



XLIX OLIMPIADA FIZYCZNA

(1999/2000)

ZAWODY III STOPNIA

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Zadanie doświadczałne – D

Nazwa Wyznaczanie długości fali światła lasera.

Źródła Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;

Andrzej Wysmołek, sekretarz naukowy ds. zad. dośw. KGOF, IFD UW;

50 lat olimpiad fizycznych. Wybrane zadania z rozwiązaniami

pod red. Janiszewski P. Mostowski J. PWN, Warszawa 2002.

T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

Zadanie D - XLIX OF, III stopień

A. Mając do dyspozycji wyłącznie:

- źródło światła – wskaźnik laserowy,
- taśmę mierniczą o długości 2 m,
- 10 cm linijkę z podziałką,
- pionowy ekran i kartkę papieru,
- kawałki plasteliny, bloczek kartek, pudełko kartonowe oraz kawałki taśmy samoprzylepnej,

wyznacz długość fali światła laserowego. Oceń wielkość błędu otrzymanego wyniku oraz wskaż czynniki wpływające na otrzymaną dokładność.

B. Korzystając z wyniku z poprzedniej części oraz mając do dyspozycji dodatkowo płytę CD, wyznacz średnią odległość między ścieżkami na płycie CD oraz średnią długość ścieżki przypadającej na 1 bit informacji. Załóż, że całkowita ilość informacji na płycie CD równa jest 650 MB ($1 \text{ MB} = 2^{23}$ bitów) oraz że ścieżka ma kształt spirali. Oceń wielkość błędu otrzymanego wyniku oraz wskaż czynniki wpływające na otrzymaną dokładność.

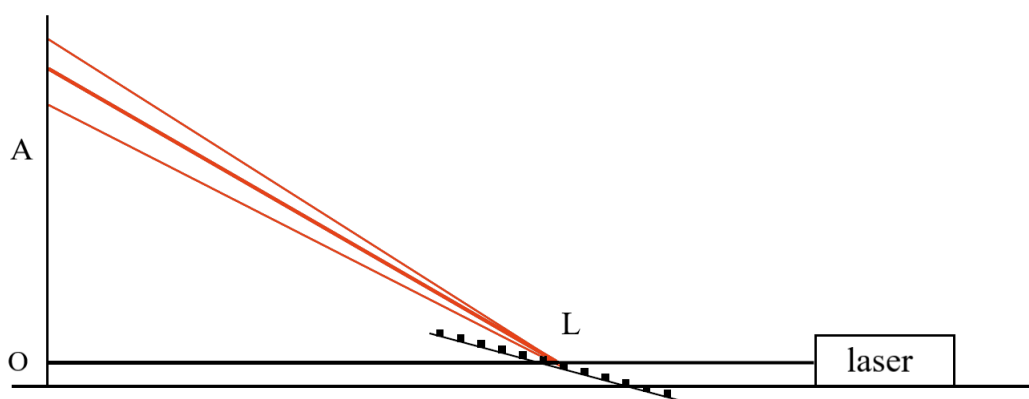
OSTRZEŻENIE! Nie należy świecić w oczy wiązką laserową oraz należy zachować szczególną ostrożność przy operowaniu laserem ze względu na możliwość niekontrolowanych odbić wiązki.

Rozwiązanie zadania D - XLIX OF, III stopień

Proponowane rozwiązanie zadania opiera się na wykorzystaniu zjawiska dyfrakcji światła laserowego. W pierwszej części zadania wykorzystanie siatki dyfrakcyjnej odbiciowej utworzonej z nachylonej linijki pozwala wyznaczyć długość fali. W drugiej, pomiar kątów ugięcia tej samej wiązki laserowej odbitej od powierzchni płyty CD pozwala wyznaczyć odległość między ścieżkami. Z elementarnych rozważań geometrycznych można obliczyć całkowitą długość spirali, na której zapisana jest informacja, a następnie – średnią długość ścieżki przypadającej na 1 bit informacji.

A. Pomiar długości fali światła laserowego

Proponuje się zestawienie układu pomiarowego przedstawionego na rys. 1. Na jednym końcu stołu laboratoryjnego umieszczony jest wskaźnik laserowy umocowany przy pomocy kawałka plasteliny lub taśmy samoprzylepnej. Wskaźnik należy tak ustawić, aby jego oś optyczna była równoległa do powierzchni stołu.



Rys. 1

W pewnej odległości od źródła na kawałku plasteliny lub na podpórcie z bloczka kartek umieszczamy pod niewielkim kątem do powierzchni stołu linijkę. Jej powierzchnia powinna przecinać wiązkę laserową w miejscu gdzie jest umieszczona podziałka. Plastelina lub bloczek kartek pozwala płynnie regulować ustawienie linijki, a co za tym idzie – także kąt padania wiązki laserowej na podziałkę. Odległość linijki od ekranu oraz kąt padania wiązki na linijkę należy dobrać tak, by na ekranie papierowym umieszczonym prostopadle do stołu uzyskać dobrze rozdzielone, wyraźne prążki dyfrakcyjne.

Uwaga! Różne linijki, w zależności od sposobu ich produkcji, dają różną jakość obrazu dyfrakcyjnego. Jednak obraz umożliwiający wykonanie doświadczenia udało się uzyskać dla wszystkich linijek testowanych przez organizatorów w trakcie przygotowywania zadania. Najlepszą jakość obrazu dają linijki profesjonalne, na których skala milimetrowa (lub niekiedy bardziej zagęszczona) została otrzymana w oddzielnym procesie nacinania rowków.

Kąt padania najwygodniej jest wyznaczyć z trójkąta AOL. Ze względu na to, że wszystkie kąty występujące w tym eksperymencie są małe, do wyznaczenia kąta padania wykorzystać można oszacowanie wartości funkcji trygonometrycznych przy wykorzystaniu geometrii trójkąta prostokątnego, nawet jeśli w rzeczywistości występujące trójkąty takimi nie są. Przybliżenia te nie

wpływają istotnie na wyniki, a przy okazji uczą sztuki szacowania wyniku i poprawnego dokonywania uproszczeń. Punkty O i L najwygodniej jest zaznaczyć na kartce papieru przyklejonej do pionowego ekranu. Jeśli α oznaczać będzie kąt (mierzony od płaszczyzny linijki, a nie od normalnej), pod jakim wiązka laserowa "ślizga" się po linijce, to:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{|OA|}{|OL|}. \quad (1)$$

Aby otrzymać obraz dyfrakcyjny dla czerwonego światła laserowego na linijce z podziałką milimetrową, musi być spełniony warunek $\alpha \ll 1$. Można więc skorzystać z przybliżenia $\alpha \simeq \operatorname{tg} \alpha$, co daje prostą zależność:

$$\alpha = \frac{|OA|}{2|OL|}.$$

W przeprowadzonym doświadczeniu zadowalającą jakość obrazu dyfrakcyjnego – prążki odległe od głównego odbicia wiązki (punktu A) o $h_1 = 6$ mm, $h_2 = 12$ mm itd. – uzyskano dla $|OA| = 23$ cm, $|OL| = 106$ cm ($\operatorname{tg} \alpha = 0,11$). Ze wzoru dla odbiciowej siatki dyfrakcyjnej:

$$(d \sin \alpha) \sin \theta_m = m\lambda, \quad (2)$$

gdzie θ_m to kąt ugięcia prążka m -tego rzędu ($\sin \theta_m \simeq h_m/|OL|$), a $d = 1$ mm to stała siatki (podziałka linijki).

Dla $m = 1$ otrzymujemy poszukiwaną długość fali:

$$\lambda \simeq 620 \text{ nm}.$$

Przyjęto, że odległość $|OL|$ została wyznaczona z dokładnością do 1 cm, ponieważ "długość" plamki światła na linijce wynosiła ok. 3 cm. Na błąd wyniku końcowego złożyły się ponadto niepewność wyznaczenia odległości $|OA|$ (0,5 cm) oraz niedokładność wyznaczenia odległości między prążkami (0,5 mm). Całkowita niepewność względna wyznaczonej długości fali można oszacować na ok. 7 %.

Rzeczywista długość fali światła wskaźnika laserowego wykorzystanego do pomiarów (zmierzona na spektrometrze) wynosiła 648,5 nm.

B. Wyznaczenie średniej odległości między ścieżkami na płycie CD oraz średniej długości ścieżki przypadającej na 1 bit informacji

Odległość między ścieżkami płyty CD jest na tyle mała, że możliwe jest zaobserwowanie ugięcia wiązki laserowej padającej prostopadłe na płytę. Najprościej jest przykleić płytę CD do pionowego ekranu, a następnie oświetlić ją laserem umieszczonym poziomo na pudełku kartonowym, na którym można umieścić kartkę papieru do zaznaczenia biegu promieni ugiętych. Źródło światła można ustawić tak, aby wiązka padająca pokrywała się z wiązką odbitą w zerowym rzędzie odbicia. Upraszcza to rachunki i pozwala zmniejszyć niepewność pomiarową.

Pomiary linijką odpowiednich odcinków pozwalają wyznaczyć sinusy odpowiednich kątów. Dla $m = 1$ i $m = 2$ otrzymujemy odpowiednio $\sin \theta_1 = 0,40$ i $\sin \theta_2 = 0,81$. Korzystając ze wzoru (2) przy $\alpha = \pi/2$ i wyznaczonej w pierwszej części zadania długości fali, otrzymujemy średnią odległość między ścieżkami płyty CD równą:

$$d_{\text{sr}} = 1,55 \text{ } \mu\text{m}.$$

Znając odległość między ścieżkami oraz średni promień ścieżki i szerokość pierścienia, na którym zapisane są dane (średnice – wewnętrzną i zewnętrzną – zapisanego obszaru płyty mierzymy linijką), możemy obliczyć, że na krążku CD znajduje się około 23 400 ścieżek o średniej długości równej ok. 26 cm, co daje ok. 1,1 μm długości ścieżki przypadającej na 1 bit informacji.