

Pompowanie optyczne

Piotr Staroń

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ

pod kierunkiem dr hab. Krzysztofa Dzierżęgi



Abstrakt

Pompowanie optyczne jest metodą uzyskiwania zmian w rozkładzie obsadzeń poziomów energetycznych atomów, jonów i molekuł w stosunku do ich obsadzeń w warunkach równowagi termodynamicznej. Do tego celu używane jest światło o odpowiedniej polaryzacji i długości fali. Makroskopowym efektem pompowania optycznego jest m.in. polaryzacja magnetyczna ośrodka.

Pompowanie optyczne leży u podstaw działania magnetometrów, grawitometrów i zegarów atomowych. Za odkrycie Alfred Kastler dostał w 1966r. nagrodę Nobla.

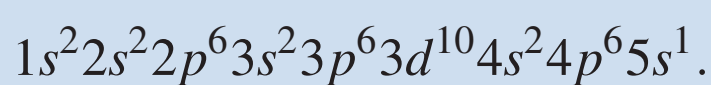
W prezentowanym eksperymencie wykonano pomiary zewnętrznego pola magnetycznego, wyznaczono tzw. czynniki Landégo dla stanu podstawowego izotopów ^{85}Rb i ^{87}Rb i zbadano oscylacje Rabi'ego. Wykorzystano aparaturę firmy TeachSpin.

Poziomy energetyczne rubidu

Struktura poziomów energetycznych atomu to wynik oddziaływań:

- kulombowskiego** między elektronem walencyjnym a ładunkiem rdzenia → kwantowanie energii ze względu na główną liczbę kwantową i moment pędu
- spinu elektronu** z polem rdzenia, zwane oddziaływaniem spin-orbita, odpowiada za strukturę subtelną
- spinu jądra** z elektronem, odpowiada za strukturę nadsubtelną

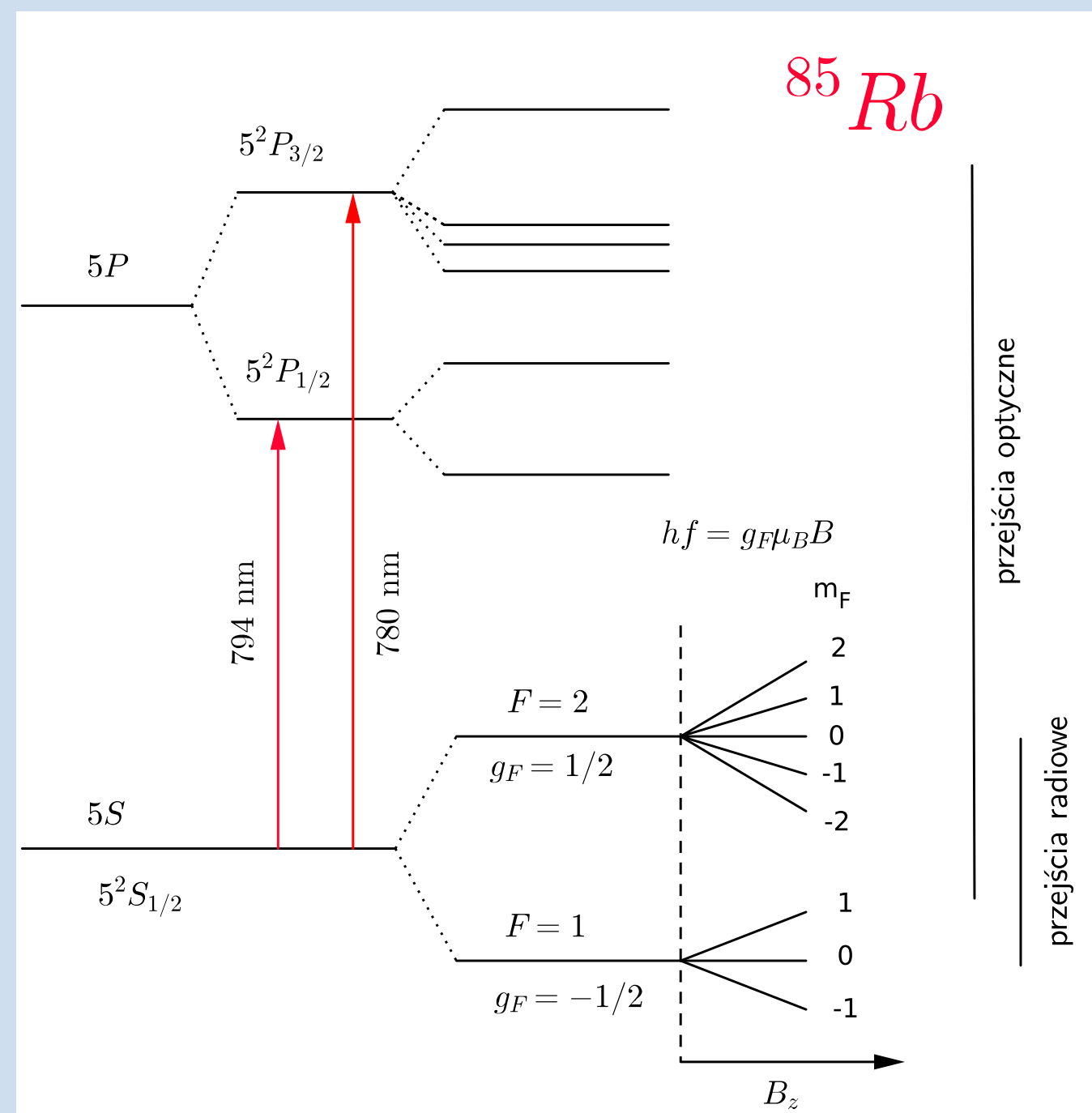
Rubid ma konfigurację elektronową



Elektron walencyjny (optyczny) znajduje się w stanie 5S.

Izotopy różnią się spinem jądra, co ma wpływ na strukturę energetyczną poziomów.

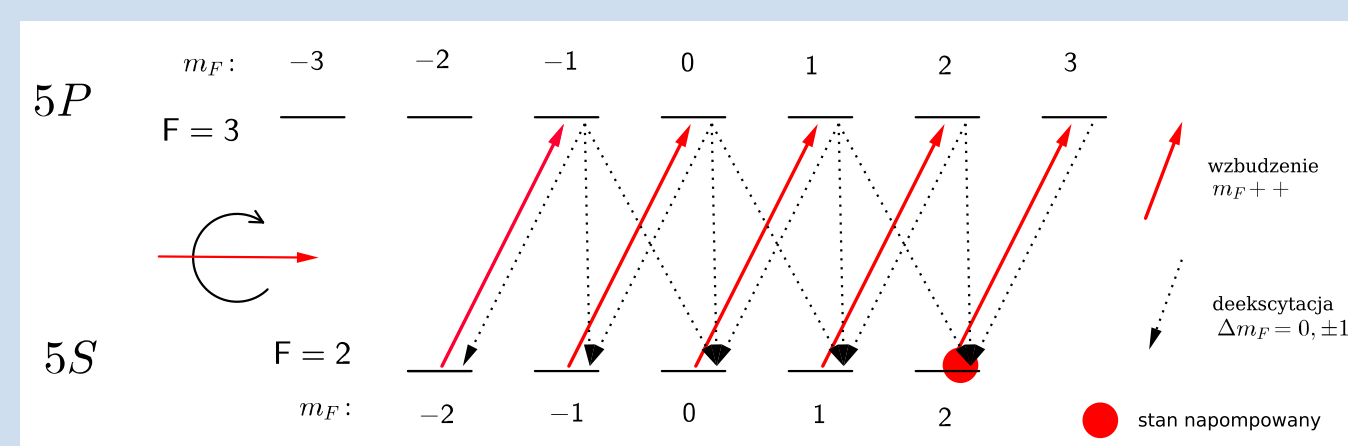
Dodatkowe pole magnetyczne znosi degenerację związaną z m_F . Zjawisko nazywane jest efektem Zeemana.



Rysunek jest schematyczny, odległości między poziomami nie są zachowane.

Mechanizm pompowania

Światło o częstotliwości rezonansowej i odpowiedniej polaryzacji kołowej w polu magnetycznym może wywoływać przejścia o $\Delta m_F = 1$, czyli do stanu o największej wartości m_F . Po czasie rzędu nanosekund atomy znajdują się w końcowym stanie, który uniemożliwia pochłanianie kolejnych fotonów. Absorbpcję bada się mierząc natężenie światła przechodzącego przez komórkę z atomami.

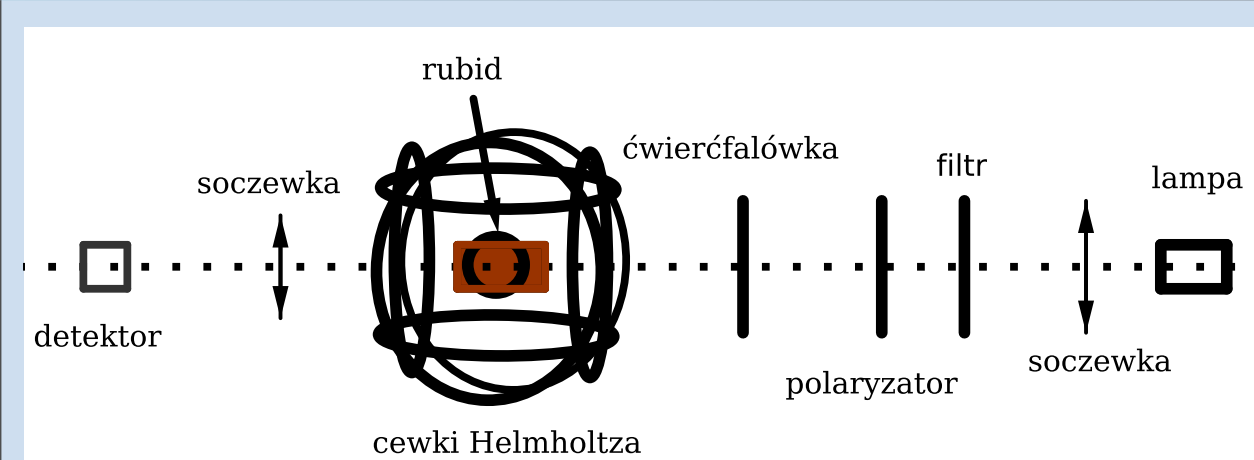


Na rysunku pokazano przykładowe przejścia.

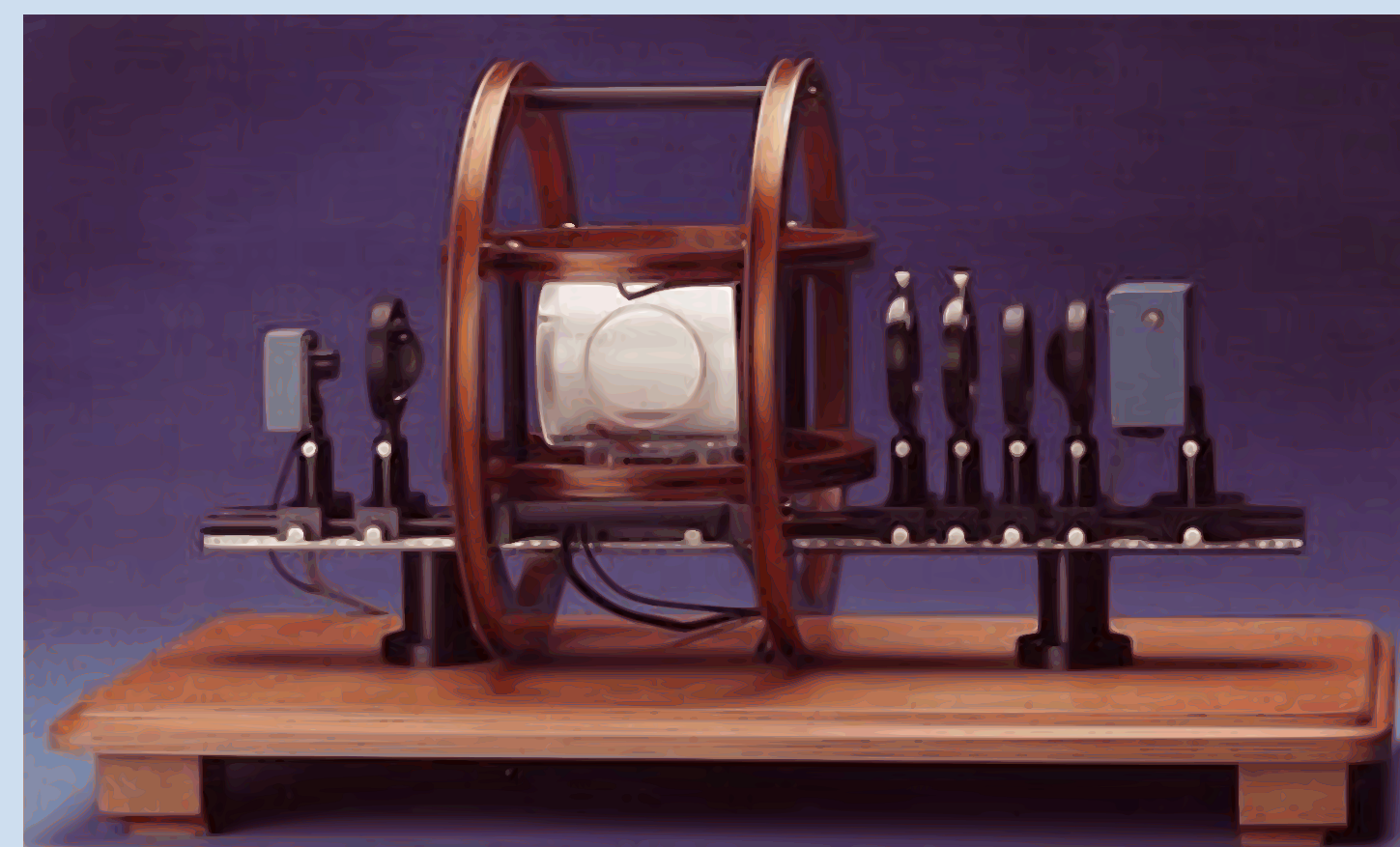
Oscylacje Rabi'ego

Atomy rubidu są przykładem wielostanowego układu. Pole radiowe powoduje oscylowanie głównie między dwoma stanami. Tłumienie występuje ze względu na dyssypację energii do innych stanów. Układ jest otwarty, gdy zachodzi stałe pompowanie optyczne.

Układ doświadczalny



W doświadczeniu używano mieszanki par izotopów ^{85}Rb i ^{87}Rb zawartych w szklanej komórce o regulowanej temperaturze i wypełnionej ksenonem jako gazem buforowym. Komórka znajdowała się w środku układu 3 cewek Helmholtza służących do kompensacji składowych zastanego pola magnetycznego i dodatkowej pary mniejszych cewek do wytworzenia poprzecznego pola radiowego.

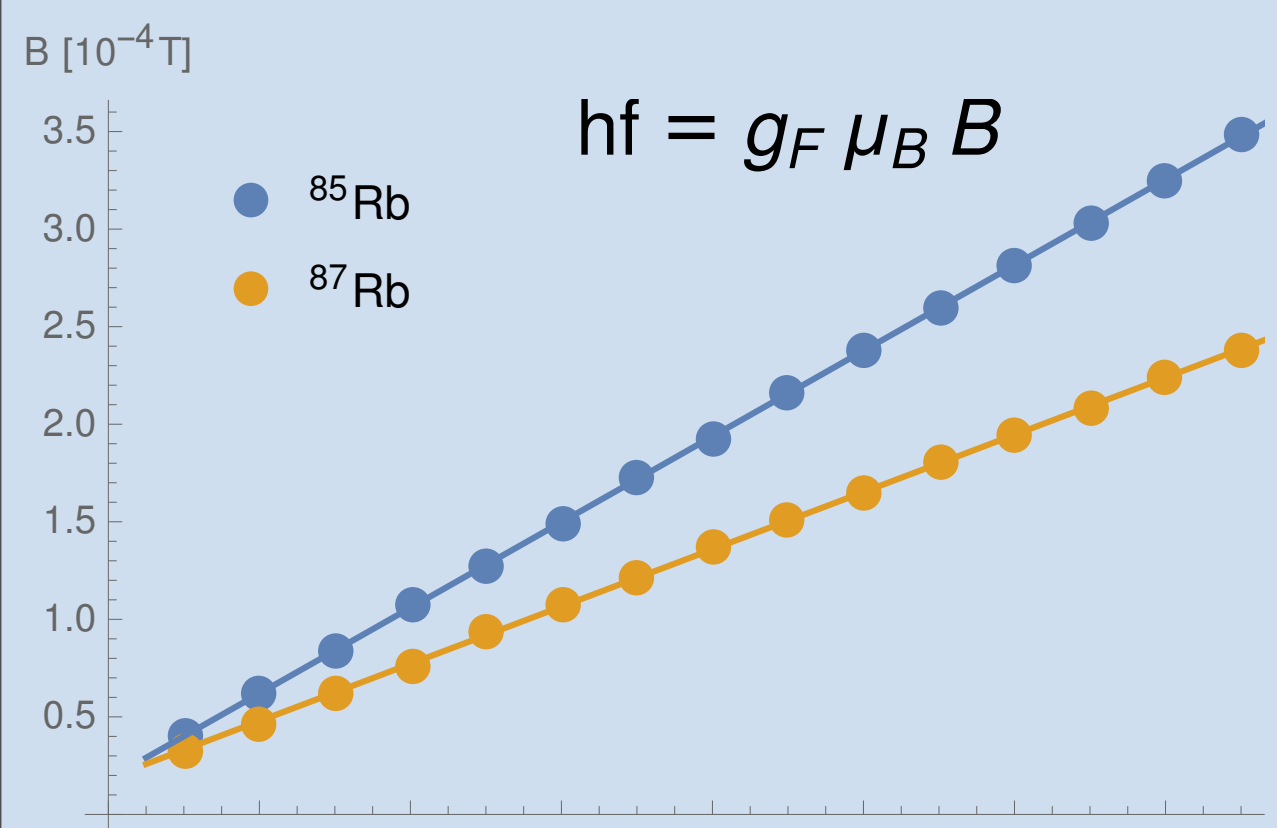
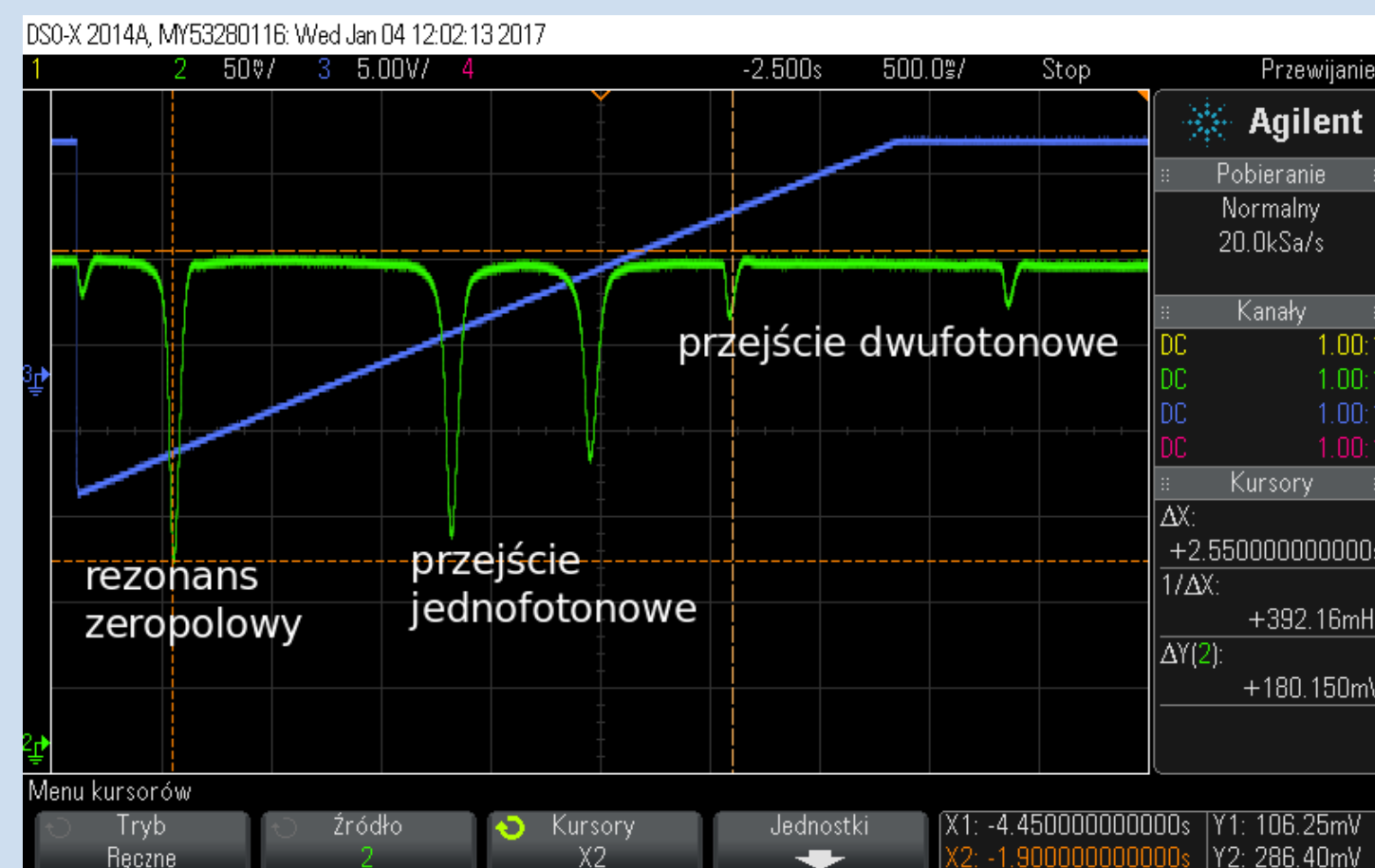


Rezonans w polu radiowym

Rezonans zeropolowy występuje, gdy zewnętrzne pole jest skompensowane a radiowe wynosi zero. Degeneracja poziomów powoduje, że nie zachodzi pompowanie optyczne.

Przejścia jednofotonowe zachodzą, gdy częstotliwość pola radiowego odpowiada rozszczepieniu zeemanowskiemu. Izotopy mają różne czynniki Landégo, więc występują dwa piki.

Przejścia dwufotonowe występują, gdy atom pochłonie na raz dwa kwanty promieniowania. Częstotliwość jest dwa razy większa od przejść jednofotonowych.

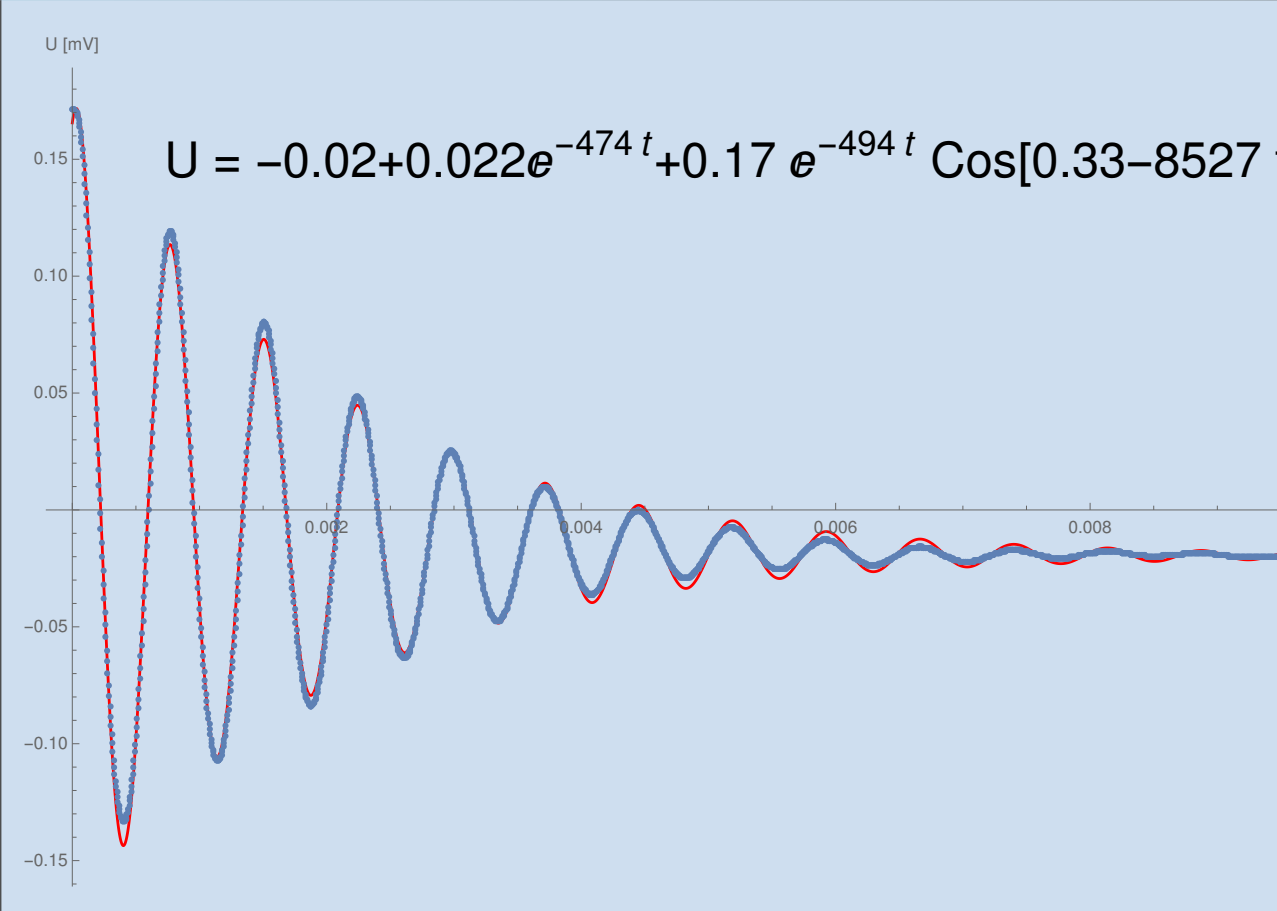


Czynnik Landégo g_F

izotop	eksperyment	teoria	
		bez jądra	z jądrem
^{85}Rb	0.32542(73)	1/3	0.49922
^{87}Rb	0.48690(90)	1/2	0.501396
iloraz	0.6683(13)	2/3	0.66594

Pole magnetyczne B jest wyznaczane z dokładnością do czynnika, dlatego badanie ilorazu czynników Landégo jest bardziej miarodajne. Uwzględnienie oddziaływania z jądrem prowadzi do dokładniejszego wyniku na g_F .

Badanie oscylacji Rabi'ego



Układ ma cechy układu zamkniętego i otwartego. Jako uproszczony model przyjęto funkcję

$$U = A \sin(\omega t + c) e^{-\lambda T} + B e^{-\gamma} + D,$$

A to amplituda początkowa, ω to częstość przejść, λ jest parametrem tłumienia, D jest stanem równowagi. γ odpowiada za tłumienie dla układu zamkniętego.

Polem radiowym steruje się poprzez zmianę napięcia. ω jest zależna od napięcia. Badając różne napięcia uzyskano wynik

$$\omega(U) = 22.37(72) \frac{\text{Hz}}{\text{mV}} U + 74(210) \text{ Hz}$$

Parametr wolny jest odpowiedzialny za tłumienie.

Dodatkowe materiały

- Z. Leś, *Podstawy Fizyki Atomu*, PWN, Warszawa 2015
- W. Demtröder, *Spektroskopia laserowa*, wyd. PWN, 1993



Optical Pumping: the movie
(Part 1) (ang.)



Instrukcja do ćwiczenia
(ang.)