



Badanie widm spektralnych H₂, He, Ar

Study of spectral spectra of H₂, He, Ar

Magdalena Cieřlik

e-mail: m.cieslik@experyment.gdynia.pl

Centrum Nauki Experyment

Dział Wystaw i Edukacji

The article describes a method for identifying elements in spectral lamps using spectral databases and their application across various scientific fields, including astrophysics. A model was developed that utilizes critical and essential information about chemical elements (energy, spectral lines, spectrum). To achieve better results, photographs were also taken using a diffraction grating, showcasing different spectral lamps.

Key words: Spectrum, Spectroscopy, Spectral lamp

Wstę i cel pracy

Celem pracy jest szczególowa analiza widmowa wodoru, helu i argonu za pomocą lamp spektralnych i siatki dyfrakcyjnej. W ramach eksperymentu zostały uzyskane widma, które następnie zostały przeanalizowane pod kątem charakterystyki linii widmowych. Dodatkowo, celem pracy jest opracowanie modelu, który korzysta z uzyskanych widm oraz bazy danych, która zawiera informacje o liniach widmowych różnych pierwiastków. Model ten jest zdolny do identyfikacji pierwiastków na podstawie zaimplementowanych danych.

Widmo jest obrazem zarejestrowanego promieniowania, które jest rozłożone na poszczególne energie, częstotliwości albo długości fal. Powstaje w wyniku rozszczepiania światła na składowe za pomocą siatki dyfrakcyjnej lub pryzmatu. W kontekście astronomii, analiza widmowa, czyli spektroskopia jest niezbędnym narzędziem do badania właściwości gwiazd i innych obiektów astronomicznych.

Spektroskopia jest nauką o generowaniu i interpretacji widm. Powstała w wyniku rozwoju technik analitycznych. Obiektem są różne rodzaje promieniowania i każdy z nich charakteryzuje się specyficznymi cechami fizycznymi. Każdy pierwiastek ma unikalny zestaw linii widmowych, co pozwala na jego identyfikację i analizę jego właściwości. W przypadku wodoru, najprostszego atomu, widmo składa się z serii linii, które można opisać za pomocą równań fizycznych, na przykład równanie Rydberga lub energia stanów energetycznych. Później zostało ono rozszerzone do opisu niektórych serii widmowych innych pierwiastków w stanie gazowym. Równanie to pozwala na obliczenie długości fal w widmie liniowym wodoru (serie widmowe), które można zapisać za pomocą równania (Leksykon naukowo-techniczny, 1989, ss. 902-903):

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

gdzie: λ - długość fali, R_H - stała Rydberga, n_1 i $n_2 = 1, 2, 3, \dots$ - główne liczby kwantowe, które określają energię elektronów w atomie.

Liczby kwantowe spełniają warunek:

$$n_1 < n_2$$

gdzie: $n = 1, 2, 3, \dots$ - główna liczba kwantowa, która określa energię elektronów w atomie.

Energię poziomów energetycznych dla wodoru można zapisać za pomocą równania (Ling, Sanny, Moebis, 2018, s. 398):

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = -\frac{E_1}{n^2},$$

gdzie: m_e - masa elektronu, e - ładunek elektronu, który wynosi $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, ϵ_0 - przenikalność ośrodka, h - stała Plancka.

Przejścia elektronów doprowadzają do absorpcji lub emisji fotonu, co jest widoczne w postaci linii widmowych. W zależności od zakresu długości fali światła wyróżniamy następujące serie widmowe wodoru (Halliday, Resnick, Walker, 2003, ss. 51-53):

1. Seria Lymana – przejście elektronu ze stanu o głównej liczbie $n > 1$ kwantowej do stanu $n = 1$ (seria K).
2. Seria Balmera – przejście elektronu ze stanu o głównej liczbie $n > 2$ kwantowej do stanu $n = 2$ (seria L).
3. Seria Paschena – przejście elektronu ze stanu o głównej liczbie $n > 3$ kwantowej do stanu $n = 3$ (seria M).
4. Seria Bracketta – przejście elektronu ze stanu o głównej liczbie $n > 4$ kwantowej do stanu $n = 4$ (seria N).

Analiza serii widmowych pozwala na określanie struktur elektronowych atomów oraz procesów fizycznych, które zachodzą w gwiazdach. W dalszej części pracy zostanie przeprowadzona szczegółowa analiza widma wodoru, helu i argonu.

Lampy spektralne

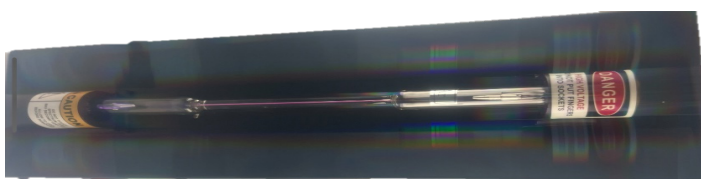
Do wykonania pomiarów zostały użyte lampy spektralne. Układ został przedstawiony na poniższym zdjęciu.



Rys. 1. Układ pomiarowy.

Układ składał się z zestawu zasilającego oraz rurek Plückerera z gazami pod niskim ciśnieniem (wodór, hel, argon). W momencie włączenia zasilania (wysokie napięcie) można badać widmo atomowe (cząsteczkowe) bez używania dodatkowych urządzeń zasilających. Do wykonywania pomiarów została użyta siatka dyfrakcyjna, ponieważ składa się z równoległych i jednakowo rozmieszczonych szczelin. Pozwala to na uzyskanie składowych fali.

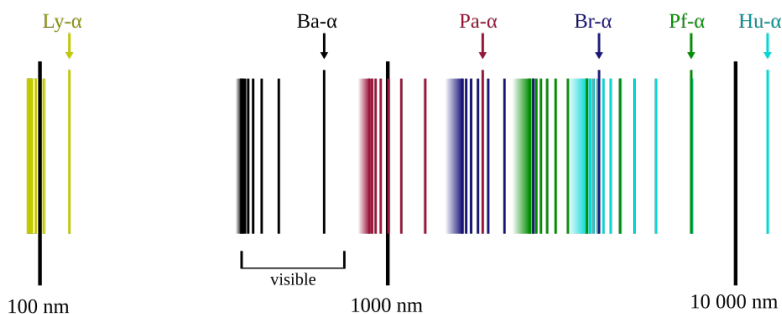
Po podłączeniu lampy (H_2) wykonano zdjęcie aparatem, na którym znajdowała się folia z siatką. Uzyskano następujący efekt.



Rys. 2. Lampa wodorowa

Warto zauważyć, że w lampach typu jarzeniówki gaz pobudzany jest za pomocą wyładowania elektrycznego. Rysunek 2. przedstawia widzialną część widma atomu wodoru. Zauważalne są tylko fale o długości około 500 nm oraz 650 nm (Kąkol, Żurkowski, b.d.). Powodem może być ograniczenie aparatu i detektora folią polaryzacyjną lub warunki, w jakich doświadczenie było przeprowadzane.

Całkowita część linii widmowych atomu wodoru została przedstawiona na rysunku poniżej.



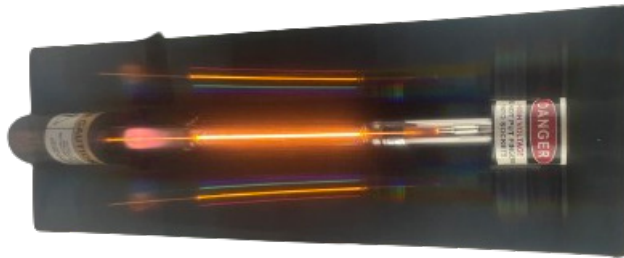
Rys. 3. Widmo liniowe atomu wodoru

Źródło: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen_spectrum.svg

Linie widmowe powstają na skutek przejść elektronowych pomiędzy różnymi poziomami energetycznymi w każdym pierwiastku. Rysunek 3 opisuje spektrum od ultrafioletu przez światło widzialne aż po podczerwień dla atomu wodoru. Długości fal są doskonałym przykładem ilustrującym różnorodność linii widmowych wodoru oraz ich znaczenie w różnych zakresach spektrum elektromagnetycznego.

Wodór to najlżejszy i najczęściej występujący pierwiastek we Wszechświecie. W skutek wzbudzenia tego gazu (np. w lampie) energia z zewnętrznego źródła jest dostarczana do atomu wodoru. Pod wpływem tej energii elektrony zostają wzbudzone do wyższych stanów energetycznych. Nie pozostają one długo w tym stanie, ponieważ wracają do początkowego położenia. Podczas „powrotu” emitowany jest foton. Najbardziej znaczącą serią przejść elektronowych jest seria Balmera.

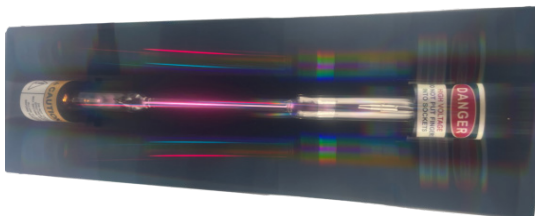
Następnie do układu pomiarowego została podłączona lampa helowa. Efekt można zaobserwować na poniższym rysunku.



Rys. 4. Lampa helowa

Hel jest pierwiastkiem chemicznym o liczbie atomowej 2. Zaraz po wodorze jest najczęściej rozpowszechnionym pierwiastkiem we Wszechświecie. Natomiast na Ziemi występuje w nieznaczących ilościach. Hel świeci się na żółto-pomarańczowy kolor, co można zauważyć na Rys. 4. Atomy helu po wzbudzeniu emitują charakterystyczne linie widmowe o specyficznym zabarwieniu.

Ostatnią rozpatrywaną w tej pracy lampą spektralną jest Argon, należący do gazów szlachetnych. Wykorzystywany jest do produkcji żarówek, szyb, dysków twardych w komputerach oraz w silnikach plazmowych o zmiennym impulsie.



Rys. 5. Lampa argonowa

Argon emituje światło o różowo-niebieskiej barwie. Dzięki siatce dyfrakcyjnej zostały wyszczególnione fale o największych energiach.

Baza danych i program

Na podstawie informacji umieszczonych na stronie NIST Atomic Spectra Database (ASD) powstała baza danych z najważniejszymi wartościami o liniach emisyjnych dla różnych pierwiastków, takich jak długość fal emitowanego światła oraz odpowiadające im energie fotonów. Baza ta jest kluczowym narzędziem, które pozwala określić obecność różnych pierwiastków na podstawie ich charakterystycznych linii widmowych. Poniżej znajduje się część bazy danych.

Pierwiaste	Długość_fa	Energia_eV	Intensywn	Linia_spektralna
H,	656.28,	1.89,	1000	H α
H,	486.13,	2.55,	600	H β
H,	434.05,	2.86,	400	H γ
H,	410.17,	3.03,	300	H δ
He,	587.56,	2.11,	850	He_I
He,	501.57,	2.47,	720	He_I
He,	447.15,	2.77,	950	He_I
He,	388.86,	3.19,	500	He_I

Rys. 6. Baza danych

Źródło: opracowanie własne na podstawie NIST Atomic Spectra Database

Kolejno w kolumnach od lewej znajdują się informacje o: pierwiastku, długości fali, energii, intensywności oraz linii spektralnej.

Na tej podstawie w programie Google Colabs z wykorzystaniem języka Python 3.9. powstał program do odczytu konkretnych pierwiastków.

```
def remove_null_bytes(src_file, dest_file):
    with open(src_file, 'rb') as fsrc:
        data = fsrc.read().replace(b'\x00', b'')
    with open(dest_file, 'wb') as fdest:
        fdest.write(data)

import cv2
import numpy as np
from scipy.signal import find_peaks
import csv

def load_image(filepath):
    image = cv2.imread(filepath, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
    if image is None:
        raise FileNotFoundError("Nie można wczytać obrazu.")
    return image

def detect_spectral_lines(image):
    intensity_profile = np.sum(image, axis=0)

    peaks, _ = find_peaks(intensity_profile, height=50)
    return peaks

def load_spectral_database(filepath):
    spectral_database = {}
    with open(filepath, newline='', encoding='utf-8') as csvfile:
        reader = csv.DictReader(csvfile)
        for row in reader:
            element = row['Element']
            wavelength = float(row['Wavelength'].replace(',', '.'))
            if element in spectral_database:
                spectral_database[element].append(wavelength)
            else:
```

```
spectral_database[element] = [wavelength]
return spectral_database

def identify_element(detected_lines, spectral_database, tolerance=5):
    for element, lines in spectral_database.items():
        matched_lines = 0
        for line in lines:
            if any(abs(detected_line - line) <= tolerance for detected_line in detected_lines):
                matched_lines += 1
        if matched_lines / len(lines) > 0.5:
            return element
    return "Nieznany pierwiastek"

def main(image_path, database_path):
    try:
        image = load_image(image_path)
        detected_lines = detect_spectral_lines(image)
        spectral_database = load_spectral_database(database_path)
        element = identify_element(detected_lines, spectral_database)
        print(f'Zidentyfikowany pierwiastek: {element}')
    except Exception as e:
        print(f'Wystąpił błąd: {e}')

if __name__ == "__main__":
    main("zdj1.jpg", "baza_danych_clean.ods")
```

Zasada działania powyższego kodu:

1. Wczytywanie i analiza zdjęcia lamp spektralnych.
2. Konwersja z pozycji pikseli na długości fal.
3. Porównanie wyników z bazą danych.

Wyniki

Po dodaniu do programu zdjęć z lampami spektralnymi uzyskano następujące informacje: „H”, „He” oraz „Ar”. Oznacza to prawidłowość działania modelu do rozpoznawania pierwiastków. Pozwala to na identyfikację składu chemicznego gwiazd. Najważniejsza jest poprawność i precyzja wykonywanych pomiarów. Dzięki takim modelom można lepiej zrozumieć procesy zachodzące we Wszechświecie, takie jak powstawanie gwiazd, ewolucja atmosfer gwiazdowych oraz chemiczne wzbogacanie przestrzeni międzygwiazdowej.

Bibliografia

- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2003). Podstawy fizyki. Tom 5. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kąkol, Z., Żukrowski, J. (b.d.). e-Fizyka. Pobrane z: <https://home.agh.edu.pl/~kakol/efizyka/w33/main33b.html>.
- Leksykon naukowo-techniczny. (1989). Tom P-Ż. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- Ling, S. J., Sanny, J., Moebs, W. (2018). Fizyka dla szkół wyższych. Tom 3. Warszawa: OpenStax Polska.
- O.D. (2009). Widmo liniowe atomu wodoru. Pobrane z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen_spectrum.svg.