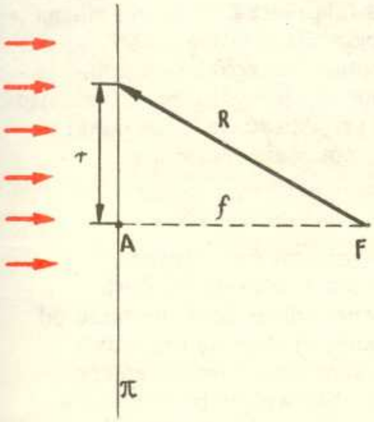
HOLOGRAFIA BEZ LASERA

Niemożliwe? Osądzicie sami, gdy spróbujecie. Nie mogę Wam obiecać, że otrzymacie wierne obrazy trójwymiarowych przedmiotów, które widać tak, jakby te przedmioty tam były rzeczywiście — to jest cecha obrazów holograficznych otrzymanych przy zastosowaniu pełnej techniki tej interesującej metody, z laserami, specjalnymi kliszami itd. Jest jednak całkiem możliwe otrzymanie bez tej wyspecjalizowanej aparatury obrazów holograficznych najprostszych obiektów, jak punkt czy krzyżyk.
Wielu ciekawych rzeczy o holografii możecie dowiedzieć się z artykułu prof. Karczewskiego w 2 numerze «Delty». Radzę Wam przeczytać ten artykuł przed przystąpieniem do naszych doświadczeń.

NIECO O INTERFERENCJI



Rozważmy falę płaską, prostopadłą do jej kierunku rozchodzenia się płaszczyznę π i punkt F za tą płaszczyzną. Odległością punktu F od płaszczyzny jest długość f odcinka $\overline{FA}$. Zastanówmy się, z jakich punktów płaszczyzny π dojdzie do punktu F fala o tej samej fazie, co ze środkowego punktu A. Oczywiście z takich, których odległość od punktu F wyniesie:

$$R = f + k \cdot \lambda, \tag{1}$$

gdzie k jest liczbą całkowitą, a λ długością fali. Miejscem geometrycznym takich punktów będą okręgi o środku w punkcie A i promieniach r spełniających równość:

$$r^2 + f^2 = R^2 = (f + k \cdot \lambda)^2,$$

a zatem:

$$r = \sqrt{2kf\lambda + k^2\lambda^2}. \tag{2}$$

Podstawiając za k kolejno wartości 1, 2, ..., otrzymujemy promienie kolejnych okręgów na płaszczyźnie π, z których do punktu F dochodzi fala o tej samej fazie, co z punktu A. Oczywiście między każdymi dwoma takimi okręgami leży okrąg, z którego do punktu F dojdzie fala w fazie przeciwnej. Dla tego okręgu odległość R od punktu F wyniesie:

$$R = f + \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda, \tag{3}$$

a zatem jego promień

$$r = \sqrt{2f\left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda + \left(k + \frac{1}{2}\right)^2 \cdot \lambda^2}. \tag{4}$$

Obecnie możemy już odpowiedzieć na pytanie, które z pozoru nie ma żadnego związku z holografią, a mianowicie:

CO TO JEST SOCZEWKA FRESNELA?

Soczewka Fresnela powstanie, jeżeli na płaszczyźnie π zasłonimy te okręgi, których odległość od punktu F jest nieparzystą wielokrotnością połowy długości fali (3), pozostawiając wolne te, których odległość od tego punktu jest całkowitą wielokrotnością długości fali (1). Wtedy faza światła dochodzącego z nie zasłoniętych części do punktu F będzie zgodna i w tym punkcie zaobserwujemy wzmocnienie na skutek interferencji. Wobec tego taki układ jest rodzajem soczewki, bo skupia wiązkę równoległą (ściślej mówiąc jej część) w punkcie-ognisku. Rysunek soczewki Fresnela (w powiększeniu) znajduje się na wewnętrznej stronie tylnej okładki (A). Na pewno już zauważyliście, że soczewka Fresnela jest hologramem punktu, to znaczy układem prążków, który po skierowaniu na nie wiązki światła da obraz punktu. Zauważcie jeszcze, że ponieważ nasze rozumowanie nie zależy od kierunku biegu promieni, taki układ okręgów moglibyśmy otrzymać przez interferencję fali płaskiej z falą kulistą wysyłaną przez punkt F. Ale przecież właśnie tak otrzymuje się zwykłe hologramy — przez interferencję światła biegnącego od przedmiotu z wiązką odniesienia — falą płaską. Nasze hologramy są wyliczone i narysowane, ale zobaczycie, że też będą działać.

A. S. Fresnel (1788-1827) — znany fizyk francuski

ROBIMY HOLOGRAMY

W tym celu musicie sfotografować z odpowiedniej odległości rysunki ze str. 17. Negatywy będą już działającymi hologramami. Trzeba to zrobić tak, żeby rozmiary zdjęć (na negatywie) były rzędu 5 do 10 mm. Zdjęcia powinny być bardzo ostre, a filmy wywołane w drobnoziarnistym wywoływaczu. Oprócz soczewki Fresnela mamy dwie takie soczewki rozsunięte i nałożone na siebie (B), czyli hologram dwóch punktów, oraz układ prostych linii (C) stanowiący hologram krzyża.

CZY TO SĄ RZECZYWIŚCIE HOLOGRAMY?

Sprawdźmy. Zacznijmy od soczewki. Spróbujemy wytworzyć nią obraz odległej o kilka metrów żarówki na kartce białego papieru. Negatyw ma pośrodku ciemną plamkę. Jeśli zbliżymy go silnie do kartki, widzimy po prostu cień, na którym ta ciemna plamka jest widoczna. Oddalając powoli negatyw od kartki zauważymy w pewnym momencie, że w środku, w miejscu ciemnej plamki pojawi się jasna. Przyglądając się jej z bliska zauważymy, że nie jest to punkt, ale obraz włókna żarówki. Fala świetlna biegnąca od żarówki nie była falą płaską. To samo można zrobić w świetle słonecznym. Podobnie, używając pozostałych hologramów, zauważycie obraz dwóch punktów czy krzyża. Wiadomo, że część hologramu wytwarza obraz taki sam, jak cały hologram. Możemy to sprawdzić np. zasłaniając połowę hologramu dwóch punktów (B). Mogłoby się wydawać, że jeden punkt zniknie; okazuje się, że oba punkty pozostają, hologram zdaje egzamin.

A CO Z DŁUGOŚCIĄ FALI?

Przecież światło białe Słońca czy żarówki jest mieszaniną barw o różnych długościach fali. Wykonując uważnie nasze doświadczenia zauważymy (jeśli źródło światła będzie dostatecznie silne), że przy pewnej odległości hologramu od kartki obraz jest zielonkawoniebieski; przy nieco mniejszej staje się różowawy. Oczywiście inna długość fali daje inną ogniskową — stąd obserwowane efekty. Znacznie wyraźniejsze efekty barwne będziecie mogli obserwować przy pomocy siatki dyfrakcyjnej, którą zrobicie z rysunku D na str. 17 w taki sam sposób, jak hologramy. Trzeba tylko przyłożyć ją blisko do oka i patrzeć przez nią na świecę lub żarówkę. Szczególnie polecam wieczorny spacer po mieście połączony z oglądaniem lamp ulicznych i neonów przez siatkę dyfrakcyjną. Życzę przyjemności i jak zwykle oczekuję listów z opisem Waszych osiągnięć.

Zadania

Redaguje mgr Andrzej MĄKOWSKI

M13 Czy można pokryć płaszczyznę przystającymi pięciokątami wypukłymi w ten sposób, żeby żadne dwa pięciokąty nie miały wspólnych punktów wewnętrznych?
Rozwiązanie na str. 13

M14 Wielokąt foremny o 2n bokach ma wierzchołki w punktach $A_1, A_2, \ldots, A_{2n}$; P jest dowolnym punktem okręgu opisanego na tym wielokącie. Wykazać, że suma $A_1P^2 + A_2P^2 + \ldots + A_{2n}P^2$ nie zależy od położenia punktu P na okręgu.
Rozwiązanie na str. 9

M15 Trzej koledzy postanowili kupić piłkę kosztującą 150 zł. Każdy z nich wpłacił nie więcej niż połowę sumy wniesionej przez dwóch pozostałych. Czy można stąd wywnioskować, ile każdy z nich wniósł pieniędzy?
Rozwiązanie na str. 14

Redaguje dr Andrzej ZIEMIŃSKI

F5 Aluminiowy pierścień o przekroju poprzecznym S został umocowany w ten sposób, że może obracać się swobodnie wokół swojej pionowej średnicy. W środku pierścienia umieszczono małą igłę kompasu. Kiedy przewodnik jest nieruchomy, igła wskazuje kierunek ziemskiego pola magnetycznego. Jakie jest położenie równowagi igły, kiedy przewodnik obraca się z dużą prędkością kątową ω?
Rozwiązanie na str. 10