

Impulsowy spektrometr MRJ

Michał Mazur

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński



Abstrakt

Stosując metodę magnetycznego rezonansu jądowego badano czas relaksacji spin-sieć oraz spin-spin dla wodnych roztworów $CuSO_4$. Wyznaczono czasy relaksacji dla stężeń z przedziału od $\frac{1}{32}\%$ do 2% oraz zbadano ich zależność od stężenia.

Relaksacja spin-sieć

Wektor magnetyzacji $\vec{M}$ ciała jest sumą momentów magnetycznych poszczególnych cząstek w jednostce objętości. Losowy rozkład momentów magnetycznych powoduje, że gdy precesują w przyłożonym polu B_0 , magnetyzacja w płaszczyźnie prostopadłej do tego pola jest zerowa. Magnetyzacja w kierunku równoległym do przyłożonego pola $M_{||}$ będzie rosła, aby zapewnić minimum energii układu, do pewnej magnetyzacji maksymalnej M_0 , zgodnie z równaniem różniczkowym:

$$\frac{dM_{||}}{dt} = \frac{M_0 - M_{||}}{T_1}$$

gdzie stała T_1 związana z dysypacją energii magnetycznej nazywana jest czasem relaksacji podłużnej, albo relaksacji spin-sieć. Rozwiązaniem tego równania jest:

$$M_{||} = M_0 (1 - e^{-t/T_1})$$

Relaksacja spin-spin

Kiedy $M_{||}$ ustali się w pobliżu maksymalnej wartości, włączamy dodatkowe, ortogonalne do stałego pola B_0 zmienn pole magnetyczne B_1 o częstotliwości rezonansowej. Pole B_1 jest stałe w układzie spoczynkowym precesujących spinów i zmienia oś precesji. Po jego wyłączeniu składowa magnetyzacja w kierunku prostopadłym do B_0 zanika zgodnie z równaniem:

$$\frac{dM_{\perp}}{dt} = -\frac{M_{\perp}}{T_2}$$

gdzie stała T_2 związana z powrotem spinów do stanu nieuporządkowanego nazywana jest czasem relaksacji poprzecznej, albo relaksacji spin-spin. Rozwiązaniem tego równania jest:

$$M_{\perp} = M_{0\perp} e^{-t/T_2}$$

Echo spinowe

Metodą padawczą użytą w doświadczeniu jest tak zwana metoda *echa spinowego*. Pole $\vec{B}_1$ jest włączane na wystarczająco długo, aby momenty magnetyczne obróciły się o $\pi/2$ lub o π . Po impulsie $\pi/2$ momenty magnetyczne obróca się równoległe do osi x . Po ustaniu impulsu nastąpi precesja w płaszczyźnie xy połączona z relaksacją. Przez niejednorodności pola, występują różnice w częstości precesji. Po przyłożeniu po czasie t_D impulsu π momenty „wolniejsze” znajdują się „z przodu”, a po kolejnym czasie t_D wszystkie momenty ustawiają się jednocześnie wzdłuż osi x dając echo spinowe o amplitudzie:

$$A(t_D) = A_0 e^{-2t_D/T_2}$$

Kolejne impulsy muszą być rozseparowane w czasie wystarczająco, aby wektor magnetyzacji wrócił do pierwotnej wartości.

W innej sekwencji impuls π obraca wektora magnetyzacji tak, że relaksuje tylko składowa równoległa do B_0 . Po upływie czasu t_D wykonuje się serię impulsów dla echa spinowego, którego amplituda w tym przypadku wynosi:

$$A(t_D) = A_0 e^{-t_D/T_1}$$

Literatura

- [1] W. Hilczner J. Stankowski.
Pierwszy krok ku radiospektroskopii rezonansow magnetycznych.
OWN, Poznan 1994.
- [2] <http://www.2pf.if.uj.edu.pl/web/ii-pracownia-fizyczna/z8>

Podziękowania

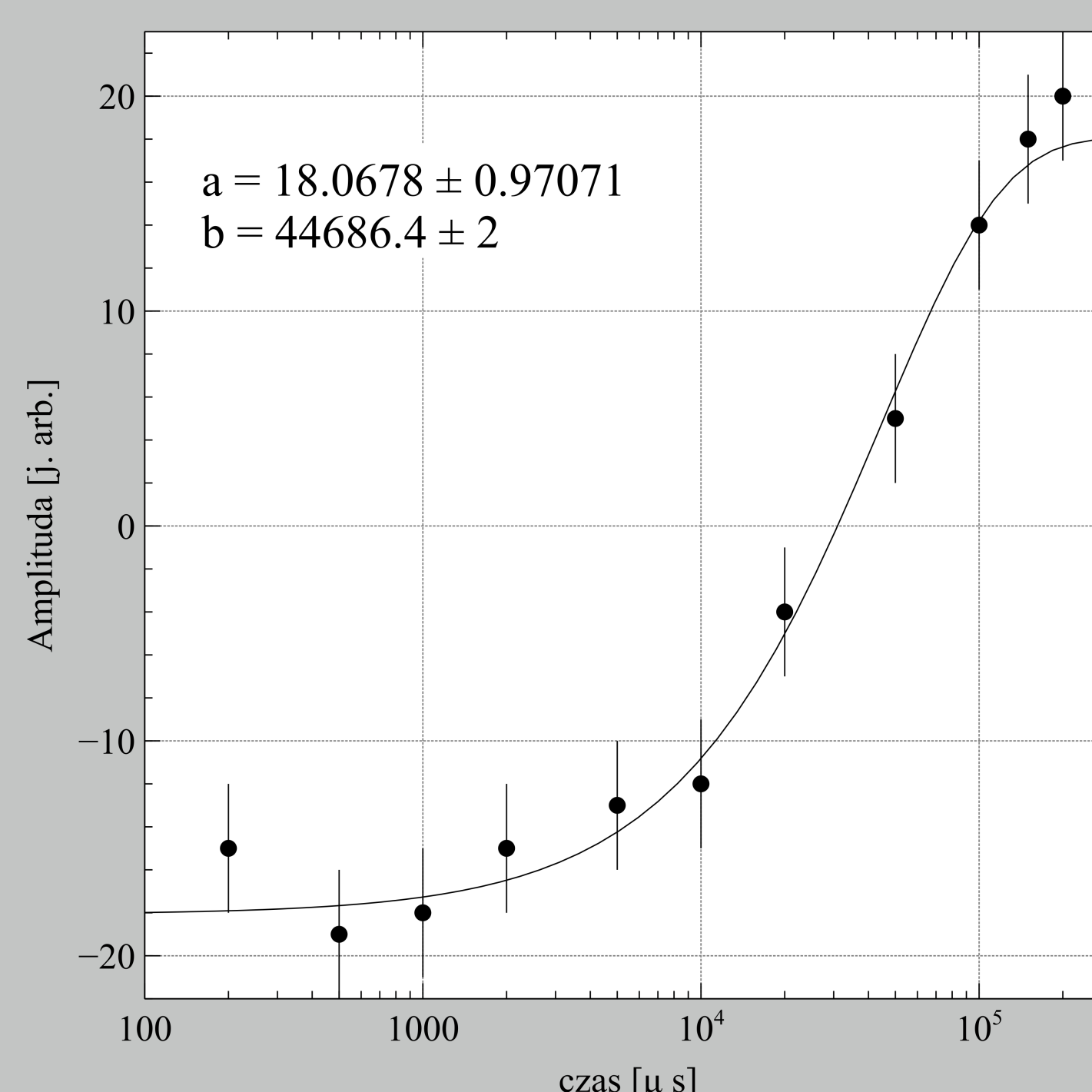
Chciałbym podziękować Piotrowi Staroniowi za współpracę przy wykonywaniu doświadczenia oraz dr hab. Leszekowi Józefowskiemu za pomoc w eksperymencie i przygotowaniu tego plakatu

Stanowisko pomiarowe

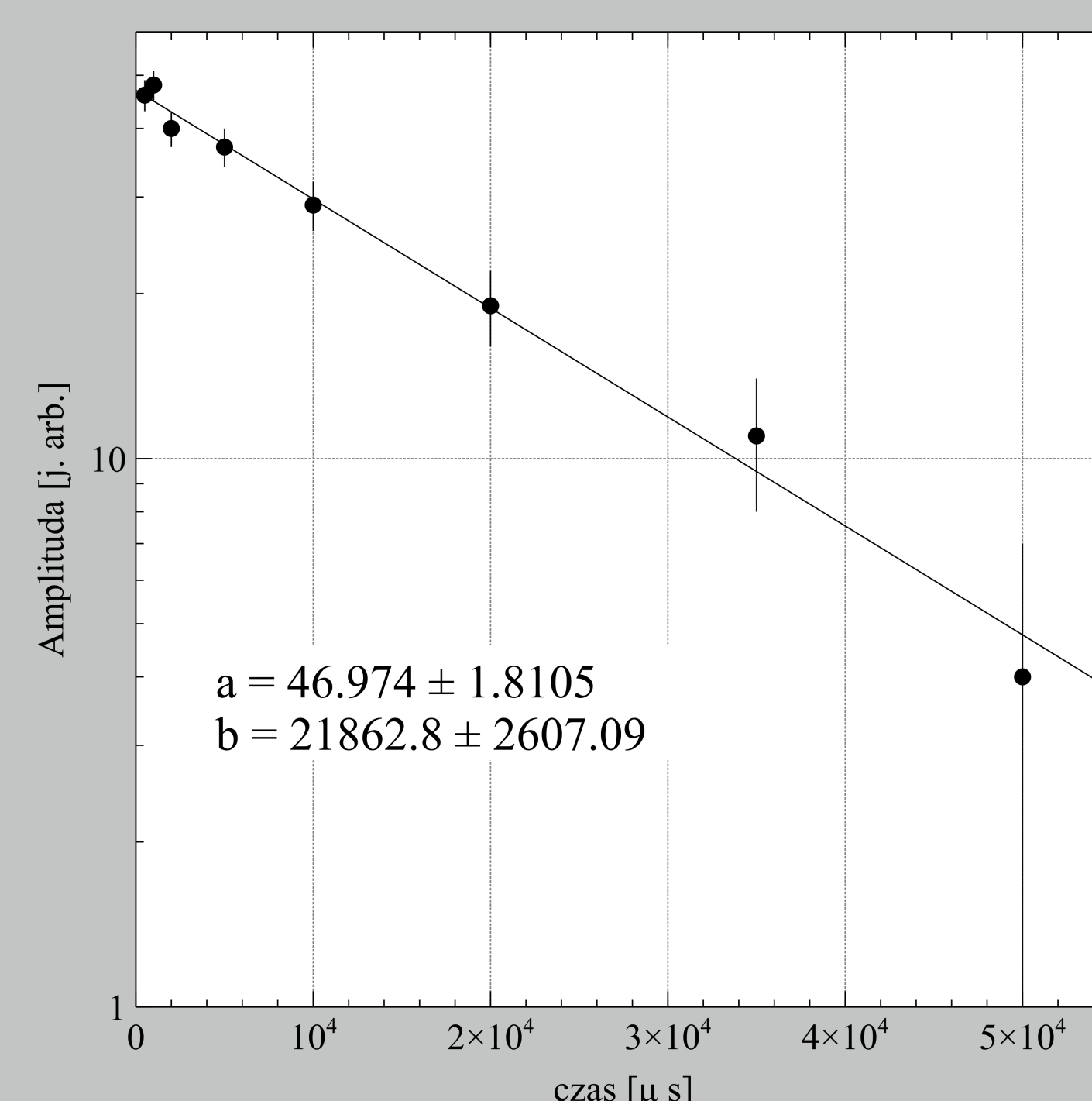


Rysunek: Zdjęcie stanowiska pomiarowego [2]

Wyznaczanie czasów relaksacji



(a) amplituda echa relaksacji spin-sieć dla stężenia $1/4\%$



(b) amplituda echa relaksacji spin-spin dla stężenia $1/4\%$

Przy wyznaczaniu czasu relaksacji spin-sieć dopasowano funkcję

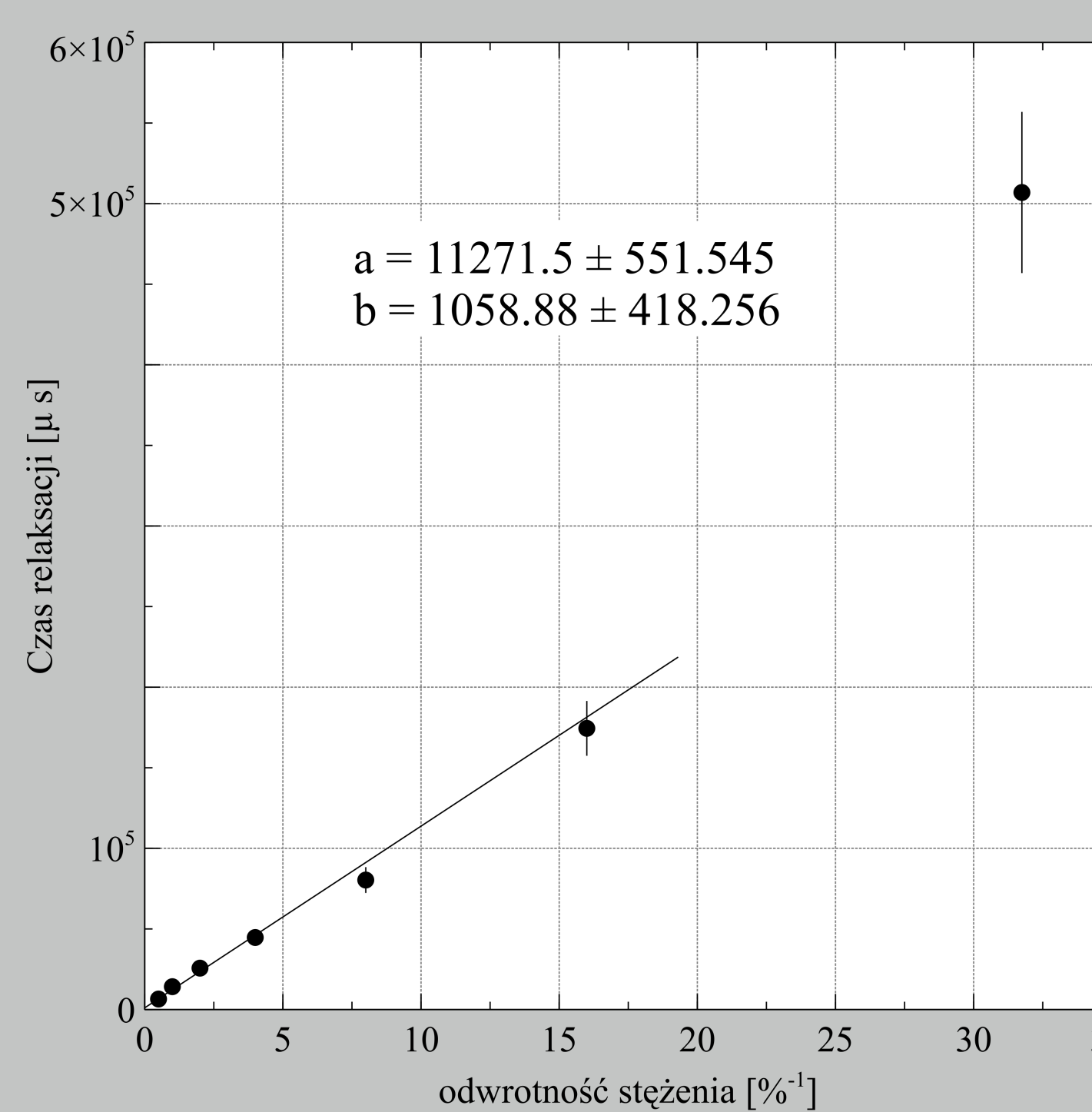
$$y = a(1 - 2 \exp(-x/b))$$

Przy wyznaczaniu czasu relaksacji spin-spin dopasowano funkcję

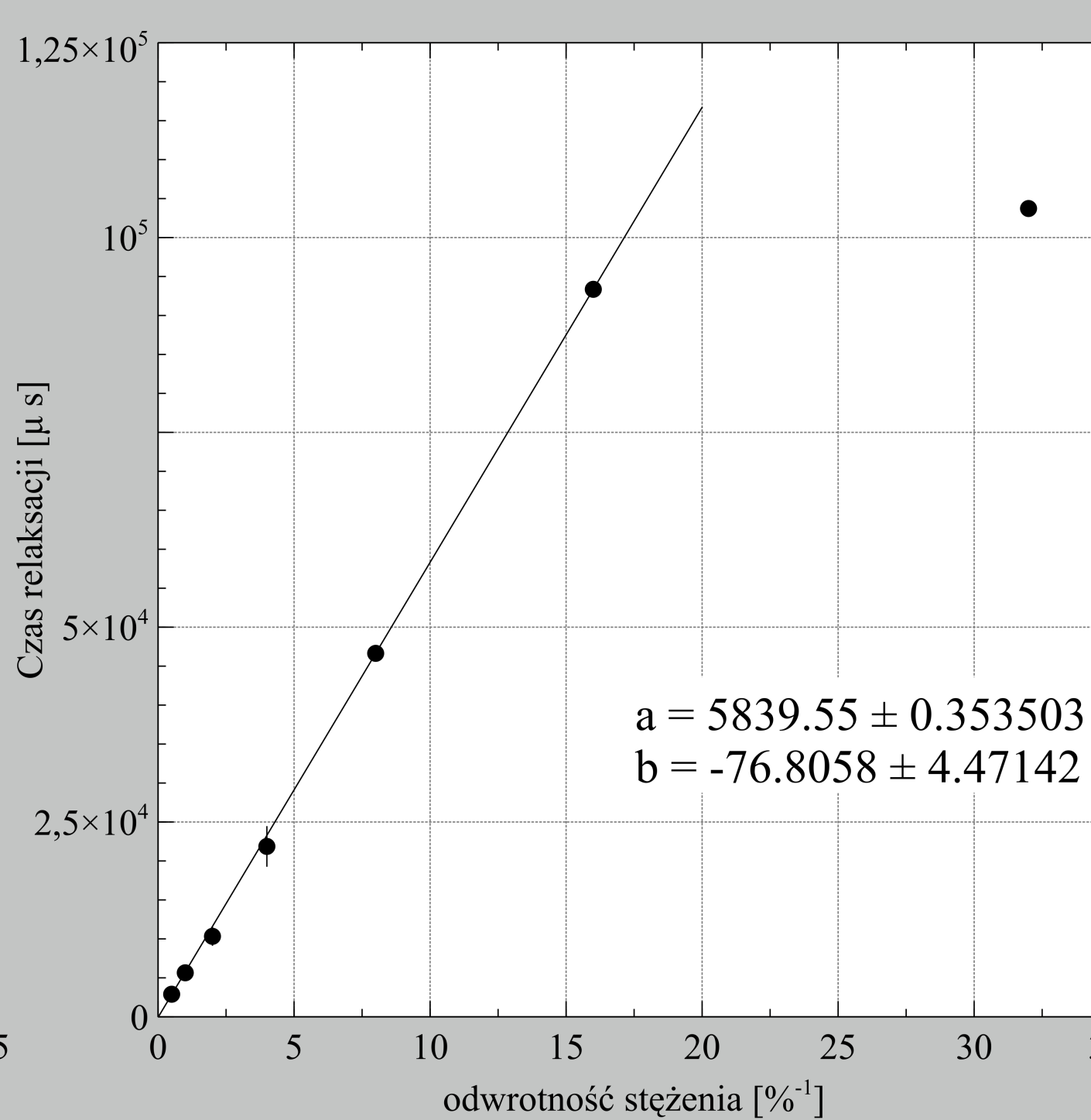
$$y = a \exp(-x/b).$$

Dla stężenia $\frac{1}{32}\%$ dopasowania dokonano dla 5 pierwszych czasów

Wyniki



(c) Czas relaksacji spin-sieć T_1



(d) Czas relaksacji spin-spin T_2

Dopasowana funkcja to $y = a \cdot x + b$. W dopasowaniu pominięto stężenie $\frac{1}{32}\%$.

Podsumowanie

Zgodnie z przewidywaniami zaobserwowano odwrotną proporcjonalność czasów relaksacji do stężenia $CuSO_4$, co jest skutkiem zmian lokalnej wartości indukcji magnetycznej związanej ze zmianą koncentracji jonów miedzi