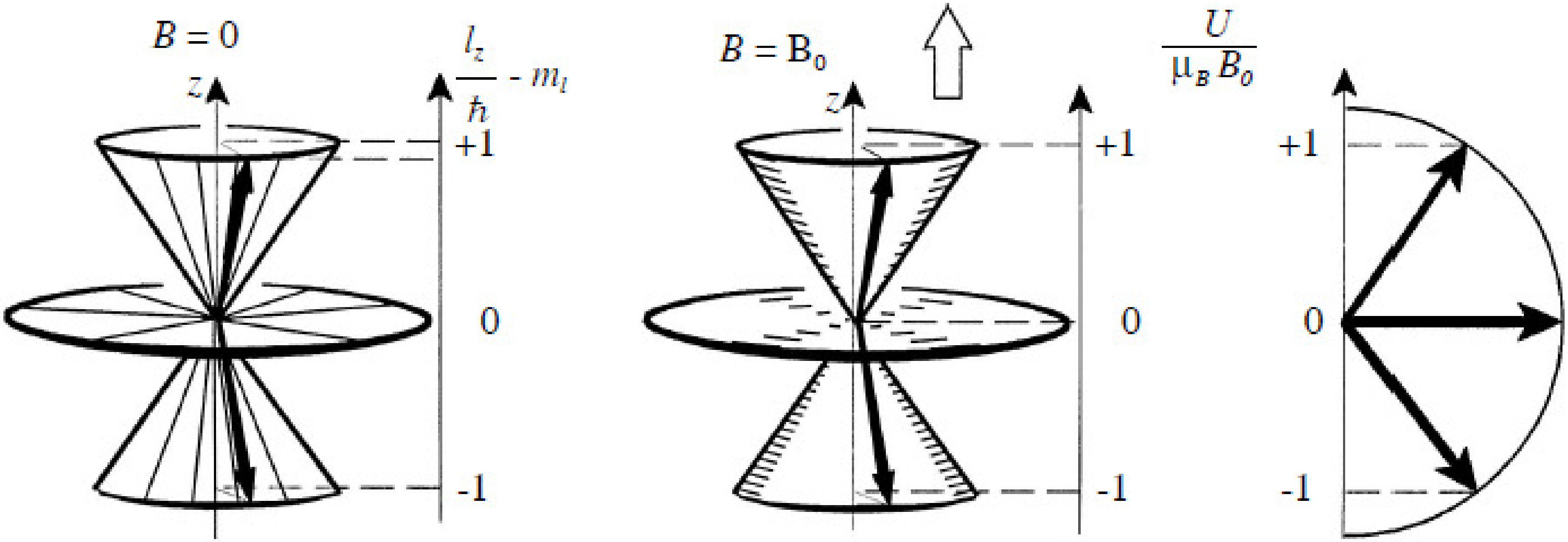
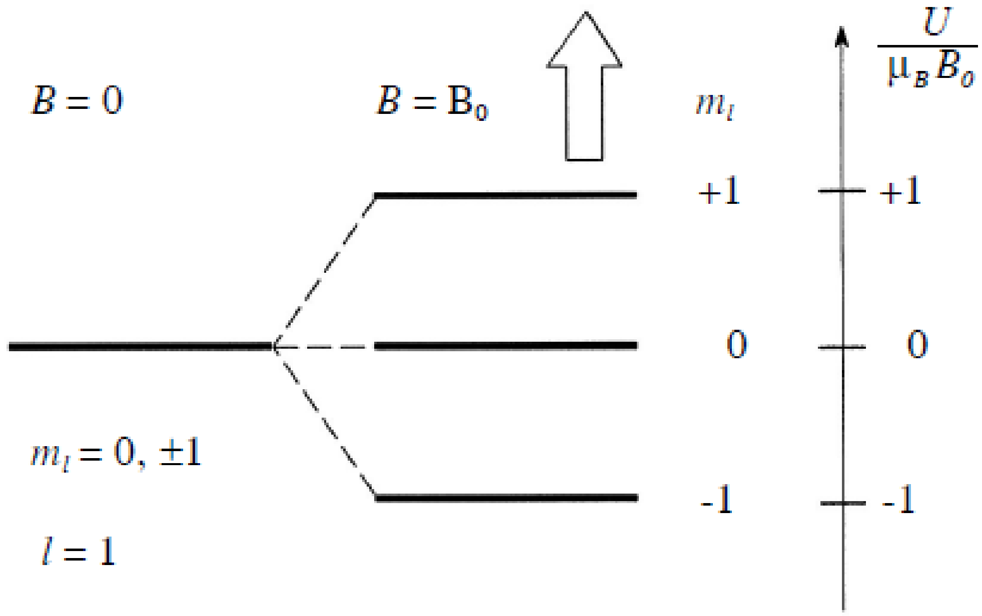
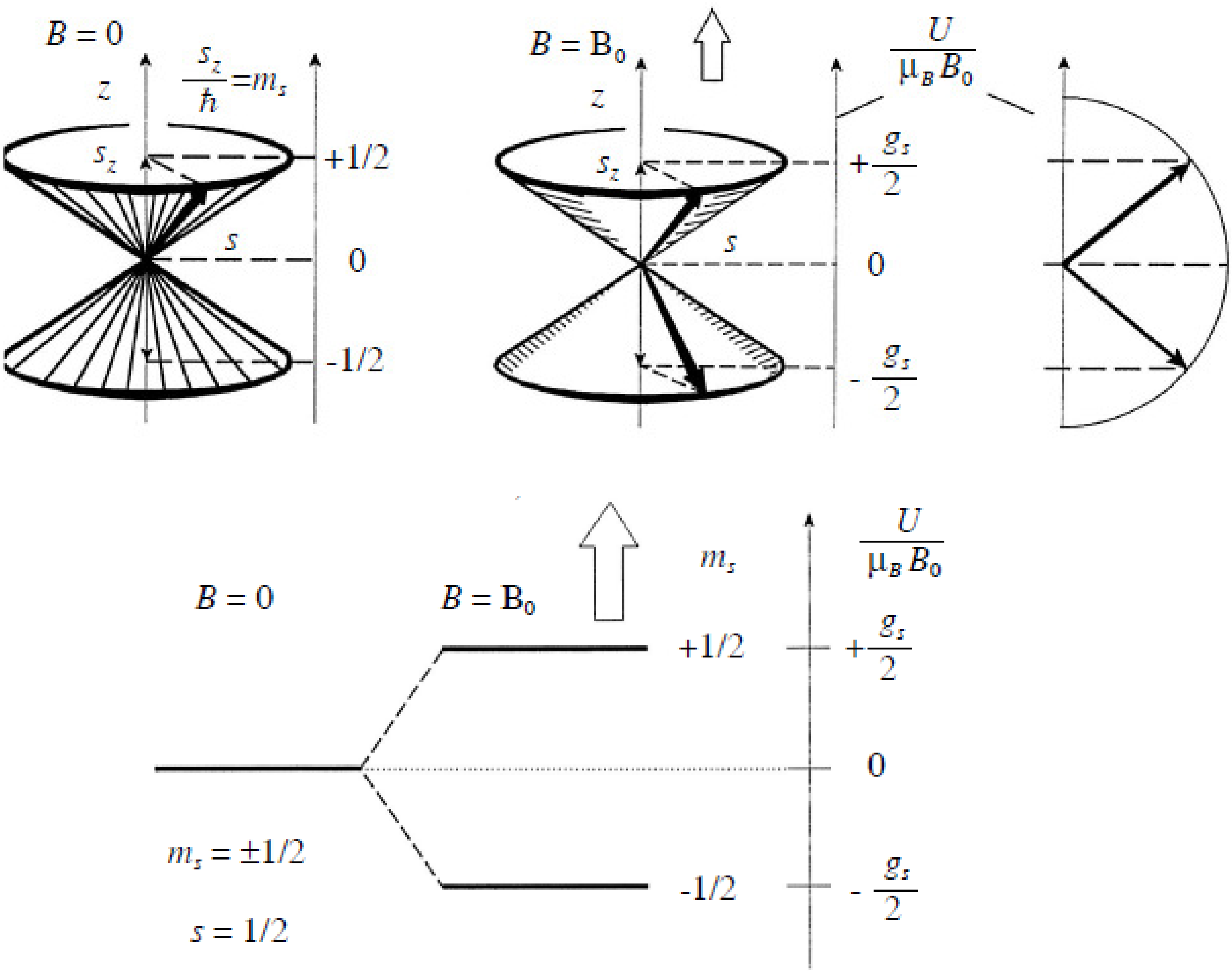
Атом у магнетном пољу


$B = 0$
z
$\frac{l_z}{\hbar} = m_l$
+1
0
-1
$B = B_0$
z
+1
0
-1
$\frac{U}{\mu_B B_0}$
+1
0
-1

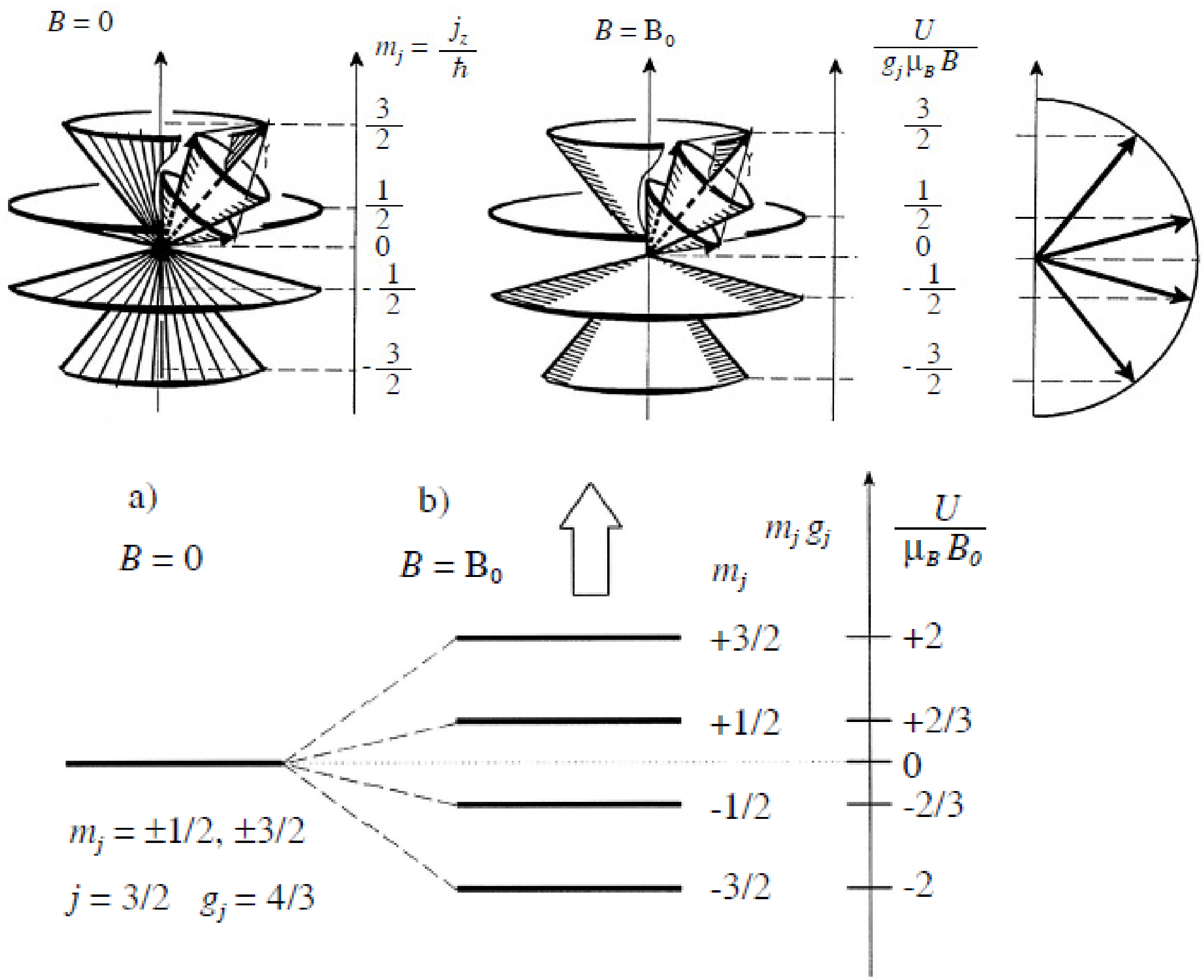

$B = 0$
$B = B_0$
m_l
$\frac{U}{\mu_B B_0}$
+1
+1
0
0
-1
-1
$m_l = 0, \pm 1$
$l = 1$



$B = 0$
z
$\frac{s_z}{\hbar} = m_s$
s_z
$+1/2$
s
0
$-1/2$
$B = B_0$
$\frac{U}{\mu_B B_0}$
$+\frac{g_s}{2}$
$-\frac{g_s}{2}$
m_s
$m_s = \pm 1/2$
$s = 1/2$

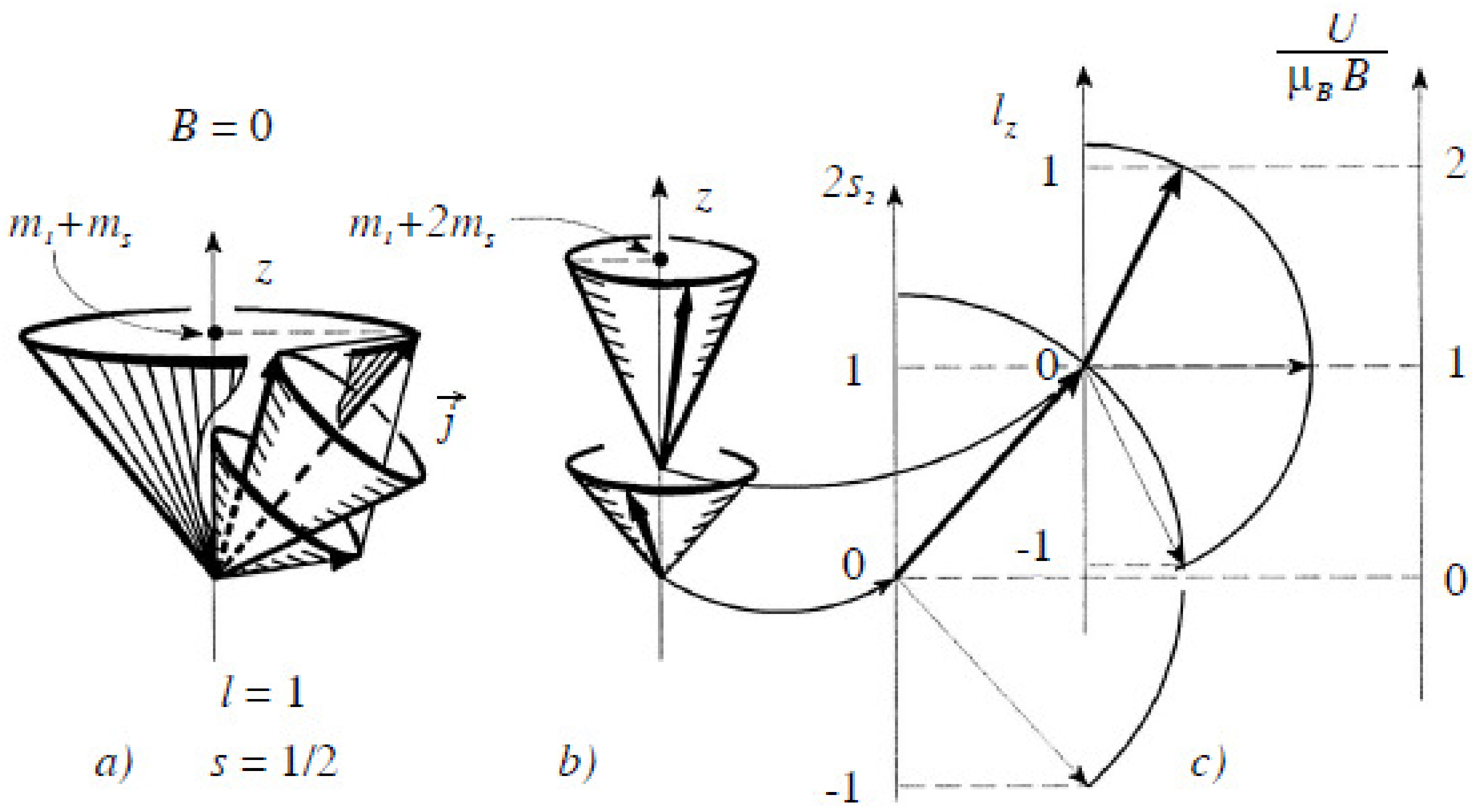
$$U_{B,j} \ll U_{l,s}$$

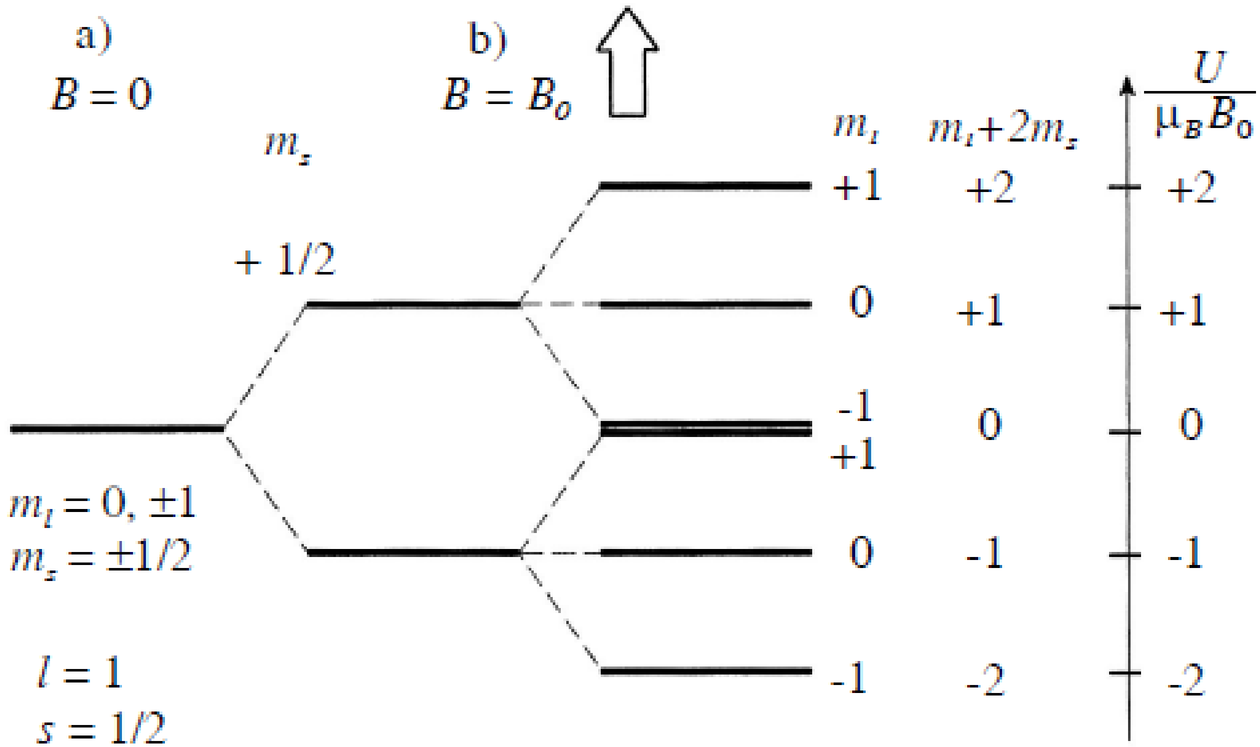
$$U_{\text{uk}} = U_{B,j} = -\left(\vec{\mu}_j\right)_j \cdot \vec{B} = g_j m_j \mu_B B$$



$$U_{B,j} \gg U_{l,s}$$

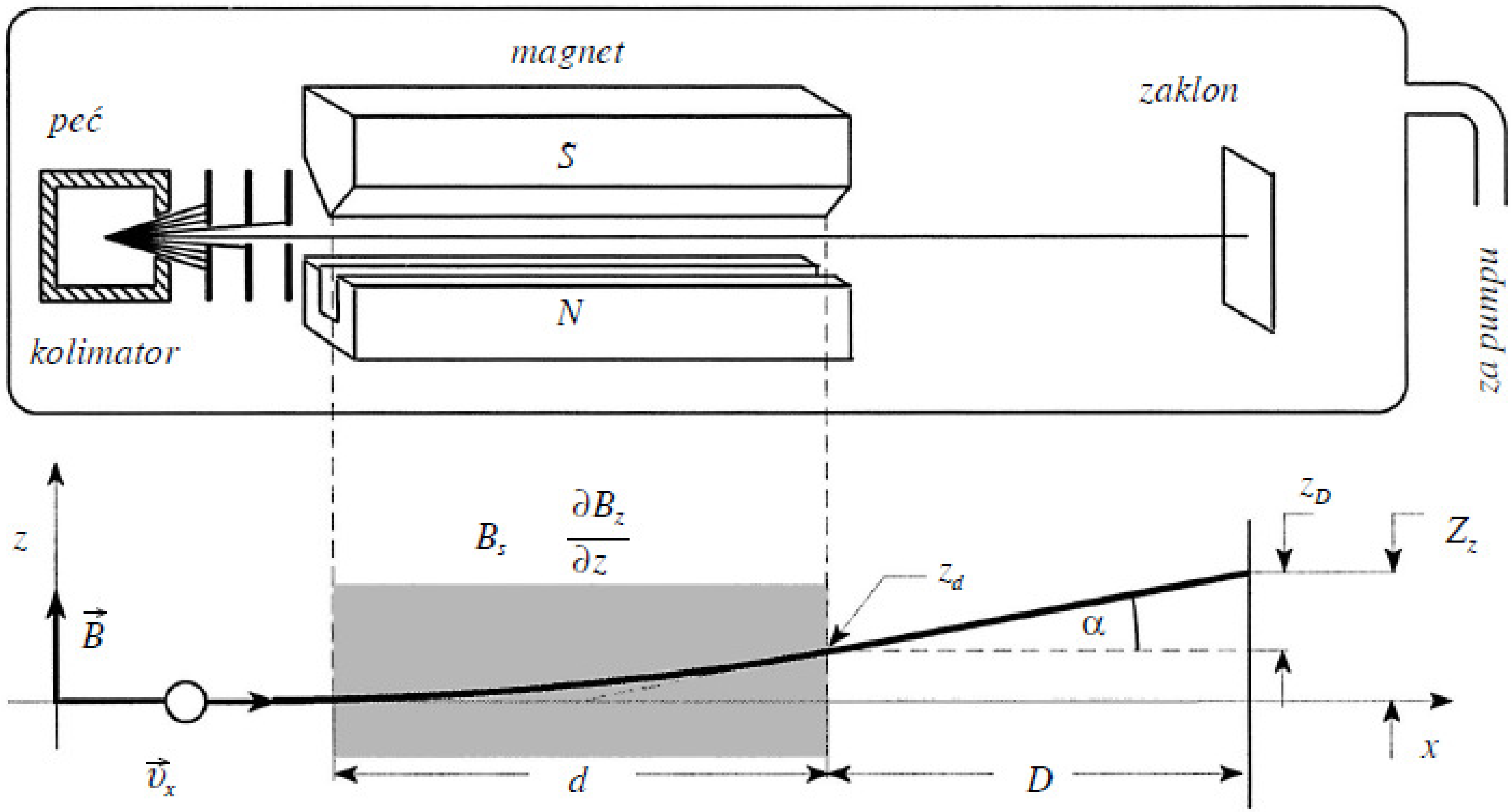
$$U_{\text{uk}} = U_{B,l} + U_{B,s} = \left(m_l + g_s m_s\right)\mu_B B$$

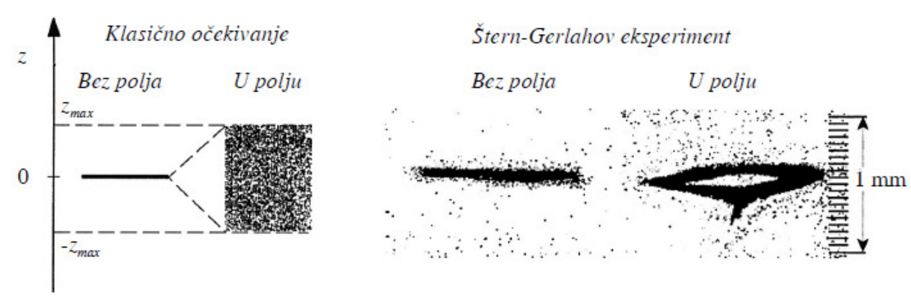




a)
B = 0
b)
B = B0
m_s
+ 1/2
m_l = 0, ±1
m_s = ±1/2
l = 1
s = 1/2
m_l
m_l+2m_s
U/μ_B B_0
+1
0
-1
+1
0
-1
+2
+1
0
-1
-2
+2
+1
0
-1
-2

Штерн-Герлахов оглед (1922)





$$U=-\vec{\mu}\cdot\vec{B}=-\left(\cancelto{0}{\mu_x B_x}+\cancelto{0}{\mu_y B_y}+\mu_z B_z\right)=-\mu_z B_z,\quad B_z=B_z(x,y,z)$$

$$\vec{F}=-gradU=-\vec{\nabla}U=-\left(\vec{i}\,\frac{\partial}{\partial x}+\vec{j}\,\frac{\partial}{\partial y}+\vec{k}\,\frac{\partial}{\partial z}\right)U=\mu_z\frac{\partial(B_z)}{\partial z}\vec{k},\quad B_z=B_z(z),\quad \mu_z=const.$$

$$\boxed{F_z=\mu_z\frac{\partial B_z}{\partial z}}$$

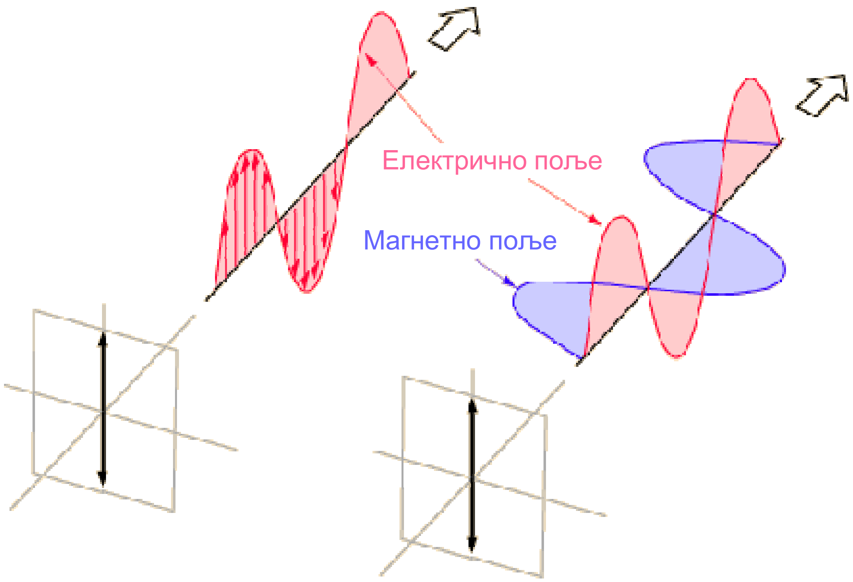
$$m\vec{a}=\sum\vec{F}_i\rightarrow ma_z=\mu_z\frac{\partial B_z}{\partial z}\rightarrow\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}=\frac{\mu_z}{m}\frac{\partial B_z}{\partial z}\rightarrow v_z=\frac{\mu_z}{m}\frac{\partial B_z}{\partial z}t\rightarrow z=\frac{\mu_z}{m}\frac{\partial B_z}{\partial z}\frac{t^2}{2}$$

$$t_d=\frac{d}{v_x},\quad v_x\approx const.\qquad Z_{\mathrm{uk}}\equiv Z_z=z_d+z_D=z_d+D\tan\alpha=z_d+D\frac{v_z}{v_x}$$

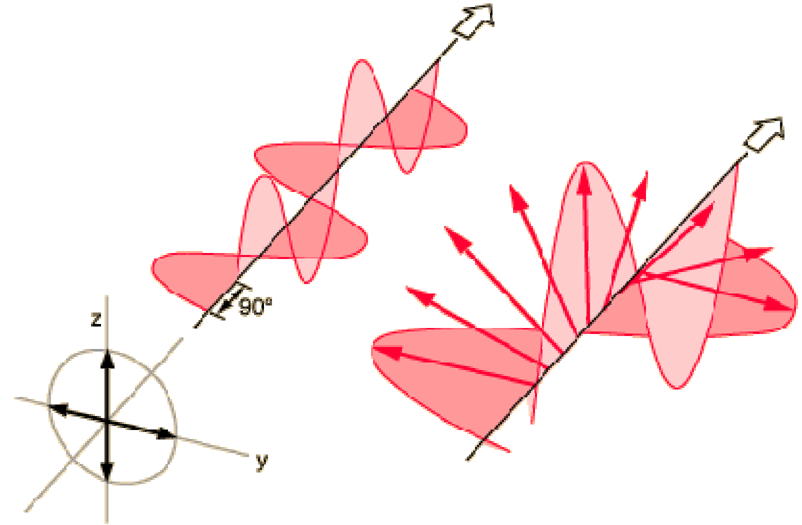
$$Z_{\mathrm{uk}}=\frac{\mu_z}{m}\frac{\partial B_z}{\partial z}\frac{t_d^2}{2}+D\frac{\mu_z}{v_x m}\frac{\partial B_z}{\partial z}t_d=\frac{\mu_z}{mv_x^2}\frac{\partial B_z}{\partial z}\frac{d^2}{2}+D\frac{\mu_z}{v_x^2 m}\frac{\partial B_z}{\partial z}d$$

$$\boxed{Z_{\mathrm{uk}}=\frac{d}{mv_x^2}\frac{\partial B_z}{\partial z}\left(\frac{d}{2}+D\right)\mu_z=K\mu_z}$$

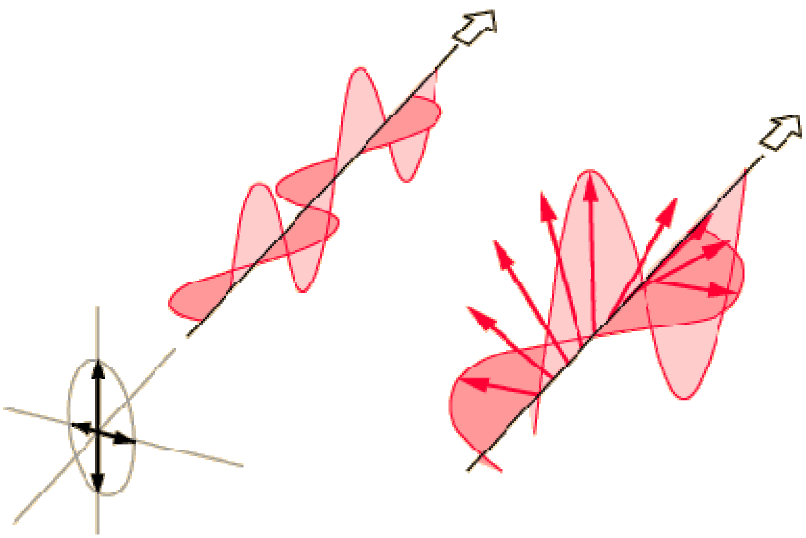
Линеарно поларизована светлост

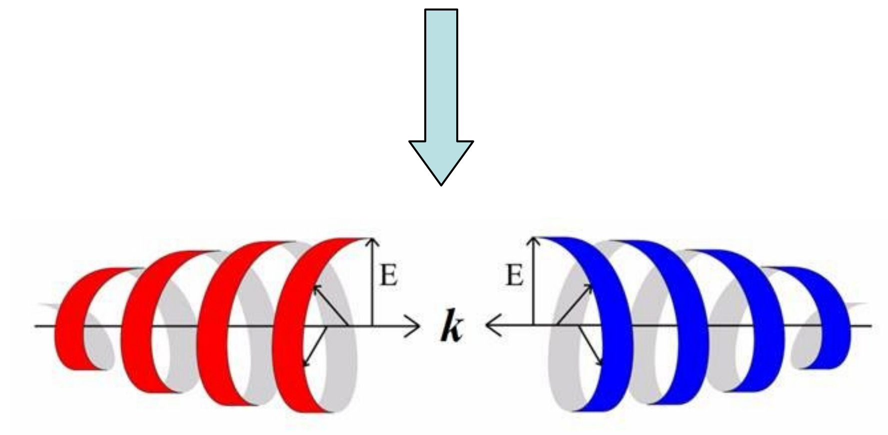


Кружно поларизована светлост

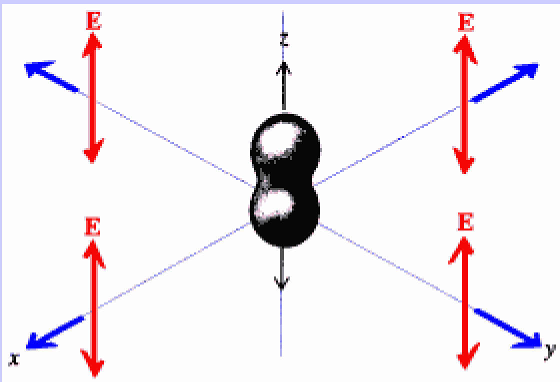


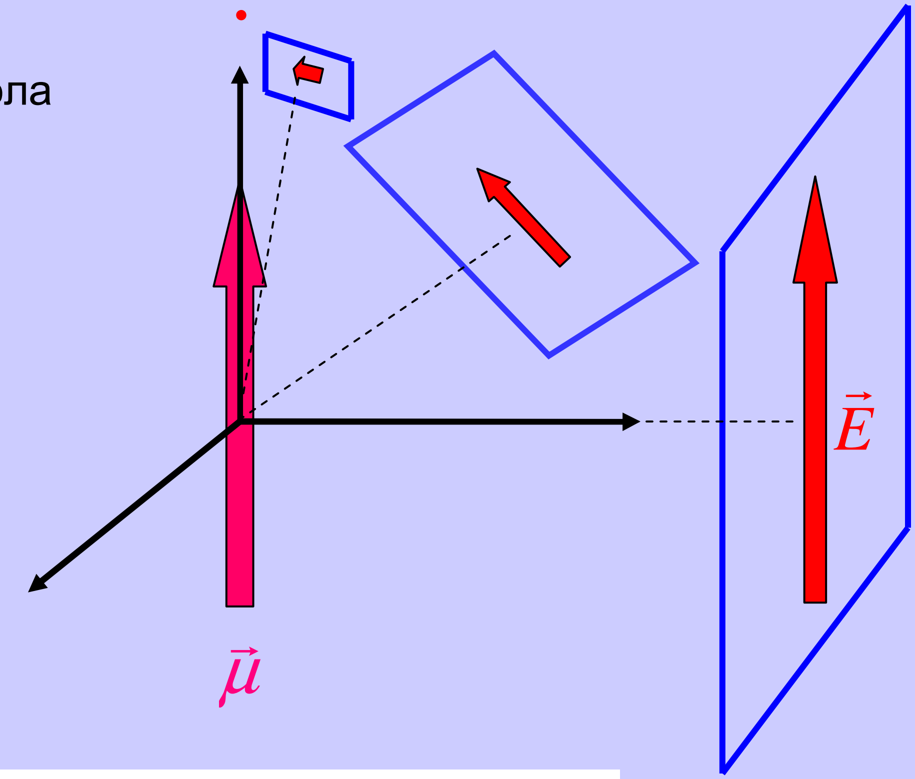
Елиптично поларизована светлост

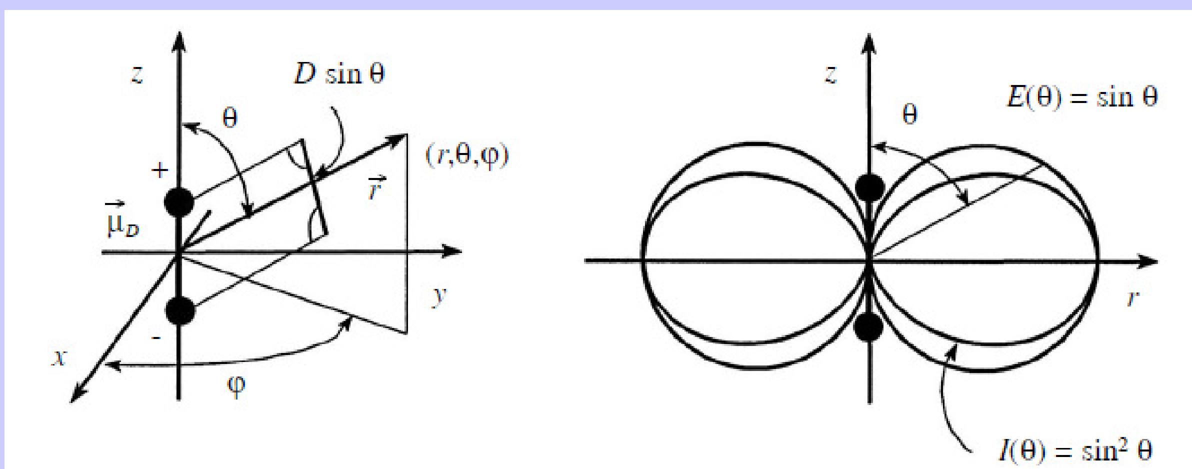




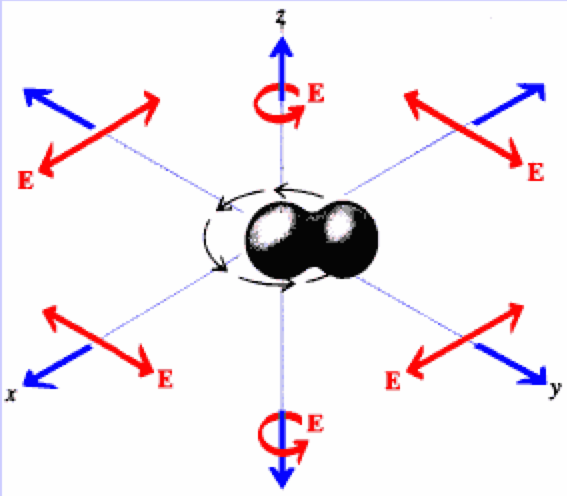
Зрачење Херцовог (осцилујућег) дипола

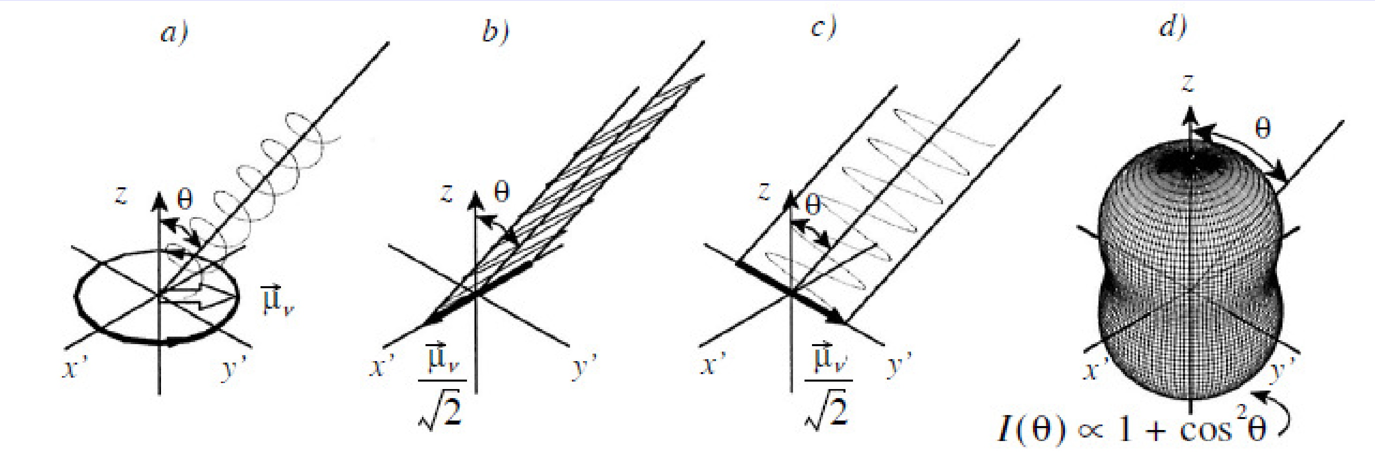






Зрачење ротирајућег дипола





1. Осцилујући дипол емитује линеарно поларизовано зрачење (чији су вектори електричног поља паралелни оси дипола) у свим смеровима осим дуж осе дипола.

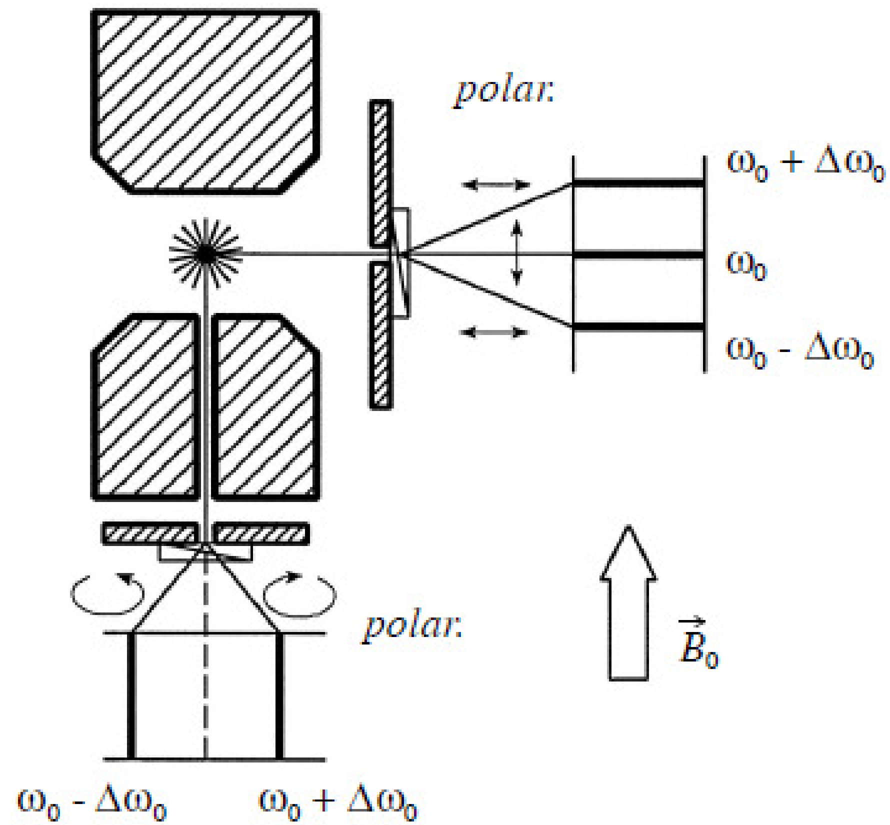
2. Ротирајући дипол емитује поларизовано зрачење у свим смеровима и то циркуларно дуж осе дипола, линеарно у правцима нормалним на осу дипола (тада су вектори ел. поља нормални и на осу дипола и на правац простирања) и елиптично у свим осталим правцима.

3. Зрачење ротирајућег дипола можемо да представимо као зрачење два међусобно нормална осцилујућа дипола са фазном разликом од $90°$. Обрнуто, зрачење осцилујућег дипола можемо представити као зрачење два ротирајућа дипола чије су угаоне брзине супротног знака. (аналогија са базисним векторима; Лисажуове фигуре).

4. Зрачење произвољно оријентисаног Херцовог дипола можемо представити као зрачење Херцовог дипола оријентисаног дуж z-осе и зрачење два ротирајућа дипола у равни нормалној на њу.

5. (Бетов експеримент, 1936.) Фотони лево и десно циркуларно поларизоване светлости имају угаони момент $\hbar$ и $-\hbar$. Како закон одржања момента импулса важи и за атом који зрачи, следи да важи $\Delta l = \pm 1$, при чему Δm може бити 0 (емитује се линеарно поларизована светлост) или ± 1 (емитује се циркуларно поларизована светлост).

Земанов ефекат – „нормални”



$$\vec{F}_{\mathrm{cp}} + \vec{F}_{\mathrm{cf}}^{\mathrm{i}} = 0 \qquad \vec{B}_0 = 0$$

$$-\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r^2}\vec{r}_0 + m\omega_0^2 r\vec{r}_0 = 0 \;\rightarrow\; \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = m\omega_0^2 r$$

ω_0, неполаризовано

$$I: \quad \vec{F}_L = q\vec{v}\times\vec{B} = 0 \quad (\vec{v}\,\|\,\vec{B}), \quad \omega_I = \omega_0 \qquad \vec{B}_0 \neq 0$$

$$II: \quad \vec{F}_{\mathrm{cp}} + \vec{F}_L + \vec{F}_{\mathrm{cf}}^{\mathrm{i}'} = 0$$

$$\Delta\omega_0 = \frac{eB_0}{2m}$$

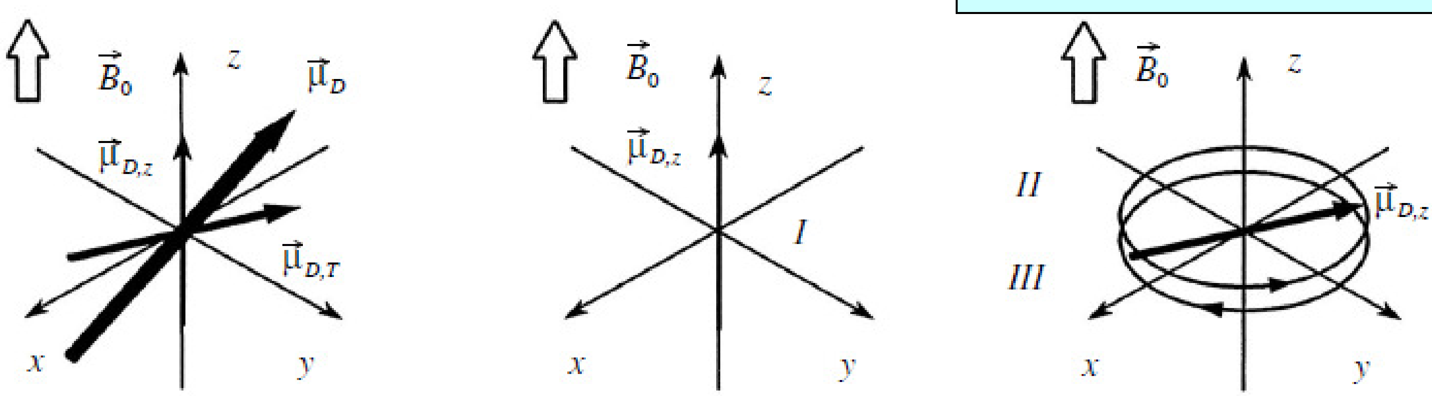
$$-\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r^2}\vec{r}_0 - evB_0\vec{r}_0 + m\omega^2 r\vec{r}_0 = 0$$

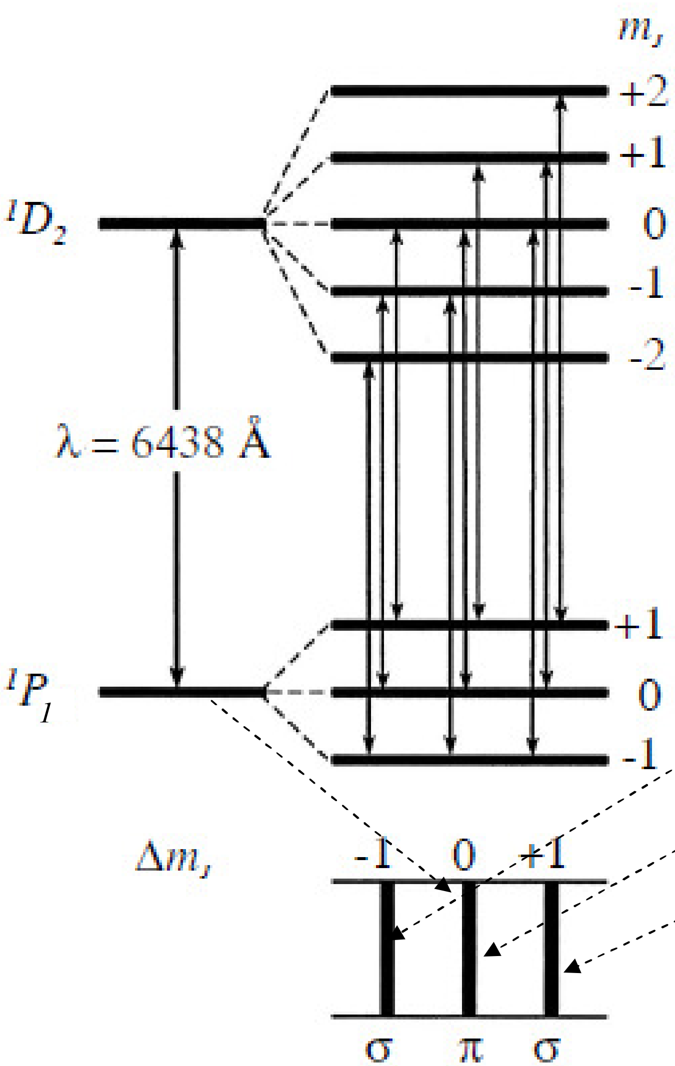
$$m\omega^2 r - m\omega_0^2 r = e\omega r B_0$$

$$\left[(\omega-\omega_0)(\omega+\omega_0) \approx 2\omega\Delta\omega_0\right]$$

$$\omega_{II} = \omega_0 + \Delta\omega_0 = \omega_0 + \frac{eB_0}{2m}$$

$$III: \quad \ldots \quad \omega_{III} = \omega_0 - \Delta\omega_0$$



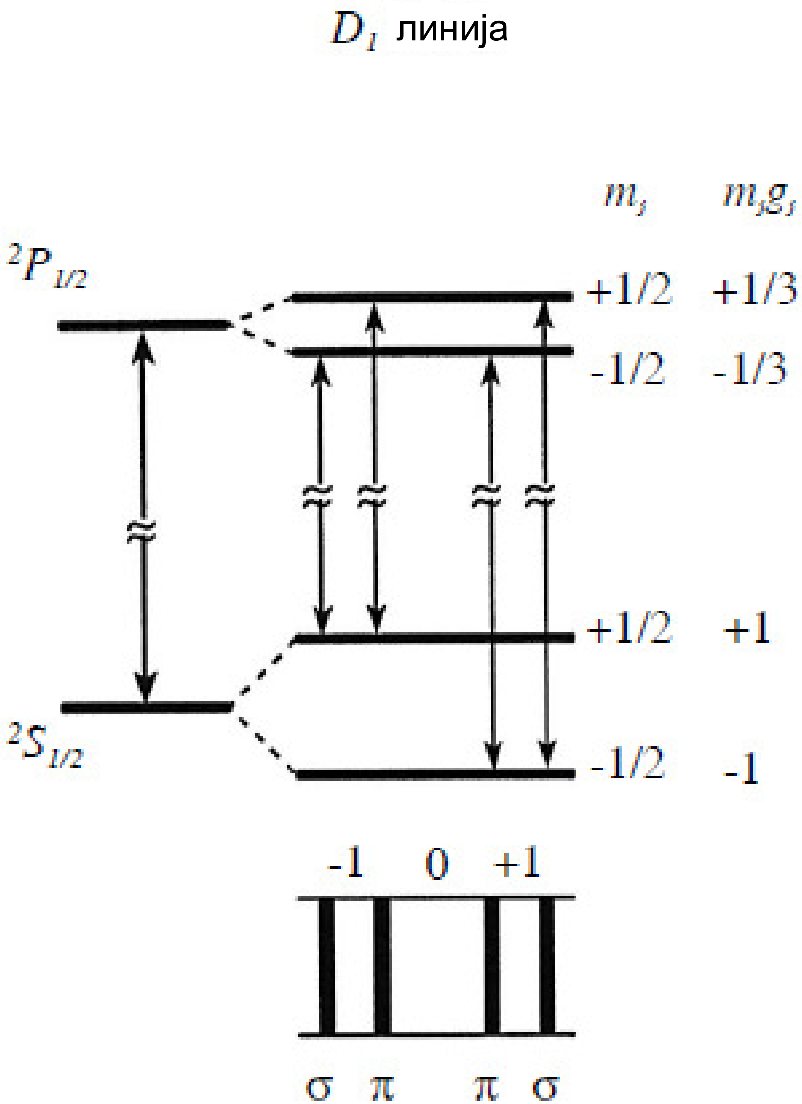


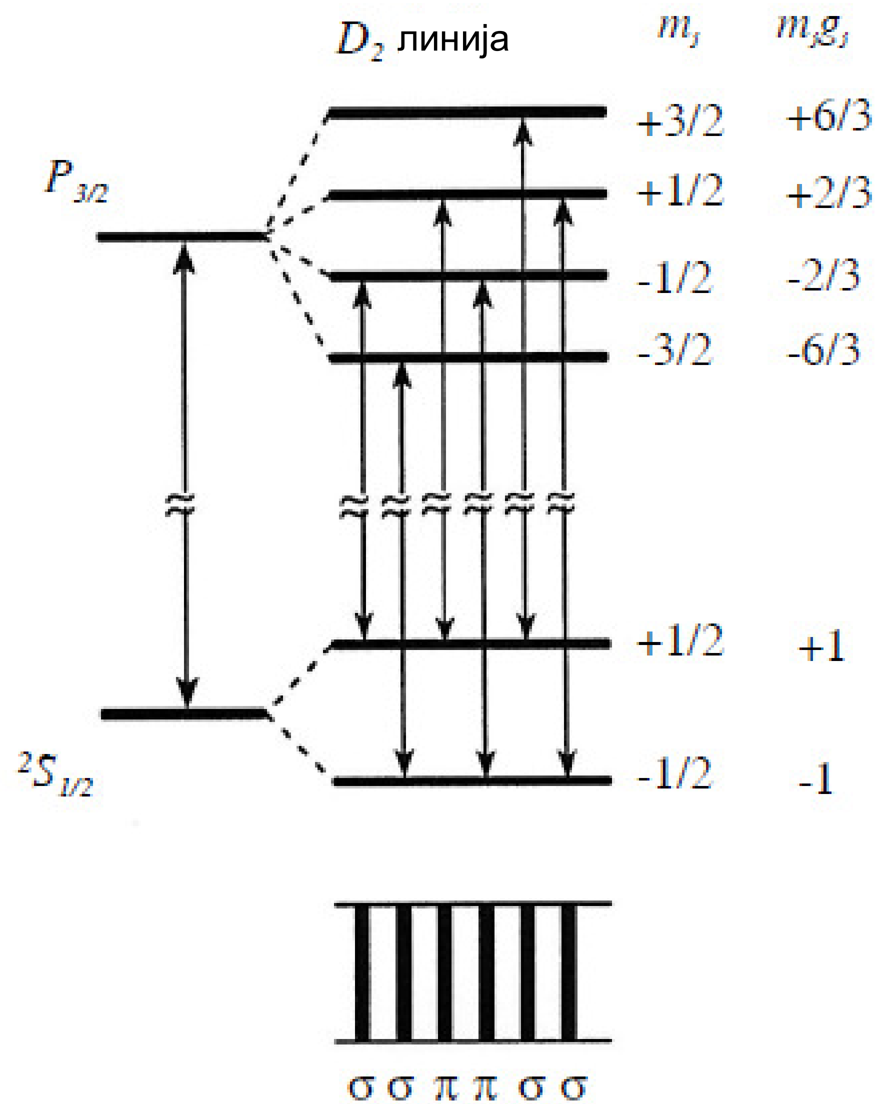
$$\Delta U = \Delta U_0 + \Delta U_m = \Delta U_0 + U_{m_{J2}} - U_{m_{J1}} =$$
$$\Delta U_0 + m_{J2}\mu_B B_0 - m_{J1}\mu_B B_0 = \Delta U_0 + \Delta m_J \mu_B B_0$$

$$\Delta l = \pm 1$$
$$\Delta m_J = 0, \pm 1$$

ΔU	ω
$\Delta U_0 - \mu_B B_0$	$\omega_{III} = \omega_0 - \frac{eB_0}{2m}$
ΔU_0	ω_0
$\Delta U_0 + \mu_B B_0$	$\omega_{II} = \omega_0 + \frac{eB_0}{2m}$

„Аномални” Земанов ефекат





$$U = g_j m_j \mu_B B, \qquad g_j = 1 + \frac{j(j+1) - l(l+1) + s(s+1)}{2j(j+1)}$$