



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Podręcznik – zeszyt ćwiczeń dla uczniów

Fizyka atomowa i jądrowa



1 Wstęp

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

- 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 kątowej 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.

- ✓ 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: $\alpha_P(n)$, $\alpha_P(nz)$, $\alpha_P(z2)$, $\alpha_P(z1)$, $\alpha_P(zt)$, $\alpha_P(cz)$, $\alpha_P(ccz)$.

Obliczenia

- ✓ 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 λ 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

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^a, odpowiadające następującym kolorom: czerwony (cz), cyjan (odcień 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

^aJest 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 λ 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 λ ? Jeśli uważasz że tak, zaproponuj odpowiedni sposób.

Ćwiczenie 3* Wyznaczanie stałej Rydberga¹

¹Johannes 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, λ_{mn} , można wyznaczyć z dobrym przybliżeniem z tzw. wzoru Rydberga (uogólnionego wzoru Balmera^a):

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

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

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).

^aJohann Jakob Balmer (1825–1898) – fizyk szwajcarski, którego nazwisko kojarzone jest głównie z badaniami w dziedzinie fizyki atomowej.

^bNiels 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 λ_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