

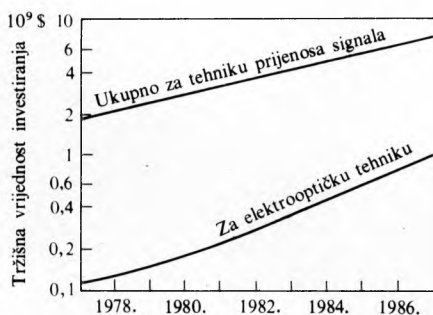
udaljenost NL , na kojoj tada moraju biti regenerativni ponavljači.

Djelomična regeneracija izobličenih binarnih impulsa može se provesti pomoću nelinearnog apsorbera koji slabo svjetlo jače apsorbera od intenzivnog svjetla. Takvo svojstvo imaju stanice s određenim organskim bojama. One apsorbiraju svjetlo i prelaze iz osnovnog stanja u pobuđena stanja. Pri sve jačem svjetlu zaposjednuta su pobuđena stanja i osnovno stanje, apsorpcija prelazi u zasićenje i smanjuje se pri jačem svjetlo. Kad nema svjela, boja se iz pobuđenih stanja vraća u osnovno stanje s tako kratkom relaksacijom da zasićenje apsorpcije može slijediti i vrlo brze impulse unutar 1 nanosekunde. Kad je impulsni odziv prijenosnog sredstva u obliku Gaussove krivulje (npr. svjetlovod uz materijalnu disperziju, kad svjetlosni izvor ima također emisijski spektar Gaussove raspodjele), takvi će Gussovi impulsi biti potpuno regenerirani. Za ostale je impulsne oblike i odzive sredstva regeneracija djelomična, ali još uvijek zadovoljava.

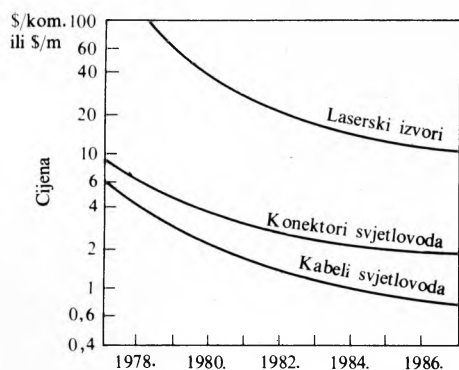
Šum koji se superponira impulsima pri prijenosu i pojačanju bit će potisnut apsorberom u stankama impulsa, kad impuls ima povećano gušenje. Kolebanje šuma za vrijeme impulsa može se dodatno smanjiti radom laserskog pojačala u zasićenju. Pri tom opada zaposjedanje gornjeg laserskog stanja, a time i spontana emisija i njen šum. Oba efekta zasićenja poboljšavaju regeneraciju i omogućuju upotrebu ponavljača na duljim ukupnim trasama.

Primjena i perspektiva

Glavna primjena optičkih komunikacija vezana je uz primjenu svjetlovoda u području telefonske tehnike zajedničkog nosioca, kabelne televizije, računala, industrijske automatizacije, zračnih satelitskih stanica i vojne primjene. Glavni su proizvođači opreme SAD, Japan, Kanada, Francuska, SR Njemačka i Velika Britanija, a polovica proizvodnje svjetlovodnih sustava je u SAD.



a



b

Sl. 45. Predviđanje investiranja i cijene komponenata za optičke elektrokomunikacije

U sljedećim godinama očekuje se stalni porast investicija u tehniku prijenosa signala, a tehnika bi svjetlovoda do 1987. godine od toga pokrivala 14% (sl. 45a). Zbog naglog porasta

proizvodnje očekuje se i znatan pad cijena svjetlovoda, konektora i laserskih izvora (sl. 45b).

LIT.: W. K. Pratt, Laser Communication Systems. John Wiley, New York 1969. — D. Rosenberger, Technische Anwendungen des Lasers. Springer-Verlag, Berlin 1975. — H. G. Unger, Optische Nachrichtentechnik. Elsevier-Verlag, Berlin 1976. — G. R. Elion, H. A. Elion, Fiber Optics in Communication Systems. Marcel Dekker, New York 1978. — S. E. Miller, A. G. Chynoweth, Optical Fiber Telecommunications. Academic Press, New York 1979.

B. Kviz

OPTIČKI INSTRUMENTI, uređaji u kojima se pri-

mjenjuju optičke pojave, bilo za stvaranje slika sličnih predmetu, bilo za primjenu svjetlosti u druge svrhe. Složeni su od jednostavnijih optičkih elemenata, kao što su zrcala, prizme, sferni dioptri, leće, dijafragme, pukotine, zastori itd. (v. *Optika*). Različiti optički instrumenti, njihova građa, primjena i postupci rada s njima opisani su ili će biti opisani u brojnim posebnim članicima (v. *Boja*, TE 2, str. 59; v. *Daljinomjeri*, TE 3, str. 163; v. *Durbin*, TE 3, str. 480; v. *Fotografija*, TE 5, str. 532; v. *Fotometrija*, TE 5, str. 608; v. *Geodetski instrumenti i uređaji*, TE 6, str. 30; v. *Holografija*, TE 6, str. 430; v. *Infracrveno zračenje*, TE 6, str. 478; v. *Instrumentalne metode analitičke kemije*, TE 6, str. 494; v. *Kinematografska tehnika*, TE 7, str. 88; v. *Kolorimetrija*, TE 7, str. 190; v. *Kristalna optika*, TE 7, str. 364; v. *Laser*, TE 7, str. 465; v. *Mikroskop*, TE 8, str. 535; v. *Spektrometrija*; v. *Stroboskop*), a u ovom članku samo su razvrstani, te je opisana građa i optički model ljudskog oka, povećala kao najjednostavnijeg okularnog instrumenta, te polarimetar i spektrometar kao primjeri instrumenata kojima stvaranje slike nije osnovna svrha.

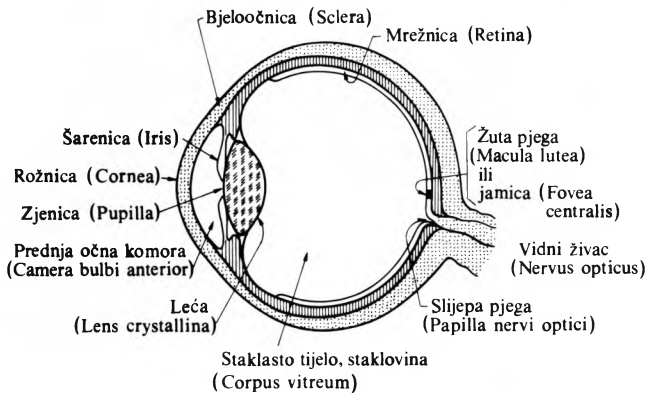
OPTIČKI INSTRUMENTI ZA PRESLIKAVANJE

Optički instrumenti kojima je svrha stvaranje slike mogu biti okularni (subjektivni) ili projekcijski (objektivni). Okularni instrumenti dopuna su ljudskom oku (povećalo, mikroskop, dalekozor). Projekcijski instrumenti stvaraju realnu sliku predmeta na nekom zastoru. Slika predmeta može se gledati izravno i istodobno (projektor), može se snimati za izravno naknadno gledanje (fotografski aparat, kinematografska kamera) ili se može snimiti za posredno istodobno ili naknadno gledanje (elektronička, tzv. televizijska kamera).

Okularni instrumenti omogućuju detaljno promatranje veoma malih ili veoma udaljenih predmeta kojima se opažac ne može ili ne želi približiti. Ti instrumenti daju virtualnu sliku predmeta. Za opažaca je predmet nadomješten virtualnom slikom koja, međutim, ima veći prividni (kutni) dijametar od prividnog dijametra predmeta gledanog prostim okom. Okularni instrumenti imaju, općenito uzevši, *objektiv* i *okular*. Iznimka je najjednostavniji optički instrument te grupe: povećalo (lupa). Objektiv je uvijek konvergentni sistem koji daje realnu sliku predmeta, a ona se promatra pomoću okulara. U dalekozorima i mikroskopima objektiv je sistem leća odabranih tako da se što više smanje sve moguće aberacije. U teleskopima objektiv je zrcalo. Okular služi za promatranje realne slike koju daje objektiv; iznimka je *Galilejev teleskop* u kojemu se promatra virtualni predmet. Povećalo je istodobno okular i objektiv. Okulari su dioptrijski centrirani sustavi sastavljeni samo od leća.

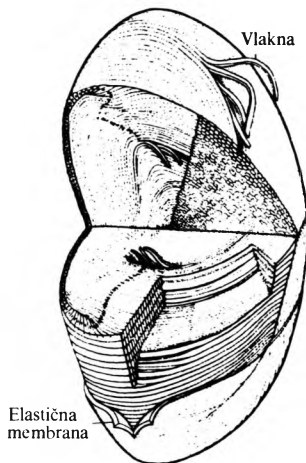
Oko. Za razumijevanje upotrebe okularnih instrumenata potrebno je poznavati osnovne principe rada oka, kojemu okularni instrumenti samo povećavaju mogućnost zamjećivanja. Oko je čovjekovo osjetilo koje svjetlosne slike pretvara u osjet vida. U oku se na mrežnici (retini) stvara realna slika onoga što se promatra. Oko može stvoriti realnu sliku od realnog ili od virtualnog predmeta, te od realne ili od virtualne slike predmeta.

Na sl. 1 prikazan je horizontalni, shematski presjek ljudskog oka. Ono se sastoji od *rožnice* (cornea), koja je pro-



Sl. 1. Shematski prikaz horizontalnog presjeka ljudskog oka

zirni konveksnokonkavni sferni dioptar, debljine $\sim 0,5$ mm, radijusa prednjeg dioptra $-7,83$ mm, a stražnjeg $-6,7$ mm, kojemu je prednje optičko sredstvo zrak, a krajnje očna vodica, indeksa refrakcije $n = 1,336$. Taj je sferni dioptar sam po sebi već veoma konvergentan. Oko dijafragmira ulazni tok svjetlosti pomoću šarenice (iris). Ona omeđuje kružni otvor, zjenicu (pupila), kojoj se promjer može mijenjati između 2 i 8 mm. Ako se oko gleda izvana, vidi se zapravo virtualna crna slika zjenice koju daju sferni dioptri ispred nje i to je tzv. ulazna pupila oka. Izlazna pupila je slika zjenice koju leća daje iza pupile. Iza šarenice nalazi se bikonveksna leća (lens crystallina). To je složeni organ (sl. 2) sastavljen od slojeva različitih indeksa refrakcije, koji su na polovima 1,386, na ekvatoru 1,375, a u centru 1,406. Leća je uronjena u sredstvo manjeg indeksa refrakcije, pa ona djeluje kao konvergentni sistem. Djelovanjem posebnih mišića za akomodaciju mogu se smanjivati radijusi zakrivljenosti objiju ploha, a ujedno se pomiču slojevi različitih indeksa refrakcije u unutrašnjosti leće. Radijus prednje plohe leće, prosječnog normalnog oka mlađe osobe, može se mijenjati od 10 na 6 mm, a radijus stražnje plohe od -6 mm na $-5,5$ mm. Time i pomicanjem refraktirajućih slojeva leće povećava se konvergencija leće. Prednja ploha leće graniči s očnom vodicom ($n = 1,336$), a stražnja ploha sa staklastim tijelom (corpus vitreum) koji je želatinast ($n = 1,336$).



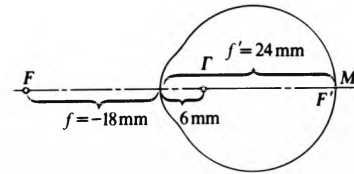
Sl. 2. Leća oka

Mrežnica (retina) je zastor na kojemu optički sistem oka stvara sliku vanjskih predmeta. Slika je realna i obrnuta. Značajno je da je mrežnica u stalnom položaju s obzirom na rožnicu i da pokriva velik dio stražnje očne stijenke. Da bi se slika predmeta stvarala na mrežnici, potrebno je da se konvergencija oka prilagodi (akomodira) položaju predmeta. Oko to postiže mijenjanjem konvergencije od nekih $57 \dots 71 \text{ m}^{-1}$. Struktura mrežnice omogućuje detekciju svjetlosti, odnosno svjetlosnih podražaja i radijanciju pojedinih točaka slike. Nastali

živčani impulsi dovode informacije o slici u mozak. Očito je da geometrijskooptičke kvalitete oka u kombinaciji sa svojstvima mrežnice određuju svojstva oka. Mrežnica ima histološki veoma složenu strukturu. Njene stanice, osjetljive na svjetlost, jesu tzv. štapići i čunjići. Čunjići su važni za gledanje danju i za razlikovanje boja (v. Boja, TE 2, str. 59). Štapići su mnogo osjetljiviji na svjetlost od čunjića. Pomoću štapića boje se ne razlikuju (v. Fotometrija, TE 5, str. 608).

Na stražnjoj strani oka postoji mala jamica (fovea centralis) koja se na tom mjestu sastoji samo od čunjića, kojima je plošna gustoća veoma velika. Okolina jamice sadrži žuti pigment i naziva se žuta pjega (macula lutea). Vlakna optičkog živca skupljaju se u blizini nosa, u tzv. slijepu pjegu (papilla nervi optici) neosjetljivu na svjetlost.

S geometrijskooptičkog gledišta veoma je prikladno služiti se pojednostavnjenom shemom oka, tzv. reduciranim okom (F. C. Donders). To je sfera, dijametra 24 mm, napunjena vodom ($n = 1,333$), koja ima jednu jedinu dioptrijsku plohu radijusa zakrivljenosti 6 mm, fokalne daljine slike $f' = 24$ mm i fokalne daljine predmeta $f = -18$ mm (sl. 3). Konvergencija sistema iznosi $\sim 41 \text{ m}^{-1}$. Centar Γ optičkog sistema ujedno je optički centar reduciranog oka. Slika predmeta u beskonačnosti stvara se na stražnjoj strani sfere koja simulira mrežnicu. Slično vrijedi i za nenapregnuto oko, tj. kad ono gleda u daljinu.



Sl. 3. Reducirano oko

Normalno, nenapregnuto oko vidi predmet u beskonačnosti ($-\infty$). Njegova je daleka točka (punctum remotum) u $-\infty$. Najbliža točka od koje oko može stvoriti jasnu sliku nalazi se na udaljenosti od -7 cm (dob od ~ 10 godina) do -22 cm (dob od ~ 40 godina). To su blize točke (punctum proximum) normalnih mladih očiju. Za kratkovidno oko (myopia) fokus slike F' nije na mrežnici, već je ispred nje; daleka i blize točke bliže su oku nego je to za normalno oko. Dalekovidno oko (hypertropia) stvara od predmeta u beskonačnosti virtualnu sliku iza mrežnice. Kratkovidnost se korigira negativnim lećama, dalekovidnost pozitivnim lećama. Starovidno oko (presbytia) malo se ili nikako akomodira: bliza točka sve više se udaljuje. Dovodi se u normalnu udaljenost pomoću pozitivnih leća.

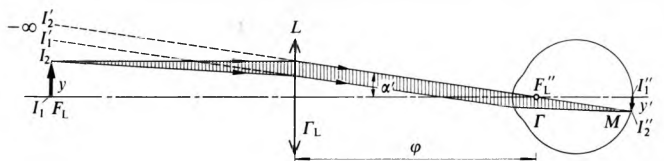
Ako y označuje visinu predmeta, a α njegov prividni kutni dijemetar gledan iz optičkog centra Γ oka, visina je slike y' na mrežnici u točki M :

$$y' = \overline{\Gamma M} \cdot \alpha. \quad (1)$$

Visina slike na mrežnici ovisi samo o prividnom kutnom dijemetru slike, jer je udaljenost optičkog centra ΓM od nje konstantna. Od istog predmeta dobiva se najveća slika ako je predmet u bliskoj točki, a najmanja ako je u dalekoj točki.

Dva točkasta predmeta oko vidi rastavljeno ako slika svake svjetle točke predmeta pada na drugi čunjić. To odgovara prividnom radijusu predmeta od $2,2 \cdot 10^{-4}$ rad. U udaljenosti od 25 cm normalno oko može razlučiti dvije točke razmaknute za $\sim 0,06$ mm. To je razlučivanje ujedno granica koju dopušta difrakcija upadne svjetlosti na zjenici.

Povećalo (ili lupa od franc. loupe) je konvergentna leća, konvergencije $10 \dots 100 \text{ m}^{-1}$. Povećalo daje od realnog predmeta virtualnu povećanu sliku koju oko gleda kao realni predmet.



Sl. 4. Reducirano oko i povećalo

Najpovoljnije je staviti predmet u fokalnu daljinu povećala. Od realnih paralelnih zraka, koje povećalo daje od svake točke predmeta oko stvara realnu sliku na mrežnici. Pri tom se ne treba akomodirati: sve se zbiva kao da je predmet u beskonačnosti. Povoljno je smjestiti oko tako da mu je optički centar Γ u fokusu F_1 povećala (sl. 4).

Ako je predmet u blizoj točki, jedna njegova dimenzija, npr. visina y , promatrana prostim okom, ima prividni kutni dijаметar α .

Ista dimenzija promatrana kroz optički instrument (povećalo) ima prividni dijаметar α' . Tada je kutno povećanje

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{d}{\varphi} = dC, \quad (2)$$

gdje je d udaljenost blize točke, φ fokalna daljina slike povećala, a $C \equiv 1/\varphi$ konvergencija povećala. Kratkovidno oko ima manje koristi od povećala nego dalekovidno ili starovidno oko.

Stvara li povećalo ili neki drugi optički instrument od dimenzije y predmeta prividni promjer α' , tada postoji proporcionalnost

$$\alpha' = Py, \quad (3)$$

gdje je faktor proporcionalnosti P jakost optičkog instrumenta. Ta je veličina neovisna o opažaču. Za povećalo ona je jednaka konvergenciji C povećala.

Vidno polje povećala ima širinu i , zbog mogućnosti akomodacije oka, dubinu. Širina polja povećala jest dijаметar ravnine predmeta koje oko vidi kroz povećalo. Kad je najpovoljniji položaj povećala i predmeta, ona je jednaka dijаметru povećala. Udaljenost predmeta od fokalne ravnine povećala za koju je slika predmeta u blizoj točki jest dubina vidnog polja sistema povećalo-oklo. Za povećalo jakosti 20 m^{-1} i za normalno oko dubina je polja $\sim 1 \text{ cm}$.

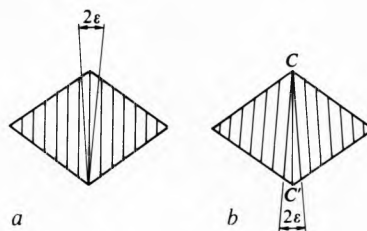
OPTIČKI INSTRUMENTI KOJIMA PRESLIKAVANJE NIJE SVRHA

Optički instrumenti kojima preslikavanje nije svrha služe za promatranje optičkih pojava u sredstvima ili na granici sredstava. Po tim se pojavama spoznaju, npr., svojstva svjetlosti ili svojstva izvora svjetlosti (spektroskop), svojstva sredstva kroz koje svjetlost prolazi (refraktometar, polarimetar, fotometar, kolorimetar, interferometar) i svojstva sredstva od kojih se svjetlost reflektira (reflektometar, fotometar) i mnoga druga.

Za starije tipove takvih instrumenata i starije mjerne postupke izvor svjetlosti je obično termički, a prijamnik je ljudsko oko, rjeđe fotoelement, fotočelija ili fotografski sloj. U posljednje vrijeme primjena lasera kao izvora svjetlosti i primjena optoelektroničkih prijamnika omogućuju objektivne i mnogo točnije mjerne postupke.

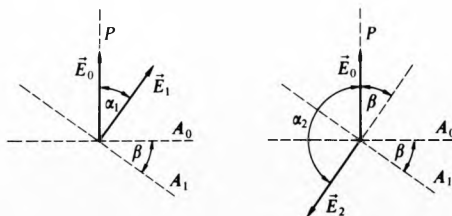
Polarimetar je uređaj koji služi za mjerenje zakretanja ravnine vibracije optički aktivnih tvari (v. *Optika*). On se sastoji od izvora svjetlosti, kolimatora, polarizatora, mjesta za smještaj uzorka i analizatora pomoću kojeg se mjeri zakretanje. Izvor je svjetlosti najčešće natrijeva svijetiljka, ali to može biti i živina svijetiljka kojoj se, pomoću jednostavnog monokromatora s prizmom, izluče pojedine valne duljine. Monokromatska svjetlost prolazi najprije kolimatorskom lećom, zatim supstancijom kojoj se želi odrediti zakretanje ravnine vibracije. Najčešće je supstancija otopljena u nekom optički neaktivnom otapalu. Otopina se nalazi u kivetu sa staklenim prozorima kojima su određene međusobne udaljenosti unutrašnjih ploha. Zakretanje ravnine vibracije slijedi Biotov zakon (v. *Optika*).

Na izlazu iz kristala ili kivetu svjetlost prolazi analizatorom koji je malo modificirana Glan-Thompsonova prizma. Modifikacija se sastoji u tome da je iz Glan-Thompsonove prizme (sl. 5a) (v. *Optika*) izbrušen uski klin, kuta 2ε . Oba se preostala dijela zatim sastave i tvore Cornu-Jelletovu prizmu (sl. 5b). Glavne ravnine (v. *Kristalna optika*, TE 7, str. 363) tog analizatora tvore međusobno mali kut 2ε koji se zove kut *polusjene*. Vidno polje okulara kojim se promatra izlazna ploha analizatora rastavljeno je linijom cc' u dva polja. Anali-



Sl. 5. Birefringentne (dvolomne) prizme. a) pogled na ulaznu plohu Glan-Thompsonove prizme, b) pogled na ulaznu plohu Cornu-Jelletove prizme. Paralelne crte osi su transmisije linearne polarizirane svjetlosti

zator se zakreće sve dok linija cc' ne bude normalna na ravninu vibracije linearne polarizirane svjetlosti koja se analizira. To je postignuto kad su obje polovice vidnog polja okulara male, ali jednake luminacije. Pogreška u podešavanju analizatora za kut ε na jednoj strani uzrokuje zatamnjenje jedne polovice vidnog polja. Pogreška u podešavanju jednakosti luminacije za kut ε na drugoj strani uzrokuje zatamnjenje druge polovice polja. To znači da se postiže znatna promjena luminacije vidnih polja za sitnu promjenu kuta zakretanja β analizatora. To omogućuje mjerenje kuta zakretanja ravnine vibracije s pogreškom od $\sim 5 \cdot 10^{-6} \text{ rad} \triangleq 1''$. Kut se na kružnoj skali čita pomoću nonija na razdijeljenom krugu. U stvarnim uvjetima kut zakretanja ravnine vibracije upadnog linearne polariziranog snopa svjetlosti nije nikad veći od π . Ako treba zakrenuti polarizator za kut β da obje polovice vidnog polja budu jednako tamne, tada je kut zakretanja ravnine vibracije $\alpha = \beta$, ili $\alpha = \pi - \beta$ (sl. 6). Ta neodređenost ostaje i kad se zakreće ravnina vibracije. Da bi se dobio konačan odgovor, otopina se razrijedi na polovicu koncentracije. Ako se postiže gašenje za kut $\beta/2$, tada je zakretanje desno i $\alpha = \beta$. Ako za kut $\beta/2$ nema gašenja, već se ono postiže kutom $(\pi - \beta)/2$ zakretanjem analizatora u protivnom smislu, tada je $\alpha = \pi - \beta$, pa je zakretanje ravnine vibracije ulijevo.

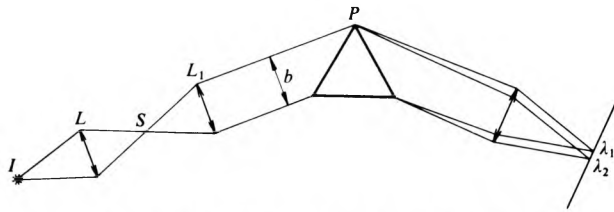


Sl. 6. Geometrijski odnosi između kuta zakretanja β analizatora i kuta zakretanja α_1 ili α_2 ravnine vibracije

Spektrometri. Zračenje nekog izvora svjetlosti rastavlja se na kontinuirani ili diskontinuirani spektar po valnim duljinama spektroskopom ako se spektar promatra okom, spektrogramom ako je spektar registriran istodobno na fotografskoj ploči i spektrometrom ako su pojedine valne duljine detektirane pomoću elektroničkih uređaja (npr. fotomultiplikatora), a registrirane bilo na papiru pomoću pisaača, bilo na zastoru katodne cijevi.

Spektroskopi koji se sastoje od kolimatora, prizme stalne devijacije (v. *Fotometrija*, TE 5, str. 608) kao disperzijskog sistema i okulara kojim se promatra spektar danas se malo ili nikako ne upotrebljavaju.

Shema *spektrografa* s jednom prizmom kao disperzijskim elementom prikazana je na sl. 7. Iz izvora I svjetlost koja se analizira pada na pukotinu S . Ta pukotina je u fokalnoj ravnini leće L i u fokalnoj ravnini kolimatorske leće L_1 koja baca snop svjetlosti na ulaznu plohu prizme P gdje se svjetlost različitih valnih duljina različito refraktira. Još jedna refrakcija nastaje na izlaznoj plohi prizme. Ravne valne plohe izlaznih snopova različitih valnih duljina λ i λ' nisu međusobno paralelne, pa akromatska leća L_2 stvara u svojoj fokalnoj ravnini dvije odvojene slike pukotine S , od kojih jedna pripada valnoj duljini λ_1 , a druga λ_2 .



Sl. 7. Shematski prikaz spektrografa s jednom prizmom

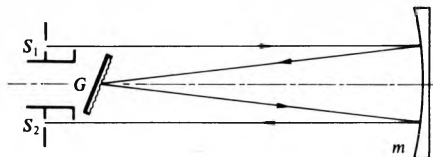
Približno monokromatske slike pukotine (λ_1 i λ_2) zapravo su figure difrakcije pravokutnog otvora snopa (v. *Optika*) dijafragmiranog ulaznom plohom prizme. Kutni razmak između centralnog maksimuma figure difrakcije i prvog minimuma jest $\pm \lambda/b$, gdje je b širina upadnog snopa. Rayleighov kriterij za razlučivanje valnih duljina $\Delta \lambda$ dviju susjednih linija jest da maksimum difrakcije druge linije pada u prvi minimum difrakcije prve linije. Tada je razlučivanje prizme

$$\frac{\lambda}{\Delta \lambda} = D \frac{dn}{d\lambda}, \quad (4)$$

gdje je D najveća debljina stakla (baza prizme) kojom prolazi snop svjetlosti kroz prizmu, a $\frac{dn}{d\lambda}$ kut tangente na krivulju

dispersije $n = f(\lambda)$ stakla iz kojeg je načinjena prizma, za valnu duljinu λ . Relacija (4) pokazuje da je baza prizme jedini geometrijski faktor koji odlučuje o razlučivanju valnih duljina, iako u izvodu te relacije dolazi u obzir i razlučivanje objekta. Razlog je u tome što je razlučivanje valnih duljina određeno djelomično širinom pukotine, a djelomično kutnom disperzijom prizme.

Spektrometar s difrakcijskom rešetkom. Tipičan primjer spektrometra kojemu je disperzijski element difrakcijska optička rešetka (v. *Optika*) jest npr. Ebert-Fastieov (1952) spektrometar brisač (engl. scanning spectrometer), kojemu je hod zraka prikazan na sl. 8. Svjetlost iz izvora kojemu se analizira spektralni sastav koncentrirana je na pukotinu S_1 u fokalnoj ravnini sfernog zrcala m , koje od divergentnog snopa



Sl. 8. Shematski prikaz Ebert-Fastieova spektrometra brisača

zraka tvori paralelni snop koji pada na rešetku G . Paralelni snop zraka, difraktiranih pod kutom ϑ za određenu valnu duljinu, reflektira se na sfernom zrcalu, a ono fokusira snop na izlaznu pukotinu S_2 . Rešetka se može zakretati u prikladnom kutnom intervalu oko vertikalne osi paralelne s brazdama rešetke. Oštra monokromatska slika (figura difrakcije) pukotine S_1 stvara se uvijek na istom mjestu S_2 . To je tzv. *autokolima-*

Tablica 1

KARAKTERISTIKE JEDNOG OD SPEKTROMETARA S DIFRAKCIJSKOM REŠETKOM

Disperzijski element	ravna ešelet-rešetka
Izbraždana površina	$52 \times 52 \text{ mm}^2$
Gustoća brazda	1180 mm^{-1}
Odsjev pri valnoj duljini	400 nm
Moć razlučivanja $\lambda/\Delta \lambda$ (pri $\lambda = 600 \text{ nm}$ i $p_1 = 1$)	30000
Linearna disperzija $\Delta \lambda/\Delta y$ (na S_2 , za $p_1 = 1$)	1,6 nm/mm
Dijametar kalote sfernog zrcala	0,15 m
Fokalna daljina sfernog zrcala	0,5 m
Efektivni otvor sfernog zrcala	1/18
Promjenljiva širina pukotine	5...3000 μm
Spektralno područje	~400...800 nm
Konfiguracija spektrometra	Littrowljeva
Zakretanje rešetke	kontinuirano

cijska ili Littrowljeva konfiguracija spektroskopa ili spektrometra. Valna duljina svjetlosti koja pada na S_2 dana je jednadžbom rešetke (v. *Optika*, izraz (153)) ovisno o kutu upadanja α , kutu difrakcije ϑ i redu interferencije p_1 . U tabl. 1 nalaze se karakteristike jednog od spektrometara s difrakcijskom rešetkom. Uz optički uređaj potreban je i detektorski elektronički uređaj, npr. fotomultiplikator na koji upada svjetlost iz izlazne pukotine, te pojačalo i registrator.

M. Paić

OPTIKA (grč. *ὀπτική τέχνη* optike tehne *vidna vještina*) područje fizike u kojem se proučavaju i praktično primjenjuju svjetlosne pojave. Iako su svjetlosne pojave zapažene, proučavane i primjenjivane još od antičkih kultura, optika se kao znanstvena disciplina počela razvijati u XVII stoljeću. Razvoju optike mnogo su pridonijeli W. Snellius (pravo ime Snell van Royen), M. De Dominis, R. Descartes (latinizirano Cartesius), F. de Fermat, Ch. Hugenš, I. Newton, Th. Young, J. von Fraunhofer, A. J. Fresnel, H. Fizeau, J. C. Maxwell, M. Planck, A. Einstein i mnogi drugi. Razvoj optike nije ni do danas završen, a početkom šezdesetih godina našeg stoljeća izum lasera bio je velik poticaj daljnjim istraživanjima.

Narav svjetlosti. Svjetlošću se naziva elektromagnetsko zračenje valnih duljina ~400...700 nm, koje u ljudskom oku pobuđuje osjet vida (v. *Fotometrija*, TE 5, str. 608).

Svojstva svjetlosti. Svjetlost je transverzalni, linearno polarizirani ravni val koji se u homogenom izotropnom prostoru širi stalnom brzinom. Jakost električnog polja \vec{E} i magnetskog polja \vec{H} (odnosno magnetska indukcija $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$) svjetlosnog vala jesu sinusne funkcije vremena i prostora. Vektori $\vec{E}(x,t)$ i $\vec{B}(x,t)$ okomiti su međusobno i na smjer širenja vala. Fizičke veličine, njihovi znakovi i relacije između fizičkih veličina važnih za elektromagnetski val i međudjelovanje njega i tvari jesu: *amplituda* \vec{E} ravnoga, linearno polariziranog, koherentnog monokromatskog vala, *jakost električnog polja* $\vec{E}(x,t)$ linearno polariziranoga, koherentnog monokromatskog vala na mjestu x i u trenutku t , te *faze vala* $\varphi(x,t)$ koja je funkcija prostora i vremena. Između njih vrijedi odnos

$$\vec{E}(x,t) = \vec{E} \exp(i\varphi), \quad (1)$$

koji se zove jednadžba ravnoga ($|\vec{E}| = \text{const.}$) progresivnog vala. Pisana je u kompleksnom obliku ($i \equiv \sqrt{-1}$). Samo realni dio te funkcije ima fizičko značenje, no kompleksni oblik veoma je podesan za matematičko operiranje valnim funkcijama. Za konkretni trenutak, npr. za $t = 0$, jednadžba

$$\vec{E}(x,0) = \vec{E} \exp[i\varphi(x,t)] \quad (2)$$

opisuje profil (oblik) vala ili trenutnu snimku vala. Isto vrijedi za bilo koji trenutak t .

Ako se val širi nepromijenjenim oblikom uzduž osi Ox , tada se u intervalu vremena Δt sve vrijednosti od $\vec{E}(x,t)$ pomaknu za x uzduž Ox . Za konkretno mjesto, npr. za $x = 0$, jednadžba

$$\vec{E}(0,t) = \vec{E} \exp[i\varphi(0,t)] \quad (3)$$

opisuje perturbaciju (promjenu) uzrokovanu na tom mjestu. Isto vrijedi za bilo koje mjesto x na osi Ox .

Vremenski period vala T definiran je jednadžbom

$$E(x,t+T) = E(x,t), \quad (4)$$

a *frekvencija* (učestalost) vala relacijom

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (5)$$

Prijelazom elektromagnetskog vala iz jednog sredstva u drugo frekvencija mu se najčešće ne mijenja, pa je

$$\nu_{\text{sredstvo}} = \nu_{\text{vakuum}}. \quad (6)$$