



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



## Podręcznik metodyczny dla nauczycieli

# Fizyka atomowa i jądrowa



---

# 1 Wstęp

---

Podręcznik, który Państwu przedstawiamy, zawiera propozycje ćwiczeń, jakie można wykonać przy użyciu e-doświadczenia "Fizyka jądrowa i atomowa". Tworząc podręcznik staraliśmy się tak dobrać ćwiczenia, aby jak najpełniej pokazywały możliwości narzędzia. Listę ćwiczeń należy uważać zatem za otwartą i można rozszerzać ją wedle potrzeb, być może zgodnie z sugestiami samych uczniów.

Niniejsze e-doświadczenie poświęcone zostało zagadnieniom związanym z fizyką atomową (widma emisyjne gazów) oraz jądrową (promieniotwórczość). Za jego pomocą będziemy mogli badać widma emisyjne wodoru oraz helu, oznaczać radioaktywność różnych substancji, czas połowicznego rozpadu, a także datować przedmioty.

**Poziom trudności** Zadania oznaczone gwiazdką (\*) są bardziej zaawansowane od pozostałych i mogą wymagać od Ciebie dodatkowej wiedzy lub pomocy nauczyciela.

---

## 2 Badanie widm

---

Celem poniższych ćwiczeń doświadczalnych będzie poznanie podstaw dotyczących badania widm promieniowania niezerównoważonego gazów.

### Ćwiczenie 1 Wyznaczanie stałej siatki dyfrakcyjnej

---

**Cel ćwiczenia:** Stała siatki będąca wielkością charakteryzującą siatkę jest zwykle podawana przez producenta w postaci nadruku na samym elemencie. Tak też jest w przypadku siatki z bieżącego ćwiczenia. Niemniej jednak uczeń będzie mógł się przekonać bezpośrednio, że wartość stałej siatki jest w istocie równa wielkości deklarowanej. W podręczniku proponujemy wykonanie ćwiczenia dla lampy helowej, a w ćwiczeniu 2 użycie lampy wodorowej. Naturalnie, można zaproponować uczniom inną kolejność lub wykonanie obu ćwiczeń dla obu lamp.

**Montaż stanowiska**

- ✓ Z zakładki nr 1: 'Badanie widm gazów' w 'Narzędziach' wybierz spektroskop optyczny, lampę helową, oprawę lampy spektralnej oraz siatkę dyfrakcyjną.
- ✓ Umieść lampę w oprawie oraz siatkę w uchwycie w centrum spektroskopu.
- ✓ Zmontowanemu zestawowi możesz się dokładniej przyjrzeć, używając opcji 'Pokaż stanowisko'. Z animacji możesz wyjść wciskając przycisk 'Wyjdź'.

**Uwaga!**

Do poprawnego wykonania ćwiczenia potrzebna jest znajomość długości fal odpowiadających prążkom w serii widzialnej helu. Przedstawiamy poniżej wartości długości dla poszczególnych kolorów prążków (w nawiasach podajemy skróty nazw kolorów, których będziemy używać poniżej):

- 706,5 nm – ciemnoczerwona (słabo widoczna; ccz),
- 667,8 nm – czerwona (cz),
- 587,7 nm – żółta (zt),
- 501,6 nm – zielona (z1),
- 492,2 nm – zielona (słabo widoczna) (z2),
- 471,3 nm – niebiesko-zielona (średnio widoczna; nz),
- 447,2 nm – niebieska (n).

**Pomiary**

- ✓ Włącz zasilacz lampy. Rozwiń panel boczny przyciskiem 'Pokaż panel', dzięki czemu uzyskasz widok pola widzenia lunety. W polu widzenia lunety, w jego środku, powinieneś zobaczyć jasny prążek – jest to prążek rzędu zerowego.
- ✓ Obracaj lunetę w lewą stronę (używając ramienia lunety bądź bardziej precyzyjnie – strzałek pod widokiem lunety) aż do momentu, gdy w polu widzenia zobaczysz prążek niebieski (n). Ustaw lunetę, tak aby ów prążek znalazł się w miarę możliwości dokładnie w centrum pola widzenia. Odczytaj jego położenie kątowe  $\alpha_L(n)$  na skali i je zanotuj.

**Uwaga!**

Dzięki podziałce kątovej z noniusem, można odczytać wartość kąta z dużą dokładnością. Noniusz składa się z dwóch skal: ruchomej i nieruchomej. Aby dokonać odczytu należy sprawdzić, które z linii obu skal się pokrywają – podobnie, jak w suwmiarce. Jeżeli napotkasz problemy z użyciem noniusza, skonsultuj się z nauczycielem.

**Obliczenia**

- ✓ Postępuj analogicznie z prążkami innych kolorów, wymienionych w tabeli powyżej. Dostaniesz w ten sposób listę kątów:  $\alpha_L(n)$ ,  $\alpha_L(nz)$ ,  $\alpha_L(z2)$ ,  $\alpha_L(z1)$ ,  $\alpha_L(zt)$ ,  $\alpha_L(cz)$ ,  $\alpha_L(ccz)$ .
- ✓ Ustaw lunetę ponownie w położeniu centralnym.
- ✓ Przeprowadź pomiary położenia kątowych prążków, przesuując lunetę w prawo. Otrzymasz w ten sposób listę:  $\alpha_P(n)$ ,  $\alpha_P(nz)$ ,  $\alpha_P(z2)$ ,  $\alpha_P(z1)$ ,  $\alpha_P(zt)$ ,  $\alpha_P(cz)$ ,  $\alpha_P(ccz)$ .
- ✓ Dla każdego prążka możesz wyznaczyć jego średnie położenie z formuły:  $\phi = 1/2(\alpha_L + \alpha_P)$  i w konsekwencji odpowiadającą takiej

wartości stałą siatki dyfrakcyjnej ze wzoru:

$$a = \frac{\lambda}{\sin \phi}, \quad (2.1)$$

gdzie  $\lambda$  to długość fali odpowiadająca kolorowi danego prążka.

✓ Postępując zgodnie z przepisem przedstawionym powyżej, dostaniesz w efekcie końcowym listę różnych (lecz zbliżonych) oszacowań wartości stałej siatki. Aby dostać ostateczne oszacowanie  $a$ , musisz obliczyć średnią arytmetyczną z wielkości, które uzyskałeś, tzn.

$$a = \frac{1}{n} \sum_i a_i, \quad (2.2)$$

gdzie  $a(i)$  oznacza wartość stałej dla  $i$ -tego prążka, np. dla prążka zielonego  $i = z$ , natomiast  $n$  to liczba prążków, dla których posiadasz oszacowania stałej.

**Zastanów się!**

✓ Porównaj uzyskaną wartość z wartością rzeczywistą.  
✓ Czy możesz zwiększyć dokładność swojego oszacowania  $a$ ? Jeśli uważasz że tak, zaproponuj odpowiedni sposób. Czy do pomiarów można użyć kolejnych prążków, tzn. drugiego (trzeciego,...) prążka niebieskiego itd.? Czy równanie (2.2) jest zawsze prawdziwe?

## Ćwiczenie 2 Wyznaczanie długości fali świetlnej

---

**Cel ćwiczenia:** Bieżące ćwiczenie skupia się na pomiarach długości fali na podstawie położenia kąтового prążków. Jest w pewnym sensie ćwiczeniem odwrotnym do ćwiczenia poprzedzającego. Do wykonania ćwiczenia konieczna jest znajomość stałej siatki dyfrakcyjnej. Można zatem zaproponować uczniowi wykonanie ćwiczenia 1 w celu poznania tej wielkości. W przypadku ograniczonego czasu, można odczytać wartość stałej siatki z tablic. Patrz także uwagi do ćwiczenia 1.

Zanim przystąpisz do wykonania ćwiczenia zwróć uwagę, że do jego wykonania potrzebujesz wartości stałej siatki dyfrakcyjnej. Możesz ją wyznaczyć samodzielnie wykonując ćwiczenie poprzednie.

**Montaż stanowiska** ✓ Z zakładki nr 1: 'Badanie widm gazów' w 'Narzędziach' wybierz spektroskop optyczny, lampę wodorową, oprawę lampy spektralnej oraz siatkę dyfrakcyjną.  
✓ Umieść lampę w oprawie oraz siatkę w uchwycie w centrum spektroskopu.  
✓ Zmontowanemu zestawowi możesz się dokładniej przyjrzeć, używając opcji 'Pokaż stanowisko'. Z animacji możesz wyjść wciskając przycisk 'Wyjdź'.

## Uwaga!

W widmie widzialnym wodoru występują tylko cztery długości fali<sup>a</sup>, odpowiadające następującym kolorom: czerwony (cz), cyjan (odcien niebieskiego); c), niebieski (n) i fioletowy (f). W ćwiczeniu twoim zadaniem jest wyznaczenie tych długości, ich tablicowe wartości to odpowiednio: 410,2 nm, 434,1 nm, 486,1 nm, and 656,3 nm

<sup>a</sup>Jest to tzw. seria Balmera (patrz ramka w następnym ćwiczeniu).

## Pomiary

- ✓ Włącz zasilacz lampy. Po rozwinięciu panelu bocznego, z boku ekranu, w polu widzenia lunety, w jego środku, powinieneś zobaczyć jasny prążek – jest to prążek rzędu zerowego.
- ✓ Obracaj lunetę w lewa stronę aż do momentu, gdy w polu widzenia zobaczysz prążek fioletowy (f). Ustaw lunetę, tak aby ów prążek znalazł się w miarę możliwości dokładnie w centrum pola widzenia. Odczytaj jego położenie kątowe  $\alpha_L^{(1)}(f)$  na skali noniusza i je zanotuj.
- ✓ Obracaj dalej lunetę, aż natrafisz na prążek tego samego koloru. Odczytaj jego położenie kątowe  $\alpha_L^{(2)}(f)$  na skali i je zanotuj.
- ✓ Postępuj tak aż do momentu, gdy dalszy obrót lunety nie będzie możliwy.
- ✓ Postępuj analogicznie z prążkami innych kolorów wymienionych w tabeli powyżej. Dostaniesz w ten sposób listę kątów:  $\alpha_L^{(i)}(f)$ ,  $\alpha_L^{(i)}(n)$ ,  $\alpha_L^{(i)}(c)$ ,  $\alpha_L^{(i)}(cz)$ , dla każdego  $i$ , które oznacza kolejny numer prążka danego koloru. Numer prążka nazywany jest rzędem widma.
- ✓ Ustaw lunetę ponownie w położeniu centralnym.
- ✓ Przeprowadź pomiary położenia kątowych prążków przesuwając lunetę w prawo. Otrzymasz w ten sposób listę:  $\alpha_P^{(i)}(f)$ ,  $\alpha_P^{(i)}(n)$ ,  $\alpha_P^{(i)}(c)$ ,  $\alpha_P^{(i)}(cz)$ , gdzie znaczenie indeksu  $i$  jest takie same jak powyżej.

## Obliczenia

- ✓ Dla każdego prążka, dla każdego rzędu widma możesz wyznaczyć jego średnie położenie z formuły:  $\phi^{(i)} = 1/2(\alpha_L^{(i)} + \alpha_P^{(i)})$  i w konsekwencji odpowiadające danemu rzędowi oszacowanie długość fali  $\lambda^{(i)}$  zgodnie ze wzorem:

$$\lambda^{(i)} = \frac{a}{i \sin \phi^{(i)}}, \quad (2.3)$$

gdzie  $a$  to stała siatki dyfrakcyjnej.

- ✓ Postępując zgodnie z przepisem przedstawionym powyżej, dostaniesz w efekcie końcowym listę różnych (lecz zbliżonych) oszacowań wartości długości fali. Aby dostać ostateczne oszacowanie  $\lambda$  dla danego koloru, musisz obliczyć średnią arytmetyczną z wielkości, które uzyskałeś, tzn.

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_i \lambda^{(i)}, \quad (2.4)$$

gdzie  $n$  to liczba zmierzonych prążków danego koloru (innymi słowy

maksymalny rząd widma jaki dla danego prążka został zmierzony).

✓ Porównaj uzyskaną wartość z wartościami rzeczywistymi, które umieszczone są ramce na początku ćwiczenia. Jakie wnioski możesz wysnuć?

Zastanów się!

✓ Czy możesz zwiększyć dokładność swojego oszacowania  $\lambda$ ? Jeśli uważasz że tak, zaproponuj odpowiedni sposób.

## Ćwiczenie 3\* Wyznaczanie stałej Rydberga<sup>1</sup>

---

**Cel ćwiczenia:** Tematyka bieżącego ćwiczenia wykracza poza program szkolny. Wykonanie można zaproponować uczniom zainteresowanym. Konieczne jest jednak uprzednie wykonanie ćwiczenia 2.

---

<sup>1</sup>Johannes Robert Rydberg (1854–1919) — fizyk szwedzki, znany głównie z formuły (2.5).

## Wzór Rydberga

Pierwiastki w fazie gazowej są źródłem promieniowania, które składa się z fal o pewnych określonych (typem pierwiastka) długościach. W przypadku atomów wodoropodobnych, tj. atomów jednoelektronowych o liczbie atomowej  $Z \geq 1$  (dla wodoru  $Z = 1$ ), długości te,  $\lambda_{mn}$ , można wyznaczyć z dobrym przybliżeniem z tzw. wzoru Rydberga (uogólnionego wzoru Balmera<sup>a</sup>):

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = Z^2 R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (2.5)$$

gdzie  $R$  to stała Rydberga,  $Z$  – liczba atomowa,  $n, m$  – liczny naturalne odpowiadające numerowi orbity elektronowej zgodnie z modelem Bohra<sup>b</sup>,  $m = n + 1, n + 2, \dots$ .

W bieżącym ćwiczeniu będziemy używać tego wzoru w przekształconej postaci dla  $Z = 1$  (lambda wodorowa):

$$R = \frac{n^2 m^2}{(m^2 - n^2) \lambda}. \quad (2.6)$$

Przyjmując  $n = 2$ , co odpowiada tzw. serii Balmera, otrzymujemy:

$$R = 4 \frac{m^2}{(m^2 - 4) \lambda}. \quad (2.7)$$

Przejściu  $3 \rightarrow 2$ , tj.  $m = 3$ , odpowiada kolor czerwony,  $4 \rightarrow 2$  ( $m = 4$ ) – cyjan,  $5 \rightarrow 2$  ( $m = 5$ ) – niebieski,  $6 \rightarrow 2$  ( $m = 6$ ) – fioletowy (por. ramka w poprzednim ćwiczeniu).

<sup>a</sup>Johann Jakob Balmer (1825–1898) – fizyk szwajcarski, którego nazwisko kojarzone jest głównie z badaniami w dziedzinie fizyki atomowej.

<sup>b</sup>Niels Henrik David Bohr (1885–1962) – fizyk duński, laureat nagrody Nobla w 1922 za 'badania nad strukturą atomów i promieniowania wysyłanego przez nie'; słynny jest jego spór z A. Einsteinem dotyczący podstaw mechaniki kwantowej.

- ✓ Wykonaj ćwiczenie 2, aby ustalić długości fali odpowiadające przejściom serii Balmera.
- ✓ Wstaw uzyskane oszacowania długości fali do równania (2.7), przyjmując odpowiednią wartość  $m$ . I tak na przykład: niech  $\lambda_f$  będzie oszacowaniem długości fali odpowiadającej prążkowi fioletowemu, dla niego, zgodnie z ramką powyżej,  $m = 6$ , zatem otrzymujemy oszacowanie stałej Rydberga na podstawie uzyskanych pomiarów w postaci:

$$R_f = \frac{9}{2\lambda_f}. \quad (2.8)$$

- ✓ Ostateczne oszacowanie stałej Rydberga przyjmujemy w postaci średniej arytmetycznej z wartości uzyskanych dla różnych długości



fali, tj.:

$$R = \frac{1}{4} (R_f + R_n + R_c + R_{cz}). \quad (2.9)$$

**Zastanów się!** ✓ Porównaj uzyskaną wartość z wartością tablicową. Czy jest ona do niej zbliżona? Czy jesteś w stanie zaproponować inny sposób pomiaru stałej Rydberga?



**Gdańsk 2013**