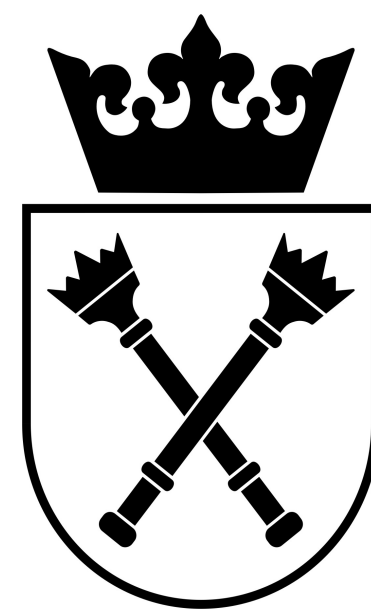


Pompowanie optyczne

Mikhail Padniuk

Wydział Fizyki Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ



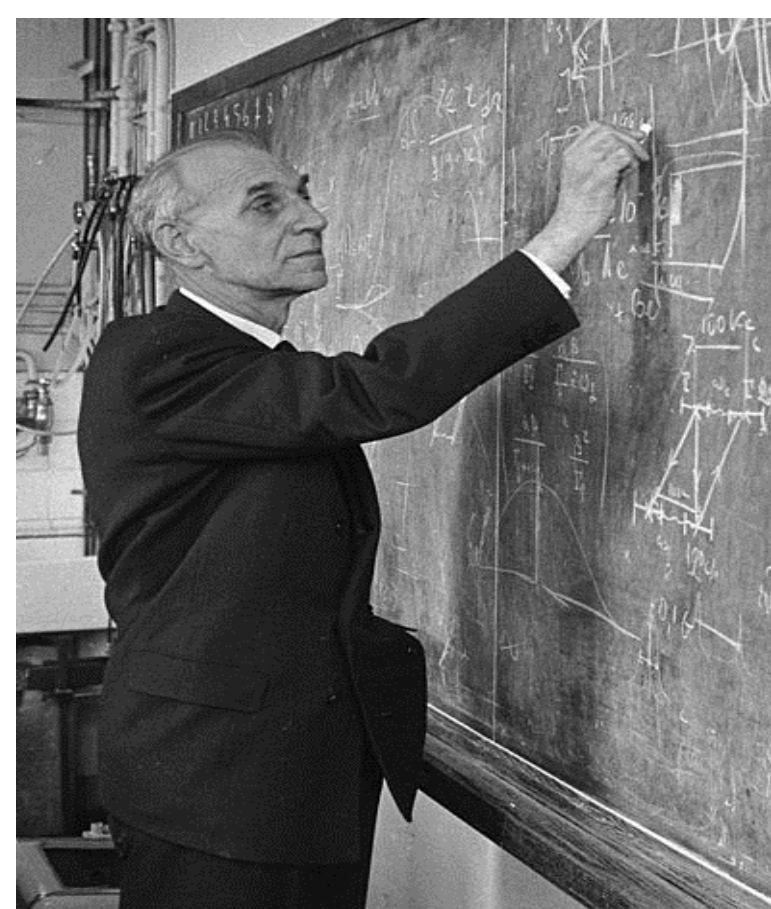
Streszczenie

Stosując technikę pompowania optycznego zmierzono wartość zewnętrznego pola magnetycznego w obszarze komórki z parami Rb, która wyniosła 0,03514(26) mT. Zbadano zjawisko magnetycznego rezonansu radiowego oraz wyznaczono czynniki g_F Landego, dla stanów $5^2S_{1/2}$ izotopów ^{85}Rb i ^{87}Rb otrzymując odpowiednio wartości: 0.32661(29) i 0.49011(69). W każdym przypadku bezpośrednio mierzono natężenie światła na linii D_1 Rb ($\lambda=794$ nm), przechodzącego przez komórkę z parami rubidu. Pomiaru wykonywano w zależności od amplitud pól magnetycznych, wytwarzanych przez cewki Helmholtza oraz od amplitudy i częstości poprzecznego pola radiowego.

Zjawisko pompowania optycznego

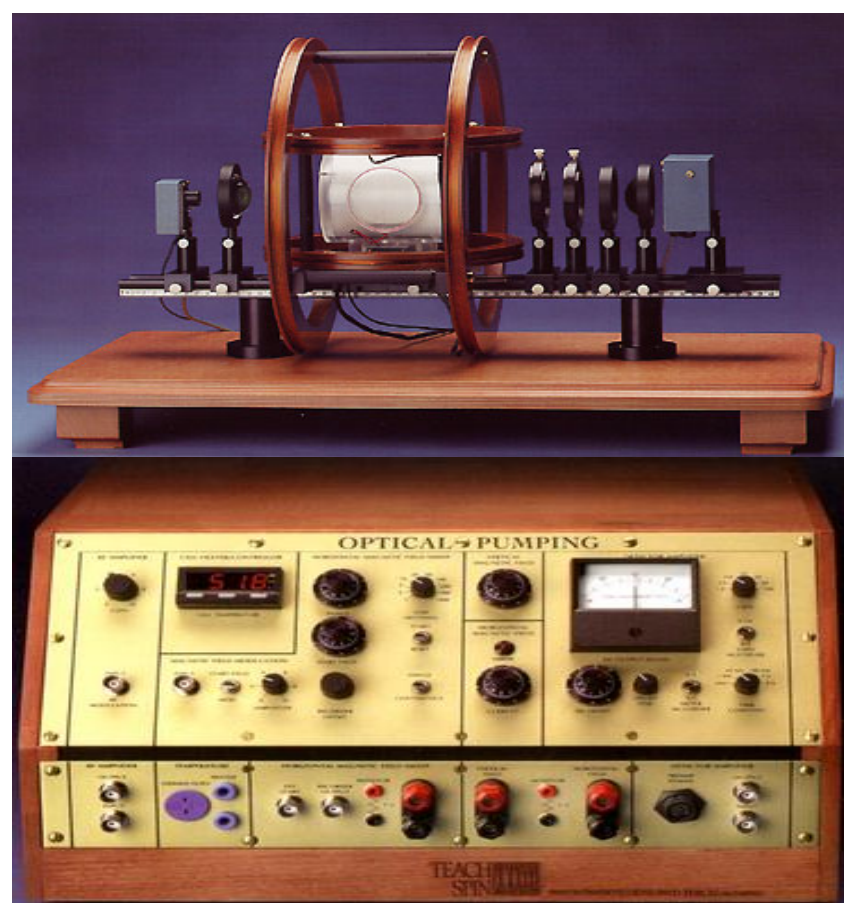
Pompowanie optyczne jest metodą uzyskiwania zmian w rozkładzie obsadzeń poziomów energetycznych atomów, jonów czy molekuł, w stosunku do ich obsadzeń w stanie równowagi termodynamicznej, używając do tego celu światła o odpowiedniej długości fali i polaryzacji. Efektem makroskopowym pompowania optycznego może być na przykład polaryzacja magnetyczna ośrodka na skutek zmian względnego obsadzenia poziomów zeemanowskich w ramach struktury poziomu podstawowego stanów atomowych. Zmiany obsadzeń stanów rejestrowane są jako zmiany natężenia światła transmitowanego przez badany układ.

Pompownie optyczne to podstawa wielu technik pomiarowych z dziedziny fizyki atomowej i molekularnej. Zjawisko to stanowi podstawę działania między innymi magnetometrów, grawitometrów i zegarów atomowych.

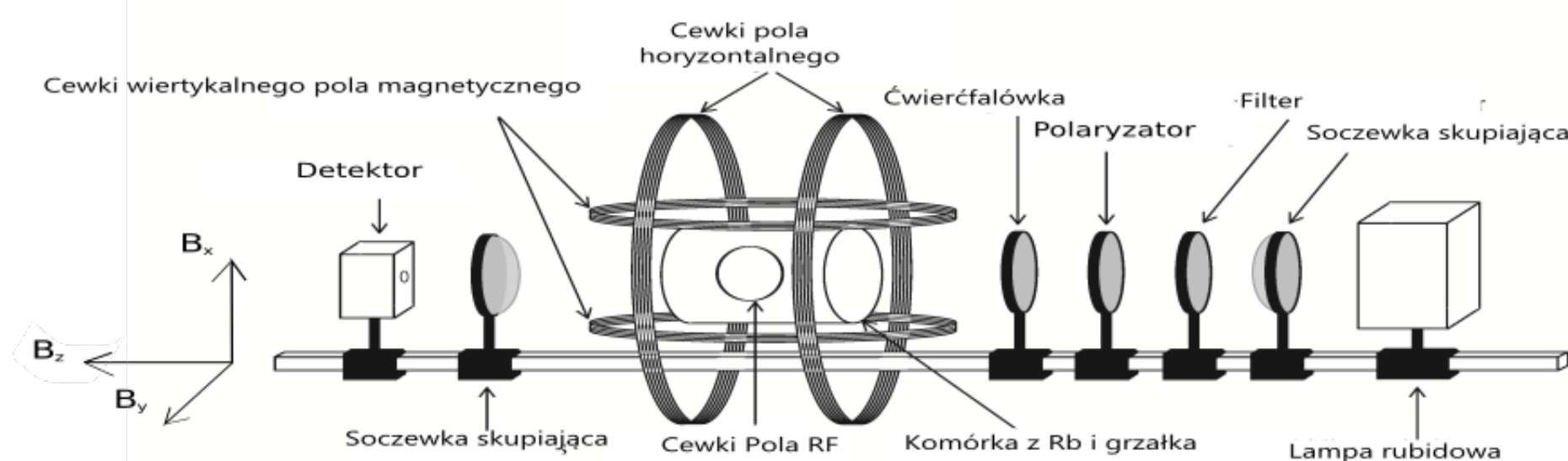


Alfred Kastler - pomysłodawca pompowania optycznego, za co otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 1966 r.

Układ doświadczalny

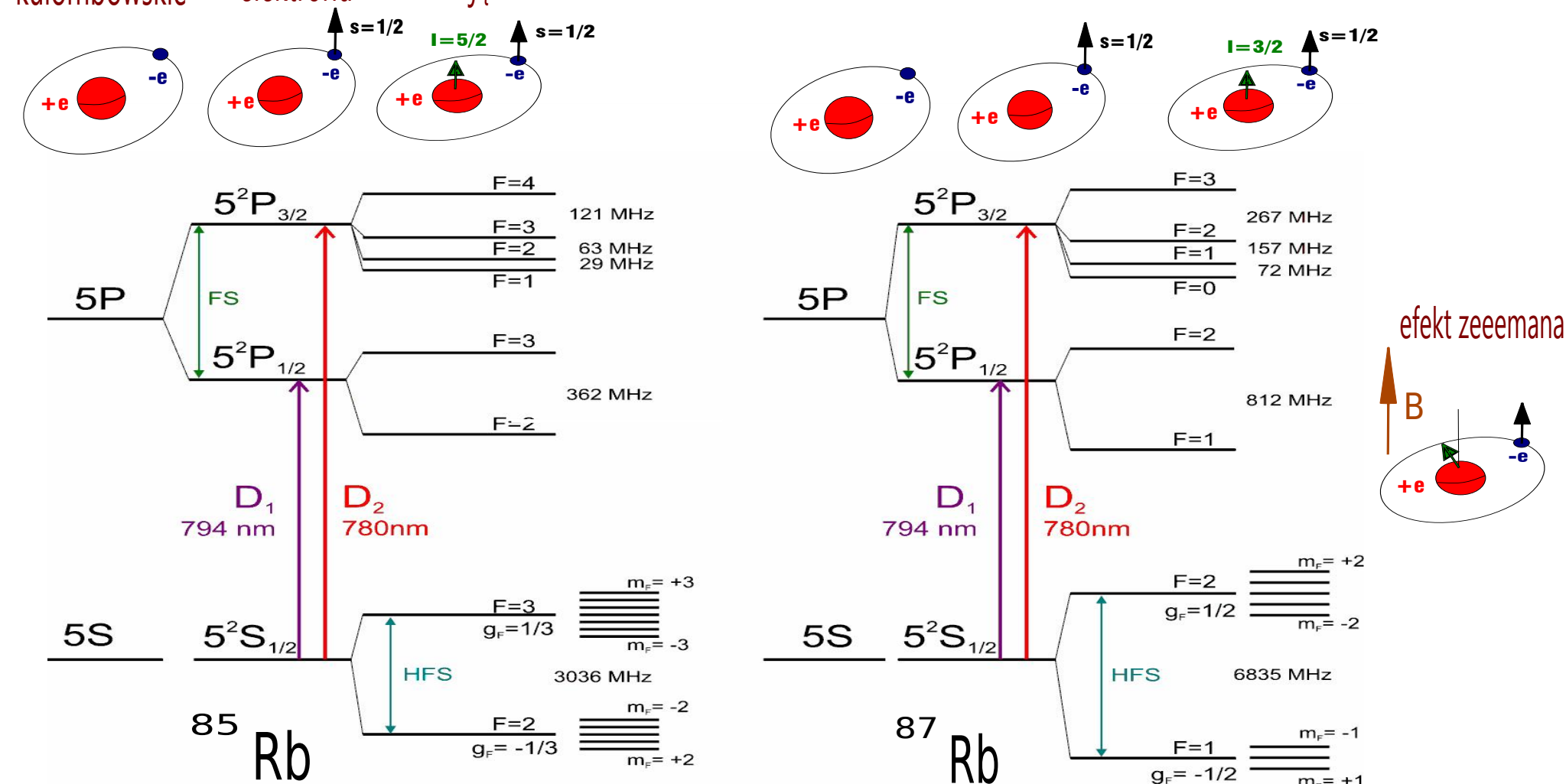


W doświadczeniu wykorzystano atomy ^{85}Rb i ^{87}Rb zawarte w podgrzewanej szklanej komórce wypełnionej ksenonem, jako gazem buforowym. Komórka ta znajdowała się w środku układu cewek Helmholtza, służących do kompensacji zewnętrznych pól magnetycznych i dodatkowej pary cewek służącej do wytwarzania poprzecznego, wirującego pola radiowego. Kołowo spolaryzowaną wiązkę światła (linia D_1 Rb $\lambda=794$ nm) uzyskano używając do tego celu polaryzatora i ćwierćfalówki. Linia została odfiltrowana od reszty światła pochodzącego z lampy rubidowej przez zastosowanie filtra dielektrycznego.

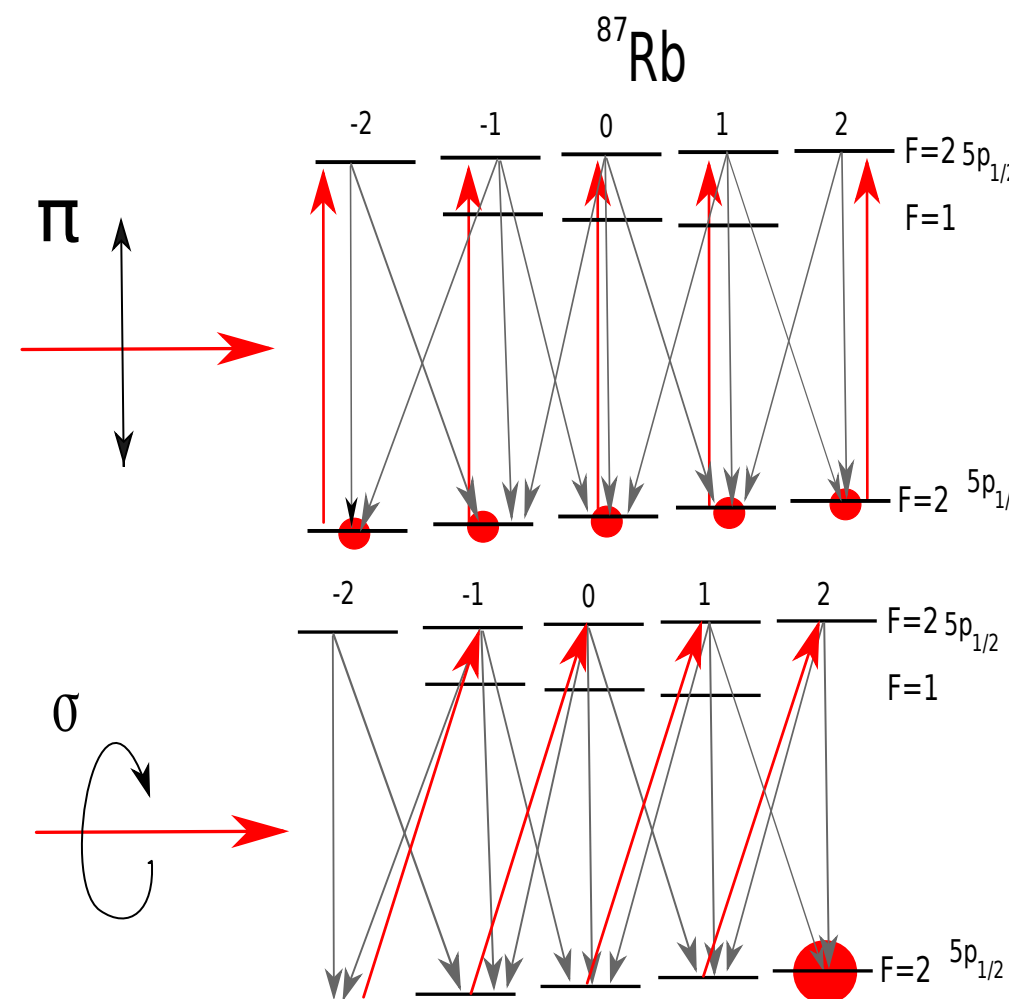


Poziomy energetyczne izotopów ^{85}Rb i ^{87}Rb

oddziaływanie kulombowskie spin elektronu spiny elektronu i jądra



Mechanizm pompowania optycznego



Oświetlając atomy rubidu światłem o częstości rezonansowej i polaryzacji π , w niezerowym podłużnym polu magnetycznym, możliwe są jedynie przejścia z zachowaniem magnetycznej liczby kwantowej, $\Delta m=0$. Relaksacja zaś jest nadal możliwa do stanów zeemanowskich dla których $\Delta m=0, +1, -1$.

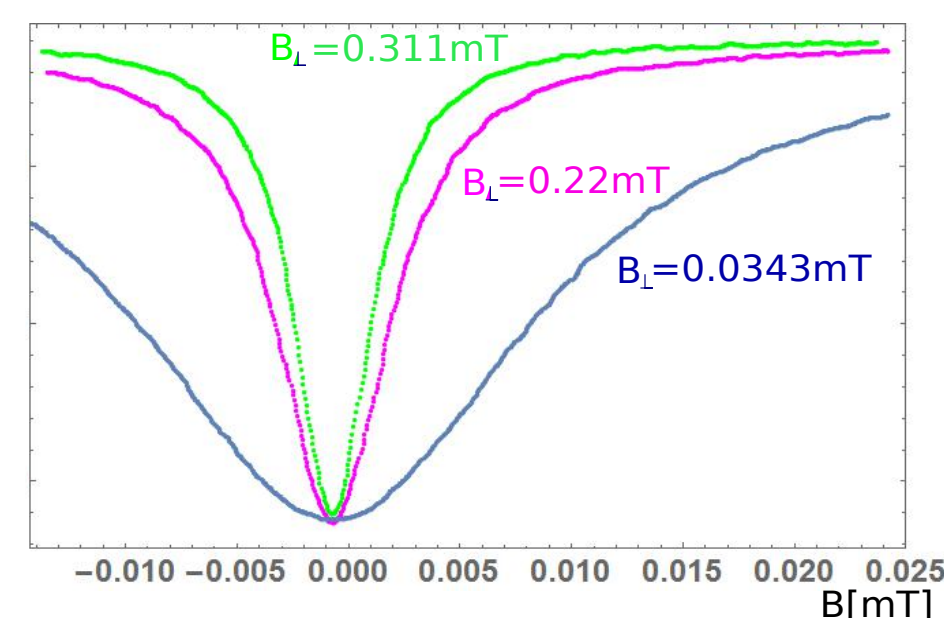
Z kolei, oświetlając atomy światłem o polaryzacji kołowej, można wywołać przejścia o $\Delta m=+1(-1)$, czyli do stanu o największej (najmniejszej) wartości m , z którego nie ma dalej absorpcji. Stan taki, z którego nie ma dalszej absorpcji nazywamy stanem „ciemnym”.

Wyniki

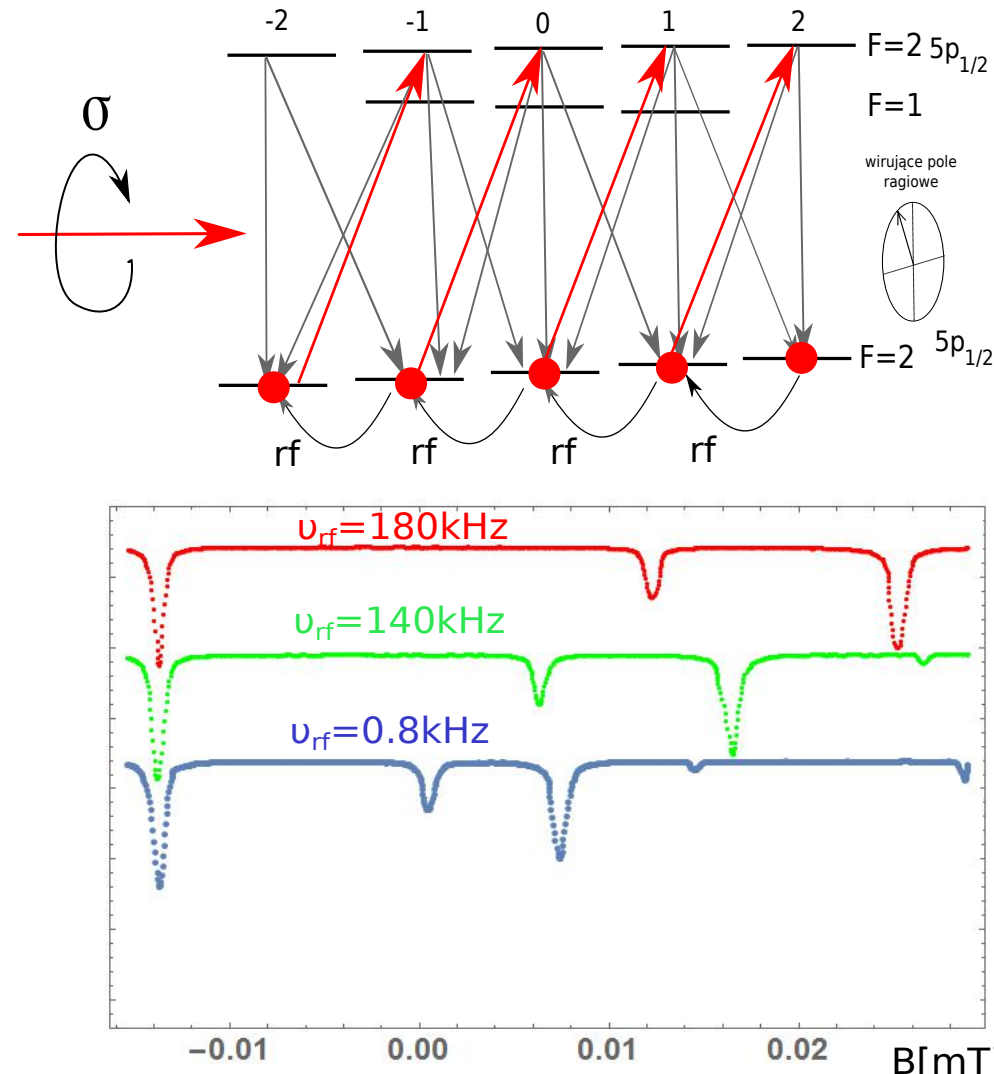
Pomiar pola magnetycznego

Krzywe rezonansowe otrzymano zmieniając wartość składowej podłużnej pola magnetycznego. W obszarach niezerowych wartości tego pola wydajność pompowania optycznego jest duża co powoduje spadek absorpcji, czyli wzrost natężenia światła transmitowanego na linii D_1 . Natomiast w polu zerowym mamy degenerację poziomów zeemanowskich i pompowanie optyczne przestaje działać co prowadzi do wzrostu absorpcji, a w konsekwencji do spadku natężenia sygnału transmitowanego.

Obecność pól poprzecznych prowadzi do poszerzenia krzywej rezonansowej. Najwyższą krzywą otrzymują się w sytuacji kompensacji składowych poprzecznych zewnętrznego pola magnetycznego polem wytworzonym przez cewki Helmholtza. Taka metoda jest podstawą pomiaru zewnętrznych pól magnetycznych i w tym eksperymencie wypadkowe pole wyniosło 0.03514(26) mT.



Rezonans w polu radiowym



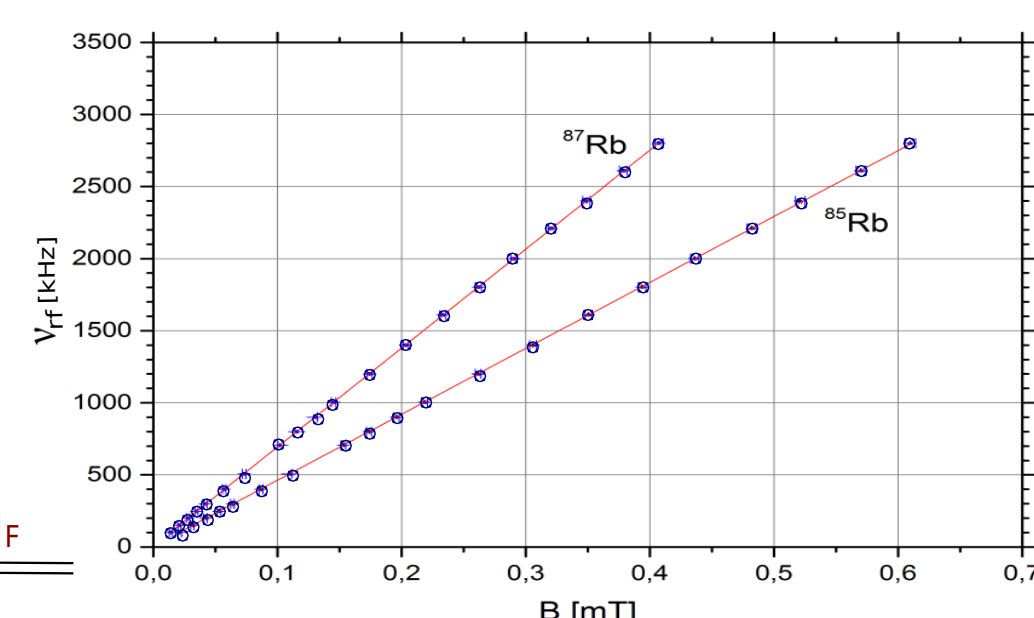
Jeśli na namagnesowane, metodą pompowania optycznego, pary atomów podziałamy poprzecznym polem radiowym to wymusi ono przejście pomiędzy poziomami zeemanowskimi, co zburzy namagnesowanie tych par i w konsekwencji spowoduje spadek natężenia transmitowanego światła. Efekt ten występuje gdy rozszczepienie stanów zeemanowskich jest równe energii kwantów pola radiowego, czyli gdy:

$$\Delta E = E(m_F + 1) - E(m_F) = g_F \mu_B B = h \nu_{rf}$$

Pomiar czynników Landego

$$g_F = g_J \frac{F(F+1) + J(J+1) - I(I+1)}{2F(F+1)} + g_I \frac{F(F+1) - J(J+1) + I(I+1)}{2F(F+1)}$$

Mierząc częstość pola radiowego, dla którego obserwowany jest rezonans, w określonym polu magnetycznym, można wyznaczyć czynnik Landego, określający wielkość rozszczepienia stanów zeemanowskich.



Izotop	g_F	Wartość teoretyczna g_F
^{87}Rb	0.49011(69)	0.500583
^{85}Rb	0.32661(29)	0.333722

Literatura:

- [1] H. Haken, Chr. Wolf, Atomy i kwanty. PWN Warszawa 1997.
- [2] Z. Leś, Podstawy Fizyki Atomu, PWN Warszawa 2015.