



## Dyfrakcja i interferencja światła z użyciem promieniowania laserowego lasera He-Ne.

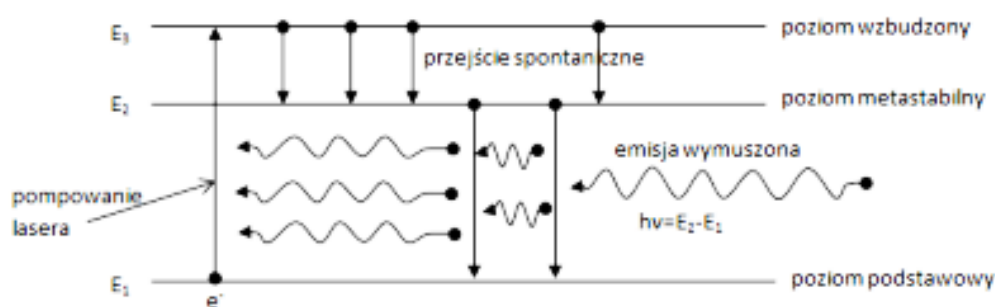
### Warunki występowania akcji laserowej

**Akcja laserowa** zachodzi tylko wtedy, gdy atomy ośrodka aktywnego mają co najmniej dwa poziomy wzbudzenia. Wyższy z tych poziomów ( $E_3$ ) powinien być nietrwały – elektrony przebywają na nim bardzo krótko – natomiast drugi poziom ( $E_2$ ), zwany **metastabilnym**, charakteryzuje się znacznie dłuższym czasem życia elektronów.

Gdy do substancji spełniającej powyższe warunki doprowadzi się energię, powodującą wzbudzenie elektronów do krótkotrwałego poziomu energetycznego, elektrony te szybko przejdą na niższy poziom metastabilny. W efekcie tego procesu na poziomie metastabilnym zgromadzi się więcej elektronów, powodując tym samym nadmiar elektronów w stanie metastabilnym.

Proces ten prowadzi do tzw. **inwersji obsadzeń**, czyli sytuacji, w której liczba elektronów na poziomie metastabilnym przewyższa liczbę elektronów w stanie podstawowym ( $E_1$ ). Zjawisko to nazywane jest pompowaniem lasera i stanowi warunek konieczny do rozpoczęcia emisji wymuszonej.

### Schemat akcji laserowej



Jeśli do ośrodka czynnego lasera znajdującego się w stanie **inwersji obsadzeń** dotrze foton o energii odpowiadającej różnicy między poziomem metastabilnym a podstawowym, może on wywołać **emisję wymuszoną** – czyli spowodować, że elektron z poziomu metastabilnego przejdzie do stanu podstawowego, emitując przy tym drugi, identyczny foton. Powstały foton może z kolei wywołać emisję w kolejnych atomach, uruchamiając kaskadowy proces tworzenia światła o tych samych właściwościach. Zjawisko to nosi nazwę **akcji laserowej**.

## Zasada działania lasera

Aby działał laser, potrzebujemy trzech głównych elementów:

1. **Układu pompującego,**
2. **Ośrodka czynnego (wzmacniającego),**
3. **Rezonatora optycznego.**

**Układ pompujący** dostarcza energii do specjalnego materiału, który nazywamy **ośrodkiem czynnym**. Dzięki temu w ośrodku zachodzi proces, w którym fotony (cząstki światła) się wzmacniają – to znaczy, że jeden foton może „wymusić” powstanie kolejnego, identycznego fotonu. Ten proces nazywamy **akcją laserową**.

Jeśli umieścimy ośrodek wzmacniający między **dwoma lustrami** (czyli w **rezonatorze optycznym**), powstaje **laser**. Foton odbija się tam od jednego lustra, a potem od drugiego. Jedno z lusterek jest częściowo przezroczyste, więc część światła może się przez nie wydostać.

Podczas wielokrotnego odbijania między lustrami fotony są wzmacniane – powstaje coraz więcej takich samych fal światła. Fale, które nie poruszają się dokładnie wzdłuż osi rezonatora, uciekają na boki i nie są wzmacniane.

Na końcu z rezonatora wychodzi **spójna, równoległa i jednobarwna wiązka światła** – czyli typowe promieniowanie laserowe. Taka wiązka ma bardzo dużą moc i jest dobrze skupiona.

## Własności promieniowania laserowego

- ➡ **Monochromatyczność** – promieniowanie jest jednej barwy. Oznacza to, że długość fali promieniowania laserowego jest stała, jej odchylenia są bardzo małe.
- ➡ **Spójność (koherentność)** – fale światła laserowego odznaczają się taką samą fazą fal, zarówno w przestrzeni jak i czasową.
- ➡ **Równoległość (kolimacja)** – wiązka lasera ma małą rozbieżność kątową. Oznacza to, że po przebyciu np. 5 km tylko minimalnie się rozszerzy.
- ➡ **Intensywność** – cała moc promieniowania zawarta jest w małej wiązce światła laserowego.

**Dyfrakcja** jest to zjawisko falowe polegające na ugięciu fali świetlnej na skutek napotkania przeszkody. Zjawisko dyfrakcji zachodzi zarówno dla fal mechanicznych, jak i świetlnych.

W wyniku ugięcia fali świetlnej w dalszej drodze fale nachodzą na siebie, a więc następstwem dyfrakcji będzie interferencja ugiętej fali z innymi falami.

**Interferencja (superpozycja)** - to zjawisko nakładania się fal.

Fale interferują, czyli nakładają się na siebie. W pewnych określonych miejscach nastąpi pełne **wygaszenie**, a w innych maksymalne **wzmocnienie** fali. Pomiedzy tymi miejscami fala osiąga **wartości pośrednie**.

**Jasne prążki (wzmocnienie)** występują wtedy, gdy różnica dróg  $\Delta r$  jest **całkowitą** wielokrotnością długości fali  $\lambda$ :

$$\Delta r = k \cdot \lambda \quad (\text{gdzie } k = 1, 2, 3, \dots)$$

**Ciemne prążki (wygaszenie)** pojawiają się, gdy różnica dróg  $\Delta r$  to **połówka, półtora, dwie i pół...** długości fali:

$$\Delta r = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda \quad (\text{gdzie } k = 1, 2, 3, \dots)$$

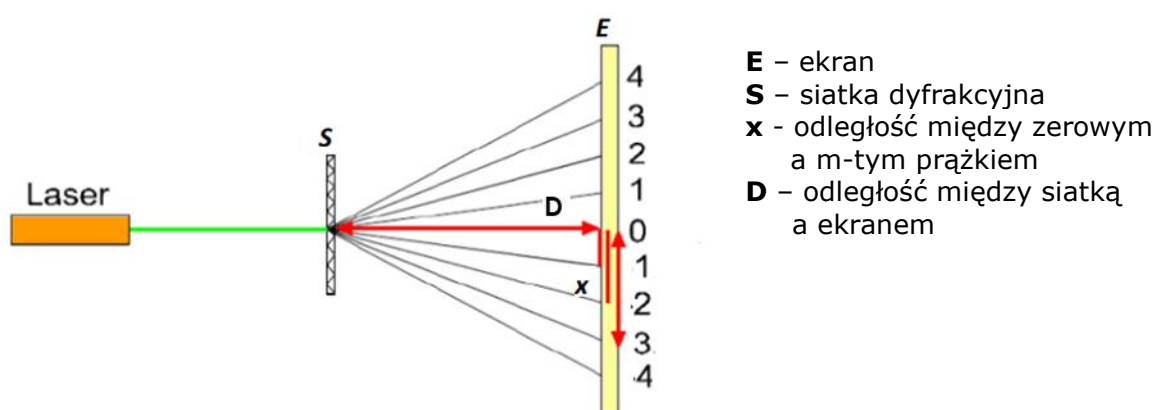
Zjawisko **interferencji** zachodzi zarówno dla fal mechanicznych, jak i świetlnych.

### Doświadczenie

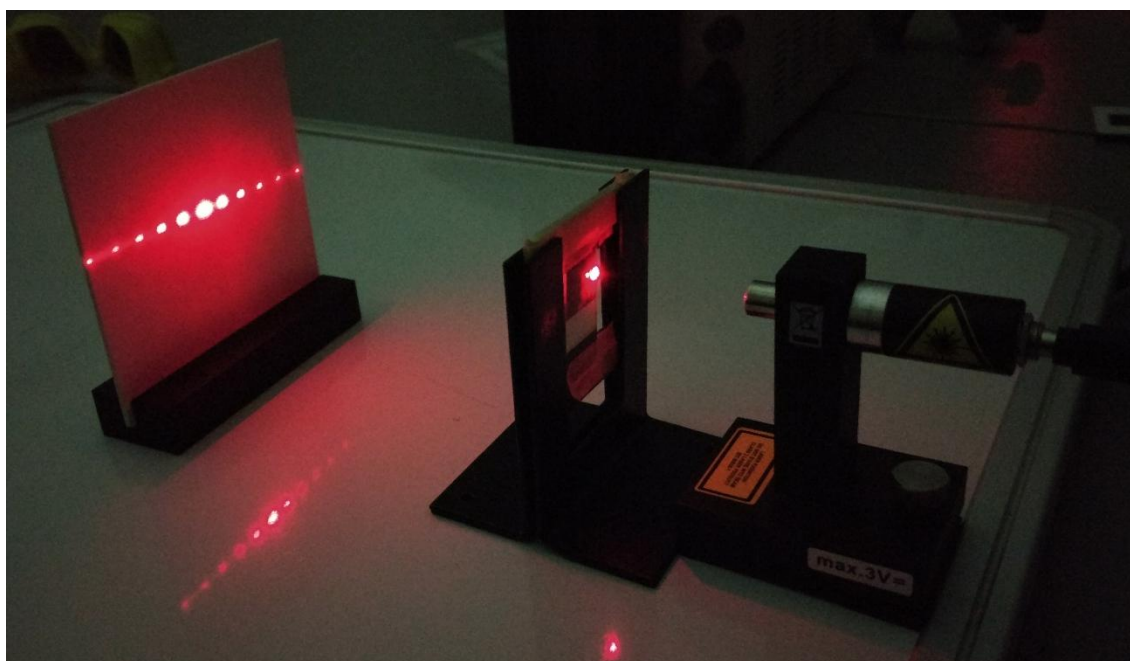
Przeprowadzimy doświadczenie, w którym zbadamy zjawiska dyfrakcji i interferencji po przejściu wiązki światła lasera czerwonego przez siatkę dyfrakcyjną o stałej siatki dyfrakcyjnej  $d = 10 \mu m$ . Wyznamy długość światła laserowego na podstawie analizy obrazu interferencyjnego powstałego po przejściu światła przez siatkę dyfrakcyjną.

1. Umieszczamy laser w uchwycie znajdującym się przed siatką dyfrakcyjną na takiej wysokości, aby wiązka lasera przechodziła prostopadłe do płaszczyzny siatki dyfrakcyjnej i przez jej centralną część.
2. Ustawiamy siatkę dyfrakcyjną jak najbliżej lasera i obserwujemy na ekranie prążki interferencyjne, symetryczne po obu stronach obrazu szczeliny.

Poniżej znajduje się schemat układu pomiarowego:



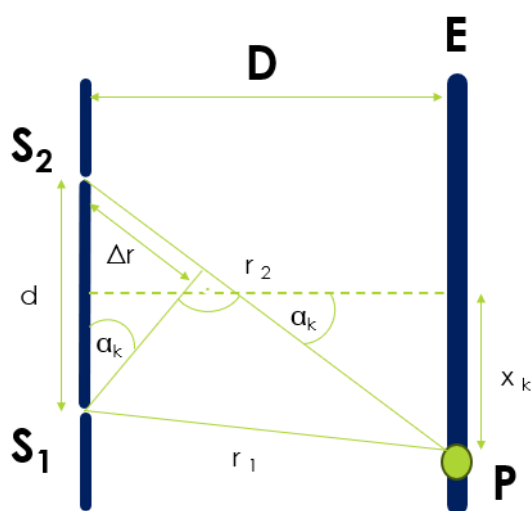
Otrzymujemy następujący efekt >



3. Mierzymy odległość ( $D$ ) między siatką ( $S$ ) a ekranem ( $E$ ), oraz odległość między zerowym a  $k$ -tym prążkiem ( $x_k$ ).
4. Wyniki dokonanych pomiarów przedstawiamy w tabeli poniżej.

| Lp. | k – rząd widma | Odległość (D) między siatką a ekranem [cm] | Odległość między zerowym a k-tym prążkiem ( $x_k$ ) [cm] |
|-----|----------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1.  | 1              | 27                                         | 2                                                        |
| 2.  | 2              | 27                                         | 4                                                        |
| 3.  | 3              | 27                                         | 5,5                                                      |
| 4.  | 4              | 21                                         | 4,5                                                      |
| 5.  | 5              | 21                                         | 6                                                        |

Przyjrzyjmy się teraz doświadczeniu Younga, przedstawionym na poniższym rysunku.



$\alpha_k$  - to **kąt ugięcia** odpowiadający temu prążkowi,  
D - odległość od szczelin do ekranu (jest **duża**),  
d - odległość między szczelinami  
 $x_k$  - to odległość **k-tego jasnego prążka** od prążka zerowego  
E – ekran  
 $S_1$  – pierwsza szczelina

$S_2$  – druga szczelina

P – punkt, w którym powstaje jasny prążek

Nie wszystkie fale pokonują taką samą drogę do danego punktu na ekranie. Oznaczmy:

- $r_1$  – drogę, jaką fala przebywa od szczeliny  $S_1$  do punktu na ekranie,
- $r_2$  – drogę od szczeliny  $S_2$  do tego samego punktu.

**Różnica dróg fal to:**

$$\Delta r = r_2 - r_1$$

Na podstawie zależności na powyższym rysunku wartość  $\Delta r$  możemy wyrazić jako:

$$\Delta r = d \sin \alpha_k$$

Otrzymujemy zatem następujący warunek występowania prążków jasnych:

$$d \sin \alpha_k = k\lambda$$

Ponieważ ekran znajduje się **daleko** od szczelin, to kąt  $\alpha_k$  jest **mały**, więc możemy zastosować przybliżenie:

$$\sin \alpha_k \approx \tan \alpha_k \approx \frac{x_k}{D}$$

**To znaczy:** sinus kąta ugięcia jest praktycznie równy stosunkowi odległości prążka od środka do odległości ekranu od szczeliny.

Łącząc powyższe zależności otrzymujemy wzór na obliczenie długości fali  $\lambda$  światła padającego na siatkę dyfrakcyjną na podstawie określenia położenia  $x_k$   $k$ -tego maksimum obrazu interferencyjnego (względem prążka zerowego) przy znanych wartościach  $d$  i  $D$ .

$$\lambda = \frac{dx_k}{kD}$$

5. Obliczamy długość fali promieniowania lasera na podstawie wykonanych pomiarów dla siatki o znanej stałej siatki dyfrakcyjnej ( $d = 10\mu\text{m}$ ), korzystając z powyższego wzoru.

| Lp. | k – rząd widma | Odległość (D) między siatką a ekranem (cm) | Odległość między zerowym a k-tym prążkiem( $x$ )(cm) | Długość fali (nm) |
|-----|----------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|
| 1.  | 1              | 27                                         | 2                                                    | 741               |
| 2.  | 2              | 27                                         | 4                                                    | 741               |
| 3.  | 3              | 27                                         | 5,5                                                  | 679               |
| 4.  | 4              | 21                                         | 4,5                                                  | 536               |
| 5.  | 5              | 21                                         | 6                                                    | 571               |

$$\lambda_1 = \frac{10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 0,02 \text{ m}}{1 \cdot 0,27 \text{ m}} \approx 741 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = \frac{10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 0,04 \text{ m}}{2 \cdot 0,27 \text{ m}} \approx 741 \text{ nm}$$

$$\lambda_3 = \frac{10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 0,055 \text{ m}}{3 \cdot 0,27 \text{ m}} \approx 679 \text{ nm}$$

$$\lambda_4 = \frac{10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 0,045 \text{ m}}{4 \cdot 0,21 \text{ m}} \approx 536 \text{ nm}$$

$$\lambda_5 = \frac{10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 0,06 \text{ m}}{5 \cdot 0,21 \text{ m}} \approx 571 \text{ nm}$$

$$\lambda \approx 654 \text{ nm}$$

### Długości fali $\lambda$

Siatka dyfrakcyjna – wzór Younga

a: 0.5  $\mu\text{m}$

a: 1.0  $\mu\text{m}$

a: 2.0  $\mu\text{m}$

a: 20  $\mu\text{m}$

Liczba rys / 1 mm: 500

---

Odległość L (m):

1,0

Odległość  $x_k$  (m):

0,33

Rząd prążka k:

1

---

$\lambda = 0.6268 \mu\text{m}$

(C) Karolina Kociel 2025

Wyznaczona wartość średniej długości światła emitowanego przez laser wykorzystany w doświadczeniu jest zgodna z oczekiwaniami i odpowiada ona barwie czerwonej.

## Podsumowanie

Po przejściu wiązki lasera przez siatkę dyfrakcyjną na ekranie pojawił się obraz interferencyjny, co stanowi doświadczalne potwierdzenie istnienia zjawisk **dyfrakcji i interferencji światła**, a tym samym **falowej natury światła**. Zaproponowane doświadczenie pokazuje, że w bardzo prosty sposób możemy wyznaczyć długości fali światła laserowego za pomocą siatki dyfrakcyjnej.