

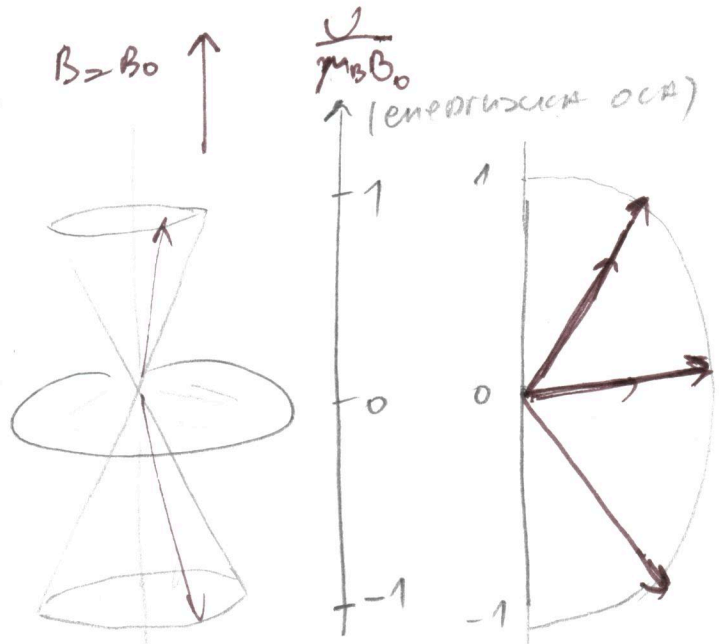
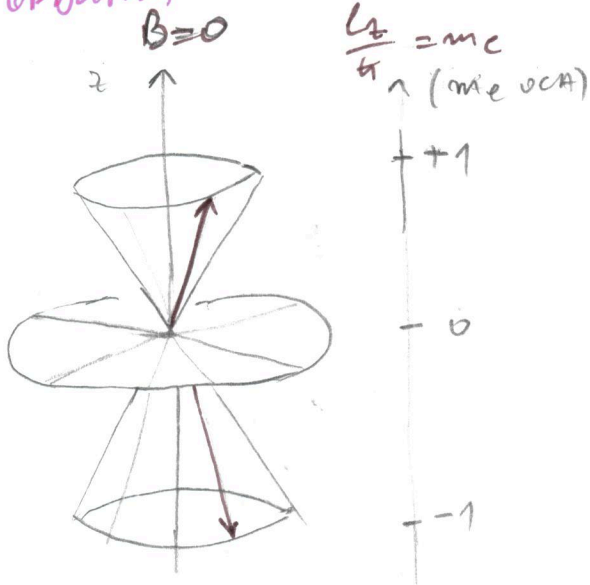
- АТОМ У МАГНЕТНОМ ПОЉУ -

- Земанов ефект 1886. године - целасе линија у спектру атома који се налазе у магнетном пољу
- Утерн-Гермахов оглед 1921. године - експериментална потврда просторне квантизације - дискретна вредност атомског углаог момента дати произвољно одабраног правца.
- Теорија о квантној природи микросвета. - Векторски модел се сликовити приказ.

- Углаони моменти у магнетном пољу:

(Вектор углаог момента прецесује у магнетном пољу и поставља се у једну од могућих дискретних оријентација; векторски модел билине одређује могуће углове оријентација и улаве пројективног момента на произвољно изабрану ос.)

• орбитални



- нема прецесије
- ниста енергија за све m_l
- стања су $(2l+1)$ дегенерисана
- ктле-простор где се вектор може наћи - "размизли на ктле"

- пресецаја Лорноров фреквенцијом

$$\vec{\omega}_L = -\mu_B \vec{B}_0 = \frac{e}{2m} \vec{B}_0$$

(иста за све m_l)

- методом $\vec{L}$ и $\vec{B}_0$ преко $\vec{M}_L$:

$$U_{me} = -\vec{M}_L \vec{B}_0 = -\mu_B B_0 = m_l \mu_B B$$

- стања имају разлику енергија
- ротирање ктле око осе фреквенц. ω_L (исто постоји $2l+1$ ктла)
- раве углава дегенерацију и ротира ктле $\vec{L}$ векторе

• прецесија углаог моменте била за опис вајне експериментална.

• процеса слика:

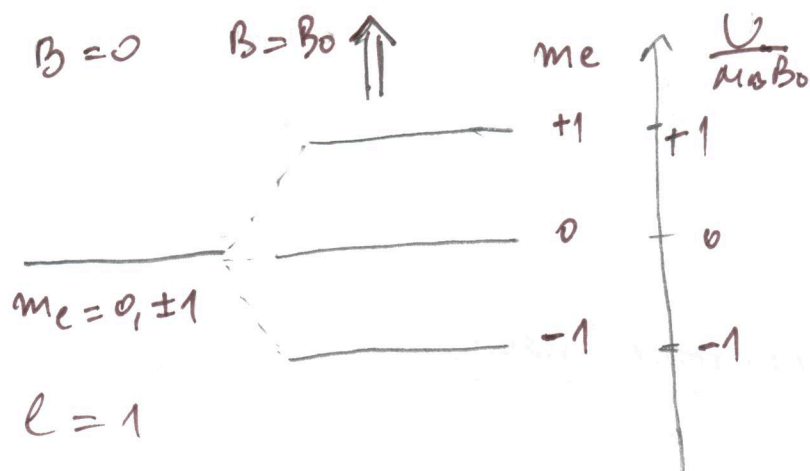
• Дискретна вредност $\vec{L}$ само вектор интензитета $|\vec{L}| = \sqrt{l(l+1)} \hbar$

- енергије пропорционалне пројекцији на z -ос.

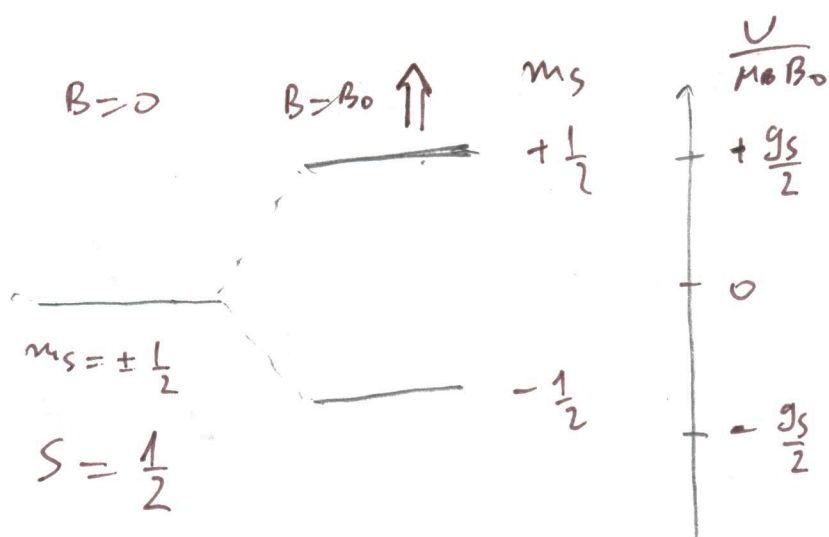
— Континно поредностъелне модел:

У место вектора џематски се приказуу само љихова енергиска стаџа — преизса векторског на модел енергиских стаџа.

(нема физиксе слике стаџа које модел представља — предност за љожене системе)



• Спитски



$$\vec{\omega}_{ls} = -\mu_s \vec{B}_0$$

$$\vec{\omega}_{ls} = +g_s \frac{e}{2m} \vec{B}_0$$

$$U = m_s g_s \mu_B B_0$$

$$\begin{aligned} U &= -\vec{\mu}_s \cdot \vec{B} = -\mu_s B \cos(\mu_s B) \\ &= -\mu_{sz} B = -\mu_s m_s B \\ &= +g_s \frac{e}{2m} m_s \hbar B \\ &= m_s g_s \mu_B B \end{aligned}$$

• Укџни

Величина магнетне инџције не мења само џитих меџаџезства већ и природу меџаџезства.

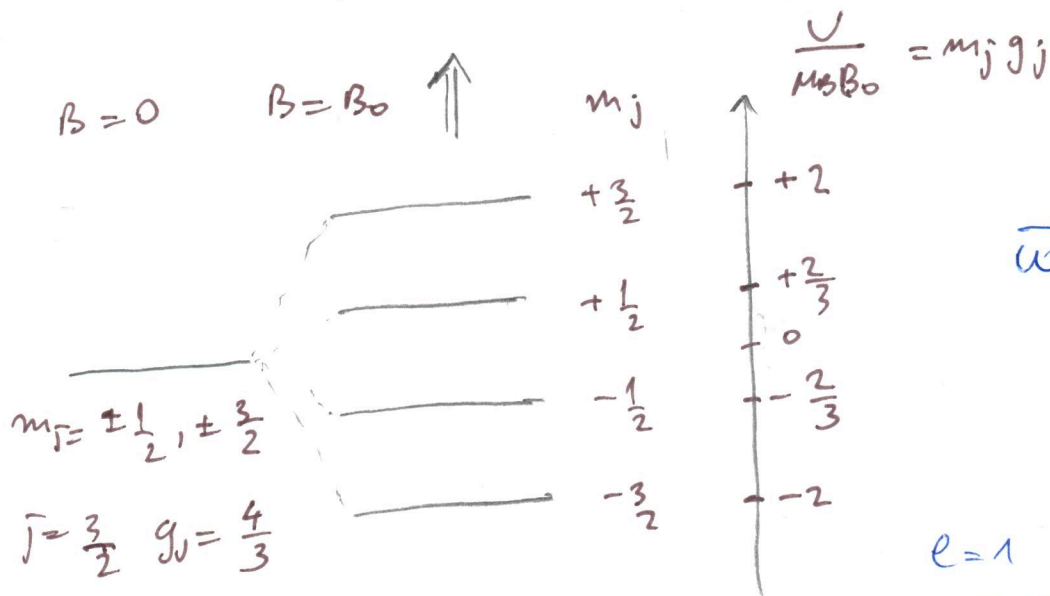
Слабо поле

енергиса меџаџезства љаџави $U_{m,j}$ џанемарљиво маџа џ орџност на енергиса спит-орбитног меџаџезства $U_{e,s}$, коџе се орџноси на џаџино аџомско магнетно поле $\Rightarrow U_{m,j} \ll U_{e,s}$

џаџо поле

$$U_{m,j} \gg U_{e,s} \Rightarrow \vec{B} \text{ са } \vec{\mu}_e \text{ и } \vec{\mu}_s \text{ џаџе иџо } U_{e,s}$$

• СЛАБО МАГНЕТО ПОЛЕ, $U_{m,j} \ll U_{e,s}$



$$\vec{\omega}_{LJ} = -g_j \mu_B \vec{B}_0$$

$$= g_j \left(\frac{\mu_B}{\hbar} \right) \vec{B}_0$$

$$\frac{e}{2m}$$

$$U_{m,j} = -(\vec{\mu}_j)_j \vec{B}_0$$

$$U_{m,j} = g_j m_j \mu_B B_0$$

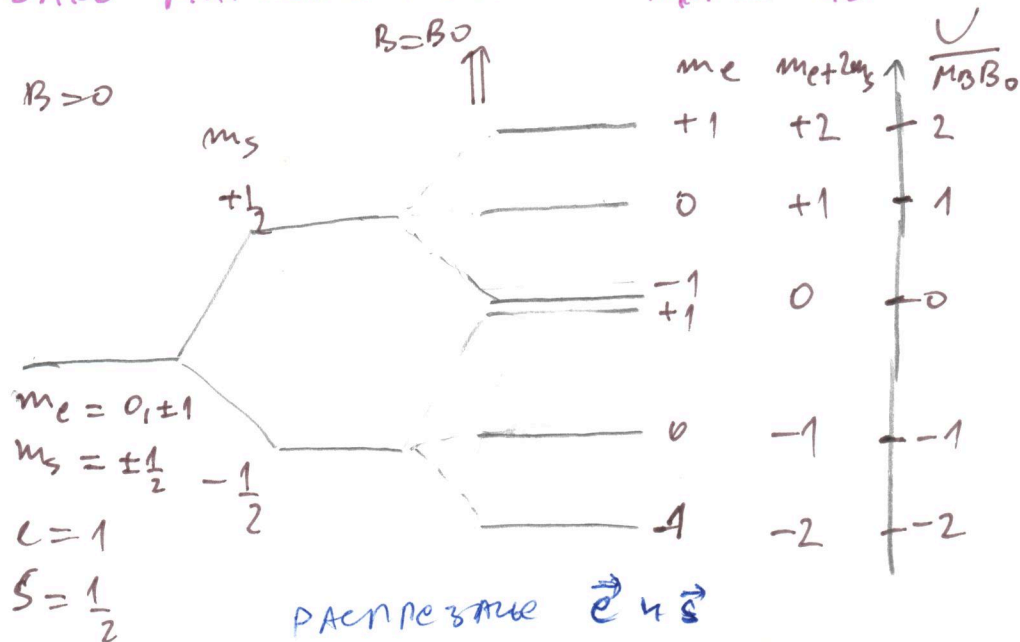
$$l=1 \quad s=\frac{1}{2} \quad j=\frac{3}{2}$$

$$g_j = 1 + \frac{\frac{3}{2}(\frac{3}{2}+1) - 1(1+1) + \frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1)}{2 \cdot \frac{3}{2}(\frac{3}{2}+1)}$$

$$= 1 + \frac{\frac{15}{4} - \frac{8}{4} + \frac{3}{4}}{2 \cdot \frac{15}{4}} = 1 + \frac{\frac{10}{4}}{\frac{15}{2}} = \frac{4}{3}$$

- Вектор $\vec{J}$ слагается из спинового компонента $\vec{S}$ и орбитального компонента $\vec{L}$ прецессиях около направления магнитного поля.
- Векторы $\vec{L}$ и $\vec{S}$ излучают энергию квантово.
- Прецессия $\vec{J}$ не такая как прецессия $\vec{L}$ и $\vec{S}$. Так как интерферент $\vec{J}$ более очевиден.

• СЛАБО МАГНЕТО ПОЛЕ $U_{m,e,s} \gg U_{e,s}$



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $\vec{L}$ И $\vec{S}$

$(2s+1)$ СПИНСКИХ ИЛИ

$(2l+1)$ ОРБИТАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ

СЛАБО МАГНЕТО ПОЛЕ

$$U_{m,e,s} = U_{m,e} + U_{m,s}$$

$$U_{m,e,s} = (m_l + g_s m_s) \mu_B B_0$$

$$U_{m,e,s} = (m_l \pm 1) \mu_B B_0$$

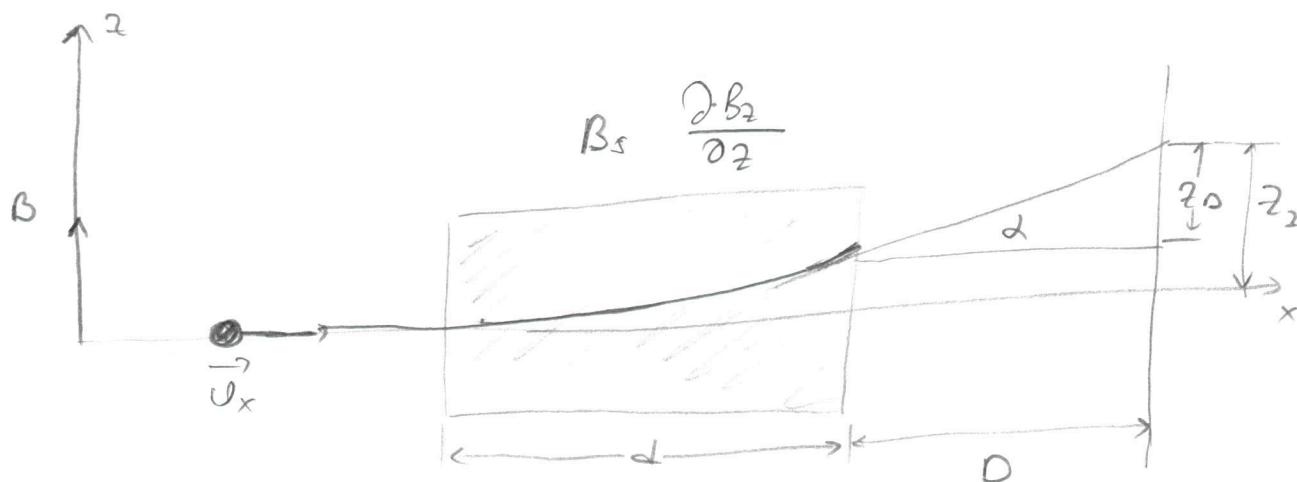
УКАЗАТЬ БРО СЛАБО

$$U_{e,s} = (2l+1)(2s+1) \quad s=\frac{1}{2}$$

$$0, 1, 2, \dots, l-1$$

$\vec{L}$ и $\vec{S}$ прецессиях около направления магнитного поля различиями частотами прецессии $\vec{L}$ и $\vec{S}$ и значения $\vec{J}$ имеет вид константы.

УТЕРН-ГЕРЛАХОВ ОГЛАД



$$F_z = \mu_z \left(\frac{\partial B}{\partial z} \right)$$

по условию: $v_x = \text{const}$ $v_y = 0$
 $v_z(0) = 0$ $z(0) = 0$

$$F_z = m_A \frac{dz^2}{dt^2}$$

$$\frac{dz^2}{dt^2} = \frac{F_z}{m_A}$$

$$\frac{dz}{dt} = v_z = \frac{F_z}{m_A} t + C_1$$

$$v_z(0) = 0 \quad C_1 = 0$$

$$z = \frac{F_z}{m_A} \frac{t^2}{2} + C_2$$

$$z(0) = 0 \quad C_2 = 0$$

$$z_d = \frac{1}{2} \frac{F_z}{m_A} t_d^2$$

$$t_d = \frac{d}{v_x}$$

$$x = v_x t$$

$$t = \frac{x}{v_x}$$

~~$$z = \frac{F_z}{m_A} \frac{t^2}{2}$$~~

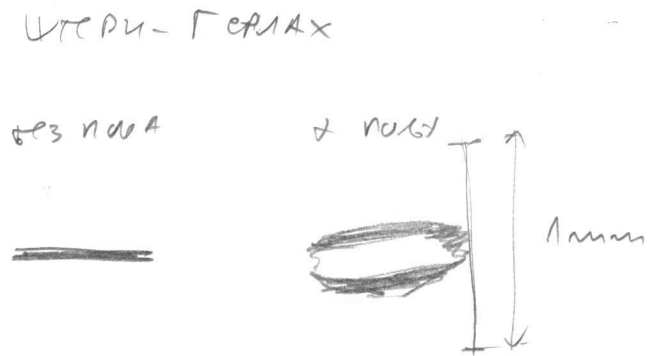
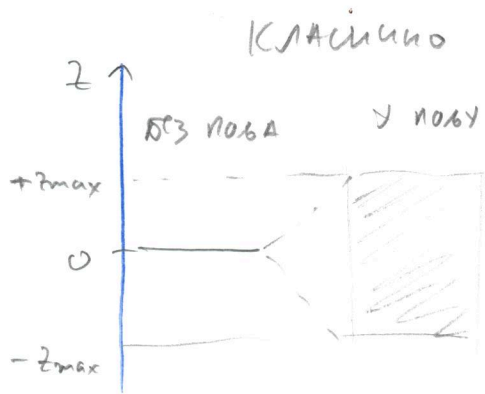
$$z(t) = \frac{F_z}{m_A} \frac{x^2}{2 v_x^2}$$

$$\left. \frac{dz}{dx} \right|_{x=d} = \frac{F_z d}{m_A v_x^2}$$

$$z'(t) = kx + m = \frac{F_z d}{m_A v_x^2} x + z_d \quad \mu \frac{\partial B}{\partial z}$$

$$z_z = \frac{F_z d}{m_A v_x^2} D + \frac{1}{2} \frac{F_z}{m_A} \frac{d^2}{v_x^2} = \frac{F_z d}{m_A v_x^2} \left(D + \frac{1}{2} d \right)$$

$$z_z = K \mu_z$$



• последи просторно квантовање магнетних (и спинских) момената

• $M_z = \pm M_B$

• H, Li, Na, K, Cs, Ag електрон $\pm$ s-спин има вредност за спин скретања $\Rightarrow$ експ. се спазива само с електрон

• величина и правца спинског момента одређујући за време његовог скретања кроз простор.



Спин скретање $\Rightarrow$ посматрање магнетног момента код слободног неутралног атома

Дискретни спинови $\Rightarrow$ посматрање просторно квантовања

Утери теоретичар који је заправо тражио доказ да квантна теорија не важи

Герлах - експериментатор.

$$\vec{F} = -\vec{\nabla} U \quad \vec{B} = B_z \vec{k} \quad |\vec{B}| = \text{const}$$

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \quad B_x = B_y = 0 \quad B_z = \text{const}$$

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} = \frac{\partial B_y}{\partial y} = 0 \quad \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0$$

$$\vec{F} = \vec{\mu} \cdot \vec{k} \frac{\partial B_z}{\partial z} \Rightarrow \boxed{\mu_z \frac{\partial B_z}{\partial z} = F_z}$$

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

$$m \frac{dv_x}{dt} = 0$$

$$v_x = v_{x0}$$

$$x = v_{x0} t$$

$$m \frac{dv_y}{dt} = 0$$

$$v_y = 0$$

$$y = 0$$

$$m \frac{dv_z}{dt} = F_z$$

$$v_z = \frac{F_z}{m} t + c$$

$$z = \frac{F_z}{2m} t^2 + c$$

$$z_d = \frac{F_z}{2m} \frac{d^2}{v_{x0}^2}$$

$$x = d \Rightarrow t_d = \frac{d}{v_{x0}}$$

$$z = f(x) \quad z' - z_0 = K(x - x_0)$$

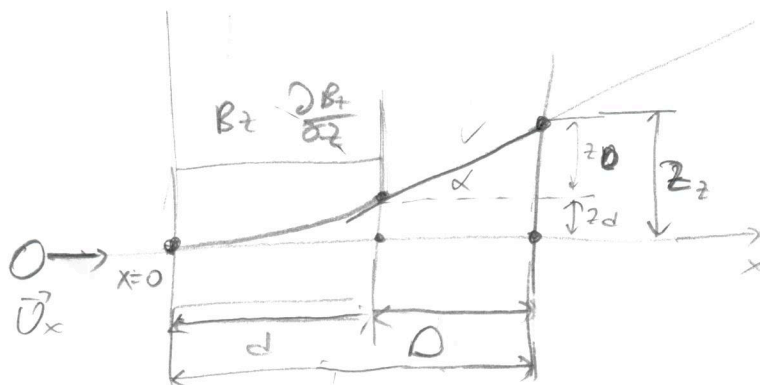
$$K = \tan \alpha = \left(\frac{dz}{dx} \right)_{x=d}$$

$$z = \frac{F_z}{2m} \frac{x^2}{v_{x0}^2}$$

$$\left(\frac{dz}{dx} \right)_{x=d} = \left(\frac{F_z}{2m} \frac{2x}{v_{x0}^2} \right)_{x=d} = \frac{F_z d}{m v_{x0}^2}$$

$$z' = \frac{F_z d}{m v_{x0}^2} (x - d) + z_d \quad z'(d + D) = \frac{F_z d}{m v_{x0}^2} D + \frac{F_z d^2}{2m v_{x0}^2}$$

$$\boxed{z_2 = \frac{F_z d}{m v_{x0}^2} \left(D + \frac{d}{2} \right) = K \mu_z}$$

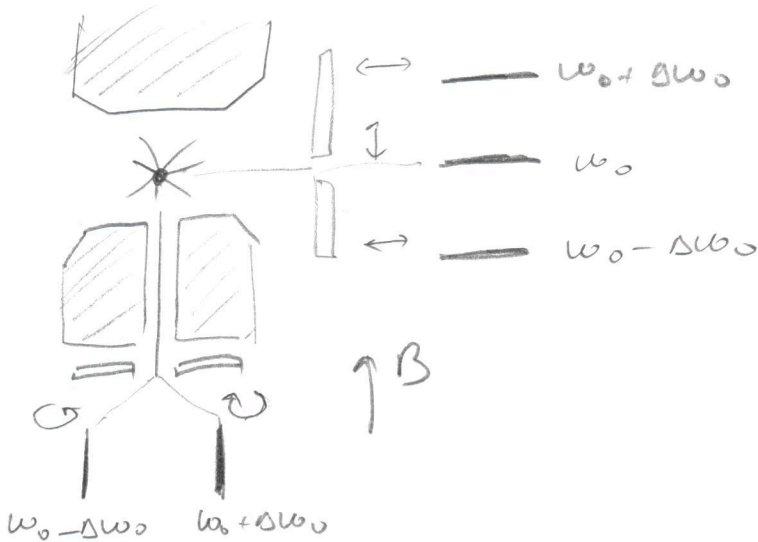


ЗЕМАНОВ ЕФЕКТ

ПОДАВА ЦЕЛНА Спектрална линија, на више компоненти КАДА се атоми кои их емитира напу у магнетном пољу.

НОРМАЛНИ
 $\sum \vec{S} = 0$

АНОМАЛНИ
 $\sum \vec{S} \neq 0$



- Класична Лоренцова теорија НОРМАЛНОГ ЗЕМАНОВОГ ЕФЕКТА

$$\omega = \omega_0 \pm \frac{e\hbar\omega_0}{2m}$$

промена фреквенције и ПОЛИРИЗАЦИЈА зрачења.

ИСТО СЕ ДОБИЈА ИТЕВАНТОМ МЕХАНИКИ ЗАТО ШТО ЛАРМОРОВА ФРЕКВЕНЦИЈА НЕ ЗАВИСИ ОД $\vec{B}$

- Опис преко векторског модела — НОРМАЛНИ ЗЕМАНОВ ЕФЕКТ

($\hbar\vec{r}, \hbar\vec{p}, \hbar\vec{S}, \hbar\vec{L}, \dots$) спински моменти се саривљају НАСТАЈАНО ПОЛИРИЗАЦИЈА на де јектаци момент атома као целине ЈЕДИНАК ОРБИТАЛНОМ МОМЕНТУ.

ПРАВИЛО ИЗБОРА

$$\Delta l = 1 \quad \Delta m_l = 0, \pm 1$$

($\Delta m_l = 0$ — момент спина који се емитира $\pm \hbar$)
НА АТОМ МОРА ПРОМЕНТИ СВОЈ УГЛОНИ МОМЕНТ



$$^1S_0 - ^1P_1 \quad ^1P_1 - ^1D_2 \quad ^1D_2 - ^1F_3 \text{ итд.}$$

$$S=0 \quad J=L$$

$$U_m = m_l \mu_B B_0$$

$$\Delta U_m = \Delta m_l \mu_B B_0$$

$$\Delta U = \Delta U_0 + \Delta U_m$$

$$\Delta m_l = +1 \quad \Delta U_{6+} = \Delta U_0 + \mu_B B_0$$

$$\Delta m_l = 0 \quad \Delta U_{\pi} = \Delta U_0$$

$$\Delta m_l = -1 \quad \Delta U_{6-} = \Delta U_0 - \mu_B B_0$$

$$\omega_{6+} = \omega_0 + \frac{e\hbar\omega_0}{2m}$$

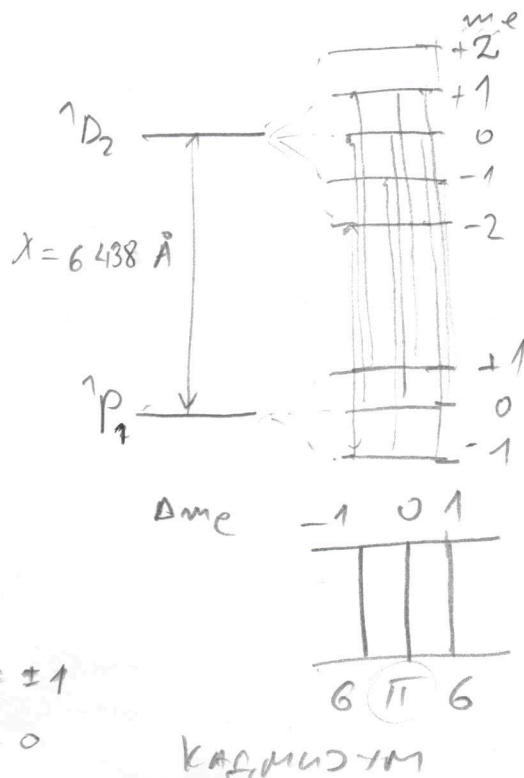
$$\omega_{\pi} = \omega_0$$

$$\omega_{6-} = \omega_0 - \frac{e\hbar\omega_0}{2m}$$

ЛАРМОРОВА ФРЕКВЕНЦИЈА.

6 — ЦИРКУЛАРНО ПОЛИРИЗОВАНО $\Delta m_l = \pm 1$

π — ЛИНЕАРНО ПОЛИРИЗОВАНО $\Delta m_l = 0$



КАДМИЈУМ

Аномалии Зеемана Спекта

опит ситма

2st1
Lj термови се разликују по релативном дугриности спинског и орбиталног магнетног момента што се изражава преко g_j :

$$g_j = 1 + \frac{j(j+1) - l(l+1) + s(s+1)}{2j(j+1)}$$

↑
јединствен за сваки терм

$$U_{m_j} = g_j m_j \mu_B B_0$$

$$U^{осн.} = U_0 + U_{m_j} = U_0 + g_j m_j \mu_B B_0$$

$$U^{ноб.} = U_0^{ноб.} + U_{m_j}^{ноб.} = U_0^{ноб.} + g_j^{ноб.} m_j \mu_B B_0$$

$$\Delta U = \Delta U_0^{ноб.} - \Delta U_0^{осн.}$$

$$\Delta U_{m_j} = \Delta U_0 + (g_j^{ноб.} m_j - g_j^{осн.} m_j) \mu_B B_0$$

$$\Pi: \Delta m = 0 \quad \Delta U_{m_j} = \Delta U_0 + (g_j^{осн.} - g_j) m_j \mu_B B_0$$

$$G^+: \Delta m = +1 \quad \Delta U_{m_j} = \Delta U_0 + (g_j^{осн.} - g_j) m_j \mu_B B_0 + g_j \mu_B B_0$$

$$G^-: \Delta m = -1 \quad \Delta U_{m_j}$$

$$3A \quad g_j^{осн.} = g_j^{ноб.} \Rightarrow \text{нормални Зееманов ефект}$$

$$g_j^{ноб.} > g_j^{осн.} \text{ за свако } m_j \text{ з прена } (G^+, \Pi, G^-) - 3(2j+1)$$

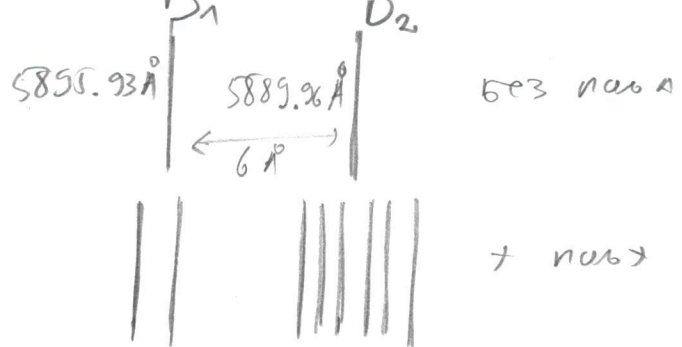
$$g_j^{осн.} = g_j^{осн.} \quad 3(2j+1) - 2$$

$$(U_{G^+} - U_{G^-}) m_j = \text{const} = 2g_j \mu_B B_0$$

Централне термова на јединствени начин зависи од квадратних бројева l, s и j (L, S, J код вишелектронских атома).

На атолет

$$^2S_{1/2} - ^2P_{1/2} \quad ^2S_{1/2} - ^2P_{3/2}$$

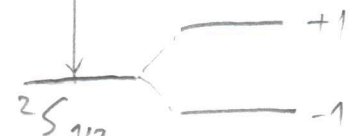
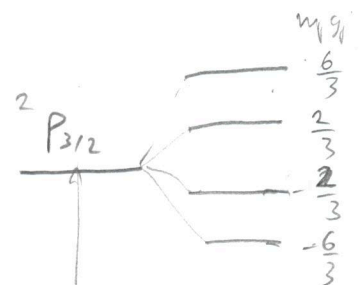
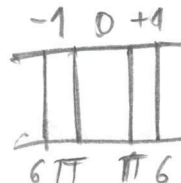
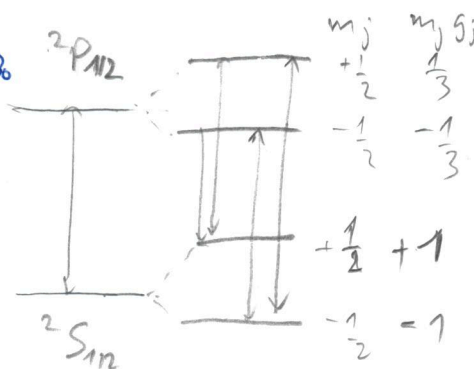


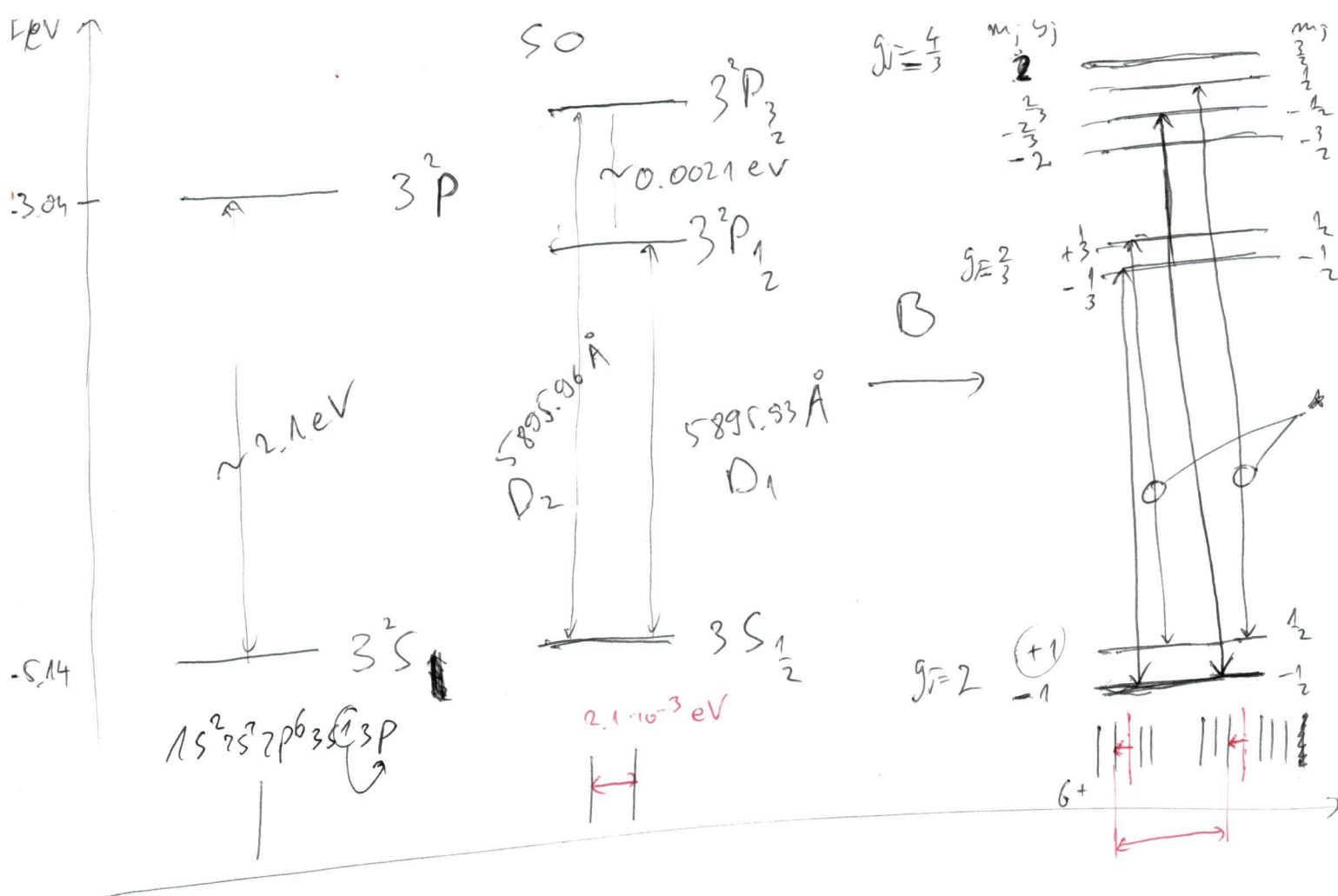
$$\mu_B = 9.274 \cdot 10^{-24} \frac{J}{T} \quad B = 1T$$

$$m_j g_j = \frac{6}{3}$$

$$U_{m_j} \approx 1.8 \cdot 10^{-23} J$$

$$U_{ee} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-6}} \approx 3 \cdot 10^{-19} J$$





$$U_{Ls} = \frac{1}{2} a [J(J+1) - L(L+1) - S(S+1)]$$

$$^2P_{1/2} \quad U_{Ls} = \frac{1}{2} a \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + 1 \right) - 1(1+1) - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + 1 \right) \right] = -a$$

$$^2P_{3/2} \quad U_{Ls} = \frac{1}{2} a \left[\frac{3}{2} \left(\frac{3}{2} + 1 \right) - 1(1+1) - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + 1 \right) \right] = +\frac{1}{2} a$$

$$\Delta U_{Ls} = \frac{3}{2} a = \frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2} = \boxed{3.42 \cdot 10^{-22}} = \boxed{2.1 \cdot 10^{-3} \text{ eV}}$$

$$\Downarrow \quad a = 2.278 \cdot 10^{-22} \text{ J} = 1.42 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$$

$$U = g_s m_s \mu_B B$$

$$\Delta U = g_s \Delta m_s \mu_B B$$

$$\Delta U = 2 \mu_B B$$

$$\mu_B = 9.274 \cdot 10^{-24} \text{ J/T}$$

$$\Rightarrow B = \frac{\Delta U_{Ls}}{2 \mu_B} = 18.4 \text{ T}$$

$$\Delta U_{s,p} =$$

ЗЕРМАНОВ эффект:

$$U = g_j m_j \mu_B B_0 + U_0$$

$$\Delta U_{p_{1/2}} = \frac{2}{3} \mu_B B_0 + U_{0,1/2} - U_{0,1/2}^{sm}$$

$$\Delta U_{p_{3/2}} = \mu_B B_0 + U_{0,3/2} - U_{0,3/2}^{sm}$$

D_1 пропорциональна $\mu_B B_0$

$$\Delta U_{p_{3/2}} = \frac{1}{3} \mu_B B_0 + (U_{0,3/2} - U_{0,3/2}^{sm})$$

$$\frac{1}{3} \cdot 9.274 \cdot 10^{-24} \cdot 18.4 \text{ T} = \boxed{3.08 \cdot 10^{-24}} = \boxed{1.93 \cdot 10^{-5} \text{ eV}}$$

$^2D_{\frac{5}{2}}$

$$g_J = \frac{6}{5}$$

$^2P_{\frac{3}{2}}$

$$g_J = \frac{4}{3}$$

