



DOŚWIADCZENIE PO DESERZE

Okulary dla pływaka

Grzegorz Karwasz, Tomasz Wróblewski

Instytut Fizyki, Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk

Czasami wypada się umyć. Zanurzenie głowy w umywalce jest okazją do prostego doświadczenia, ilustrującego dwa równania optyki. Po pierwsze, ogniskowa soczewki (i zdolność skupiająca) zależy od ośrodka, w którym jest ona umieszczona. Po drugie – zdolność skupiająca (czyli odwrotność ogniskowej) układu soczewek blisko umieszczonych jest sumą ich zdolności skupiających.

Wiemy dobrze, że bez specjalnych okularów pod wodą widzimy wszystko zamazane – jak dalekowiedz o gigantycznej wadzie wzroku. Dzieje się tak, ponieważ zdolność skupiająca soczewki oka po zanurzeniu w wodzie znacznie się zmniejsza (tzn. ogniskowa się wydłuża).

Soczewka oka nurka znajduje się między dwoma ośrodkami: wodą (współczynnik załamania $n_1 = 1,33$) i ciałem szklanym oka (współczynnik załamania bardzo zbliżony do wody, $n_3 = 1,34$). Sama soczewka ma współczynnik załamania $n_2 = 1,44-1,47$. W pełnym równaniu soczewki (zob. poniżej) występuje względna różnica współczynników załamania ($n_2 - n_1$) i ($n_3 - n_2$). W wodzie różnica $n_2 - n_1$ wynosi zaledwie 0,11–0,13, więc soczewka traci na zdolności ogniskującej, jaką ma w powietrzu (kiedy $n_1 = 1$). Aby obrazy były nadal ogniskowane na siatkówce, należy użyć dodatkowej soczewki skupiającej.

Ale i soczewka szklana (typowe $n = 1,5$) traci zdolność skupiającą w wodzie. Należy więc użyć soczewki o małym promieniu krzywizny. Okazuje się, że umieszczając przy oku małą szklaną kulkę (np. zabawkowe bile z Chin o średnicy 16 mm), można oglądać wyraźnie nawet przedmioty blisko położone, jak grosz leżący na dnie umywalki.

Uwaga praktyczna: należy uważać, aby się w umywalce nie utopić!

PS Kto nie lubi maczać głowy w umywalce, może zrobić doświadczenie zastępcze – ocenić ogniskową kulki w powietrzu i w wodzie. Źródłem światła może być lampa na suficie łazienki, a ekranem dno umywalki, raz z wodą, raz bez. Z równań opisujących własności optyczne soczewek nie-cienkich (zob. „Soczewki grubasy”, *Foton* 86, jesień 2004) wynika że ognisko szklanej kulki (o $n = 1,5$) wypada w powietrzu w odległości 0,5 promienia za nią, natomiast w umywalce z wodą w odległości 3,4 promienia za soczewką.

Obliczenia:

1. Równanie soczewki cienkiej z materiału o współczynniku n_2 znajdującej się między dwoma ośrodkami o n_1 i n_3 obliczamy ze wzoru:

$$n_1/p + n_3/q = (n_2 - n_3)/R_2 + (n_2 - n_1)/R_1$$

Dla oka w powietrzu $n_1 = 1,0$, $n_2 = 1,47$, $n_3 = 1,37$, a $R_1 = 10$ mm (zewnątrzna powierzchnia soczewki) i $R_2 = 7$ mm (powierzchnia wewnętrzna). Przyjmując $p = \infty$, otrzymujemy $q = f_0 = 23$ mm. Wynik ten jest zgodny z typową „długością” ogniskowej oka według podręczników medycyny: 24 mm. Zdolność skupiająca ($D_1 = 1/f$) oka w powietrzu wynosi więc około 42 dioptrie (1 dioptria = 1/m).

Dla oka w wodzie (przyjmując $n_1 = 1,33$) otrzymuje się długość ogniskowej $f_1 = 53$ mm – obraz powstaje daleko poza siatkówką. Zdolność skupiająca oka w wodzie wynosi więc zaledwie 19 dioptrii.

2. Do obliczenia parametrów niezbędnych okularów wykorzystamy równanie na zdolność skupiającą D układu dwóch soczewek o D_1 i D_2 , blisko siebie położonych: $D = D_1 + D_2$.

Zdolność skupiająca okularów dla nurka powinna więc wynosić $D_2 = 23$ dioptrie, a ogniskowa f_2 około 43 mm. Pamiętając, że okulary są zanurzone w wodzie, przyjmując $n_2 = 1,5$ (szkło) i korzystając z równania soczewki $1/f = 2(n_2 - n_1)/R$, otrzymujemy $R = 14,6$ mm. Takie powinny być promienie krzywizny, o ile soczewka ma być dwuwypukła i cienka.

Dzięki doświadczeniu w umywalce okazuje się, że i szklana kulka o promieniu 8 mm pozwala na oglądanie monet na dnie. Ogniskowa kulki o promieniu R w wodzie jest odległa o $4,4 R$ od jej środka [1], czyli jej zdolność skupiająca dla $R = 8$ mm wynosi $D_2 = 28$ dioptrii, nieco więcej, niż wynika z obliczenia powyżej.

Zauważmy jednak, że przy patrzeniu na przedmioty z bliska wymagana jest większa siła skupiająca niż dla dali – do oglądania dna umywalki szklana kulka nadaje się zupełnie dobrze.

[1] Równania opisujące soczewki „grube”, jak szklana kulka, zostały opisane w numerze Fotonu z jesieni 2004. Por. też: wersja internetowa artykułu pod adresem

<http://lab.pap.edu.pl/~zs/optyka/grubasy.html>

i opis oka płetwonurka pod adresem <http://lab.pap.edu.pl/~zs/optyka/oko.html>