чуть иначе.
Нижний уровень называют К
Следующий по высоте L
Далее идёт М
Таким образом, серию Лаймана для многоэлектронных атомов называют К-серией, а Бальмера – L-серией.

Физики стали исследовать $Z_{эфф}$ и, к их удивлению, обнаружили, что это просто $Z-\sigma_i$, где σ_i – т.н. константа экранирования, зависящая только от буквы серии.
σ_K приблизительно 1.
σ_L приблизительно 7,4.

Таким образом, энергия уровня будет $$-E = \frac{(Z-\sigma)^2}{n^2} R_y$$
Если нам нужно найти энергию К-уровня (n=1), то надо сюда поставить σ_K, если энергию L-уровня (n=2), то σ_L и т.д.

Задача.

17.1. Начиная с какого элемента периодической системы, можно наблюдать излучение *K* - и *L* – серий?

Решение. Чтобы наблюдать серию, должны быть энергетические уровни, откуда электрон может упасть на К-оболочку. Т.е. нужна оболочка с n=2.
Ответ: с лития.
Ну а для L-серии нужна оболочка, откуда электрон может упасть на L-оболочку. Т.е. нужна оболочка с n=3. Ответ: с натрия.
Проверяем ответы:

17.1. *K* – серию можно наблюдать начиная с лития, *L* – серию – начиная с натрия.

Немного поговорим об обозначениях. Переходы на К-оболочку с более верхних уровней образуют К-серию (аналог серии Лаймана).
Переход на К-оболочку с L-оболочки называется K_α
Переход на К-оболочку с М-оболочки называется K_β
Переход на К-оболочку с N-оболочки называется K_γ
Принцип обозначений, думаю понятен.
Переход на L-оболочку с М-оболочки называется L_α
Переход на L-оболочку с N-оболочки называется L_β
И т.д.

17.14. Оценить длину волны K_β линии рентгеновского излучения, испускаемого атомом ртути (Z=80, постоянная экранирования $\sigma_K \approx 1$).

Нас спрашивают про переход с М-оболочки (n=3) на К-оболочку (n=1).
Достаём формулы энергий для М-уровня
И К-уровня

$$-E_M = \frac{(Z-\sigma_M)^2}{3^2} Ry$$

$$-E_K = \frac{(Z-\sigma_K)^2}{1^2} Ry$$

Проблема – мы не знаем σ_M.
Очень странно, но почему-то если мы рассматриваем переход, то мы вправе и для начального, и для конечного уровня использовать одну и ту же константу экранирования – константу экранирования конечного уровня, т.е. σ_K. В эксперименте и в ответах задачника нужно делать именно так.
Заменяя σ_M на σ_K, получаем очень простой ответ:

$$\frac{8}{9}(Z-1)^2 Ry$$

С ответами сошлось.
Это энергия, а чтобы получить длину волны, нужно подсчитать (hc/ту энергию). Сами подсчитаете.

17.8. Оцените энергию фотоэлектронов, выбитых из K - оболочек урана ($Z = 92$) и свинца ($Z = 82$) рентгеновским излучением с энергией 150 кэВ.

Их энергия будет 150 кэВ – работа выхода. Их потенциальная энергия на К-оболочке есть $-E_K = \frac{(Z-\sigma_K)^2}{1^2} Ry$, работа выхода будет той же самой, но со знаком плюс. По сути нам надо просто подсчитать эту штуку, желательно в кэвах. 1 Ридберг – это 13,6 эВ. На фоне 150 кэВ ничтожно мало, но у нас есть множитель $(Z-\sigma_K)^2$.
Численные расчёты здесь https://www.desmos.com/calculator/uwro9jbp1z , все энергии в кэВ. Напомню, что для К-оболочки σ_K есть единица. С ответами сходится.

17.8. Для атомов урана ≈ 37 кэВ, для атомов свинца ≈ 61 кэВ.

Напоследок замечу, что у рентгеновских переходов тоже есть своя тонкая структура. Этому посвящены две следующих задачи.

17.15. Определить число компонент тонкой структуры головной линии L - серии рентгеновского излучения.

Сразу вопрос: а что такое головная линия? Ответ: это переходы на L-оболочку только с M-оболочки. Т.н. L_α.

Ну давайте соображать. На L-оболочке у нас два уровня: s и p. На M-оболочке три: s, p, d.

Помня про правило отбора (чётность должна поменяться), получаем следующие возможности:

Ms->Lp

Mp->Ls

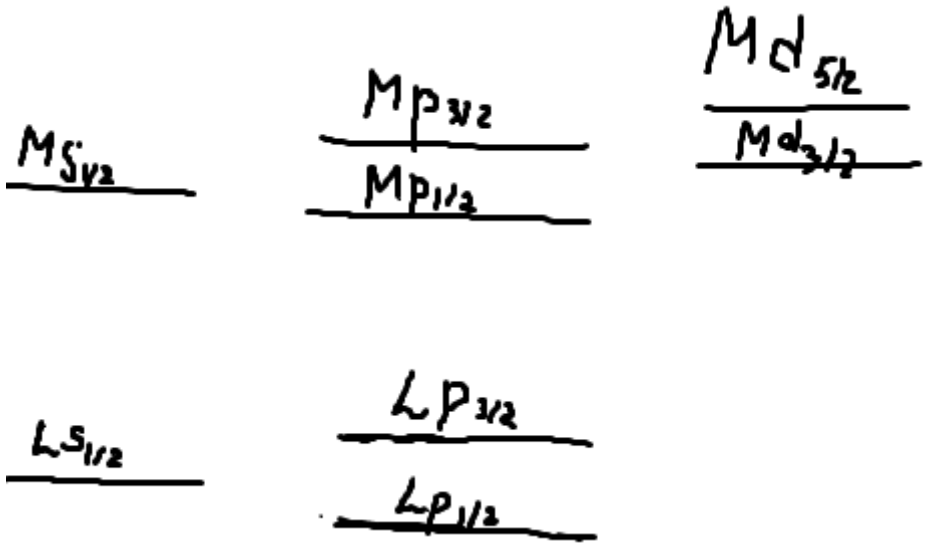
Mp->Ld

Md->Lp

Получаем всего четыре перехода. А в ответе сказано, что семь.

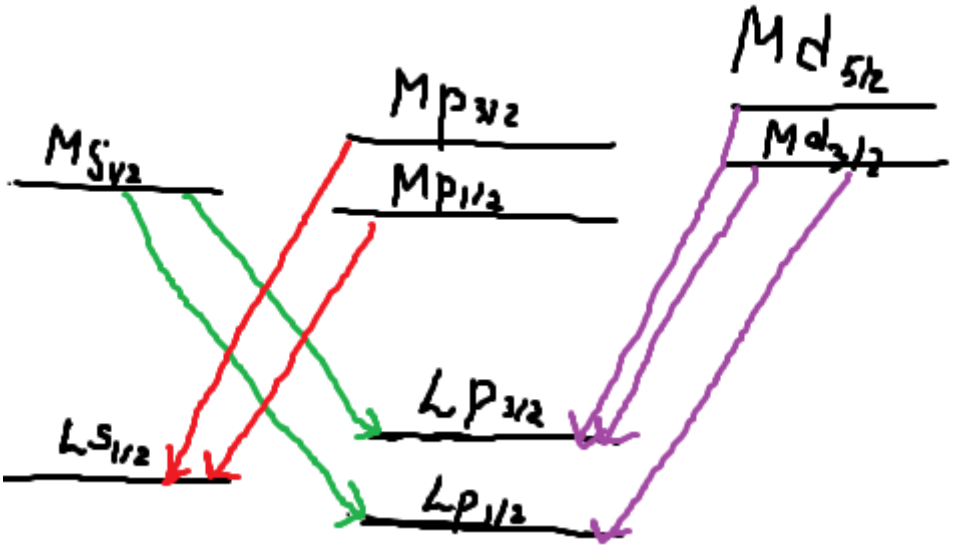
17.15. Головная линия L - серии рентгеновского излучения имеет семь компонент.

Потому что если мы будем учитывать лишь термы, а не состояния, то мы действительно получим 4. А нам надо ещё учитывать то, что некоторые термы представлены двумя состояниями с разным полным моментом J. Выглядеть это будет так:



Я не пишу спин и мультиплетность, толку от них в этой задача нет.

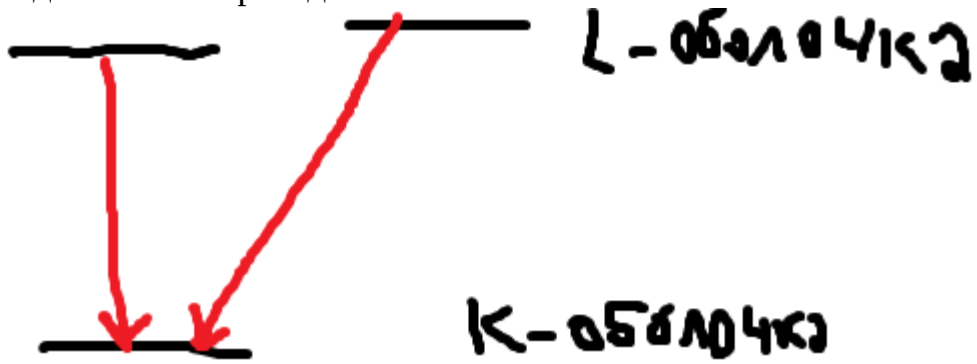
И вот они, семь переходов:



Наверняка вы рисовали подобную картинку для атома водорода. Но есть два отличия. Одно не принципиальное: для водорода вместо K,L,M мы используем циферки. Другое принципиальное: для атома водорода некоторые уровни расположены на одной высоте, и в результате семь энергий переходов вырождаются во всего лишь пять. У многоэлектронного атома наивно ожидать расположения некоторых уровней на одной высоте, и там в спектрографе мы увидим все семь линий.
Следующая задача тоже на тонкую структуру.

17.3. Найти величину расщепления (в электронвольтах) рентгеновского дублета $K_{\alpha 1}$ и $K_{\alpha 2}$ молибдена (константа экранирования для тонкой структуры в L - оболочке $a' \approx 3.5$).

Пояснение. Переход с L-оболочки на K-оболочку называется K_α. Но если мы рассматриваем тонкую структуру, то он разделяется на два подуровня: s-подоболочка и p-подоболочка.



От нас спрашивают разницу энергий красных стрелочек, т.е. просто расстояние между двумя уровнями на L-оболочке – s и p.
Для атома водорода была формула

$$\frac{\alpha^2 Z^4 Ry}{n^3 \ell(\ell+1)}$$

Уже догадываетесь, как её надо адаптировать для многоэлектронных атомов? Правильно: вместо Z подставить $Z_{эфф}$, т.е. Z-константа экранирования.

Вообще она для L-оболочки 7,4, но раз уж в условии нам дано другое значение (3,5), будем использовать именно его.
Итак, итоговая формула будет

$$\textbf{17.3.}\ \Delta E \approx \frac{\alpha^2 (Z - a')^4 Ry}{n^3 \ell(\ell+1)} \approx 100\ \text{эВ}.$$

Замечание. Один из переходов невозможен по правилу Лапорта (в нём чётность сохраняется). На самом деле он возможен, но не в дипольном приближении, а квадрупольном. Т.е. он возможен, но сильно подавлен.

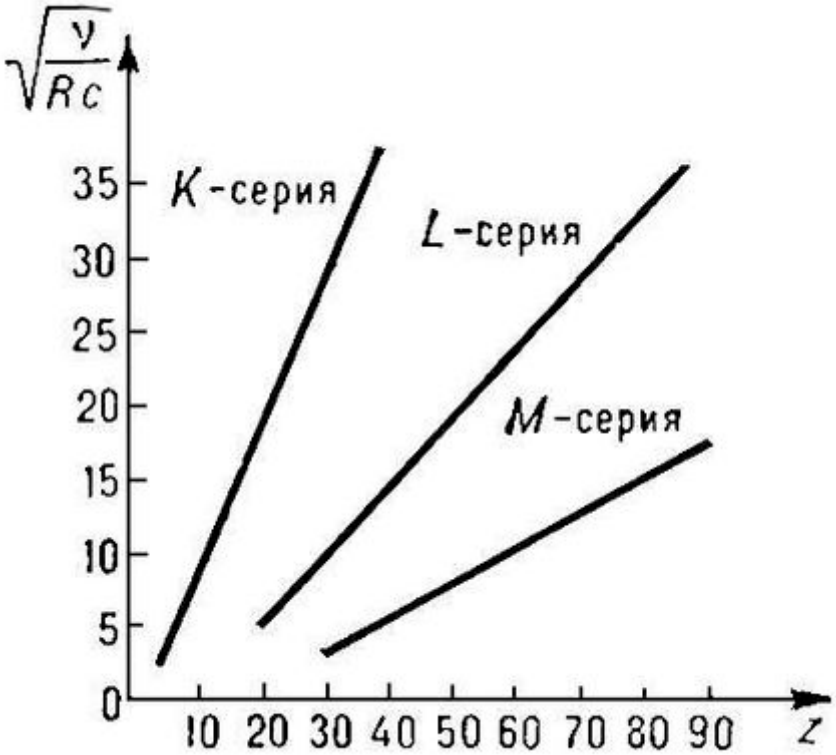
Закон Мозли.
Решать задачи он не помогает, но может всплыть на экзамене.
Как я уже сказал, что если мы рассматриваем переход, то мы вправе в исходном уровне взять ту же константу экранирования, что и для конечного.
Тогда для энергии перехода получаем такую формулу:

$$E_{\text{перехода}} = (Z - \sigma_{\text{конечн}})^2 R_y \left(\frac{1}{n^2_{\text{кон}}} - \frac{1}{n^2_{\text{нач}}}\right)$$

Возьмём из обеих частей квадратный корень:

$$\sqrt{E_{\text{перехода}}} = (Z - \sigma_{\text{конечн}}) \sqrt{R_y \left(\frac{1}{n^2_{\text{кон}}} - \frac{1}{n^2_{\text{нач}}}\right)}$$

Изучая рентгеновские спектры, физики заметили, что корень из частоты (энергии с точностью до коэффициента) перехода линейно зависит от зарядового числа элемента.



R – это Ry, ридберг.
Почему так? А как раз по той формуле

$$\sqrt{E_{\text{перехода}}} = (Z - \sigma_{\text{конечн}})\sqrt{R_y\left(\frac{1}{n^2_{\text{кон}}} - \frac{1}{n^2_{\text{нач}}}\right)}$$

Это и есть закон Мозли. Кстати, это один из экспериментальных способов установить заряд ядра атома.