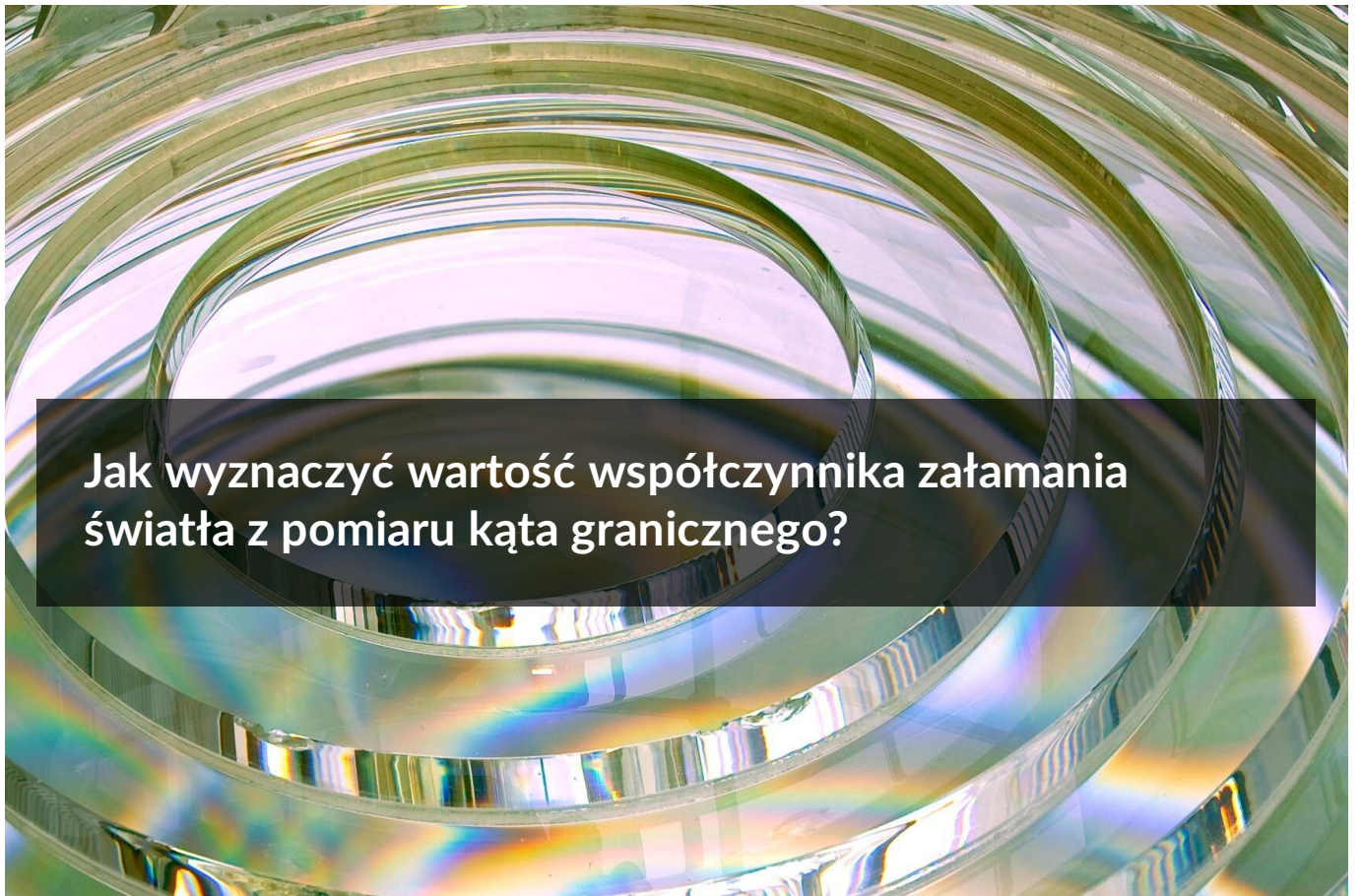


Jak wyznaczyć wartość współczynnika załamania światła z pomiaru kąta granicznego?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium WL-I](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Jak wyznaczyć wartość współczynnika załamania światła z pomiaru kąta granicznego?

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.shutterstock.com/image-photo/fresnel-lens-lighthouse-beacon-rotated-on-4035514> [dostęp 24.04.2022].

Czy to nie ciekawe ?

Światło w przezroczystych ośrodkach rozchodzi się z różnymi prędkościami. Na granicy dwóch ośrodków, gdy przechodzi z jednego do drugiego, następuje zmiana kierunku propagacji, czyli załamanie światła. Wielkością opisującą załamanie światła i powiązaną z prędkością rozchodzenia się światła w ośrodku jest współczynnik załamania. Różne materiały mają, co oczywiste, różne współczynniki załamania. Dokładna znajomość tych współczynników jest niezbędna do produkcji soczewek, czy światłowodów. Jak zatem zmierzyć współczynnik załamania jakiegoś materiału? Prosty sposób pomiaru tego parametru poznasz w tym e-materiale!



Rys. a. Dzięki odpowiedniemu współczynnikowi załamania światła możemy uwięzić światło w światłowodzie.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/photos/fiberglass-light-light-line-led-1118071/> [dostęp 3.08.2022].

Twoje cele

- wyprowadzisz związek między współczynnikiem załamania ośrodka, a kątem granicznym,
- wykonasz doświadczenie w wirtualnym laboratorium, w którym zmierzysz współczynnik załamania wody,
- rozwiążesz zadania dotyczące zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia.

Przeczytaj

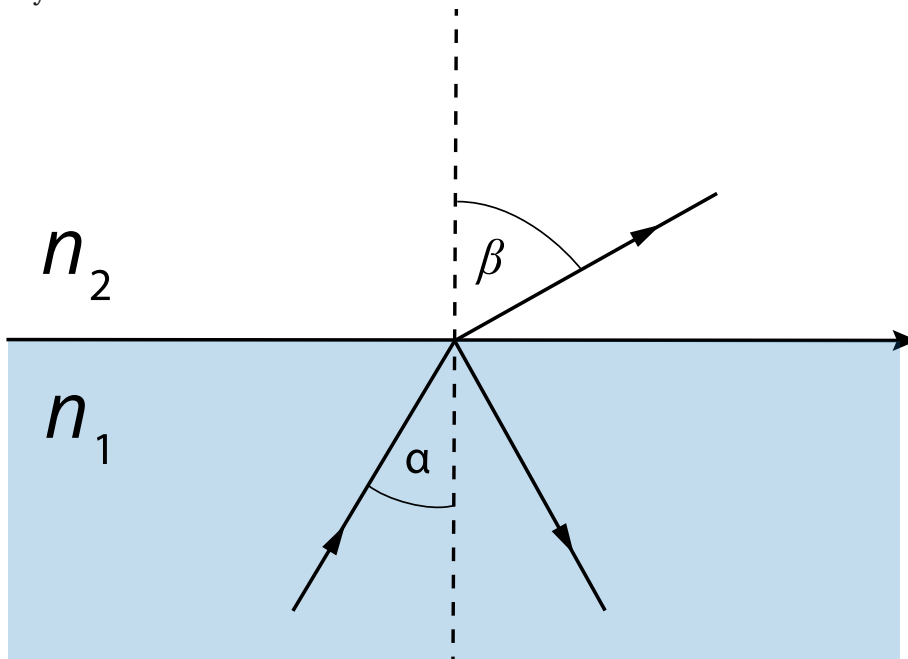
Warto przeczytać

W próżni światło rozchodzi się zawsze ze stałą prędkością $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Z kolei w materiałach średnia prędkość rozchodzenia się światła jest zawsze mniejsza i wynosi $v = \frac{c}{n}$, gdzie n jest parametrem materiałowym zwanym współczynnikiem załamania.

Od współczynników załamania ośrodków zależy bieg promieni światła. Gdy promień światła pada na granicę ośrodków o współczynnikach załamania n_1 i n_2 , zawsze pewna jego część ulega odbiciu, a pozostała część **załamaniu**. Dalszy bieg załamanego promienia opisuje prawo Snella:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta,$$

gdzie α to kąt padania, β to kąt załamania, a promień pada od strony ośrodka o współczynniku załamania n_1 do ośrodka o współczynniku załamania n_2 . Zjawisko to jest zilustrowane na Rys. 1.

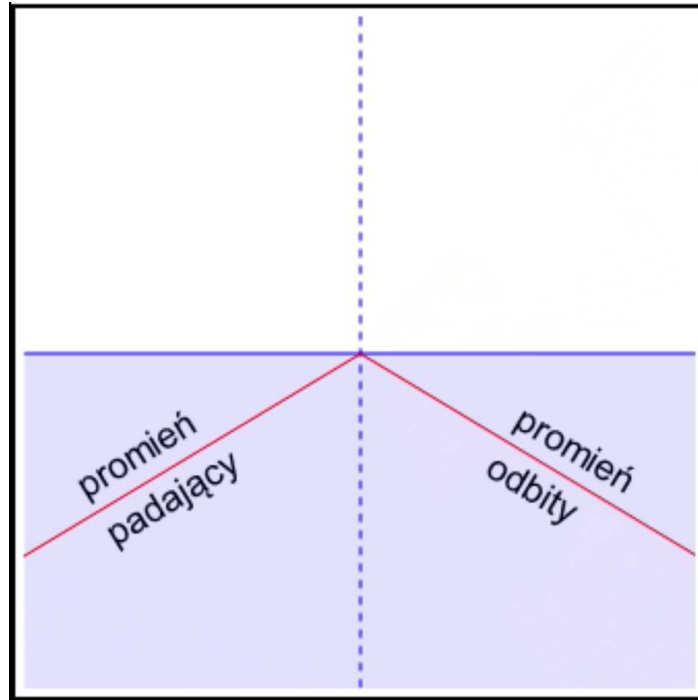


Rys. 1. Zjawisko załamania i odbicia światła od granicy dwóch ośrodków.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Można zauważyć, że gdy $n_1 > n_2$, kąt β musi być większy niż α , tak jak na rysunku powyżej. Taka sytuacja w praktyce ma miejsce, gdy np. światło pada spod wody na granicę z powietrzem, lub wychodzi ze szklanej soczewki w powietrze.

Wykonajmy teraz pewien eksperyment myślowy. Kierujmy promień padający pokazany na Rys. 1., pod coraz większymi kątami padania α . Kąt β będzie zwiększał się, aż w pewnym momencie promień załamany, po przejściu do powietrza, będzie „ślizgał się” po powierzchni wody, a kąt załamania będzie równy 90° . Jeśli teraz zwiększymy kąt padania α jeszcze bardziej, światło wcale nie przejdzie do powietrza. Promień padający całkowicie odbije się i pozostanie pod wodą. To zjawisko nosi nazwę *całkowitego wewnętrznego odbicia* (Rys. 2.).



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/Rsw1H8W9oXzIg](#)

Rys. 2. Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Rys. 2. Na rysunku znajduje się animacja, czyli ruchomy obrazek. Na rysunku znajduje się długa pozioma linia, oznaczająca powierzchnię graniczną dwóch ośrodków. Obszar nad linią jest biały, pod linią niebieski. Pośrodku powierzchni granicznej poprowadzono linię prostopadłą do linii poziomej, czyli normalną. W punkt przecięcia linii poziomej i normalnej od dołu celuje strzałka skierowana ukośnie w górę i w prawo. Strzałka ta symbolizuje promień padający. Z punktu przecięcia linii poziomej i normalnej wychodzą dwie strzałki. Jedna skierowana ukośnie w dół i w prawo symbolizuje promień odbity, druga skierowana ukośnie w górę i w prawo symbolizuje promień załamany. Kąt między promieniem odbitym i normalną jest taki sam, jak kąt między promieniem padającym a normalną. Kąt między promieniem załamanym i normalną jest większy niż kąt między promieniem padającym a normalną. W trakcie animacji promień padający zmienia kierunek tak, że kąt między promieniem padającym i normalną zwiększa się, czyli promień padający odchyła się od normalnej. Jednocześnie promień odbity oraz promień załamany też odchylają się od normalnej. W momencie, gdy kąt między promieniem załamanym i normalną staje się równy kątowi prostemu, promień załamany znika i pozostaje tylko promień padający i odbity.

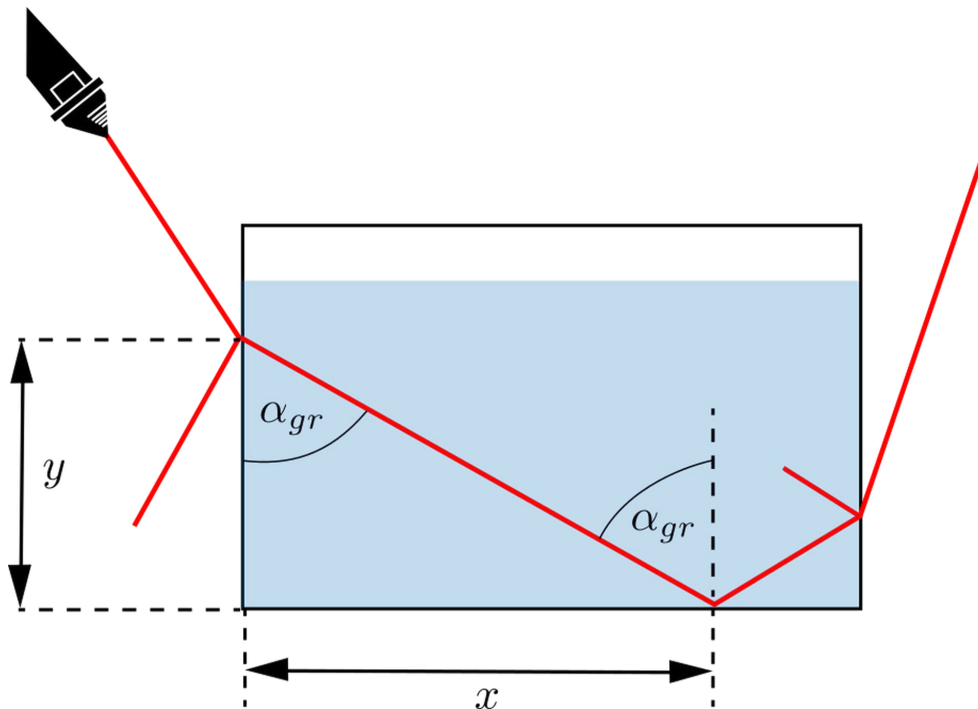
Maksymalny kąt padania, dla którego światło jeszcze opuszcza wodę, ale już porusza się po jej powierzchni, nazywamy *kątem granicznym* α_{gr} . Aby otrzymać wzór na kąt graniczny, zastosujmy prawo Snella do sytuacji, gdy wiązka pada pod tym kątem na granicę ośrodków.

$$n_1 \sin \alpha_{gr} = n_2 \sin 90^\circ$$

$$n_1 \sin \alpha_{gr} = n_2$$

$$\sin \alpha_{gr} = \frac{n_2}{n_1}$$

Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia możemy wykorzystać, by zmierzyć współczynnik załamania wody. W tym celu nalewamy wody do szklanego zbiornika do doświadczeń optycznych. Takie zbiorniki często są dostępne w szkolnych pracowniach fizycznych. Zasłaniamy wszystkie okna i gasimy światło, aby w sali było ciemno. Następnie bierzemy wskaźnik laserowy i świecimy nim tak, jak pokazano na Rys. 3. Uwaga! Musisz robić to bardzo ostrożnie, żeby wiązka lasera odbita od szkła nie trafiła Ci do oka. To grozi utratą wzroku.



Rys. 3. Schemat doświadczenia mającego na celu wyznaczenie współczynnika załamania wody.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>

Maksymalną dokładność pomiaru współczynnika załamania uzyskamy, jeśli wiązka lasera będzie padać na bok zbiornika na wysokości powierzchni wody. Zatem, cały czas celując laserem w ten punkt, należy ustawić go na tyle pionowo, żeby wiązka po przejściu przez wodę częściowo załamała się na dnie zbiornika. Gdzieś na stole, na którym stoi zbiornik, lub na ścianie sali powinno być widać plamkę lasera pochodzącą od wiązki załamanej. Teraz, w dalszym ciągu celując laserem w ten sam punkt, spróbujmy tak przesuwając laser, aby wiązka padała na bok zbiornika pod coraz mniejszym kątem. Plamka lasera pochodząca od

wiązki załamanej powinna przesuwac się w góre, aż w końcu zniknie. To oznacza, że właśnie doszło do całkowitego wewnętrznego odbicia na dnie zbiornika. W tym momencie wiązka lasera pada na dno pod kątem granicznym α_{gr} tak, jak jest to pokazane na Rys. 3.

To doświadczenie najlepiej jest robic z druga osoba. Osoba ta powinna zaznaczyc na dnie zbiornika punkt padania wiązki lasera. Następnie można już włączyc światło i zmierzyc linijką odległości x i y oznaczone na Rys. 3. Znajac je, można obliczyc sinus kąta granicznego $\sin \alpha_{gr}$ jako stosunek odpowiednich boków powstałego trójkąta:

$$\sin \alpha_{gr} = \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}.$$

Korzystając z sinusa kąta granicznego bardzo łatwo jest obliczyc współczynnik załamania wody. Ponieważ ośrodkiem, w stronę którego podaża wiązka lasera przed całkowitym wewnętrznym odbiciem, jest powietrze, w prawie Snella n_2 będzie współczynnikiem załamania powietrza. Wiemy, że dla powietrza $n_2 = 1,0003$. Dla naszych celów ten współczynnik załamania można bez obaw przyblizyc do jedynki. Stąd otrzymujemy:

$$n_1 = \frac{1}{\sin \alpha_{gr}} = \frac{\sqrt{x^2+y^2}}{x}.$$

Zatem jeśli wstawimy do tego wzoru wyniki naszych pomiarów, uda nam się wyznaczyć wartość współczynnika załamania wody n_1 .

Słowniczek

załamanie światła

(*ang. refraction of light*) – zjawisko, w którym promień światła pada na granicę ośrodków optycznych. Promień padający dzieli się na promień odbity i załamany, a promień załamany jest nachylony do granicy ośrodków pod innym kątem, niż padający. Kierunek biegu promienia załamanego opisuje prawo Snella.

całkowite wewnętrzne odbicie

(*ang. total internal reflection*) – zjawisko, w którym promień pada na granicę ośrodków od strony ośrodka o większym współczynnikiem załamania. Kąt padania jest na tyle duży, że promień całkowicie odbija się od granicy ośrodków i nie istnieje promień załamany.

kąt graniczny

(*ang. critical angle*) – maksymalny kąt padania promienia światła na granicę ośrodków, od strony ośrodka o większym współczynnikiem załamania, dla którego zachodzi jeszcze załamanie, a promień załamany przechodzi do drugiego ośrodka wzdłuż granicy ośrodków.

Wirtualne laboratorium WL-I

Jak wyznaczyć wartość współczynnika załamania światła z pomiaru kąta granicznego?

Zmierz współczynnik załamania światła dla wody na dwa sposoby. W obu doświadczeniach wykorzystasz związek pomiędzy współczynnikiem załamania światła a granicznym kątem całkowitego wewnętrznego odbicia na granicy wody z powietrzem. Czym różnią się te doświadczenia? Przekonaj się.

Doświadczenie 1

Pomiar jednokrotny

Problem badawczy

Celem doświadczenia jest wyznaczenie współczynnika załamania światła w wodzie na podstawie pojedynczego pomiaru granicznego kąta całkowitego wewnętrznego odbicia.

Hipoteza

Pomiar jednokrotny na ogół nie zapewnia zadowalającej dokładności wyniku.

Co będzie potrzebne

Zapoznaj się z opisem: celu eksperymentu, metody pomiarowej oraz wyposażenia wirtualnego laboratorium.

Ćwiczenie 1

Uwaga! Laser jest groźny dla ludzkiego wzroku

Jedną z wad używania lasera, nawet stosunkowo niewielkiej mocy (jak w przypadku wskaźnika laserowego), jest konieczność unikania patrzenia w wiązkę, kierowania wiązki w oczy osób uczestniczących w eksperymencie oraz, co najtrudniejsze, unikania powodowania przypadkowych odbić wiązki laserowej i niezamierzonego trafienia takiej odbitej wiązki w ludzkie oko.

Laser jest jednak w dzisiejszych czasach typowo używanym źródłem światła do doświadczeń z optyki geometrycznej. Ma wiele zalet w porównaniu ze stosowanymi dawniej w tym celu źródłami jak świeczka, światło słoneczne, łuk elektryczny, czy żarówka.

Ćwiczenie 2

Pomiar kąta bez kątomierza

Zapoznaj się z fragmentem instrukcji, w którym opisana jest metoda pomiaru oraz instrukcją postępowania. W razie potrzeby wykonaj jedną czy dwie próby uzyskania prawidłowego ustawienia lasera.

Wiesz zapewne, że typowo używanym przyrządem do pomiaru kątów jest kątomierz. W wirtualnym laboratorium zaproponowano zamiast tego pomiar długości x i y wybranych odcinków. Są one przyprostokątnymi trójkąta prostokątnego; na ich podstawie wyznaczysz dowolną funkcję trygonometryczną kąta granicznego całkowitego wewnętrznego odbicia α_{gr} .

Ćwiczenie 3

Dlaczego nie kątomierz?

Podaj przynajmniej jeden argument przemawiający za wyborem linijki do pomiaru dwóch długości i wyznaczeniem, na tej podstawie, granicznego kąta całkowitego wewnętrznego odbicia, w miejsce typowego stosowania kątomierza do bezpośredniego pomiaru tego kąta.

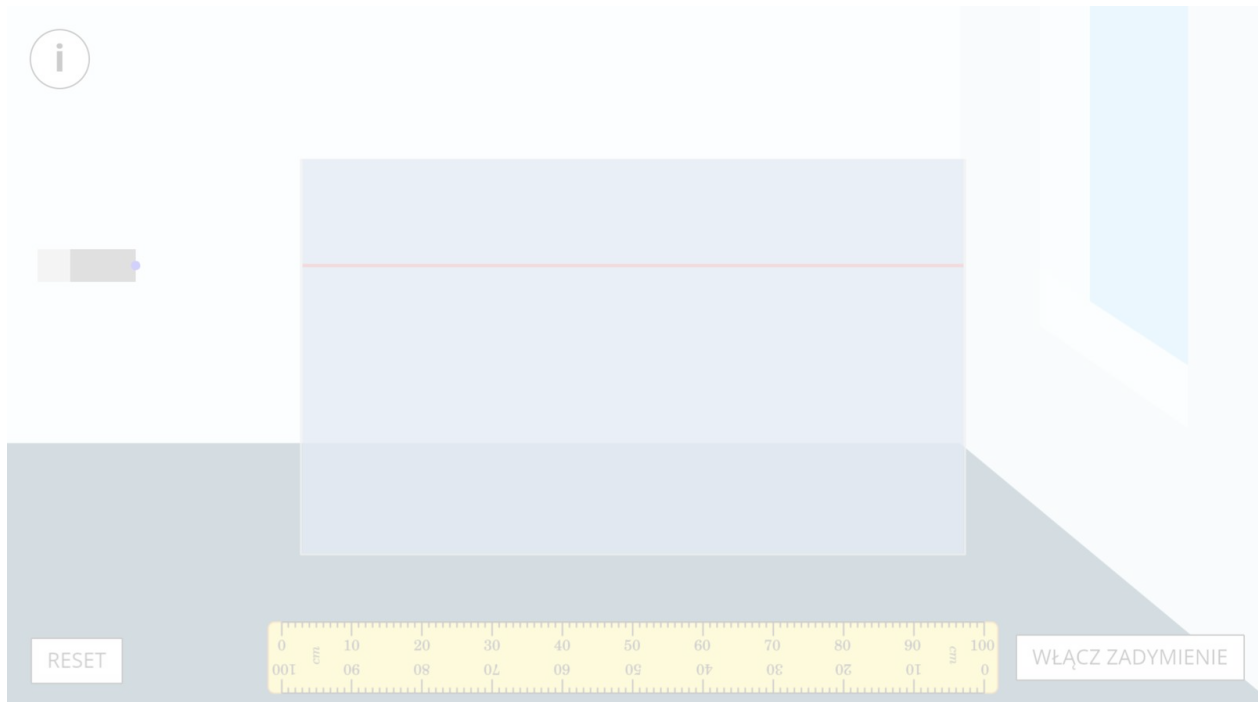
Instrukcja

Zapoznaj się z instrukcją postępowania zawartą w wirtualnym laboratorium. Na schemacie w poleceniu 2. pokazano jedno z wielu możliwych ustawień lasera, które prowadzi do uzyskania kąta padania światła α na granicę woda-powietrze praktycznie równego kątowi granicznemu α_{gr} . W rzeczywistości światło wychodzi z wody do powietrza, więc $\alpha < \alpha_{gr}$. Jednak minimalny obrót lasera w kierunku zgodnym ze wskazówkami zegara spowodowałby już zniknięcie promienia załamane.

Polecenie 1

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Przeprowadź pomiar zgodnie z zawartą instrukcją.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D14nuzoGE>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Podsumowanie

Opracuj wyniki pomiarów zgodnie z instrukcją zawartą w wirtualnym laboratorium.

Oblicz względną niepewność (iloraz niepewności standardowej przez uzyskaną wartość)

$u_w(n) = \frac{u(n)}{n}$. Oblicz także różnicę $\Delta n_t = n_t - n$ pomiędzy uzyskaną wartością n a wartością tablicową n_t współczynnika załamania światła w wodzie. Oblicz iloraz $\frac{\Delta n_t}{n_t}$ i porównaj go ze względną niepewnością $u_w(n)$.

Polecenie 2

Przypomnij sobie pojęcia „dokładność pomiaru” oraz „precyzja pomiaru”. Są one opisane w e-materiale „*Dokładność i precyzja podczas dokonywania pomiarów*”. Zapisz swoje wnioski w postaci odpowiedzi do następujących zagadnień. Podaj krótkie uzasadnienie każdej odpowiedzi.

1. Czy uzyskany wynik uznajesz za dokładny?
2. Czy uzyskany wynik uznajesz za precyzyjny?
3. Czy uzyskany wynik jest zgodny z postawioną hipotezą?
4. Czy uzyskany wynik uzasadnia powtórzenie pomiaru, w tym wykonanie serii pomiarów?

Doświadczenie 2

Pomiar wielokrotny

Problem badawczy

Celem doświadczenia jest wyznaczenie współczynnika załamania światła w wodzie poprzez wykonanie serii pomiarów.

Hipoteza

Uzyskany wynik jest dokładniejszy – jego niepewność pomiarowa jest mniejsza – niż w przypadku pojedynczego pomiaru.

Co będzie potrzebne

Wykorzystaj wyposażenie dostępne w wirtualnym laboratorium.

Przygotuj arkusz kalkulacyjny z następującymi kolumnami i odpowiednimi formułami.

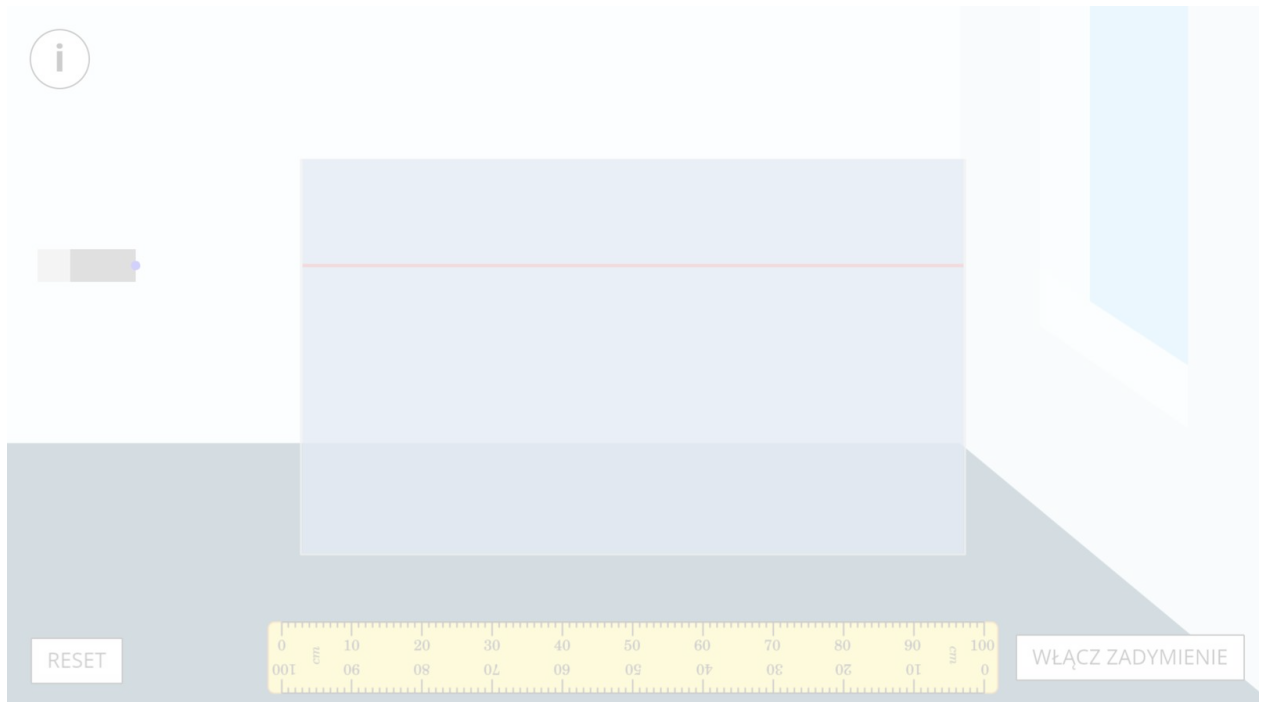
W ostatnim wierszu, po wpisaniu odpowiednich formuł, uzyskasz średnią wartość serii oraz niepewność pomiarową tej średniej.

Możesz zaproponować własną organizację arkusza.

Instrukcja

1. Ustaw laser w losowym położeniu.
2. Obróć laser i uzyskaj bieg światła taki, by kąt załamania przy wyjściu z wody do powietrza był możliwie bliski 90° . Zmierz długości x i y boków odpowiedniego trójkąta, zgodnie z instrukcją zamieszczoną w wirtualnym laboratorium. Wpisz wyniki do przygotowanego arkusza kalkulacyjnego.
3. Bez przesuwania lasera zmień kierunek biegu światła o najmniejszą możliwą wartość tak, by promień światła uległ całkowitemu wewnętrznemu odbiciu na granicy woda-powietrze. Zmierz długości x i y boków odpowiedniego trójkąta. Wpisz wyniki do przygotowanego arkusza kalkulacyjnego.
4. Przesuń laser w nowe, losowo wybrane położenie. Przeprowadź pomiary opisane w punktach 2. i 3., łącznie co najmniej w dziesięciu różnych położeniach lasera, do uzyskania co najmniej dwudziestu wyników.

Przeprowadź serię pomiarów zgodnie z instrukcją.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D14nuzoGE>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Podsumowanie

Opracuj wyniki swoich pomiarów; wykorzystaj przygotowany arkusz kalkulacyjny. W razie potrzeby przypomnij sobie podstawowe pojęcia opisane w e-materiałach „Wynik serii pomiarów powtarzalnych i jego niepewność standardowa” i „Co to takiego histogram?”.


- Oblicz średnią wartość uzyskanych wyników $n_{\bar{s}_r}$.
- Oblicz rozrzut wyników, czyli odchylenie standardowe rozkładu s_{n_1} .
- Oblicz $u(n)$, czyli odchylenie standardowe średniej $s_{n_{\bar{s}_r}}$.
- Nanieś uzyskane wartości współczynnika załamania światła na histogram.
- Uzupełnij histogram o trzy ilościowe cechy rozkładu, obliczone wyżej.
- Skomentuj rozkład wyników (czy jest on symetryczny, czy ma jedno maksimum, jak umiejscowione są trzy obliczone cechy ilościowe na tle wyników).

Polecenie 3

Porównaj uzyskany wynik z wynikiem uzyskanym w pierwszym doświadczeniu. Zapisz swoje wnioski w postaci odpowiedzi do następujących zagadnień. Podaj krótkie uzasadnienie każdej odpowiedzi.

1. Czy drugi wynik uznajesz za dokładniejszy?
2. Czy drugi wynik uznajesz za bardziej precyzyjny?
3. Czy potwierdzasz hipotezę postawioną w drugim doświadczeniu?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Światło pada na granicę ośrodków, z ośrodka współczynnika załamania n_1 , do ośrodka o współczynnika załamania n_2 . Udowodnij, że całkowite wewnętrzne odbicie może nastąpić wtedy i tylko wtedy, gdy $n_1 > n_2$.

Ćwiczenie 4

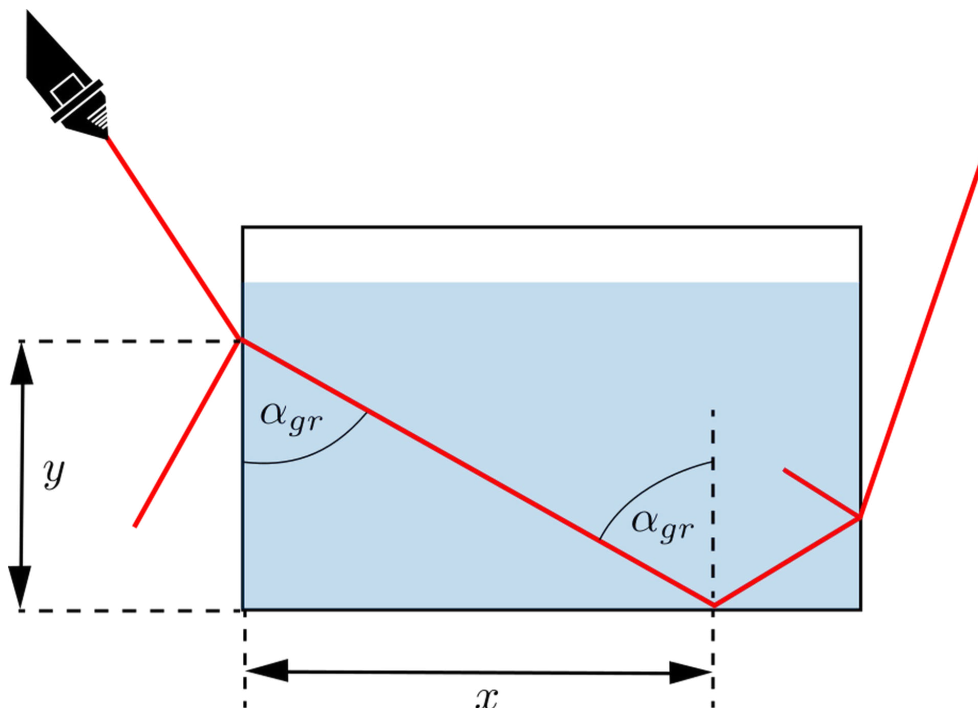


Ćwiczenie 5



Informacja do zadań 6-8.

Uczniowie mierzyli współczynnik załamania wody znajdującej się w szklanym zbiorniku, świecąc przez tę wodę wskaźnikiem laserowym. Zaobserwowali oni, że gdy zaświeci się laserem tak, jak pokazano na rysunku, promień ulegnie całkowitemu wewnętrznemu odbiciu od dna zbiornika. Uczniowie korzystając z linijki o podziałce równej 1 mm zmierzyli odległości $x = 28,7$ cm i $y = 25,2$ cm.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Wskaźnik laserowy można było umieścić w wielu miejscach tak, aby doszło do całkowitego wewnętrznego odbicia. Niekoniecznie należało robić to tak, jak pokazano na rysunku. Można było np. umieścić laser niżej, tak by całkowite wewnętrzne odbicie następowało nadal przy spodzie zbiornika. Można było również zaświecić laserem od spodu tak, by całkowite wewnętrzne odbicie zaszło przy bocznej ścianie zbiornika. Jednak ustawienie lasera wybrane przez uczniów daje najbardziej precyzyjny pomiar współczynnika załamania wody. Wyjaśnij dlaczego.

Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Konspekt (scenariusz) lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krzysztof Lorek
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak wyznaczyć wartość współczynnika załamania światła z pomiaru kąta granicznego?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem.</p> <p>X. Fale i optyka. Uczeń:</p> <p>20) doświadczalnie: e) wyznacza wartość współczynnika załamania światła z pomiaru kąta granicznego.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none">• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,• kompetencje cyfrowe,• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> wyprowadzi związek między współczynnikiem załamania ośrodka, a kątem granicznym. wykona doświadczenie w wirtualnym laboratorium, w którym zmierzy współczynnik załamania wody. rozwiąże zadania dotyczące zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszewacyjna
Metody nauczania:	<ul style="list-style-type: none"> - wykład, - doświadczenie w wirtualnym laboratorium, - doświadczenie.
Formy zajęć:	<ul style="list-style-type: none"> - praca w parach, - praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	WL_I, szklana kuweta z wodą, wskaźnik laserowy, mazak, linijka lub centymetr
Materiały pomocnicze:	„Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki” T. Dryński
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel na poprzedniej lekcji zadaje do domu pobawienie się w wirtualnym laboratorium dołączonym do tego e-materiału i pomyślenie nad metodą najbardziej precyzyjnego pomiaru współczynnika załamania wody. Zadaniem dodatkowym dla chętnych może być wykonanie zrzutu ekranu takiego ustawienia lasera w wirtualnym laboratorium oraz wyprowadzenie wzorów potrzebnych do wyznaczenia współczynnika załamania. Osoby chętne powinny przysłać swoje wyniki nauczycielowi e-mailem przed lekcją i mogą zostać nagrodzone ocenami celującymi.</p>	
Faza realizacyjna:	

- Nauczyciel przedstawia uczniom eksperyment, który zostanie wykonany. Będzie on przeprowadzony identycznie, jak w multimediu bazowym tego e-materiału. Do kuwety należy wcześniej wlać wody. Aby uzyskać lepszy efekt Tyndalla w wodzie, można wlać odrobinę mleka, ale nie za dużo, żeby nie stała się mętna. Najlepiej jest również zasłonić okna w sali i podczas eksperymentu zgasić światło, by lepiej było widać promienie. Nauczyciel, dyskutując z uczniami i korzystając z sugestii osób, które wykonały zadanie domowe dla chętnych, ustala najlepszy sposób pomiaru współczynnika załamania. Jest to sposób pokazany na rysunku do zadań 6-8. Nauczyciel podaje uzasadnienie takie, jak w rozwiązaniu zadania 7.

- Nauczyciel rysuje na tablicy bieg promienia i wyprowadza wzór na współczynnik załamania w oparciu o odległości x i y . Wspomina przy tym, że odległości x i y zostaną zmierzone linijką bądź centymetrem. Wyprowadzenie jest podane w zadaniu 6.

- Ochotnik z sali mierzy odległość y między lustrem wody a spodem kuwety. Następnie przy zgaszonym świetle ochotnik świeci laserem, w sposób pokazany na rysunku do zadań 6-8. Pozostali uczniowie obserwują plamkę lasera na ścianie, która odpowiada promieniowi załamanemu. Kiedy plamka zniknie i zostanie znaleziony kąt graniczny, drugi ochotnik oznacza mazakiem na spodzie kuwety miejsce, w którym znajdowała się plamka lasera i nastąpiło całkowite wewnętrzne odbicie. Po włączeniu światła ochotnik mierzy odległość x , między końcem kuwety, a oznaczonym miejscem.

- Po zakończonym eksperymencie, wyniki pomiarów x i y są zapisane na tablicy. Nauczyciel prosi uczniów o obliczenie współczynnika załamania wody. W razie potrzeby, nauczyciel chodzi po klasie i pomaga uczniom, a na koniec omawia wynik. W przypadku bardzo zdolnej grupy można również przeprowadzić rachunek błędów podobnie, jak w zadaniu 8.

Uwaga! Nauczyciel musi uważać, żeby uczniowie nie zaświecili sobie laserem w oczy. Pamiętajmy, że wiązka lasera może odbić się i załamać zarówno na granicy powietrze-woda, jak i na granicy powietrze-szkło. Wskaźnik laserowy daje światło o wystarczająco dużym natężeniu, żeby mogło dojść do uszkodzenia wzroku.

Faza podsumowująca:

Nauczyciel przypomina sposób wyznaczania współczynnika załamania wody z pomiaru kąta granicznego.

Praca domowa:

Zadania: 4 i 5 z zestawu ćwiczeń.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Doświadczenie w wirtualnym laboratorium uczniowie powinni wykonać samodzielnie. Wykonanie go przez nauczyciela nie da takiego samego efektu. Uczniowie mogą wykonać doświadczenie w wirtualnym laboratorium w domu po lekcji w celu zweryfikowania zdobytej wiedzy lub na lekcji. Wirtualne laboratorium może również pełnić funkcję instruktażu dla nauczyciela, gdyby nie potrafił wykonać eksperymentu.
--	--