

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Elektronska Spinska Resonanca

4. naloga pri Fizikalnem praktikumu V

Avtor: Marko Urbanč (28191096)
Asistent: Martin Rigler (in ne kot zvezda Rigel)

16.11.2021

Kazalo

1	Uvod	2
2	Potrebsčine	3
3	Naloge	3
4	Navodila	3
5	Meritve	4
6	Obdelava podatkov	5
7	Izračuni in grafi	5
7.1	80 MHz	5
7.2	85 MHz	6
7.3	90 MHz	6

1 Uvod

Za spektroskopijo z elektronsko spinsko resonanco se pogosto uporabljata sinoinim elektronska magnetna resonanca. Magnetna resonančna spektroskopija se imenuje, ker merimo prehod med energijskimi nivoji prostih elektronov v magnetnem polju. Princip delovanja je podoben kot pri jedrski magnetni resonanci, le da so frekvence pregodov mnogo višje. Vseeno pa pride do zanimibih pojavov tudi pri nižjih frekvencah (in s tem nižjim magnetnim poljem).

Elektron je delec z spinom $S = 1/2$ in ima po klasični teoriji magnetni moment, katerega velikost je *Bohrov magneton* $\mu_B = e\hbar/2m_e = 9,27 \cdot 10^{-24}$ J/T. V zunanem magnetnem polju imamo dve možnosti projekcije vrtilne količine. Vzporedno s poljem kjer je magnetno kvantno število $m_s = \frac{1}{2}$ in nasprotno s poljem $m_s = -\frac{1}{2}$. Med tema stanjema je energijska razlika:

$$\Delta E = E_{up} - E_{down} = g\mu_B B_0,$$

kjer je g *Landejev faktor* in je za prost elektron (z upoštevanjem relativističnih popravkov) enak 2.0023192. Landejev faktor je odvisen tudi od kemične vezave in elektronskega okolja. Prehode med tema dvema nivojema lahko vzbujamo z elektromagnetnim sevanjem, ki je dovolj energetično. Torej izpolnjuje pogoj:

$$\Delta E = g\mu_B B_0 = h\nu.$$

Tako smo dobili zvezo med frekvenčno in resonančno vrednostjo magnetnega polja. Energijska razlika je relativno majhna v primeru z vidno ali IR spektroskopijo, zato so signali precej šibki. Relativno populacijo obeh energijskih nivojev podaja Boltzmannova porazdelitev:

$$\frac{n_2}{n_1} = e^{-\frac{\Delta E}{k_B T}} = e^{-\frac{h\nu}{k_B T}}.$$

Zaradi interakcij elektron s kristalno mrežo, drugimi elektroni in jedri, resonančne črte niso ostre ampak so razširjene.

V našem primeru imamo vzorec **DPPH** (*2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl*), ki se nagaja v tuljavi resonančnega regenerativnega oscilatorja. Ko zunanje magnetno olje doseže vrednost, ki izpolnjuje resonančni pogoj nastopi absorpcija visoko frekvenčnega valovanja in amplituda oscilacij oscilatorja pade. Oscilacije preko diode opazujemo na osciloskopu.

Dodatno si olajšamo z modulacijo magnetnega polja. Amplituda modulacije je običajno manjša od širine črte kar pomeni, da dobimo signal modulacijske frekvence katerega amplituda je proporcionalna odvodu absorpcijske črte v odvisnosti od statične komponente polja. Signal je šibek in le malo izstopa iz šuma. Razmerje signal to noise izboljšamo z uporabo faznega detektorja. Ta ima na voljo referenčni signal $U_{ref} = U_0 \cos(\omega t + \phi)$ (pri nas je to napetost, ki izhaja iz modulacijske tuljave). Signal $U_{sig} = A(t) \cos(\omega t)$ je usmerjen izhod regenerativnega oscilatorja in je deljno prekrit s šumom. Signala sta iste frekvence a je med njima nekoliko fazna razlika. Fazni detektor napravi produkt obeh signalov kot analogni množilec:

$$U_{out} = \frac{1}{2} A(t) [\cos \phi + \cos(2\omega + \phi)]. \quad (1)$$

S tem smo dosegli, da je nosilna frekvenca signala $A(t)$ nič. Drugega člena pa se preprosto znebimo z RC filtrom.

2 Potrebščine

- Vzorec DPPH
- Regenerativni oscilator
- Osciloskop
- Modulacijske tuljave in njihov napajalec
- Fazni detektor

3 Naloge

- Z vzorcem DPPH kot merjencem določi g-faktor prostega elektrona in razmerje B/ν
- Izmeri širino absorpcijske črte

4 Navodila

Naloga zahteva za z osciloskopom direktno izmerimo frekvenco regenerativnega oscilatorja in izračunamo magnetno poljsko gostoto z izrazom:

$$B_0 = \frac{N\mu_0 I}{d},$$

kjer je $N = 1557$ število ovojev tuljave, d diagonala tuljave in I tok skozi tuljavo. Nato naj bi s faznim detektorjem izmerili odvod absorpcijske črte tako, da v majhnih korakih spreminjamo tok na tuljavi in opazujemo izhod faznega detektorja na osciloskopu. Širina absorpcijske črte ΔB je definirana kot razmik med ekstremoma odvoda.

5 Meritve

Meritve sem zapisal v svoj laboratorijski dnevnik. Ker imam težave z dotikanjem zvezka, ki je bil na faksu, sem se odločil poskusiti narediti poročilo v .pdf obliki.

Slika 1: Meritve v laboratorijskem dnevniku

Nekaj sem jih dodal tudi naknadno, ker sem pozabil izmeriti dimenzije tuljave, za izračun diagonale d .

$$r_1 = (4.5 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$r_2 = (8.7 \pm 0.1) \text{ cm}$$

$$l = (13.2 \pm 0.1) \text{ cm}$$

6 Obdelava podatkov

Obdelave podatkov sem se lotil tako, da sem iz laboratorijskega dnevnika tvoril tab delimited .txt datoteko in jo uvozil v Python za nadaljno obdelavo. Pomagal sem si z knjižnicama NumPy in matplotlib.

7 Izračuni in grafi

Diagonalo tuljave sem izračunal po formuli

$$d = \sqrt{l^2 + (r_1 + r_2)^2}$$

in dobil:

$$d = (0.186 \pm 0.003)\text{m}$$

G faktor lahko izrazimo kot:

$$g = \frac{h\nu}{\mu_B B_0}$$

7.1 80 MHz

Z podatki sem narisal graf in iz njega odčital:

$$I_1 = (0.279 \pm 0.001)\text{A}$$

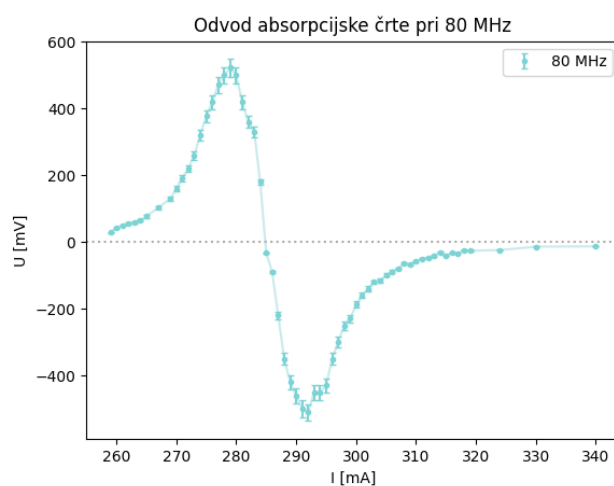
$$I_2 = (0.292 \pm 0.001)\text{A}$$

S tem sem lahko po prej omenjenih formulah izračunal:

$$\Delta B = (0.000139 \pm 0.000003)\text{T}$$

$$\frac{B}{\nu} = 3.81(1 \pm 0.05) \cdot 10^{-11}\text{T s}$$

$$g = 1.9 \pm 0.1$$



Slika 2: Odvod absorpcijske črte pri 80 MHz

7.2 85 MHz

Po istem postopku kot za 80 MHz, sem dobil:

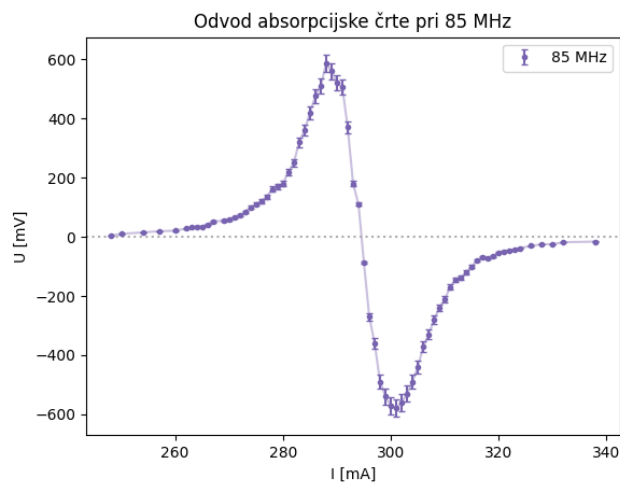
$$I_1 = (0.288 \pm 0.001)\text{A}$$

$$I_2 = (0.301 \pm 0.001)\text{A}$$

$$\Delta B = (0.000138 \pm 0.000003)\text{T}$$

$$\frac{B}{\nu} = 3.70(1 \pm 0.05) \cdot 10^{-11}\text{T s}$$

$$g = 1.9 \pm 0.1$$



Slika 3: Odvod absorpcijske črte pri 85 MHz

7.3 90 MHz

In še enako kot prej sem dobil:

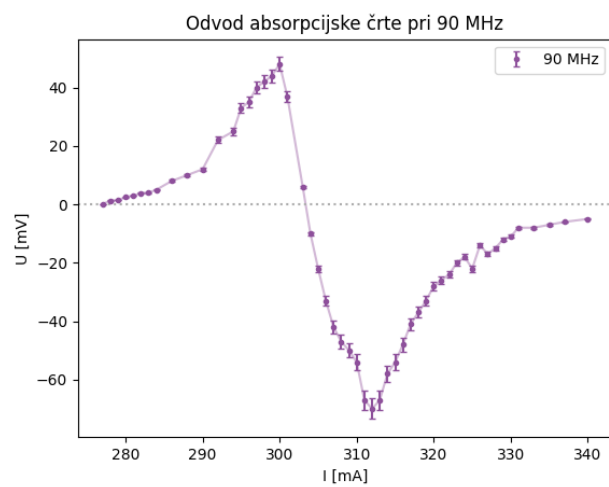
$$I_1 = (0.299 \pm 0.001)\text{A}$$

$$I_2 = (0.312 \pm 0.001)\text{A}$$

$$\Delta B = (0.000138 \pm 0.000003)\text{T}$$

$$\frac{B}{\nu} = 3.63(1 \pm 0.05) \cdot 10^{-11}\text{T s}$$

$$g = 2 \pm 0.1$$



Slika 4: Odvod absorpcijske črte pri 90 MHz