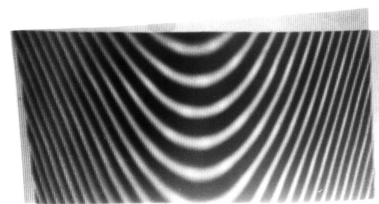
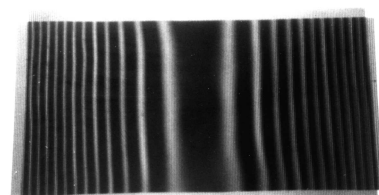


Czy dyfrakcję światła można obserwować na firance?

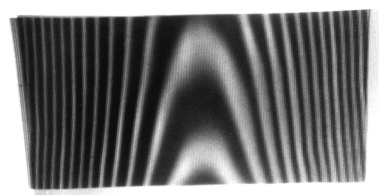
Stanisław
BEDNAREK



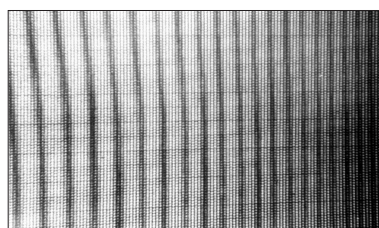
Fot. 1



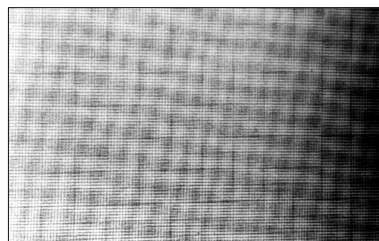
Fot. 2



Fot. 3



Fot. 4



Fot. 5

Zjawisko, które zostanie dalej opisane, niewątpliwie najłatwiej można zaobserwować właśnie na firance. Wystarczy spojrzeć na firankę o drobnych oczkach tworzącą draperie, czyli zachodzące na siebie fałdy, zawieszoną przed oknem, przez które przechodzi światło. Zauważymy wówczas szereg jasnych i ciemnych prążków występujących na przemian. Ich kształty są zwykle łagodne i nieregularne. Zmieniając punkt widzenia stwierdzamy, że kształty tych prążków również ulegają zmianom. Obserwowane zjawisko to mora. Jego nazwa pochodzi od arabskiego słowa muchajjar oznaczającego tkaninę, na powierzchni której można zobaczyć miejsca występowania ciemnych i jasnych prążków. W języku niemieckim tkanina taka nazywa się Mohr. Wziąwszy pod uwagę, że litera h nie jest w tym słowie wymawiana i uwzględniając występującą w języku polskim odmianę wyrazów otrzymuje się właśnie nazwę mora.

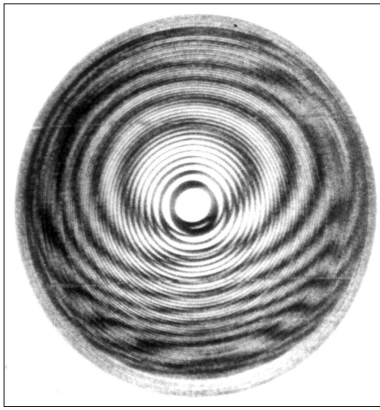
W pierwszej chwili wydawać by się mogło, że mora to wynik dyfrakcji i interferencji światła na nitkach tkaniny, czyli efekt taki jak w przypadku siatki dyfrakcyjnej. Ta hipoteza nie jest jednak prawdziwa. Rozmiary oczek firanki lub grubości nitek tkaniny są zbyt duże w porównaniu z długością fali światła, żeby dyfrakcja i interferencja odgrywały tu znaczącą rolę. Zjawisko mora możemy z powodzeniem obserwować, gdy oczka firanki są wielkości kilku milimetrów, natomiast długość fali światła widzialnego wynosi w przybliżeniu od 0,00038 mm, (światło niebieskie) do 0,00076 mm (światło czerwone). Długości fali światła są więc około 10 000 razy mniejsze od rozmiarów oczek. Jak wiadomo, efekty dyfrakcyjno-interferencyjne są istotne wtedy, gdy przeszkody, na które napotyka fala, mają rozmiary zbliżone do jej długości. Dla porównania podamy, że odległość między sąsiednimi szczelinami typowych siatek dyfrakcyjnych, znajdujących się w szkolnych pracowniach fizycznych, wynosi 0,01–0,05 mm.

Jest jeszcze jeden argument świadczący o tym, że mora powstaje inaczej, niż układ prążków tworzonych przez siatkę dyfrakcyjną. Jeżeli popatrzymy uważnie przez taką siatkę na źródło światła białego, to zauważymy rozszczepienie światła, podobnie jak dla tarczy. Tego efektu nie obserwujemy w przypadku mora.

Żeby wyjaśnić zjawisko mora weźmy pod uwagę dwa szeregi równoległych, nieprzezroczystych prętów o takiej samej grubości. Odległości między prętami jednego szeregu powinny się minimalnie różnić od odległości w drugim szeregu. Po nałożeniu szeregu jeden na drugi, możemy zaobserwować jaki obraz na ekranie utworzy przechodząca przez nie równoległa wiązka światła. Okaze się, że na ekranie powstaną jasne i ciemne obszary w postaci rozmieszczonych na przemian prążków. Szerokość tych prążków i odległość między nimi jest inna niż grubość prętów i ich odległości w obu szeregach. Otrzymany na ekranie układ prążków to właśnie najprostszy przypadek mora.

W przeprowadzonych rozważaniach nie rozpatrywaliśmy dyfrakcji światła padającego na pręty. Nie było takiej potrzeby, ponieważ mora jest efektem, polegającym na sumowaniu się natężeń światła przechodzącego przez nakładające się okresowe figury geometryczne o mało różniących się rozmiarach, kształcie lub położeniu (lub odbitego od nich). Morę można również obserwować, np. na dwóch identycznych kratkach, jeżeli będą one lekko skrócone względem siebie lub zostaną umieszczone na lekko pofalowanych powierzchniach. Sytuacja taka zachodzi właśnie podczas tworzenia się mora na firance. Rozpatrywane wcześniej szeregi nieprzezroczystych prętów można zastąpić płaskimi zwierciadłami w kształcie równoległych pasków. Jeżeli na taki układ rzucimy równoległą wiązkę światła, to promienie odbite również utworzą morę.

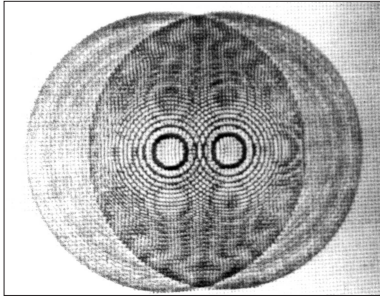
Rozważania zapoczątkowane dla układu prętów moglibyśmy kontynuować, nadając im bardziej ilościowy charakter. Otrzymalibyśmy wzory opisujące zależność między szerokością prążków i ich położeniem. Wydaje się jednak, że bardziej atrakcyjnym zajęciem, przynajmniej dla badaczy-amatorów, będą



Fot. 6

eksperymenty polegające na obserwacji mory wytwarzanej przez różne układy figur. Obserwacje te mogą również dostarczyć wielu wrażeń natury estetycznej, o które trudno byłoby podczas analizy wyprowadzonych wzorów.

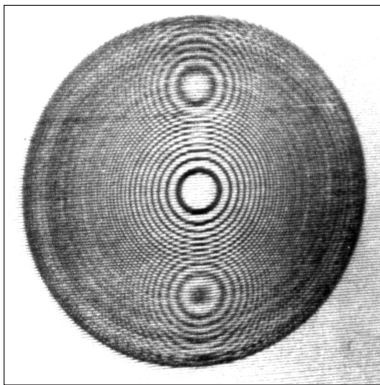
Nasze eksperymenty możemy rozpocząć od sprawdzenia działania opisanego układu równoległych, nieprzezroczystych prętów. W tym celu posłużymy się dwoma kawałkami kalki technicznej lub papieru częściowo przepuszczającego światło. Na pierwszym kawałku kalki rysujemy szereg złożony z 20–30 równoległych, całkowicie zaczernionych pasków o szerokości 5 mm, oddalonych od siebie także o 5 mm. Długość pasków powinna wynosić 3–5 cm. Na drugim kawałku rysujemy podobny szereg pasków, ale o szerokości 4,5 mm. Odległość między paskami pozostawiamy bez zmiany. Oba szeregi pasków nakładamy równolegle jeden na drugi i patrzymy przez nie w kierunku źródła światła. Przesuwamy paski względem siebie, a także skręcamy je o niewielki kąt i badamy wpływ tych zmian na powstającą morę.



Fot. 7

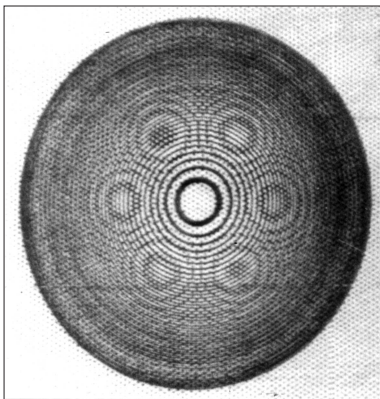
Do badania mory możemy również wykorzystać kawałki firanki, gazy lub innej rzadkiej tkaniny, naciągniętej na wyciętym z tektury okienku o rozmiarach kilku centymetrów, i przypiętej do niego spinaczami biurowymi. Odległość między nitkami tworzącymi oczka siatki łatwo jest w tym przypadku regulować przez zmianę napięcia tkaniny. Do obserwacji mory bardzo dobrze nadają się także kawałki metalowej siatki o rozmiarach oczek od kilku milimetrów do ułamka milimetra. W najprostszych przypadkach możemy posłużyć się siatkami używanymi w gospodarstwie domowym, które nakładamy tak, żeby ich oczka znajdowały się blisko siebie.

Dostęp do rzutnika pisma, tzw. grafoskopu, używanego powszechnie w szkołach, pozwoli nam uzyskać duże obrazy mory na ekranie i przeprowadzić pokazy tego zjawiska dla liczniejszej grupy osób przy użyciu niewielkiej liczby siatek. W tym celu wybieramy dwie siatki, układamy je na szybie grafoskopu i regulujemy ostrość, tak żeby na ekranie pojawiły się jak najwyraźniejsze prążki. Obrazy otrzymane na ekranie, dzięki ich znacznym rozmiarom i dużej jasności, możemy łatwo fotografować używając zwykłego aparatu fotograficznego zamocowanego na statywie. Właśnie w ten sposób wykonano fotografie mory zamieszczone w tym artykule. Mora przedstawiona na fotografii 1 została otrzymana za pomocą kawałków dwóch lekko skręconych względem siebie metalowych siatek o podłużnych oczkach. Siatki takie stosowane są jako maski w kineskopach odbiorników telewizji kolorowej. Zmieniając powoli wzajemne usytuowanie siatek lub wyginając lekko jedną z nich, umożliwiamy obserwację wpływu tych zmian na kształt prążków mory (fot. 1, 2, 3).



Fot. 8

Szerokie możliwości badania mory zapewniają siatki wykonane na kalce technicznej lub przezroczystej folii. Bezpośrednie rysowanie siatek na tych materiałach przy użyciu pisaków lub tuszu kreślarskiego jest pracochłonne i nie zawsze daje dobre rezultaty. Dobrze jest podłożyć papier milimetry lub skorzystać z komputera z zainstalowanym programem graficznym, o ile ktoś ma taką możliwość. Siatki takie mogą być złożone z różnych figur, np. kwadratów, prostokątów, trójkątów równobocznych czy sześciokątów foremnych. Za pomocą takich siatek uzyskane zostały obrazy mory przedstawione na fotografiach 4 i 5. Warto też narysować układ współśrodkowych okręgów o stałej różnicy promieni oraz układ kropek, rozmieszczonych regularnie w wierzchołkach kwadratów lub trójkątów równobocznych, tworzących tzw. raster. Na fotografiach 6, 7, 8 i 9 zamieszczono mory powstające na złożonych rastrach, utworzonych ze współśrodkowych okręgów i kropek.



Fot. 9

Na zakończenie warto dodać, że mora jest nie tylko interesującym zjawiskiem fizycznym, przy wyjaśnianiu którego łatwo popełnić błąd, uważając je za wynik dyfrakcji i interferencji. Duża czułość kształtu prążków mory na zmiany położenia siatek i ich deformacje jest wykorzystywana przez inżynierów do precyzyjnych pomiarów odkształceń różnych części maszyn i elementów budowli. Również w kształtach abstrakcyjnych dzieł niektórych współczesnych artystów można dostrzec inspiracje prążkami mory.