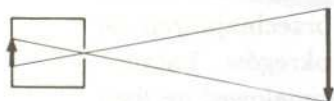
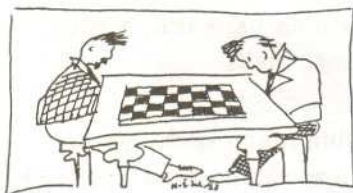
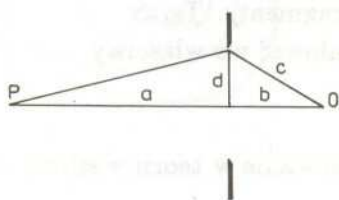


Camera obscura

Kazimierz PIETRASZKIEWICZ



Rys. 1



Rys. 2

Camera obscura, czyli ciemnia optyczna (dalej c.o.) została opisana przez Leonarda da Vinci (1452–1519). Działanie c.o. uważano za potwierdzenie prostoliniowego rozchodzenia się światła. Wiadomo było, że c.o. daje nieostre obrazy przy zbyt dużej średnicy otworka (co jest oczywiste), ale i także przy średnicy zbyt małej. Istnieje zatem średnica optymalna, przy której odwzorowanie w c.o. jest najlepsze. Jednak odpowiedź na pytanie: jaka powinna być optymalna średnica otworka w c.o., dała dopiero teoria dyfrakcji światła sformułowana przez A. Fresnela (1788–1827). Zastosujmy tę teorię do obliczenia średnicy otworka c.o. Przyjmijmy, że odległość punktu przedmiotu P od c.o. wynosi a , natomiast punkt obrazu O jest w odległości b . Załóżmy na początek, że mamy przedmiot w bardzo wielkiej odległości i że jest on źródłem fali monochromatycznej o długości λ . Fala ta dociera do c.o. jako fala płaska. Przyjmijmy też za Ch. Huygensem (1629–1695), że każdy punkt ośrodka, do którego dociera fala, staje się źródłem nowych fal wtórnych (punkty znajdujące się na powierzchni fazowej emitują fale zgodne w fazie). Wykreślmy na froncie falowym tej fali okrąg o promieniu c , z punktu O . Łatwo zauważyć, że jeżeli c będzie wynosił $b + \lambda/2$, to fale wtórne powstające na brzegu otworka będą się różnić o $\lambda/2$ od fal pochodzących ze środka, co doprowadzi do częściowego wygaszenia się tych fal w punkcie O . Z kolei wartość $c = b + \lambda/4$ zapewnia „praktycznie” zgodność faz fal wtórnych docierających do O . Jednak, czy nie jest to warunek zbyt ostry? Otóż jest! Kierując się zdrowym rozsądkiem przyjmijmy $c = b + \lambda/3$. Łatwo wyliczyć, że promień otworka wynosi $d \approx 0,8\sqrt{b\lambda}$, czyli jego średnica wynosi $D = 2d \approx 1,6\sqrt{b\lambda}$.

W tym miejscu warto zauważyć, że zdrowy rozsądek jest tutaj dobrym doradcą, gdyż ścisły wynik uzyskany przez Lorda Rayleigha (1842–1919) jest bardzo zbliżony do naszego szacowania. Według Rayleigha $D = 1,8\sqrt{b\lambda}$, a my otrzymaliśmy $D = 1,6\sqrt{b\lambda}$. Jednak ogólnie prawdą jest, że zdrowym rozsądkiem należy posługiwać się w fizyce bardzo ostrożnie.

Prenumerata „Deltę”
za okres:

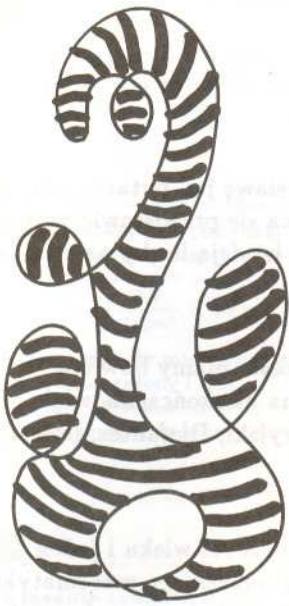
Prenumerata „Deltę”
za okres:

Prenumerata „Deltę”
za okres:

delt

delt

delt



Oszacujmy teraz wielkość plamki dyfrakcyjnej, czyli obrazu dyfrakcyjnego punktu. Plamka dyfrakcyjna składa się z obszaru centralnego (tzw. dysku Airy'ego, w którym skupione jest 83,8% energii) i otaczających go, coraz to słabszych, pierścieni. Przyjmijmy, że miarą tej wielkości będzie średnica centralnego dysku Airy'ego. Z teorii dyfrakcji wynika, że wynosi ona:

$$\Delta = \frac{1,22\lambda b}{D}$$

Wzór powyższy jest słuszny dla układów bezaberracyjnych. Zastosowanie go do c.o. da nam jedynie wynik przybliżony, gdyż naszej c.o. nie możemy traktować jako układu bezaberracyjnego (dlaczego?). Otrzymamy $\Delta \approx 0,5D$.

A więc plamka dyfrakcyjna jest mniejsza od średnicy otworka! Do sprawdzenia uzyskanych wyników możemy użyć popularnego aparatu typu *Zenit*. Wystarczy tylko wykrocić obiektyw. W jego miejsce przyklejamy (na przykład plastrem) kartonik z otworem w środku. Do otworka wklejamy kawałek folii aluminiowej. Teraz należy tylko wykonać w folii otworek. Jaka powinna być jego średnica? Otóż we wzorze na D należy podstawić $b = 45,5$ mm (jest to odległość otworka od płaszczyzny kliszy fotograficznej), a za λ podstawiamy 550 nm (jest to długość fali odpowiadająca maksimum czułości oka ludzkiego, a także maksimum czułości większości negatywowych materiałów czarno-białych). Otrzymamy $D \approx 0,25$ mm. Tak mały otworek można wykonać końcem igły krawieckiej. (Dla orientacji: średnica najcieńszych igieł wynosi około 0,6 mm.)

Aby wykonać zdjęcie poprawnie naświetlone, powinniśmy jeszcze określić wartość otworu względnego naszej c.o. Jest to stosunek ogniskowej do średnicy. W naszym przypadku wynosi on 180. Jeżeli światłomierz wskazuje, że w danych warunkach poprawne naświetlenie uzyskamy przy otworze względnym 8 i czasie $1/250$ s, to dla naszej c.o. wyniesie on:

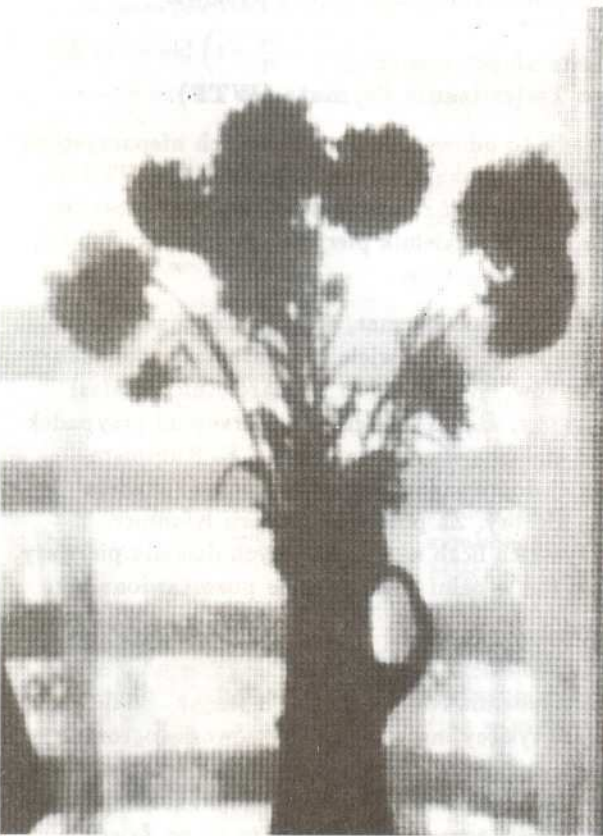
$$\tau = \frac{1}{250} \text{ s} \cdot \frac{180^2}{8^2} \approx 2 \text{ s}.$$

Skorzystaliśmy tutaj z prawa, które mówi, że fotochemiczne działanie promieniowania świetlnego zależy od iloczynu oświetlenia przez czas naświetlania. Niestety, prawo to zawodzi przy małych wartościach oświetlenia. Mamy tu do czynienia z efektem Schwarzschilda. Wyjaśnienia jego należy szukać na poziomie molekularnym.

Uwaga praktyczna: czas naświetlania powinien być około dwóch razy dłuższy, niż wynikałoby to z naszych szacowań. Z doświadczeń autora wynika, że dla zdjęć w jasny słoneczny dzień należy stosować czasy naświetlania około 4–8 s (dla średnio czułej błony).

Możemy także podjąć próby z materiałami barwnymi, jednak musimy sobie zdawać sprawę, że wielkość efektu Schwarzschilda dla poszczególnych warstw fotoczułych może być różna, co się objawi dominacją jednej z barw.

Oczywiście, aparat *camera obscura* możemy sami wykonać z kartonu.



Zdjęcie wykonane za pomocą *camera obscura*.