

ELEKTRONENS SPIN RESONANS – ESR

BAKGRUND



E.K. Zavoisky upptäckte *elektronens spin resonans ESR* år 1945. Fyra år tidigare hade han påvisat *atomkärnans magnetiska resonans NMR*.

Fenomenen är viktiga för att analysera molekylers och kristallers uppbyggnad.

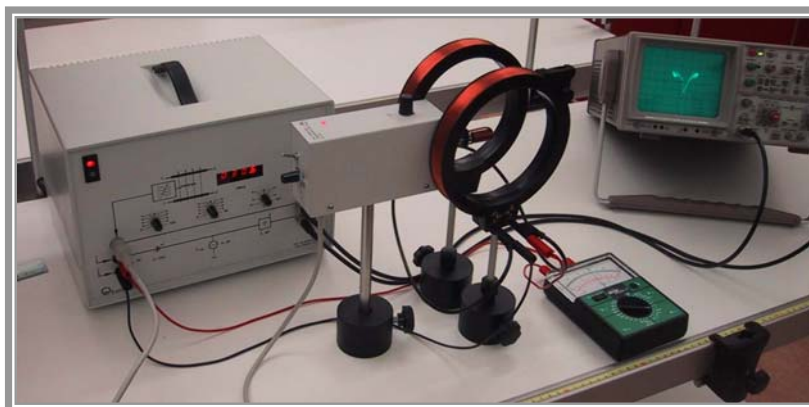
ESR är begränsat till paramagnetiska ämnen. Dessa ämnen har icke kompletta inre elektronskal, exempelvis övergångselementen i periodiska systemet.

Om en elektron utsätts för ett yttre magnetfält B_0 har elektronen potentiell energi på grund av sitt eget magnetiska moment.

Det yttre magnetfältet uppstår då vi sänder ström I_0 genom ett par Helmholtz spolar.

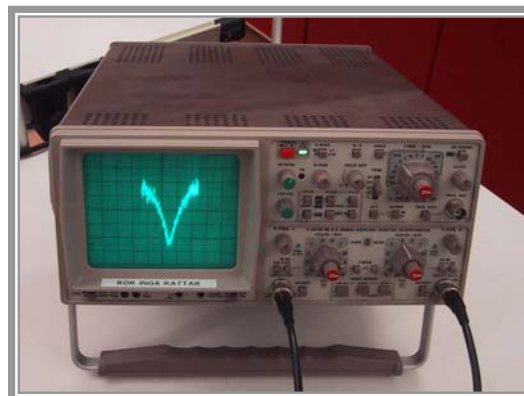
Preparatet vars oparade elektron skall erhålla spinresonans heter *DiPhenyl-Picryl-Hydrazyl DPPH*. Detta preparat sitter inuti en liten spole som är placerad i centrum av Helmholtz spolar. Se bilden.

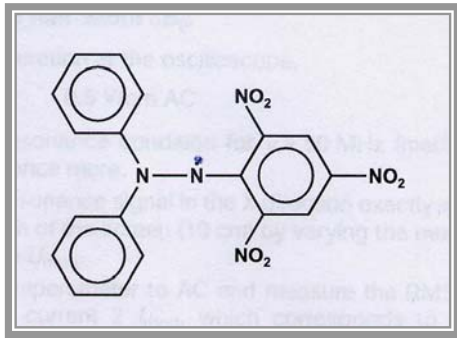
Den mindre spolen genomflyts av högfrekventa mikrovågor med frekvenser i området 10 – 100 MHz. Vid vissa frekvenser kommer elektronens magnetiska moment i resonans med mikrovågorna från lilla spolen. Detta förutsätter att magnetfältet från Helmholtz spolar är av lämplig storlek.



DPPH-elektronerna oscillerar med sina rotationsaxlar runt atomkärnan då de svänger i resonans med mikrovågorna från lilla spolen. Denna svängning kräver energi som hämtas från mikrovågorna. Energistölden känner den lilla spolen av och detta resulterar i en minskad impedans som ger motsvarande minskad spänning över spolen. Spolen är sedan kopplad till ett oscilloskop.

Det är denna minskade spänning över lilla spolen som påvisar ESR och illustreras av dippen på oscilloskopbilden.





I figuren finns strukturen avbildad på **DPPH**. Du ser en kväve atom med en punkt över sig. Denna kväveatom har en oparad valenselektron. Det är denna valenselektrons magnetfält som kommer att oscillera i takt med mikrovågorna från lilla spolen.

BERÄKNING AV LANDÉFAKTORN

Då elektronen befinner sig i sitt resonansstillstånd krävs det kontinuerlig tillförsel av energi från yttre magnetfältet från Helmholtz spolar enligt följande samband:

$$E = g_J \cdot \mu_B \cdot B_0$$

där

$$g_J = 2.0036 \text{ Landéfaktorn}$$

$$\mu_B = \frac{h \cdot e}{4\pi \cdot m_e} = \frac{6.625 \cdot 10^{-34} \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}}{4\pi \cdot 9.108 \cdot 10^{-31}} = 9.273 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2 \text{ Bohrmagnetonen}$$

$$B_0 = \mu_0 \cdot 0.8^{1.5} \cdot \frac{N}{r} \cdot I_0 = 4.23 \cdot I_0 \text{ mTA}^{-1} \text{ Helmholtz spolar}$$

Denna energi vid resonans är densamma som fotonens energi från mikrovågorna

$$E = h \cdot f$$

Lite algebra ger följande vid handen:

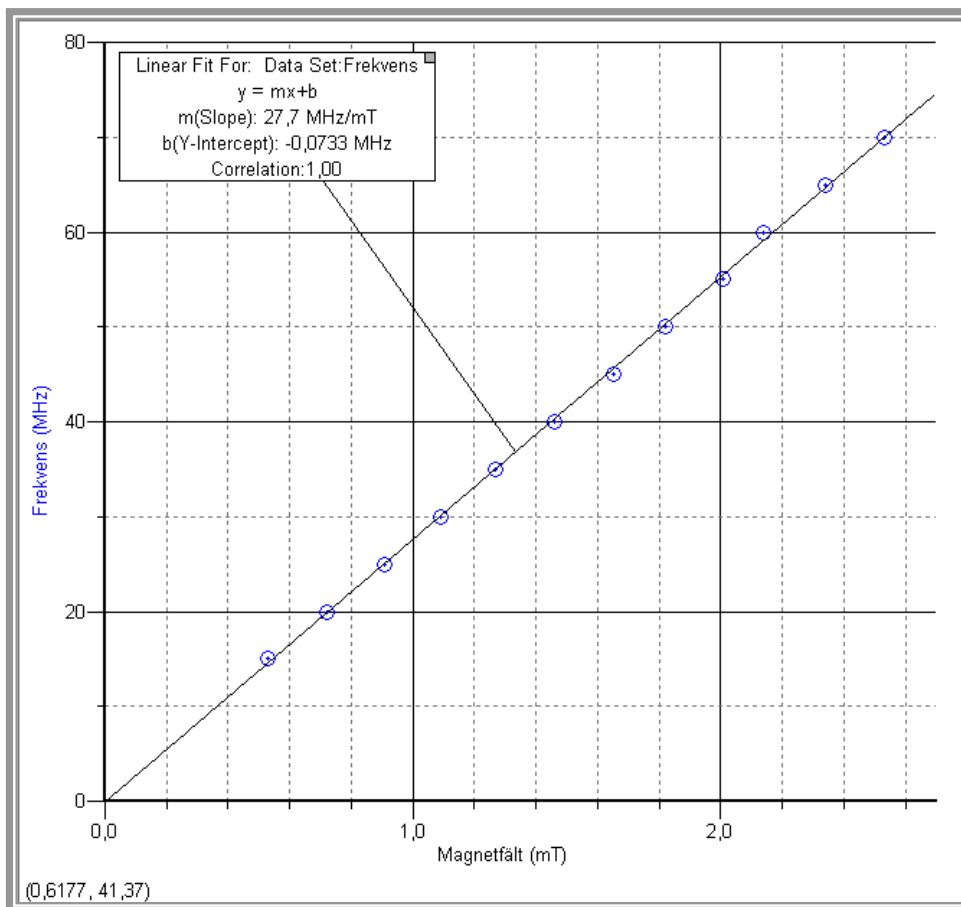
$$g_J \cdot \mu_B \cdot B_0 = h \cdot f \quad \Leftrightarrow \quad g_J = \frac{h}{\mu_B} \cdot \frac{f}{B_0}$$

Elektronens Landéfaktor g_J går alltså att bestämma om vi kan bestämma förhållandet mellan mikrovågornas frekvens f och magnetfältets styrka B_0 vid **ESR**.

Sammanhängande värden på frekvens och magnetfält vid avläst **ESR** på oscilloskopskärmen finns plottade i grafen på nästa sida.

Efter linjär regression kan vi avläsa derivatan $\frac{f}{B_0} = 27.7 \text{ MHz mT}^{-1}$.

MIKROVÅGORNAS FREKVENS SOM FUNKTION AV MAGNETFÄLTET FRÅN HELMHOLTZ SPOLAR VID ESR.



Numeriska värdet på Landéfaktorn g_J blir alltså:

$$g_J = \frac{6.625 \cdot 10^{-34}}{9.274 \cdot 10^{-24}} \cdot 27.7 \cdot 10^6 \cdot (10^{-3})^{-1} = 1.98$$

Överensstämmelsen är alltså god mot vedertagna värdet $g_J = 2.0023$ på Landéfaktorn.



Alfred Landé 1888-1976 var en tysk-amerikansk fysiker verksam i München och Tübingen.

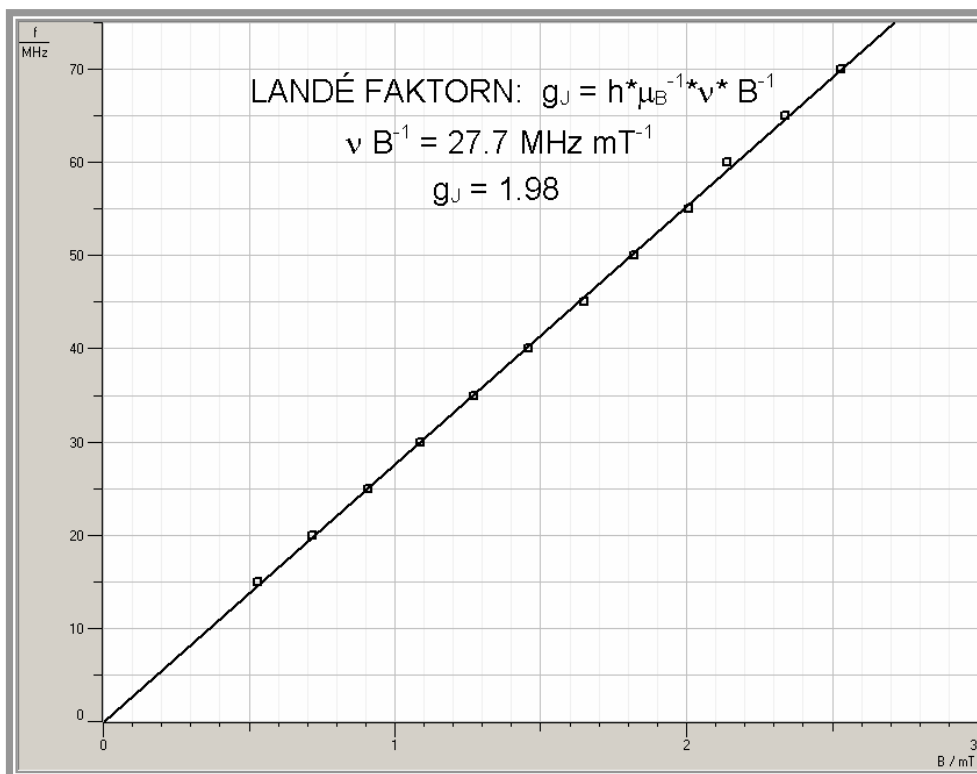
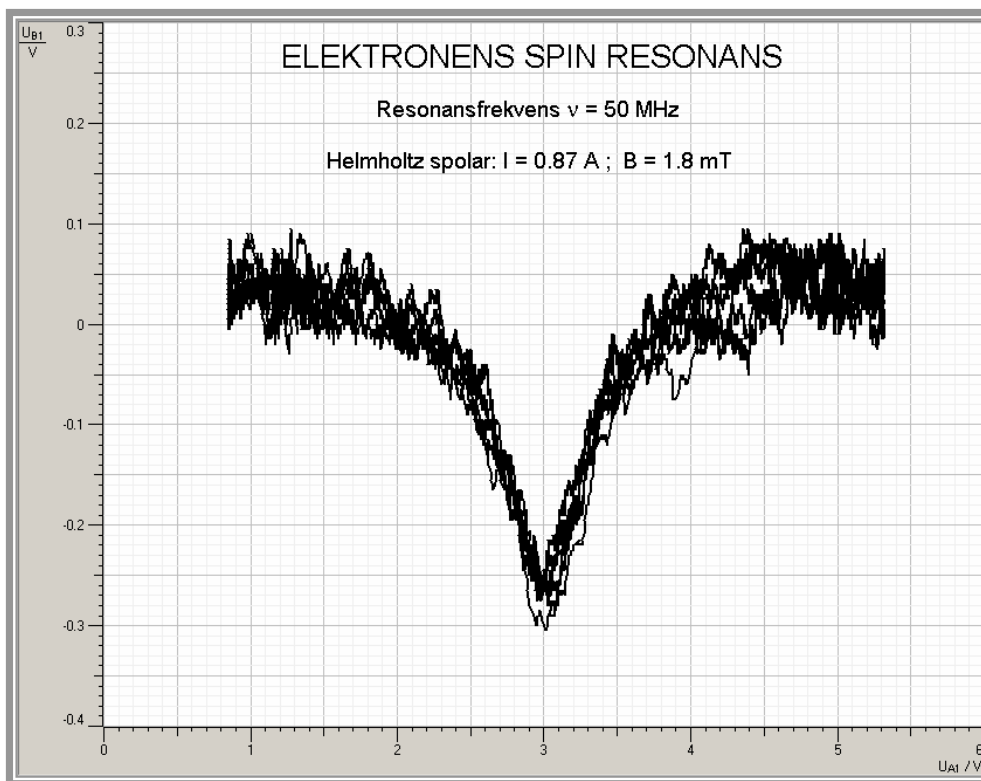
Landéfaktorn beskriver ett samband mellan magnetiska momentet och rörelsemängdsmomentet för en partikel.

Faktorn är dimensionslös och för elektronen är värdet 2.0023.

I klassisk fysik blir faktorn exakt lika med 2. I kvantelektrodynamiken **QED** blir samma faktor korrigerad till:

$$g_J = 2 \cdot \left[1 + \frac{\alpha}{2\pi} - \dots \right] \quad \text{där } \alpha = \frac{1}{137} \text{ hyperfinstrukturkonstanten.}$$

MÄTRESULTAT FRÅN ESR VID EN CASSY-LAB MÄTNING



Ingvar Pehrson
041216