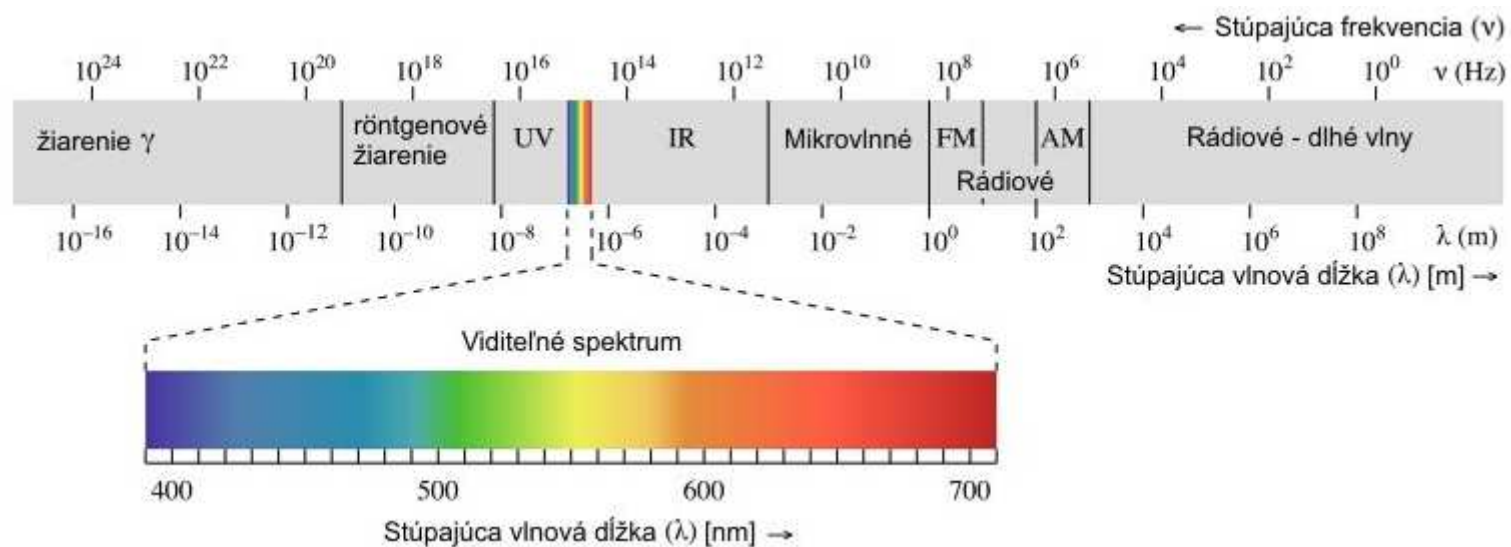


Mikrovlnná diagnostika

Bc. Lucia Potočňáková

Mikrovlny



Vodivosť

- Stejnosemerna vodivosť pre izotropný elektrónový plyn

$$\sigma_0 = \frac{n_e e^2}{m_e \nu_c}$$

- Vodivosť pre anizotropný elektrónový plyn - tenzor $\mathcal{S} = \begin{pmatrix} \sigma_{\perp} & -\sigma_H & 0 \\ \sigma_H & \sigma_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\parallel} \end{pmatrix}$

Stejnosemerna

$$\begin{aligned} \sigma_{\perp} &= \frac{\nu_c^2}{(\nu_c^2 + \Omega_{ce}^2)} \sigma_0 \\ \sigma_H &= \frac{\nu_c^2 \Omega_{ce}}{(\nu_c^2 + \Omega_{ce}^2)} \sigma_0 \\ \sigma_{\parallel} &\equiv \sigma_0 = \frac{n_e e^2}{m_e \nu_e} \end{aligned}$$

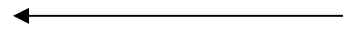
Striedavá

$$\begin{aligned} \sigma_{\perp} &= \frac{(\nu_c - i\omega)^2}{(\nu_c - i\omega)^2 + \Omega_{ce}^2} \sigma_0 \\ \sigma_H &= \frac{(\nu_c - i\omega) \Omega_{ce}}{(\nu_c - i\omega)^2 + \Omega_{ce}^2} \sigma_0 \\ \sigma_0 &= \frac{n_e e^2}{m_e (\nu_c - i\omega)} = \frac{n_e e^2 (\nu_c - i\omega)}{m_e (\nu_c^2 + \omega^2)} \end{aligned}$$

Dielektrický tenzor

$$\mathcal{E} = \epsilon_0 \left(1 + \frac{i\mathcal{S}}{\omega\epsilon_0} \right)$$

$$\mathcal{E} = \epsilon_0 \begin{pmatrix} \epsilon_1 & \epsilon_2 & 0 \\ \epsilon_2 & \epsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_3 \end{pmatrix}$$



$$\epsilon_1 = 1 + \frac{i}{\omega\epsilon_0} \sigma_{\perp}$$

$$\epsilon_2 = \frac{i}{\omega\epsilon_0} \sigma_H$$

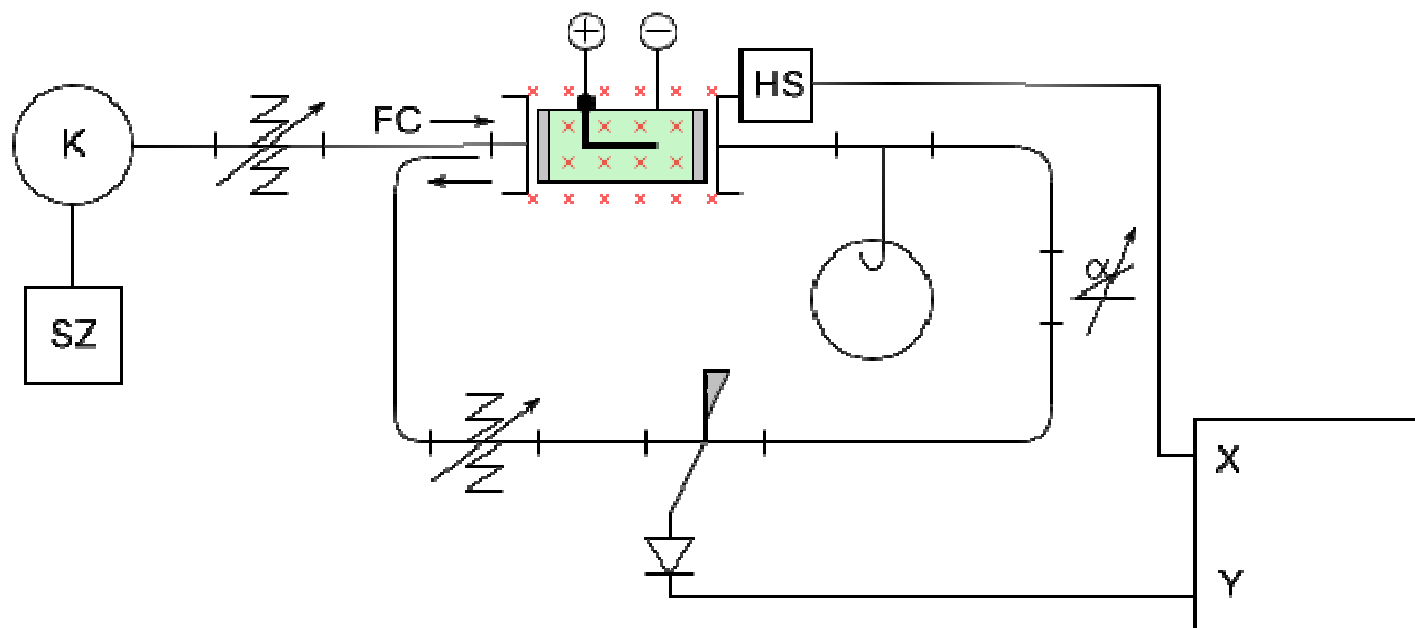
$$\epsilon_3 = 1 + \frac{i}{\omega\epsilon_0} \omega_0$$

Metódy

- Metóda elektrónovej cyklotrónovej rezonancie
- Rezonátorova metóda
- Interferometrická metóda
- Metóda elektrónovej paramagnetickej rezonancie

ECR

- Určujeme zrážkovú frekvenciu
- Vychádzame zo závislosti absorbovaného výkonu na frekvencii



Stredná hodnota
absorbovaného výkonu

$$P_{\sim} = \frac{ne^2}{2m} E_0^2 \frac{\nu(\nu^2 + \omega^2 + \omega_c^2)}{(\nu^2 + \omega_c^2 - \omega^2)^2 + 4\nu^2\omega^2}$$

$$\omega_{rez}^2 = \nu^2 + \omega_c^2$$

Predpoklad $\omega \rightarrow \omega_c$
 $\nu \ll \omega$

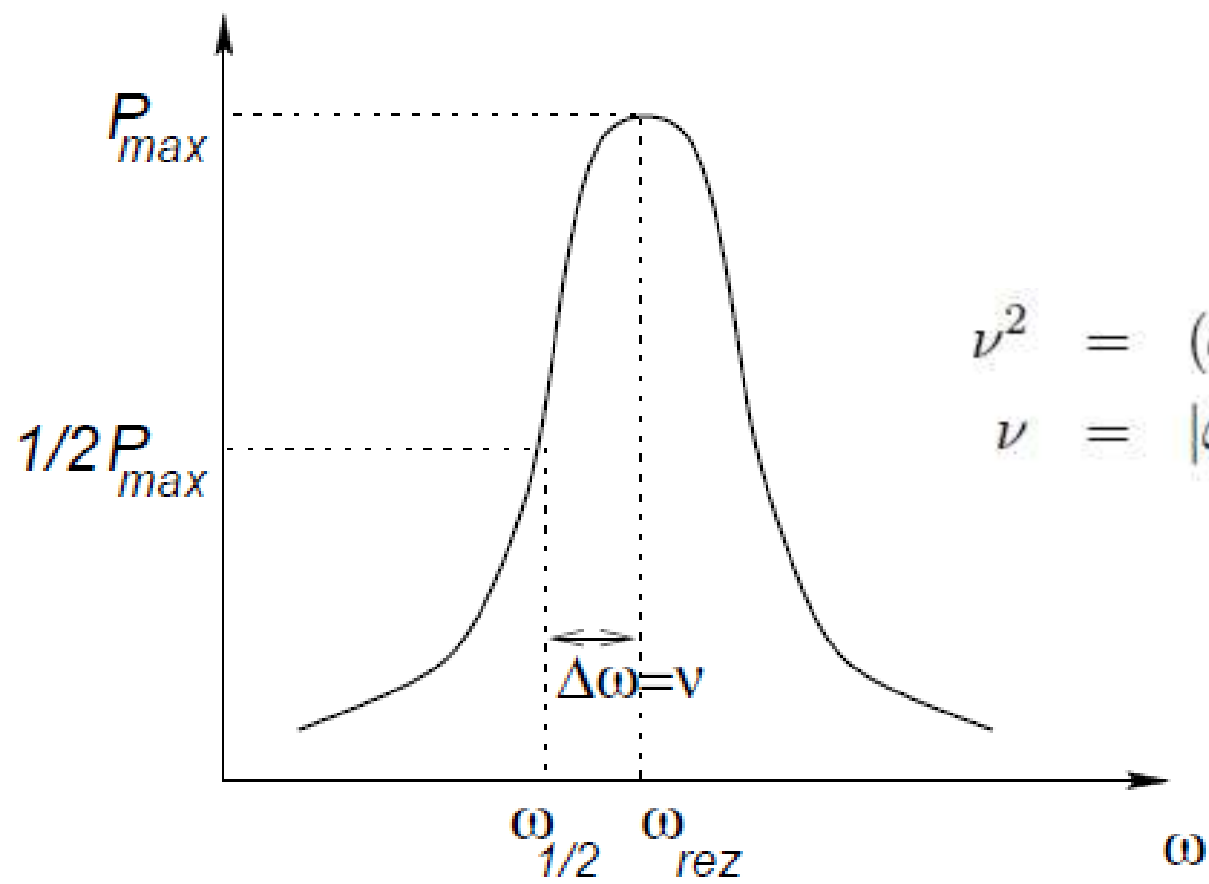
$$\longrightarrow P \approx \frac{ne^2}{4m} E_0^2 \frac{\nu}{\nu^2 + (\omega - \omega_c)^2}$$

Rezonancia $\omega = \omega_c$

$$\longrightarrow P_{max} = \frac{ne^2}{4m} E_0^2 \frac{1}{\nu}$$

$$\frac{1}{2} P_{max} = \frac{ne^2}{8m} E_0^2 \frac{1}{\nu} = \frac{ne^2}{4m} E_0^2 \frac{\nu}{\nu^2 + (\omega_{1/2} - \omega_c)^2}$$

$$\begin{aligned} \nu^2 &= (\omega_{1/2} - \omega_c)^2 \\ \nu &= |\omega_{1/2} - \omega_c|, \end{aligned}$$

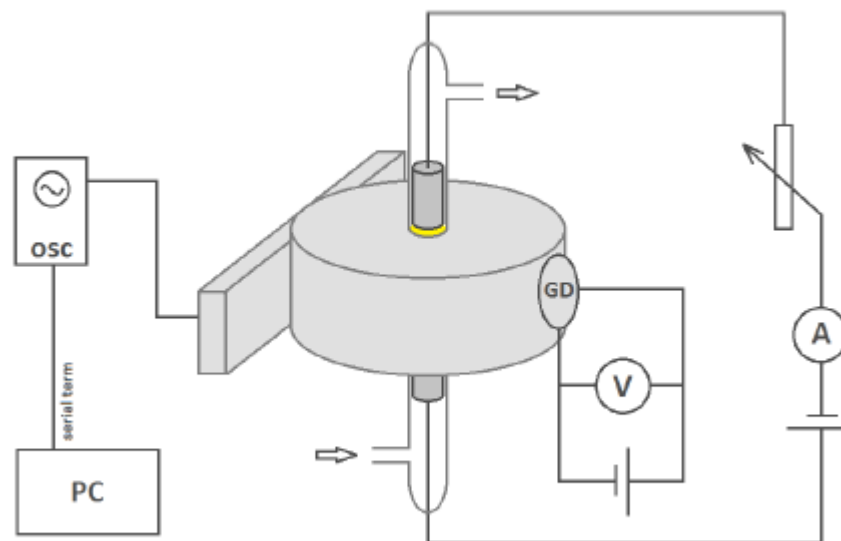


$$\nu^2 = (\omega_{1/2} - \omega_c)^2$$

$$\nu = |\omega_{1/2} - \omega_c|,$$

Rezonátorová metóda

- Určujeme koncentráciu elektrónov
- Vychádzame zo zmeny rezonančnej frekvencie v rezonátore vyplnenom plazmou



Reálna časť relatívnej
permitivity plazmy

$$\epsilon_r = \frac{0.325}{B} \left(\frac{a}{b} \right)^2 \frac{\Delta f}{f_0} + 1$$

$$\epsilon_r = 1 - \frac{\omega_{pe}^2}{\omega_d^2}$$

Plazmová frekvencia
elektrónov

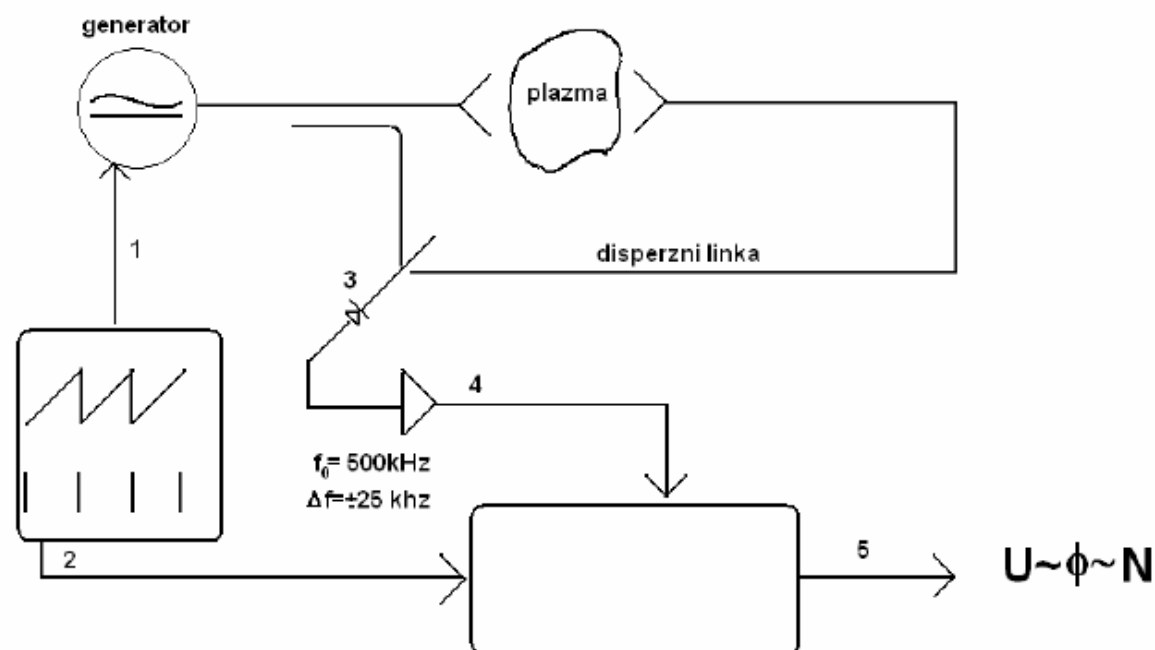
$$\omega_{pe}^2 = \frac{n_e e^2}{m_e \epsilon_0}$$

Koncentrácia elektrónov

$$n_e = \frac{4\pi^2 m_e \epsilon_0}{e^2} f_d^2 (1 - \epsilon_r)$$

Interferometrická metóda

- Určujeme koncentráciu elektrónov
- Vychádzame zo zmeny fázového posunu elektromagnetickej vlny pri prechode plazmou



Zmena fázy riadnej vlny

$$\Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi = \frac{\omega}{c} d(1 - n)$$

Index lomu plazmy

$$n^2 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$$

$$\frac{\omega_p^2}{\omega_c^2} = \frac{N}{N_c}$$

Kritická hustota elektronov

$$N_c = \frac{\varepsilon_0 m \omega^2}{e^2}$$

Index lomu rozvinutý do Taylorovej rady

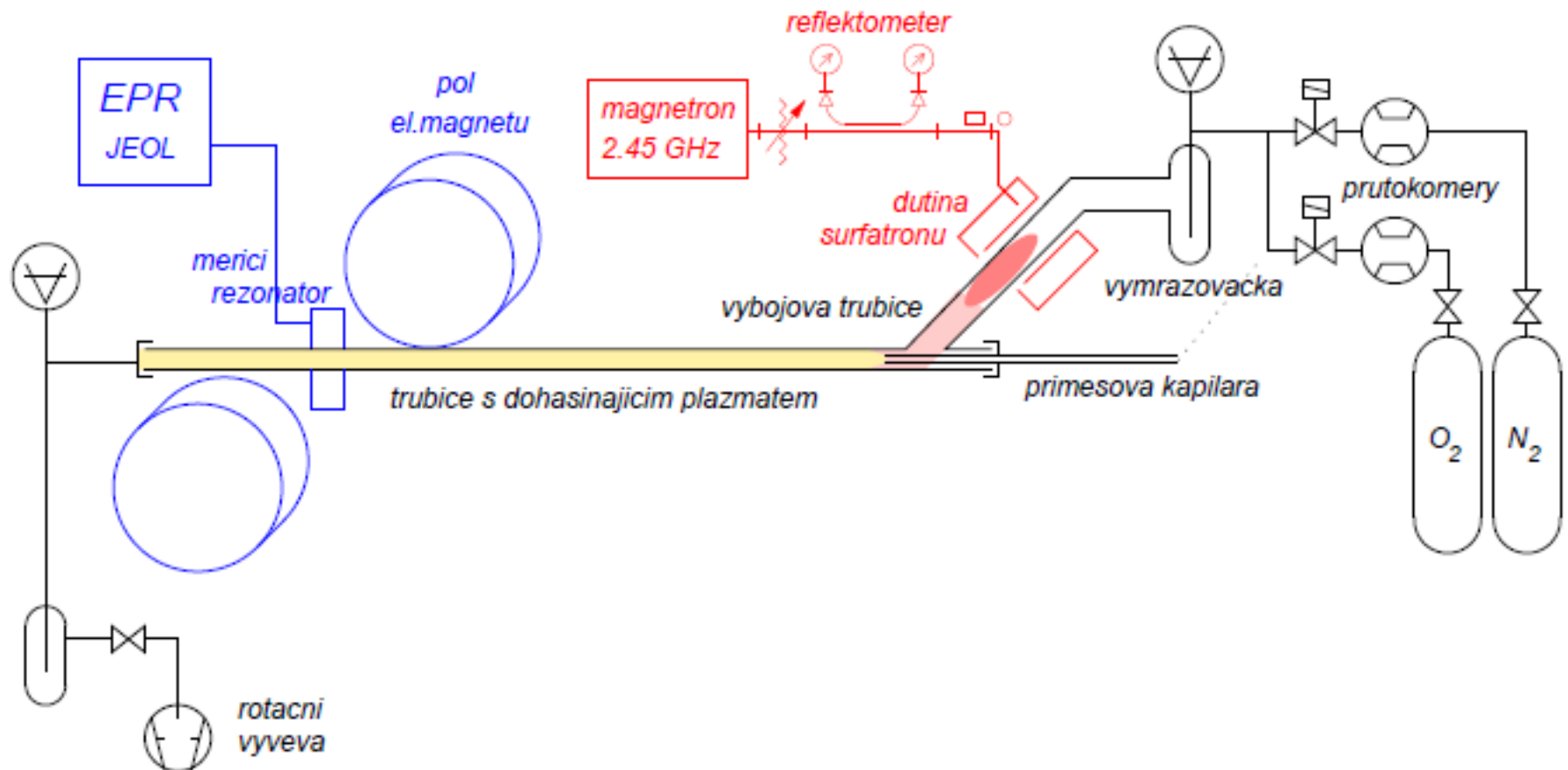
$$n = 1 - \frac{1}{2} \frac{N}{N_c}$$

Výsledný vzťah pre zmenu fázy

$$\Delta\varphi \cong \frac{\pi}{\lambda_0} d \frac{N}{N_c}$$

EPR

- Vychádzame zo znalosti javu elektrónovej paramagnetickej rezonancie
- Výsledkom je EPR spektrum



Jav EPR

-použiteľné pre paramagnetické častice

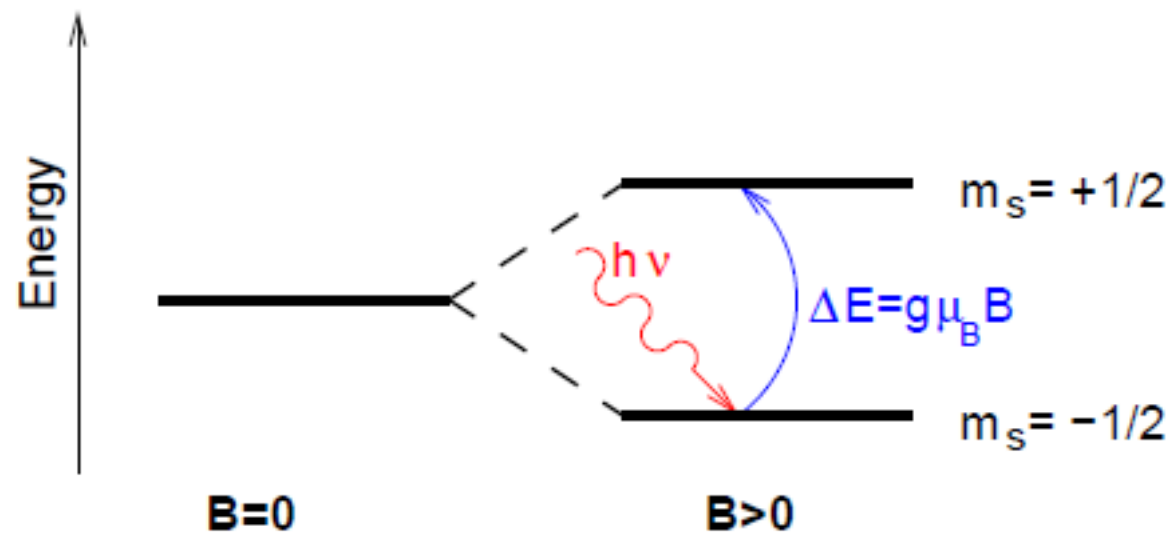
Veľkosť úplného magnetického momentu

$$\mu_J = \mu_B g_L \sqrt{J(J+1)}$$

Rozštiepenie energetických hladín účinkom magnetického poľa

$$E = \vec{\mu}_J \cdot \vec{B} = M_J g_L \mu_B B$$

$$\Delta E = h\nu = g_L \mu_B B$$

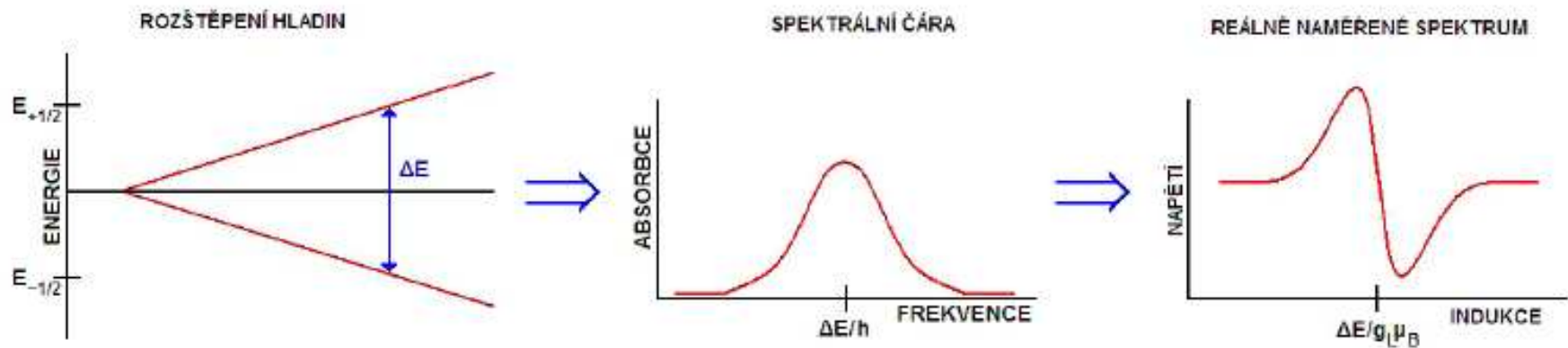


Dipólové elektrické prechody zakázané

$$\Delta l = \pm 1$$

Magnetické dipólové prechody povolené

$$\Delta l = 0$$



poloha čiar $\longrightarrow$ identifikácia zloženia
 šírka čiar $\longrightarrow$ dynamické deje
 integrály čiar $\longrightarrow$ koncentrácia

Kalibrácia kyslíkom

$$[\text{O}_2] = \frac{p}{kT} \longrightarrow \frac{[\text{N}]}{[\text{O}_2]} = Q_N \frac{\int \chi_N'' dH}{\int \chi_{\text{O}_2}'' dH}$$

Ďakujem za pozornosť 😊