

Laboratorium Fizyczne II

Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Katedra Fizyki Doświadczalnej

Ćwiczenie nr 9

Pomiar dyspersji materiałów za pomocą spektrometru

I. Zestaw przyrządów

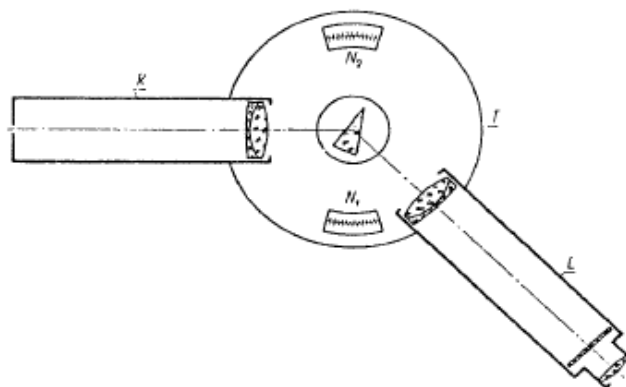
1. Spektrometr
2. Lampy spektralne: helowa i rtęciowa
3. Pryzmaty szklane, których własności mierzymy

II. Cel ćwiczenia

Wyznaczenie dyspersji materiału, z jakiego wykonany jest dany pryzmat; wyliczenie prędkości rozchodzenia się światła w materiale, w zależności od długości fali; wyliczenie długości fali świetlnej w materiale, w zależności od długości fali w powietrzu; zapoznanie się z budową i zasadą działania spektrometru.

III. Schemat układu pomiarowego

Spektrometr jest przyrządem służącym do pomiaru kątów, np. pryzmatów, kątowej odległości linii widmowych lub kąta ugięcia promieni na pryzmacie. Zasadniczym przeznaczeniem jest jednak pomiar dyspersji materiałów. W zależności od przeznaczenia konstruuje się spektrometry różnej budowy i różnej dokładności. Na rysunku poniżej przedstawiona jest schematycznie budowa spektrometru przeznaczonego do pomiarów laboratoryjnych.



Odczytu kąta dokonuje się z jednego (dla mniej dokładnych urządzeń) lub dwóch (dla bardziej dokładnych urządzeń) noniuszów N_1 i N_2 , umieszczonych na kole podziałowym T. W środku kręgu znajduje się stolik pomiarowy, który można poziomować za pomocą śrub regulacyjnych. Oś obrotu stolika pokrywa się z osią obrotu kręgu. Nad kręgiem umieszczona jest luneta L i kolimator K, w taki sposób, że ich osie celowe przechodzą nad stolikiem. W płaszczyźnie ogniskowej obiektywu kolimatora znajduje się szczelina, której szerokość można regulować za pomocą śruby. Szczelina jest oświetlana źródłem światła spektralnego. Jej obraz tworzony jest przez obiektyw kolimatora w

nieskończoności. Jeżeli na stoliku pomiarowym zostanie odpowiednio umieszczony pryzmat i jeśli źródło światła oświetlającego szczelinę nie jest monochromatyczne lecz ciągłe (białe), wówczas w płaszczyźnie ogniskowej lunety zostanie utworzony barwny rozciągnięty obraz szczeliny kolimatora. Gdy źródłem światła jest np. lampa spektralna to w lunecie zobaczymy szereg szczelin o różnych barwach. Obrazy szczelin odpowiadającym różnym liniom widmowym lampy, mają różne kolory. W płaszczyźnie ogniskowej lunety znajduje się płytka z naniesionym krzyżem, ułatwiającym dokładne nastawienie lunety na środek obrazu szczeliny – określonej linii widmowej. Na zdjęciach przedstawiono spektrometry używane podczas ćwiczenia.



Objaśnienia:

K – kolimator
 L – luneta
 S – stolik
 Sz – szczelina kolimatora
 O – okular lunety
 Rk – regulacja kolimatora (na nieskończoność: dla pierwszego = 6.75 mm, dla drugiego = 15.85 mm)
 Rl – regulacja lunety (na ostry obraz szczeliny)
 Rs – śruby regulacyjne stolika (powierzchnia stolika powinna być prostopadła do osi obrotu stolika)
 W – blokada regulacji wysokości stolika i jego ruchu obrotowego

N – systemy odczytowe (1 i 2) położenia lunety
 Bs – blokada ruchu obrotowego – makro stolika (dopiero po jej zablokowaniu możliwa jest regulacja mikro stolika, lecz razem z noniuszami)
 B1 – blokada ruchu obrotowego – makro lunety (dopiero po jej zablokowaniu możliwa jest regulacja mikro lunety)
 Ms – regulacja mikro obrotu stolika, lecz razem z noniuszami!
 M1 – regulacja mikro obrotu lunety

IV. Zasady odczytu

Uwaga!

Przed pomiarami, po ustawieniu noniuszów w wygodnej do odczytu pozycji, należy dokręcić Bs i do końca wszystkich pomiarów nie ruszać Bs i Ms.

- Zasada odczytu wartości kątów za pomocą noniusza:

W naszym przyrządzie występuje koło podziałowe i noniusz. Koło podziałowe podzielone jest na działki co $0,5^\circ$. Z taką też dokładnością odczytujemy skalę, którą pokazuje nam kreska zerowa noniusza. Do odczytanej wartości dodajemy wartość odczytaną z noniusza. Sprawdzamy która kreska noniusza leży na kresce koła podziałowego. Ponieważ noniusz ma 30 działek, więc wartość kąta odczytujemy z dokładnością do 1 minuty kątowej.

Wystarczy odczytywać z jednego (wybranego) noniusza.

- Wyliczenie dowolnie zmierzonego kąta

Pomiar dowolnego kąta Θ , między dwoma dowolnymi ustawieniami lunety (o położeniach A i B), jest to różnica w odczytach tych położzeń. Z lunetą sprzężony jest bowiem: albo noniusz odczytowy, albo koło podziałowe. Szukany kąt to $\Theta = \Theta_B - \Theta_A$. Podane tu kąty odnoszą się do rzeczywistych wartości. **Jeżeli między dwoma położeniami występuje skok skali (0° lub 360°), należy to uwzględnić licząc odpowiednie dopełnienia!** Powyższe wyliczenia są prawdziwe gdy korzystamy tylko z jednego systemu odczytowego, do pomiarów wybieramy więc **noniusz N_1 lub N_2** .

Jeśli chcemy skorygować błąd systematyczny mimośrodowości, należy odczytywać na każdym systemie położenia lunety w obu ich położeniach. Mamy więc wtedy cztery odczyty, po dwa dla każdego położenia lunety. Najpierw liczymy kąty Θ dla każdego systemu pomiarowego oddzielnie tzn. $\Theta_1 = \Theta_{1B} - \Theta_{1A}$ i $\Theta_2 = \Theta_{2B} - \Theta_{2A}$, później kąt pozbawiony błędu systematycznego $\Theta = (\Theta_1 + \Theta_2)/2$, co można łatwo udowodnić.

- Justowanie spektrometru – **jeśli jest konieczne**

1. Za pomocą śrub Rs wypoziomować stolik pomiarowy. Dokonujemy tego ustawiając na stoliku pryzmat. Sprawdzamy czy światło wychodzące z kolimatora a odbite od powierzchni pryzmatu, widoczne jest po wejściu do lunety na tej samej wysokości. Sprawdzamy tak przynajmniej w trzech położeniach lunety: dwa położenia gdy luneta jest ustawiona prawie prostopadle do światła wychodzącego z kolimatora i raz dla ustawienia prawie równoległego. Powtarzamy regulację aż do skutku.

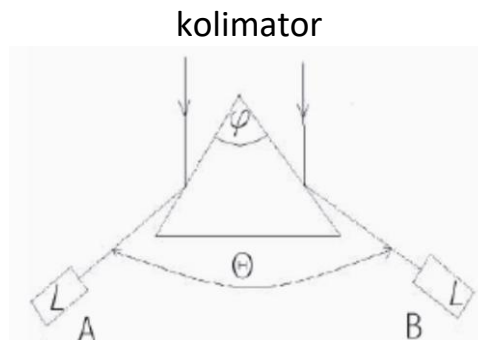
2. Sprawdzić czy kolimator jest ustawiony na nieskończoność, jeżeli nie, to pokrętkiem Rk ustawić go na wartość podaną w objaśnieniach, pod zdjęciami spektrometrów. Na wyjściu kolimatora wtedy mamy wiązkę równoległą, która po wejściu do lunety, utworzy w jej płaszczyźnie ogniskowej ostry obraz szczeliny.

3. Oświetlić szczelinę kolimatora za pomocą lampy spektralnej.

4. Znaleźć ostry obraz szczeliny kolimatora przez lunetę (ewentualną korekcję dokonujemy pokrętkiem RI). **Szczelina powinna być ustawiona na minimalną szerokość gwarantującą wyraźną jej obserwację.**

V. Wykonanie pomiarów

1. Pomiar kąta łamiącego pryzmatu

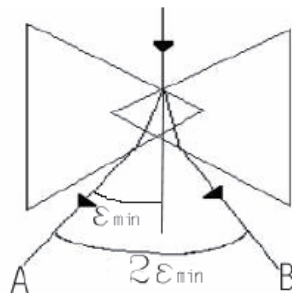


- Na stoliku pomiarowym umieścić badany pryzmat tak by światło z kolimatora padało na wierzchołek pryzmatu i odbijało się od dwóch jego powierzchni - tworzących badany kąt łamiący.
- Zablokować stolik pomiarowy za pomocą blokady Bs.
- Lunetę skierować na jedną ze ścian pryzmatu i znaleźć ostry obraz szczeliny kolimatora
- Za pomocą blokady BI zablokować obrót lunety i jedynie posługując się mikroprzesuwem MI lunety ustawić krzyż tak, aby jego pionowe ramię pokrywało się ze szczeliną kolimatora i było w jego środku
- Dokonać odczytu położenia lunety za pomocą wybranego noniusza odczytowego
- Zwalniając blokadę BI obrócić lunetę, tak aby znaleźć obraz szczeliny kolimatora po odbiciu od drugiej ściany pryzmatu
- Dokonać odczytu położenia lunety podobnie jak w powyższym podpunkcie
- Różnica odczytów obu położenia lunety daje $\Theta = \Theta_B - \Theta_A$. Kąt ten stanowi podwójną wartość kąta łamiącego pryzmatu φ . Stąd

$$\varphi = \Theta/2 \quad (1)$$

- Pomiary powtórzyć kilka razy w celu zminimalizowania błędów i oszacowania niepewności pomiarowej

2. Pomiar kąta minimalnego odchylenia



Kąt minimalnego odchylenia, jest to minimalny kąt, między kierunkiem na wprost kolimatora a kierunkiem załamania światła przez pryzmat. Minimalna wartość tego kąta zależy od ustawienia pryzmatu. Obracając stolik z pryzmatem znajdujemy jego minimalną wartość.

- Szczelinę kolimatora oświetlamy lampą spektralną
- Na stoliku pomiarowym umieszczamy pryzmat
- Obracając stolik S, na którym ustawiony jest pryzmat, obserwujemy przez lunetę przesuwając się monochromatyczny obraz szczeliny kolimatora (wybraną linię widmową)

- d) Moment, w którym obraz zatrzymuje się (znajduje się wtedy najbliżej kierunku naprzeciw kolimatora), a następnie zaczyna przesuwać się w przeciwnym kierunku, jest momentem, w którym pryzmat ustawiony jest na minimalne odchylenie, dla danej linii widmowej
- e) Następnie należy sprząć lunetę z korpusem za pomocą B1 i za pomocą mikroprzesuwu lunety M1 ustawić lunetę na jedną z linii widmowych i dokonać odczytu za pomocą noniusza odczytowego
- f) Opisane czynności 3-5 powtórzyć dla wszystkich wybranych linii spektralnych
- g) Czynności wyżej opisane powtórzyć także dla drugiego ustawienia pryzmatu, przy jego symetrycznym ułożeniu
- h) Różnica odczytów przy symetrycznych ułożeniach pryzmatu daje podwójną wartość kąta minimalnego odchylenia $\varepsilon_{\min} = |\Theta_B - \Theta_A|/2$
- i) Pomiarów dla różnych długości fal (dla wszystkich linii lampy spektralnej), pozwolą wyliczyć współczynniki załamania, dla tych długości z zależności:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\varphi + \varepsilon_{\min}}{2}\right)}{\sin\frac{\varphi}{2}} \quad (2)$$

VI. Opracowanie wyników

1. Wyliczyć kąt łamiący pryzmatu i określić jego niepewność pomiarową.
2. Wyliczyć kąty minimalnego odchylenia pryzmatu, dla wszystkich linii spektralnych i określić ich niepewności pomiarowe.
3. Wyliczyć współczynniki załamania dla wszystkich linii spektralnych.
4. Wyliczyć niepewności współczynnika załamania.
5. Nanieść na jednym wykresie wartości współczynników załamania dla danego pryzmatu i różnych lamp spektralnych. Nanieść krzywe (ciągłe) dyspersyjne materiału $n = n(\lambda_p)$, z jakiego został wykonany pryzmat.
Do dyspozycji są dwie lampy spektralne: He i Hg.
6. Wyliczyć prędkości rozchodzenia się światła, dla poszczególnych linii widmowych z zależności $c(\lambda_p) = c_p/n(\lambda_p)$. Sporządzić wykres $c(\lambda_p)$.
7. Wyliczyć długości fali światła w szkle, z którego został wykonany pryzmat, z zależności $\lambda(\lambda_p) = \lambda_p/n(\lambda_p)$. Sporządzić wykres $\lambda(\lambda_p)$.

Plan minimum to 1 lampa spektralna i 2 pryzmaty lub 1 pryzmat i dwie lampy spektralne!

Tabela 1. Wybrane linie widmowe lamp spektralnych. * - linie szczególnie zalecane.

Lampa	Barwa linii	Intensywność	Oznaczenie	λ_p [nm]
H ₂	Czerwona	Silna	C *	656.3
	niebiesko-ziel	Średnia	F *	486.1
	fiolet	Średnia	G' *	434.0
	Fiolet	Słaba		410.8
	Fiolet	Słaba		397.0
He	Czerwona	Średnia	r	706.5
	Czerwona	Średnia		667.8
	Żółta	b. silna	d *	587.6
	Zielona	Średnia		501.6
	niebiesko-ziel	Średnia		492.2
	Niebieska	silna		471.3
	Fiolet	Słaba		447.1
Hg	Czerwona	Słaba	c *	690.7
	Czerwona	Słaba		623.4
	Żółta	b.silna dublet		579.1
	Żółta	b.silna dublet		576.9
	Zielona	Silna	e **	546.1
	niebiesko-ziel	Średnia		491.6
	niebiesko-fiolet	Średnia	g *	435.8
	Fiolet	Słaba		407.8
	ciemny fiolet	b. słaba	h *	404.7
	b.ciemny fiolet	b.b. słaba	i	365.0