

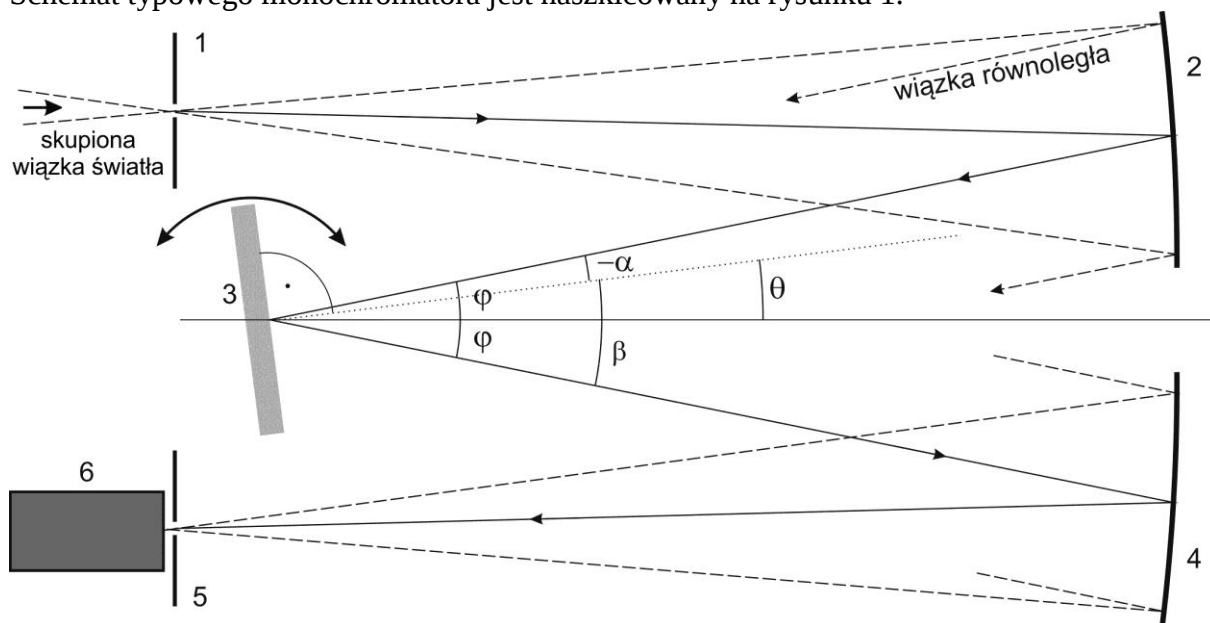
WYZNACZANIE ENERGII DYSOCJACJI MOLEKUŁY JODU (J_2)

DODATEK 3 - Monochromator – zasada działania i budowa

1. Zasada działania.

Analizę działania monochromatora najłatwiej jest przeprowadzić dla tzw. konfiguracji Czerny'ego i Turnera. Stosowany w ćwiczeniu monochromator SPM-2 ma nieco inną konstrukcję, jednak ogólna zasada działania pozostaje taka sama. Schemat tego monochromatora, wraz z krótkim opisem jest przedstawiony dla zainteresowanych w punkcie 4.

Schemat typowego monochromatora jest naszkicowany na rysunku 1.



Rys. 1. Szkic części optycznej monochromatora Czerny-Turnera (opis poniżej). θ to kąt obrotu siatki dyfrakcyjnej. Z geometrii układu wynika, że kąt φ jest stały.

Wiązka badanego światła jest skupiana przez zewnętrzny układ optyczny (w najprostszym przypadku pojedynczą soczewkę) na szczeliny wejściowej (1). Szczelina ta pełni rolę pseudo-punktowego źródła światła, oświetlającego sferyczne lub paraboliczne zwierciadło (2). Szczelina (1) jest umieszczona w ognisku zwierciadła (2), dzięki czemu wiązka światła odbitego od zwierciadła (2) i padająca z kolei na siatkę dyfrakcyjną (3) pod kątem α jest wiązką równoległą (skolimowaną). Światło ugina się na siatce dyfrakcyjnej pod kątem β zależnym od długości fali i pada na zwierciadło (4). Zadaniem tego zwierciadła jest skupienie równoległej wiązki w płaszczyźnie wyjściowej monochromatora, w miejscu zależnym od długości fali. Przy pomocy szczeliny wyjściowej (5) wybiera się jedynie wąski fragment widma światła (stąd nazwa „monochromator”) i bada jego natężenie za pomocą detektora (6). Wyboru długości fali światła trafiającej do detektora dokonuje się poprzez obrót siatki dyfrakcyjnej (kąt θ).

Kąt odbicia światła β od siatki dyfrakcyjnej jest związany z długością fali λ zależnością:

$$d(\sin \alpha + \sin \beta) = n\lambda, \quad (1)$$

gdzie α to kąt padania światła na siatkę dyfrakcyjną, n to numer rzędu dyfrakcji, a d to stała siatki (odległość między sąsiednimi rysami). Na rysunku 1 α ma wartość ujemną, a β dodatnią.

Układ optyczny monochromatora jest obciążony szeregiem aberracji, wynikających między innymi z pozaosiowego padania światła na lustra kolimujące, co skutkuje zmniejszeniem zdolności rozdzielczej. Wystąpić mogą: astygmatyzm, koma i aberracja sferyczna. Niezależnie jednak od aberracji, fundamentalnym ograniczeniem zdolności rozdzielczej monochromatora jest dyfrakcja światła na elemencie dyspersyjnym o skończonych rozmiarach.

Szczeliny (1) i (5) mają taką samą szerokość, regulowaną przez użytkownika. Im większa szerokość szczelin, tym więcej światła pada na detektor (6). Dzieje się to jednak kosztem większego rozmycia kąowego wiązki padającej na siatkę dyfrakcyjną (3), co pociąga za sobą zmniejszenie zdolności rozdzielczej przyrządu. W praktyce oznacza to zwiększanie natężenia rejestrowanych linii spektralnych, przy jednoczesnym wzroście ich szerokości. Zmniejszanie szerokości szczelin prowadzi do pewnego momentu do zwiększania zdolności rozdzielczej. Po osiągnięciu charakterystycznej szerokości szczeliny (tak zwanej szczeliny normalnej), szerokość obserwowanych linii spektralnych już nie maleje. Dzieje się tak w momencie, gdy szerokość szczeliny staje się mniejsza niż dyfrakcyjne rozmycie wyjściowej plamki światła. W typowych układach, idealnie monochromatyczna wiązka światła widzialnego, padająca na bardzo wąską szczelinę wyjściową, byłaby skupiona na szczelinie wyjściowej do plamki o średnicy kilku mikrometrów. Stosowanie mniejszej szczeliny jest zatem nieuzasadnione. Szerokość s szczeliny normalnej wyraża się wzorem:

$$s = \lambda \frac{f}{d}, \quad (2)$$

gdzie f to ogniskowa zwierciadła kolimującego (4), a d to szerokość siatki dyfrakcyjnej (lub ogólniej – szerokość wiązki światła).

Analizując rysunek 1 widać, że ($\alpha < 0$):

$$\varphi = \theta + (-\alpha) \quad \text{oraz} \quad \beta = \theta + \varphi. \quad (3)$$

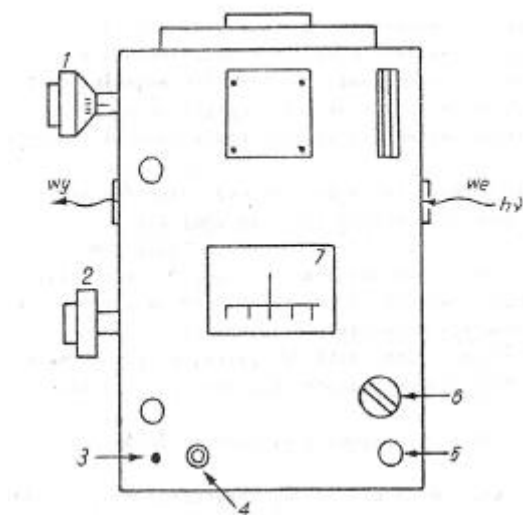
Wstawiając powyższe do wzoru (1), po krótkich przekształceniach trygonometrycznych otrzymujemy:

$$n\lambda = 2d \cos \varphi \sin \theta. \quad (4)$$

Widać zatem, że długość fali światła padającego na szczelinę wyjściową jest proporcjonalna do $\sin \theta$. Łatwo jest zbudować układ mechaniczny (podobny do tzw. *liniału sinusowego*), w którym przesunięcie liniowe jest proporcjonalne do $\sin \theta$. Wynika stąd, że długość fali jest liniowo zależna od liczby obrotów silnika sterującego obrotem siatki dyfrakcyjnej, co jest istotne przy kalibracji monochromatora.

2. Budowa i obsługa.

Wygląd zewnętrzny monochromatora SPM-2 przedstawia rysunek 2. Szczeliny wejściowa i wyjściowa, znajdują się symetrycznie, po przeciwnych stronach korpusu przyrządu. Na szczelini wejściowej znajdują się nasadka z okienkiem, w którą można wsuwać przysłonę klinową do regulowania wysokości szczeliny. Szczelina wyjściowa jest w układzie pomiarowym, stosowanym w ćwiczeniu, zakryta przez obudowę fotopowielacza. Szerokość obu szczelin jest równocześnie regulowana w zakresie 0-1.5 mm, za pomocą regulatora (1). Szerokość szczelin odczytuje się na podziałce regulatora (1). Skala szerokości jest w liniowa zakresie 0-0.05 mm i logarytmiczna w zakresie 0.05-1.5 mm.



Rys. 2. Płyta czołowa monochromatora SPM-2. (1) – regulator ustawiania szerokości szczelin, (2) – regulator zmiany długości fali, (3) – wyłącznik sieci, (4) – lampka kontrolna, (5) – przycisk włączający oświetlenie skali, (6) – przełącznik pryzmatów, (7) – skala długości fali.

Długość fali światła wychodzącego przez szczelinę wyjściową zmienia się poprzez obrót regulatora (2). Aktualnie ustawioną długość fali odczytuje się na skali umieszczonej na matówce (7). W celu uwidocznienia tej skali trzeba przyrząd podłączyć do sieci i włączyć wyłącznik (3). Wówczas zapala się lampka kontrolna (4) oraz żarówka służąca do projekcji skali. W przypadku siatki dyfrakcyjnej używa się skali liniowej (lin na selektorze (5)), która podaje **kąt ugięcia, a nie długość fali**.

Dyspersja liniowa dla siatki dyfrakcyjnej w dużym stopniu nie zależy od długości fali i wynosi dla siatki 650 rys/mm ok. 4 nm/mm, a dla siatki 1300 rys/mm – ok. 2 nm/mm.

Uwaga:

Pozostałe regulatory umieszczone na korpusie monochromatora służą do jego dojustowania. Studentom nie wolno zmieniać położenia tych regulatorów, gdyż może to doprowadzić do rozregulowania przyrządu. Studentom nie wolno również przekręcać uchwytu i otwierać pokrywy, pod którą znajduje się element dyspersyjny.

3. Światło rozproszone i sposób oświetlenia szczeliny wejściowej.

W świetle wychodzącym przez szczelinę wyjściową występuje, oprócz wiązki wyselekcjonowanej przez element dyspersyjny, również światło rozproszone na wewnętrznych elementach monochromatora. Udział światła rozproszonego zakłóca pomiar i należy dążyć do jego zminimalizowania. W tym celu należy dopasować aperturę (rozwartość) wiązki oświetlającej szczelinę wejściową do apertury wejściowej monochromatora. Optymalne warunki pracy uzyskuje się, gdy wiązka światła padająca ze szczeliny wejściowej na element dyspersyjny wypełnia całkowicie ten element, nie padając poza jego brzegi. Aby to osiągnąć, przed źródłem światła umieszcza się przysłonę prostokątną o wymiarach proporcjonalnych do wymiarów czynnej powierzchni elementu dyspersyjnego, a przed szczeliną wejściową umieszcza się odpowiednio dobraną soczewkę w taki sposób, aby soczewka ta odwzorowywała obraz przysłony na elemencie dyspersyjnym i aby wymiary tego obrazu odpowiadały wymiarom powierzchni czynnej elementu dyspersyjnego.

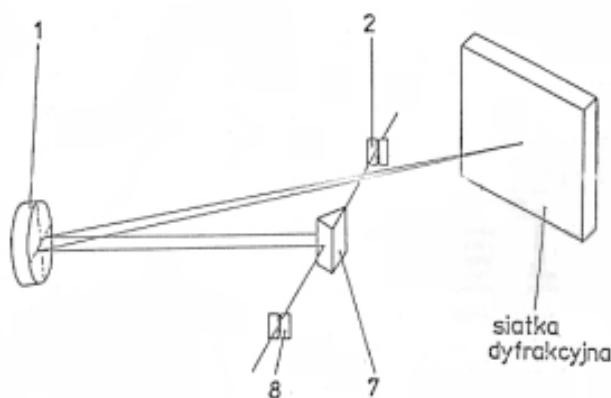
Uzyskanie takiego oświetlenia szczeliny wejściowej wymaga wizualnej kontroli oświetlenia elementu dyspersyjnego. W tym celu oko umieszcza się tuż przed szczeliną wyjściową. W monochromatorze widać wówczas obraz przysłony ograniczającej źródło światła i można ocenić, czy obraz ten wypełnia całkowicie element dyspersyjny.

Uwaga:

Opisana kontrola poprawności oświetlenia wymaga zdjęcia fotopowielacza. Czynność tę wykonuje się jedynie za zgodą i pod kontrolą asystenta prowadzącego ćwiczenie.

4. Monochromator SPM-2

Na rysunku 3 pokazany jest schemat optyczny monochromatora SPM-2 firmy Carl Zeiss (Jena) z siatką dyfrakcyjną jako elementem dyspersyjnym. Światło wchodzące przez szczelinę wejściową (2) odbija się od jednej z płaszczyzn zwierciadła pryzmatycznego (7) i pada na zwierciadło wklęsłe (1), a następnie uformowane w wiązkę równoległą pada na siatkę dyfrakcyjną. Po ugięciu na siatce dyfrakcyjnej, pod kątem zależnym od długości fali, światło wraca na zwierciadło wklęsłe (1). Po kolejnym odbiciu od zwierciadła (7), światło jest kierowane na szczelinę wyjściową (8). W ten sposób, w płaszczyźnie szczeliny (8) tworzony jest obraz szczeliny (2). Wklęsłe, paraboliczne zwierciadło (1) pełni zatem rolę obiektywu kolimującego wiązkę światła wejściowego i jednocześnie ogniskuje ją na szczelinie wyjściowej.



Rys. 3. Schemat części optycznej monochromatora SPM-2 (wersja z siatką dyfrakcyjną).

(1) – zwierciadło paraboliczne, (2) – szczelina wejściowa, (7) – pomocniczy pryzmat odbijający, (8) – szczelina wyjściowa.