

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



# Sunkovna jedrska magnetna resonanca

9. naloga pri Fizkalnem praktikumu V

**Avtor:** Marko Urbanč (28191096)  
**Asistent:** Martin Rigler

10.1.2022

# Kazalo

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Potrebščine</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Naloge</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Meritve</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Obdelava podatkov</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Izračuni</b>	<b>5</b>
6.1	Ocena nehomogenosti . . . . .	5
6.2	Spinsko-mrežni relaksacijski čas $T_1$ . . . . .	6
6.3	Spinsko-spinski relaksacijski čas $T_2$ . . . . .	7

# 1 Uvod

Jedro ima poleg vrtilne količine (spin)  $\vec{\gamma}$  tudi magnetni moment  $\vec{\mu}$ . Vrtilna količina in magnetni moment imata isto semr in sta povezana z enačbo:

$$\vec{\mu} = \gamma \vec{\Gamma}, \quad (1)$$

kjer je  $\gamma$  **giromagnetno razmerje**, ki je odvisno od vrsta jedra. (Za proton velja  $\gamma = 2.675 \cdot 10^8 / \text{Ts}$ ). V magnetnem polju  $\vec{B}_0$ , ki naj kaže vzdolž osi  $z$ , deluje na magnetni moment navor:

$$\vec{N} = \vec{\mu} \times \vec{B}_0 = \gamma \vec{\Gamma} \times \vec{B}_0 \quad (2)$$

Sprememba vrtilne količine je sorazmerna sunku navora, kar nam da enačbo:

$$\frac{d\vec{\Gamma}}{dt} = \gamma \vec{\Gamma} \times \vec{B}_0 \quad (3)$$

Sprememba vrtilne količine je vedno pravokotna nanjo in na magnetno polje. Iz tega sledi, da magnetni moment precesira okoli smeri magnetnega polja s frekvenco, ki jo imenujemo **Larmorjeva** frekvenco

$$\omega_L = \gamma B_0 \quad (4)$$

Če imamo v polju snov potem se v njej pojavi magnetizacija, ki je magnetni moment na enoto volumna. Tudi ta precesira okoli smeri magnetnega polja z Larmorjevo frekvenco, kadar ni vzporedna z njim.

Ko za kratek čas vključimo dodatno polje  $\vec{B}_1$ , ki oscilira z larmorjevo frekvenco in kaže pravokotno na smer statičnega polja v smer  $x$ , se kot med magnetizacijo in statičnim magnetnim poljem poveča. Velikost zamika je odvisna z amplitudo in časa trajanja sunkovnega polja. Zanimivi so sunki ki spremenijo kot za  $\pi$  ali  $\pi/2$ .

Snek  $\pi/2$  obrne magnetizacijo tako, da v vrtečem se koordinatnem sistemu magnetni moment ne čuti nobenega zunanjega polja. Pričakovali bi da bi tam ostala, ampak se vrne v termodinamsko ravnovesno vrednost.  $z'$  komponenta se vrne hitreje zato projekcija magnetizacije na ravnino  $x'y'$  pada eksponentno z razpadno konstanto  $T_2$ , ki jo imenujemo **spinsko-spinski relaksacijski čas**. Na  $T_2$  lahko vpliva le interakcija med magnetnimi momenti jeder.

Poleg izgube fazne povezave se zmanjšuje tudi azimut posameznega magnetnega momenta. Projekticja magnetizacije na os  $z'$  se zato povečuje s karakterističnim časom  $T_1$ , ki mu pravimo **spinsko-mrežni relaksacijski čas**.  $T_1$  je posledica interakcije magnetnih momentov jeder z magnetnimi momenti elektronov v atomih (molekula, kristal) od tod ime.

$$M_{z'} = M \left( 1 - e^{-t/T_1} \right) \quad (5)$$

V nehomogenem magnetnem polju se fazna povezava med magnetnimi momenti v  $x'y'$  ravnini pokvari. Projektija magnetizacije na ravnino  $x'y'$  zato ne pada

več s časom  $T_2$ , ampak kot neka druga krivulja, katere oblika je odvisna od nehomogenosti polja,  $T_2$  in oblike vzorca. Ta karakteristični čas imenujemo  $T_2^*$ . Posledica tega je, da  $T_2$  težko direktno izmerimo iz amplitude signala proste precesije, ki je sorazmerna projekciji magnetizacije na  $x'y'$ . Ocenimo ga lahko kot:

$$T_2^* \approx \frac{\pi}{2} \frac{1}{\gamma \Delta B_z} \approx \frac{1}{\gamma \Delta B_z} \quad (6)$$

Če v času  $\tau$  po sunku  $\pi/2$  delujemo na sistem s sunkom  $\pi$ , se v času  $2\tau$  po  $\pi/2$  sunku magnetni momenti zopet zberejo v smeri osi  $-y'$ . V merilni tuljavici se zato pojavi signal, ki ga imenujemo **spinski odmev**. Amplituda spinskega odmeva z večanjem razmaka med sunkoma pada kot  $\exp\left(-\frac{2\tau}{T_2^*}\right)$ , širina je pa je odvisna od tega kako hitro se magnetni momenti spet zberejo nazaj v smeri osi  $-y'$  in je enaka  $2T_2^*$

## 2 Potrebščine

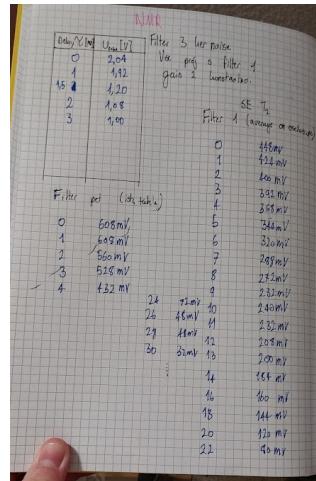
- NMR spektrometer
- Vzorci vode
- Osciloskop
- Napajalnik
- Vodno hlajenje
- Elektromagnet

## 3 Naloge

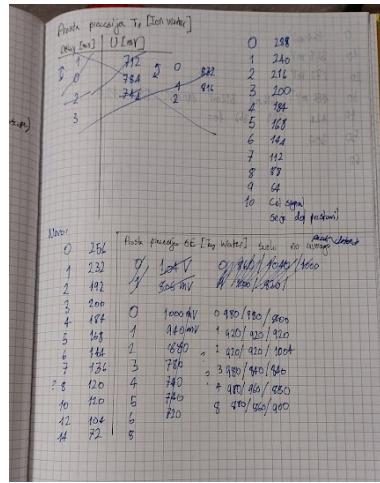
- Iz širine signala proste precesije in signala spinskega odmeva poišči takšno lego sonde, da bo magnetno polje v področju vzorca čim bolj homogeno in iz obeh širin izračunaj  $T_2^*$  in oceni nehomogenost magnetnega polja v vzorcu.
- Z opazovanjem signala proste precesije med dvema sunkoma  $\pi/2$  določi relaksacijski čas za vodovodno vodo in vodo s primešanimi paramagnetenimi ioni.
- Za vodo s primešanimi paramagnetenimi ioni poišči odvisnost višine signala spinskega odmeva od presledka med sunkoma  $\pi/2$  in  $\pi$  in določi spinsko-spinski relaksacijski čas  $T_2$

## 4 Meritve

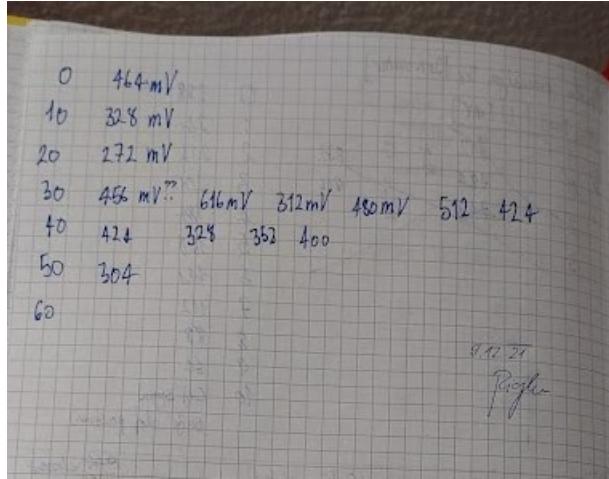
Meritve sem zapisal v svoj laboratorijski dnevnik. Moje meritve proste precesije za določitev  $T_1$  so bile popolnoma čudne, ker so eksponentno padale. Kot vzor kako bi morale biti sem si sposodil meritve od kolega. Ker imam težave z dotikanjem zvezka, ki je bil na faksu, sem se odločil poskusiti narediti poročilo v .pdf obliki.



Slika 1: Meritve v laboratorijskem dnevniku



Slika 2: Meritve v laboratorijskem dnevniku



Slika 3: Meritve v laboratorijskem dnevniku

## 5 Obdelava podatkov

Meritve sem prepisal v excel in jih izvozil kot .csv, kar sem nadaljno obdelal v Pythonu z standardnim setom paketov `matplotlib` in `NumPy`.

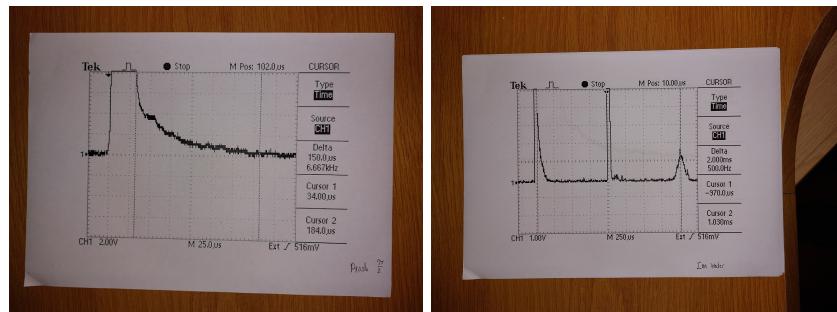
## 6 Izračuni

### 6.1 Ocena nehomogenosti

Preko opazovanja signala proste precesije po sunku  $\pi/2$  in signala spinskega odmeva sem lahko iz širine ocenil relaksacijski čas  $T_2^*$ .

$$T_{21}^* \approx 150 \mu\text{s}, \quad T_{22}^* \approx 130 \mu\text{s}$$

Če vzamem povprečje teh dveh časov lahko po obrnjeni zvezi (6) ocenimo



nehomogenosti. Dobim:

$$\Delta B_z \approx 42 \mu\text{T}$$

## 6.2 Spinsko-mrežni relaksacijski čas $T_1$

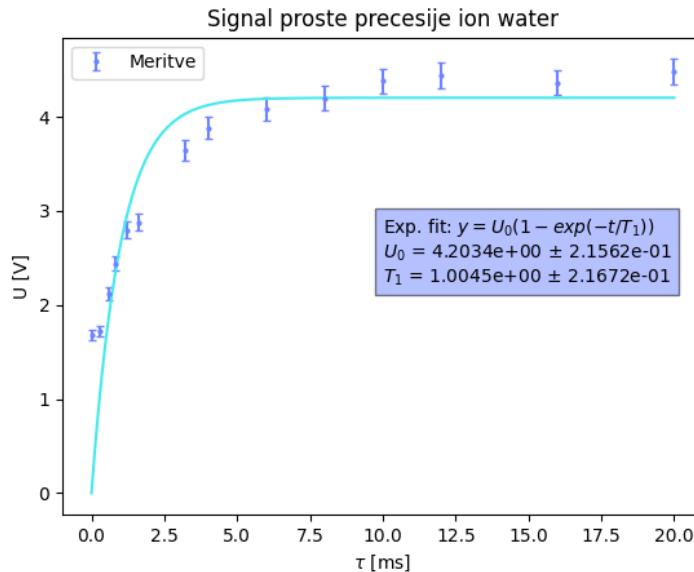
Te meritve sem moral vzeti od kolega, ker so meni prišli bizarni (in napačni) rezultati. Z opazovanjem odvisnosti signala proste precesije med dvema sunkoma  $\pi/2$  se lahko z prileganjem modelke krivulje (7) določi čas  $T_1$ . To sem naredil za vodo s primešanimi paramagnetnimi ioni in za vodovodno vodo.

$$U = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}\right) \quad (7)$$

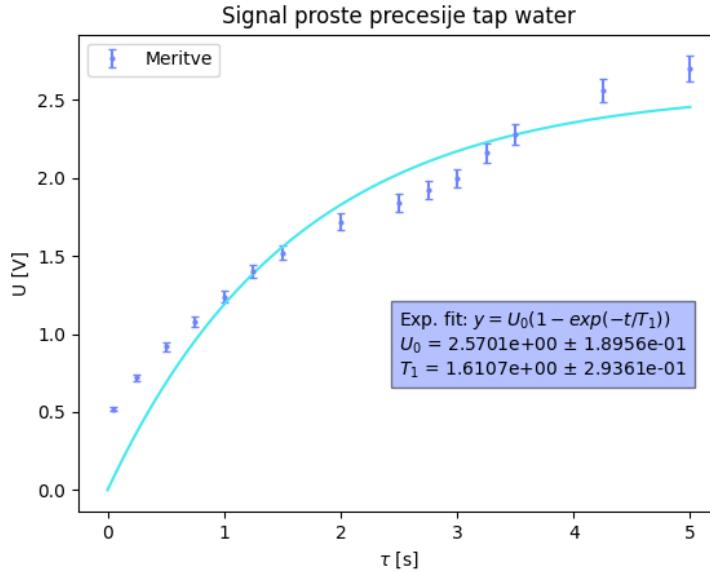
Tako sem dobil:

$$T_{1_{\text{ion}}} = (1.0 \pm 0.2) \text{ ms}$$

$$T_{1_{\text{tap}}} = (1.6 \pm 0.3) \text{ s}$$



Slika 5: Fit modela 1 za vodo s primešanimi paramagnetnimi ioni



Slika 6: Fit modela 1 za vodovodno vodo

### 6.3 Spinsko-spinski relaksacijski čas $T_2$

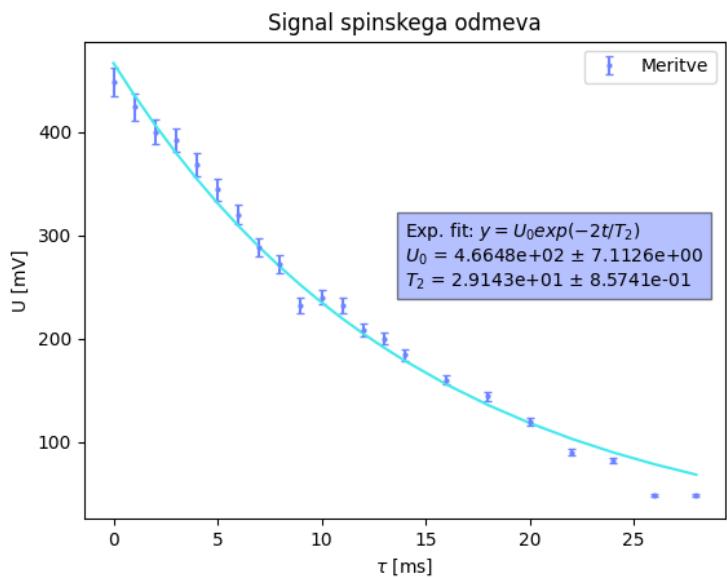
Z meritvijo signala spinskega odmeva v odvisnosti od razmika  $\tau$  med sunkoma  $\pi/2$  in  $\pi$  lahko z prileganjem modelske krivulje (8) določimo čas  $T_2$  za vodo s primešanimi ioni. Za vodovodno vodo je ta čas predolg, če se ne motim.

$$U = U_0 e^{-\frac{2t}{T_1}} \quad (8)$$

Tako sem dobil:

$$T_{2\text{ion}} = (15 \pm 1) \text{ ms}$$

Ta rezultat se mi zdi zopet napačen, četudi odvisnost zgleda okay. Pričakoval bi čas reda ms. Nevem kaj je šlo pri meritvah narobe, ker signal je zgledal impresivno dober in čist. Sredi meritv se je pojavil neke vrste šum, ki je stvari precej otežil. Ne vem čisto točno kaj ga je povzročilo, ampak mi ga ni uspelo odpraviti. Mogoče je vsaj delno krv za nenavadne meritve.



Slika 7: Fit modela 2 za vodo s primešanimi paramagnetenimi ioni