

## A hologram

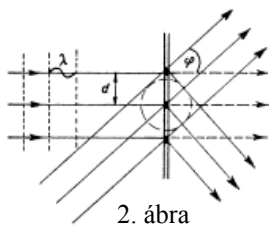
Az utóbbi években vált ismeretessé a hologram néven említett ábrázolási eljárás. Ha térbeli tárgyról, lencsével leképezve közönséges fényképet készítünk, akkor a tárgy képét egy bizonyos pontból nézve kapjuk meg, és magától értetődően az egész tárgy képéhez az egész fénykép területére szükség van. Ha a tájképről levágjuk az eget, akkor az már nincs rajta a képen. Ezzel szemben a hologram nem lencsés leképezéssel, hanem az interferencia felhasználásával készül. Meglepő, első pillanatban érthetetlen tulajdonsága, hogy olyan térbeli képet ad, amely a nézés iránya szerint a tárgy részeit különböző viszonylagos helyzetekben mutatja, más szóval parallaxis-eltérések észlelhetők. A sík lemezen rögzített hologramot nézve a képet bizonyos mértékben körülsétálhatjuk, mögéje nézhetünk. Azonkívül a hologramot szét lehet darabolni, és mindegyik része továbbra is az egész tárgyat mutatja.

A hologram működését elemi úton is megérthetjük. Ennek érdekében két fénytani jelenséget kell emlékeztünkben felidézni.

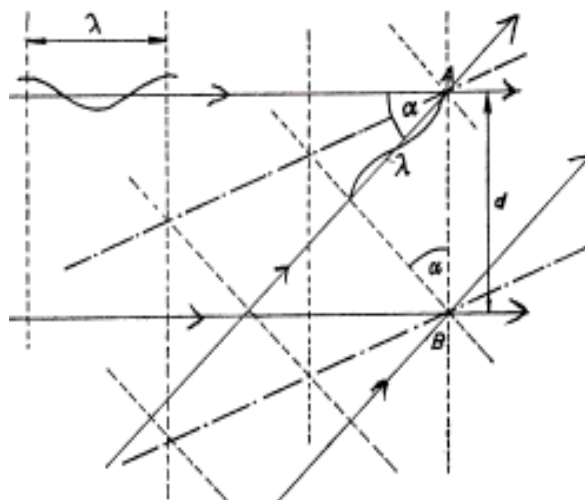
1. *Hullámmezők találkozása.* Az 1. ábrán balról jobbra, vízszintesen halad egy síkhullám. Ezen fénysebességgel haladnak jobbra a hullámhegyek, egymástól  $\lambda$  hullámhossznyi távolságban. Szaggatott vonalak tüntetik fel, a haladási irányra merőlegesen azokat a helyeket, ahol a hullámhegyek egy bizonyos pillanatban találhatók. De egy másik, ugyanilyen síkhullám is érkezik, az elsővel  $\alpha$  szöget bezáró irányból. A haladási irányra merőlegesen itt is be vannak jelölve a hullámhegyeket szállító hullámfelületek. Azonnal belátható: az egyező fázisú hullámfelületek találkozási helyein állandóan erősítés megy végbe, és a térben a két hullám szögfelezőjében állandóan erős a hullámzás (ábránkon az eredményvonallal rajzolt helyeken).

Pontosan ilyen ábrát látunk, ha a víz felszínén találkozik két hullám, például egy falon történő visszaverődés következtében. Gondolatmenetünkkel sok interferencia-jelenséget tárgyalhatunk. Ha például hullámterünkbe az  $AB$  ernyőt állítjuk, ezen sötét és világos helyek sorozatát látjuk. Két világos (illetve két sötét) hely távolsága az ernyőn:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \alpha}.$$



2. ábra



1. ábra

2. *Az optikai rács.* Az optikai rács rések állandó távolságú sorozata (2. ábra,  $d$  rácsállandó). Ha a rácsra síkhullám érkezik, a Huygens-féle jelenség értelmében minden résből gömbhullámok indulnak tovább. A  $\varphi$  szögben induló hullámok akkor erősítik egymást, ha  $d \sin \varphi$  útkülönbségük egyenlő a hullámhosszal (első erősítés esetében):  $\lambda = d \sin \varphi$ .

A bal oldal felé is indulnak gömbhullámok, ha lehetséges a megfigyelésük, erre felé is észlelünk erősítést, fényt  $\sin \varphi = \lambda/d$  irányban.

Most már következhet a hologram magyarázata (3. ábra). Készítsünk a  $P$  pontban elhelyezett kis tárgyról, hengerről hologramot. Alulról, jobbról párhuzamos sugárnyalábot bocsátunk  $P$  tárgyra. Ezek egy része visszaverődik, szóródik  $P$  tárgyon, és a szórt hullámok gömbalakban terjednek. A nagy távolság következtében a szórt fény hullámfelületének kis darabja  $A$ -ban gyakorlatilag sík, sugarai szinte párhuzamos egyenesek. A rá merőleges hullámfelületeket itt is szaggatott vonalak tüntetik fel. Ne felejtsük el, ábránk nem lehet méretarányos, hiszen a rajzban szereplő hullámhosszakhoz viszonyítva  $PA$  távolságnak kilométeresnek kellene lennie.

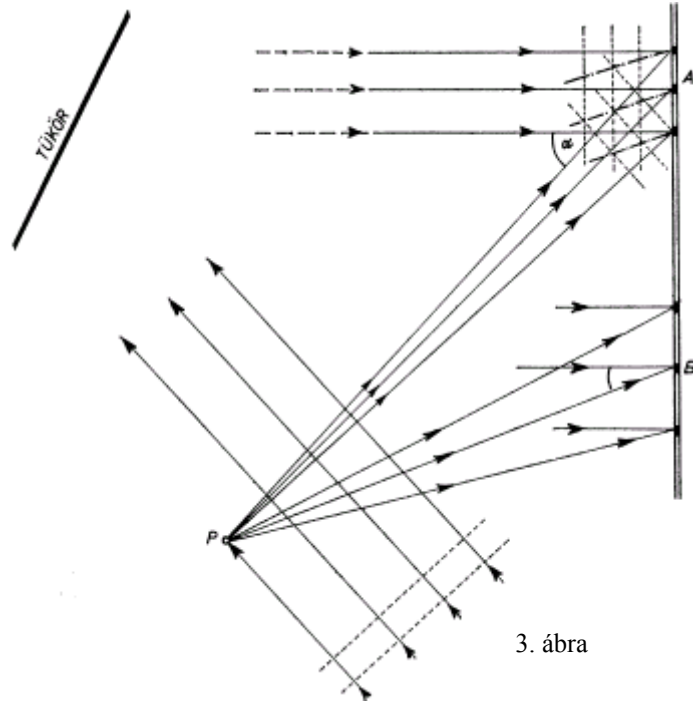
A megvilágításra használt, fény-nyaláb nagy része elhalad  $P$  tárgy mellett. Ezeket egy tükörrel visszaverjük  $A$  pont irányába. Ennek a nyalábnak referencia-nyaláb a neve.  $A$  pontban a tárgyról szórt fény és a tükörről visszavert referencia-nyaláb  $\alpha$  szög alatt találkozik és átjárja egymást. Az eredmény:

egyenesek mentén erősítések keletkeznek (az eredményvonalak). Az  $AB$  síkba helyezett fényképezőlemezre optikai rács fényképeződik, amelynek rácsállandója  $d = \lambda/\sin \alpha$ . A lemez  $B$  pontjában is ugyanez történik, de mivel itt a szög kisebb, ennek a rácsnak nagyobb a rácsállandója. Természetesen  $A$  és  $B$  között mindenütt optikai rács fényképét kapjuk, állandóan növekvő rácsállandóval. Megfelelő idejű megvilágítás után a lemezt előhívják.

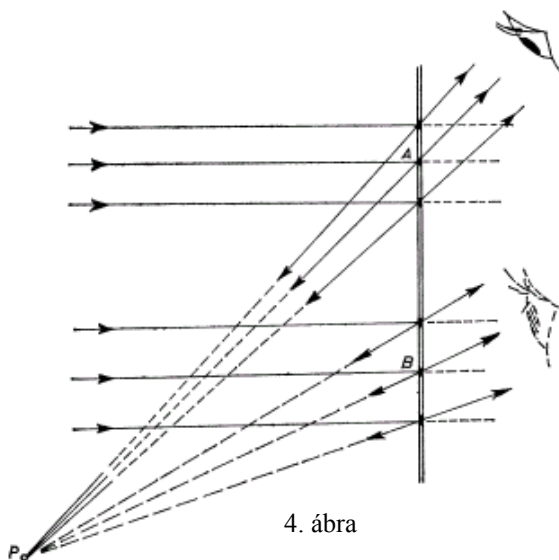
Ezután gyönyörködni fogunk elkészült hologramunkban (4. ábra). A lemezt balról  $\lambda$  hullámhossúságú fényvel világítjuk át.  $A$  pontban úgy viselkedik a hologram, mint egy optikai rács, tehát az első erősítés  $\sin \varphi = \lambda/d$  irányban keletkezik. Mivel  $d = \lambda/\sin \alpha$ , ezért

$$\sin \varphi = \lambda : \frac{\lambda}{\sin \alpha} = \sin \alpha, \Rightarrow \varphi = \alpha.$$

Vagyis a rácsról távozó sugarakba tekintő szem ugyanolyan  $\alpha$  irányban lát fényt, látja  $P$ -t, amely irányban a felvételkor, a 3. ábrán a  $P$ -ről szórt sugarak  $A$ -ban a lemezt érték. Ha a szem  $B$ -nél néz a hologramra, az itt ritkább rács kisebb szögben adja az első erősítést, és a rácsról távozó fénysugarak szintén az eredeti helyen levő  $P$ -ből látszanak jönni. Azt is figyelembe kell vennünk, hogy a 3. ábrán  $P$  tárgyról az  $A$  pontba érkező sugarak nem egészen párhuzamosak, ezért a



3. ábra



4. ábra

rácsállandó  $A$  pont környezetében sem egészen egyenletes, feljebb kissé sűrűbb, lejjebb kissé ritkább. Így az  $A$ -ból a szem felé induló sugarak nem egészen párhuzamosak, hanem kissé széttartóak, tehát a szem egészen pontosan  $P$ -ben lát virtuális képet. A balfelé induló sugarak összetartók és éppen  $P$ -ben reális, ernyőn felfogható képet adnak.

Egy valóságos tárgy igen sok  $P$ -hez hasonló részecskéből áll, amelyek mindegyikéről az elmondottak szerint kapunk virtuális és reális képet. A hologram minden tulajdonsága érthetővé válik. A tárgy különböző oldalokról történő látása, körüljárhatósága azt jelenti, hogy a hologram különböző helyein nézve keresztül  $P$  pontot és társait mindig az eredeti térbeli elhelyezésük szerint látjuk, a nézési helynek megfelelő perspektíva szerint. Amikor az  $A$  körüli helyen nézünk át, a többi lemezrészelt eldobhatjuk, mégis látjuk a tárgy egészét úgy, ahogyan azt  $A$ -ból látni lehet. Egy megcsonkított optikai rácson át nézve a higany színeképet, nem hiányzik például az ibolyaszínű vonal. Természetesen ha a hologram  $B$  körüli részét elajándékoztuk, akkor már nem járhatjuk addig körül a tárgyat, hogy a  $B$ -nek megfelelő perspektívából is nézzük. Azonkívül addig sem lehet darabolni a hologramot, amíg a rács egyetlen eleme marad már csak meg.

Feltétlenül kiemelendő, hogy a hologram készítéséhez és nézéséhez elkerülhetetlenül koherens fény kell, vagyis olyan, amelynél minden pillanatban, minden részben együtt megy végbe a rezgés, rendezetlen fázisugrálások nélkül. A  $P$ -ről szórt fény és a referencia-nyaláb kölcsönös fázisviszonyának állandónak kell maradnia. A felvételhez feltétlenül lézer kell, a nézés történhet esetleg spektrál-lámpával, kis lyukon át.

Megjelent a Középiskolai Matematikai Lapok 1971. decemberi számában