

SPEKTROMETR SZKOLNY¹

V 7-33

1. Przeznaczenie przyrządu

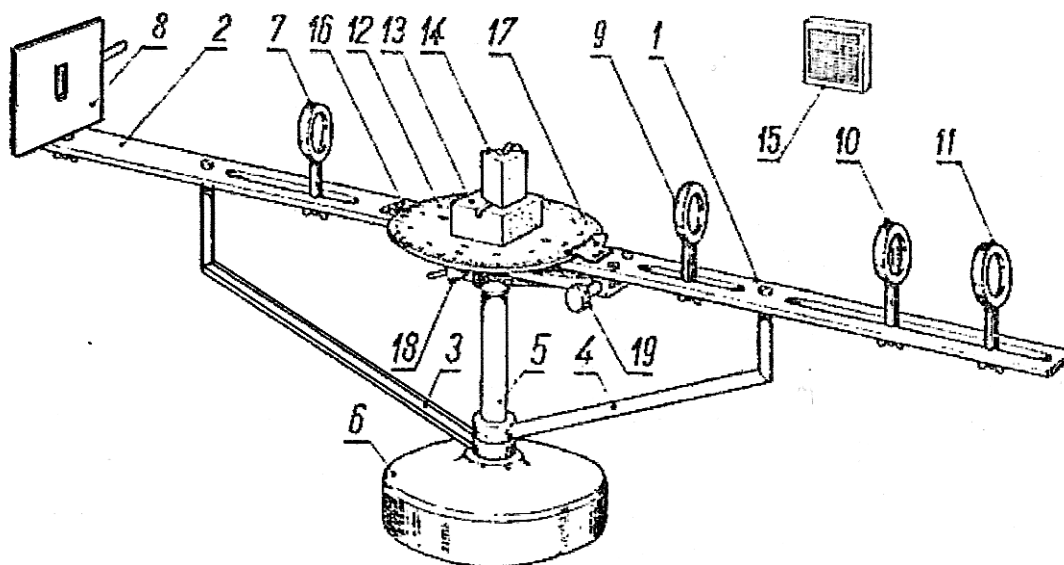
Spektrometr szkolny ma zastosowanie w klasie III gimnazjum i szkołach ponadgimnazjalnych przy realizacji programu fizyki – dział „Optyka”.

W klasie III gimnazjum przyrząd jest pomocny przy następujących tematach: budowa i działanie lunety, przechodzenie światła przez pryzmat załamujący, rozszczepienie światła białego w pryzmacie.

W liceum ogólnokształcącym spektrometr można stosować przy szerszym omawianiu wymienionych tematów a ponadto do pomiaru współczynnika załamania światła, do demonstracji widm przy użyciu pryzmatu i siatki dyfrakcyjnej oraz do pomiaru długości fali światła.

2. Budowa spektrometru

Przyrząd (rys. 1) składa się z dwóch ramion: ruchomego (1) i nieruchomego (2). Wsporniki (3) i (4) służą do podtrzymywania ramion. Wspornik (4) jest połączony na stałe, a wspornik (3) obrotowo z prętem (5) podstawy (6). (2) mocuje się obiektyw kolimatora (7) i jego szczelinę (8). Luneta składająca się z obiektywu (9), kolektywu (10) i ocznika (11) jest umieszczona na ramieniu ruchomym (1).

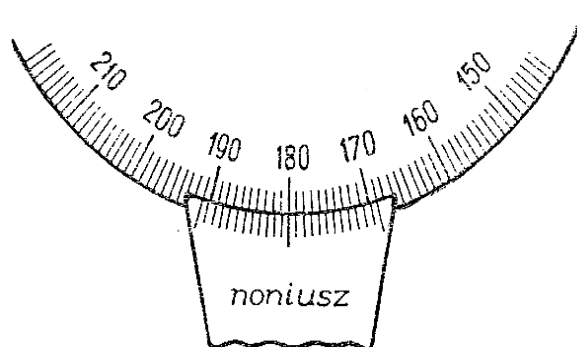


Rys. 1.

Wszystkie elementy lunety i kolimatora mocuje się na stałe nakrętkami od spodu ramion w specjalnych wycięciach.

W środkowej części przyrządu znajduje się obrotowa tarcza (12) z podziałką kątową. Na tarczy mocuje się na kołkach stolik (13), na którym ustawić można pryzmat (14) lub siatkę dyfrakcyjną (15). Na ramieniu nieruchomym umocowany jest wskaźnik (16), a na ramieniu ruchomym noniusz (17). Na tarczy umieszczona jest podziałka kąтова, której działka elementarna wynosi 1° .

¹ Porównaj z instrukcją *Spektroskop szkolny pryzmatyczny*.



Rys. 2

Rysunek 2 przedstawia widok wycinka tarczy i noniusza. Noniusz ten ma 24 działki, po 12 w lewo i w prawo od kreski środkowej. Dokładność odczytania kąta przy użyciu noniusza wynosi 5. Tarcza ma możliwość obrotu względem swej osi, niezależnie od ruchu ramienia ruchomego. Przy pokręcaniu tarczą wyczuwa się znaczny opór, który jest konieczny, by nie następowwała przypadkowa zmiana położenia tarczy podczas ruchu ramienia z lunetą.

Ramię ruchome i pręt podstawy połączone są zespołem blokady. Śruba (18) służy do unieruchomienia ramienia z lunetą. Po zaciśnięciu tej śruby przez pokręcanie pokrętką (19) powodujemy drobny ruch przesuwający ramię ruchome. Ruch ten służy do dokładnego ustawienia lunety np. na szczelinę kolimatora czy linię widma.

3. Przygotowanie spektrometru do ćwiczeń

a) Ustawienie lunety na nieskończoność

Lunetę tworzą: obiektyw (9), kolektyw (10) i ocznik (11). Należy uważać, by przy zestawianiu układu lunety nie zamienić poszczególnych elementów miejscami i stronami. Ustawienie rozpoczynamy od umieszczenia kolektywu mniej więcej w środku dalszego wycięcia (licząc od tarczy) w ramieniu ruchomym. Kolektyw wyróżnia się od innych elementów tym, że na jednej powierzchni ma wygrawerowaną „nić” celowniczą i jego średnica ograniczona jest przysłoną. Kolektyw ustawiamy tak, by kwadratowa przysłona znajdowała się bliżej tarczy. Przy końcu tego samego wycięcia ustawiamy ocznik. Jest nim soczewka o mniejszych wymiarach niż obiektywu lunety i kolimatora. Pierścień dociskowy ocznika powinien znajdować się za soczewką licząc od oka. Kierujemy ramię lunety na możliwie jasną powierzchnię (np. na ścianę).

Obserwując okiem przesuwamy ocznikiem tak długo, aż ujrzymy ostro obraz „nici” na kolektywie i w tej pozycji mocujemy nakrętkami ocznik i kolektyw.

Tak znalezionej położenie kolektywu i ocznika nie wolno już zmieniać dla danego oka. Teraz kierujemy ramię lunety na jakiś odległy przedmiot, np. antenę, piorunochron, komin, słup latarni, wieżę triangulacyjną. W przednie wycięcie wstawiamy obiektyw (obiektywu lunety i kolimatora są takie same) tak, by pierścień dociskowy znajdował się od strony tarczy. Obserwując przez okular (okular tworzą ocznik i kolektyw) obraz dalekiego przedmiotu przesuwamy obiektywem tak długo, aż otrzymamy ostry obraz tego przedmiotu w tej samej płaszczyźnie, w której znajduje się „nić” celownicza.

Sprawdzamy dokładność ustawienia obiektywu przesuwając oko w płaszczyźnie prostopadłej do osi lunety. Jeżeli nie daje się zauważyć zmiany położenia obrazu przedmiotu obserwowanego względem „nici”, luneta jest wyregulowana prawidłowo. Jeżeli natomiast można zauważyć zmianę położenia obrazu (zjawisko paralaksy), to nieznacznymi ruchami obiektywu należy ten objaw usunąć. Po usunięciu paralaksy mocujemy obiektyw nakrętką.

Po wyregulowaniu lunety dopuszczalna jest jedynie zmiana położenia ocznika, ale tylko wtedy, gdy obserwację będzie przeprowadzała inna osoba. Każdy obserwator może przesuwem ocznika ustawić sobie ostrość widzenia „nici” celowniczej.

b) Ustawienie kolimatora na nieskończoność

Po wyregulowaniu lunety na nieskończoność ustawiamy kolimator mocując jego przysłonę w otworze na ramieniu nieruchomym. Oświetlamy jej szczelinę lampą 6 V w osłonie lub palnikiem gazowym. W wycięcie wstawiamy obiektyw tak, by pierścień dociskowy był po stronie tarczy. Kierujemy lunetę na oś kolimatora i obserwujemy przez nią oświetloną szczelinę. Ruchem obiektywu kolimatora uzyskujemy ostrość obrazu szczeliny w płaszczyźnie „nici” lunety. Jeżeli przy ruchu oka w płaszczyźnie prostopadłej do lunety nie widzimy zjawiska paralaksy, kolimator jest ustawiony na nieskończoność. W przeciwnym razie likwidujemy paralaksę drobnymi przesunięciami obiektywu kolimatora i wtedy mocujemy go.

Ustawiamy szerokość szczeliny kolimatora poruszając dźwignią przysłony. Szerokość szczeliny powinna wynosić $0,5 \text{ mm} \div 1 \text{ mm}$.

c) Mocowanie pryzmatu i siatki dyfrakcyjnej

Na tarczy spektrometru ustawiamy stolik (13), na który stawia się pryzmat i dociska sprężyną zabezpieczając go w ten sposób przed spadnięciem. Siatkę dyfrakcyjną mocuje się wsuwając ją w rowek na stoliku i dociskając sprężyną. Siatkę należy zamocować tak, by strzałka namalowana na oprawce była skierowana do góry. Wtedy linie siatki są prostopadłe do stolika i widmo będzie ułożone poziomo.

Uwaga. Przy używaniu siatki wskaźnik powinien pokrywać się z działką 0° lub 180° na podziałce tarczy.

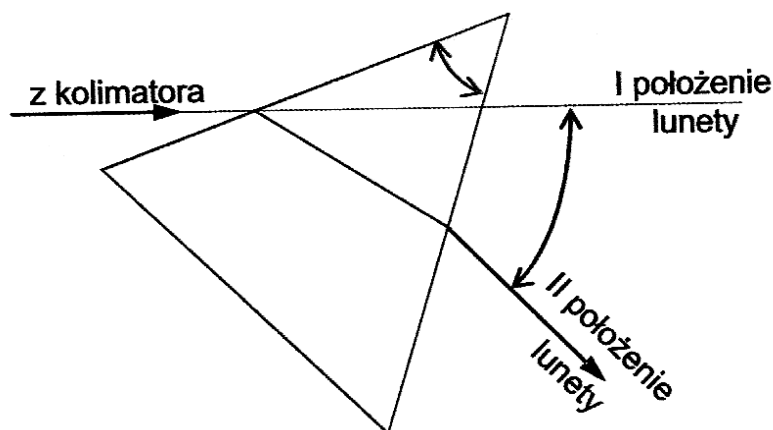
Mając ustawioną lunetę i kolimator na nieskończoność oraz ustawiony pryzmat lub siatkę dyfrakcyjną, zależnie od potrzeby, mamy przygotowany spektrometr do ćwiczeń.

4. Ćwiczenia

a) Załamanie światła

Ćwiczenie 1. Bieg promieni przez pryzmat załamujący.

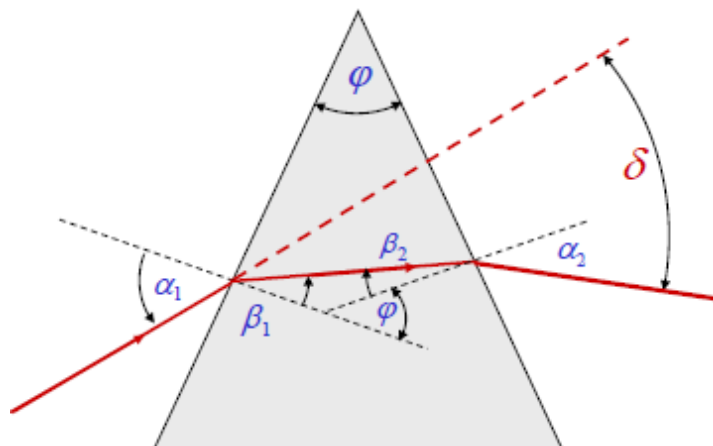
Szczelinę kolimatora oświetlamy palnikiem gazowym lub płomieniem świecy. Naprowadzamy lunetę na obraz szczeliny. Ustawiamy na stoliku pryzmat jak na rys. 3.



Rys. 3

Dla uniknięcia zjawiska rozszczepienia, w płomieniu gazu lub świecy umieszczamy odrobinę soli kuchennej (NaCl) na łyżeczce do spalań lub na zagiętym w małe oczko drucie stalowym dobrze uprzednio wyżarzone. Naprowadzamy lunetę na żółty obraz szczeliny. Obraz ten został przesunięty przez pryzmat w kierunku jego podstawy. Kąt między położeniem I i II lunety jest równy kątowi odchylenia promienia przez pryzmat.

Kąt odchylenia promienia przez pryzmat jest zmienny i zależy od kąta padania promienia na pierwszą powierzchnię pryzmatu. Istnieje minimalny kąt odchylenia dla danego pryzmatu. Położenie pryzmatu, przy którym kąt odchylenia jest minimalny, znajdujemy w następujący sposób. Po znalezieniu lunetą obrazu szczeliny po przejściu przez pryzmat obrotem całej tarczy wraz ze stolikiem zmieniamy o mały kąt położenie pryzmatu obserwując ruch obrazu szczeliny. Przy pokręcaniu tarczą obraz szczeliny przesuwa się zgodnie z kierunkiem obrotu. W pewnym momencie następuje zwrot kierunku przesuwania się szczeliny. Zmiana kierunku wyznacza położenie, przy którym kąt odchylenia δ promienia przez pryzmat – rys. 4, jest minimalny (δ_{\min}). Zwróćmy uwagę, że: $\beta_1 + \beta_2 = \varphi$, $\alpha_1 + \alpha_2 - \varphi = \delta$. δ_{\min} jest wtedy, gdy promienie biegną przez pryzmat symetrycznie: kąt padania na pierwszą powierzchnię załamującą równa się kątowi wyjścia promienia z drugiej powierzchni, czyli $\alpha_1 = \alpha_2$, $\beta_1 = \beta_2$.



Rys. 4

Pomiaru kąta minimalnego odchylenia dokonuje się robiąc pierwszy odczyt po znalezieniu położenia pryzmatu, przy którym kąt odchylenia jest minimalny. Drugi odczyt wykonujemy po zdjęciu pryzmatu i naprowadzeniu lunety na obraz szczeliny.

$\delta_{\min} = x_1 - x_2$, gdzie x_1 i x_2 – odczyty kątów przy wykorzystaniu noniusza, rys. 2.

Ćwiczenie 2. Pomiar współczynnika załamania światła

Współczynnik załamania dla danego materiału jest zależny od długości fali światła. Pomiaru współczynnika załamania światła szkła, z którego wykonany jest pryzmat dokonuje się w następujący sposób. Oświetlamy szczelinę kolimatora rurką Plücker'a z helem lub płomieniem sodowym. Ustawiamy pryzmat i dokonujemy pomiaru kąta δ_{\min} dla żółtego obrazu tak jak w ćwiczeniu 1. Współczynnik załamania wyliczamy ze wzoru:

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + \varphi}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$

w którym: n – współczynnik załamania, φ – kąt łamiący pryzmatu ($\varphi = 60^\circ$).

Pomiaru współczynnika załamania można dokonać dla fioletowej i czerwonej linii wodoru używając rurki Plücker'a i dla żółtej linii sodu przy użyciu płomienia sodowego. Mając te trzy współczynniki możemy obliczyć współczynnik dyspersji ze wzoru:

$$v = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

gdzie: n_D , n_F , i n_C – współczynniki załamania odpowiednio dla żółtej linii sodu, fioletowej i czerwonej linii wodoru.

Pomiar współczynnika dyspersji nadaje się jako ćwiczenie do wykonania na zajęciach kółka zainteresowań.

b) Rozszczepienie światła

Za pomocą spektrometru można demonstrować zjawisko rozszczepienia światła przez pryzmat i siatkę dyfrakcyjną. Poniżej opisane są ćwiczenia pozwalające zademonstrować widmo ciągłe, liniowe i absorpcyjne. Każde ćwiczenie można wykonać stosując pryzmat lub siatkę dyfrakcyjną. Pryzmat należy ustawiać na minimum odchylenia, a używając siatki dyfrakcyjnej szczelinę kolimatora trzeba oświetlać jasnym źródłem, np. lampą 6 V bez matówki. Przy korzystaniu z rurek Plücker'a należy używać szerszej szczeliny.

Ćwiczenie 3. Widmo ciągłe

Widmo ciągłe powstaje na skutek rozszczepienia światła emitowanego przez ciała stałe. Szczelinę kolimatora oświetlamy lampą 6 V w osłonie. Równoległa wiązka światła białego rozszczepia się w pryzmacie lub na siatce dyfrakcyjnej. Powstałe w ten sposób widmo oglądamy przez lunetę.

- Widmo ciągłe przy użyciu pryzmatu

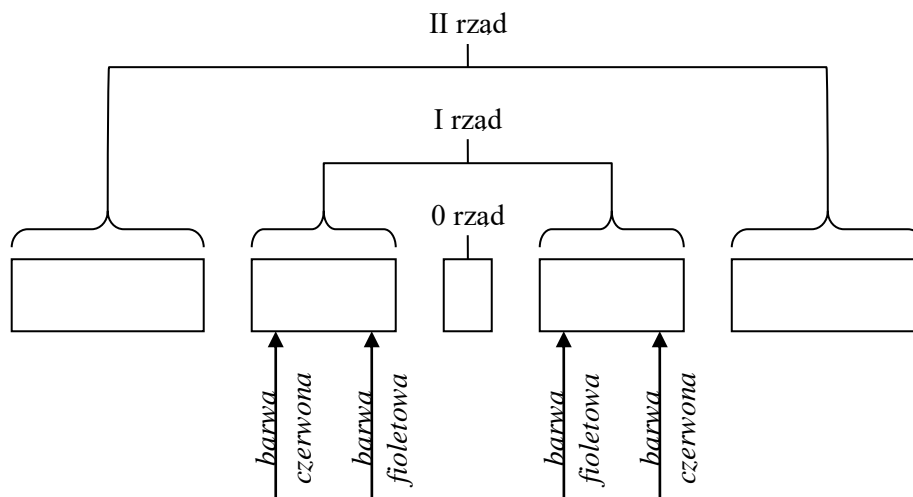
Widmo jest barwną wstęgą bez przerw – rys. 5, zawierającą barwy: czerwoną, pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską i fioletową. Przejścia między poszczególnymi barwami są bardzo łagodne – jedna barwa przechodzi stopniowo w drugą. Najbliżej podstawy pryzmatu znajduje się barwa fioletowa, najdalej czerwona. Ponieważ używany pryzmat ma znaczną dyspersję, to chcąc obejrzeć całe widmo musimy obracać lunetę, gdyż barwna wstęga nie mieści się w jej polu widzenia.

- Widmo ciągłe przy użyciu siatki dyfrakcyjnej

Siatkę ustawiamy tak, by jej powierzchnia była prostopadła do padającego światła. Warunek ten jest spełniony, gdy wskaźnik na ramieniu nieruchomym pokrywa się z 0^0 lub 180^0 (na podziałce tarczy). Uzyskane widmo rozmieszczone jest symetrycznie względem szczeliny kolimatora (rys. 6).



Rys. 5. Przybliżony obraz widma ciągłego w zakresie widzialnym dla oka.



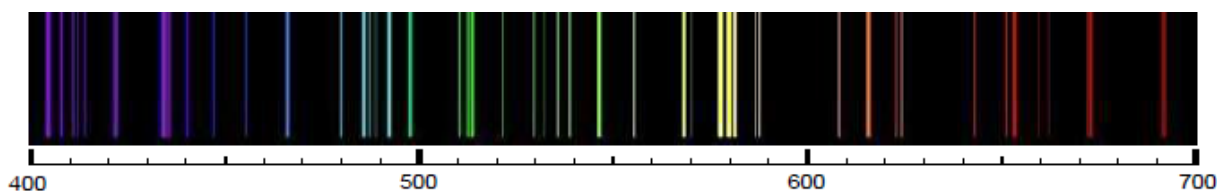
Rys. 6.

Liczba możliwych do zaobserwowania rzędów widma jest zależna od jakości siatki dyfrakcyjnej i intensywności siły oświetlenia szczeliny. Ćwiczenie to należy przeprowadzić w zaciemnionym pomieszczeniu.

Ćwiczenie 4. Widma liniowe par

W odróżnieniu od ciał stałych rozżarzone pary dają widmo nie ciągłe lecz liniowe. Widmo liniowe składa się z barwnych linii, zwanych liniami widmowymi. Układ linii widmowych jest charakterystyczny dla pierwiastków, które je dają i pozwala na przeprowadzanie analizy chemicznej jakościowej i ilościowej.

Obserwacja widma: używamy jako źródła odpowiedniej rurki spektralnej, ewentualnie szczelinę kolimatora oświetlamy palnikiem gazowym, w płomieniu którego umieszczamy kolejno różne sole. Chcąc zaobserwować widmo par rtęci używamy jako źródła odpowiedniej rurki Plücker'a. Uzyskane po przejściu przez element rozszczepiający widmo liniowe oglądamy przez lunetę. Składa się ono z szeregu barwnych linii na ciemnym tle. Każda z tych linii jest obrazem szczeliny kolimatora. Zjawisko należy oglądać w zaciemnionym pomieszczeniu.



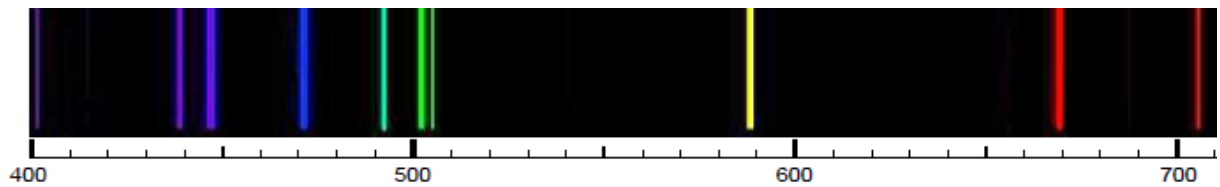
Rys. 7. Obraz widma rtęci.

Skala poniżej określa odpowiadające barwom widmowym długości fal w nm.

Ćwiczenie 5. Widma liniowe gazów

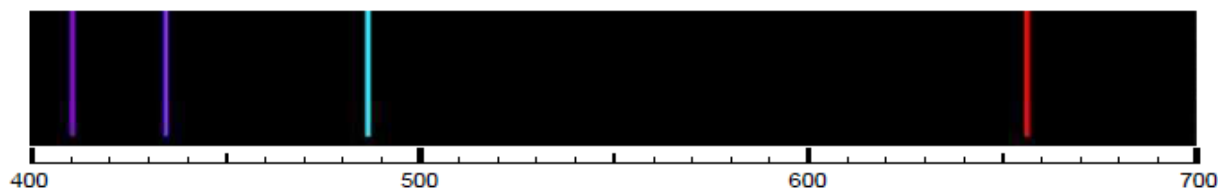
Gazy, podobnie jak pary metali, pobudzone do świecenia, wysyłają światło, które przy przejściu przez element rozszczepiający dają widmo liniowe. Rozkład i barwy tych linii są charakterystyczne dla każdego gazu. Niektóre gazy dają tak dużą liczbę linii, że tworzą się z nich barwne pasma. Widma takie noszą nazwę pasmowych.

Obserwacja widma: Szczelinę kolimatora oświetlamy kolejno rurkami Plücker'a z helem i wodorem. Oglądamy przez lunetę powstałe widmo i identyfikujemy obserwowane linie z ilustracjami w podręczniku. Zjawisko oglądać należy w zaciemnionym pomieszczeniu.



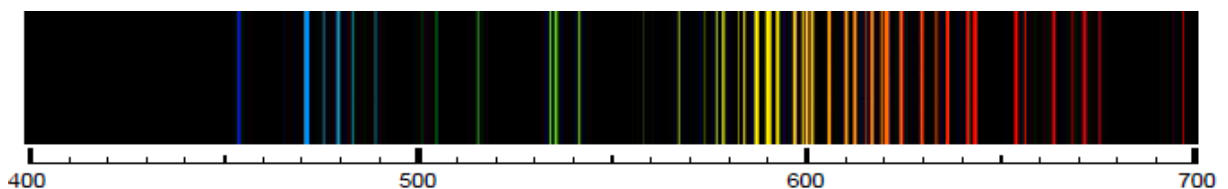
Rys. 8. Obraz widma helu.

Skala poniżej określa odpowiadające barwom widmowym długości fal w nm.



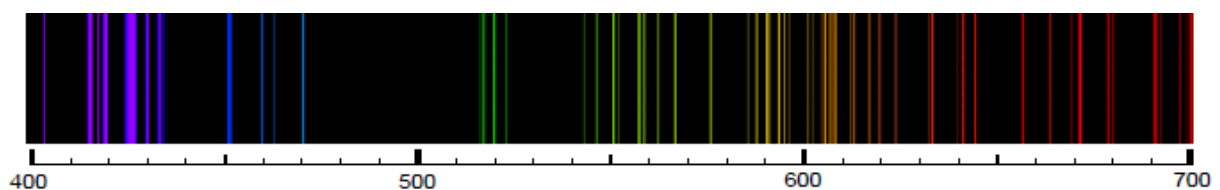
Rys. 9. Obraz widma wodoru.

Skala poniżej określa odpowiadające barwom widmowym długości fal w nm.



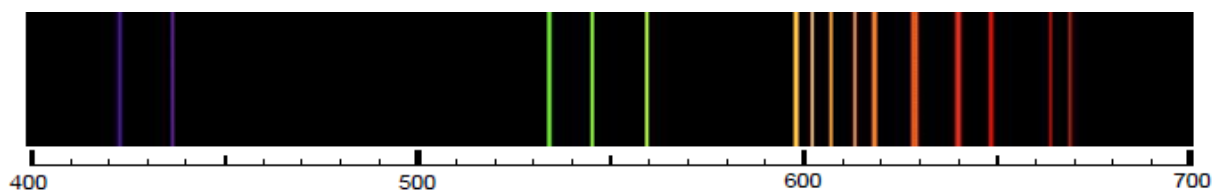
Rys. 10. Obraz widma neonu.

Skala poniżej określa odpowiadające barwom widmowym długości fal w nm.



Rys. 11. Obraz widma argonu.

Skala poniżej określa odpowiadające barwom widmowym długości fal w nm.



Rys. 12. Obraz widma tlenu.

Skala poniżej określa odpowiadające barwom widmowym długości fal w nm.

Ćwiczenie 6. Widma absorpcyjne

Niektóre ciała pochłaniają (absorbują) promieniowanie o takiej długości fali, jakie same wysyłają. Jeżeli ośrodek absorbujący umieścimy między źródłem światła białego a szczeliną kolimatora spektrometru, to otrzymamy widmo absorpcyjne, w którym w miejscach pochłoniętych przez ośrodek pewnym falom znajdują się ciemne smugi i prążki.

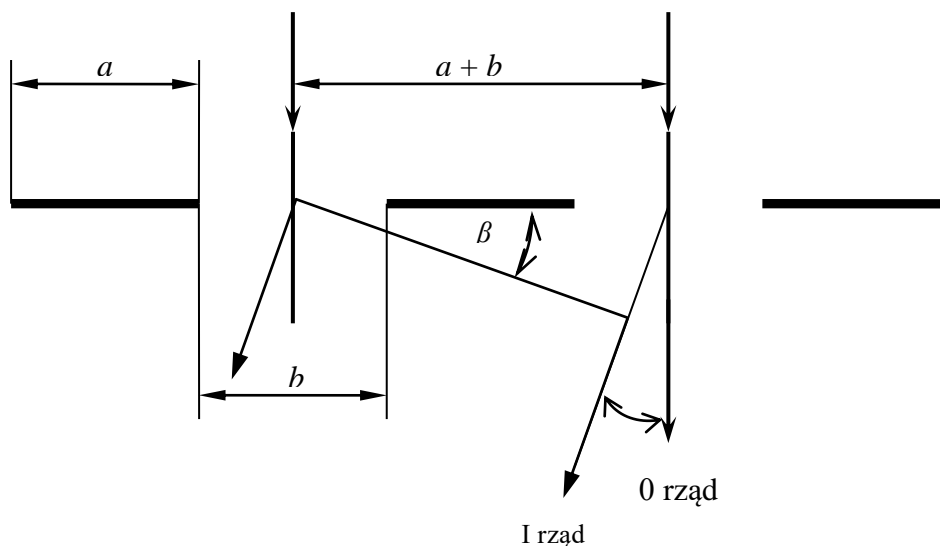
Obserwacja widma: Szczelinę oświetlamy lampą 6 V w osłonie. Między lampą a szczeliną ustawiamy kolorowe filtry szklane lub płaskie naczynie szklane napełnione słabym roztworem

nadmanganianu potasu (KMnO_4) dwuchromianu potasu ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) lub siarczanu miedzi (CuSO_4). Oglądamy powstałe widma absorpcyjne przez lunetę.

Przy dobrej pogodzie możemy obserwować widmo absorpcyjne słońca (z liniami Fraunhofera) oświetlając szczelinę skupionym przez soczewkę światłem słonecznym.

c) Pomiar długości fali światła przy użyciu siatki dyfrakcyjnej

Absorpcyjna siatka dyfrakcyjna jest zbiorem leżących na przemian linii czarnych i białych (rys.12).



Rys. 12.

Dla siatki będącej wyposażeniem spektrometru szerokości linii a i b są równe. Stała siatki – odległość $(a + b)$ wynosi 0,005 mm, ponieważ siatka zawiera 200 linii/mm.

Białe światło padające na siatkę dyfrakcyjną zostaje przez nią ugięte (na szczelinach), przy czym kąt ugięcia β jest zależny od długości fali światła. Zależność między stałą siatki, długością fali i kątem ugięcia światła ujmuje wzór:

$$\sin \beta = \frac{\lambda}{a + b}$$

gdzie: λ – długość fali, β – kąt ugięcia dla światła o długości fali λ , $a + b$ – stała siatki.

Ćwiczenie 7. Pomiar długości fali

Oświetlamy szczelinę kolimatora lampą 6 V w osłonie. Na stoliku mocujemy siatkę dyfrakcyjną tak, by padająca wiązka była prostopadła do powierzchni siatki. Wykonujemy dwa odczyty kątów przy położeniach lunety na pierwsze rzędy widma (prawe i lewe), nastawiając „nić” lunety na wybraną barwę widma np. zieloną. Różnica odczytów przy obu położeniach lunety jest podwójną wartością kąta ugięcia (2β). Kąt 2β mierzymy w celu zwiększenia dokładności pomiaru. Szukaną długość fali wyliczamy przekształcając wzór.

Celowe jest wykonanie pomiaru dla początku i końca widma (barwa czerwona i fioletowa).

Dokładniejszą wartość długości fali można uzyskać mierząc kąt 2β dla określonej linii widmowej widma liniowego uzyskanego przez oświetlenie szczeliny spektrometru rurką Plückerą.

Uwaga. W przypadku małej intensywności linii mierzyć należy w zaciemnionym pomieszczeniu. Szerokość szczeliny nie powinna być duża.

5. Konserwacja przyrządu

Powierzchni czynnych soczewek i pryzmatu, przez które przechodzą promienie, nie należy dotykać palcami. Jeżeli osiadzie na nich kurz zdmuchujemy go gruszką gumową. Trwalsze zabrudzenia można usunąć watą nasyoną mieszaną spirytusu z eterem (pół na pół) lub czystym spirytusem. Ze szczególną ostrożnością trzeba obchodzić się z siatką dyfrakcyjną. Nie należy wyjmować siatki z jej oprawki, ponieważ emulsja fotograficzna, na której są zarejestrowane linie siatki jest nieodporna na uszkodzenia mechaniczne. Płomienie z solami, zwłaszcza z chlorkami, należy ustawiać niezbyt blisko szczeliny kolimatora, aby nie uszkodzić jej chemicznie. Po skończonych doświadczeniach szczelinę należy przetrzeć miękką szczotką. Przed rozpoczęciem doświadczeń wskazane jest odkurzyć szczelinę miękkim pędzelkiem. Przechowywać spektrometr w suchym pomieszczeniu.

Opracowano w Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego
uzupełnił, red. *Tadeusz M. Molenda*.

Produkowano:

Producent: Fabryka Pomocy Naukowych w Warszawie.

Przyrząd został zatwierdzony przez Ministerstwo Oświaty do użytku w szkołach.

Źródło: ze zbiorów Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego