

Pompowanie optyczne

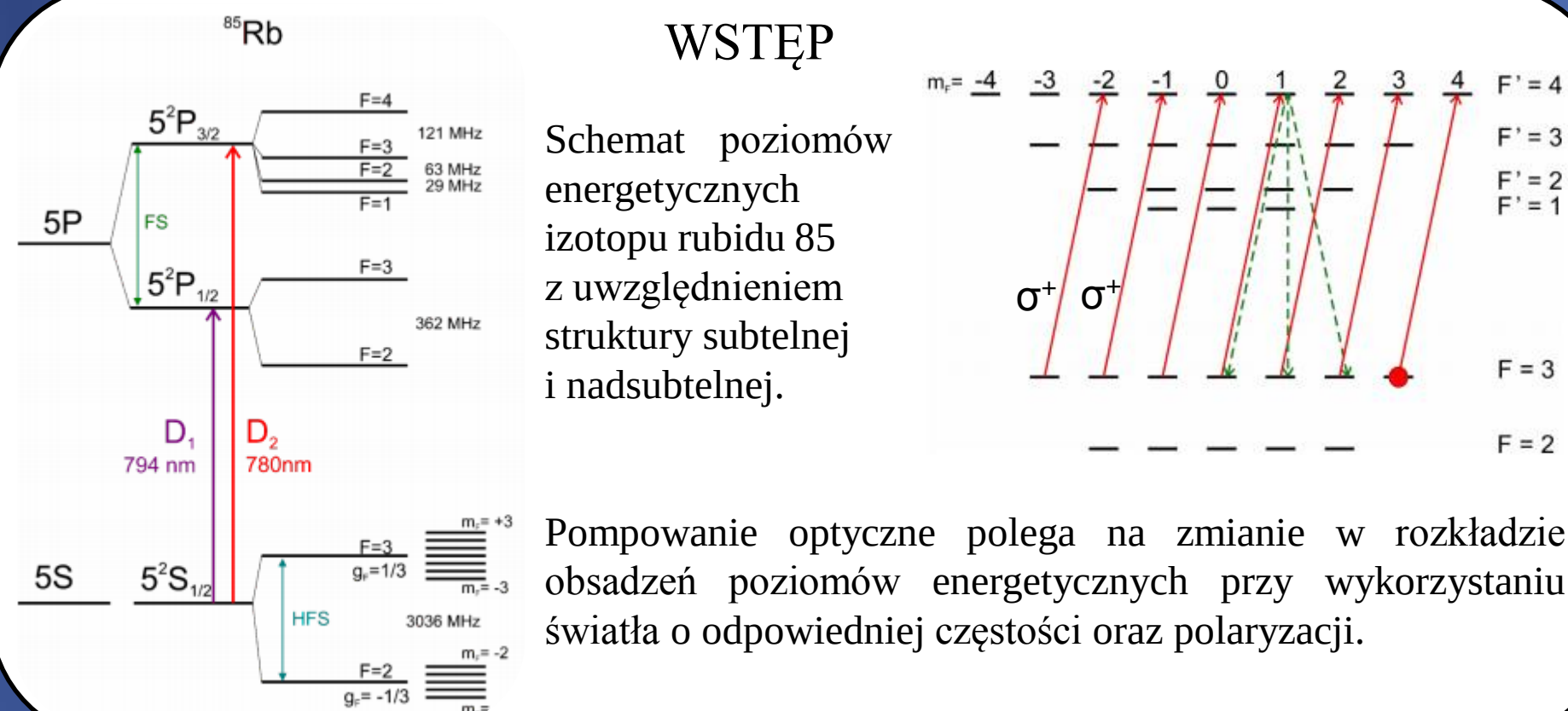
Karolina Szafrńska, pod opieką dr. Tomasza Kawalca

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński

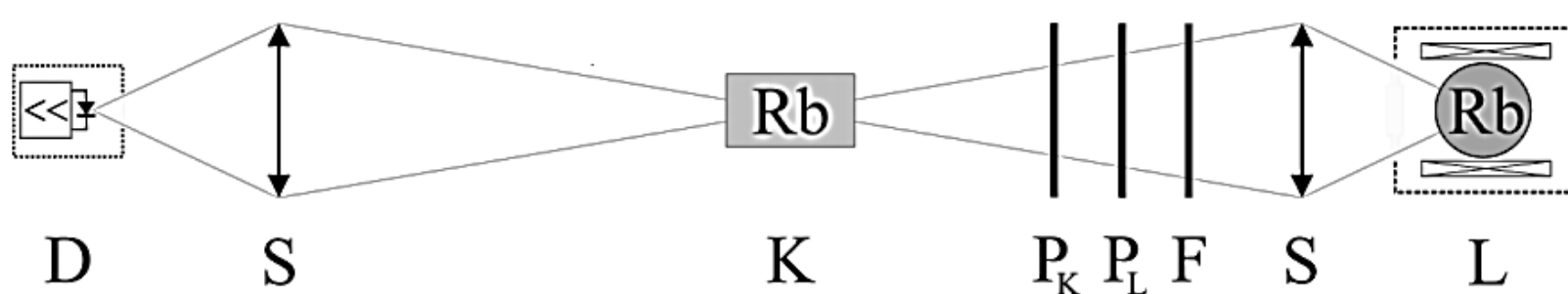
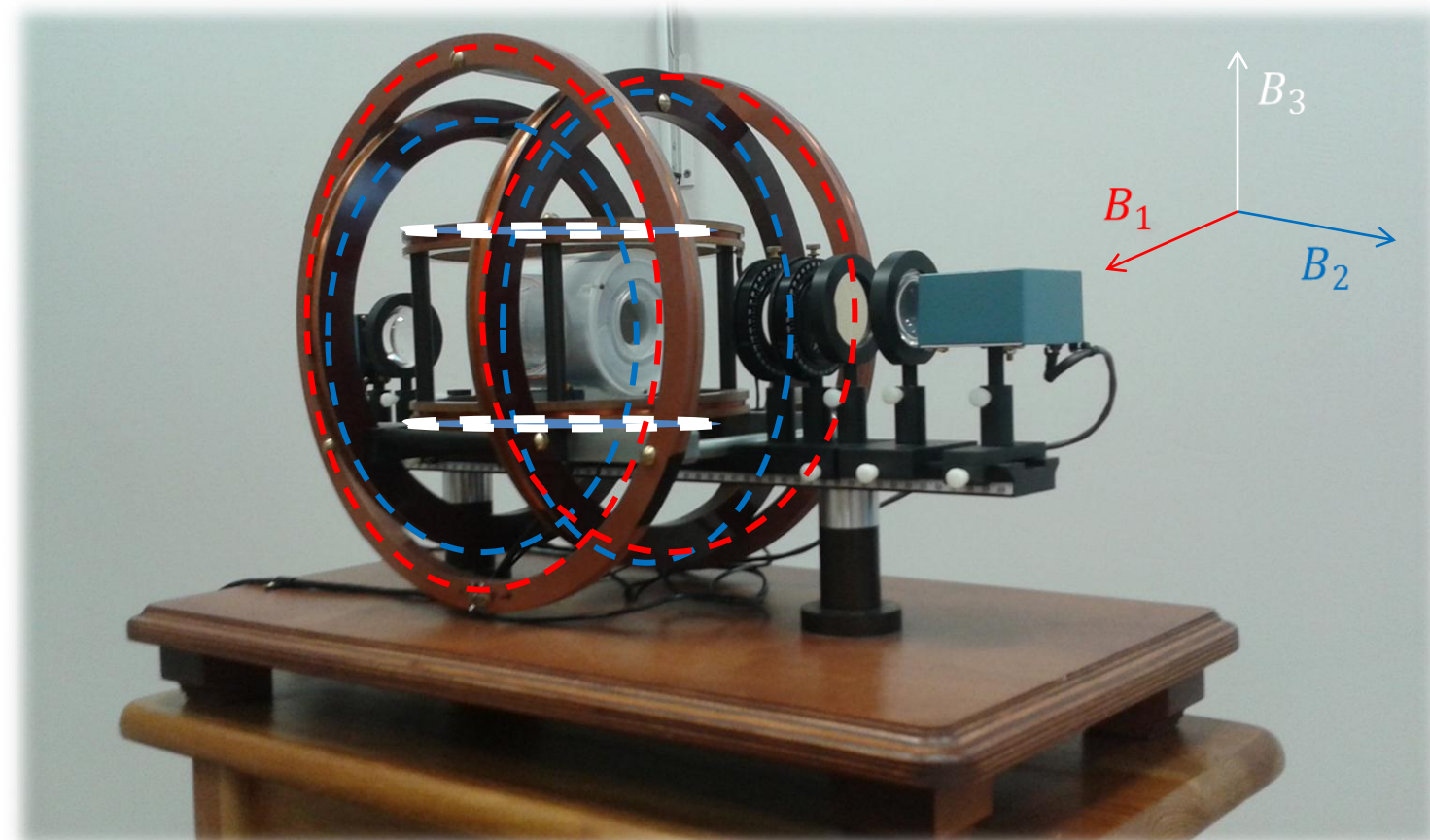
ABSTRAKT

Pompowanie optyczne jest zjawiskiem polegającym na nierównomiernym obsadzeniu stanów atomowych. Znajduje ono zastosowanie w metodach magnetoptycznych, pozwalających na pomiar m.in. pól magnetycznych lub czynników Landégo. W przeprowadzonym doświadczeniu wykorzystano mieszaninę dwóch naturalnych izotopów rubidu, umieszczoną w kontrolowanym polu magnetycznym. Określono przekrój czynny rubidu na absorpcję fotonu, wynoszący $2.109(41) \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ oraz czynniki Landégo dla obu izotopów badanego pierwiastka – $g_F(^{87}\text{Rb}) = 0.4904(64)$, $g_F(^{85}\text{Rb}) = 0.3246(71)$. Przy pomocy pomiarów dla rezonansu w polu zerowym określono wartość oraz kierunek lokalnego, ziemskiego pola magnetycznego – $B_Z = 0.3455(25) \cdot 10^{-4} \text{ T}$. Dla badanej próbki rubidu zaobserwowano również oscylacje Rabiego dla różnych natężeń pola radiowego.

WSTĘP

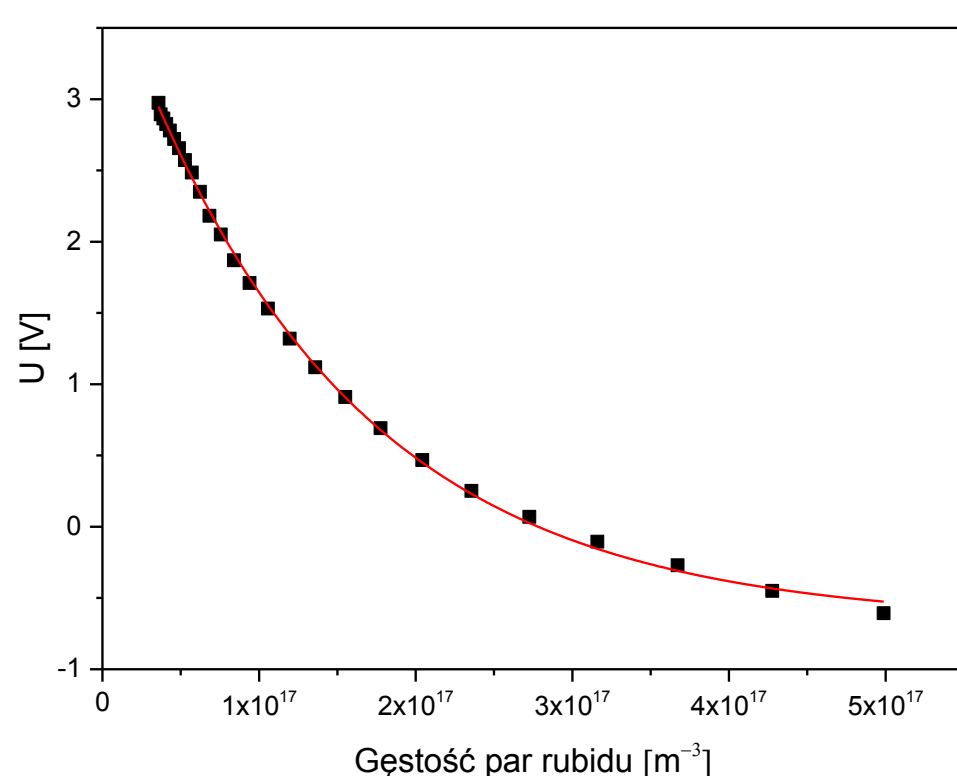


ZESTAW POMIAROWY



Układ eksperymentalny z wyróżnionymi kierunkami mierzonych składowych pola magnetycznego oraz schemat zestawu pomiarowego. D – detektor, S – soczewki skupiające, K – komora z parami rubidu wyposażona w płaszcz grzejny, P_K – ćwierćfalówka, P_L – polaryzator, F – filtr interferencyjny (795 nm), L – lampa rubidowa

PRZEKRÓJ CZYNNY



Przekrój czynny	Wartość [m^2]
$\sigma_{\text{dośw.}}$	$2.109(41) \cdot 10^{-16}$
$\sigma_{\text{teor. [1]}}$	$5 \cdot 10^{-16}$
$\sigma_{\text{geom.}}$	10^{-20}

$$I(\rho) = I_0 \cdot e^{-\sigma \rho} \quad (1)$$

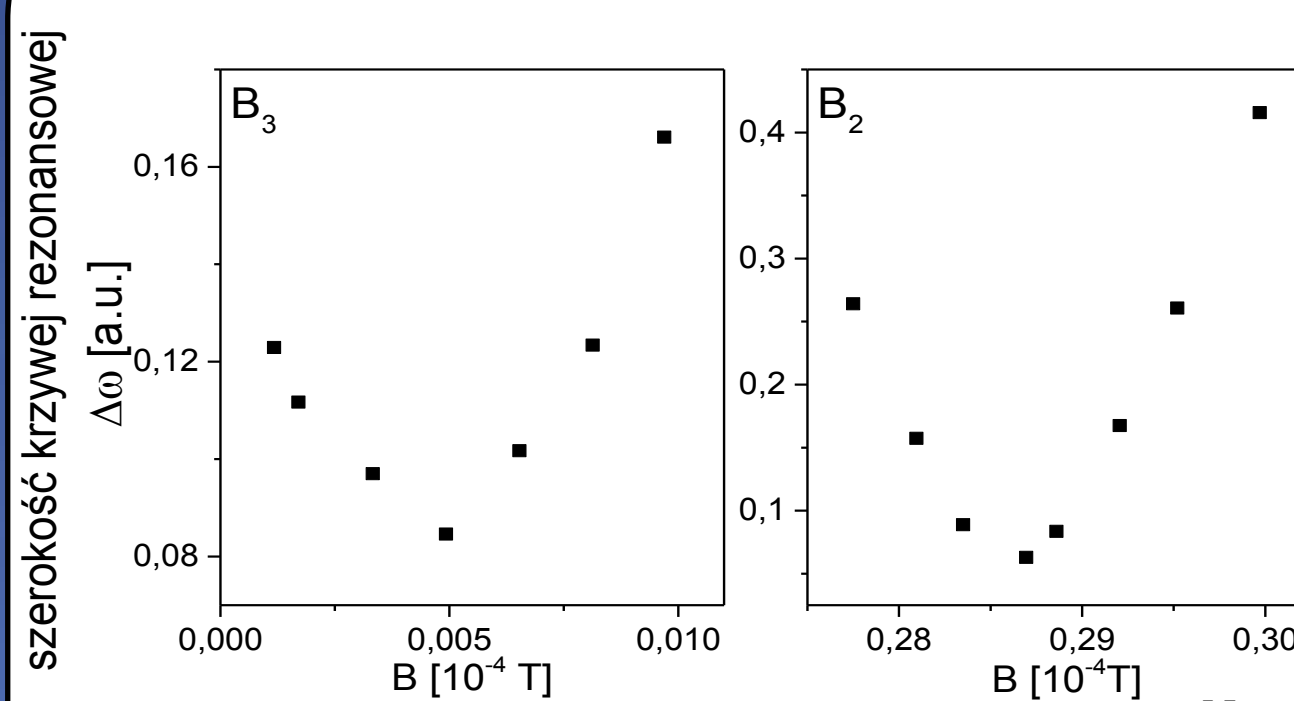
l – długość ośrodka
 I_0 – natężenie światła padającego

Dzięki znanej zależności gęstości par rubidu – ρ od temperatury oraz pomiarowi natężenia światła przechodzącego przez próbkę – I , sporządzono powyższy wykres. Dopasowana krzywa pozwoliła na wyznaczenie doświadczalnego przekroju czynnego na absorpcję fotonu badanej próbki.

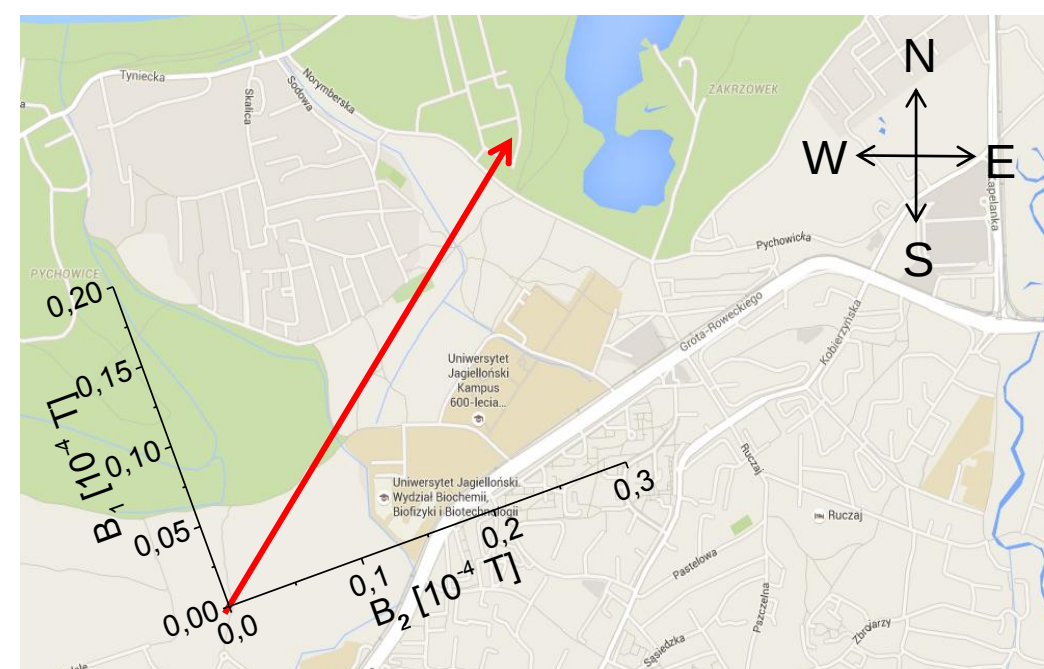
BIBLIOGRAFIA

- [1] Pompowanie Optyczne – skrypt do ćwiczenia Z24, II PF, IF UJ
- [2] Pierwszy krok ku radiospektroskopii rezonansów magnetycznych, J Stankowski, OWN, Poznań 1994
- [3] Atomy i kwanty, H. Haken, H. C. Wolf, PWN, Warszawa 2012, R.22.6.
- [4] International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation, GJI 183: 1216–1230

ZIEMSKIE POLE MAGNETYCZNE



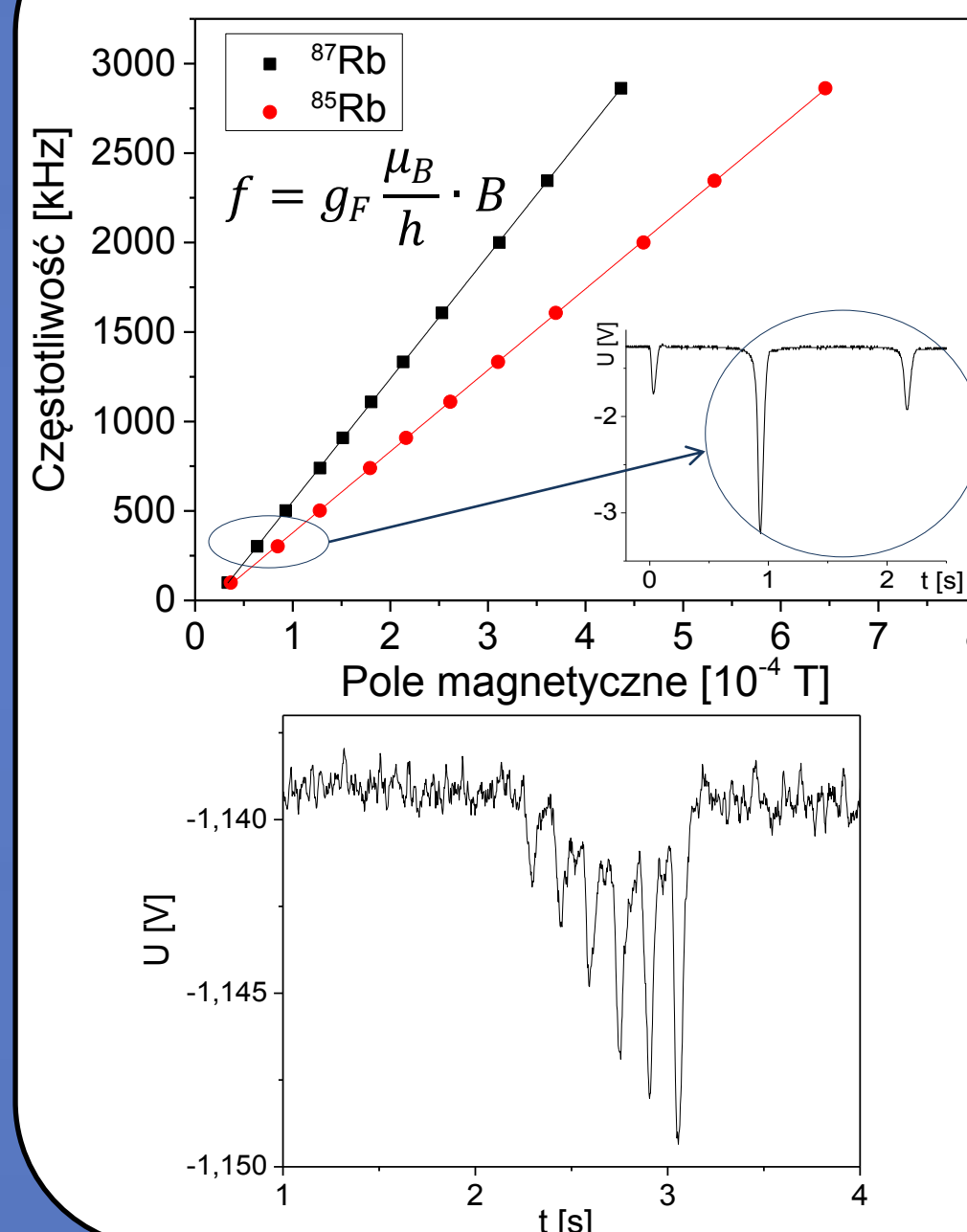
	Składowa pola B	Wartość [10^{-4} T]
B_1	Pozioma poprzeczna	0.1923 (30)
B_2	Pozioma podłużna	0.2869(26)
B_3	Pionowa	0.0049(10)
B_Z	Wypadkowe pole magnetyczne	0.3455(25)
B_t	Wartość literaturowa [4]	0.25-0.65



Na powyższych wykresach przedstawiono zależność szerokości krzywej rezonansowej w funkcji pola magnetycznego, która pozwoliła na wyznaczenie składowych ziemskiego pola magnetycznego. Pomiaru dokonano metodą rezonansu w zerowym polu magnetycznym.

Po uwzględnieniu położenia układu pomiarowego względem kierunków świata, na mapie obok oznaczono kierunek lokalnego pola magnetycznego (Ruczaj, Kraków)

CZYNNIKI LANDÉGO

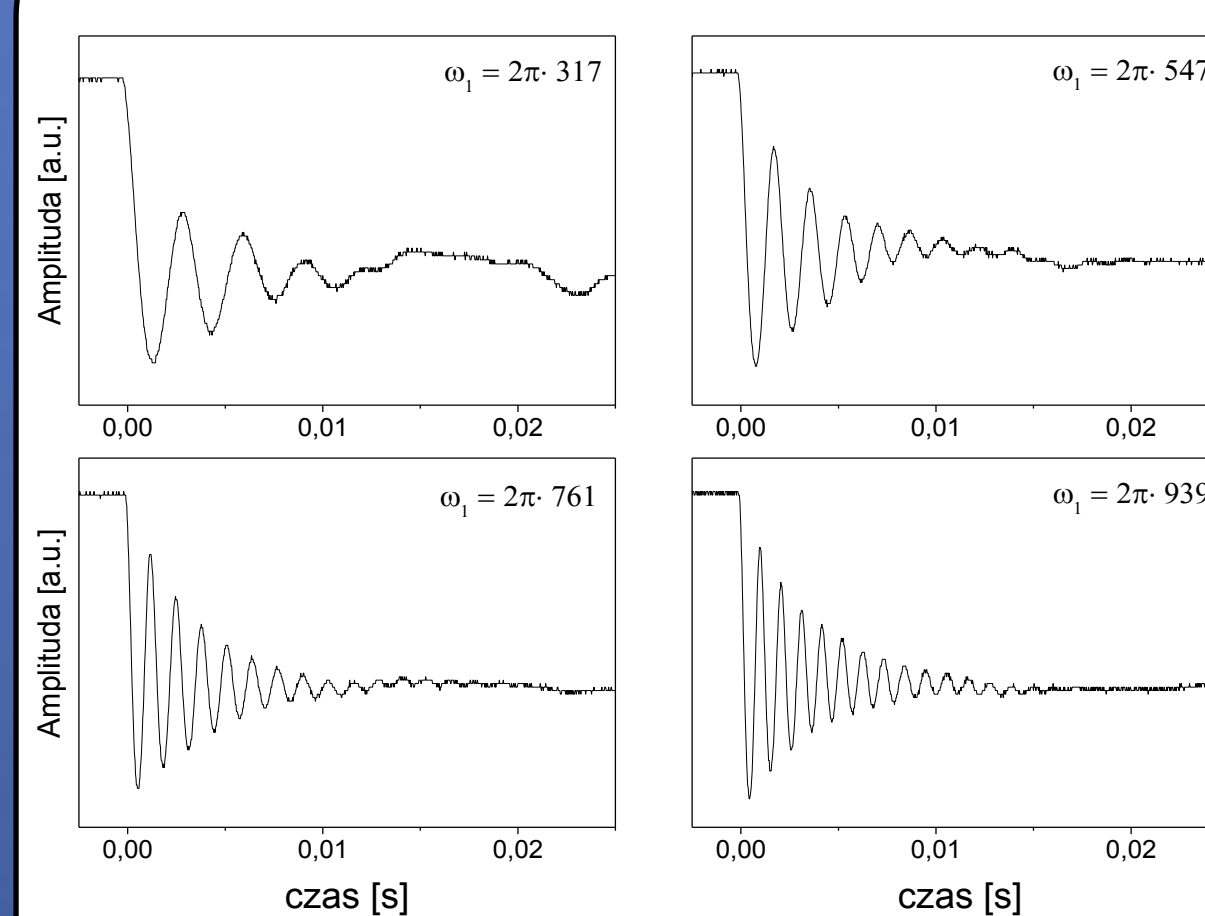


Izotop	Czynnik Landégo	
	Wartość doświadczalna	Wartość teoretyczna [1]
^{87}Rb	0.4904(65)	$1/2$
^{85}Rb	0.3246(71)	$1/3$

Wyznaczenie zależności częstotliwości rezonansu magnetycznego od wartości pola magnetycznego, w zakresie liniowego efektu Zeemana, pozwoliło na wyznaczenie czynników Landégo – g_F , dla obu badanych izotopów rubidu. Otrzymane wartości są zgodne z obliczonymi na podstawie liczb kwantowych.

Nieliniowy efekt Zeemana zaobserwowano dopiero dla częstotliwości pola radiowego 3.5 MHz, jako charakterystyczny kształt krzywej rezonansowej. Różnice energetyczne pomiędzy sąsiednimi stanami przestają być identyczne, przez co obserwujemy rozsuniecie się poszczególnych linii absorpcyjnych.

OSCYLACJE RABIEGO



Zarejestrowane oscylacje Rabiego dla 4 różnych natężeń pola radiowego B_1 , włączanego z częstotliwością 0.5 Hz.

W stałym polu magnetycznym B_0 oraz prostopadłym do niego, oscylującym polu B_1 obserwuje się precesję wektora magnetyzacji wokół wektora wypadkowego pola magnetycznego B_{ef} z częstotliwością ω :

$$\omega = \sqrt{\omega_1^2 + (\omega_0 - \omega')^2},$$

gdzie ω_1 , ω_0 , ω' to kolejno częstotliwości oscylacji w polu B_1 , częstota Larmora oraz częstota pola radiowego B_1 .

W przypadku gdy $\omega' = \omega_0$ zachodzi rezonans, wtedy $\omega = \omega_1$, a różnica obsadzeń pomiędzy rozważanymi poziomami wynosi:

$$n = n_0 \left(1 - 2 \sin^2 \left(\frac{\omega_1 t}{2} \right) \right).$$

Oscylacje te zaobserwowano poprzez różnice w absorpcji światła. Ich zanik jest związany z relaksacją oraz niezgodnością fazy między oscylacjami w różnych atomach, a ich częstota w rezonansie jest proporcjonalna do amplitudy pola radiowego B_1 .

PODSUMOWANIE

Metody magnetoptyczne pozwalają na prosty sposób na badanie struktury atomowej wybranych pierwiastków. Zjawiska mające wytlumaczenie na bazie mechaniki kwantowej, takie jak pompowanie optyczne czy oscylacje Rabiego, wykorzystuje się do dokładnych pomiarów wielkości fizycznych z dokładnością niedostępną dla innych technik. W przeprowadzonym doświadczeniu udało się zmierzyć m.in. przekrój czynny na absorpcję fotonu dla atomów rubidu oraz wartość i kierunek lokalnego, ziemskiego pola magnetycznego. Pokazano również zakres częstotliwości rezonansu magnetycznego dla liniowego efektu Zeemana oraz na podstawie zależności częstotliwości pola radiowego od użytego pola magnetycznego obliczono czynniki Landego, których wartości są z bardzo dobrą dokładnością równe wielkościom wyznaczonym na podstawie liczb kwantowych.