

**Treść problemu:**

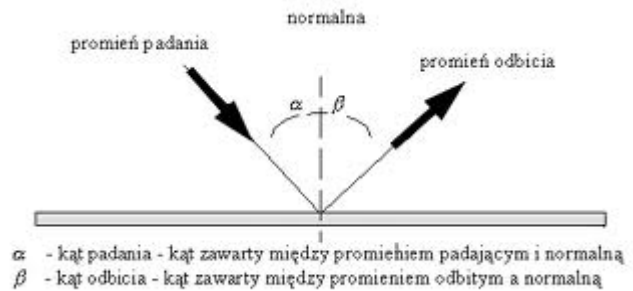
*Hologram może zostać ręcznie wytworzony poprzez zarysowanie kawałka plastiku.  
Jak działa to zjawisko? Wykonaj taki hologram.*

**Analiza teoretyczna:**

Do opisanego tego fenomenu konieczne jest użycie dwóch praw opisujących to zjawisko.

**1. Prawo odbicia**

Kąt odbicia jest równy kątowi padania, a promień padający, promień odbity i normalna do powierzchni odbicia leżą w jednej płaszczyźnie. W wyniku odbicia zmienia się tylko kierunek rozchodzenia się fali, nie zmienia się jej długość.



Ilustracja 1: Źródło: <http://kompediumfizyki.prv.pl/drganiaifale.html>

**2. Prawo Snella**

Prawo opisujące zmianę kierunku biegu promienia światła przy przejściu przez granicę między dwoma ośrodkami przezroczystymi o różnych współczynnikach załamania. Na mocy tego prawa można uzasadnić zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia,

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{n_1}{n_2}$$

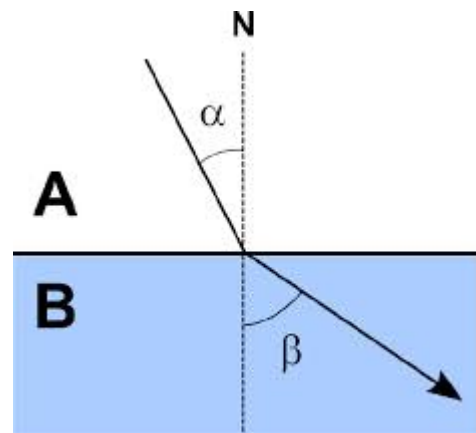
gdzie:

-sin(α) to kąt padania

-sin(β) to kąt odbicia

-n<sub>1</sub> to współczynnik załamania ośrodka w obecnie którym znajduje się promień światła

-n<sub>2</sub> to współczynnik załamania ośrodka do którego światło chce się przedostać.



Ilustracja 2 Źródło: <http://www.refractometer.pl/Snell-law>

Hologram powstaje dzięki mikroskopijnym zwierciadłom, które powstają w zagłębieniach jakie pozostawiła ostra końcówka cyrkla. Zwierciadła powstają pod odpowiednim nachyleniem do płaszczyzny płytki. Na hologram działają dwa prawa: prawo odbicia (w przypadku płytki nieprzezroczystej) lub prawo Snella i zjawisko wewnętrznego odbicia (w przypadku płytek przezroczystych). To także pokazuje że rowki muszą być w równych odstępach i nie mogą być zbyt szerokie gdyż w takim wypadku hologram będzie bardzo słabo widoczny lub całkowicie niewidoczny. Również siła z jaką dociskamy cyrkiel nie może być zbyt duża ponieważ wtedy cyrkiel niszczy strukturę plastiku i hologram staje się niewyraźny.

**Część eksperymentalna:****Doświadczenie I:**

Do wykonania tego doświadczenia użyliśmy:

- cyrkla o stałym promieniu
- taśmę klejącą
- kartkę papieru z narysowanym na niej trójkątem
- trzech płytek z pleksiglasu (bezbarną przezroczystą, grafitową półprzezroczystą i czarną nieprzezroczystą)
- latarkę LED
- aparat cyfrowy

#### *Cel doświadczenia:*

Doświadczenie ma na celu pokazanie jak zmienia się widoczność hologramu w zależności od koloru i przezroczystości płytki na której został on wykonany.

#### *Przebieg doświadczenia:*

Do stołu przykleiliśmy płytkę z pleksiglasu i kartkę papieru. Na krawędziach wcześniej narysowanego trójkąta zaznaczyliśmy punkty co milimetr. Ustawiliśmy stały promień cyrkla i ostrą końcówką zataczaliśmy łuki na płytce. Tą samą czynność powtórzyliśmy z każdą płytką (oczywiście nie zmieniając promienia). Na koniec każdą płytkę oświetliliśmy latarką i zrobiliśmy zdjęcia. Oto jak przedstawiają się wyniki.



(od lewej: płytka przezroczysta, płytka półprzezroczysta, płytka nieprzezroczysta)

Źródło: Autor

#### *Wniosek:*

Jak widać na zdjęciach hologram najlepiej jest widoczny na płytce nieprzezroczystej, a najgorzej na przezroczystej. Spowodowane jest to tym, że im płytka jest bardziej przezroczysta tym więcej światła przez nią przechodzi i tylko nie liczna jego część zostaje odbita. Natomiast płytka nieprzezroczysta w całości odbija światło co skutkuje tym, że hologram jest tam najlepiej widoczny.

#### *Doświadczenie II:*

Do wykonania tego doświadczenia użyliśmy:

- trzech cyrkli o stałych promieniach (ustawionych na rozwartości  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  i  $60^\circ$ )
- taśmę klejącą
- trzech czarnych nieprzezroczystych płytek z pleksiglasu
- latarkę LED
- kamerę do szybkich zdjęć

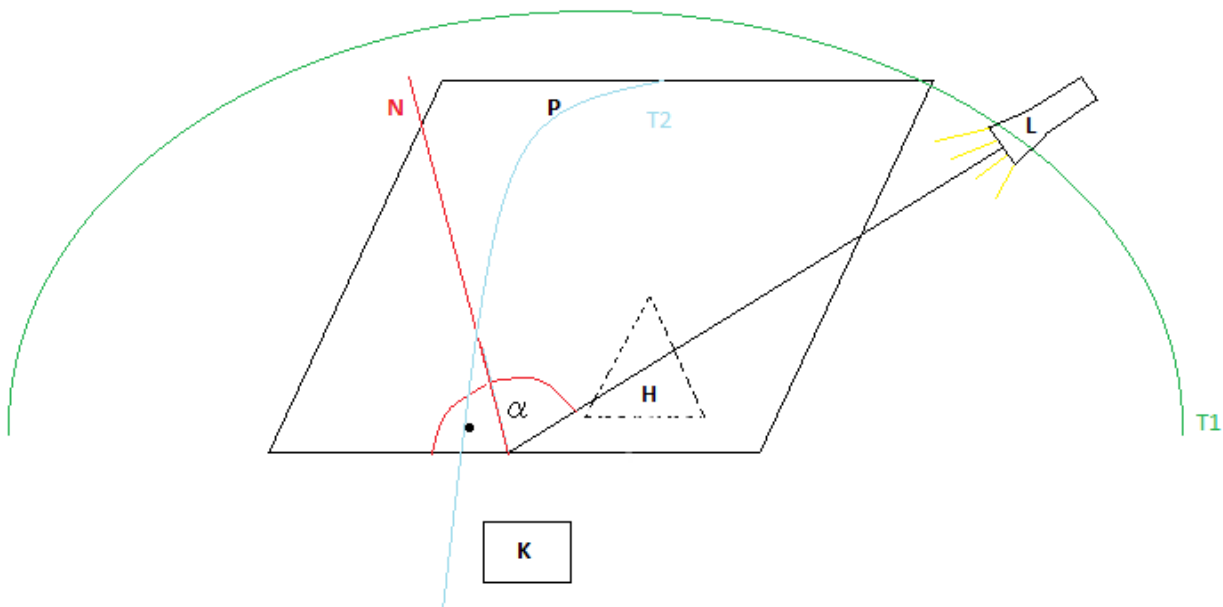
- program Tracker

*Cel doświadczenia:*

Doświadczenie pokazuje jak zmienia się graniczny kąt, padania promieni świetlnych, pod którym widoczny jest cały hologram w zależności od kąta rozwarości cyrkla jakim został wykonany.

*Przebieg doświadczenia:*

Do stoły przykleiliśmy kartkę na której wcześniej został narysowany trójkąt. Następnie przymocowaliśmy płytkę z pleksiglasu i począwszy od cyrkla o najmniejszym stopniu rozwarcia ( $30^\circ$ ) ostrą końcówką cyrkla wykonaliśmy hologram. Tę czynność powtórzyliśmy kolejno dla cyrkla o każdej rozwarości. Potem używając latarki LED i kawałka sznurka przymocowanego do stołu zataczaliśmy łuki nad hologramem, w dwóch płaszczyznach (ze strony prawej do lewej oraz z tyłu do przodu) całość filmując kamerą do szybkich zdjęć. Później za pomocą programu Tracker wyznaczyliśmy graniczny kąt (kąt odchylenia od normalnej) pod jakim widoczny jest cały hologram.



Schemat 1: Źródło: Autor

Tak przedstawia się schemat naszego działania, gdzie.

K to kamera do szybkich zdjęć,

H to widoczny w całości hologram,

L to latarka LED,

P to czarna nieprzezroczysta płytka,

N to normalna prostopadła do płytki,

T1 to tor ruchu latarki nad płytką ze strony prawej do lewej,

T2 to tor ruchu latarki nad płytką z tyłu do przodu,

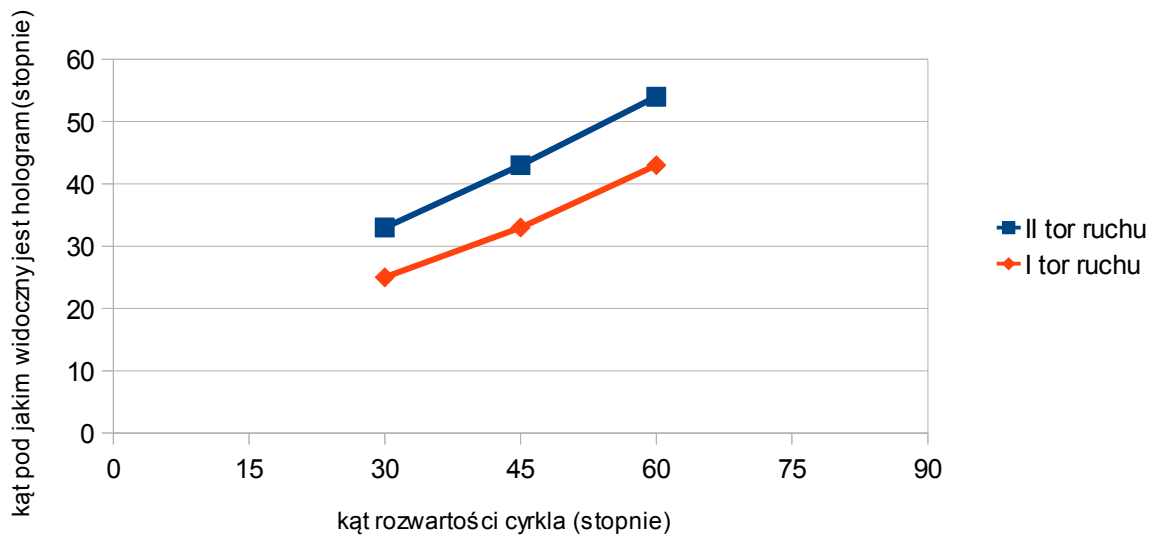
$\alpha$  to kąt pomiędzy sznurkiem a normalną.

*Wyniki:*

	Tor ruchu latarki nad płytką	
Kąt rozwartości cyrkla	I tor ruchu	II tor ruchu
30°	25°	33°
45°	33°	44°
60°	43°	54°

Wyniki zostały przedstawione jako kąt odchylenia od normalnej i jest to graniczny kąt przy jakim widoczny jest cały hologram. Jednak w przypadku drugiego toru ruchu w momencie kiedy latarka przechodzi przez punkt w którym jest skierowana prostopadle do płaszczyzny płytki hologram przestaje być widoczny dla kamery, jest on jednak widoczny dla osoby która stoi na przeciwko. Kiedy przestawimy kamerę na przeciwległą stronę hologram jest dalej widoczny (tylko do góry nogami) i znika kiedy latarka przejdzie przez kąt graniczny. To zjawisko spowodowane jest tym, że w momencie przejścia latarki przez kąt 0° od normalnej światło odbijane jest w drugą stronę i hologram zaczyna powstawać z drugiej strony.

wykres granicznych kątów



Jak można zauważyć wykres jest zbliżony do liniowego. Spowodowane jest to tym że dla różnych rozwartości cyrkla zagłębienia powstają pod innym nachyleniem do płaszczyzny płytki. To z kolei prowadzi do tego, że światło odbija się pod innym kątem co można łatwo wytłumaczyć prawem odbicia, które mówi nam, że kąt padania promieni świetlnych jest równy kątowi odbicia. Z tego wynika, że jeśli rozwartości cyrkla rosną to graniczny kąt będzie wprost proporcjonalny do tych wartości.

### Efekty:

Jak poproszono nas w zadaniu wykonaliśmy hologram z liter IYPT. Oto efekt jaki udało się nam uzyskać.



Zdjęcie 1: Źródło: Autor

Jak widać na tym zdjęciu nasz hologram ma pewne niedoskonałości. Jest to spowodowane tym został on wykonany ręcznie. Jego niedoskonałości wynikają z różnej siły z jaką plastik został zarysowany, z faktu, że nóżka cyrkla minimalnie mogła się przesuwać, oraz z tego, że sam cyrkiel mógł minimalnie zmienić swoją rozwartość. Te wszystkie czynniki wpływają na to że hologram nie jest idealny.

#### Źródła:

- K. B. Wolf. Geometry and dynamics in refracting systems. „European Journal of Physics”. 16, s. 14-20, 1995.
- Romuald Józwicki: Podstawy inżynierii fotonicznej. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2006, s. 20. ISBN 83-7207-635-9.
- F.A. Jenkins, H.E. White: Fundamental of Optics. McGraw-Hill Book Company, 1957, s. 19.
- Mandelstam, L.I. (1926). "Light Scattering by Inhomogeneous Media". Zh. Russ. Fiz-Khim. Ova. 58: 381.
- M. Iona (1982). "Virtual mirrors". Physics Teacher 20: 278.  
Bibcode:1982PhTea..20..278G. doi:10.1119/1.2341067.
- I. Moreno (2010). "Output irradiance of tapered lightpipes". JOSAA 27 (9): 1985.  
Bibcode:2010JOSAA..27.1985M. doi:10.1364/JOSAA.27.001985.