

Ćwiczenie nr 66

Analiza widmowa za pomocą spektroskopu

Spis treści

1	Wstęp teoretyczny	2
2	Opis doświadczenia	3
3	Opracowanie wyników pomiarów	3
3.1	Tabele pomiarowe	3
3.2	Wyznaczenie krzywej dyspersji	4
3.3	Określenie długości fal dla nieznanych pierwiastków	5
3.4	Identyfikacja pierwiastków	6
4	Ocena niepewności pomiaru	6
4.1	Niepewność położenia na skali	6
4.2	Niepewność współczynników wielomianu	7
4.3	Niepewność długości fali	7
5	Wnioski	7
6	Wykresy	9

1 Wstęp teoretyczny

Emisja światła

Emisja światła to proces emisji fotonów przez atomy. Zachodzi, gdy atomy przechodzą ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego, emitując energię w postaci światła. (Dryński, 1976)

Budowa atomu

Atom składa się z jądra atomowego, zawierającego protony i neutrony, oraz elektronów na określonych poziomach energetycznych. (Dryński, 1976)

Rodzaje widm

Widmo to obraz promieniowania rozłożonego na poszczególne długości fali. Główne rodzaje to:

- Widmo emisyjne: Powstaje, gdy świecący gaz emituje światło. Składa się z kolorowych linii na ciemnym tle.
- Widmo absorpcyjne: Powstaje, gdy światło przechodzi przez gaz, widoczne jest w postaci czarnych linii na ciągłym spektrum. (Ling et al., 2018)

Serie widmowe

Serie widmowe to uporządkowane grupy linii w widmie atomu, które odpowiadają przejściom elektronów z różnych wyższych poziomów energetycznych na ten sam, określony niższy poziom (lub odwrotnie). Przykładowo seria Balmera to grupa linii w widmie odpowiadających przejściom elektronów ze lub do stanu $n = 2$ atomu wodoru. Opisuje ją wzór Balmera. (Ling et al., 2018)

Budowa i zasada działania spektroskopu

Spektroskop to urządzenie do analizy widm świetlnych. Składa się z:

- Kolimatora (K): Tworzy z rozbieżnej wiązki światła wiązkę równoległą.
- Pryzmatu (P): Rozszczepia światło na skutek zjawiska dyspersji.
- Lunety (L): Umożliwia obserwację powstałego widma.

Rozszczepienie światła przez pryzmat (dyspersja)

Dyspersja to zjawisko zależności współczynnika załamania światła od jego częstotliwości (lub długości fali) w danym ośrodku. Prowadzi to do rozszczepienia światła białego na barwy składowe podczas przejścia np. przez pryzmat. (Dryński, 1976)

Analiza widmowa za pomocą spektroskopu

Substancję identyfikuje się poprzez porównanie jej unikalnego widma z widmami wzorcowymi.

2 Opis doświadczenia

Doświadczenie polegało na analizie widmowej kilku pierwiastków przy użyciu spektroskopu przyzmatycznego.

W pierwszej części ćwiczenia spektroskop został skalibrowany przy użyciu wzorcowego źródła światła – lampy helowej. Po uzyskaniu ostrych prążków widmowych, zarejestrowano położenia charakterystycznych linii helu na skali przyrządu, notując ich barwę oraz intensywność.

Następnie, bez zmiany ustawień spektroskopu, zmierzono widma emisyjne trzech nieznanymi pierwiastków, oznaczonych jako 1, 2 i 3. Dla każdego z nich zarejestrowano położenia obserwowanych linii widmowych na tej samej skali.

3 Opracowanie wyników pomiarów

3.1 Tabele pomiarowe

Nr	Położenie linii [u]	Barwa
1	2,0	Ciemny czerwony
2	2,7	Jasny czerwony
3	3,4	Jasny żółty
4	7,5	Jasny zielony
5	8,0	Ciemny miętowy (zielono-niebieski)
6	9,0	Jasny niebieski
7	10,5	Jasny fioletowy
8	11,2	Ciemny fioletowy

Tabela 1: Położenie linii w widmie helu (kolor światła: pomarańczowy).

Położenie linii [u]	Barwa
2,5	Żółty
3,6	Jasny zielony
5,6	Ciemny niebieski
9,0	Fioletowy

Tabela 2: Położenie linii widmowych pierwiastka nr 1 (kolor światła: jasno niebieski/miętowy).

Położenie linii [u]	Barwa
0,0	Ciemny czerwony
0,1	Jasny czerwony
0,7	Bardzo ciemny czerwony
1,0	Ciemny czerwony
1,5	Bardzo ciemny czerwony
1,7	Bardzo ciemny czerwono-pomarańczowy
2,0	Jasny pomarańczowy
2,8	Ciemny żółty
3,0	Ciemny zielony
3,4	Ciemny zielony
4,5	Jasny zielony
6,8	Bardzo jasny miętowy
8,0	Ciemny fioletowy
8,4	Ciemny fioletowy
9,4	Jasny fioletowy
10,3	Jasny fioletowy
10,6	Jasny fioletowy

Tabela 3: Położenie linii widmowych pierwiastka nr 2 (kolor światła: różowy).

Położenie linii [u]	Barwa
1,1	Jasny czerwony
1,8	Jasny pomarańczowy
2,4	Jasny żółty
3,8	Bardzo ciemny zielony
4,9	Bardzo ciemny zielony
6,8	Jasny fioletowy

Tabela 4: Położenie linii widmowych pierwiastka nr 3 (kolor światła: czerwony).

3.2 Wyznaczenie krzywej dyspersji

Na podstawie pomiarów z tabeli 1 i tabeli długości fal linii widmowych z instrukcji do ćwiczenia, dopasowano położenia linii do długości fal (tabela 5). Do punktów dopasowano wielomian drugiego stopnia za pomocą funkcji `np.polyfit`. Dla funkcji postaci $\lambda(u) = au^2 + bu + c$ otrzymano następujące współczynniki:

- $a = 2,404954$
- $b = -58,388917$
- $c = 797,218077$

Nr	Położenie linii [u]	Barwa	Długość fali [nm]
1	2,0	Ciemny czerwony	706,5
2	2,7	Jasny czerwony	667,8
3	3,4	Jasny żółty	587,6
4	7,5	Jasny zielony	501,6
5	8,0	Ciemny miętowy (zielono-niebieski)	492,2
6	9,0	Jasny niebieski	471,3
7	10,5	Jasny fioletowy	447,2
8	11,2	Ciemny fioletowy	438,8

Tabela 5: Przyporządkowane długości fali dla każdej linii w widmie helu.

3.3 Określenie długości fal dla nieznanymi pierwiastków

Na podstawie dopasowanej funkcji obliczono długości fal prążków dla nieznanymi pierwiastków. Wyniki, zaokrąglone zgodnie z analizą niepewności, zebrano w tabelach poniżej.

Położenie linii [u]	Długość fali [nm]
2,5	666
3,6	618
5,6	546
9,0	467

Tabela 6: Pierwiastek nr 1: obliczone długości fal.

Położenie linii [u]	Długość fali [nm]
0,0	797
0,1	791
0,7	758
1,0	741
1,5	715
1,7	705
2,0	690
2,8	653
3,0	644
3,4	627
4,5	583
6,8	511
8,0	484
8,4	476
9,4	461
10,3	451
10,6	449

Tabela 7: Pierwiastek nr 2: obliczone długości fal.

Położenie linii [u]	Długość fali [nm]
1,1	736
1,8	700
2,4	671
3,8	610
4,9	569
6,8	511

Tabela 8: Pierwiastek nr 3: obliczone długości fal.

3.4 Identyfikacja pierwiastków

Zgodność długości fal z wartościami tablicowymi była niska, stąd skorzystano głównie z analizy sekwencji kolorów i charakterystyki linii widm referencyjnych.

- **Pierwiastek nr 1: Rtęć (Hg)**

- Obserwowana linia **żółta** (666 nm) najprawdopodobniej odpowiada liniom 577,0 nm i 579,1 nm.
- Obserwowana **jasna linia zielona** (618 nm) odpowiada linii zielonej rtęci (546,1 nm).
- Obserwowana **ciemna linia niebieska** (546 nm) odpowiada średniej intensywności linii niebieskiej (435,8 nm).
- Obserwowana linia **fioletowa** (467 nm) odpowiada liniom fioletowym (404,7 nm i 407,8 nm).

- **Pierwiastek nr 2: Neon (Ne)** Cechą diagnostyczną widma tego pierwiastka jest duża liczba intensywnych linii w zakresie czerwonym i pomarańczowym na początku widma, co jest zgodne z obserwacjami.

- Zaobserwowane linie takie jak ”**Ciemny czerwony**”, ”**Jasny czerwony**” i ”**Jasny pomarańczowy**”, pasują do spektrum neonu w zakresie 614,3 nm, 640,2 nm, 659,9 nm, 724,5 nm.
- Obserwowana linia **żółta** odpowiada silnym liniom żółtym (585,2 nm i 594,5 nm).
- Pozostałe linie (zielone, fioletowe) również mają swoje odpowiedniki w widmie neonu.

- **Pierwiastek nr 3: Argon (Ar)**

- Obserwowane linie **czerwona** i **pomarańczowa/żółta** odpowiadają liniom argonu (czerwone: 696,5 nm i 641,6 nm; żółta: 591,2 nm).
- Obserwowane linie **zielone** odpowiadają liniom w zakresie 549,5 nm - 565,0 nm.
- Obserwowana linia **fioletowa** może odpowiadać silnej linii niebieskiej (470,2 nm) lub linii fioletowej (415,8 nm).

4 Ocena niepewności pomiaru

4.1 Niepewność położenia na skali

Niepewność standardową położenia na skali $u(u)$ obliczono na podstawie wzoru na niepewność standardową typu B. Zakładając, że przedział niepewności odczytu wynosi $\pm a = \pm 1$ podziałkę, otrzymano:

$$u(u) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,58 \text{ u}$$

4.2 Niepewność współczynników wielomianu

Niepewności standardowe współczynników dopasowanego wielomianu wyznaczono z macierzy kowariancji. Otrzymane wartości wynoszą:

- $a = 2,4, u(a) = 1,0$
- $b = -58, u(b) = 13$
- $c = 797, u(c) = 33$

4.3 Niepewność długości fali

Na podstawie wzoru na niepewność złożoną:

$$u_c^2(\lambda) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \lambda}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)$$

wyprowadzono wzór na niepewność długości fali λ :

$$u_c(\lambda) = \sqrt{(2au + b)^2 u^2(u) + u^4 u^2(a) + u^2 u^2(b) + u^2(c)}$$

Dla przykładowego pomiaru $u = 5,6$ [u] podstawiono wartości:

$$u_c(\lambda) = \sqrt{(2 \cdot 2,4 \cdot 5,6 - 58)^2 \cdot 0,58^2 + (5,6)^4 \cdot (1,0)^2 + (5,6)^2 \cdot 13^2 + 33^2}$$

$$u_c(\lambda) = \sqrt{(26,88 - 58)^2 \cdot 0,3364 + 983,5 \cdot 1 + 31,36 \cdot 169 + 1089}$$

$$u_c(\lambda) = \sqrt{(-31,12)^2 \cdot 0,3364 + 983,5 + 5300 + 1089}$$

$$u_c(\lambda) = \sqrt{968,4 \cdot 0,3364 + 7372,5}$$

$$u_c(\lambda) = \sqrt{325,8 + 7372,5}$$

$$u_c(\lambda) = \sqrt{7698,3} \approx 87,7 \text{ nm}$$

Po zaokrągleniu wyniku do jednej cyfry znaczącej otrzymano ostateczną niepewność pomiaru:

$$u_c(\lambda) \approx 90 \text{ nm}$$

gdzie:

- $u_c(\lambda)$: Niepewność złożona długości fali λ .
- u, a, b, c : Zmierzone położenie i dopasowane współczynniki wielomianu.
- $u(u), u(a), u(b), u(c)$: Niepewności standardowe odpowiednich wielkości.

5 Wnioski

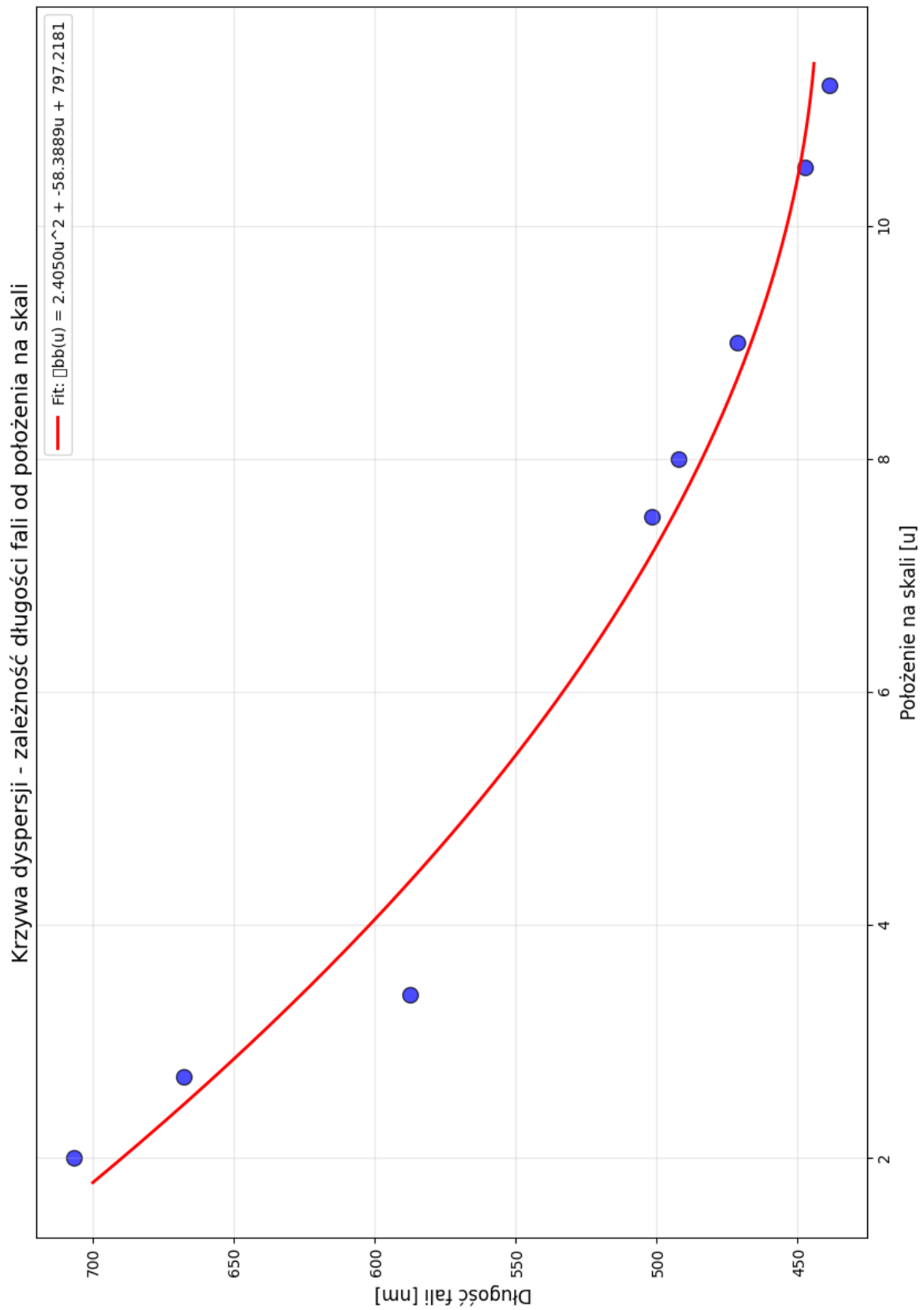
Na podstawie analizy sekwencji kolorów w obserwowanych widmach, zidentyfikowano następujące pierwiastki:

- Pierwiastek nr 1: **Rtęć (Hg)**
- Pierwiastek nr 2: **Neon (Ne)**
- Pierwiastek nr 3: **Argon (Ar)**

Obliczone długości fal wykazały znaczne rozbieżności z wartościami tablicowymi. Jedną z przyczyn może być dopasowanie do pomiarów wielomianu drugiego stopnia metodą najmniejszych kwadratów. Rzeczywista krzywa dyspersji może mieć inną charakterystykę. Na wykresie 1 widać niskie dopasowanie tej krzywej do punktów pomiarowych, widać również, że pomiar nr. 3 odstaje od pozostałych, co zaburza dopasowanie krzywej. Należało by rozważyć dopasowanie innej krzywej i odrzucenie wartości odstającej. Drugą, możliwą przyczyną rozbieżności jest przesunięcie skali, do którego mogło dojść po kalibracji. Dodatkowo trudność sprawiało odczytanie dokładnego położenia na skali, ponieważ była ona słabo widoczna, co mogło skutkować błędnymi odczytami.

Obliczona niepewność złożona długości fali jest duża, wynosi $u_c(\lambda) \approx 90$ nm, co jest równe niepewności względnej 16%.

6 Wykresy



Rysunek 1: Wykres krzywej dyspersji dla widma helu.

Literatura

Dryński, T. (1976). *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 5 edition.

Ling, S. J., Sanny, J., and Moebs, W. (2018). *Fizyka dla szkół wyższych, Tom 3*. OpenStax. Dostęp: 13.10.2025.