

Эффект Зеемана – это эффект расщепления энергетических уровней в магнитном поле.

Если поле слабое, то нужно

1) Найти g-фактор для данного состояния по формуле $g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$

По-другому он называется фактор Ланде. Как правило, он положительный, хотя может быть и нулём, и отрицательным.

2) $\Delta E_H = \mu_B H g M_J$

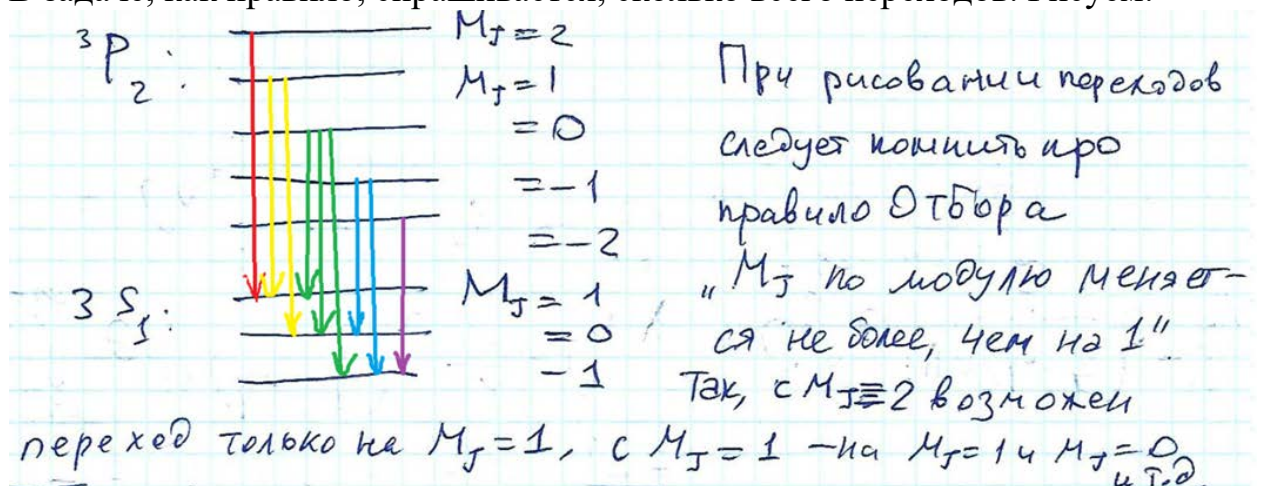
Магнетон Бора магн. напряжённость g-фактор проекция J

Какие на эффект Зеемана могут быть задачи? Конечно, хотелось бы, чтобы они были попроще: просто подсчитать, на сколько распадётся линия (на все M_J от $-J$ до J) или подсчитать энергию. Но кафедра атомки даёт задачи посложнее, комбинируя эффект Зеемана с теорией переходов:

Пример. Переход $^3P_2 \rightarrow ^3S_1$.
 У термина 3P_2 $J=2 \Rightarrow 5$ вариаций:
 $M_J = 0; \pm 1; \pm 2$.

У состояния 3S_1 $J=1 \Rightarrow 3$ вариации: $M_J = 0; \pm 1$.
 Проекция J не вносили никакого вклада в энергию, пока не было магн. поля, мы про них и не вспоминали. А вот сейчас они вступили.

В задаче, как правило, спрашивается, сколько всего переходов. Рисуем:



Отметим, что расстояние между соседними линиями верхнего состояния равно $\mu_B H_{\text{верхнего состояния}}$, а расстояние между соседними линиями верхнего состояния равно $\mu_B H_{\text{нижнего состояния}}$. Если два g-фактора не совпадут, вероятно, все переходы будут различаться по энергии. Если совпадут – будет некое вырождение.

Это был случай слабого поля, а что, если оно сильное?

Если поле сильное:

- 1) Посчитай M_L и $2M_S$. g-фактор здесь не нужен.
- 2) $\delta E = \mu_B H (M_L + 2M_S)$.

Глядя на формулы расщепления энергии, можем записать энергию перехода между двумя подуровнями одного терма, расщеплённого на подуровни магнитным полем:

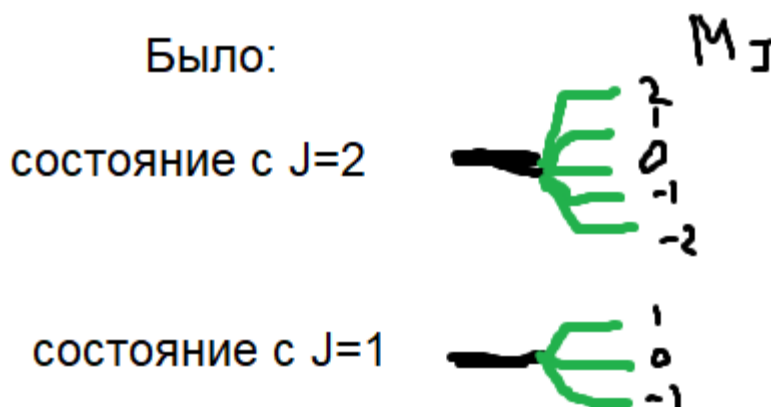
$$E_{\text{перехода}} = \mu_B H (\Delta M_L + 2 \Delta M_S)$$

-1, 0, 1

Спин и его проекция меняться не может, а проекция L – на -1, 0, 1. Получаем три линии – типичный сюжет в случае сильного поля.

Видно, **что в слабом поле расщепляются состояния** (там участвует J, полный момент). **В сильном поле расщепляются термы.**

И это логично. Состояния – это следующий этап итерации, нежели термы, энергетические расстояния между соседними состояниями очень малы по сравнению с расстояниями между термами, и слабое поле проявляется там, расщепляя состояния.



А величина расщепления ещё меньше, чем расстояние между состояниями. Вот это случай слабого поля.

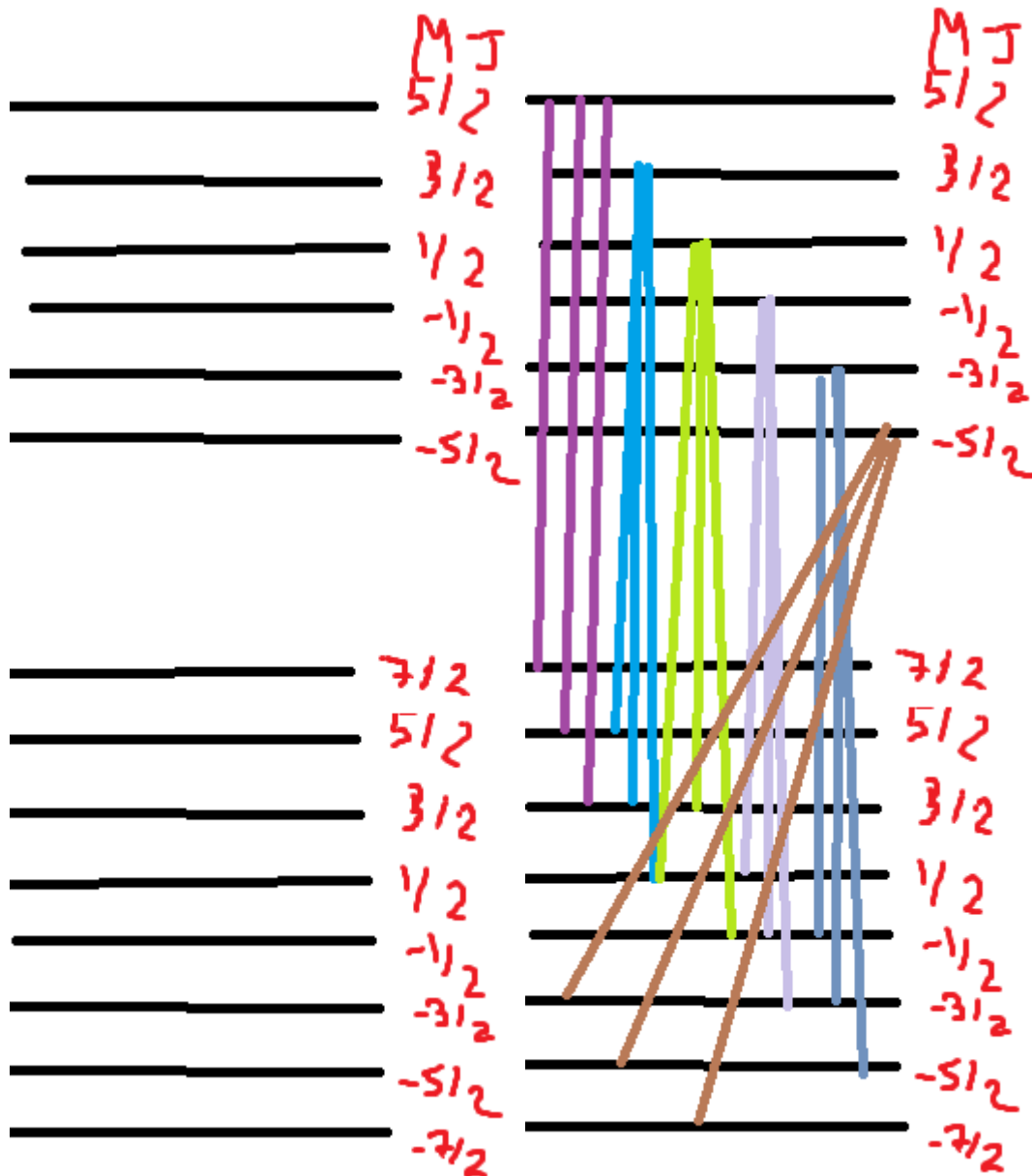
А сильное поле и расщепляет сильнее – уже не состояния, а термы.

Решим две задачи на слабое поле.

18.35. Изобразить графически расщепление уровней ${}^4D_{5/2}$ и ${}^4F_{7/2}$ в слабом магнитном поле и указать возможные переходы между ними.

У первого состояния $J=5/2 \Rightarrow M_J$ может принимать значения $-5/2, -3/2, -1/2, 1/2, 3/2, 5/2$ – шесть вариантов.

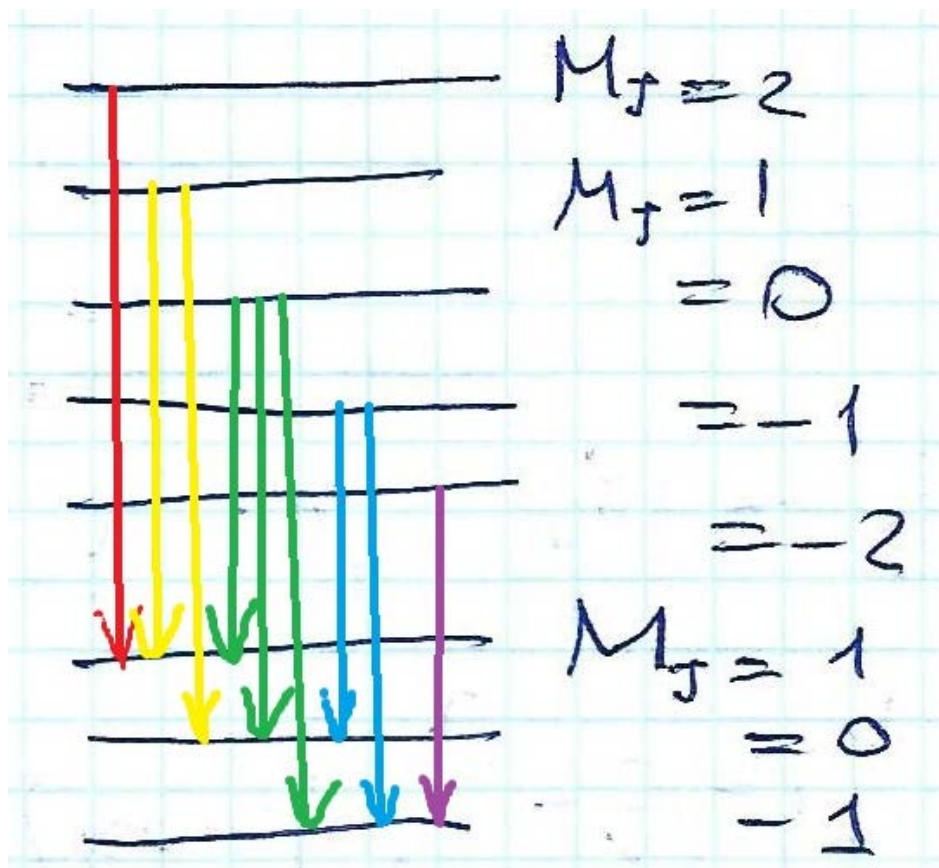
У второго состояния $J=7/2 \Rightarrow M_J$ может принимать значения $-7/2, -5/2, -3/2, -1/2, 1/2, 3/2, 5/2, 7/2$.



Единственное правило – чтобы M_J менялось на $-1, 0$ или 1 . Вот таким образом и рисуются все линии.

18.34. Сколько спектральных линий будет наблюдаться при переходах ${}^1D_2 \leftrightarrow {}^1P_1$ и ${}^3D_2 \leftrightarrow {}^3P_1$ в слабом магнитном поле?

В обоих случаях у верхнего состояния $J=2$ (он расщепится на 5: с M_J от -2 до 2), а у нижнего $J=1$ и он расщепится на 3. Будет вот такая картинка



9 возможных переходов, но некоторые из них могут совпасть по энергии. Надо считать g-факторы. Подставляем в формулы

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$$

Для верхних состояний $L=2$ (стоит буква «D»), $J=2$, а вот $S=0$ (для состояния, где мультиплетность 1) и $S=1$ (для второго состояния, где мультиплетность 3).

<https://www.desmos.com/calculator/fgvxjzapsd> - тут всё считается. Для $S=0$ g-фактор будет 1, $S=1$ – $7/6$.

Для нижнего состояния 3P_1 $L=1$ (стоит буква «P»), $S=1$ (мультиплетность 3), $J=1$ (нижний правый индекс). Получаем g-фактор $1,5$.

Пара $7/6$ и $3/2$ – здесь вырождения не будет, девять линий в спектрографе. А вот 1 и $3/2$ – вырождение будет.

Давайте считать для каждой стрелочки энергетический сдвиг её начала и конца, вызванный магнитным полем, а затем вычитанием находить длину стрелочки.

Красная стрелочка: верх $+2$, низ $+3/2 \Rightarrow +1/2$.

Жёлтые стрелочки: верх $+1$, низ $+3/2 \Rightarrow -1/2$.

верх $+1$, низ $+0 \Rightarrow 1$.

Зелёные стрелочки: верх 0 , низ $+1 \Rightarrow -1$.