

# Optinė holografija ir jos taikymai

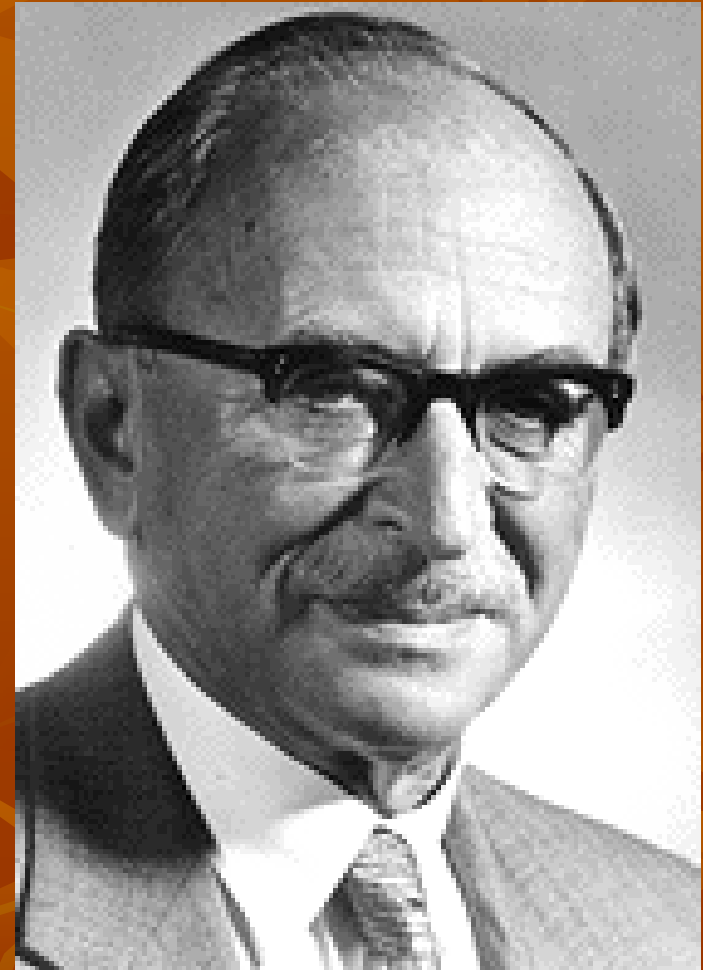
- *"If a picture is worth a thousand words - hologram is worth a million!"*
- Jei nuotrauka verta tūkstančio žodžių, tai holograma verta milijono!

# Trumpai apie ką kalbesim

- Istorija
- Optinė holografija
- Koherentinės bangos
- Hologramos užrašymas ir atkūrimas
- Tūrinė holograma
- Holografijos taikymas
- Holografinė interferometrija
- HVD
- 3 D veido nuskaitymas naudojantis holografine tomografija
- Vaizduojamoji holografija
- Intelektualinės nuosavybės apsauga
- Sparčių procesų tyrimas

# Istorija

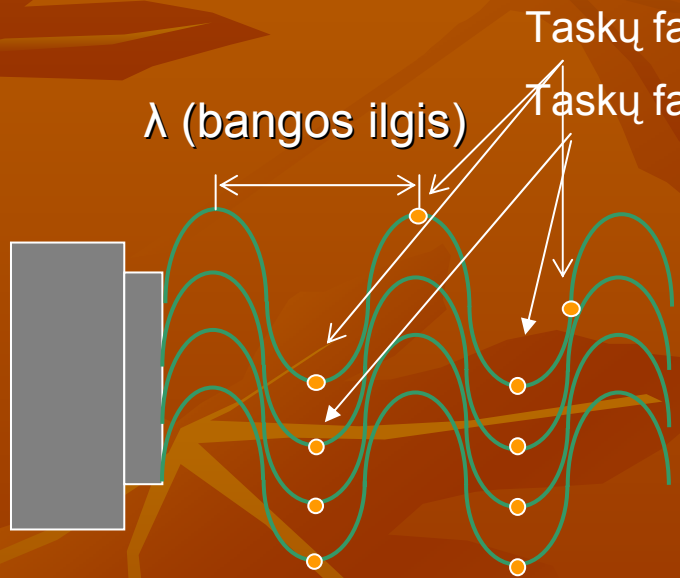
- Holografijos idėją iskėlė D. Gaboras (Dennis Gabor (1900-1979)) 1948m.
- Antrasis gimimas 1962-1963m. Kai hologramos užrašymui ir atstatymui buvo panaudotas lazeris (1960).
- 1971m. Gaboras už idejos iškėlimą ir realizimą gavo Nobelio premiją.



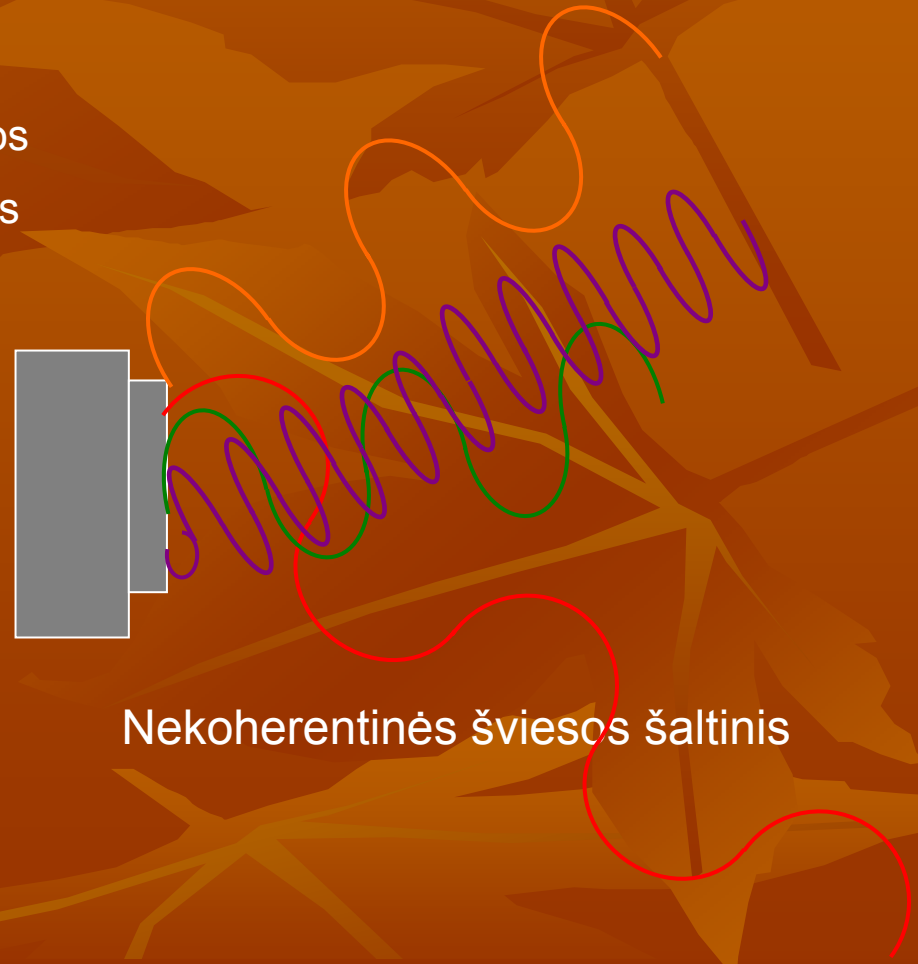
# Optinė holografija

- Holografija išvertus iš graiku kalbos reiškia. *ὅλος-holos* viskas + *γραφή-graphē* užrašyti (viską užrašanti).
- Optinė holografija vadinamas šviesos bangų struktūros užrašymo ir atkūrimo metodas, grindžiamas koherentinių šviesos bangų difrakcija ir interferencija.

# Koherentinės ir nekoherentinės bangos



Koherentinės šviesos šaltinis  
 $A = a \cos(\omega t + \delta)$

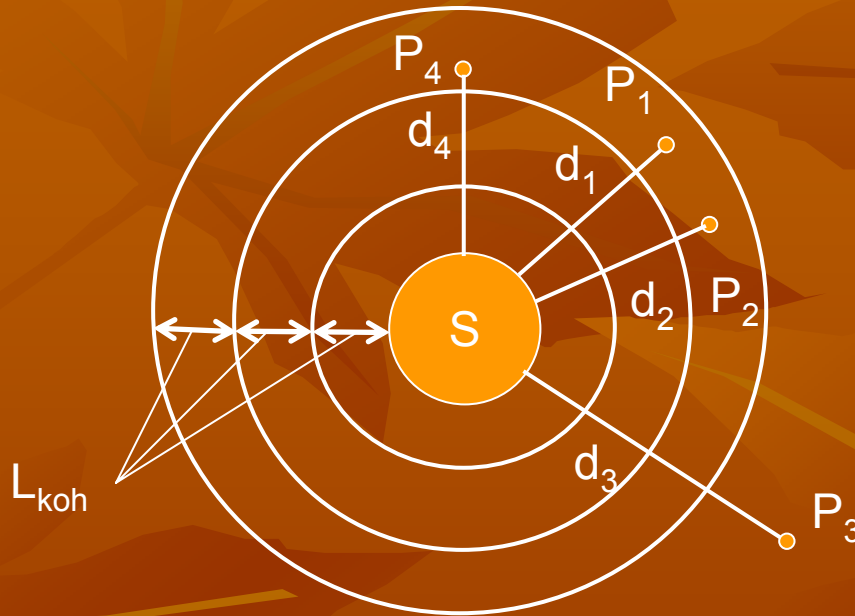


Nekoherentinės šviesos šaltinis

# Erdvinis ir laikinis koherentiškumai

- Laikinis koherentiškumas
- Interferenciją galime stebėti tik esant tam tikram koherentiškumo ilgiui  $L_{\text{koh}}$ .
- $L_{\text{koh}} = c\tau_{\text{koh}}$   $c$  – šviesos greitis,  $\tau_{\text{koh}}$  – koherentiškumo trukmė. Fizikiniai procesai, vykstantys spinduolyje, lemia mažiausią laiką, per kurį skleidžiamos bangos pradinė fazė ir amplitudė yra pastovi.
- Koherentiškumo laikas  $10^{-9} \div 10^{-10}$  s.
- Koherentiškumo ilgis  $3 \div 300$  cm.
- Koherentinių bangų suma yra būtina sąlyga interferencijai gauti.

# Bangų koherentiškumas įvairiuose erdvės taškuose



Du taškai  $P_1$  ir  $P_2$  yra vienodai nutolę nuo  $S$ . Šie taškai priklauso vienai vorai. Virpesiai visada koherentiniai

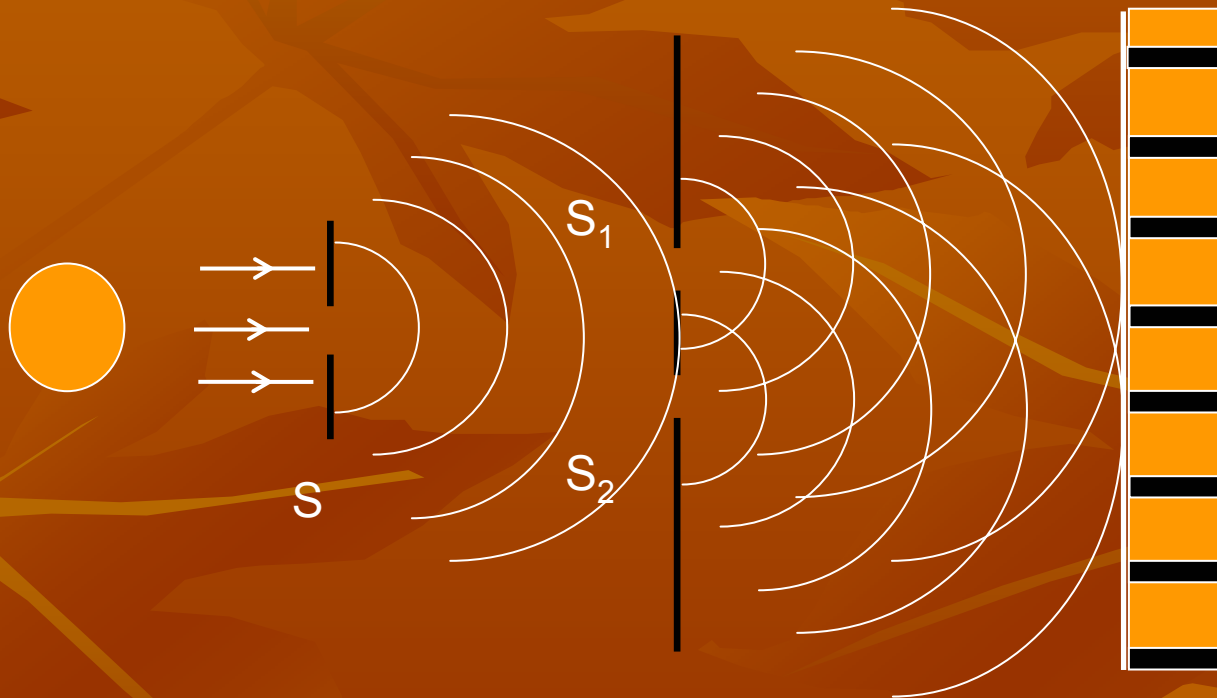
Atstumas tarp  $P_2$  ir  $P_3$  didesnis koherentiškumo ilgi  $L_{koh}$ . Jie nebus koherentiniai.

Atstumas tarp  $P_4$  ir  $P_1$  ne didesnis koherentiškumo ilgi  $L_{koh}$ . Jie bus koherentiniai.

# Budai interferencijai gauti

## Jungo metodas (bangos fronto dalijimas)

Hiuigenso principas



- Pirmą kart metodas panaudotas T. Jungo 1801m.



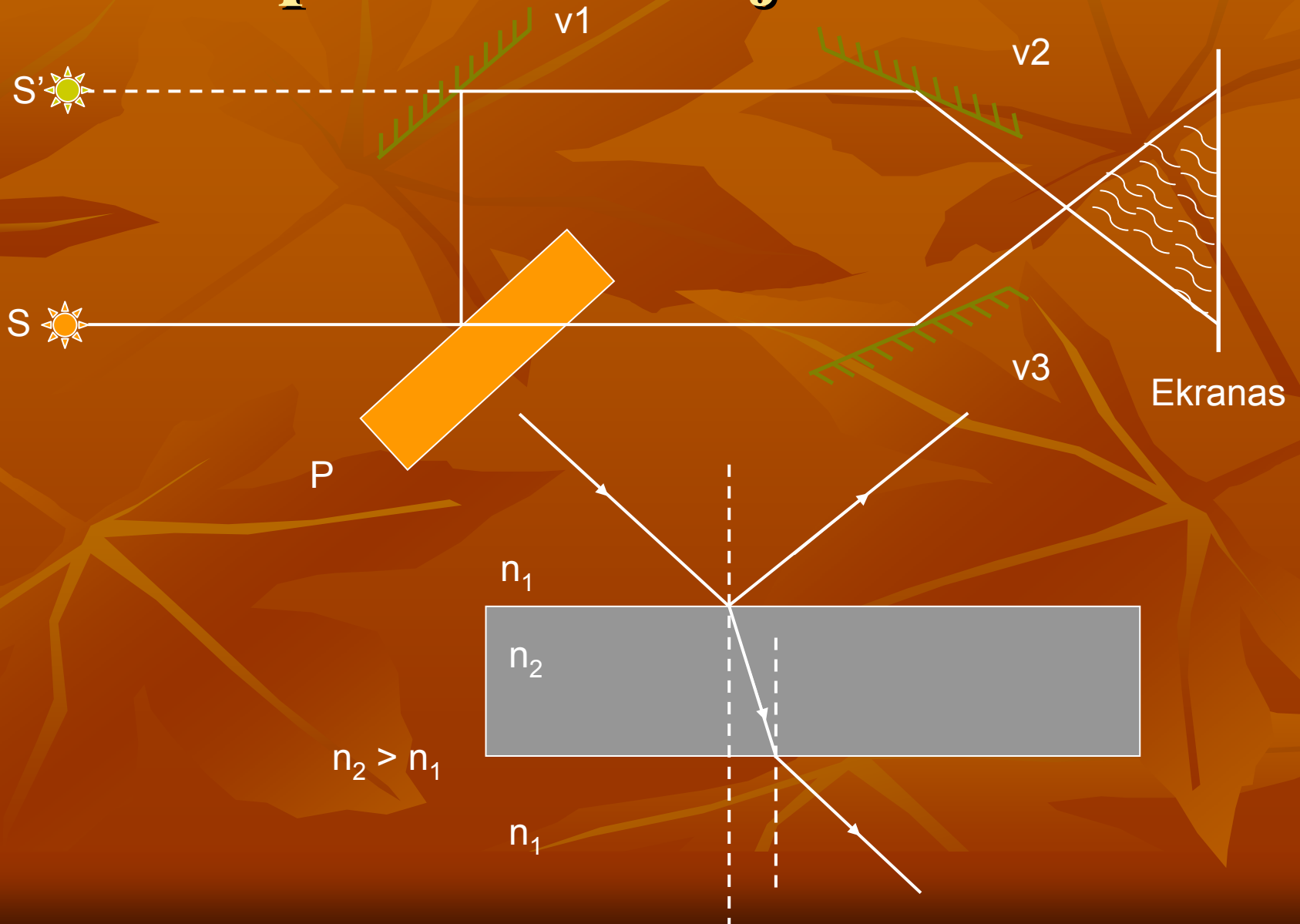
# Tomas Jungas

- Pirmasis parodė šviesos bangines savybes. Iki tol vyravo Niutono kurpuskulinė teorija.

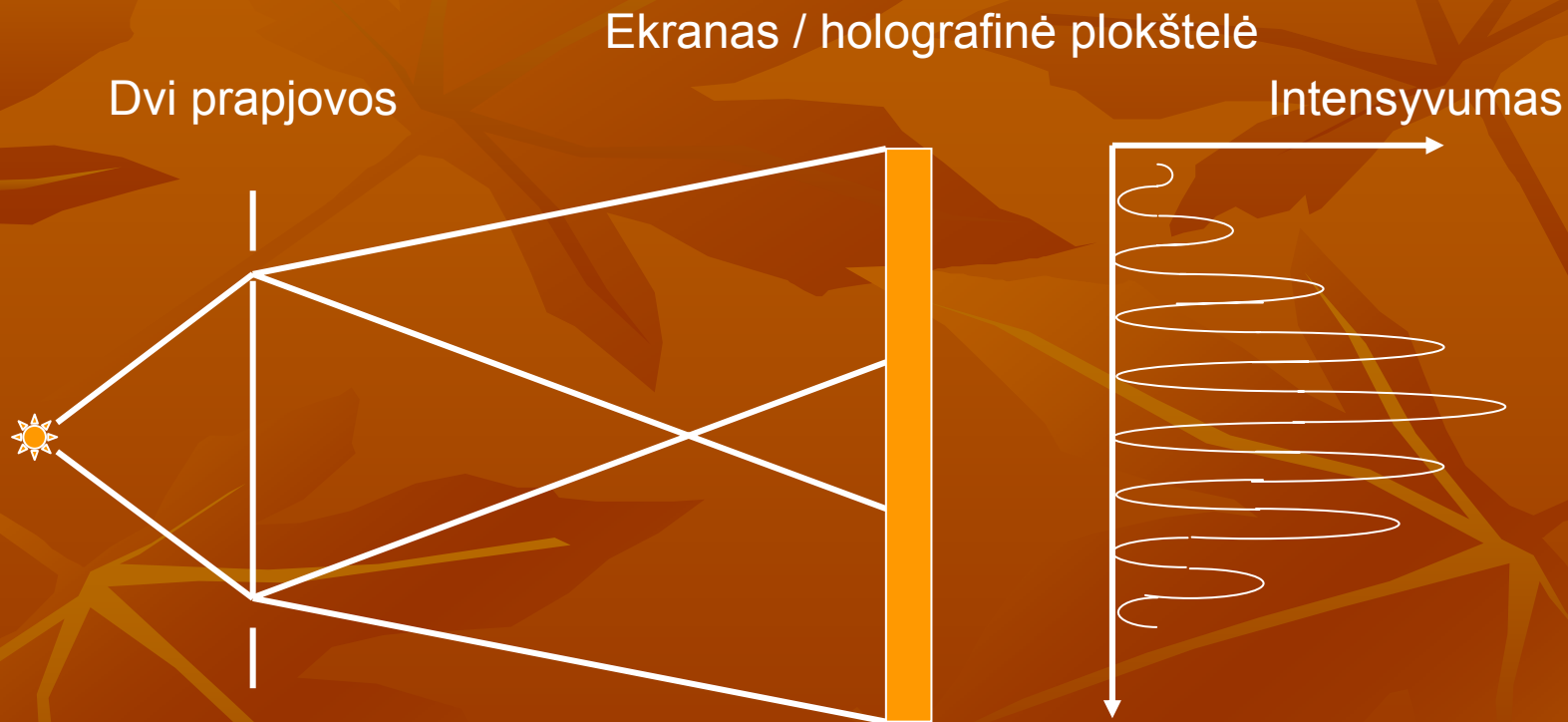


Thomas Young (1773-1829)

# Amplitudēs dalijimo būdas



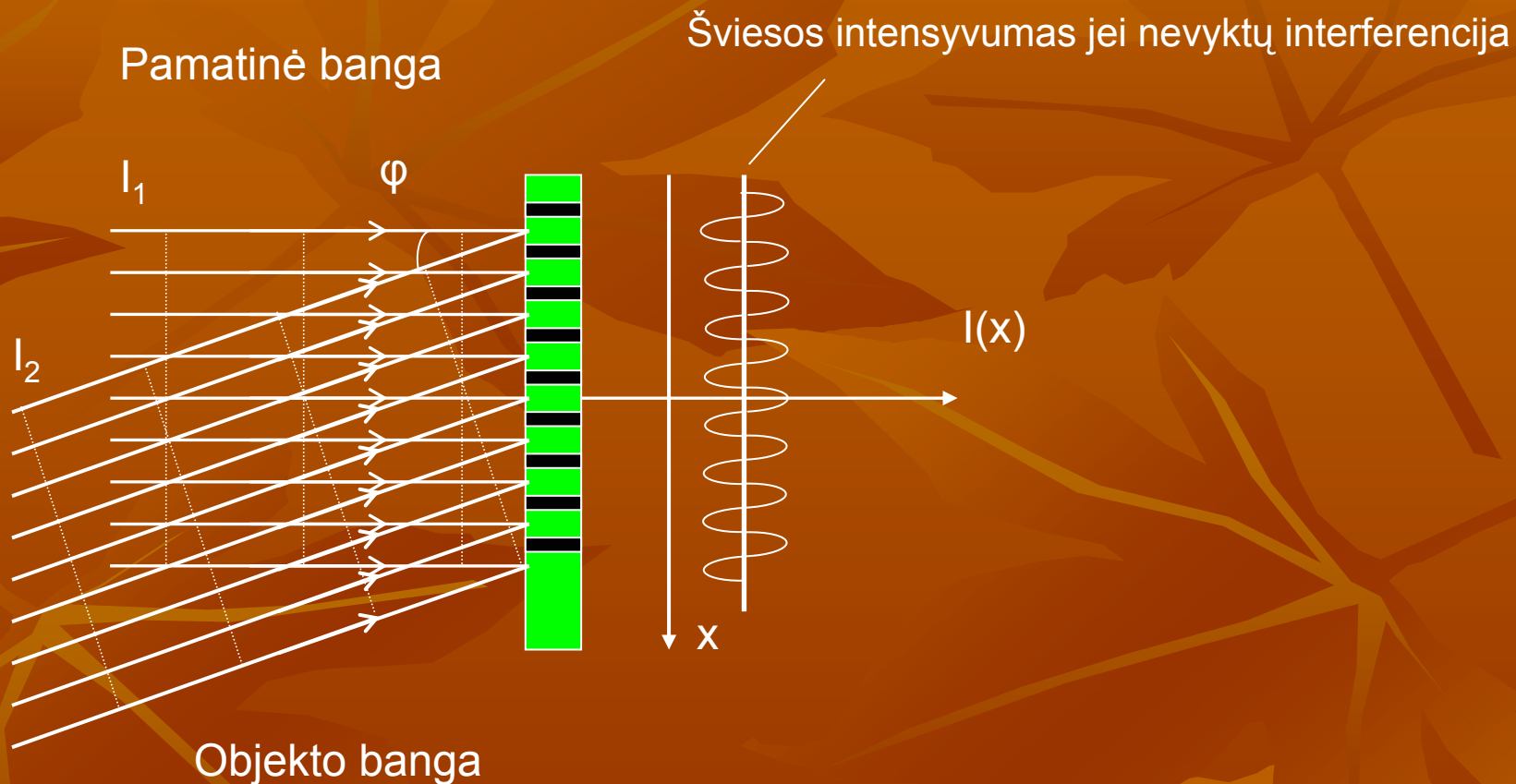
# Erdvinis koherentiškumas



# Medžiagos naudojamos holografijų užrašymui

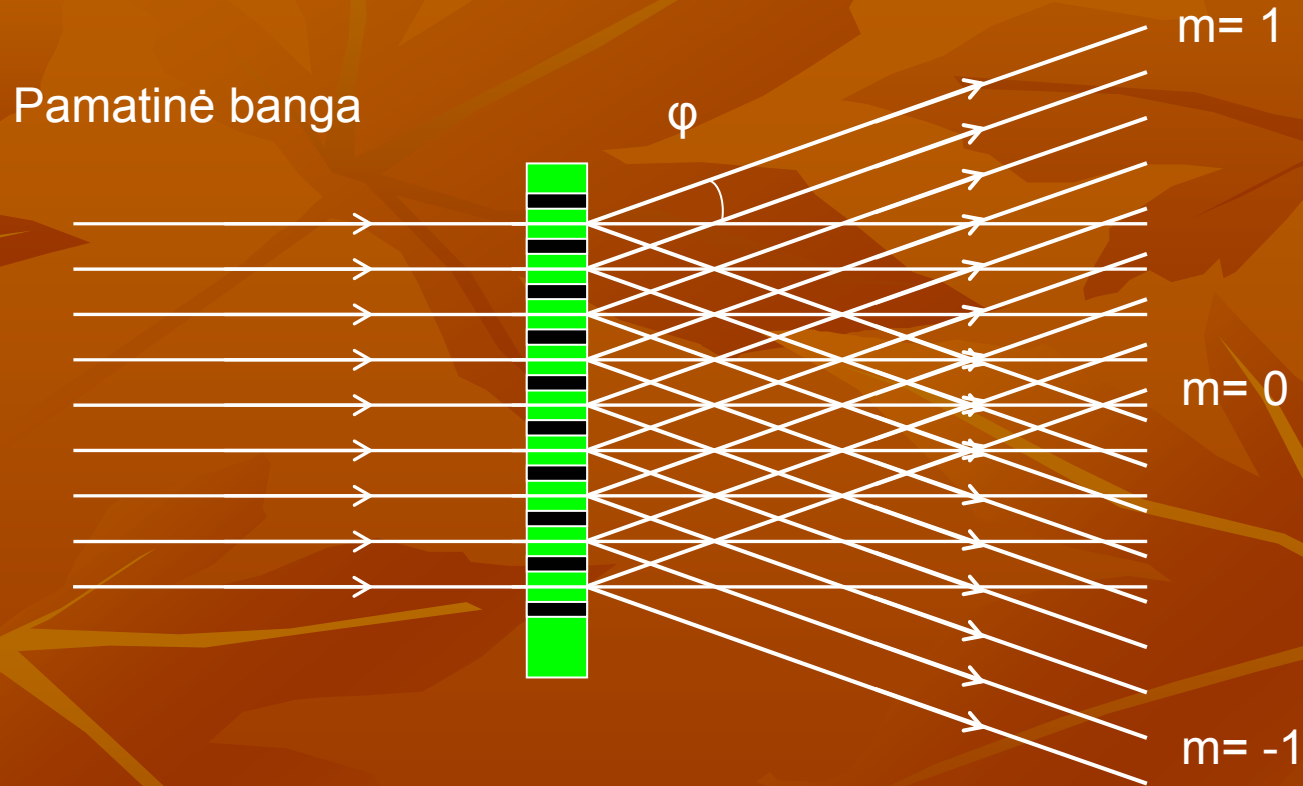
- As-S-Se (10000 lin/mm)
- $(\text{NH}_4)\text{Cr}_2\text{O}_3$
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_3$
- $\text{LiNbO}_3$
- $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$
- $\text{LiNbO}_3$
- Polaroid photopolymer
- PQ/PMMA Bayer photo-addressable polymer

# Plokščiosios bangos holografinis užrašymas

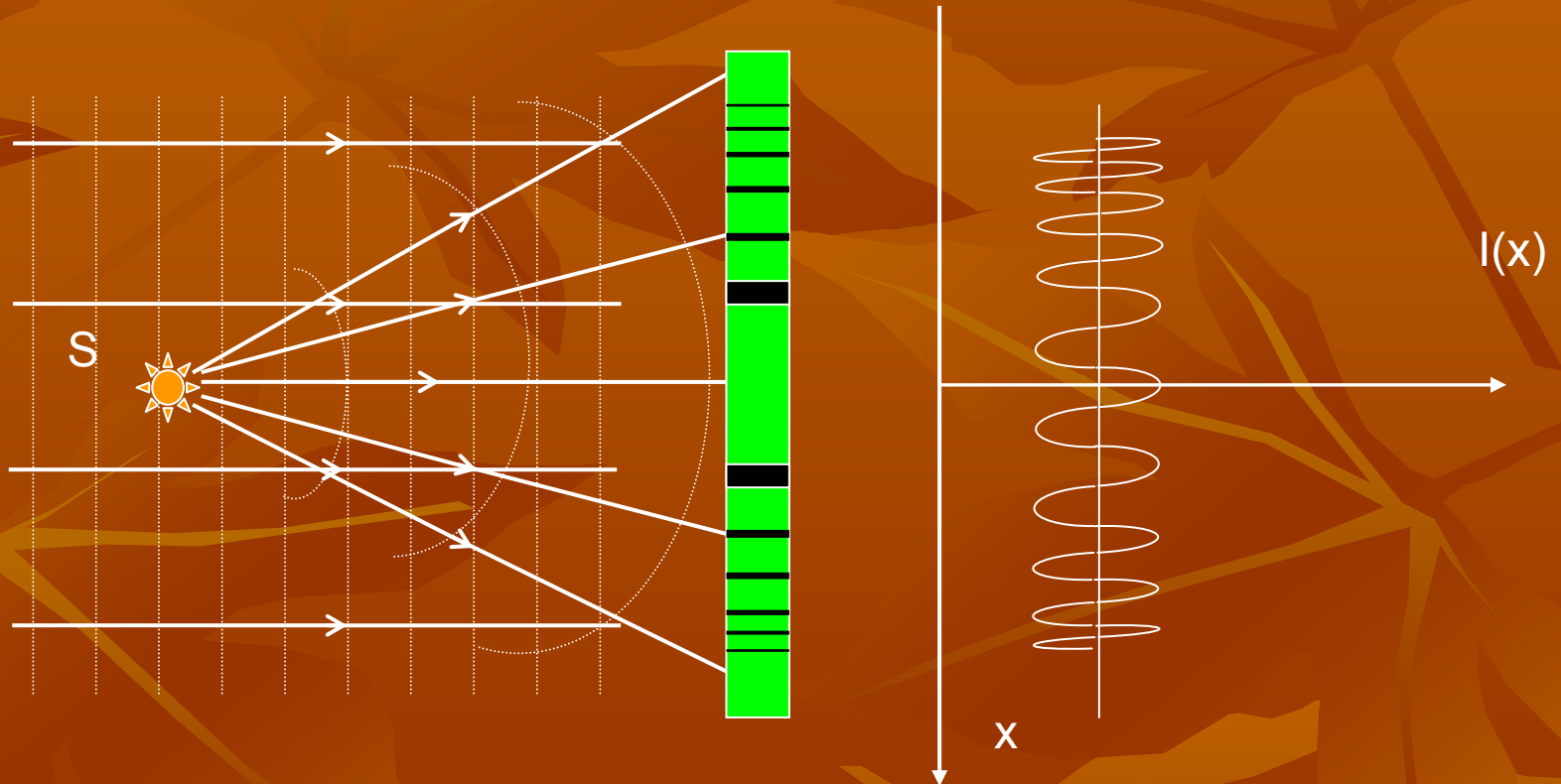


$$I(x) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos[k\Delta(x)]$$

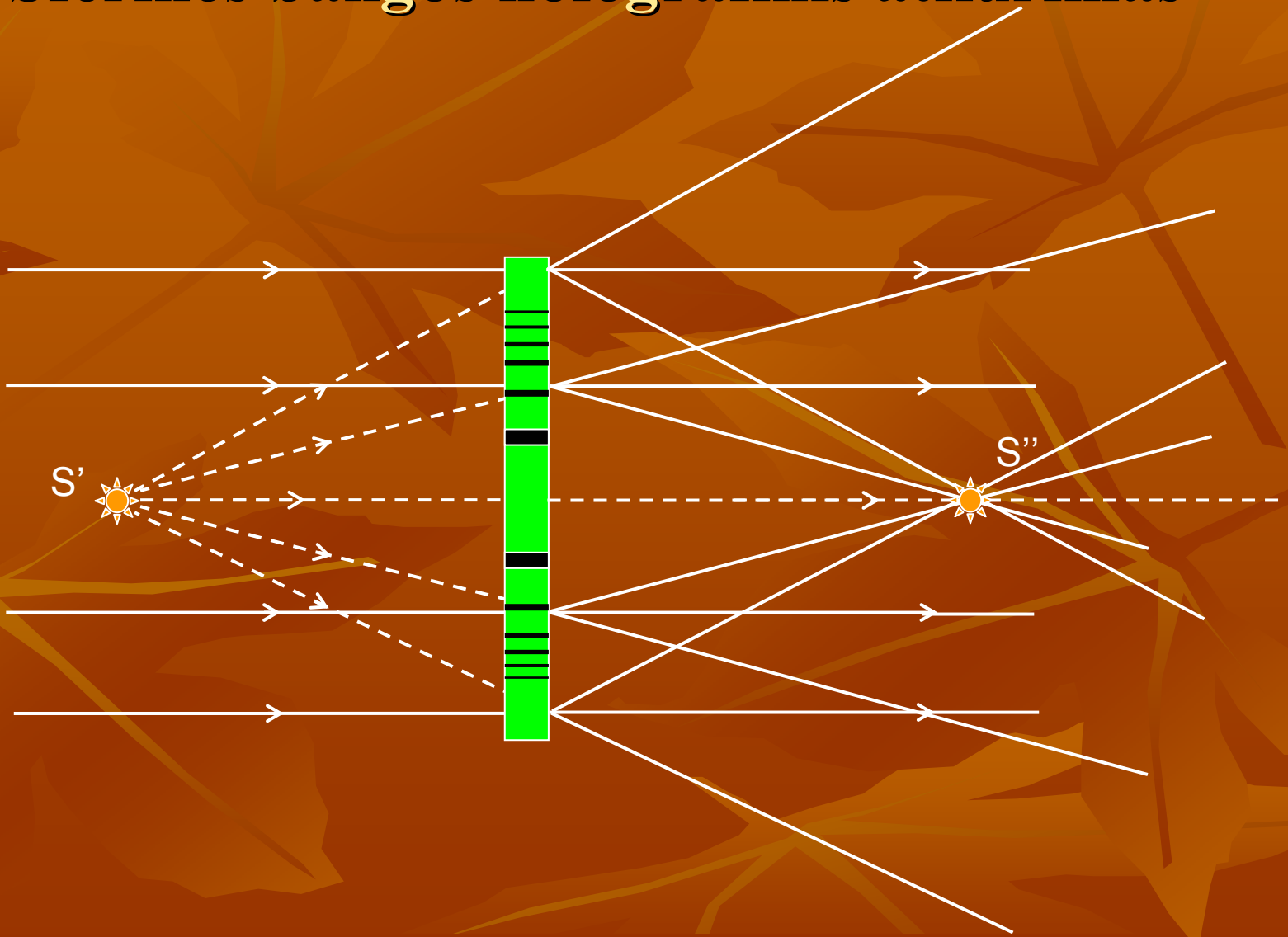
# Plokščiosios bangos holografinis atkūrimas



# Sferinės bangos holografinis užrašymas

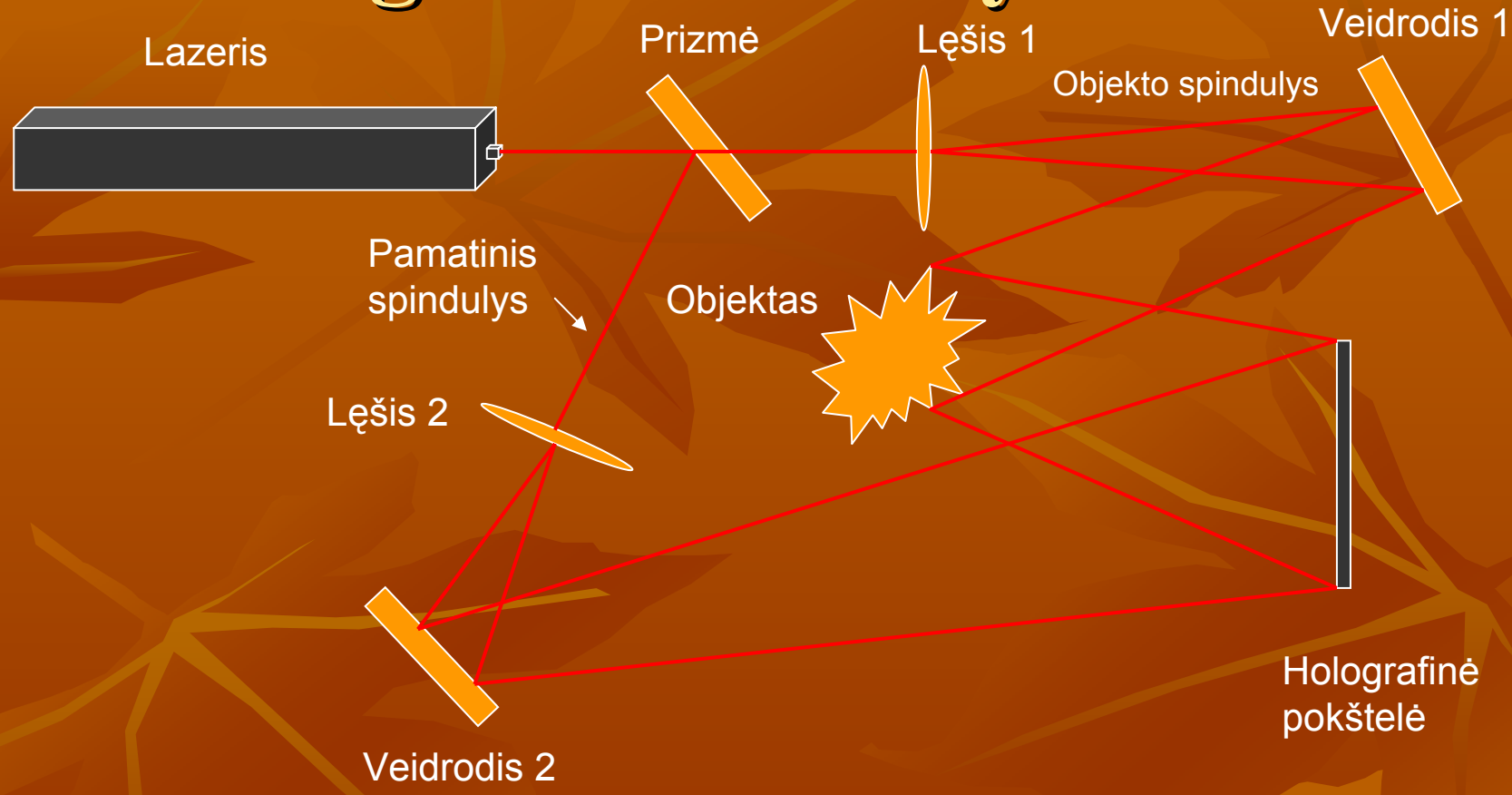


# Sferinēs bangos holografinis atkūrimas





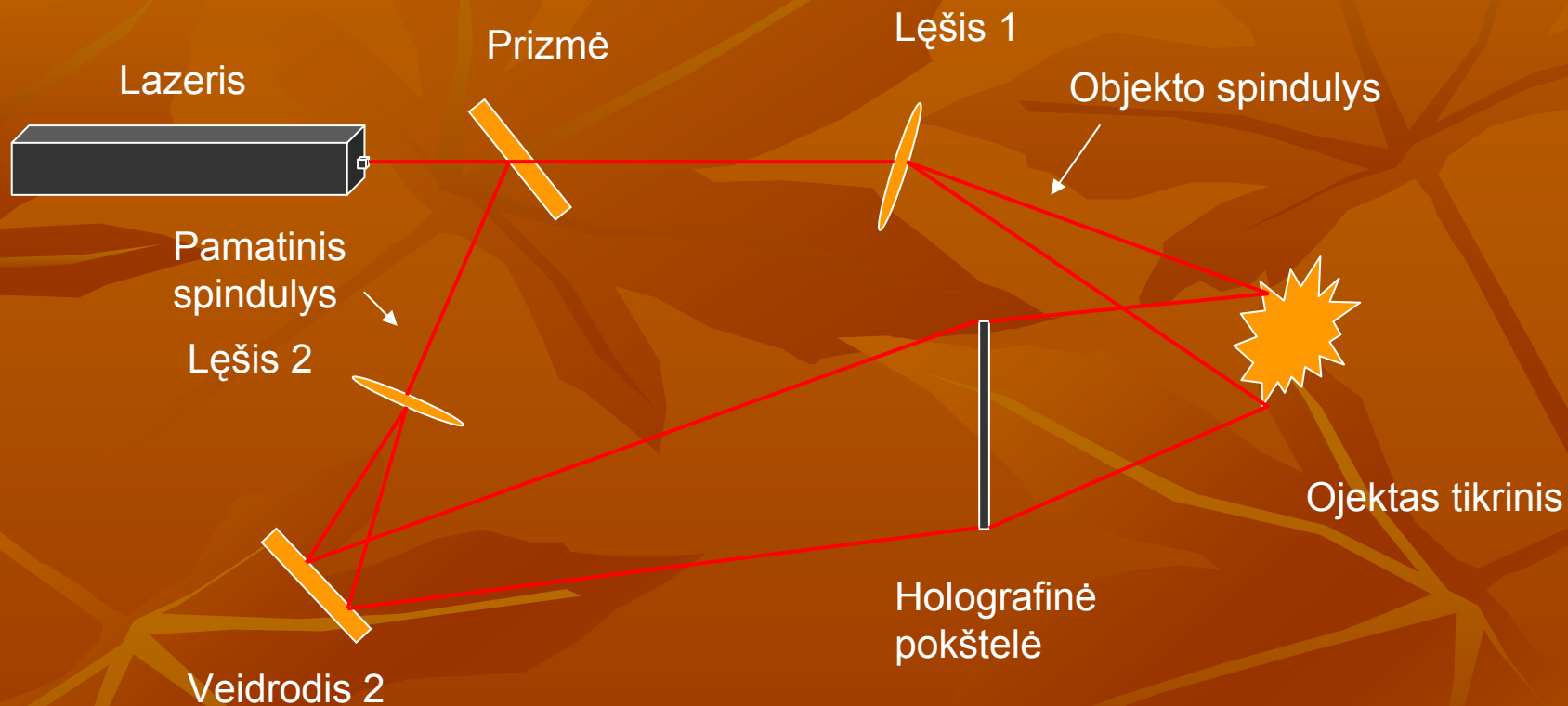
# Hologramos užrašymo schema



# Hologramos atkūrimo schema



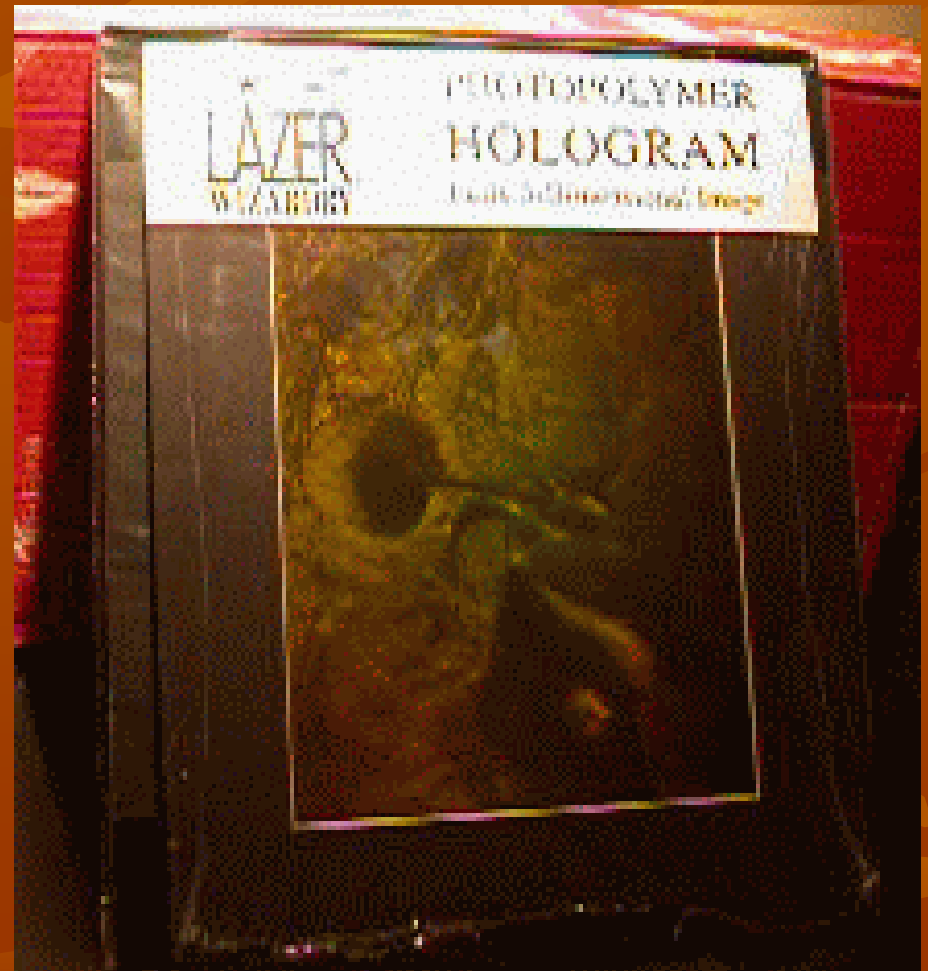
# Hologramos užrašymo schema

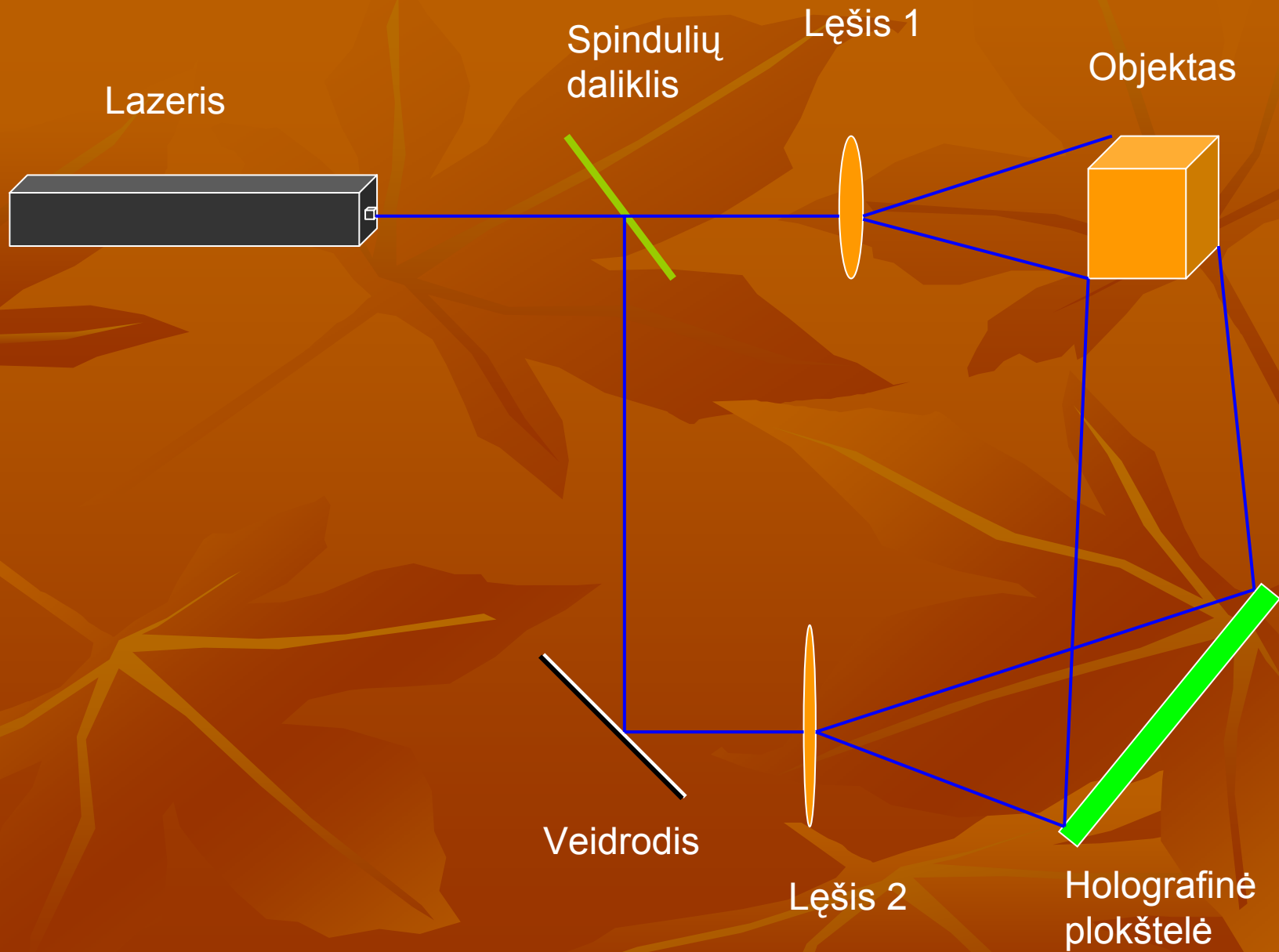


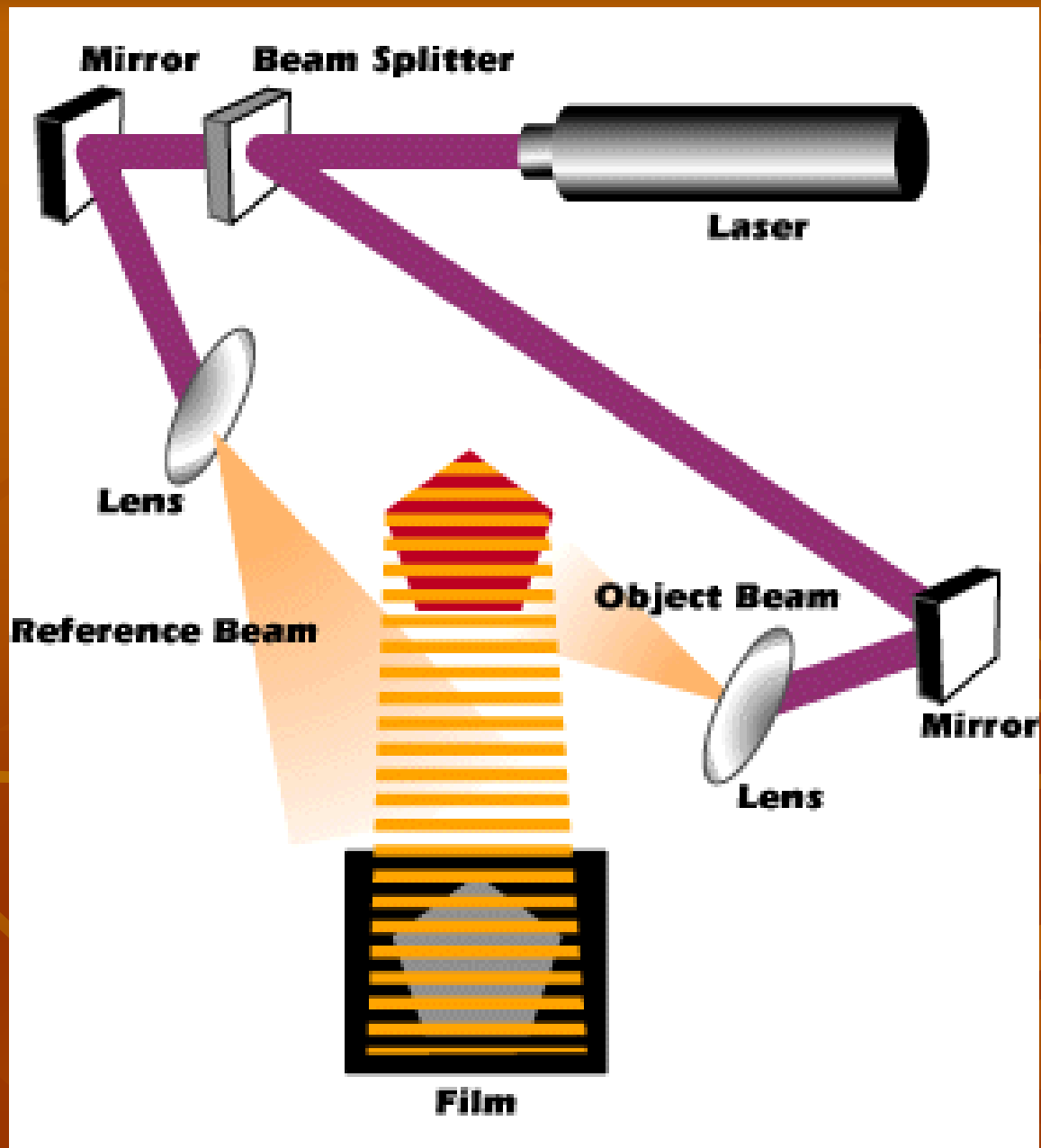
# Hologramos ir fotonuotraukos pavyzdžiai

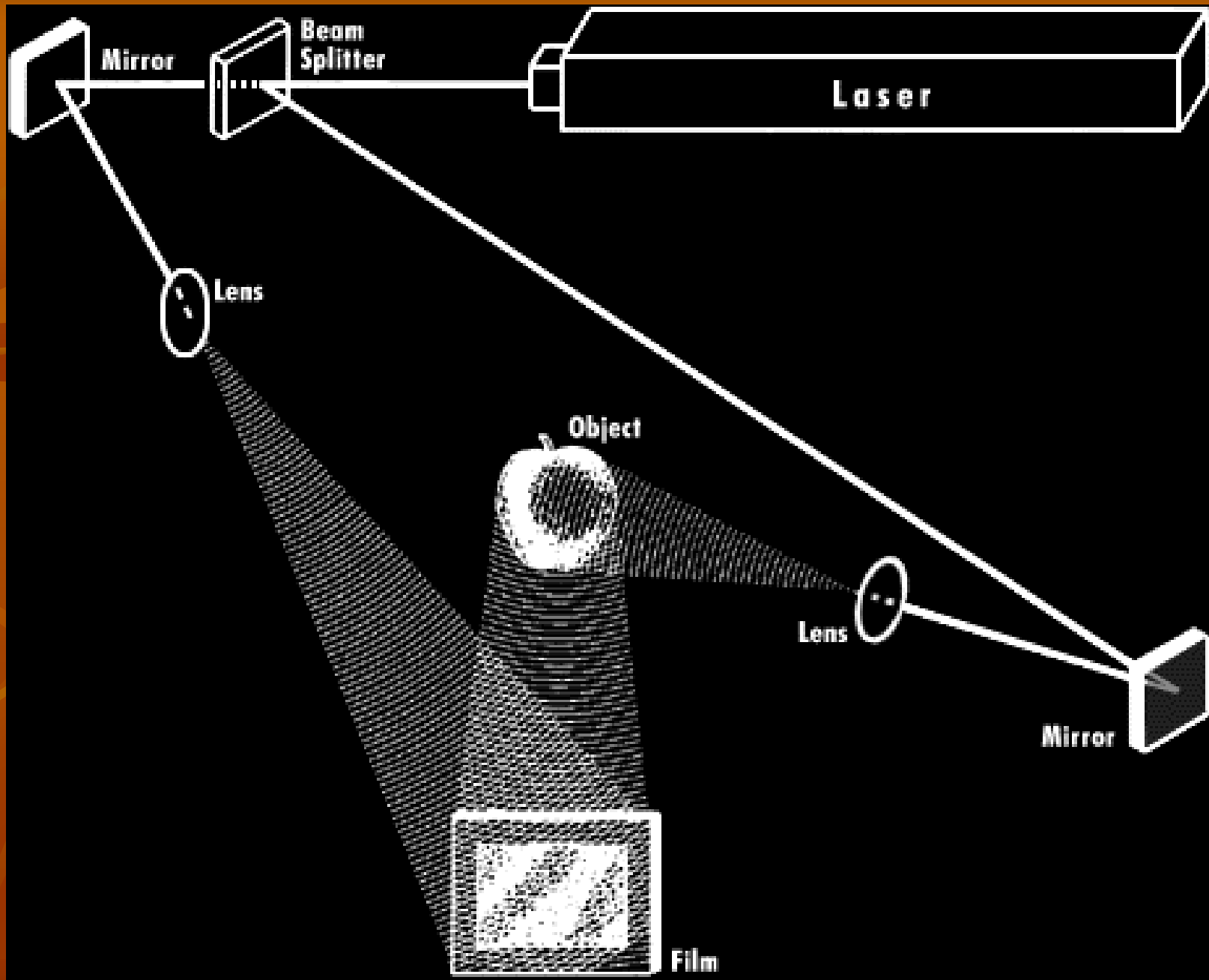


# Kingfisher (Čiurlys)











# Hologramos yra skirstomos į plokščias ir tūrines

- Ar holografija plokščia ar turinė nusako parametras  $L$ .
- Kai  $L > 10$  holografija turinė

$$L = \frac{2\pi\lambda_a T}{nd^2}$$

$T$  – jautraus sluoksnio storis kuriame užrašoma holograma

$n$  – jautraus sluoksnio lūžio rodiklis

$d$  – atstumas tarp interferencinių plokštumų

$\lambda_a$  – šviesos bangos ilgis vakume

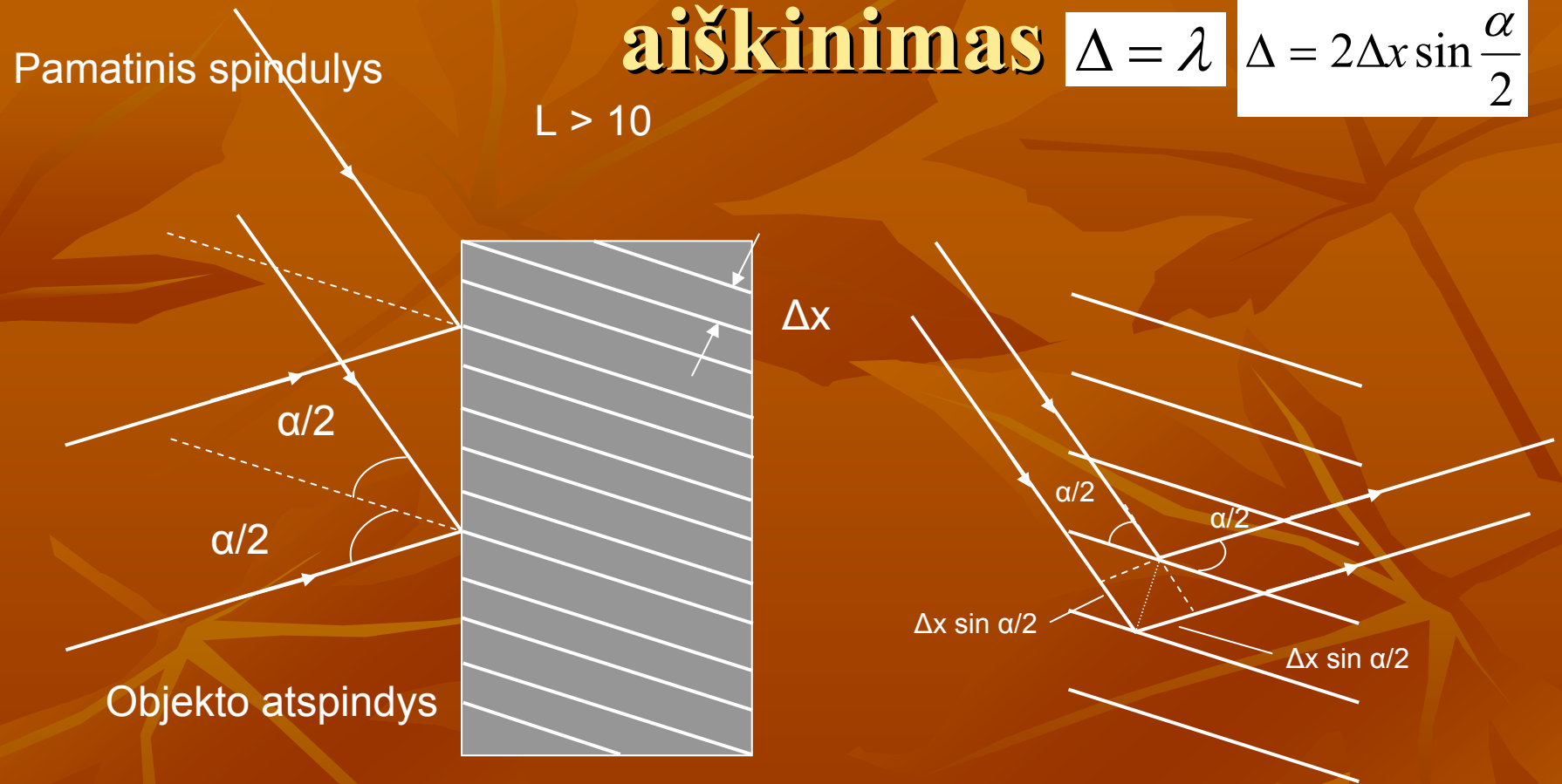
**Jei hologramos sluoksnio storis gerokai viršija  $L$  atstumą tarp interferencijos juostelių, hologramos vadinamos tūrinėmis.**

- Fotomedžiagos naudojamos holografijų užrašymui turi turėti skyrą 1500-2000 lin/mm
- Storų (tūrinių) hologramų 5000 lin/mm skyra.

# Turinių hologramų savybių aiškinimas

$$\Delta = \lambda \quad \Delta = 2\Delta x \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$L > 10$$



- Stiprinama tada, kai spindulių eigos skirtumas lygus sveikajam bangos ilgių skaičiui.

# Tūrinė holograma

- Tūrinė holograma gali būti atkuriamą balta šviesa. Tai reiškia, kad atkuriant objekto vaizdą storasluosnė holograma veikia kaip interferencinis filtras, iš krintančios šviesos išskiriantis tokio bangos ligo spinduliuotę, kuri buvo naudota įrašymo metu. Tūrinė holograma gali būti akuriama ir kaip plokščioji holograma.
- Plokščioji holograma, tik koherentiniu bangų šaltiniu (lazeriu).

# Truputis istorijos

- 1962m. Dr. Jurijus N. Denisiukas (Rusija) sujungė holografiją su 1908m. Nobelio laureto Gabrieliu Lipmanu darbu apie natūralių spalvų fotografiją. J. Denisiukas atrado baltos šviesos atspindžio hologramą, kuri pirmą kartą galėjo būti matoma apšviesta baltos šviesos lempute.



Y. Denisyuk

# Holografijos užrašymo pavyzdys

[www.holoworld.com](http://www.holoworld.com)





Objektas (kaukolė)

Lęšiai

Fotojautri plokštelė

Veidrodis

Lęšiai

Spindulų daliklis

Veidrodis

Lazeris

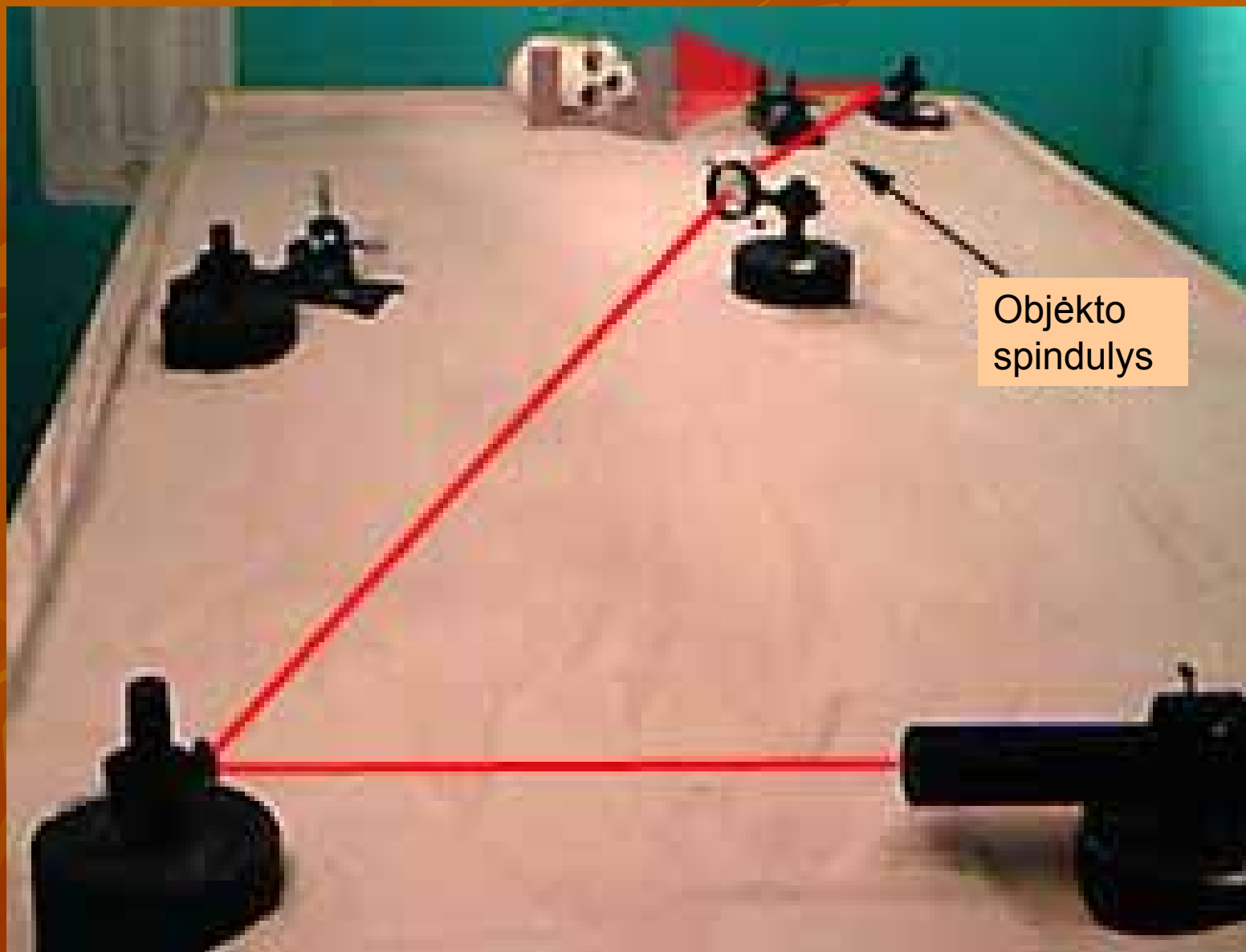
Veidrodis





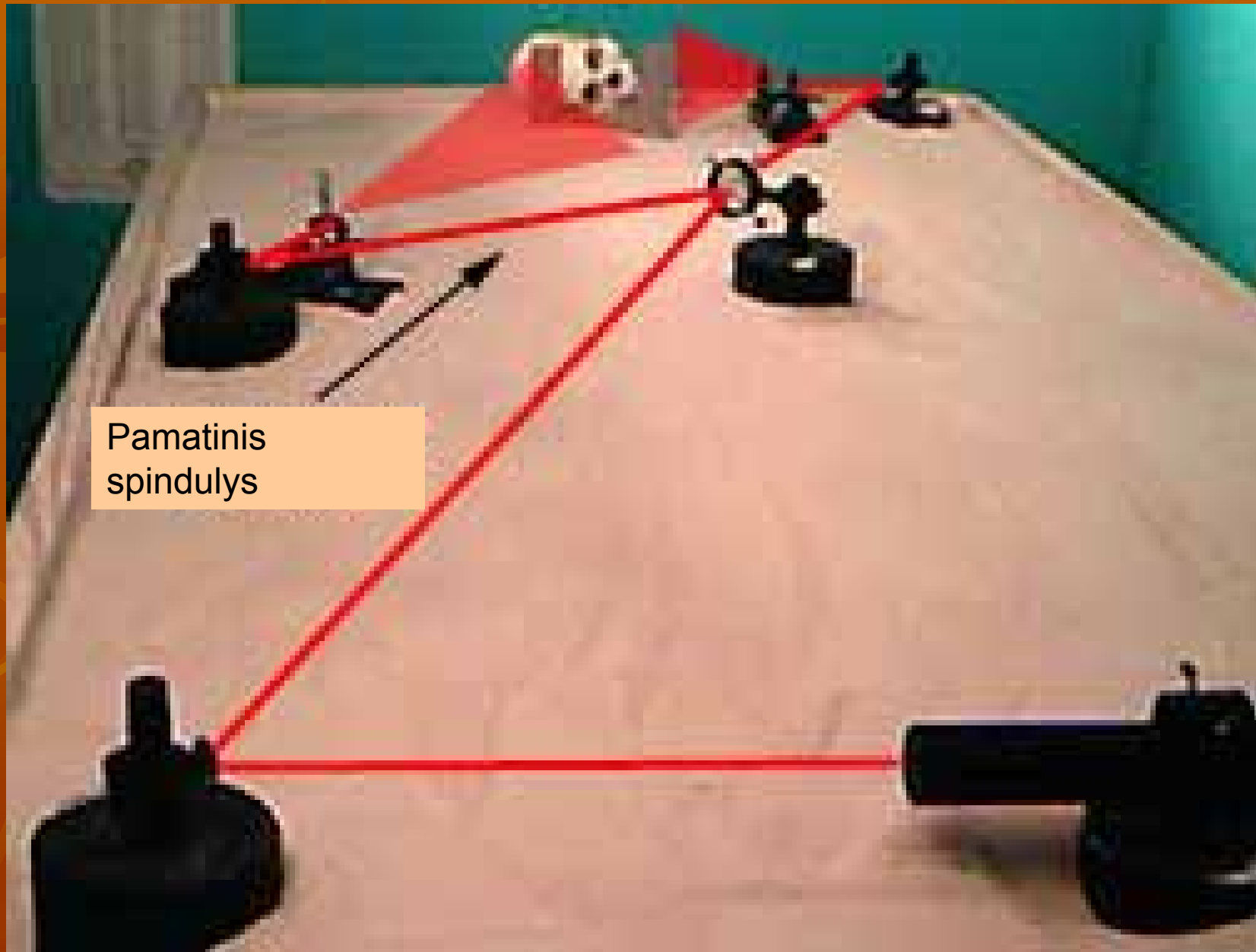


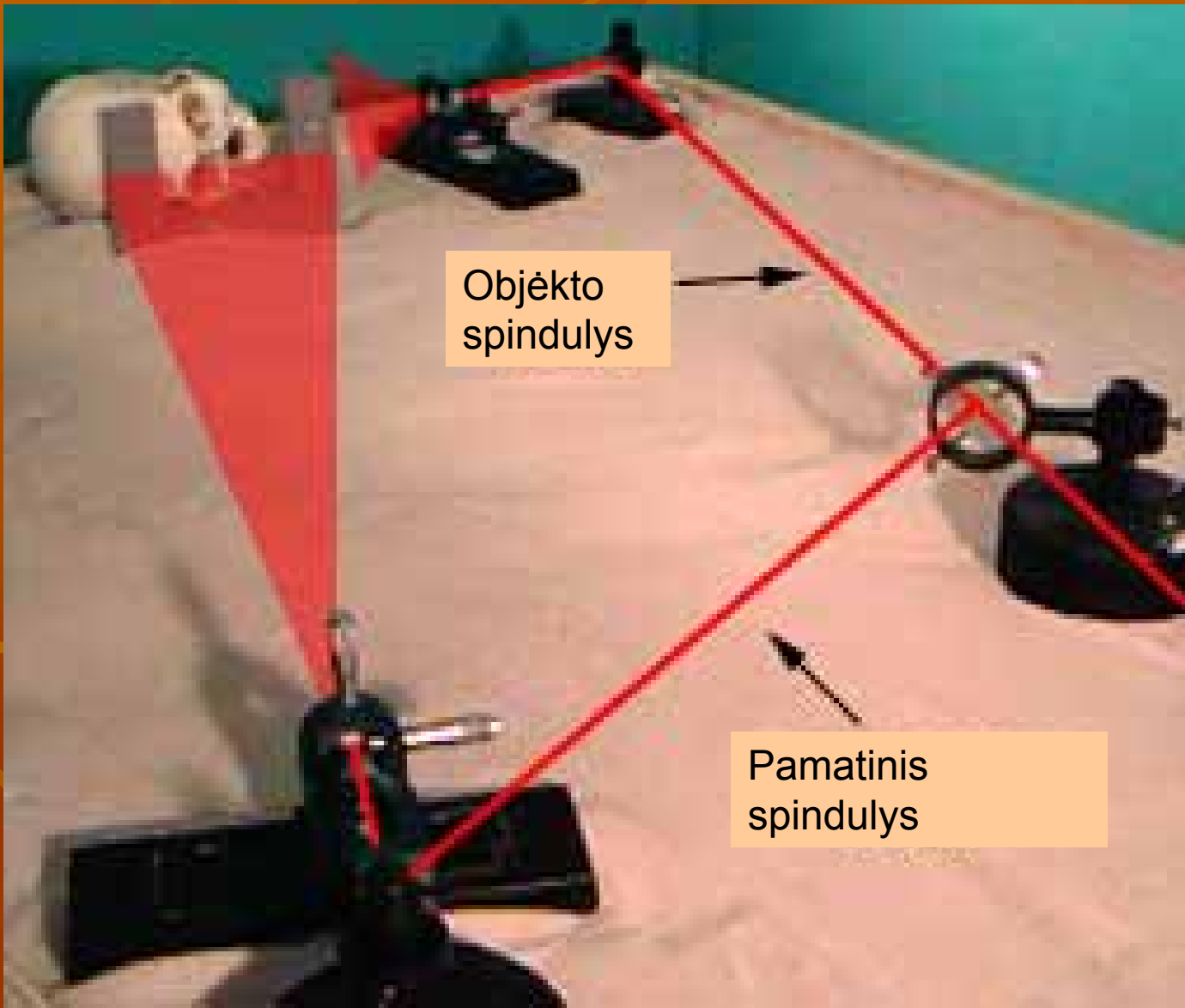
Lazerio pluoštas



Objekto  
spindulys

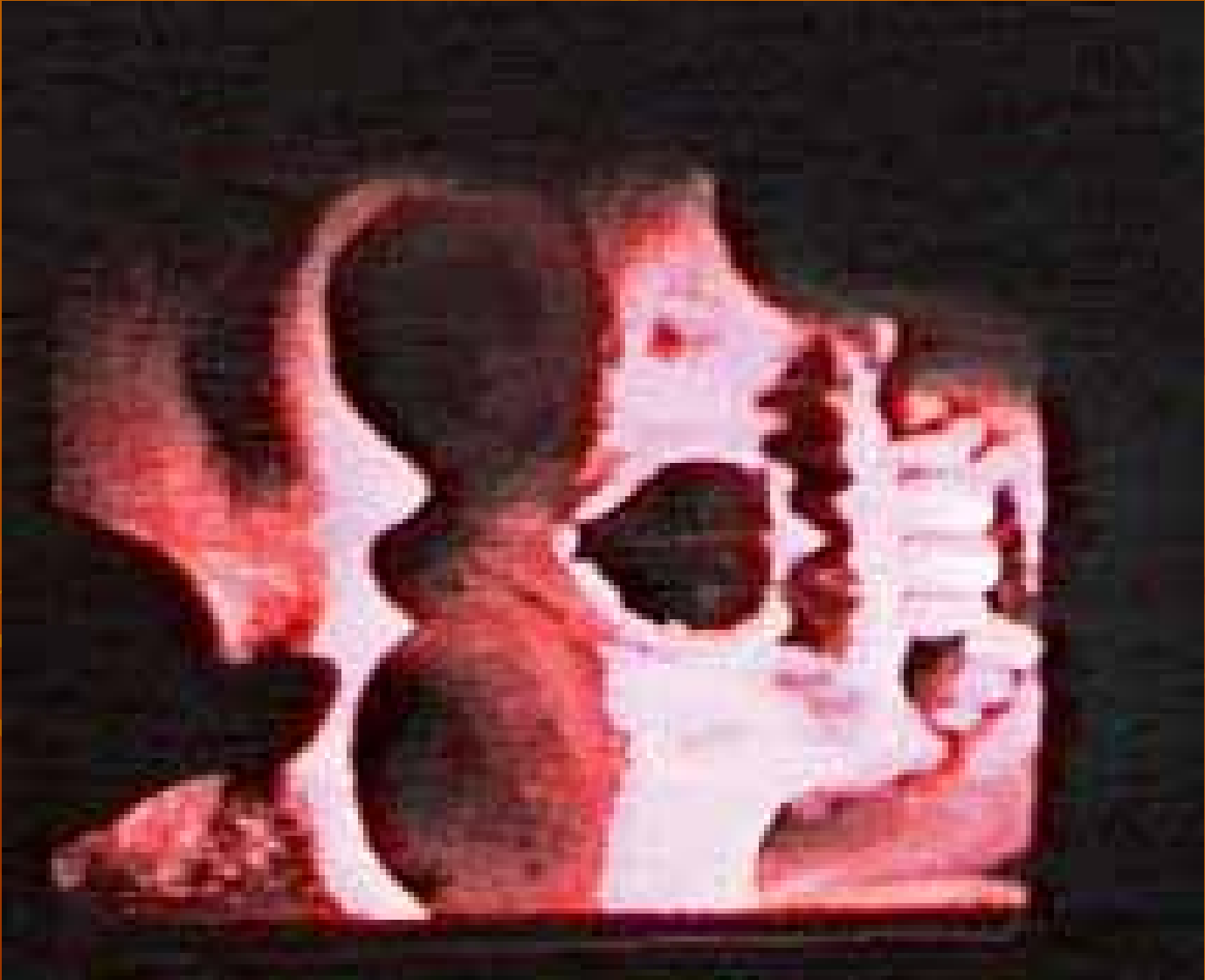
Pamatinis  
spindulys





Objekto  
spindulys

Pamatinis  
spindulys





# The Animated Holographer

This is to Certify that

Domantas Peckus

Has participated in the on-line  
laser and holographer program  
THE ANIMATED HOLOGRAPHER  
at the  
INTERNET WEBSEUM OF HOLOGRAPHY

**THE INTERNET**  
**webseum**  
**of**  
**holography**



Signed, Frank DeFreitas  
The Internet Webseum of Holography

# Hologramos savybės:

- Bet kuris hologramos gabalėlis turi visą informaciją apie daiktą. Galima atstatyti vaizdą iš mažo gabalėlio, bet blogėja kokybė ir skyra.
- Galima stebėti hologramas prie kito bangos ilgio. Užrašoma trumpu bangos ilgiu  $\lambda_{UV}$ , o atstatoma matomoje šviesoje  $\lambda_{st}$ , gauname didinimą  $\lambda_{st}/\lambda_{UV}$ .
- Holograma duoda tūrinį vaizdą. Tai gaunama, nes registruojama amplitudė ir fazė. Tūriškumą galima stebėti ir fotografuoti iš skirtingu erdvės taškų.
- Ant vienos hologramos galima fiksuoti skirtingas to pačio objekto hologramas, jam keičiantis arba skirtingų objektų hologramas.



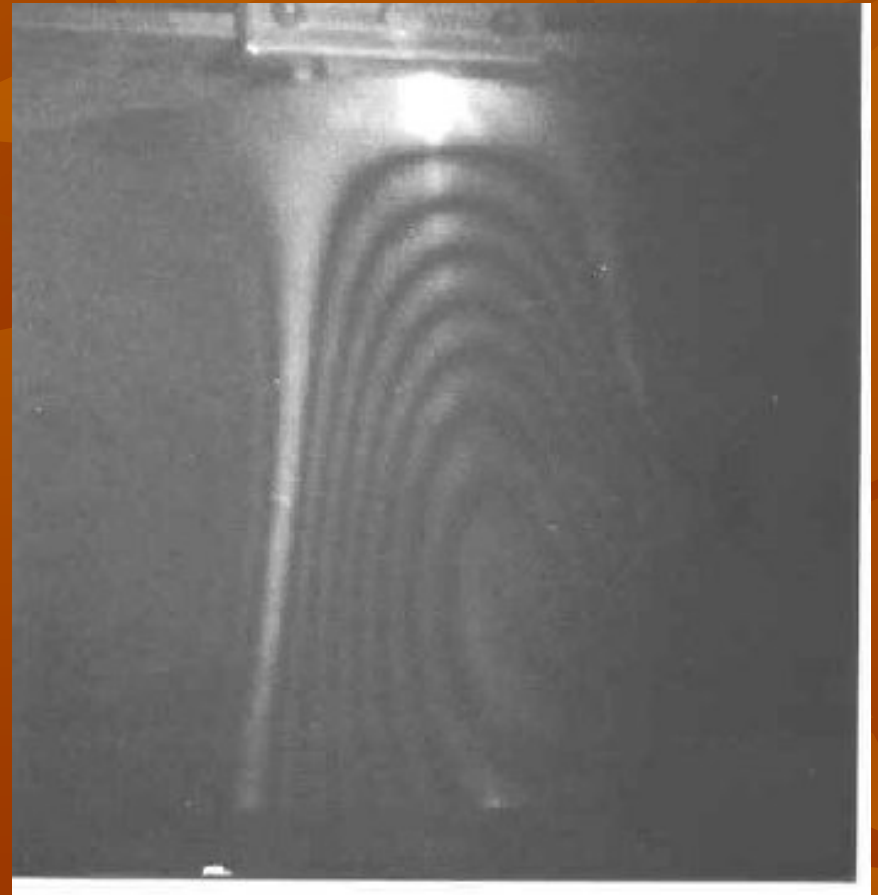
# Taikymo klasifikacija

- Holografinė interferometrija
- Vaizduojamoji holografija
- Sparčiųjų procesų tyrimas

# Holografinė interferometrija

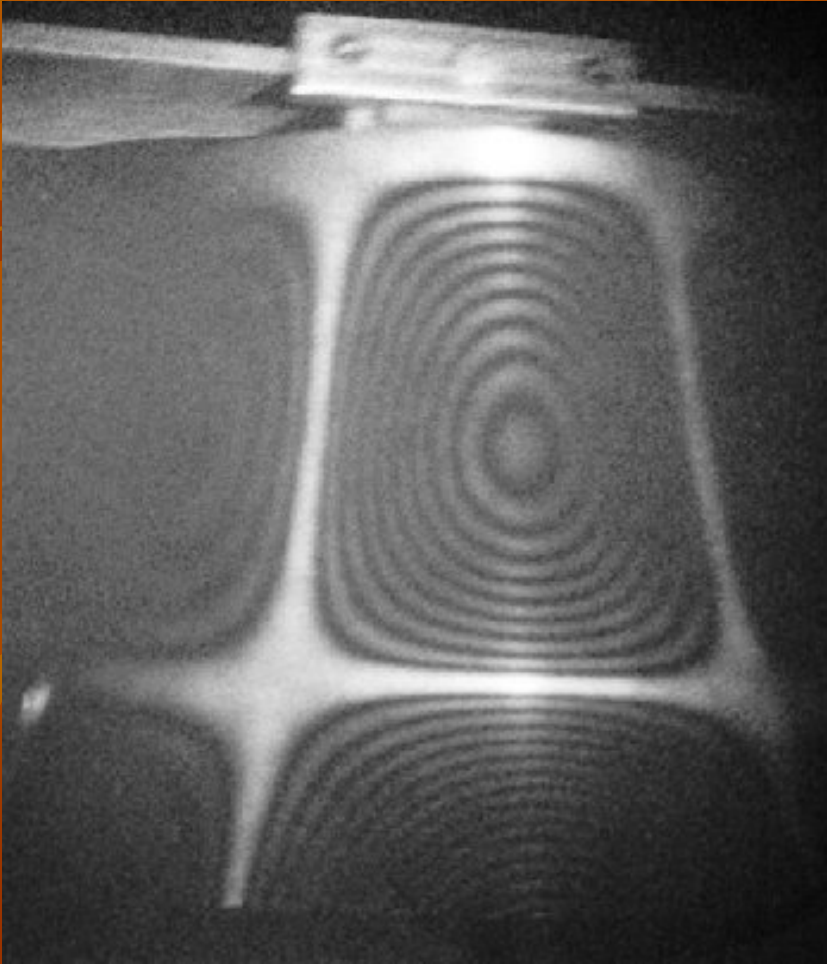
- Nustatyti labai mažai deformacijai yra naudojamos hologramos. Viena holograma yra padaroma veikiant jėgai P1, o antroji jėgai P2.
- Net nedideli objekto paviršiaus pokyčiai (įtrūkimai, įdubimai) lengvai registruojami interferencinių juostų fone dėl didelio interferencinio metodo jautrumo.
- Interferencinės juostos formavimui užtenka  $\lambda/2$  kelio pokyčio (He-Ne lazerio atveju šis nuotolis yra lygus  $0,34\mu\text{m}$ ).
- Holografiniai metodai leido apskaičiuoti sudėtingas konstrukcijas, kurių tvirtumą nepavyko įvertinti matematiškai.

# Deformacijų pavyzdžiai

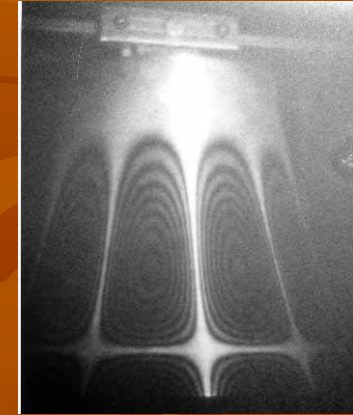


Hand Bell Vibrating in a (3,0) mode at 196.53 Hz

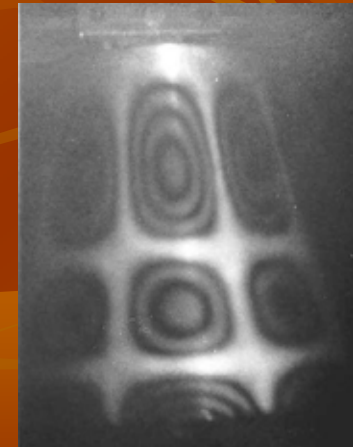
# Interferencinis vaizdas



Hand Bell Vibrating in a (3,1) mode at 1342.3 Hz



Hand Bell Vibrating in a (5,1) mode at 1469.7 Hz

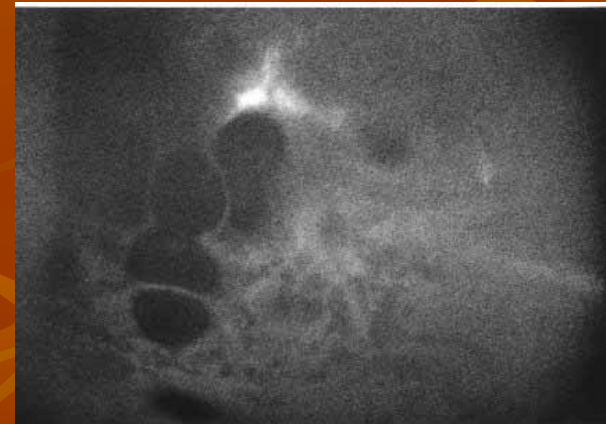


Hand Bell Vibrating in a (5,2) mode at 2605.9 Hz

# Plieninio disko interferencinis vaizdas



1811,7 Hz



1018,3 Hz

# Vaizduojamoji holografija

- Naudojama parodų salėse, reklamoje, mokomiesiems tikslams ir moksliniams tyrimams.

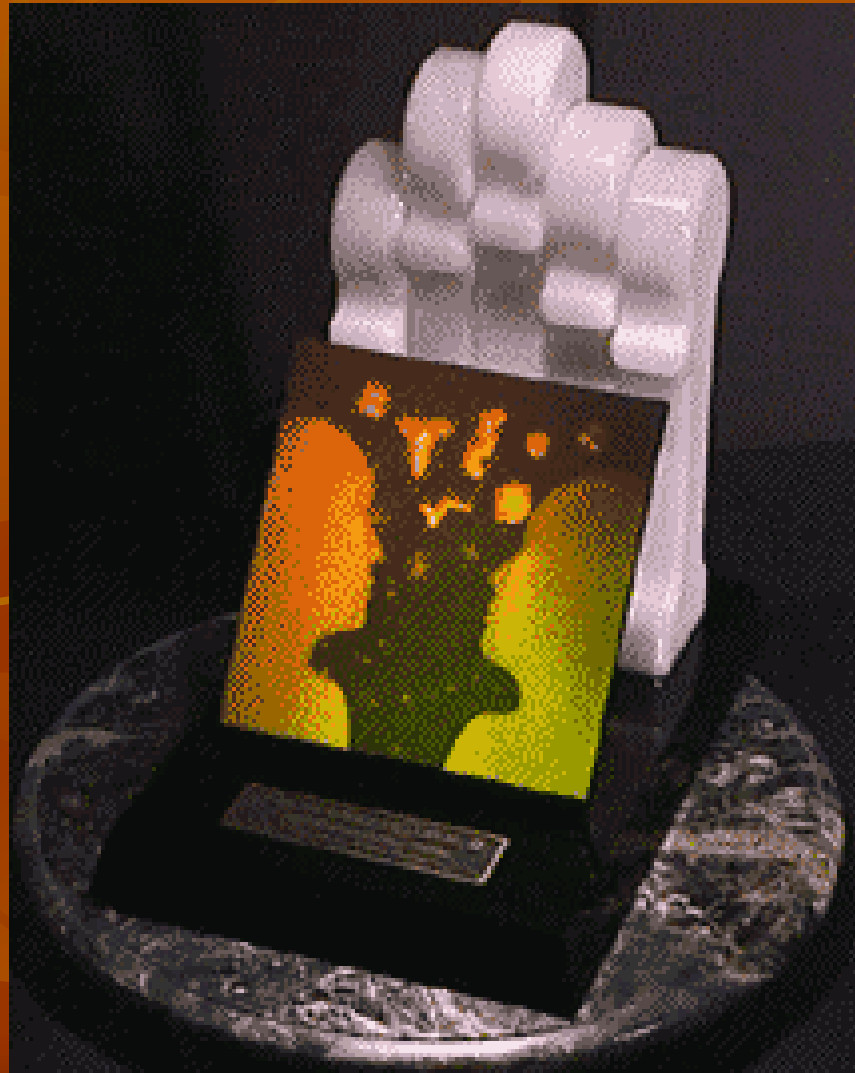


# Vaizduojamoji holografija

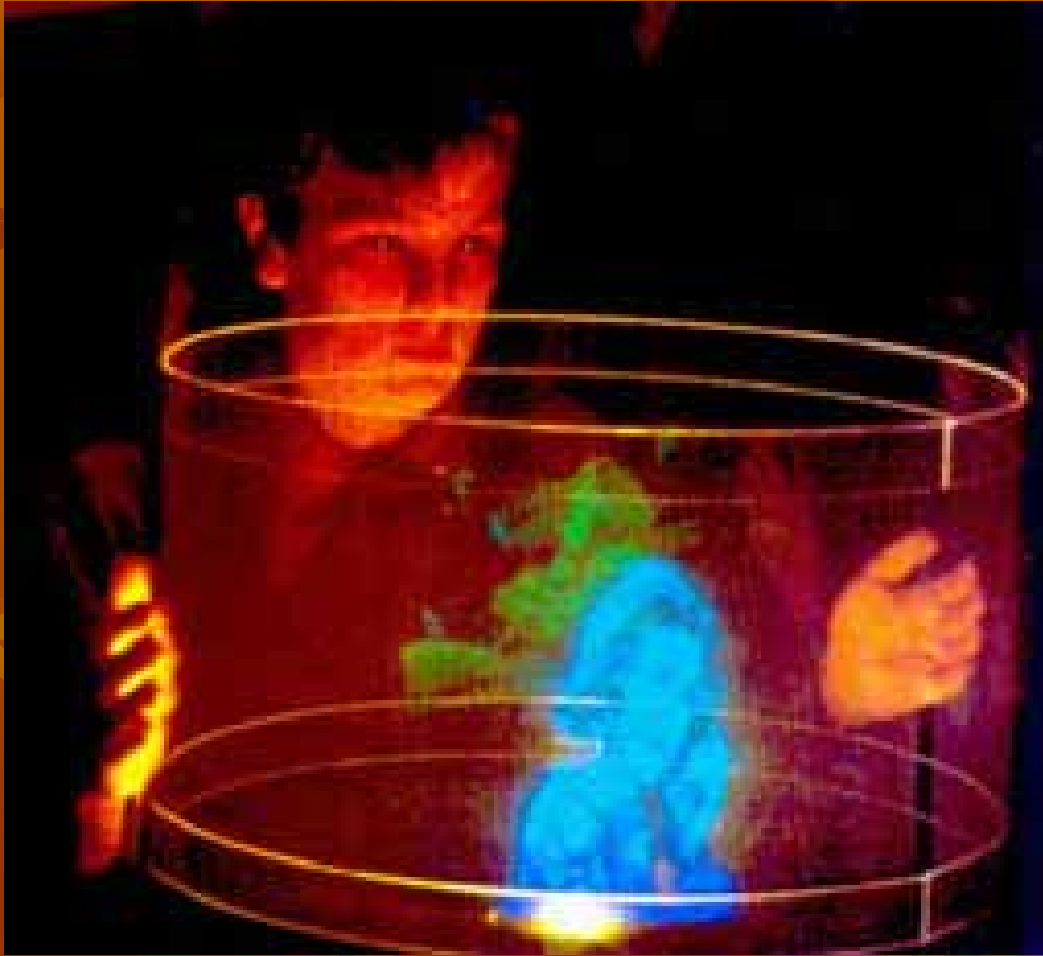


- Vaizdai atrodo tokie tikri, kad lankytojai stengiasi juos paliesti, bet nieko neranda tik sufokusuotą šviesą.

# Objektą galime apžiūrėti 360° kampu







# Holografija informacijos užrašymui

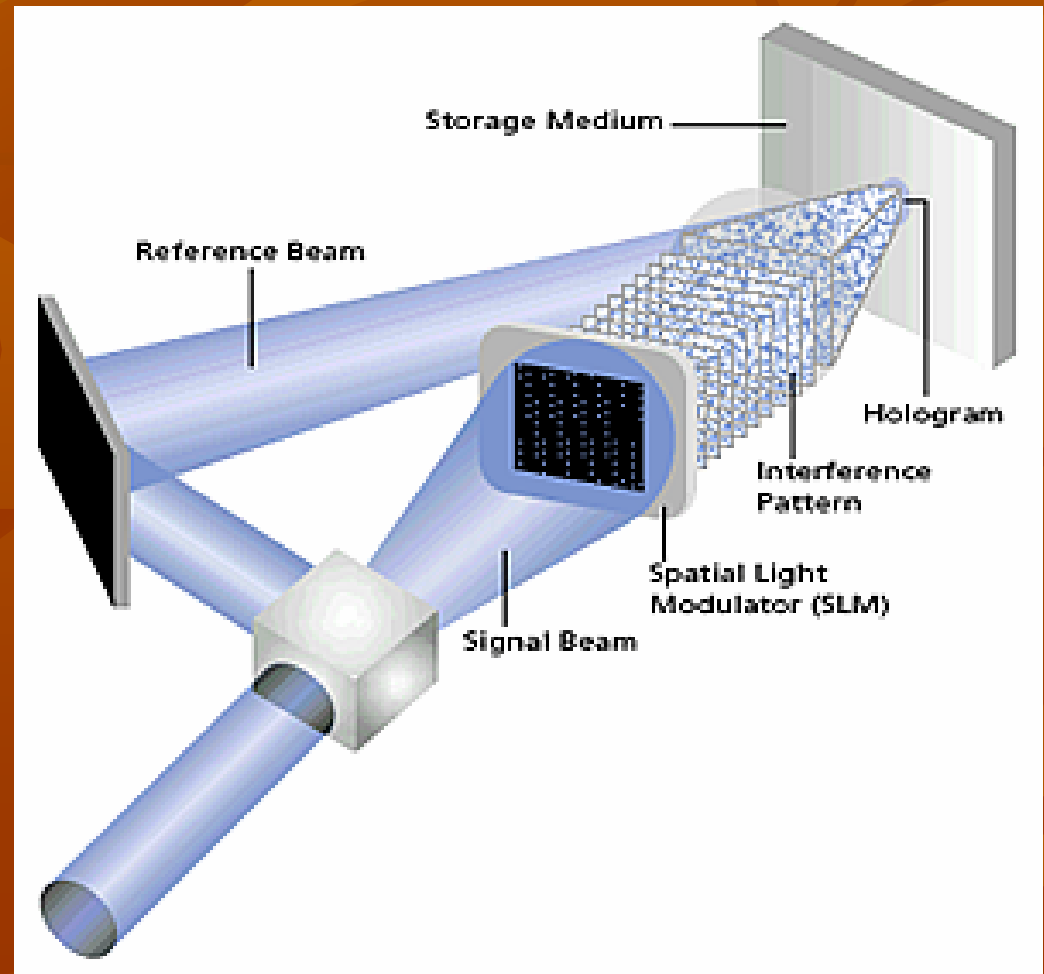
- Kaip žinome holograma išsaugo garokai daugiau informacijos, nei fotografiją. Vadinasi tame pačiame plote galime įrašyti daugiau informacijos.
- IBM (HVD) rezultatas yra 394 bits/kv. microną. DVD vieno sluosnio tankis 4.7bits/kv.microną. Skersmuo 120 mm.
- DVD talpa sudaro 1% HVD (Holographic Versatile Disc) talpos. (Į tūrio vieneta)

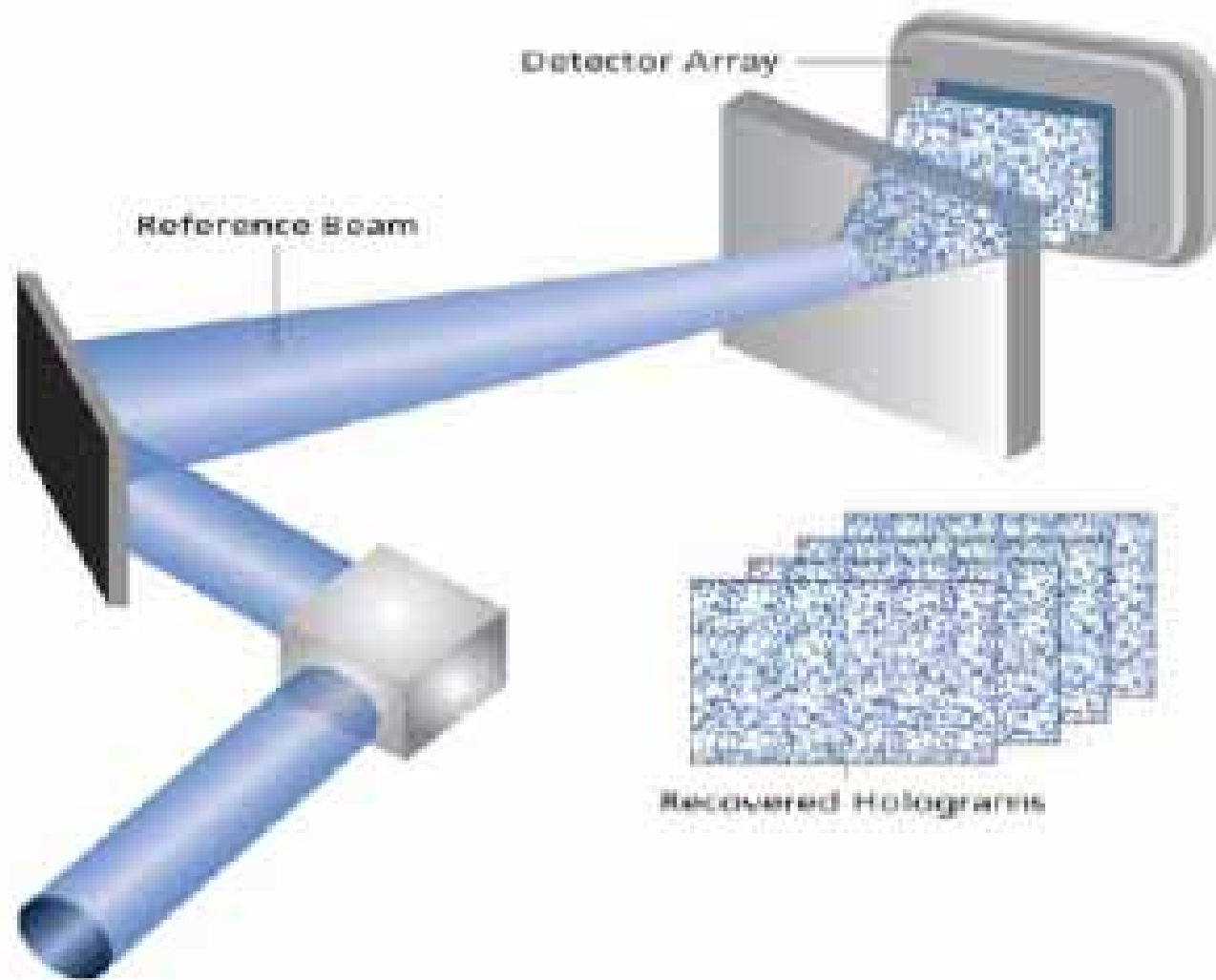
# HVD



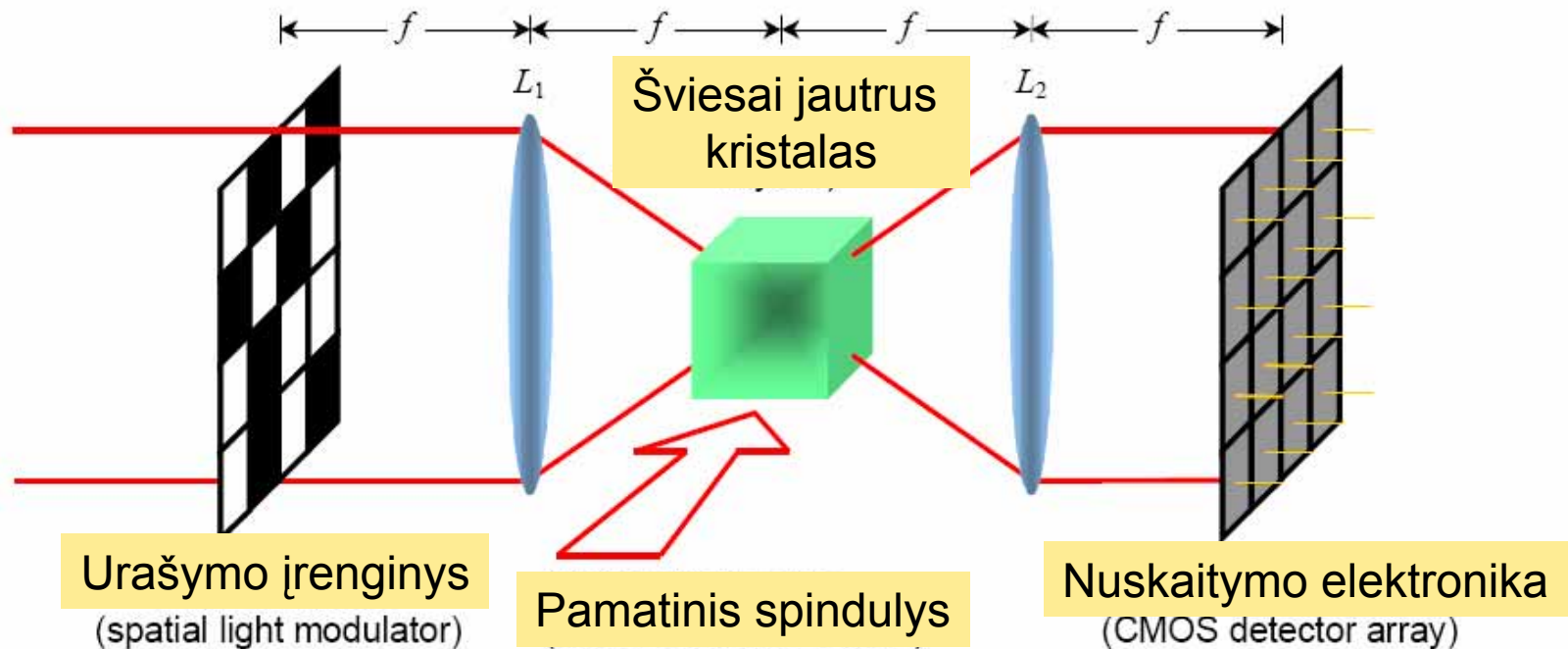
- 2004 m. gruodį šešios firmos – CMC Magnetics Corporation, Fuji Photo Film Co., Ltd., Nippon Paint Co., Ltd., Optware, Pulstec Industrial Co., Ltd. and Toagosei Co., Ltd. – suformavo HVD alijansą holografinio disko kūrimui ir susitarė dėl standartų.
- Tikimasi, kad HVD galės sutalpinti nuo 100Gb iki 1000Gb informacijos viename diske, duomenų perdavimo greitis bus apie 1GBit/s.
- Vėliausiai 2007 HVD pasirodys prekyboje ir tada diskasukis kainuos \$3,000.

## HVD informacijos užrašymas





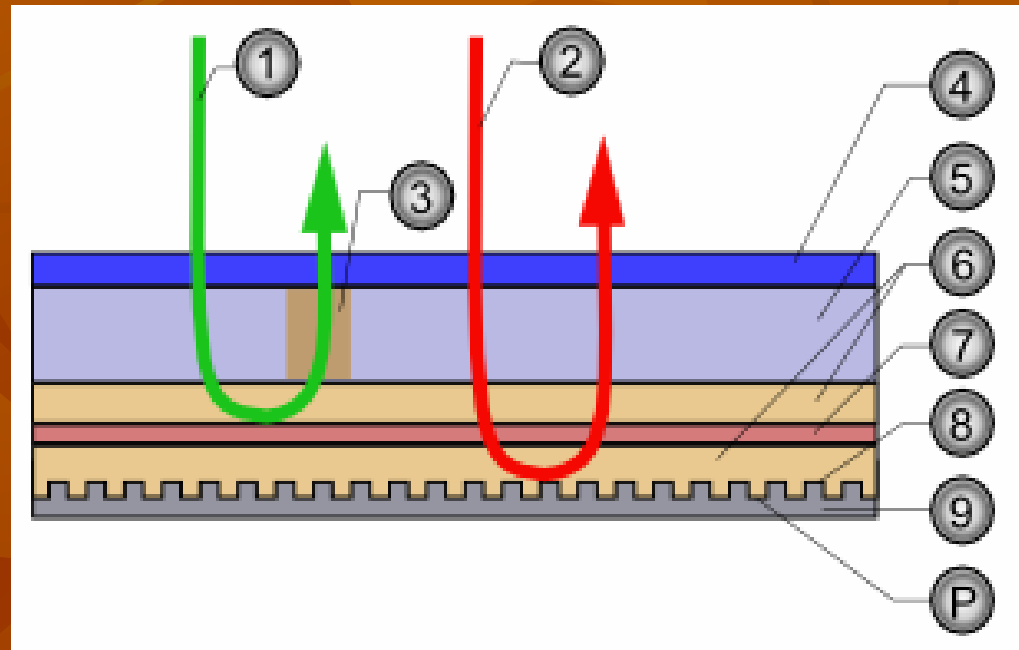
# Užrašymo ir atkūrimo supaprastinta chema



**Figure 3** *The standard holographic optical data storage system architecture*

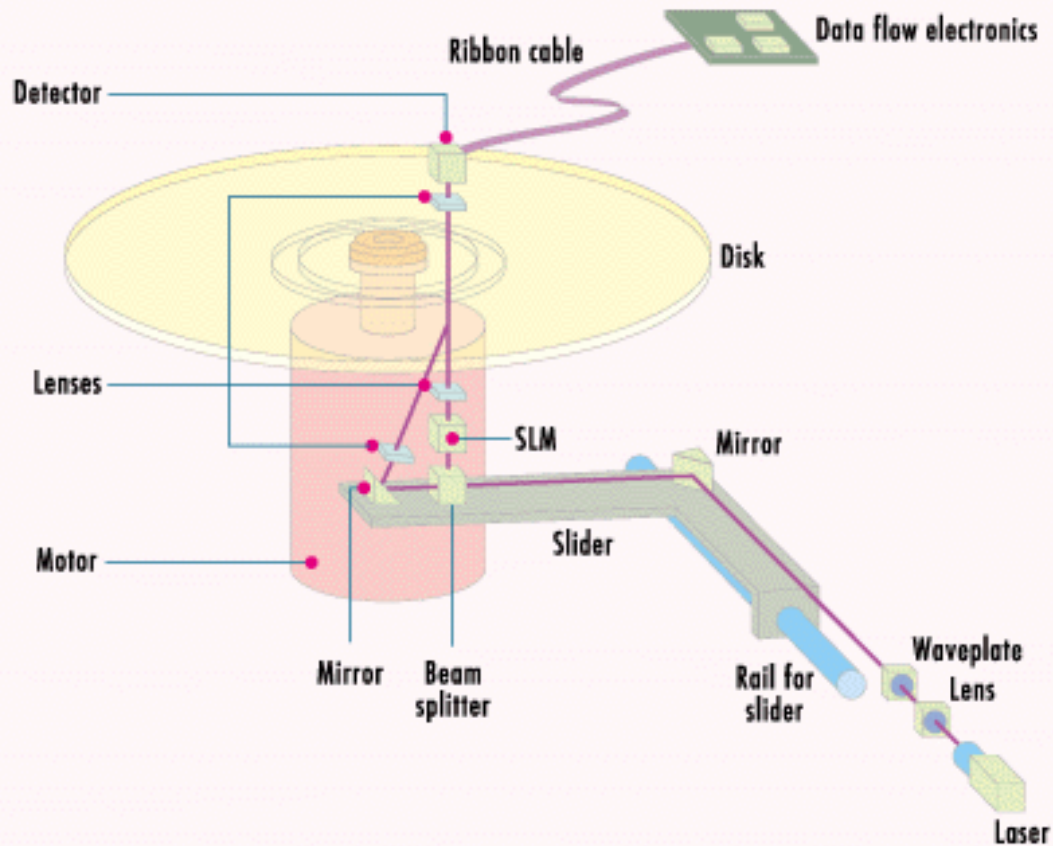
# Holographic Versatile Disc struktūra

1. Žalioji rašymo/skaitymo lazeris (532nm)
2. Raudonoji nustatymo/adresavimo lazeris (650nm)
3. Holograma (duomenys)
4. Polycarboninis sluoksnis
5. Fotopolymerinis paviršius
6. Tarpai tarp sluoksnių
7. Dichroic layer (atspindi žalią šviesą)
8. Aliuminio atspindintis sluoksnis (atspindi raudoną šviesą)
9. Skaidri bazė



# Diskasukio schema

## HOLOGRAPHIC DATA STORAGE MOVES TOWARD VIABILITY



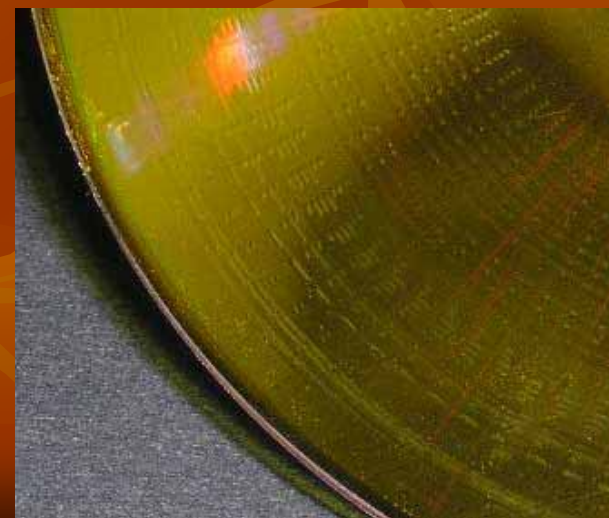


# HVD

**HVD**  
Holographic Versatile Disc



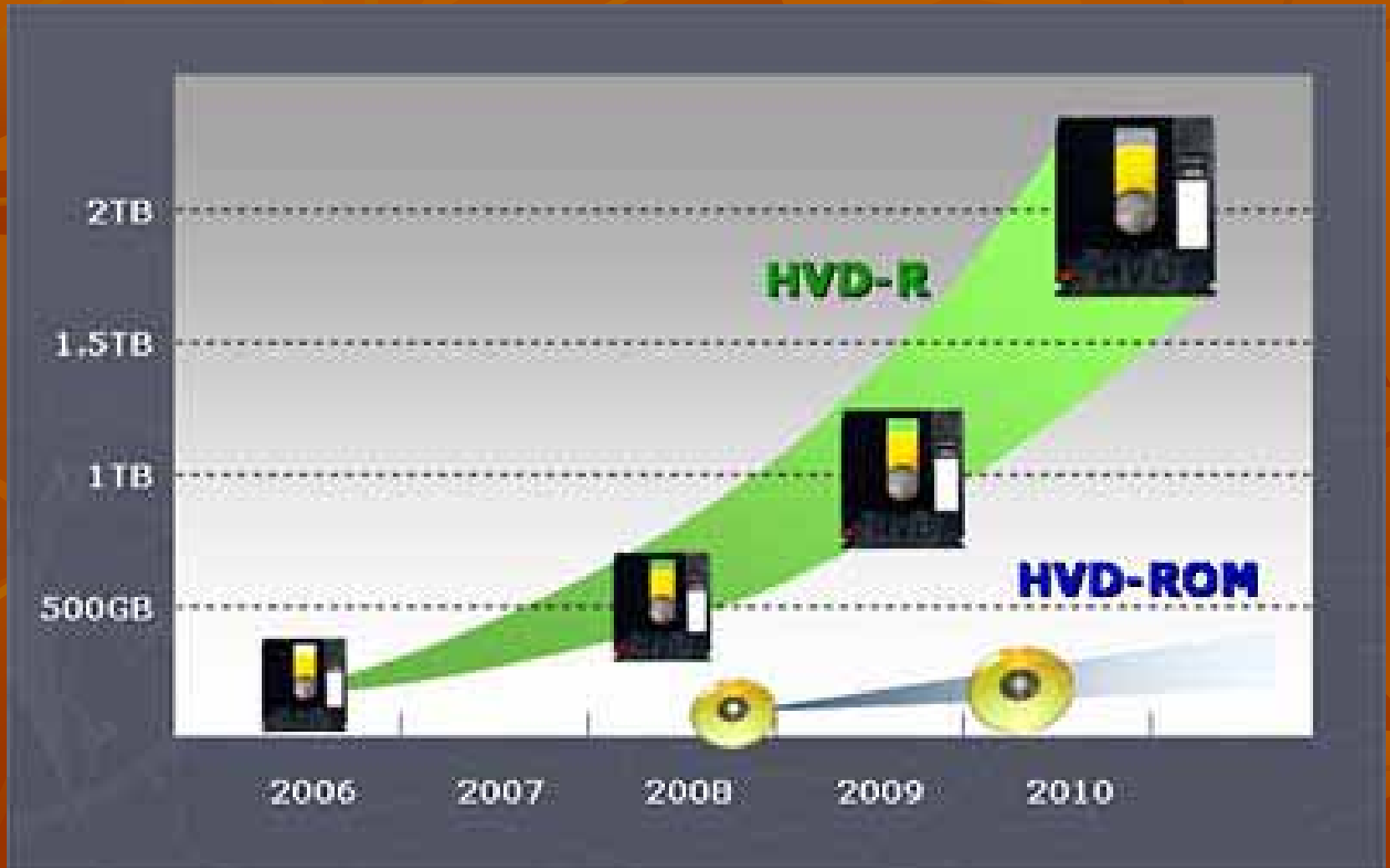
**DVD-R**



# HVC (Holographic Versatile Card)



# Vystymosi sparta



## 3 D veido nuskaitymas naudojantis holografine tomografija ( 3D Facial Measurement Using Holographic Tomography )

- Tyrimo tikslas yra išmatuoti veido 3D vaizdą  $< 0,5\text{mm}$  tikslumu, plastinėms veido operacijoms atlikti. Dabar naudojami metodai duodantys auksta rezoliuciją yra lazerinė trianguliacija, fazės-matavimo trianguliacija. Tokių matavimų trukmė yra sekundės eilės. Tai per ilgas laiko tarpas, nes per jį galima sumirksėti, arba pajudinti veido raumenis.



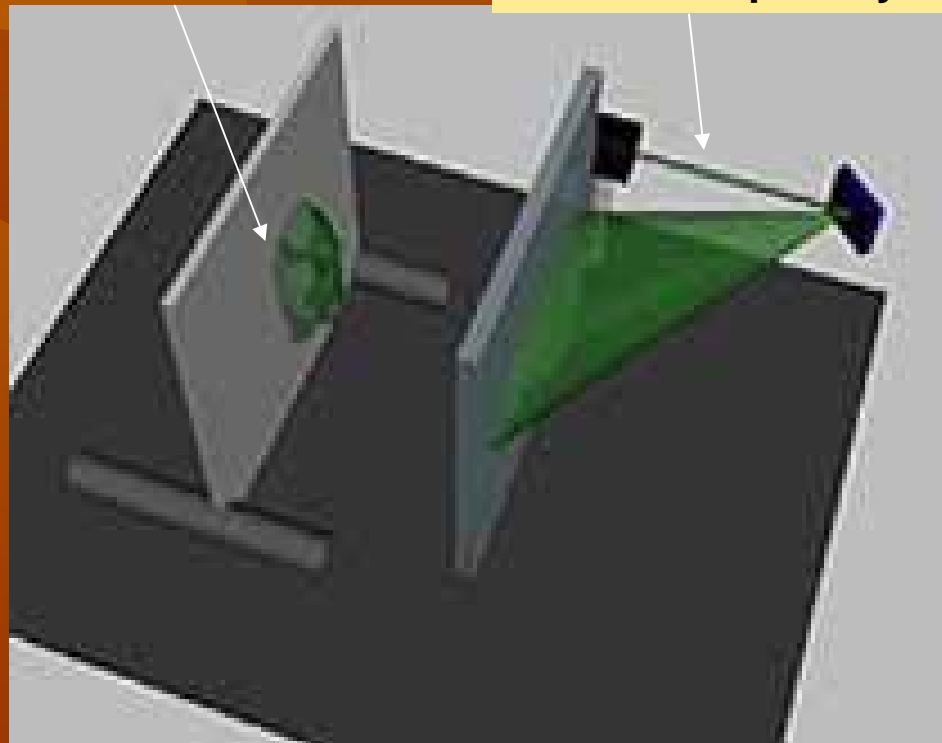
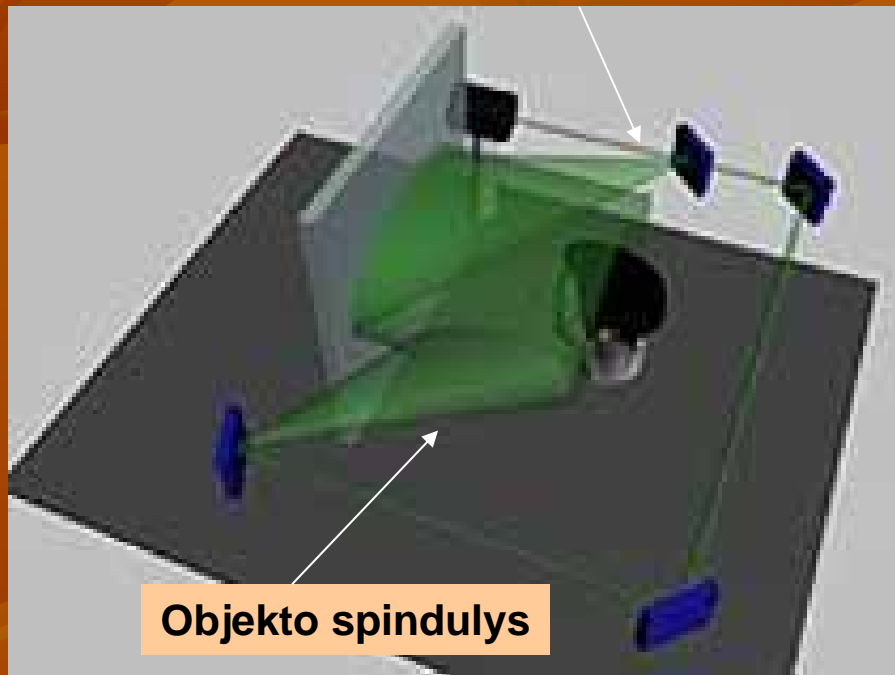
**Nauja technologija remiasi holografija. Holografija yra sukuriama pulsuojančio lazerio sistema ( impulso trukmė ~ 35ns). Esant tokiai trumei, judesių keliamo pavojaus nebelieka, o kadangi apšviečiama netokiu intensyviu sviesos srautu, tai pacientas gali būti atmerktom akim. Sistema veikia labai paprastai, primena fotografavimasi. (video)**

# Užrašymo ir atkūrimo schemos

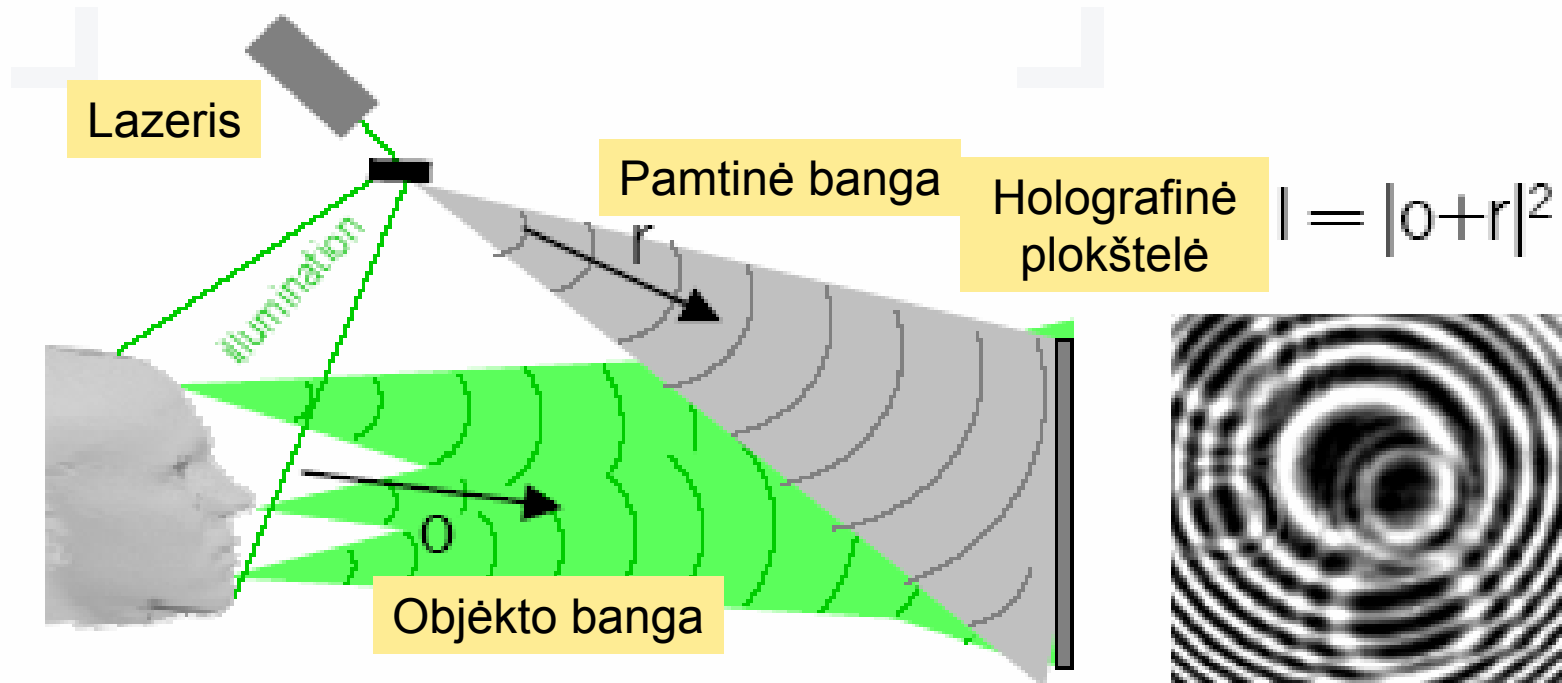
Pamatinis spindulys

Tikrinis atvaizdas

Pamatinis spindulys

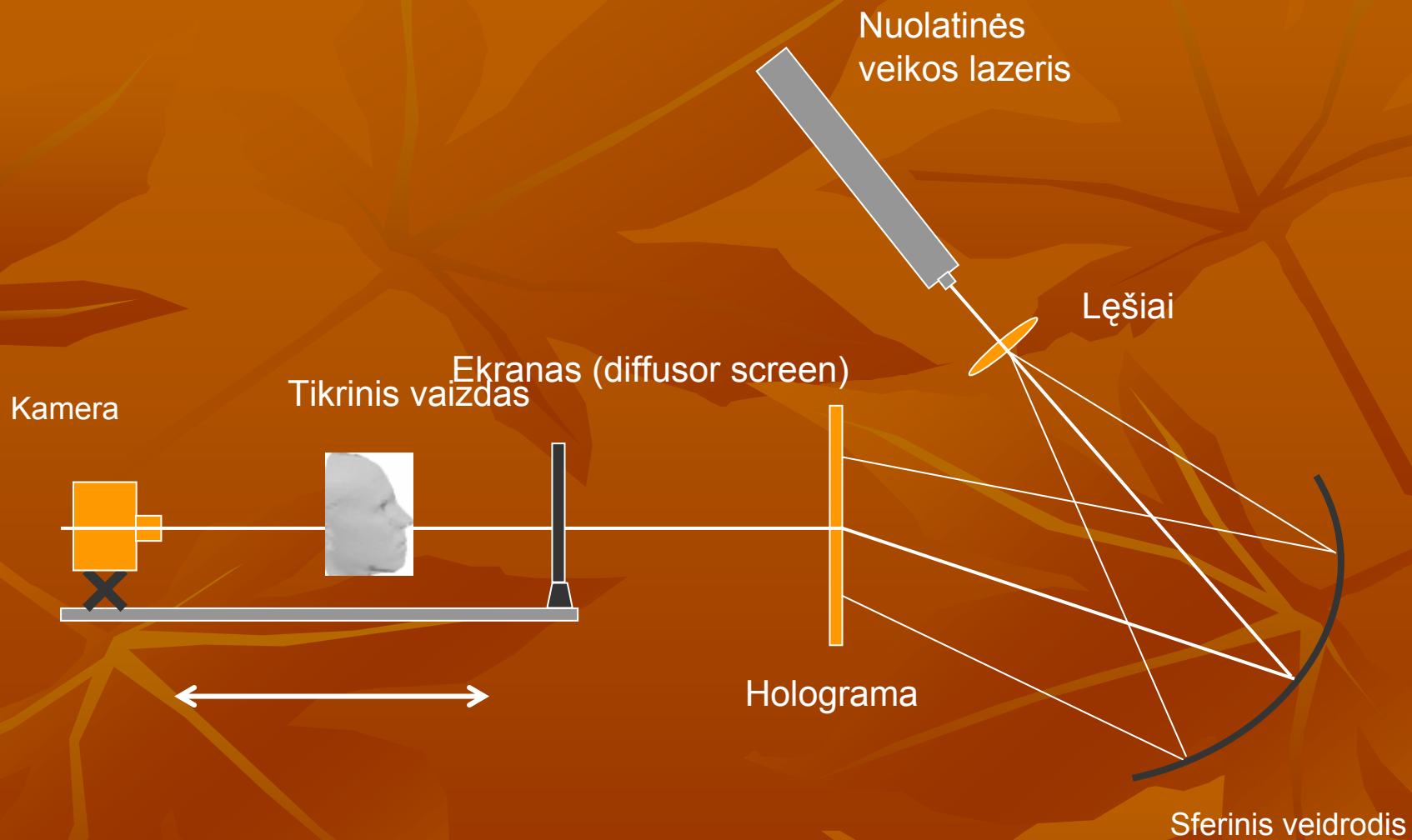


# Užrašymo schema



**Holographic principle: The object wave and the reference wave interfere in the holographic film.**

# Tomografinis skenavimas optiškai atkurto tikrinio hologramos vaizdo





# Nuskanuotas vaizdas (video)



# Hologramos užrašymo prietaisai



Mobile holographic camera developed in cooperation with GEOLA Lithuania. Nd:YAG, 532 nm, 1.4 J energy. The mechanical shutter allows capturing holograms in ambient light (image source: GEOLA).

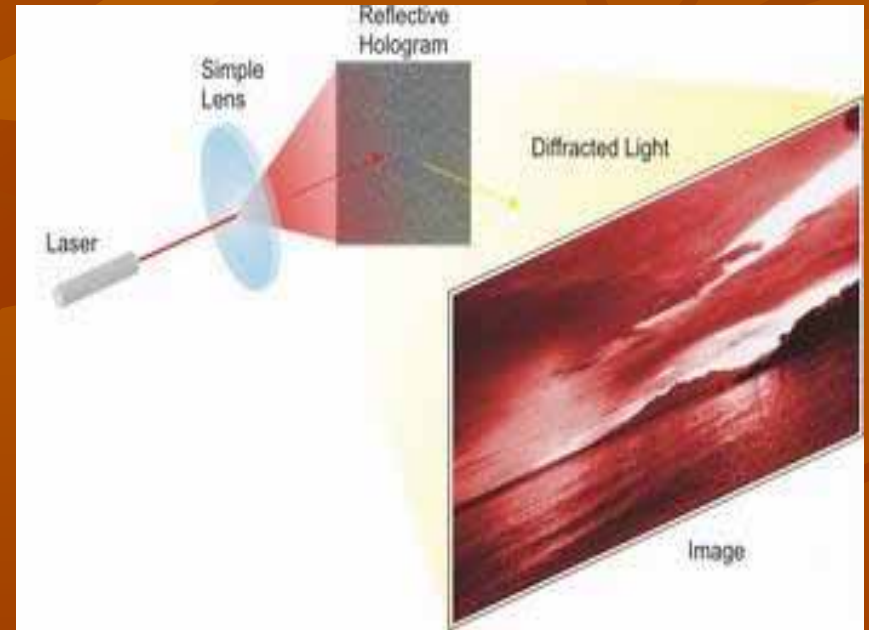
## Ground-breaking holographic technology will power a new generation of pocket-sized digital video projectors

- Skaitmeniniai video projektoriai, tampa vis labiau populiarūs, tačiau dabar naudojamuose projektoriuose esama technologija, apsunkina jų matmenų mažinimą. Holografiniuose projektoriuose palyginti mažai elementų, tai leidžia jų matmenis gerokai sumažinti. Toks projektorius tilptų laptape ir netgi mobiliame telefone.



# Veikimo principas

- Veikimo principas yra pagrįstas skaitmeniniu hologramos kūrimu.
- Kitaip nei paprastiems projektoriams. Nereikalinga fokusavimo sistema, nes susidarantis holografinis vaizdas visada yra fokuse. Tai labai supaprastina įrenginį.



# Intelektualinės nuosavybės apsauga

- Intelektualinė nuosavybė: knygos, bilietai, programos, dokumentai. Ją galima lengvai kopijuoti, padirbnėti ir t. t. Šiai nuosavybei sukurti reikia didelių intelektualinių pastangų, bet ją lengva padirbti. Todėl originalas turi išsiskirti. Šiam tikslui, naudojamos hologramos.

# Firmų logotipams, nuo padirbinėjimo, piratavimo (video)





# Menui, grožiui

- Retail prices of holograms
- Glass holograms in frames
- 
- Hologram size Price
- 9x12 cm \$ 17
- 10x13 cm \$ 19
- 11x15 cm \$ 20
- 13x18 cm \$ 29
- 14x20 cm \$ 35
- 18x24 cm \$ 48
- 20x28 cm \$ 65
- 24x30 cm \$ 83
- 28x40 cm \$ 105
- 
- Worldwide delivery is free!
- [www.holography.ru](http://www.holography.ru)





# Holografinis filmas



- Čia stengiamasi parodyti kaip atrodo, kai pradedame žiūrėti iš kairės ir judame į dešnę. (Deja gražus vaizdas nesimato, nes buvo panaudoti tik šeši remeliai.)

# Sparčiųjų procesų tyrimas

- Judančių objektų arba greitai vykstančių procesų impulsinės hologramos užrašomos naudojant vieną ar kelis lazerio impulsus, sekančius tam tikra tvarka vienas paskui kitą.
- Kiekviena holograma kaip ir visa serija eksponuojama ant tos pačios didelės skyros fotoplokštelės (3000 lin/mm).
- Holografinių interferogramų kombinacija, atstatyta nuolatinės veikos lazeriu, duoda reikiamą informaciją apie erdvinius pokyčius ar poslinkius.

# Plačiau galima pasiskaityti

- <http://www.caesar.de/holographyandlaser.0.html>
- <http://www.din.uem.br/~xavier/holoproj/holoproj.html>
- <http://www.laser-holo.org/>
- [www.geola.com](http://www.geola.com)
- [www.geola.lt](http://www.geola.lt)
- [www.holoworld.com](http://www.holoworld.com)
- [www.holocinema.com](http://www.holocinema.com)
- [www.holoforum.com](http://www.holoforum.com)
- [www.holodisks.com](http://www.holodisks.com)
- [www.hvd-alliance.org](http://www.hvd-alliance.org)
- [www.inphase-technologies.com](http://www.inphase-technologies.com)
- [www.holography.ru](http://www.holography.ru)
- [www.research.ibm.com/journal/rd/443](http://www.research.ibm.com/journal/rd/443)
- [www.foobarsoft.com/holograms/single.html](http://www.foobarsoft.com/holograms/single.html)
- [www.stetson.edu/departments/physics/vhologrphy/](http://www.stetson.edu/departments/physics/vhologrphy/)
- [en.wikipedia.org/wiki/Holographic\\_Versatile\\_Disk](http://en.wikipedia.org/wiki/Holographic_Versatile_Disk)
- [www.myholostudio.com](http://www.myholostudio.com)
- [www.slavich.com](http://www.slavich.com)

**Ačiū UAB “GEOLA” paskolinusiai  
hologramą**



**Ačiū už dėmesį**