

## Ćwiczenie 31

# Wyznaczanie czynnika Landego metodą elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR)

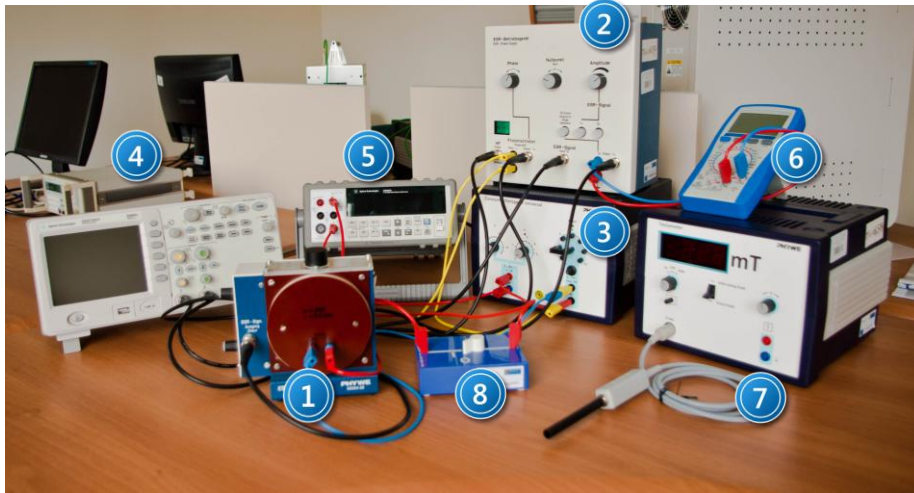


## I. Zagadnienia do opracowania.

1. Energia stanów stacjonarnych elektronów w atomach.
2. Liczby kwantowe stanów stacjonarnych orbit elektronowych.
3. Moment magnetyczny chmury elektronowej atomu.
4. Spinowy moment magnetyczny elektronu.
5. Magneton Bohra.
6. Atomy para – i diamagnetyczne.
7. Całkowity moment magnetyczny atomu.
8. Związek magnetonu jądrowego z magnetonem Bohra.
9. Atom w stałym polu magnetycznym:
  - a) precesja Larmora;
  - b) częstość precesji Larmora;
  - c) czynnik Landego.
10. Oddziaływanie rezonansowe momentu magnetycznego atomu w stałym i zmiennym polu magnetycznym ( w ujęciu klasycznym).
11. Namagnesowanie paramagnetyka w stałym i zmiennym polu magnetycznym.
12. Pochłanianie energii zmiennego pola magnetycznego przez namagnesowaną substancję paramagnetyczną:
  - a) relaksacja spinowa i jej wpływ na szerokość linii absorpcyjnej;
  - b) relaksacja spin – siatka i i jej wpływ na pochłanianie energii zmiennego pola magnetycznego.
13. Zjawisko elektronowego rezonansu paramagnetycznego w ujęciu kwantowym:
  - a) rozszczepienie poziomów energetycznych atomu paramagnetycznego w zewnętrznym polu magnetycznym;
  - b) obsadzenia podpoziomów magnetycznych;
  - c) częstości rezonansowe przejść w zjawisku elektronowego rezonansu paramagnetycznego.
14. Widmo elektronowego rezonansu paramagnetycznego:
  - a) profil linii absorpcyjnej EPR;
  - b) szerokość połówkowa linii EPR;
  - c) subtelna struktura widma EPR.
15. Budowa i zasada działania spektrometru mikrofalowego ( z rezonansową i odbiciową wnęką rezonansową):
  - a) klistron jako źródło mikrofal;
  - b) wnęka rezonansowa;
  - c) detektor mikrofal.
16. Optymalne warunki pracy detektora mikrofal przy pomiarach sygnałów EPR w spektrometrach mikrofalowych.
17. Zastosowania elektronowego rezonansu paramagnetycznego.
18. Efekt Zeemana w słabych i silnych polach magnetycznych.

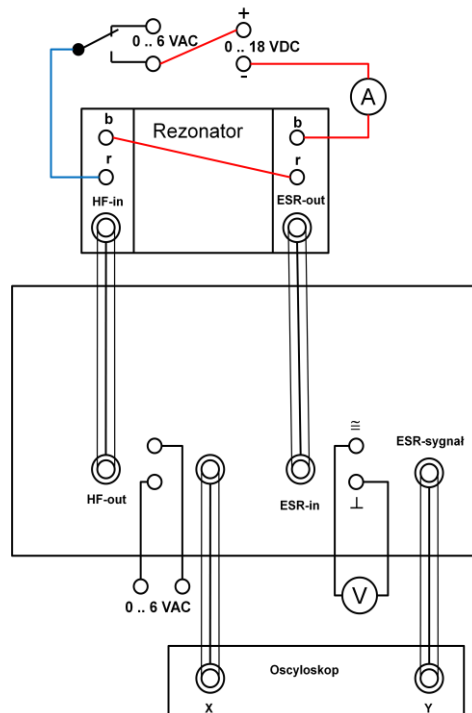
## II. Zadania doświadczalne.

1. Zapoznać się z układem pomiarowym przedstawionym na *Zdjęciu 1*.





*Zdjęcie 1. Stanowisko pomiarowe do rejestracji linii absorpcyjnej EPR: 1 - wnęka rezonansowa EPR; 2 - zasilacz EPR; 3 - zasilacz uniwersalny; 4 - oscyloskop dwukanałowy; 5 - multimetr cyfrowy (amperomierz); 6 - multimetr cyfrowy (woltomierz); 7 - teslomierz; 8 - przełącznik.*

2. Połączyć układ pomiarowy zgodnie z *Rysunkiem 2* i wskazówkami prowadzącego.
3. Włączyć zasilanie poszczególnych elementów układu.  
Oscyloskop 4, *Zdjęcie 1*, miernik cyfrowy 5, *Zdjęcie 1* oraz zasilacz EPR 2, *Zdjęcie 1* posiadają



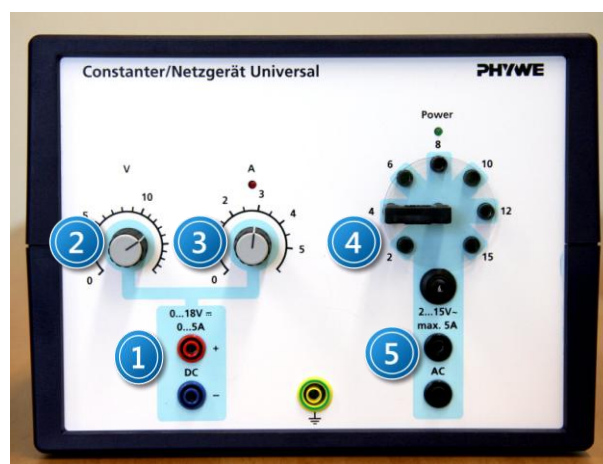
*Rysunek 2. Schemat układu pomiarowego do rejestracji rezonansu EPR.*

włączniki główne na ich płytach czołowych natomiast teslomierz oraz zasilacz uniwersalny mają włączniki główne na tylnej płycie obudowy.

4. Ustawić oscyloskop na tryb pracy X-Y poprzez naciśnięcie kolejno klawiszy: *Menu/Zoom*, *Time Base* w menu *Horizontal*, a obracając pokrętkę  wybrać odpowiedni tryb pracy. Następnie naciskając kolejno klawisze: *Menu/Zoom*, *Set Rate* oraz obracając pokrętkę  ustawić częstotliwość próbkowania na  $100.0 \text{ kSa}$ .
5. Sprawdzić czy próbka pomiarowa znajduje się wewnątrz wnęki rezonansowej.
6. Obserwując wartość napięcia na mierniku 6, *Zdjęcie 1* zrównoważyć mostek wykonując kolejno następujące czynności: pokrętko zmiany oporu  $R$ , 3, *Zdjęcie 3* ustawić w połowie zakresu; pokrętko zmiany pojemności  $C$ , 2, *Zdjęcie 3* obrócić do oporu w lewą stronę. Wcisnąć przycisk 8, *Zdjęcie 5* i kręcąc pokrętkiem 12, *Zdjęcie 5* doprowadzić wskazania miernika do zera.

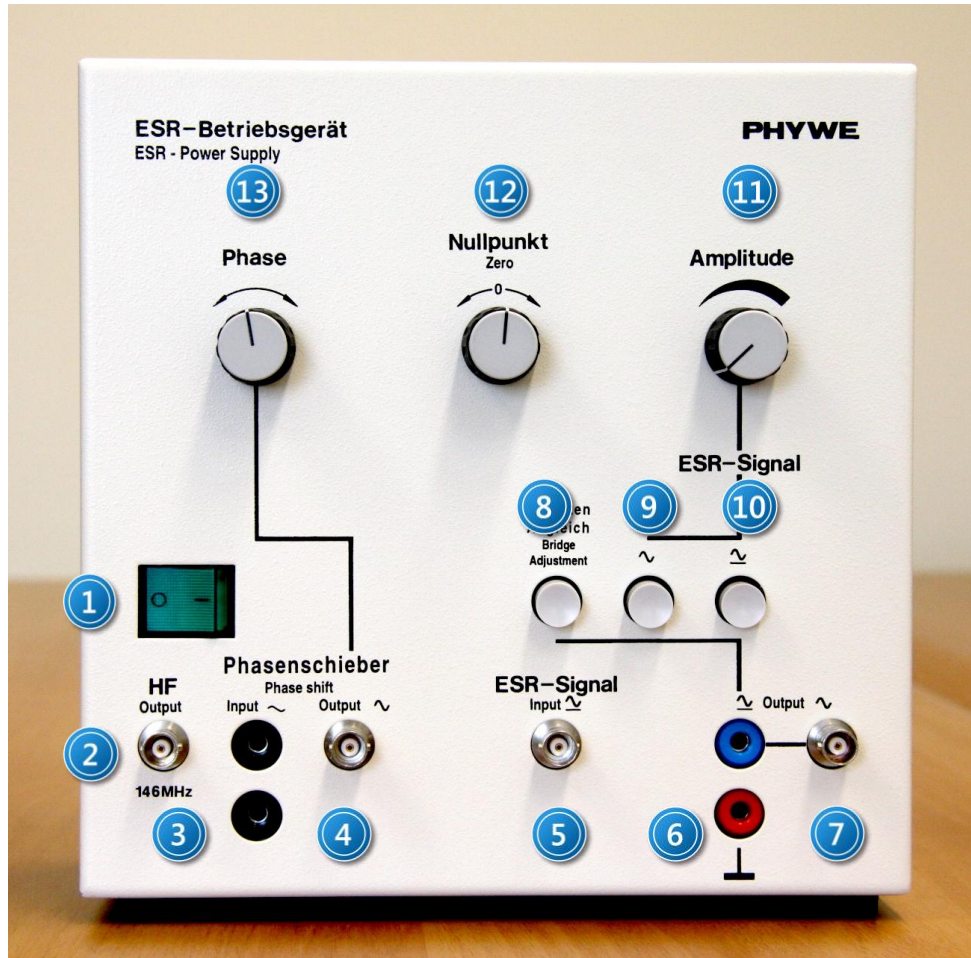


*Zdjęcie 3. Widok wnęki rezonansowej EPR z lewej i prawej strony: 1 - wyjście sygnału EPR; 2 - pokrętko regulacji pojemności kondensatora C; 3 - pokrętko regulacji rezystancji R; 4 - wejście wysokiej częstotliwości; 5 - miejsce na próbkę.*



*Zdjęcie 4. Widok przedniego panela zasilacza uniwersalnego: 1 - wyjście napięcia stałego; 2 - pokrętko regulacji napięcia stałego; 3 - pokrętko regulacji prądu; 4 - zwora wyboru napięcia zmiennego; 5 - wyjście napięcia zmiennego.*

7. Ustawić napięcie stałe przepływające przez cewki na wartość około 12 V przy pomocy pokrętki 2, *Zdjęcie 4*, a przy pomocy pokrętki 3, *Zdjęcie 4* ustawić wartość prądu na 1,5 A.  
Ustawić wartość napięcia zmiennego na 2 V przez odpowiednie umieszczenie zwory 4, *Zdjęcie 4* a wartość wzmocnienia sygnału EPR ustawić na środku zakresu przekręcając pokrętkę 11, *Zdjęcie 5*.
8. Poszukać sygnału absorpcji umieszczonej próbki wykonując kolejno następujące czynności: wcisnąć przycisk 9, *Zdjęcie 5*, a następnie ,obserwując obraz na oscyloskopie, kręcić pokrętkiem 2 zmiany pojemności C, *Zdjęcie 3* aż do uzyskania charakterystycznego „dołka” absorpcji na ekranie oscyloskopu ( obwód rezonatora LC jest wtedy w rezonansie a jego impedancja jest najmniejsza).  
Jeśli szukany sygnał jest za mały, można zwiększyć czułość obu kanałów X i Y oscyloskopu do 0,5 V/cm.  
Nadal pokręcając tym samym pokrętkiem zmiany pojemności C uzyskać w miarę symetryczny kształt sygnału na oscyloskopie.
9. Ustawić fazę obserwowanych sygnałów przy pomocy pokrętki 13, *Zdjęcie 5* tak, aby doprowadzić do pokrywania się obu linii sygnałowych.
10. Skorygować ponownie symetrię sygnału pokrętkiem 2 zmiany pojemności C, *Zdjęcie 3*.
11. Zmniejszając wartość napięcia stałego pokrętkiem 2, *Zdjęcie 4* doprowadzić minimum sygnału dokładnie na oś y oscyloskopu.
12. Ustawić czułość kanału X oscyloskopu na 200 mV / działkę.
13. Ponownie poprawić symetrię sygnału – jak w punkcie 10.
14. Po uzyskaniu żądanego kształtu sygnału odczytać i zanotować wartość natężenia prądu I z wyświetlacza miernika 5, *Zdjęcie 1*.
15. Nie zmieniając nastawów czułości oscyloskopu przejść do pomiarów związanych z wyznaczeniem szerokości połówkowej linii absorpcyjnej. W tym celu :
  - posługując się kursorami ekranu oscyloskopu kilkakrotnie dokonać odczytu szerokości  $\delta U$  [V] linii absorpcyjnej w połowie jej wysokości;
  - skrócić potencjometr 2, *Zdjęcie 4* maksymalnie w lewo;
  - przełączyć przewód do multimetru 5, *Zdjęcie 1* ( z gniazda A do gniazda mA);
  - wybrać tryb ACI jako tryb pracy multimetru 5, *Zdjęcie 1*;
  - odczytać i zanotować wartość natężenia prądu  $I_{\text{mod}}$  z wyświetlacza multimetru 5.
16. Na podstawie wyniku uzyskanego w punkcie 14. obliczyć wartość czynnika Landego dla elektronu.
17. Uśrednić wartości  $\delta U$  wyznaczone w punkcie 15.
18. Obliczyć szerokość połówkową  $\delta B$  [T] zarejestrowanej linii absorpcyjnej DPPH korzystając z wielkości pomiarowych uzyskanych w punktach 14. – 17.  
Przyjąć, że  $U_{\text{mod}} = 2,2$  V.
19. Obliczyć czas życia T stanu wzbudzonego DPPH.
20. Porównać otrzymane wartości z danymi literaturowymi.



Zdjęcie 5, Widok płyty czołowej zasilacza EPR: 1 - włącznik zasilania; 2 - wyjście wysokiej częstotliwości; 3 - wejście 6V/50Hz umożliwiające wewnętrzne przesunięcie fazy; 4 - wyjście z przesuwника fazy; 5 - wejście sygnału EPR z rezonatora; 6 - wyjście ze wzmacniacza EPR do podłączenia miernika cyfrowego; 7 - wyjście ze wzmacniacza EPR na oscyloskop; 8 - przycisk pozwalający na sprawdzenie równowagi mostka; 9 - przycisk włączony w przypadku obserwacji tylko przy pomocy oscyloskopu; 10 - przycisk włączony w przypadku obserwacji przy pomocy miernika i oscyloskopu; 11 - pokrętko wzmacnienia; 12 - pokrętko zerowania; 13 - pokrętko fazy.

### III. Zestaw przyrządów.

1. Wnęka rezonansowa EPR z cewkami Helmholtza.
2. Zasilacz EPR.
3. Zasilacz uniwersalny.
4. Dwa multimetry cyfrowe.
5. Oscyloskop DSO 1002 A.
6. Teslomierz.
7. Próbka DPPH (Diphenylpicrylhydrazyl).

#### IV. Literatura.

1. F. Kohlrausch - „Fizyka laboratoryjna”, Tom II, PWN, Warszawa 1961.
2. R.I. Sołouchin – „Optyka i fizyka atomowa”, PWN, Warszawa 1982.
3. Materiały firmy Phywe – „Electron Spin Resonance”, TEP 5.1.12-00.
4. F. Kaczmarek – „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki dla zaawansowanych”, PWN, 1982.
5. S.A. Altszuler, B.M. Kozyriew - „Elektronowy rezonans paramagnetyczny”, PWN, Warszawa 1965.
6. M. Subotowicz - „Metody doświadczalne w fizyce ciała stałego”, Lublin 1976.
7. L.A. Blumenfeld, W.W. Wojewódzki, A.G. Siemonow – „Zastosowanie EPR w chemii” , PWN, Warszawa 1967.
8. I. Bójko - „Wstęp do elektronowego rezonansu paramagnetycznego”, PWN, Warszawa 1982.
9. Sz. Szczeniowski - „Fizyka doświadczalna”, Tom IV, PWN, Warszawa 1983.
10. R.P. Feynman, R. Leighton, M.Sands – „ Feynmana wykłady z fizyki”, T.II., cz.2., PWN, 2004.
11. L. Tykarski - „Rezonans magnetyczny w fizyce ciała stałego”, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1990.
12. J. Stankowski - „Wstęp do spektroskopii rezonansów magnetycznych”, PWN, Warszawa 2005.
13. R.G. Marley - “Apparatus Drawings Project. Report Number 19. Apparatus for Electron Paramagnetic Resonance at Low Fields”, Am. J. Phys. 29, 492 (1961).
14. R.S. Alger - “Electron Paramagnetic Resonance : techniques and applications”, N.Y. 1968.
15. V. Acosta, C.L. Cowan, B.J. Graham – „Essentials of Modern Physics”, Harper & Row, Publishers, New York 1973.
16. A. Reimann – “Physics”, Vol.III. “Modern Physics”, Harper & Row, Publishers Inc., 1973.
17. J.A. Weil, J.R. Bolton - “Electron Paramagnetic Resonance: Elementary Theory and Practical Applications”, Wiley, New York 2001.
18. R.P. Feynman, R. Leighton, M. Sands – “The Feynman Lectures on Physics”, Vol. II. Part 2. Addison – Wesley, 2005.