

GREGUSS PÁL

HORDOZHATÓ HOLOKAMERÁK KOHERENSOPTIKAI ÉS
FIZIOLÓGIAI ALAPKÍSÉRLETEKHEZ*

Abstract: (Portable Hologram Cameras to Coherent- Optical and Physiological Experiments) The hologram camera systems developed at the Laboratory for Applied Biophysics of the Technical University of Budapest make demonstrations of experiments possible in the field of coherent optical phenomena involving preparations of holograms everywhere even if at primary or secondary schools.

Simple psychophysical experiments connected with the coherence of radiation can be demonstrated by using these hologram camera systems.

A holográfia a "holosz" = minden és a "grafein" = leírni, azaz "mindent leírni" görög szavakból származik. Ezt a nevet adta Gábor Dénes 1946-ban képalkotó eljárásának, amelyért (több más mellett) Nobel díjjal jutalmazták 1971-ben. De mit is jelent ez a "minden"?

Általában azt szokás mondani, hogy minden fény által hordozott információt, tehát mind a fényhullám amplitúdójához, mind pedig a fázisához kötötten. Pedig ez így nem egészen igaz. A hologram nem információt, hanem "csupán" jelmintát rögzít; a többi stimmel.

* Elhangzott a "Lézerek demonstrációja - demonstrációk lézerekkel" c. szimpóziumon 1984. augusztus 25-én Egerben.

E látszólag csak szavakkal való játszás mögött a vlóságban alapvető kérdés húzódik meg, amit röviden úgy fogalmazhatunk meg, hogy a hírközlés folyamatának első lépésében sohasem információt, hanem jelmintát dolgozunk fel, s ez a feldolgozott jelminta a feldolgozás mikéntjétől függően jelenti az információt. Ezt a fogalomponosítást jól szemlélteti az 1. ábra sorozata. A baloldalsó jelminta "semmit sem mond", nem jelent információt. A középső és a jobb szélső minta már modana valamit, de egyikük sem igazán információ még, mert vajon merre repül a madár a középső jelmintában, s vajon idős férfiról vagy fiatal nőről informál-e a jobboldali jelminta?

Ahhoz tehát, hogy egy jelmintából információ lehessen, a feldolgozás folyamatában valamiféle a priori háttérismeretre van szükség. Bizonyos értelemben véve a kétdimenziós hologram felületén is hasonlóképpen "háttérismeretek" segítségével rögzítődnek szinte minden veszteség nélkül a háromdimenziós jelminták is. A térbeli képrögzítés esetében a "háttérismereteket" a tárgyról származó jelmintákat hordozó hullámfront amplitúdó- és fázisviszonyainak ismerete jelenti.

Holografikus képrögzítés és képalkotás

Ahhoz, hogy egy N térbeli pontból álló tárgyat le tudjunk írni, N^2 adatra van szükség, amely adatmennyiséget egyetlen kétdimenziós felületen azonban nem lehet tárolni, kivéve, ha az N térbeli pontról a jelmintát koherens hullámfront szállítja, mert ilyenkor térbeli pontonként csak egy amplitúdó- és egy fázisadatra, azaz $2N$ számú adatra van szükség. Ennek ismeretében most már csak olyan kétdimenziós adatrögzítő felületre van szükség, amely egyidejűleg érzékeny az őt érő hullámfrontok amplitúdó- és fázisviszonyaira. Ilyen anyagok azonban nem léteznek, tehát meg kell találni a módját, hogy pl. a fázishoz kötődő jelmintákat rögzítés céljából úgy lehessen amplitúdóhoz kötődő jelmintákká -- amit a rögzítő felület már tárolni képes -- átalakítani, hogy az így nyert új jelmintából az eredeti, amplitúdóhoz és fázishoz kötődő jelminták mindenkor hiánytalanul visszanyerhetők legyenek. Ezt a problémát oldotta meg technikailag is Gábor Dénes, amikor a háromdimenziós jelmintát hordozó hullámfronthoz egy koherens háttérret adott olymódon, hogy minden egyes pontról a rögzítés

síkjában egy Fresnel-zónalemeznek megfelelő interferenciaminta jöjjön létre, mint ahogyan azt a 2. ábra is szemlélteti.

Az ilyen interferenciaminták jellegzetes tulajdonsága ugyanis, hogy megfelelően megvilágítva ugyanolyan hullámfrontokat gerjesztenek, mint amilyenek őket létrehozták, azaz minden egyes térbeli pontra vonatkozó amplitúdó- és fázisérték rekonstruálódik (sőt annak konjugáltja is), vagyis térbeli kép keletkezik.

Mivel az összes jelminta egyidejű rögzítésének feltétele, hogy a kialakult interferenciaminta a rögzítés időtartama alatt ne változzék, általános a hiedelem, hogy hologramot vagy csak nagyteljesítményű, igen rövid megvilágítású impulzuszézerekkel lehet készíteni, vagy pedig rezgésmentes környezetet kell a hologramkészítés időtartamára biztosítani. Ez a hiedelem azonban a hologramképződési folyamat nem kellő megértésén alapszik, ugyanis csupán a jelmintát hordozó hullámfront és a referenciahullámfront viszonylagos helyzetének nem szabad a rögzítés ideje alatt változnia. Ha ez a feltétel teljesül, úgy kisteljesítményű, folyamatos üzemmódú lézerrel is lehet -- akár robogó járműben is -- hologramot rögzíteni. Az ismertetésre kerülő holokameráink ennek a feltételnek megfelelnek.

HOLO-35 kamera

A Budapesti Műszaki Egyetem Alkalmazott Biofizikai Laboratóriumában kidolgozott HOLO-35 kamera, amelyet a 3. ábrán mutatunk be, azáltal, hogy közvetlenül a lézerre csavarható, azzal egyetlen egységet képez, így a kamera külön rezgésmentesítéséről gondoskodni nem kell. A hologram kialakítása abból a megfontolásból indul ki, hogy amikor a lézersugár éppen a hologramot rögzítő fényérzékeny réteg síkjához ér, széttartóvá válik (azáltal, hogy a lézersugarat egy mikroszkópobjektívvel erre a síkra fókuszáljuk, és a filmet a fókuszpontban előre kilyukasztjuk), és mielőtt a tárgyat megvilágítaná, egy része a film síkjával párhuzamosan elhelyezett féligáteresztő tükörről visszavert sugárzás szolgál referenciaháttérként. Ilyen elrendeződés esetén a tárgy- és a referenciahullámfront egymáshoz viszonyítva nem mozdulhat el, tehát különösebb rezgésmentesített környezetre nincsen szükség.

Az így készült hologram jellegzetessége -- azon kívül, hogy a közepén egy lyuk van -- az, hogy pontszerű monokromatikus fényforrással is elég jó minőségű rekonstrukciót szolgáltat. Az 5. ábrán a 6. ábrán látható tárgyról készült hologram rekonstrukcióját mutatjuk be.

HOLOSIX kamera

A Holo-35 kamerával csak egészen kisméretű tárgyakról lehet hologramokat készíteni. A MEDICOR megbízásából az ABFL-ben a 7. ábrán látható holokamera-rendszert fejlesztettük ki, amellyel bármilyen, a kamerába belehelyezett tárgyról -- a kialakított sugármenettől függően -- lehet ugyancsak különösebb rezgésmentesítés nélkül, akár lézerrel, akár fehérfényel is rekonstruálható hologramokat készíteni. A kamera kiképzése olyan, hogy egy és ugyanazon tárgyról akár három különböző irányból is lehet max. 9x12 cm-es hologramot egyidejűleg készíteni.

A hatszögletűen kialakított kamerában (innen a HOLOSIX elnevezés) - mint ahogyan a 8. ábrán látható vázlat jól szemlélteti -- egyszerű optikai elemek variációjával érhető el, hogy a kamerával összeépített lézer sugara vagy csak a kamera középvonalában, vagy csak a kamera alsó negyedében, vagy pedig mindkét magasságban egyszerre léphessen be a kamera belsejébe. Az ide jutott sugárnyalábot a mindenkori feladat megkívánta konfigurációnak megfelelően lehet részben a kamera falán belül elhelyezkedő, három csavarral kívülről állítható elsőfelületű tükör segítségével, részben pedig a kamera talapzatán elhelyezhető optikai elemekkel kialakítani. Ez a kiképzés lehetővé teszi -- többek közt -- egy hologram-mikroszkóp megkívánta sugármenet kialakítását is, mely esetben kisebb nagyítású (kb. 80-100x) hologramfelvételek készíthetők különböző mikroszkópiai metszetekről.

A HOLOSIX kamera felépítése lehetővé teszi, hogy aránylag egyszerűen lehessen vele valósidejű holográfiás interferometriai vizsgálatokat végezni. Erre a célra a 9. ábrán látható, 35 mm-es perforált hologramfilm befogadására alkalmas feltét használandó. A hologramfelvételek elkészítése után az előhívott filmet a feltétbe visszahelyezzük, és a feltét hátlapján látható tárcsát lecsavarjuk úgy, hogy a referenciasugárral történő megvilágításkor a tárgy rekonstruált képe láthatóvá váljon. Mivel perfo-

rált filmet használunk, a felvételkor elfoglalt helyre való visszaállítás -- vagyis hogy a rekonstruált kép és a tárgy egybeessen -- viszonylag egyszerű feladat.

Pszichofizikai kísérletek

A HOLOSIX kamera nemcsak hologramok készítésére, illetve azok rekonstrukciójára alkalmas, hanem olyan pszichofizikai kísérletek elvégzésére is, ahol a fény koherenciájának szerepe van. Ismeretes ugyanis, hogy lézerrel megvilágított olyan érdes felületeken, amelyeknek érdekessége a fény hullámhosszával összemérhető, a felület közelében létrejövő interferencia következtében sötétebb és világosabb foltok láthatók, míg az átlagos fénysűrűség nem változik; a felület ezen szemcsézettsége -- amit speckle-nek vagy hangyás zajnak is neveznek -- mozogni látszik, ha a megfigyelő a fejét mozgatja. Ezt a látszólagos mozgást a 10. ábra alapján értelmezhetjük. Egészséges -- emmetróp -- szem esetében egy szemcséről érkező fénysugár a recehártyának egy, a szemlencse törésmutatója által meghatározott a pontjába érkezik. Ha mármost a fej felfelé elmozdul, a szem és a fénysugár relatív helyzete megváltozik, de ez a sugár továbbra is az a pontba esik és így mozgásérzet nem alakul ki. Ha azonban a szem rövidlátó -- mióp -- a szemcséről érkező sugár ugyan ilyenkor is a retina a pontjára esik, de amikor a fej felfelé elmozdul, mivel a mióp szem lencséjének fókuszpontja a retina elő esik, a szem és a fénysugár relatív helyzetének megváltozásakor a sugár már nem az a pontban, hanem a b pontban éri a retinát. A szemcséről érkező fénysugár tehát a retinán felfelé mozdul el, de mivel az agy a retinára érkező képet fordítva értelmezi, egy lefelé irányuló mozgásérzet keletkezik a rövidlátóban. A távollátó - hiperóp -- szem esetében értelemszerűen ennek fordítottja következik be. Asztigmatizmus esetében ez a mozgás az astigmia mértékétől függően, kisebb vagy nagyobb mértékben ferde irányúvá válik. A leírt jelenség természetesen akkor is észlelhető, ha nem a fej mozog, hanem a diffúz felület, hiszen a jelenség érzékelése a relatív elmozduláson alapszik.

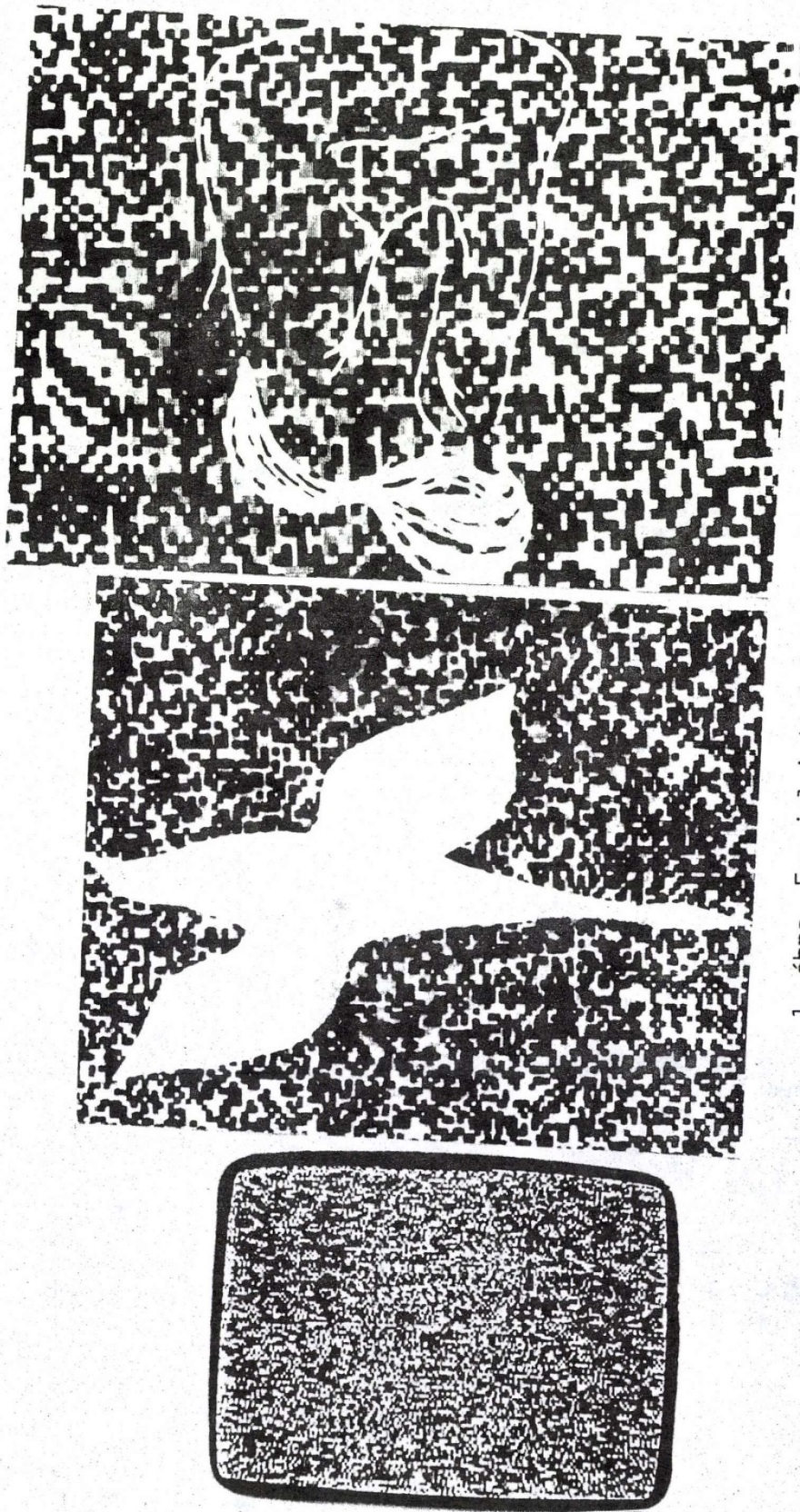
A fent leírt jeleséget a HOLOSIX kamerával igen könnyen be lehet mutatni, csupán az egyik oldalablakba kell a 11. ábrán látható egységet betolni. Ez az egység egy kb. 150 mm átmérőjű, lassan forgó, diffúzan

visszaverő korongot tartalmaz, amelyet a holokamera belsejében elhelyezett tükör segítségével úgy világítunk meg, hogy a megvilágított felület mindkét ablakon keresztül látható legyen. A szemlélő vagy szemlélők kb. 3-5 m távolságból figyelik a hengerfelületen megjelenő szemcsézettség viselkedését: egyhelyben nyüzsögnek-e a szemcsék, jobbra vagy balra, vízszintesen vagy ferde irányban látszanak-e futni. A válaszokból kiderül, hogy

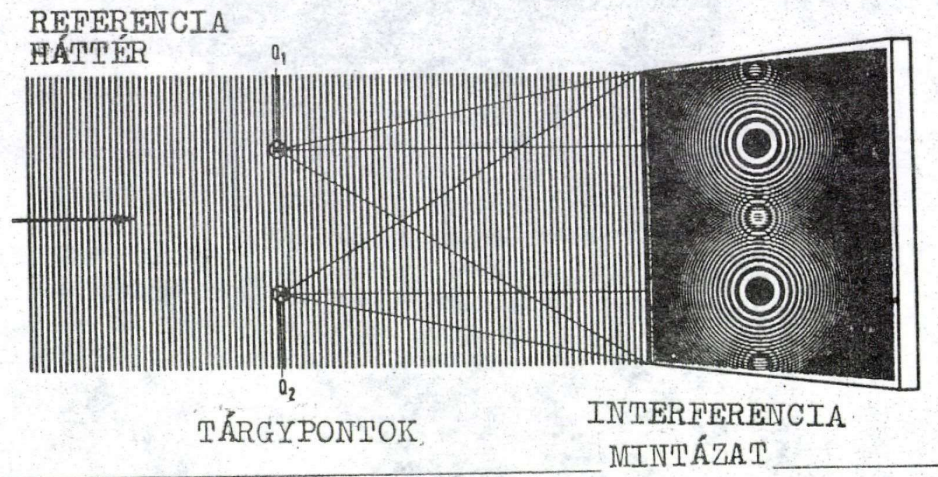
- a/ a szemlélő emmetróp, mióp vagy hiperóp-e, és van-e asztigmatizmus, illetve
- b/ ha szemüveget vagy kontaktlencsét visel, megfelelő-e a szóbanforgó korrekció.

Összefoglalás

A Budapesti Műszaki Egyetem Alkalmazott Biofizikai Laboratóriumában kifejlesztett holokamera rendszerek lehetővé teszik, hogy koherensoptikai kísérleteket, beleértve különböző típusú hologramok készítését is, gyakorlatilag bárhol, így iskolai tanítási körülmények közt is el lehessen végezni. Ugyanakkor lehetőséget nyújtanak arra is, hogy a sugárzás koherenciájával összefüggő egyszerű pszichofizikai kísérleteket is be lehessen velük mutatni.

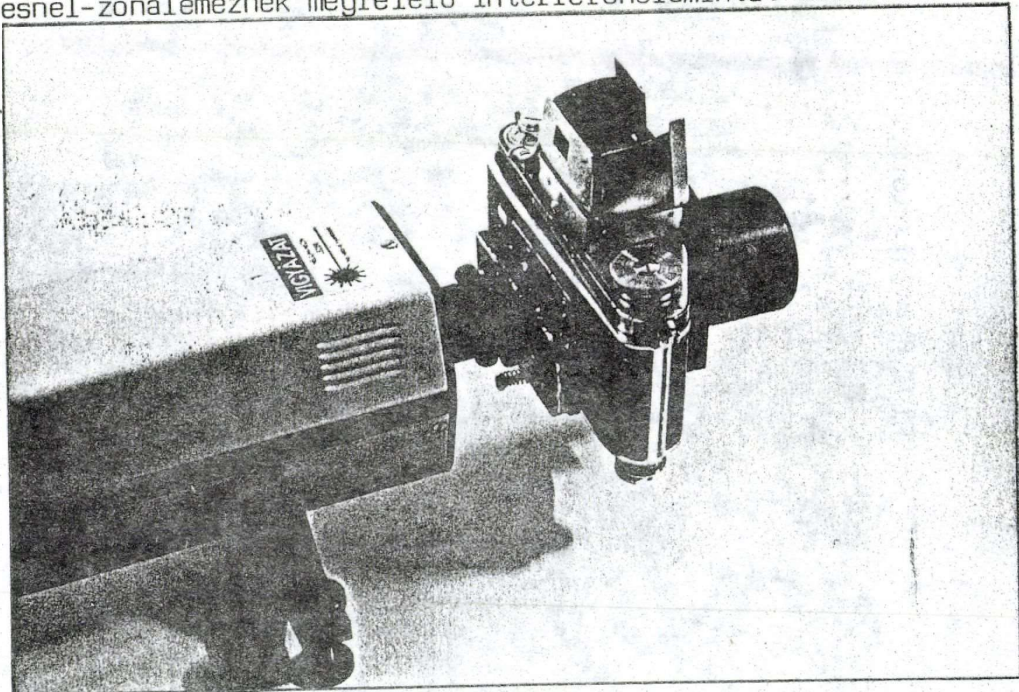


1. ábra Egy jelminta információtartalma a feldolgozás mikéntjétől függ



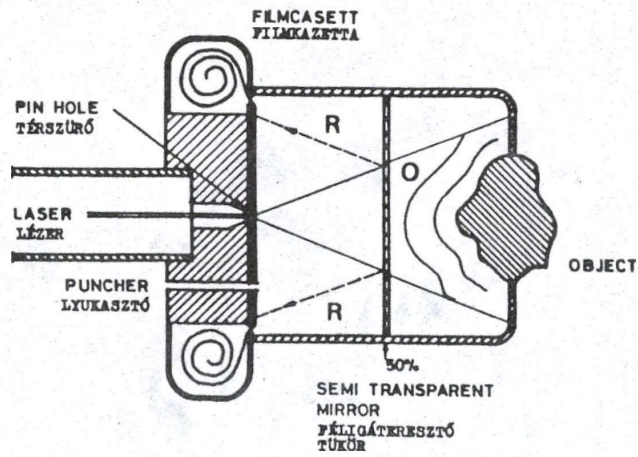
2. ábra

A hologramrögzítés elve, hogy minden egyes tárgypontról egy Fresnel-zónalemeznek megfelelő interferenciamintát alakítanak ki.



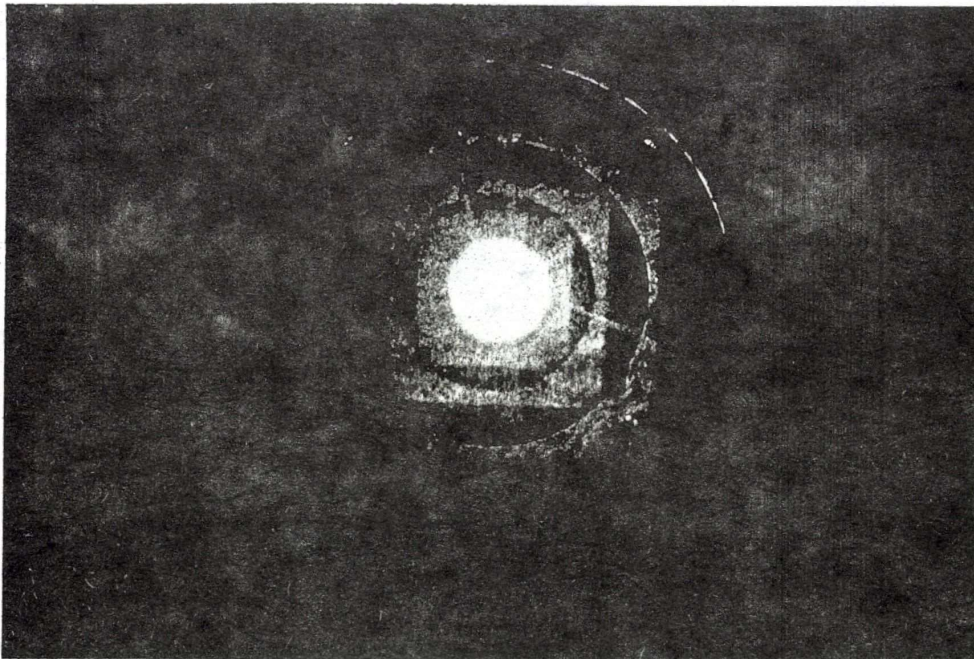
3. ábra

A Budapesti Műszaki Egyetem Alkalmazott Biofizikai Laboratóriumában kidolgozott HOLO-35 kamera.



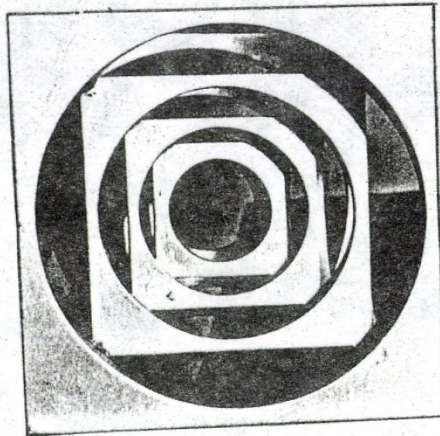
4. ábra

A HOLO-35 kamera elvi felépítése.



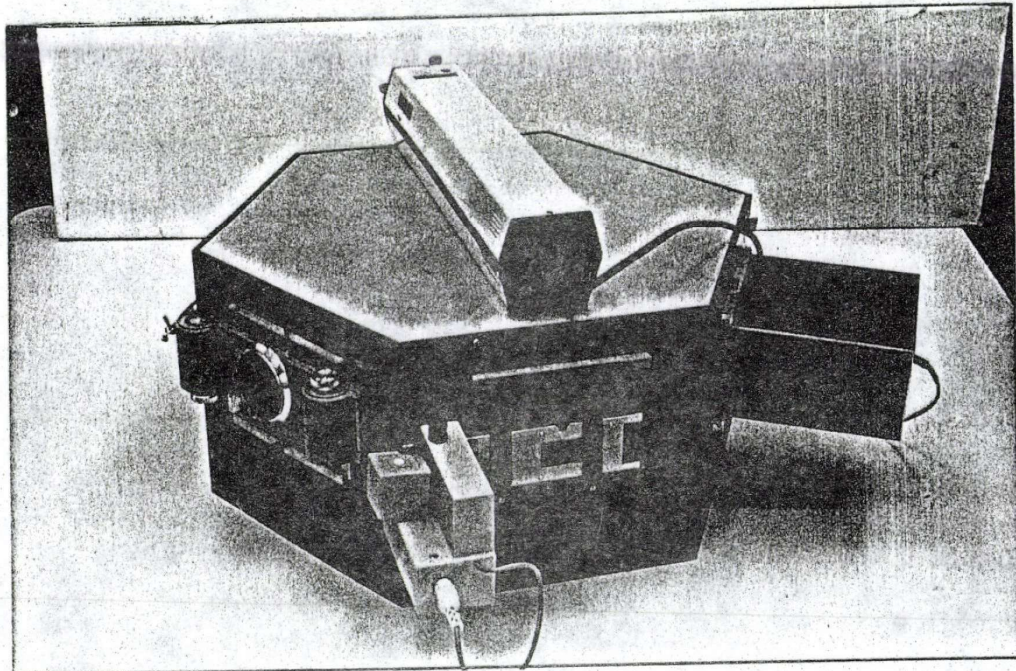
5. ábra

A 6. ábrán látható tárgyról a HOLO-35 kamerával készített hologram rekonstrukciója.



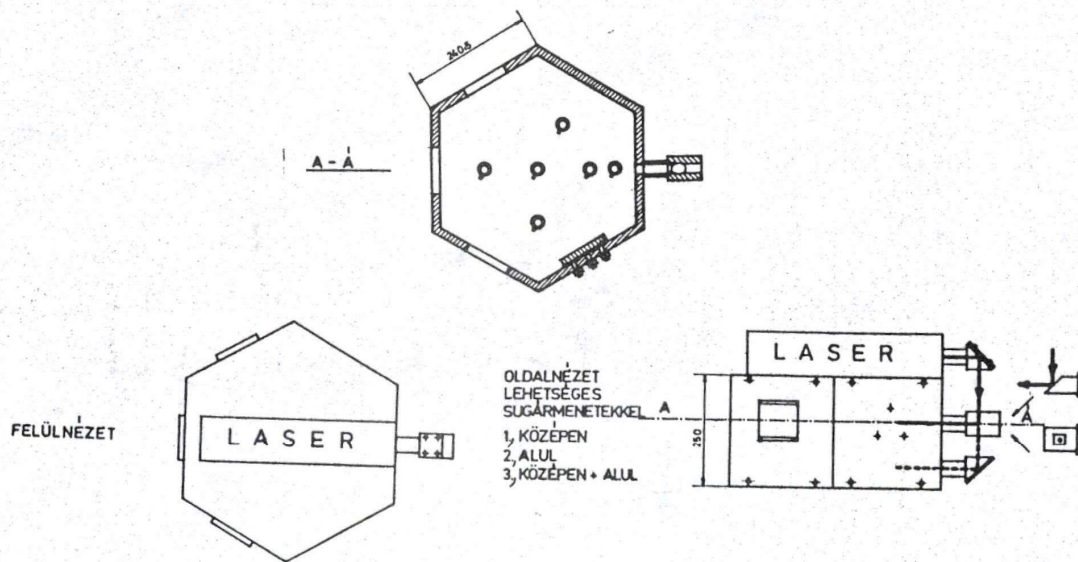
6. ábra

Tárgy, melyről a hologram készült.



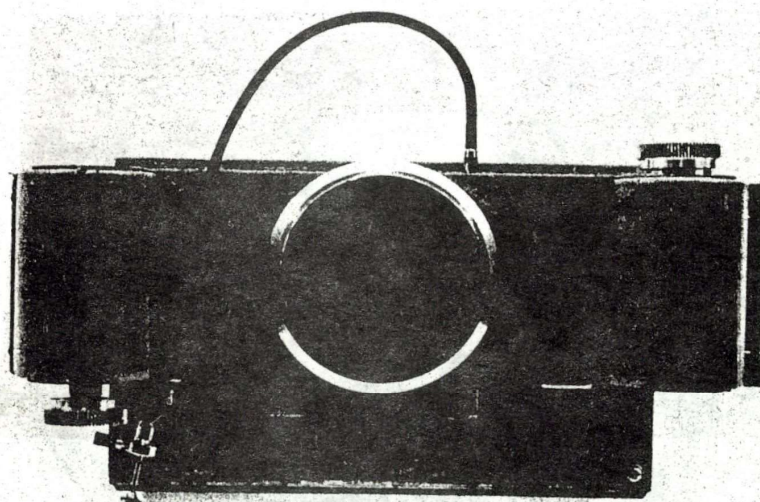
7. ábra

A MEDICOR megbízásából kidolgozott HOSIX kamera.



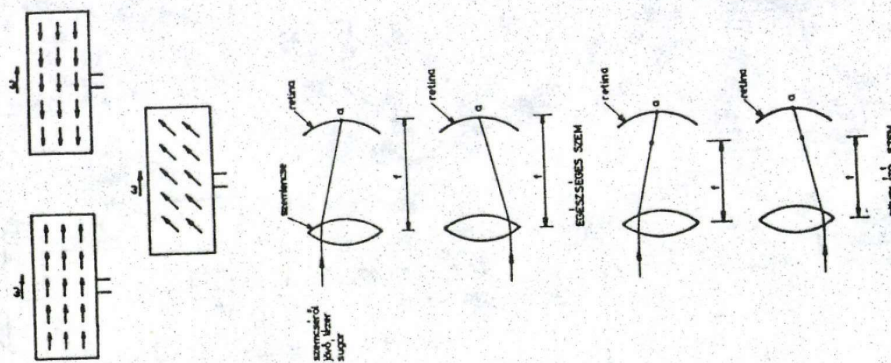
8. ábra

A HOLOSIX kamera elvi felépítése.



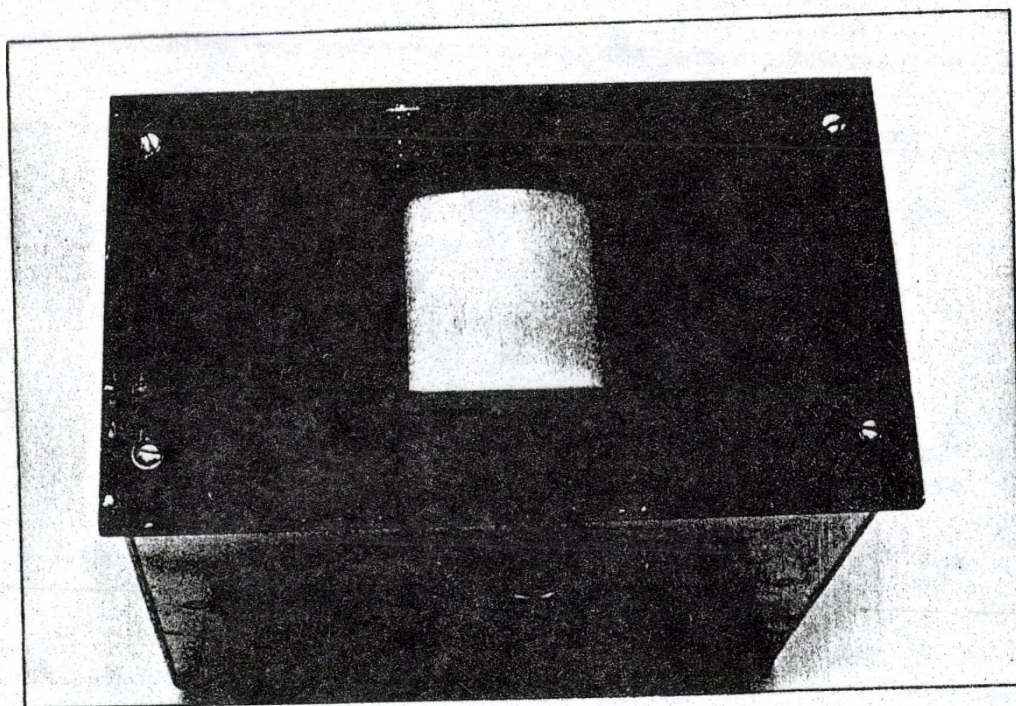
9. ábra

A HOLOSIX kamerához csatlakoztatható, valós idejű holográfiás interferometria elvégzéséhez szükséges feltét.



10. ábra

A szemcsézettség látszólagos mozgásának értelmezése.



11. ábra

A HOLOSIX kamerához csatlakoztatható, pszichofizikai kísérleteket lehetővé tevő feltét.