

Ćwiczenie Nr 455

Temat: **Efekt Faradaya**

I. Literatura

1. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki Część II* Irena Kruk, Janusz Typek, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin
2. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod redakcją T. Rewaja, PWN Szczecin 1978.*
3. *Wyszukać w Internecie hasła „zjawisko/zjawiska/efekt/efekty magnetoptyczne”, „efekt/zjawisko Faradaya” i zapoznać się z niektórymi bardziej przystępnymi artykułami.*

II. Problemy teoretyczne

Falowa natura światła. Charakterystyki fali świetlnej: długość, częstość, polaryzacja liniowa i kołowa. Filtry barwne i filtry polaryzacyjne. Oddziaływanie światła z materią w ramach prostego modelu Lorentza. Pole elektryczne i magnetyczne. Siła Lorentza. Zjawisko Faradaya. Efekt Halla-wykorzystany w teslametrze do pomiaru indukcji pola magnetycznego.

iii. Metoda pomiarowa

Jeżeli jakiś materialny ośrodek (w ćwiczeniu jest to szkło) umieścimy w polu magnetycznym i przepuścimy przez niego liniowo spolaryzowaną wiązkę światła wzdłuż kierunku linii pola magnetycznego, to po przejściu światła przez ośrodek płaszczyzna polaryzacji światła ulegnie skręceniu o pewien kąt θ zależny od rodzaju ośrodka, grubości l ośrodka przez który światło przechodzi oraz wartości zastosowanego pola magnetycznego B . Zjawisko to zostało odkryte przez Faradaya i nosi jego imię.

$$\theta = V B l$$

Stałą proporcjonalności V , charakteryzującą ośrodek nazywa się stałą Verdet, od nazwiska uczonego, który szczególnie dużo uwagi poświęcił badaniu zjawiska Faradaya.

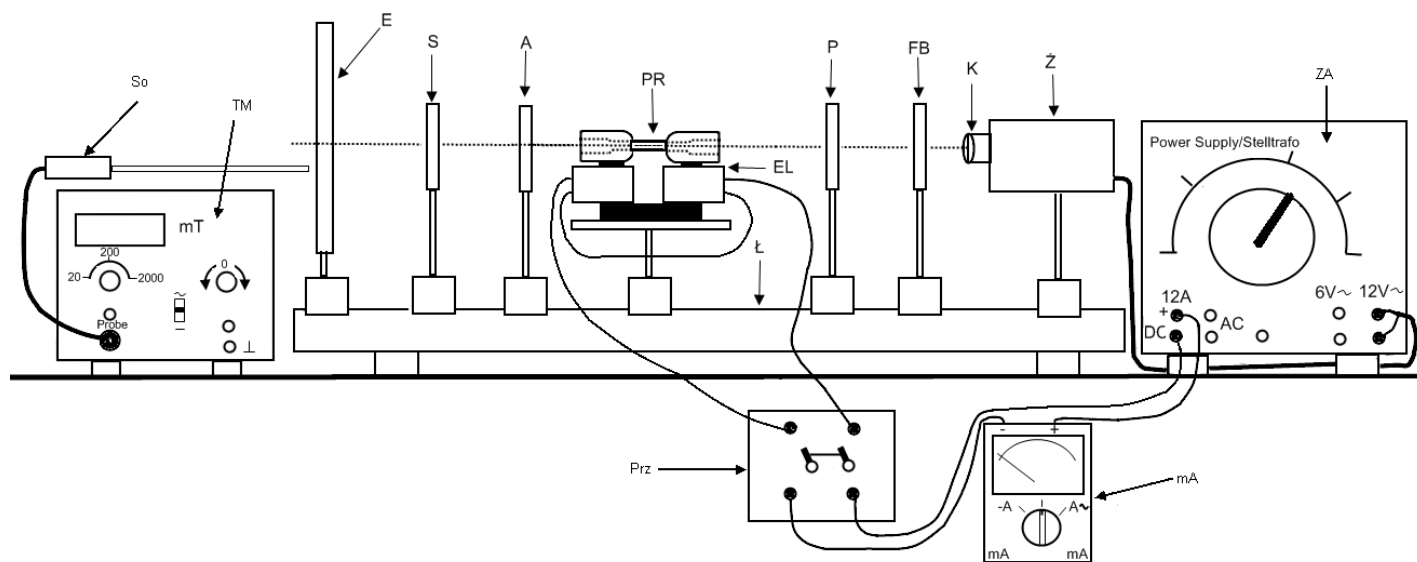
Celem ćwiczenia jest wyznaczenie stałej Verdet w zależności od długości fali użytego światła (tzn. od barwy światła). W tym celu najpierw wyznacza się średnie pole magnetyczne \bar{B} , w którym umieszczona jest próbka (szkło flintowe) (część A ćwiczenia), a następnie kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji ($\theta = 2\Delta\phi$) przy zastosowaniu różnych filtrów barwnych na źródło światła (część B ćwiczenia).

1. Zestaw pomiarowy

W skład zestawu pomiarowego wchodzi:

- \dot{Z} - źródło światła wraz z soczewką skupiającą K służącą jako kondensator ,
- FB - filtr barwny (wymienialny),
- P - filtr polaryzacyjny służący jako *polaryzator*,
- EL - elektromagnes składający się z dwóch szeregowo połączonych uzwojeń na rdzeniu stalowym stanowiącym bieguny magnesu. Między biegunami, w wydrążeniu nabiegunków umieszcza się wzdłuż linii pola magnetycznego walcową, przezroczystą próbkę PR wykonaną ze szkła flintowego,
- A - filtr polaryzacyjny służący jako *analyzer*,
- S - soczewka o ogniskowej 15cm,
- E - półprzezroczysty ekran
- powyższy zestaw zmontowany jest na ławie optycznej L
- TM - teslametr z sondą So służący do pomiaru indukcji pola magnetycznego
- ZA - zasilacz do lampy \dot{Z} oraz elektromagnesu EL
- mA - amperomierz do pomiaru natężenia prądu płynącego przez elektromagnes
- Prz - przełącznik kierunku prądu w elektromagnesie pozwalający zmieniać zwrot wektora indukcji pola magnetycznego

Rysunek 1: Zestaw pomiarowy

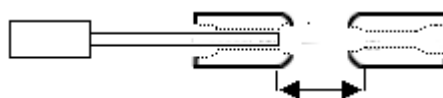


V. Wykonanie ćwiczenia:

A. Pomiar pola magnetycznego:

1. Sprawdzić, czy zestaw pomiarowy jest połączony jak na rysunku 1.
2. Zdjąć z ławy optycznej ekran E, soczewkę S oraz analizator A wraz z uchwytnymi i zawiesić je na uchwytnych umieszczonych na ścianie działowej.
3. Umocować na ławie sondę S_0 teslametru umieszczoną w uchwycie i wyregulować jej wysokość i wypoziomowanie tak, aby mogła być swobodnie wsuwana i wysuwana z otworów w nabiegownikach elektromagnesu.

4. Przesunąć sondę tak, aby jej koniec znalazł się na końcu przewężenia lewego nabiegownika elektromagnesu (patrz rysunek obok).



Rysunek 2. Sposób umieszczenia sondy

5. Podłączyć sondę do teslametru (patrz rysunek 1), włączyć teslametr wyłącznikiem na tylnej ścianie przyrządu. Ustawić przełącznik rodzaju pola na „Direct Field”, a zakres pomiarowy na „200”. Pokrętnym „0” ustawić zerowe wskazanie teslametru.
6. Pokrętno zasilacza ZA ustawić w lewym skrajnym położeniu i włączyć zasilacz wyłącznikiem umieszczonym na tylnej ścianie przyrządu.
7. Ustawić pokrętno amperomierza na zakres 3A prądu stałego (pomiar prądu stałego oznaczono na mierniku jako $-A$).
8. Pokrętnym zasilacza ustawić natężenie prądu na 0,5A.
9. Zanotować wskazanie teslametru i położenie sondy na ławie optycznej, przyjmując dla tego położenia początkowego $x=0$.
10. Przesunąć sondę o 0,5 cm w prawo ($x=1$) i ponownie zanotować wartość indukcji pola magnetycznego.
11. Czynności opisane w punktach 9 i 10 powtarzać do chwili, gdy koniec sondy osiągnie początek przewężenia prawego nabiegownika elektromagnesu.
12. Zwiększyć natężenie prądu zasilacza o 0,5A i przesunąć ponownie sondę do położenia początkowego ($x=0$). Jeśli zakres teslametru okaże się zbyt czuły (gaśnie wyświetlacz), przełączyć teslametr na zakres 2000.
13. Powtarzać pomiary opisane w punktach 9-12 aż do uzyskania natężenia prądu równego 3A (maksymalny zakres miernika). Odczytów dla największych natężeń prądu dokonać możliwie szybko, aby nie przeciążać amperomierza. Po dokonaniu ostatniego odczytu skrócić gałkę zasilacza do zera.
14. Pomiary umieścić w tabeli:

Tabela 1.

x[cm]	I=0,5A	I=1,0A	I=1,5A	I=2,0A	I=2,5A	I=3,0A
	B[mT]	B[mT]	B[mT]	B[mT]	B[mT]	B[mT]
0						
0,5						
1						
1,5						
2						
2,5						
3						
3,5						

15. Sporządzić wykres zależności $B(x)$ dla wszystkich wartości natężenia pola magnetycznego.
16. Na podstawie każdego wykresu określić średnią wartość indukcji pola magnetycznego. W tym celu należy obliczyć pole powierzchni * pod wykresem $P[\text{mT}\cdot\text{cm}]$, a następnie podzielić je przez długość badanego obszaru $\Delta x[\text{cm}] = x_{\text{max}} - x_{\text{min}}$, czyli: $\bar{B} = \frac{P}{\Delta x} [\text{mT}]$.
17. Sporządzić wykres zależności $\bar{B}(I)$ - średniego pola magnetycznego \bar{B} od natężenia prądu I .

B. Wyznaczanie kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji i stałej Verdetta.

1. Zdjąć z ławy optycznej sondę **So** i umieścić ją w uchwycie na ścianie. Na ławie umieścić kolejno analizator **A**, soczewkę **S** i ekran **E** (patrz rysunek 1).
2. Ustawić polaryzator oraz analizator na zero, aby obie płaszczyzny polaryzacji były równoległe do siebie, a natężenie przepuszczanego światła maksymalne.
3. Wyregulować położenie wszystkich elementów na ławie tak, aby promień z lampy przebiegał przez nabiegunniki elektromagnesu, a na ekranie było widoczne wyraźne, jednolicie oświetlone koło. (patrz pozioma linia przerywana na rysunku 1).
4. Włożyć próbkę (szklany walec) w wydrążenia nabiegunników elektromagnesu.
5. Umieścić w oprawce umieszczonej na ławie optycznej pierwszy filtr barwny.
6. Ustawić natężenie prądu elektromagnesu równe 0,5A. Za pomocą analizatora doprowadzić do całkowitego wygaszenia obrazu na ekranie i zanotować bezwzględną wartość kąta, przy którym to nastąpiło.

7. Przełącznikiem zmienić kierunek prądu w elektromagnesie (zwrot pola magnetycznego zmieni się na przeciwny), ponownie doprowadzić do wygaszenia obrazu i zanotować kąt, przy którym to nastąpiło.
8. Pomiary opisane w punktach 5-7 powtórzyć dla podanych w tabeli 2 natężeń prądów i dla wszystkich filtrów barwnych.
9. Wyniki umieścić w tabeli 2.

Tabela 2

Barwa filtra	I[A]	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	V(λ)	u(V)
	B[mT]								
	u(B)[mT]								
Niebieski $\lambda=440\text{nm}$	φ_1								
	φ_2								
	$2\Delta\varphi$								
Turkusowy $\lambda=505\text{nm}$	φ_1								
	φ_2								
	$2\Delta\varphi$								
Zielony $\lambda=525\text{nm}$	φ_1								
	φ_2								
	$2\Delta\varphi$								
Pomarań- czowy $\lambda=580\text{nm}$	φ_1								
	φ_2								
	$2\Delta\varphi$								
Czerwony $\lambda=595\text{nm}$	φ_1								
	φ_2								
	$2\Delta\varphi$								

W tabeli:

$$2\Delta\varphi = |\varphi_1 - \varphi_2|,$$

B[mT] oznacza średnie pole magnetyczne dla danego natężenia prądu, obliczone tak jak opisano w punkcie 16 części A tej instrukcji.

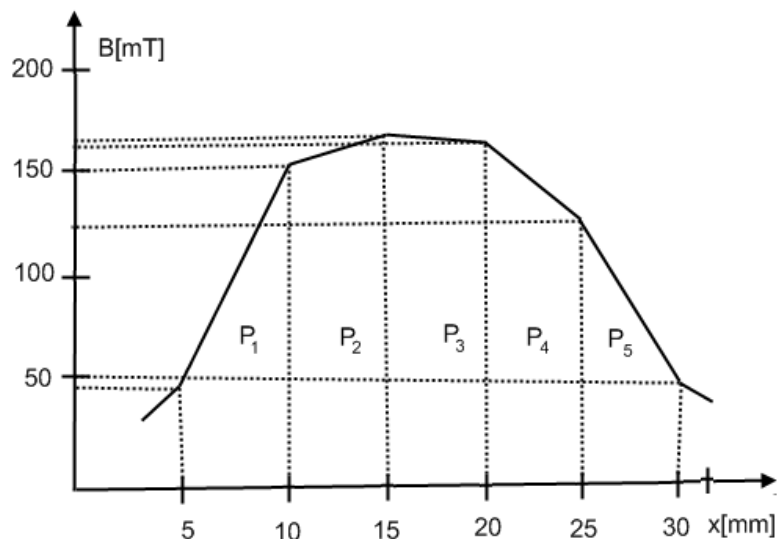
10. Sporządzić wykres zależności $2\Delta\varphi$ od \bar{B} dla każdego filtra i metodą regresji liniowej znaleźć współczynnik kierunkowy a każdej uzyskanej prostej oraz jego niepewność $u(a)$.
11. Dla każdej długości fali obliczyć stałą Verdetą oraz jej niepewność pomiarową według wzorów:

$$V(\lambda) = \frac{a}{2L} ; \quad u(V) = \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{u^2(a) + \left(\frac{a}{L}\right)^2 \cdot u^2(L)}$$

gdzie długość próbki $L=30,4 \pm 0,1 \text{ mm}$

12. Sporządzić wykres zależności $V(\lambda)$ stałej Verdetą od długości fali światła.

(*) Pole powierzchni pod wykresem obliczamy w przybliżony sposób łącząc punkty pomiarowe i dodając pola powierzchni poszczególnych trapezów. Przykład takiego obliczenia poniżej:



Wzór na pole trapezu: $P = \frac{1}{2}(a + b)h$ tutaj $a \equiv B_{\max}$; $b \equiv B_{\min}$; $h \equiv \Delta x$

$$P_1 = \frac{1}{2}(150 + 47) \cdot 5 = 492,5 [mT \cdot mm]$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(165 + 150) \cdot 5 = 787,5 [mT \cdot mm]$$

$$P_3 = \frac{1}{2}(165 + 160) \cdot 5 = 812,5 [mT \cdot mm]$$

$$P_4 = \frac{1}{2}(160 + 125) \cdot 5 = 712,5 [mT \cdot mm]$$

$$P_5 = \frac{1}{2}(125 + 50) \cdot 5 = 437,5 [mT \cdot mm]$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 3242,5 mT \cdot mm$$

Średnia indukcja pola magnetycznego wynosi:

$$\bar{B} = \frac{P}{\Delta x} = \frac{3242,5}{25} = 129,7 mT$$