XXXV OLIMPIADA FIZYCZNA (1985/1986). Stopień II, zadanie doświadczalne – D.

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
Waldemar Gorzkowski, Piotr Nowicki: *Fizyka w Szkole* nr 4, 1986.

Nazwa zadania: Wyznaczanie współczynnika załamania cieczy korzystając z obrazów linii.

Działy: Optyka geometryczna.

Słowa kluczowe: prawo Snelliusa, współczynnik załamania, zwierciadło płaskie, obraz, ciecz, zwierciadło, linia, kreska, kartonik.

Zadanie doświadczalne – D, zawody II stopnia, XXXV OF.

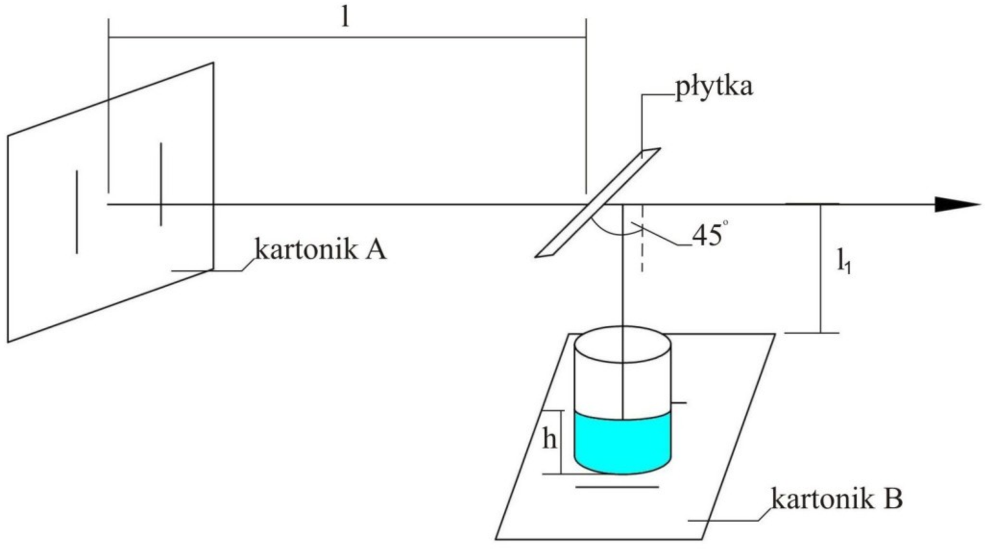
Dysponując zlewką, naczyniem z badaną cieczą, zwierciadłem półprzepuszczalnym (płytką szklaną), dwoma identycznymi kartonikami naniesionymi równoległymi kreskami, ekierką o kącie 45º, statywem z łapą, podstawką, lampą i papierem milimetrowym (2 arkusze) wyznacz współczynnik załamania cieczy.

Rozwiązanie

Pomiar wykonuje się w układzie przedstawionym na rys. 1. Dobieramy tak odległości, by obrazy kartoników pokryły się. Obrazy zgrywamy przy różnych wysokościach wody w zlewce otrzymując w ten sposób zależność $l(h)$. Wysokość l_1 utrzymujemy przy tym stałą. Wiedząc (wyprowadzenie dalej), że

$$l(h) = const + h\left(\frac{1}{n} - 1\right)$$

z nachylenia prostej $l(h)$ wyznaczamy $\frac{1}{n} - 1$ a stąd n.



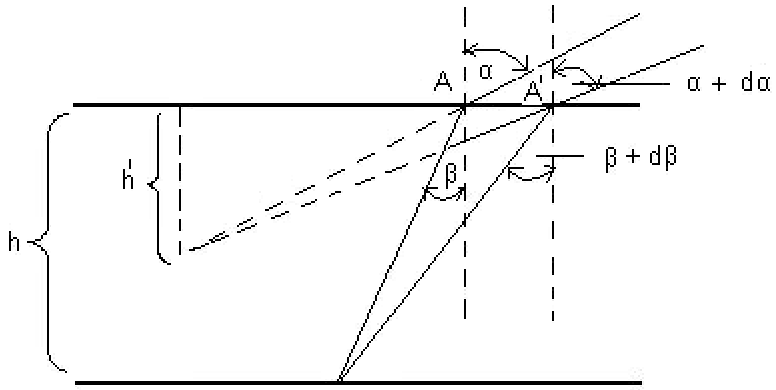
Rys. 1

Aby wyprowadzić zależność (1) skorzystajmy z rys. 2 i wprowadzonych tam oznaczeń. Z prawa załamania mamy

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n,$$

skąd

$$\mathrm{d}\beta = \mathrm{d}\alpha \frac{\cos\alpha}{n\cos\beta}\,.$$



Rys. 2

Zatem

$$AA' = h\,\mathrm{tg}(\beta + \mathrm{d}\beta) - h\,\mathrm{tg}\,\beta = \\ = h'\,\mathrm{tg}(\alpha + \mathrm{d}\alpha) - h'\,\mathrm{tg}\,\alpha\,.$$

Stąd

$$h' = h\frac{\mathrm{tg}(\beta + \mathrm{d}\beta) - \mathrm{tg}\beta}{\mathrm{tg}(\alpha + \mathrm{d}\alpha) - \mathrm{tg}\alpha}$$

oraz

$$h' = h\frac{\mathrm{d}\beta}{\mathrm{d}\alpha}\cdot\frac{\mathrm{d}\,(\mathrm{tg}\beta)/\mathrm{d}\beta}{\mathrm{d}\,(\mathrm{tg}\alpha)/\mathrm{d}\alpha} = h\frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\beta}\cdot\frac{\mathrm{d}\beta}{\mathrm{d}\alpha}$$

Po odpowiednich przekształceniach wykorzystaniem wzorów podanych wyżej dostajemy.

$$h' = h\frac{\cos^2\alpha}{n\left(1 - \dfrac{\sin^2\alpha}{n^2}\right)^{3/2}}$$

Dla małych kątów otrzymujemy

$$h' = h/n\,.$$

Przy wyprowadzeniu powyższym można, rzecz jasna, od początku rozpatrywać tylko padanie prawie normalne.

Przesunięcie obrazu w stosunku do przedmiotu jest równe

$$h - h' = h\left(1 - \frac{1}{n}\right).$$

Wobec tego

$$l = const - h\left(1 - \frac{1}{n}\right).$$

Znak „–” przed h uwzględnia fakt, że dla wyznaczenia współczynnika kierunkowego prostej wystarczy zbadać zależność przyrostu l od przyrostu h. Zmiany l i h można mierzyć od podłoża, a l od położenia kartonika A przy pokrywaniu się obrazów w zwierciadełku przy pustej zlewce.

Instrukcja do ustawienia zadania w pracowni szkolnej

Zlewka powinna mieć około 10 cm wysokości. Cieczy powinno być tyle, by starczyło jej do napełnienia zlewki. Należy podać ją w naczyniu nieprzepuszczalnym by uniknąć pokusy wykorzystania tego naczynia do wykonywania jakiś pomiarów. Jako cieczy można użyć wody z kranu. Jako płytki szklanej używanej tu charakterze zwierciadła półprzepuszczalnego, można użyć pozbawionej emulsji szklanej płyty fotograficznej formatu 9 cm x 12 cm. Kartoniki o wymiarach około 10 cm x 10 cm można wyciąć z brystolu nanosząc na nie równolegle kreski o długości ok. 3 cm, odległe od siebie o 20 mm (w przybliżeniu). Grubość kresek powinna być mniejsza niż 1 mm. Należy wykonać je czarnym niezmywalnym tuszem lub wodoodpornym flamastrem (ze względu na możliwość zalania). Bardzo ważne jest by na obu kartonikach kreski były takiej samej długości w tej samej od siebie odległości. Statyw z łapą powinien umożliwić takie uchwycenie płytki szklanej, by była ona nachylona pod kątem 45^o do pionu (do ustawienia kąta wykorzystuje się ekierkę). Podstawka powinna umożliwiać osadzenie jednego z kartoników pozycji pionowej. Można ją wykonać z odpowiednio wygiętego drutu. Wysokość podstawki powinna umożliwiać zestawienie przyrządów zgodnie z rys. 1. Lampa służy do oświetlenia jednego z kartoników – tego, którego odbicie obserwuje się w płytce szklanej. Umożliwia ona poprawę stosunku jakości obrazów (obrazu kartonika widzianego na wprost i obrazu drugiego kartonika, odbitego w płytce).

Proponowana punktacja

A. Część teoretyczna

1. Opracowanie metody (zmiany l w zależności od zmian h)	do 5 pkt.
2. Wprowadzenie wzoru na h'	do 4 pkt.
3. Zwrócenie uwagi na liniowość funkcji $l(h)$	1 pkt.

B. Część doświadczalna

1. Opis układu doświadczalnego (z uwzględnieniem polepszenia stosunku oświetleń obrazów w zwierciadełku przy użyciu lampy)	do 3 pkt.
2. Pomiary	do 4 pkt.
3. Wynik	1 pkt.
4. Dyskusja niepewności pomiarowych	do 2 pkt.

Do rozwiązań nietypowych stosowano kryteria w zależności od dokładności metody.

Uwagi

Zadanie to sprawiło uczestnikom dużo trudności. Spośród uczestników, których prace sprawdzano w Komitecie Głównym, zaledwie około 1/4 posługiwała się metodą opisaną powyżej. Duże kłopoty sprawiło wyprowadzenie wzoru $h' = h/n$ (wszystkie poprawne wyprowadzenia rozważały przypadek padania prawie normalnego).

Zadanie próbowano rozwiązywać wieloma nietypowymi metodami, nie wykorzystującymi wszystkich elementów układu doświadczalnego. Spośród tych metod najlepsze wyniki (i wysoką punktację) dawał pomiar odchylenia biegu promienia światła padającego przez szczelinę na zlewkę częściowo wypełnioną cieczą. Rozwiązania traktujące zlewkę jako soczewkę (grubą lub cienką) zostały uznane za mało dokładne i oceniane nisko.

Zadanie wykazało zaskakująco słabą znajomość optyki geometrycznej przez uczestników – powszechne były błędy przy rysowaniu biegu promieni w zestawionym układzie optycznym.