

Optikai pumpálás

Olar Alex



Tartalomjegyzék

I. Mérés leírás

A mérés során az optikai pumpálás jelenségét vizsgáltuk Rb atomokon, mely során meghatároztuk a folyamatra jellemző időállandókat és a Zeeman-effektus során a giromágneses faktort.

A labor során Rb és Kr gázt tartalmazó kisülési csövet használtunk, az ebből kijövő elektromágneses hullámokat lineárisan polarizáltuk és $\lambda/4$ -es lemezzel cirkulárisan polarizáltuk.

A fényelnyelést fotodiódával detektáljuk, az adatokat Pythonban értékeltük ki.

II. Elméleti háttér

Egyensúlyban az egyes energiaszintek betöltöttségét a Boltzmann-eloszlás írja le.

$$\frac{N_B}{N_A} = e^{-\frac{E_B - E_A}{kT}} \quad (1)$$

Három energiaszinttel elérhető populáció inverzió, mely során az A szintről a B szintre pumpáljuk, melyből a C szintre esnek le a gerjesztett elektronok. A szintekre jellemző, hogy $E_B > E_C > E_A$. Így közvetve elérhető a pumpálás egy harmadik szint beiktatásával.

A mostani mérés során 4 energiaszintünk van, mágneses térben a Rb atom $3^2S_{1/2}$ és $3^2P_{1/2}$ nívója Zeeman-effektus szerint felhasad az elektron spinje szerint. A legalsó A energiaszintről a legfelsőbe (D) kerül a rendszer a gerjesztés hatására, majd alapállapotba, vagy egy felsőbb szintre (B) kerül. Így a betöltöttség A-n csökken és létrejött a pumpálás.

A felírt folyamatok sebességét időállandókkal jellemezhetjük. T_1 jellemzi a pumpálás kikapcsolása esetén a $B \rightarrow A$ átmenetet, T_p az $A \rightarrow D$ átmenetet, $\tau = (T_1^{-1} + T_p^{-1})^{-1} < T_1, T_p$ pedig a pumpálásra jellemző effektív karakterisztikus idő. Ezen kívül bevezethető még egy időállandó (T_2) amely a Zeeman-felhasadás megszűnésekor mérhető relaxációs idő.

Először a T_2 és τ időállandókat határoztuk meg, amelyekhez figyelembe kell venni a Föld mágneses terét is. Ezután A és B közti energiakülönbségnek megfelelő energiájú (radiofrekvenciás) gerjesztéssel rezonanciát érünk el. Folyamatos

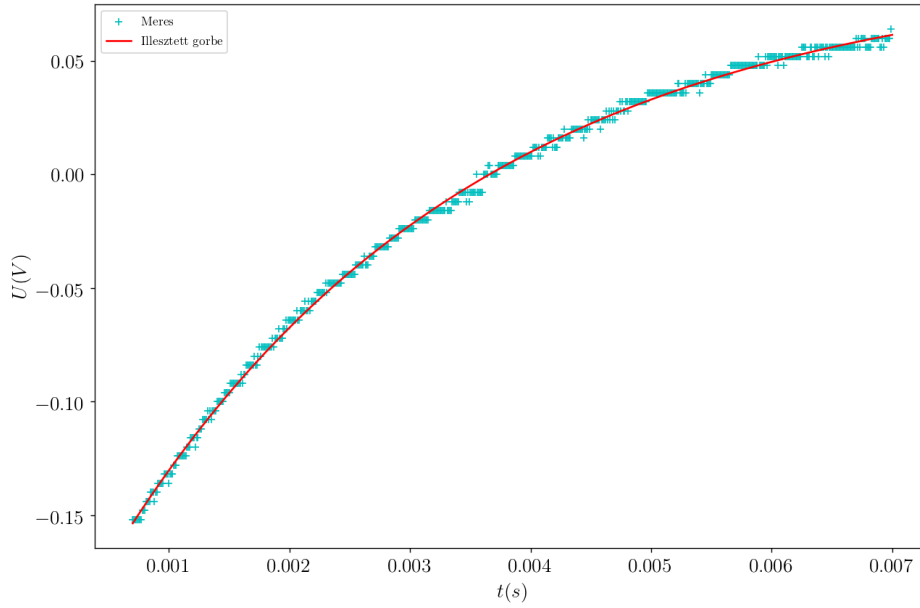
pumpálással populáció-inverziót érünk el A és B közt, és amennyiben a radiofrekvenciás foton energiája pont a Zeeman-felhasadás energiakülönbségének felel meg, indukált emisszió hatására relaxál a rendszer, amely az elnyelt fényintenzitás növekedésében mutatkozik meg. Ezt a fotodióda által észlelt intenzitás csökkenésében jelenik meg. A Zeeman-felhasadás energiaszintjét a ?? egyenlet írja le.

$$\Delta E = \mu_B g_F B \stackrel{!}{=} h\nu \quad (2)$$

A mágneses teret $B = B_0 + b \sin(\omega t)$ alakban változtatjuk, ahol $b < B_0$. A szinuszos modulációnak köszönhetően periodusonként 0,1 vagy 2-szer történik rezonancia-átmenet. Leolvasási pontnak azt választjuk, amikor $\sin(\omega t)$ 0 értéknél, azaz periodusonként kétszer jelenik meg rezonancia, azonos időkülönbséggel. A mérést mindkét irányban elvégezzük, ezáltal a kettő átlagával a Föld mágneses terét ki tudjuk kompenzálni. A mérést 4 frekvencián végezzük, azokat egy külön antennával mérjük. A fenti képlet alapján így meghatározható g_F , külön-külön mindkét Rb izotópra.

III. τ időállandó meghatározása

A fotodiódán keletkező feszültséget oszcilloszkóppal mértük, a periodikus jelből kiválasztottam 6 olyan szakaszt, ahol exponenciális görbe figyelhető meg (?? ábra). Ezekre az elmélet szerint számolt $n = n_0(1 - \exp(-t/\tau))$ -től eltérően, (a szingularitást elkerülendő) $f(x) = n_1 + n_2 \exp(-t/\tau)$ görbét illesztettem, amelyből a τ összevont időállandó meghatározható.



1. ábra. Helyes feszültség - idő görbe

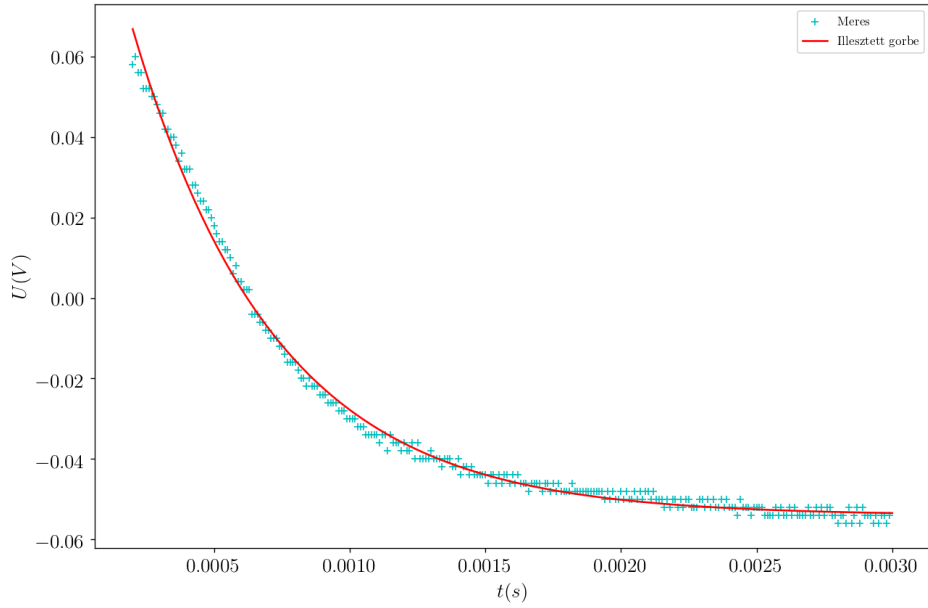
τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5	τ_6	$\bar{\tau}$	σ_τ
0.00335	0.0023	0.00259	0.00297	0.00283	0.00266	0.00279	0.00033

1. táblázat. τ - átlag és szórás $n = 6$ görbe alapján

IV. T_2 időállandó meghatározása

Ezután megmértük a Zeeman felhasadás megszűnésekor bekövetkező relaxációs folyamat T_2 időállandóját.

Ehhez úgy állítottuk be a Helmholtz-tekercekre kapcsolt periodikus jel amplitúdóját, hogy keletkező mágneses tér egyik félperiódusban pont kioltsa a Föld mágneses terét. Ebben a félperiódusban relaxáció történik, ami a fotodiódán mérhető intenzitáscsökkenésben mutatkozik meg (?? ábra). Erre exponenciális függvényt illesztve megkaphatjuk a T_2 időállandót.



2. ábra. Feszültség - idő

T_{21}	T_{22}	T_{23}	T_{24}	T_{25}	T_{26}	$\overline{T_2}$	σ_{T_2}
0.000708	0.000671	0.000685	0.000535	0.000721	0.000839	0.000693	0.000089

2. táblázat. T_2 átlaga és szórása $n = 6$ görbe alapján

V. Rezonancia-átmenet vizsgálata és giromágneses faktor meghatározása

A rendszert négy frekvencián gerjesztettük radiofrekvenciás jellel. A mágneses indukcióvektor nagyságának meghatározásához felhasználtuk a Helmholtz-tekercek paramétereit ($R = 19.3\text{cm}$, $n = 80$), illetve a ??-as egyenletet.

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 n I}{R} \quad (3)$$

A mért adatokat a ??- és a ??- táblázat tartalmazza. A gerjesztési radiofrekvenciás jel frekvenciáját egy antenna segítségével oszcilloszkópon mértük, leszámolva adott idő alatt megjelenő periódusokat. A giromágneses faktor (g_F) éppen

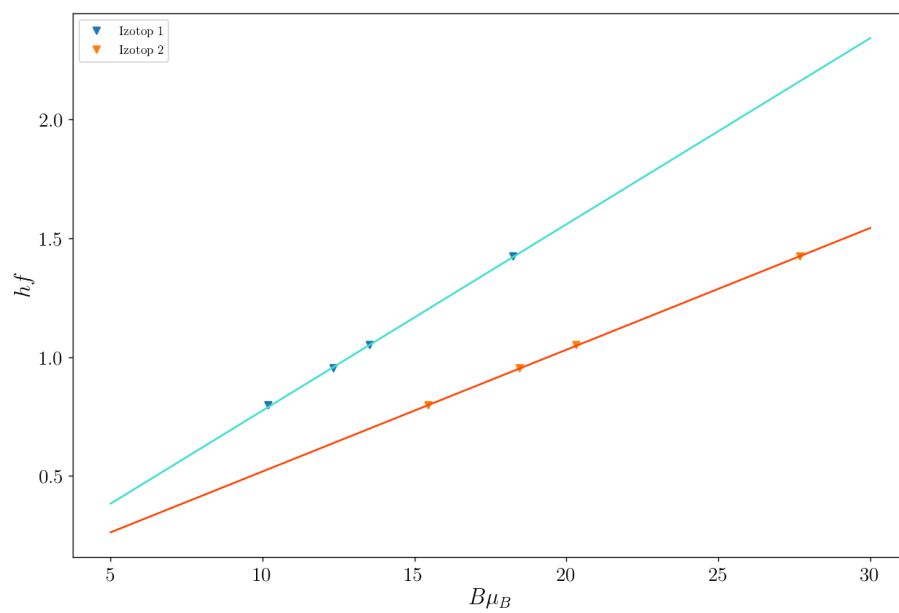
az $E(B\mu_B)$ egyenes meredeksége (?? ábra). A kapott giromágneses faktorok a két izotópra: $g_{F,1} = 0.5154 \pm 0.0012$ és $g_{F,2} = 0.3414 \pm 0.0004$. A mérésből meghatározható a Föld mágneses terének az indukált B irányú vetülete (a két irányban mért B különbségének a fele), amely $B_F = (14.0 \pm 0.8)\mu T$ -nak adódott. A kapott giromágneses faktorok jól közelítik az elméleti értéket. A vizsgált rendszerben $S = 1/2, J = 1/2, I_1 = 3/2, I_2 = 5/2$. Ekkor $g_J = 2$ adódik, ebből pedig $J = 1/2$ esetén $g_F = \frac{g_J}{2I+1}$, behelyettesítve I-t: $g_{F,1} = 0.5, g_{F,2} = 0.33$.

f (GHz)	E ($10^{-28}J$)	I (mA)	I (mA)	B ₁ (μT)	B ₂ (μT)	B _{atlag} (μT)	B μ_B ($10^{-28}J$)
0.7957	5.272	129	166	96.16	123.7	109.9	10.20
0.9532	6.316	161	196	120.0	146.1	133.1	12.34
1.049	6.953	176	215	131.2	160.3	145.7	13.52
1.424	9.435	243	285	181.1	212.4	196.9	18.25

3. táblázat. Az 1. izotópra vonatkozó mért áramerősségek és számolt adatok (B_1 és B_2 egymással ellentétes irányú mágneses terek, ezáltal a kettő átlagában már nem jelenik meg a Föld mágneses tere)

f (GHz)	E ($10^{-28}J$)	I (mA)	I (mA)	B ₁ (μT)	B ₂ (μT)	B _{atlag} (μT)	B μ_B ($10^{-28}J$)
0.7957	5.272	205	242	152.8	180.4	166.6	15.45
0.9532	6.316	248	286	184.9	213.2	199.0	18.46
1.049	6.953	276	312	205.7	232.6	219.2	20.32
1.424	9.435	382	419	284.8	312.3	298.5	27.69

4. táblázat. A 2. izotópra vonatkozó mért áramerősségek és számolt adatok



3. ábra. Radiofrekvenciás gerjesztő foton energiája a $B\mu_B$ függvényében

VI. Diskusszió

A mérést másodjára végeztük el többen is, így a jegyzőkönyveink hasonlóak, hasonló forrás alapján dolgoztunk és az adatokat közösen értékeltük ki.