

O3. BADANIE WIDM ATOMOWYCH

tekst opracowała: Bożena Janowska-Dmoch

Większość źródeł światła emituje promieniowanie elektromagnetyczne złożone z wymieszanych ze sobą fal o wielu częstotliwościach (długościach). Gdy takie światło przepuścimy przez pryzmat lub siatkę dyfrakcyjną, to fale o różnych częstotliwościach, a więc i barwach, ulegną przestrzennemu rozseparowaniu. Takie zjawisko nazywamy rozszczepieniem światła. Obraz otrzymany po rozłożeniu światła na poszczególne składowe nazywamy **widmem optycznym**. Badania widm substancji wysyłających światło (widma emisyjne) lub pochłaniających światło (widma absorpcyjne) dostarczają cennych informacji o budowie tych substancji, o ich poziomach energetycznych, a także o składzie chemicznym.

Cel

Celem pomiarów jest wyznaczenie stałej siatki dyfrakcyjnej spektroskopu oraz pomiary długości fal emitowanych przez wodór, neon, ksenon i pary rtęci.

Wymagania

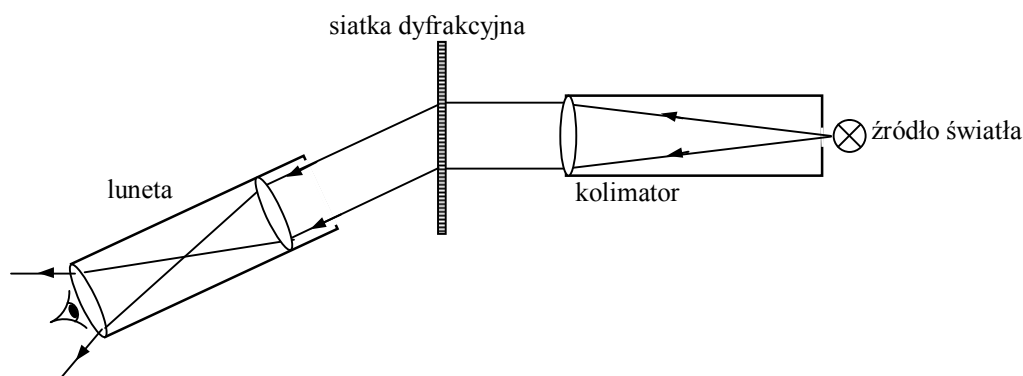
Budowa atomu, model Bohra, poziomy energetyczne, związek pomiędzy energią przejścia a częstotliwością i długością fali, powstawanie widm atomowych, emisja i absorpcja światła, serie widmowe, siatka dyfrakcyjna, rozszczepienie światła.

Literatura

R. Resnick, D. Halliday, Fizyka, tom II, PWN
Sz. Szczęniowski "Fizyka doświadczalna" t. IV, PWN
D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki, tom IV, PWN
A.N. Zajdel "Tablice spektralnych linii", Moskwa, Nauka 1977.

Opis przyrządu

Do pomiarów widm służy prosty spektrometr siatkowy, składający się z kolimatora z regulowaną szczeliną, stolika, na którym umieszcza się siatkę dyfrakcyjną, oraz ruchomej lunety. Pozwala on na bezpośrednią obserwację widm i pomiar położenia kąтового poszczególnych linii.



Schemat spektrometru siatkowego

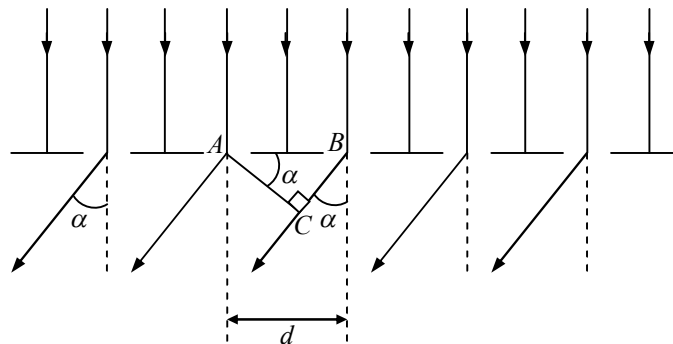
Szczelinę spektrometru oświetla badane źródło światła. Źródłami światła są rurki Geisslera wypełnione gazami, takimi jak: hel, wodór, neon, ksenon, lub parami metali – rtęć. Są one pobudzane do świecenia wysokim napięciem z elektronicznego induktora.

Układ optyczny spektrometru pozwala na otrzymanie ostrego obrazu szczeliny w oku obserwatora. Gdy lunetę ustawimy na wprost kolimatora, to zobaczymy obraz szczeliny nie rozszczepionej (zerowy rząd ugięcia). Gdy wiązka oświetlająca ulegnie ugięciu i rozszczepieniu przez siatkę dyfrakcyjną na poszczególne barwy, to przy obrocie ramienia lunety widoczne będą barwne obrazy szczelin. Danemu ustawieniu lunety odpowiada określone położenie na skali przyrządu, które odczytujemy w lunecie pomiarowej umieszczonej na wspólnym ramieniu obrotowym. Znajomość stałej siatki dyfrakcyjnej i kąta ugięcia danej barwy pozwala precyzyjnie wyznaczyć długość fali odpowiadającą tej barwie.

Wyprowadzenie wzoru

Siatka dyfrakcyjna jest szeregiem równoległych szczelin o jednakowej szerokości, przedzielonych przegrodami o tej samej szerokości nieprzezroczystymi dla światła (siatka amplitudowa), bądź o znacznie większym współczynniku załamania światła (siatka fazowa). Jeśli siatkę oświetlimy, to każda ze szczelin, zgodnie z zasadą Huygensa, staje się źródłem fali kulistej. Fale te w wyniku interferencji będą się w pewnych kierunkach wzmacniać, a w innych osłabiać.

Niech sąsiednie szczeliny siatki będą w odległości d od siebie. Z każdej szczeliny wysyłane są fale we wszystkich kierunkach. Rozważmy fale wysłane ze szczelin pod kątem θ względem normalnej do siatki.



Pomiędzy promieniami wychodzącymi z punktów A i B z dwóch sąsiednich szczelin istnieje różnica dróg, oznaczmy ją przez s , równa odcinkowi BC. Z trójkąta ABC wynika, że

$$s = d \sin \alpha .$$

Gdy ta różnica jest równa długości fali, bądź całkowitej wielokrotności długości fali

$$s = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots),$$

fale ze wszystkich szczelin będą w fazie, czyli będą się wzmacniały i jasna linia (prążek) będzie obrazem szczeliny w tym kierunku. Warunek wzmocnienia zapiszemy

$$d \sin \alpha = m\lambda ,$$

gdzie m jest rzędem ugięcia, d jest stałą siatki.

Jeśli siatka jest oświetlona światłem monochromatycznym, to dla $m = 0$ musi być $\sin \alpha = 0$, a tak się stanie, gdy $\alpha = 0$, czyli na przedłużeniu wiązki padającej powstanie jasny prążek **zerowego rzędu**. Natomiast dla $m = \pm 1, \pm 2, \dots$ powstają jasne prążki **pierwszego, drugiego i wyższych rzędów**. Powstają one po obu stronach prążka zerowego rzędu, symetrycznie względem niego.

Jeśli padające światło zawiera kilka długości fal, to jak wynika z powyższego wzoru, maksimum m rzędu dla każdej długości fali występuje pod ściśle określonym kątem α

$$\sin \alpha = m \frac{\lambda}{d}.$$

Dla $m = 0$ wszystkie fale wzmacniają się pod kątem $\alpha = 0$. Jasny prążek zerowego rzędu ma barwę złożoną, taką jak źródło światła, tzn. będzie biały dla siatki oświetlonej światłem białym. Prążki pierwszego (i wyższych rzędów) będą dla każdej długości fali powstawały pod innym kątem, a wtedy obracając teleskopem obserwować będziemy kilka prążków barwnych pierwszego rzędu (i odpowiednio wyższych rzędów pod większymi kątami), na które rozszczerzone zostało padające światło.

Warto zauważyć, że kąt ugięcia α zależy od stałej siatki d i jest tym większy im stała siatki jest mniejsza.

Wykonanie ćwiczenia

Wyniki wszystkich pomiarów muszą być zapisane w sprawozdaniu, opatrzone odpowiednimi jednostkami i podpisane przez asystenta.

Uwaga: rurki Geisslera ustawia, wymienia i włącza asystent.

Wyznaczanie stałej siatki spektrometru

Przed szczeliną znajduje się wzorcowa rurka wypełniona helem, której widmo jest nam znane. Linie widmowe helu w zakresie widzialnym są następujące:

barwa	długość fali [nm]
fiolet I	438,8
fiolet II	447,1
niebieski	471,3
zielony I	492,2
zielony II	501,6
zielony III	504,8
żółty	587,6
czerwony I	667,8
czerwony II	706,6

- a) Ustawiamy lunetę na wprost kolimatora. Patrząc przez lunetę powinniśmy zobaczyć ostry obraz szczeliny i skali z małym krzyżem pomiarowym. Regulację ostrości obrazu, w pewnym zakresie, umożliwia soczewka, umieszczona w tubusie lunety blisko oka obserwatora. Za pomocą śruby mikrometrycznej, umieszczonej pod szczeliną, ustawiamy

szerokość szczeliny tak, by obraz obserwowany przez lunetę był zbliżony do odstępów między pionowymi kreskami małego krzyża pomiarowego.

- b) Obracając ramię lunety **obserwujemy** widmo helu. Prążki różnią się nie tylko barwą, ale i natężeniem. Słabe prążki mogą być widoczne dopiero po zgaszeniu lampki skali. Wyłącznik skali znajduje się na dole po lewej stronie przyrządu. Widocznym prążkom musimy prawidłowo przyporządkować długości emitowanych fal podane w powyższej tabeli.
- c) Ustawiamy lunetę w takim położeniu, by wybrany prążek znalazł się między ramionami małego krzyża pomiarowego. Wtedy w lunecie pomiarowej, odczytujemy położenie prążka na skali katowej spektrometru, oznaczmy je np. θ_1 . **Mierzymy położenia tylko pięciu silnych linii widmowych helu w I rzędzie ugięcia.**
- d) Pomiary powtarzamy dla linii o tych samych barwach po drugiej stronie prążka zerowego rzędu. Ich położenia oznaczmy np. θ_2 .

Propozycja zapisu wyników:

Badany gaz: hel

Barwa prążka	Długość fali [jednostka]	Położenie θ_1 [jednostka] $\Delta\theta = \dots\dots$	Położenie θ_2 [jednostka]

gdzie $\Delta\theta$ jest błędem systematycznym wynikającym z dokładności przyrządów.

- e) Dla jednej, wybranej, linii helu powtarzamy kilkakrotnie pomiary położenia θ_1 i θ_2 aby sprawdzić czy o niepewności pomiarów decyduje niepewność systematyczna czy losowa, czy obie na raz.

Badanie widm emisyjnych

Przed szczeliną znajduje się rurka Geisslera wypełniona wodorem.

- a) Ustawiamy lunetę w takim położeniu, by wybrany prążek znalazł się między ramionami małego krzyża pomiarowego. W lunecie pomiarowej, odczytujemy położenie prążka na skali katowej spektrometru, oznaczmy je np. θ_1 . **Mierzymy położenia silnych linii widmowych wodoru w I rzędzie ugięcia.**
- b) Pomiary powtarzamy dla linii o tych samych barwach po drugiej stronie prążka zerowego rzędu. Ich położenia oznaczmy np. θ_2 .

Analogiczne pomiary prowadzimy dla pozostałych rurek Geisslera, mierząc położenia kilku najsilniejszych prążków po obu stronach prążka zerowego rzędu.

Propozycja zapisu wyników:

Badany gaz:.....

Barwa prążka	Położenie θ_1 [jednostka] $\Delta\theta = \dots\dots$	Położenie θ_2 [jednostka]

Opracowanie wyników

Wyznaczenie stałej siatki spektrometru

- z pomiarów wykonanych dla wybranej linii widmowej obliczamy niepewności losowe $\Delta\theta_{1los}$ i $\Delta\theta_{2los}$. Uwzględniając niepewności systematyczne ustalamy jakie wartości mają niepewności $\Delta\theta_1$ i $\Delta\theta_2$.
- dla każdego prążka obliczamy kąty ugięcia przez siatkę danej barwy $\alpha = \frac{1}{2}|\theta_2 - \theta_1|$. Błąd $\Delta\alpha$ obliczamy metodą propagacji niepewności pomiarowych. Jako niepewności $\Delta\theta_1$ i $\Delta\theta_2$ podstawiamy wartości wyznaczone w punkcie a).
- dla każdej długości fali, korzystając ze wzoru siatkowego, obliczamy stałą siatki d . Błąd Δd obliczamy metodą propagacji niepewności pomiarowych.
- metodą średniej ważonej obliczamy stałą siatki $\bar{d}$ i jej błąd $\Delta\bar{d}$.

Badanie widm emisyjnych

Dla każdego z badanych widm

- obliczamy kąty ugięcia prążków przez siatkę danej barwy $\alpha = \frac{1}{2}|\theta_2 - \theta_1|$. Błąd $\Delta\alpha$ obliczamy metodą propagacji niepewności pomiarowych. Jako niepewności $\Delta\theta_1$ i $\Delta\theta_2$ podstawiamy wartości wyznaczone w punkcie a).
- korzystając z wyznaczonej stałej siatki i wzoru siatkowego obliczamy odpowiadającą danemu prążkowi długość fali. Błąd $\Delta\lambda$ obliczamy metodą propagacji niepewności pomiarowych.

We wnioskach spróbujmy ocenić

- czy otrzymane długości fal w widmie wodoru są zgodne w granicach błędów doświadczalnych z wartościami obliczonymi ze wzoru Balmera $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, gdzie $R = 1,0967758 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ jest stałą Rydberga.
- czy otrzymane długości fal w badanych widmach są zgodne w granicach błędów doświadczalnych z wartościami tablicowymi (Długości fal emitowanych przez około 100 pierwiastków można znaleźć także w programie *spektruś* zamieszczonym na stronie internetowej www.klub.chip.pl/mpytel/spektrus.htm).