

ĆWICZENIE 5.

POMIAR DŁUGOŚCI FALI ELEKTROMAGNETYCZNEJ. BADANIE WIDM EMISYJNYCH.

Cel ćwiczenia: Wyznaczenie długości fali światła monochromatycznego. Badanie widm emisyjnych.

Część teoretyczna: Dyfrakcja i interferencja fal. Siatka dyfrakcyjna. Laser. Budowa atomu, powstawanie widm atomowych, poziomy energetyczny atomu, związek pomiędzy energią przejścia a częstotliwością i długością fali. Budowa, zasada działania i justowanie spektroskopu.

Aparatura: Lampa spektralna, spektroskop, laser, zestaw siatek dyfrakcyjnych, ekran.

Wstęp.

Falowy charakter światła potwierdzają takie zjawiska, jak dyfrakcja i interferencja. Jednak o tym, że światło jest falą poprzeczną, świadczy zjawisko polaryzacji światła. Światło jest falą elektromagnetyczną której długość możemy opisać funkcją częstotliwości:

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ gdzie } c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Światło białe jest mieszaniną fal świetlnych o różnych długościach (od $\sim 380\text{nm}$ do $\sim 780\text{nm}$).

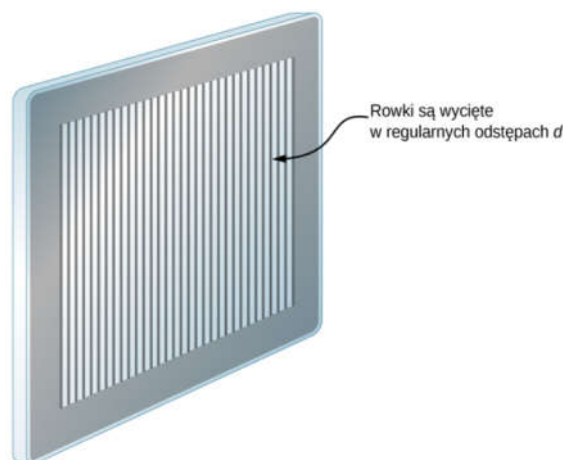
Fale światła pochodzące z więcej niż jednego źródła mogą interferować w sposób analogiczny do fal na wodzie. Jeśli światło jest falą (a wiemy, że jest falą elektromagnetyczną), to powinno po spełnieniu odpowiednich warunków także wykazywać efekty interferencyjne. W doświadczeniu Younga światło było przepuszczane przez pojedynczą szczelinę, a następnie trafiało na dwa małe otwory w drugiej przesłonie.



Światło wychodzące z tych dwóch otworów padało na ekran, na którym można było zaobserwować obraz, składający się z jasnych i ciemnych obszarów. Obraz ten, nazywany obrazem interferencyjnym, może być wyjaśniony tylko efektami interferencyjnymi, czyli wynikającymi z nakładania się fal.

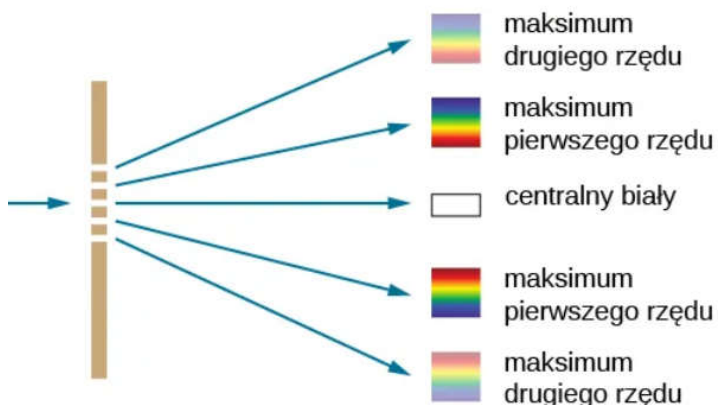
Analiza interferencji światła przechodzącego przez dwie szczeliny daje nam teoretyczne podstawy do opisu interferencji oraz historyczny wgląd w eksperymenty Thomasa Younga. Jednak większość współczesnych zastosowań zjawiska interferencji na szczelinach dotyczy

dużej ich liczby. Kluczowym elementem optycznym jest tutaj **siatka dyfrakcyjna**, będąca ważnym narzędziem do analizy zjawisk optycznych. Siatka dyfrakcyjna może być wytworzona przez nacinanie szkła ostrym narzędziem, przez co otrzymuje się duże ilości precyzyjnie wykonanych równoległych linii z nienaruszonymi obszarami działającymi jak szczeliny (rysunek). Ten rodzaj siatki może być produkowany masowo i dość niewielkim kosztem. Ponieważ siatka może mieć nawet ponad 1000 szczelin na milimetr w



przekroju poprzecznym ($1000/\text{mm}$), to gdy obszar o wielkości kilku milimetrów jest oświetlony przez przechodzący promień, liczbę podświetlanych szczelin wolno traktować jako praktycznie nieskończoną, co sprawia, że maksima główne są bardzo ostre. W laboratorium znajdziesz siatki m.in. $600/\text{mm}$, $80/\text{mm}$ i $50/\text{mm}$ o stałych dyfrakcyjnych odpowiednio $\frac{1}{600} \text{ mm}$, $\frac{1}{80} \text{ mm}$ i $\frac{1}{50} \text{ mm}$.

Obraz otrzymany dla światła białego padającego na siatkę (rys. obok). Centralne maksimum jest białe, a w maksimach wyższych rzędów światło białe jest rozszczepione na składowe monochromatyczne.

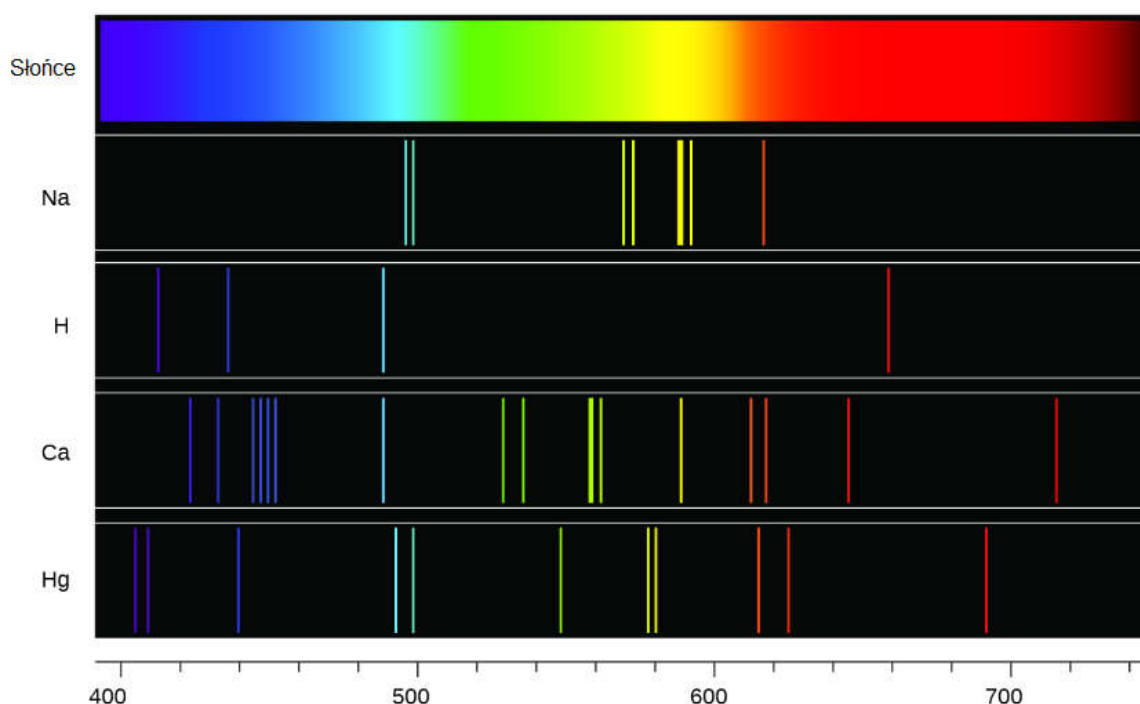


Jakie są zastosowania siatek dyfrakcyjnych? Są one powszechnie używane w spektroskopii dyspersyjnej i do analizy światła. Szczególnie użytecznymi czyni je fakt, że dają obraz ostrzejszy niż

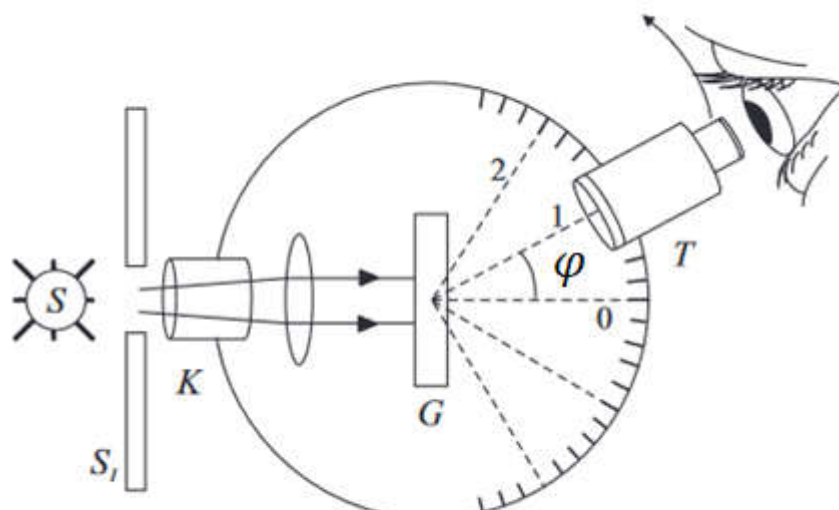
podwójna szczelina. Oznacza to, że jasne prążki w widmie siatki dyfrakcyjnej są węższe i jaśniejsze, podczas gdy ciemne obszary są ciemniejsze. Siatki dyfrakcyjne stanowią główny element monochromatorów, stosowanych np. w obrazowaniu optycznym przy użyciu fal o określonej długości, próbek materiałów biologicznych lub medycznych. Siatkę dyfrakcyjną tę można wybrać w przypadku szczegółowej analizy światła.

Atomy wszystkich pierwiastków zbudowane są w ten sam sposób, jednakże ze względu na różną liczbę atomową i liczbę elektronów, atom każdego pierwiastka posiada charakterystyczne poziomy energetyczne. Energia elektronu w atomie nie przyjmuje dowolnych wartości, ale jest skwantowana, czyli przyjmuje wartości dyskretne. Przejście elektronu z orbitalu o niższej energii na orbital o wyższej energii związane jest z dostarczeniem energii (wzbudzenie atomu, absorpcja). Natomiast przejście elektronu z orbitalu o wyższej energii na orbital o niższej energii powoduje emisję energii o wartości równej różnicy energii pomiędzy energiami orbitali. W związku z tym atom emituje charakterystyczne dla siebie częstotliwości (długości fal) promieniowania elektromagnetycznego. Dzięki temu, poprzez analizę widm emisyjnych można zidentyfikować skład substancji świecącej (np.: gwiazdy). Taka procedura nazywa się spektralną analizą widmową. Możliwa jest ona do przeprowadzenia w przypadku widm wysyłanych przez atomy. Takie widma złożone są z wyraźnie oddzielonych linii nazywanych liniami widmowymi.

Przykładowe widma: światła słonecznego (widmo ciągłe) oraz sodu, wodoru, wapnia i rtęci (widma liniowe):



Aby dowiedzieć się jakie długości fali (lub częstotliwości) wysyła źródło światła trzeba przeprowadzić jego analizę. Do wykonania analizy widmowej służy spektrometr siatkowy (rysunek), w którego skład wchodzi: siatka dyfrakcyjna G umieszczona na stoliku, lunetka T , kolimator K ze szczeliną S_1 o regulowanej szerokości, lampa spektralna Hg. Lunetka T może poruszać się po okręgu (wokół osi przechodzącej przez środek stolika z siatką dyfrakcyjną), na którym umieszczona jest skala kątowna z dwoma noniuszami przesuniętymi względem siebie o 180° .



Obsługa spektrometru.

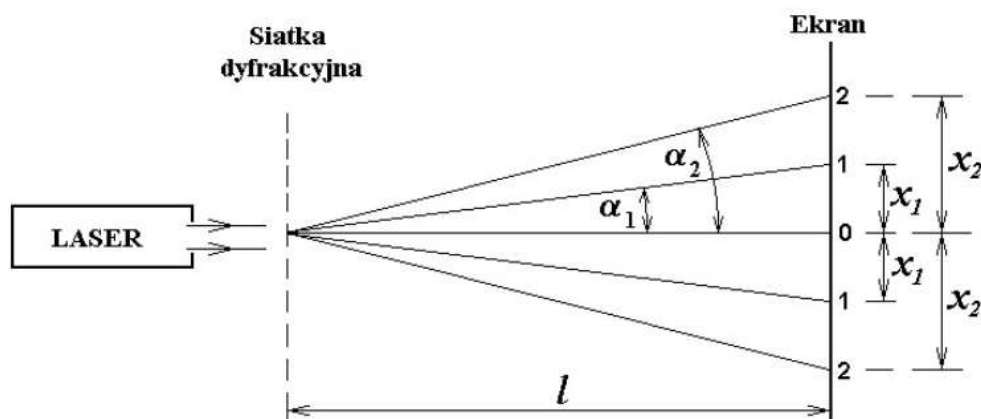
Na siatkę dyfrakcyjną powinna padać równoległa wiązka światła. Przed szczeliną S_1 kolimatora należy ustawić lampę spektralną i równomiernie oświetlić szczelinę. Patrząc przez lunetkę należy uzyskać ostry obraz tej szczeliny. Siatka dyfrakcyjna powinna być ustawiona prostopadłe do padającej wiązki światła. Aby to osiągnąć należy obserwować w lunetce ostre widzenie prążka zerowego rzędu. Ustawienie prawidłowe uzyskuje się, gdy środek prążka jest widoczny na skrzyżowaniu nici pajęczych widocznych w lunetce. Następnie należy odczytać na skali położenie kątowe lunetki dla prążka zerowego rzędu. W razie potrzeby należy ustawić położenie kątowe lunetki na kąt 0° .

Oświetlona szczelina lampą Hg daje możliwość obserwacji układu linii widmowych pierwszego rzędu z prawej i lewej strony prążka zerowego, dzięki czemu można odczytać wartości położenia kątowych lunetki przy obserwacji kolejnych linii widmowych. Przy dobrym ustawieniu spektrometru widoczne jest również widmo drugiego rzędu

Część praktyczna:

Cześć I. Pomiar długości światła monochromatycznego (laser).

1. Włącz i ustaw laser oraz siatkę w statywie w taki sposób, aby na ekranie były widoczne prążki interferencyjne. UNIKAJ KONTAKTU OCZU ZE ŚWIATŁEM LASERA! Zadbaj o to, aby siatka i ekran były ustawione równolegle względem siebie. Laser powinien być zamocowany tak, aby światło padało na siatkę prostopadle.



gdzie 0,1,2, ... - rząd widma n .

2. Zmierz odległość l siatki do ekranu oraz odległości x od prążka zerowego do prążków n rzędu. Pomiary przeprowadź zarówno dla prążków leżących z lewej jak i z prawej strony prążka centralnego, notując do tabeli uśrednioną odległość x (np.: $x = \frac{x_{1lewo} + x_{1prawo}}{2}$ lub $x = \frac{x_{2lewo} + x_{2prawo}}{2}$ itp.).
3. Podobne pomiary powtórz dla czterech innych odległości l między siatką a ekranem. Wyniki umieść w tabeli:

siatka dyfrakcyjna	rząd n	l [cm]	x [cm]
600/mm	1		
	1		
	1		
	1		
80/mm	1		
	2		
	3		
	4		

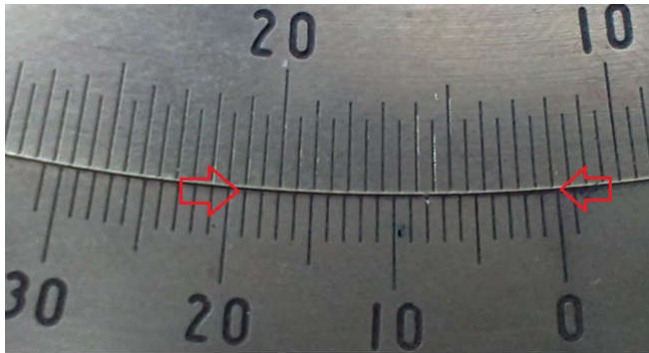
4. Wyznacz długość fal λ [nm] korzystając ze wzoru:

$$n\lambda = d \sin \alpha$$

5. Wyznacz niepewność pomiaru $u(\lambda)$ korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarowych
6. Porównaj wynik z informacją dotyczącą długości fali znajdującą się na laserze.

Cześć II. Analiza widmowa Hg. Pomiar długości fali świetlnej.

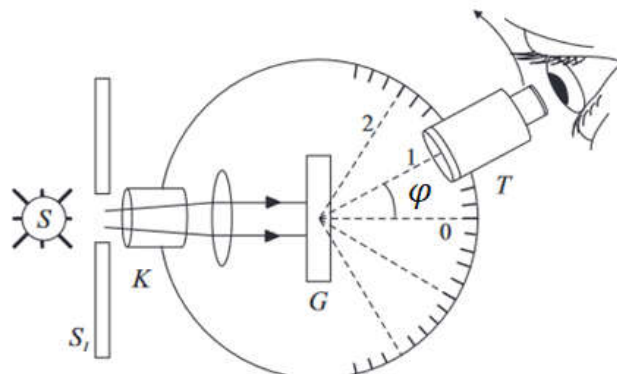
1. Włącz lampę rtęciową. UWAGA !!! PO WŁĄCZENIU ZASILACZA, NALEŻY ODCZEKAĆ 5 MINUT DLA OSIĄGNIĘCIA SILNEGO I STABILNEGO ŚWIECENIA. NIE NALEŻY DOTYKAĆ OBUDOWY LAMPY W CZASIE JEJ PRACY. PODCZAS PRACY NIE NALEŻY WYŁĄCZAĆ LAMPY.
2. Przygotuj spektrometr do pomiaru. Lunetkę ustaw na jednej osi z kolimatorem, ustaw lampę rtęciową oraz spektrometr tak, aby w lunetce uzyskać ostry obraz szczeliny. Zapoznaj się ze spektrometrem, w szczególności ze sposobem odczytu kąta z użyciem noniusza kąтового.



Odczyt:

$$\alpha = 11^{\circ}49' \pm 0^{\circ}01'$$

3. Ustaw siatkę dyfrakcyjną 600/mm na stoliku spektrometru prostopadle do wiązki światła.
4. Zmierz kąty ugięcia dla dwóch rzędów widma, po prawej i lewej stronie względem kierunku wiązki padającej.



5. Zapisz dane pomiarowe w tabeli:

rzęd obrazu n	barwa linii	kąt ugięcia φ		średni kąt ugięcia φ_{sr}
		prawa	lewa	
1	fioletowy			
1	niebieski			
1	zielony			
1	żółty			
1	czerwony			

6. Powtórz pomiary dla siatki dyfrakcyjnej 80/mm.
7. Wyznacz długość fal λ [nm] korzystając ze wzoru:

$$n\lambda = d \sin \alpha$$

8. Wyznacz niepewność pomiaru $u(\lambda)$ korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarowych
9. Zapis wnioski z pomiaru.

Przykładowe zadania na kolokwium.

1. Oblicz długość fali światła o częstotliwości 500THz.
2. Oblicz graniczne wartości częstotliwości światła białego.
3. Siatka dyfrakcyjna ma 200 linii na milimetr. Dla jakiego kąta zaobserwujemy maksimum pierwszego rzędu w przypadku zielonego światła o długości fali 520nm?
4. Ile szczelin na centymetr ma siatka dyfrakcyjna, dla której maksimum pierwszego rzędu w przypadku niebieskiego światła o długości fali 470nm występuje pod kątem 25° ?
5. Oblicz długość fali światła, które padając na siatkę dyfrakcyjną o 5000 liniach na centymetr, daje maksimum drugiego rzędu dla kąta 45° .

Bibliografia:

Podręcznik online- Fizyka dla szkół wyższych. <https://cnx.org/>

Henryk Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa 2003

David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, Podstawy fizyki, t. 1-5, PWN, Warszawa 2003.