

# Warsztaty z Fizyki Teoretycznej: Zastosowanie metod probabilistycznych do estymacji fazy w interferometrze Macha - Zehndera.

Dr Jan Chwedeńczuk  
Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski  
email: jachwed@fuw.edu.pl

## Opis problemu:

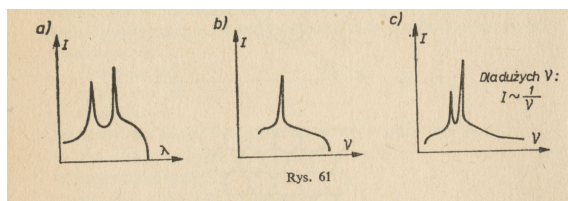
Celem zadania jest napisanie kodu, który będzie symulował eksperyment interferometryczny. Eksperyment taki polega na pomiarze liczby cząstek docierających do detektora i na podstawie wyniku dedukcji fazy interferometrycznej. Uczestnik zajęć zapozna się z podstawowymi pojęciami mechaniki kwantowej - takimi jak na przykład stan układu - oraz teorii prawdopodobieństwa - takimi jak prawdopodobieństwo warunkowe. Dzięki wykonaniu zadania, uczestnik rozwinie zarówno swoje umiejętności programistyczne, jak i pozna niektóre aspekty realistycznych doświadczeń interferometrycznych.

## Zadanie 1

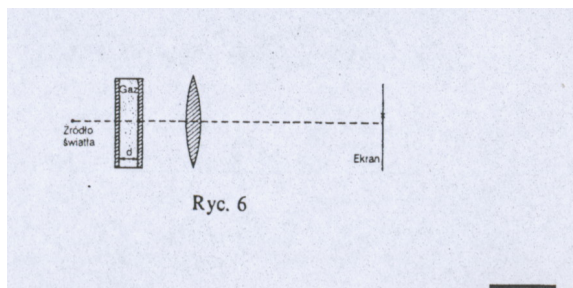
Który z wykresów pokazanych na rysunku 1 może przedstawiać rozkład widmowy promieniowania otrzymanego z lampy rentgenowskiej?

## Zadanie 2

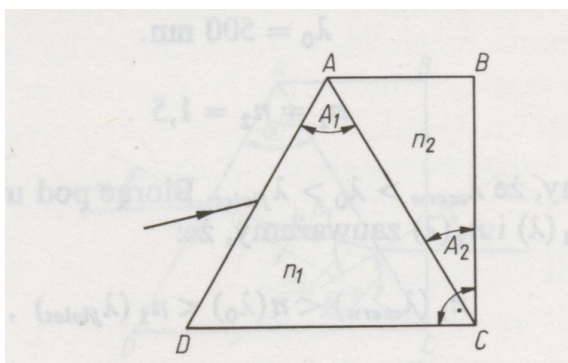
Na rysunku 2 przedstawiono układ pomiaru współczynnika załamania gazów. Składa się on z punkowego monochromatycznego źródła światła ( $\lambda = 546,1 \times 10^{-9}$  m), dwóch płaskich płytek szklanych pokrytych od strony wewnętrznej cienką półprzepuszczalną warstwą, soczewki oraz ekranu ustawionego w płaszczyźnie ogniskowej soczewki. Pomiedzy płytkami znajduje się



Rysunek 1: Kandydaci na widmo



Rysunek 2: Układ pomiarowy



Rysunek 3: Dwa pryzmaty

gaz. Na skutek interferencji pomiędzy płytkami na ekranie obserwuje się obraz interferencyjny. Przeprowadzono następujący eksperyment: wypompowano powietrze i na ekranie zaznaczono położenie jednego z jasnych prążków. Następnie wpuszczano powietrze o temperaturze  $T$  aż do uzyskania ciśnienia  $p$ . W czasie napompowywania gazu przez zaznaczony punkt przesunęło się 11 kolejnych maksimów i na tym punkcie zatrzymał się jasny prążek. Oblicz współczynnik załamania powietrza w temperaturze  $T$  i pod ciśnieniem  $p$  jeśli odległość pomiędzy płytkami wynosi  $d = 1,04$  cm.

### Zadanie 3

Dwa pryzmaty o kątach łamiących  $A_1 = 60^\circ$  i  $A_2 = 30^\circ$  sklejono jak na rysunku 3. Współczynniki załamania pryzmatów  $n_i = a_i + b_i/\lambda$ , dla  $i=1,2$ . Wybierz  $a_1 = 1,1$ ,  $a_2 = 1,3$ ,  $b_1 = 1 \times 10^5$  nm,  $b_2 = 5 \times 10^5$  nm. 1. Wyznacz długość fali  $\lambda_0$  dla której na powierzchni AC nie zachodzi załamanie niezależnie od kąta padania światła na pryzmat. Wyznacz dla tej długości fali  $n_1$  i  $n_2$ . 2 Wyznacz kąt najmniejszego odchylenia promienia przez obserwowany układ dla  $\lambda_0$ . Wyznacz długość fali  $\lambda_1$  dla której promień padający na układ równoległe do podstawy DC, wychodzi z niego również równoległe do podstawy.

#### Zadanie 4. Teoretyczno-numeryczne.

Wiadomo, że średni czas życia atomu w stanie wzbudzonym wynosi  $T_0$ . Przechodząc ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego atom promieniuje falę o częstotliwości  $\omega_0$ . Pokażemy, że kwantowy proces promieniowania można opisać za pomocą klasycznego modelu stochastycznego. (Porównamy obliczenia w modelu kwantowym i stochastycznym)

1. Oblicz transformatę Fouriera  $G(\omega)$  ( $G(\omega) = \int F(t) \exp(-i\omega t) dt$ ) funkcji  $F(t) = f(t) \exp(i\omega_0 t)$ , gdzie  $f(t) = \exp(-t/T_0)$  dla  $t \in [0, \infty]$  oraz zero poza tym zbiorem.

2. Znajdź widmo mocy  $W(\omega) = |G(\omega)|^2$  dla  $\omega > 0$ .

3. Oblicz transformatę Fouriera  $G_T(\omega)$  funkcji  $F_T(t) = f_T(t) \exp(i\omega_0 t)$ , gdzie  $f_T(t) = 1$  dla  $t$  z odcinka  $[0, T]$  oraz zero poza tym odcinkiem.

4. Oblicz widmo mocy  $W(T, \omega) = |G_T(\omega)|^2$ .

5. Załóż, że atom wypromieniowuje w czasie  $T$  fale o częstotliwości  $\omega_0$  i stałej amplitudzie (jest to tylko model rachunkowy). Czas  $T$  jest zmienną losową o rozkładzie  $P(T) = \exp(-T/T_0)$ . Oblicz średni rozkład widmowy  $W_s(\omega) = \int P(T) W(T, \omega) dT$  i porównaj z  $W(\omega) = |G(\omega)|^2$ . Tę średnią policz numerycznie.

## 1 Literatura

1. Jerzy Ginter, 'Fizyka fal' Tom I.

2. J. W. Goodman 'Optyka statystyczna'.

3. strony internetowe:

- [http : //en.wikipedia.org/wiki/Interferometer](http://en.wikipedia.org/wiki/Interferometer)
- [http : //en.wikipedia.org/wiki/Mach%E2%80%93Zehnder\\_interferometer](http://en.wikipedia.org/wiki/Mach%E2%80%93Zehnder_interferometer)
- [http : //en.wikipedia.org/wiki/Shot\\_noise](http://en.wikipedia.org/wiki/Shot_noise)
- [http : //en.wikipedia.org/wiki/Maximum\\_likelihood](http://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_likelihood)