

Ćwiczenie nr 66

Analiza widmowa za pomocą spektroskopu

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. [1]

Budowa atomu

Atom składa się z jądra atomowego, zawierającego protony i neutrony, oraz elektronów na określonych poziomach energetycznych. [1]

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. [2]

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. [2]

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. [1]

Analiza widmowa za pomocą spektroskopu

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

2 Opracowanie wyników pomiarów

2.1 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).

2.2 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 w tabeli 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.

2.3 Określenie długości fal dla nieznanymi pierwiastków

Na podstawie dopasowanej funkcji obliczono długości fal prążków dla nieznanymi pierwiastków. Wyniki, zaokrąglone zgodnie z zasadami wynikającymi z obliczonej niepewności pomiarowej, zebrano w poniższych tabelach.

Nr	Położenie linii [u]	Barwa	Długość fali [nm]
1	2,5	Żółty	666
2	3,6	Jasny zielony	618
3	5,6	Ciemny niebieski	546
4	9,0	Fioletowy	467

Tabela 6: Pierwiastek nr 1: obliczone długości fal dla zmierzonych położań.

Nr	Położenie linii [u]	Barwa	Długość fali [nm]
1	0,0	Ciemny czerwony	797
2	0,1	Jasny czerwony	791
3	0,7	Bardzo ciemny czerwony	758
4	1,0	Ciemny czerwony	741
5	1,5	Bardzo ciemny czerwony	715
6	1,7	Bardzo ciemny czerwono-pomarańczowy	705
7	2,0	Jasny pomarańczowy	690
8	2,8	Ciemny żółty	653
9	3,0	Ciemny zielony	644
10	3,4	Ciemny zielony	627
11	4,5	Jasny zielony	583
12	6,8	Bardzo jasny miętowy	511
13	8,0	Ciemny fioletowy	484
14	8,4	Ciemny fioletowy	476
15	9,4	Jasny fioletowy	461
16	10,3	Jasny fioletowy	451
17	10,6	Jasny fioletowy	449

Tabela 7: Pierwiastek nr 2: obliczone długości fal dla zmierzonych położań.

Nr	Położenie linii [u]	Barwa	Długość fali [nm]
1	1,1	Jasny czerwony	736
2	1,8	Jasny pomarańczowy	700
3	2,4	Jasny żółty	671
4	3,8	Bardzo ciemny zielony	610
5	4,9	Bardzo ciemny zielony	569
6	6,8	Jasny fioletowy	511

Tabela 8: Pierwiastek nr 3: obliczone długości fal dla zmierzonych położań.

2.4 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).

3 Ocena niepewności pomiaru

3.1 Niepewność położenia na skali

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

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

3.2 Niepewność współczynników wielomianu

Niepewności standardowe współczynników dopasowanego wielomianu wyznaczono z macierzy kowariancji. Otrzymane wartości, zaokrąglone zgodnie z zasadami rachunku niepewności, wynoszą:

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

3.3 Niepewność długości fali

Na podstawie wzoru na niepewność złożoną (przy błędnym założeniu niezależności zmiennych):

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

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:

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

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

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

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

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

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

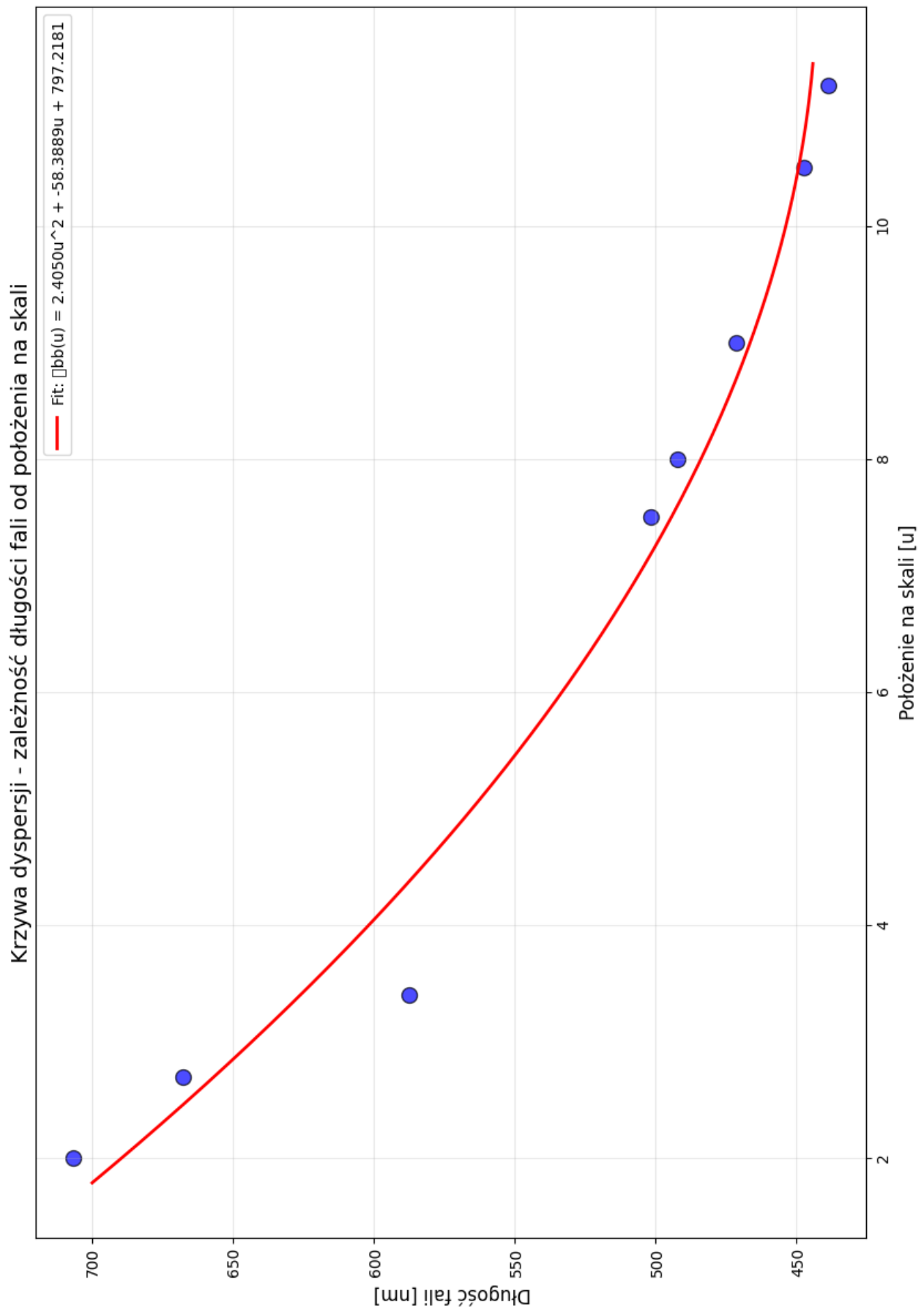
Po zaokrągleniu wyniku do jednej cyfry znaczącej otrzymujemy ostateczną niepewność pomiaru:

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

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.

4 Wykresy



Rysunek 1: Wykres krzywej dyspersji dla widma helu.

Literatura

- [1] Tadeusz Dryński. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 5 edition, 1976.
- [2] Samuel J. Ling, Jeff Sanny, and William Moebs. *Fizyka dla szkół wyższych, Tom 3*. OpenStax, 2018. Dostęp: 13.10.2025.