

(13,2%). Njihov se sadržaj može izraziti jednostavnim molar-  
nim odnosom 8 : 4 : 1. Fibroin sadrži i manje količine arginina,  
lizina i histidina. Zbog svoga sastava, osnovni polipeptidni lanci  
fibroina ne sadrže dužih pobočnih lanaca, a povezani su pretežno  
samo vodikovim vezama.

**Izvedene bjelančevine.** 1. *Acidalbumini i alkalalbuminati*  
nastaju djelovanjem slabih kiselina i lužina na nativne bjelančevine.  
Obično su netopljivi u vodi i otopinama neutralnih soli, a topljivi  
su u lužinama ili kiselinama.

2. *Koagulirane bjelančevine* nastaju djelovanjem topline na  
prirodne bjelančevine.

3. *Albumoze i peptoni* su prvi proizvodi hidrolitičke razgradnje  
bjelančevina. Albumoze su manje razgrađene pa još imaju spo-  
sobnost koaguliranja i mogu se iz svojih otopina isolirati amonije-  
vim sulfatom; peptoni se više ne mogu isolirati. Peptoni se lakše  
tope u vodi i alkoholu od albumoza. Albumoze imaju veću mo-  
lekularnu težinu od peptona, ali u sastav albumoza i peptona  
uvijek ulaze čestice različitih veličina.

Želatina i tutkalo su najvažniji tehnički proizvodi u sastav  
kojih pretežno ulaze albumoze i peptoni. Dobivaju se zagrija-  
vanjem kolagena s vodom; želatina sadrži razmjerno više albu-  
moza od tutkala.

Želatina i tutkalo tehnički se proizvode iz kostiju, hrskavica,  
a naročito iz otpadaka koji nastaju pri preradi sirovih koža (me-  
sine). Kosti se prethodno obrađuju sumpornom kiselinom, a  
kožni otpaci vapnenim mlijekom. Tako priređeni materijal kuha  
se najprije na nižoj temperaturi, obično 50...55°, a zatim na po-  
višenoj temperaturi. Iskuhavanjem na nižim temperaturama i  
isparivanjem u vakuumu dobivaju se želatine bolje vrste. Kva-  
litetne želatine su bezbojne, a tehničke vrste želatine obojene su  
žutosmeđe. Želatina se često upotrebljava u prehrambene svrhe,  
iako nije punovrijedno hranjivo, jer sadrži manje nenadoknadivih  
aminokiselina. Primjenjuje se u industriji lijekova, filmova i  
plastičnih masa. Iz manje vrijednog materijala dobiva se na višim  
temperaturama tutkalo. Tutkalo je dobro ljeplivo za razne svrhe.

4. *Peptidi* se dobivaju daljnjom razgradnjom bjelančevina  
preko peptona. Uglavnom se dobro tope u vodi, ali u apsolutnom  
alkoholu obično nisu topljivi. Nemaju određeno talište i razgra-  
đuju se uglavnom na temperaturama višim od 200°C. Neki peptidi  
su gorki, a drugi bez ukusa. Sposobnost kristalizacije umanjuje  
im se povećanjem molekularne težine, ali na to utječu i amino-  
kislone koje ih izgrađuju. Sintetski priređeni peptidi po svo-  
jim svojstvima odgovaraju produktima razgradnje prirodnih bje-  
lančevina. Peptidi u slobodnom obliku nalaze se u manjoj koli-  
čini i u prirodi.

LIT.: N. Waldschmidt i N. Leitz, *Chemie der Eiweißkörper*, Stuttgart 1950.  
— N. Hellmann, *Eiweiß*, Stuttgart 1951. — H. Staudinger, *Organische Kolloid-  
chemie*, Braunschweig 1950. — D. M. Greenberg (ed.), *Amino acids and pro-  
teins*, Springfield, Ill., 1951. — A. Г. Пасынский, *Белки в промышленности и в  
сельском хозяйстве*, Москва 1952. — H. Neurath i K. Bailey, *The proteins*,  
New York 1953/54. — H. D. Springall, *The structural chemistry of proteins*,  
New York-London 1954. — S. W. Fox i J. F. Foster, *Introduction to protein  
chemistry*, New York 1957. — B. Jirgensons, *Organic colloids*, Amsterdam 1958.  
— F. Haurowitz, *The chemistry and function of proteins*, New York 1963.

**B. Gložić**

**BOJA**, u užem, strogom smislu, osjet vida što ga izaziva na-  
dražaj mrežnice oka zrakama (vidljivog) svjetla, tj. elektromagnet-  
skim zračenjem valne dužine između 380 i 760 nm. Prema toj  
definiciji boja nije svojstvo svjetla koje izaziva nadražaj ni predmeta  
sa kojeg svjetlo dolazi u oko, nije dakle svojstvo fizičkog svijeta,  
nego psihički doživljaj izazvan fizičkim uzrokom (stimulusom) i  
zavisan od fizioloških procesa u organizmu, a osim toga i od razli-  
čitih psiholoških faktora. S time je u skladu činjenica da vid-  
ljivo svjetlo istog spektarnog sastava (isti stimulus) može izazvati  
različite doživljaje boje u različitim ljudi, pa i u istog čovjeka (npr.  
uz različitu prilagođenost oka), a isti predmet prikazuje se u  
različitim bojama prema intenzitetu i spektarnom sastavu svjetla  
koje se od njega odbija ili kroza nj prolazi. Ipak se u tehnici, kao  
i u običnom životu, govori i o boji svjetla, razumijevajući time  
njegov spektarni sastav ili bojeni osjet koji izaziva, i o boji tijela,  
razumijevajući time boju svjetla koje se od njih odražava ili kroz  
njih prolazi kad su osvijetljena danjim ili njemu sličnim svjetlom.

Mnogi se tehnički proizvodi upotrebljavaju zbog svoje boje  
ili se prema svojoj boji ocjenjuju, a u uvjetima moderne masovne  
proizvodnje u mnogim je granama tehnike vrlo važno da se odre-

đena boja jednoznačno definira, kako bi se mogla što tačnije re-  
producirati i specificirati. U ovom će članku biti riječ uglavnom  
o metodama mjerenja i specificiranja boje, ali će pri tom biti po-  
trebno upoznati čitaoca također s nekim fizičkim, fiziološkim i  
psihološkim osnovama bojenog osjeta. O kemijskim aspektima  
boje, tj. o zavisnostima između boje i konstitucije obojene tvari,  
v. *Bojila*.

Riječ »boja« upotrebljava se u običnom životu i u tehnici ta-  
kođer za proizvod ili tvar koja drugim tvarima i predmetima ili  
dijelovima predmeta daje određenu boju; o »bojama« u tom  
smislu v. *Bojila, Premazi, Pigmenti, Prirodne boje i bojila*.

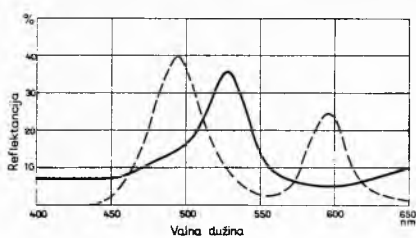
**Fizički stimulus boje.** Elektromagnetsko zračenje koje je  
kadro izazvati osjet boje naziva se, u odnosu na taj osjet, njegovim  
*stimulusom*. Stimulus je u fizičkom pogledu određen ukupnim  
*fluksum* (tokom *zračenja*, tj. ukupnom količinom energije koju  
on prenosi u jedinici vremena na mrežnicu, i raspodjelom te  
energije na različne valne dužine, tj. spektarnom raspodjelom  
stimulusa, koja se zove također *stimulusnom funkcijom*. Postupak  
kojim se određuje spektarna raspodjela stimulusa zove se *spektro-  
fotometrija*. Tipičan postupak spektrofotometrijske analize, npr.  
svjetla reflektiranog s neke obojene površine, sastoji se u tome  
da se bijelo svjetlo pogodnog izvora rastavi na spektar, iz tog  
spektra izolira uska vrpca valova i tako dobiveni snop monokrom-  
atskog svjetla (svjetla jedne boje) razdijeli na dvije zrake: jedna  
se baca na površinu ispitivanog uzorka, a druga na bijelu površinu  
koja reflektira praktično svekoliko svjetlo što na nju pada. Fluksovi  
zračenja reflektiranih s ovih dviju površina bit će različiti (sa uzorka  
bit će dakako manji) i oni se mogu pogodnim fotometrijskim  
postupkom (uz upotrebu oka ili fotografske ploče) uporediti;  
njihov omjer naziva se *spektarna reflektancija* u upotrijebljenom  
dijelu spektra. (Analogno se određuje *spektarna transmitancija*  
obojenog prozirnog tijela za monokromatsko svjetlo koji kroza  
nj prolazi, u odnosu na određeno »bijelo« svjetlo.) Taj se postupak  
provodi redom s monokromatskim svjetlima (uskim vrpčama  
valnih dužina) uzduž cijelog spektra. S dobivenim vrijednostima  
može se nacrtati krivulja spektarne reflektancije (ili transmitancije)  
za određeno složeno svjetlo, tj. krivulja koja prikazuje stimulusnu  
funkciju. Površina ispod te krivulje predstavlja ukupni fluks zra-  
čenja stimulusa. Ako se sa  $\Phi_e$  označi taj fluks, sa  $q(\lambda)$  spektarna  
reflektancija a sa  $E_0(\lambda)$  fluks upadnog svjetla za valnu dužinu  
 $\lambda$ , ta je površina izražena određenim integralom:

$$\Phi_e = \int_{380}^{760} E_0(\lambda) \cdot q(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

za reflektirano svjetlo; u izrazu za ukupni fluks izvorâ svjetla  
otpada  $q(\lambda)$ , a u izrazu za ukupni fluks propuštenog svjetla na  
mjesto  $q(\lambda)$  dolazi  $\tau(\lambda)$ , spektarna transmitancija. Sl. 1 prikazuje,  
primjera radi, krivulje spektarne reflektancije dvaju stimulusa koji  
izazivaju osjet zelene boje.

Samo metalne površine svjetlo u pravom smislu riječi reflektiraju; u druge  
površine svjetlo prodire i ispod površine se može na česticama tijela reflektirati  
i većim ili manjim dijelom apsorbirati. Za svjetlo koje nakon toga kroz površinu  
opet izađe iz tijela kaže se da je remitirano i u takvim slučajevima se govori  
o *spektarnoj remitanciji* mjesto o reflektanciji. To se podrazumijeva uvijek kad  
se u ovom članku govori o refleksiji i reflektanciji.

Stimulusna funkcija je najvažniji podatak kolorimetrije (mje-  
renja boje). Ona boju jednoznačno karakterizira u tom smislu



Sl. 1. Stimulusne funkcije dviju uvjetno jednakih boja

da dvije boje jedna-  
ke stimulusne funkcije,  
pod jednakim uv-  
jetima promatranja,  
doživljava kao jedna-  
ke svaki promatrač,  
ma kakve bile okol-  
nosti pod kojima se  
boje upoređuju i bez  
obzira na to da li je  
vid promatrača nor-  
malan ili anomalan.  
(Time nije rečeno da

među subjektivnim doživljajima promatrača nema razlike.) Za-  
to se dvije takve boje nazivaju *bezučjetno jednakima*. Međutim,  
u protivnom smjeru jednoznačnosti stimulusne funkcije nema:  
dvije boje koje neki promatrač (pa imao i normalan vid) pod jedna-



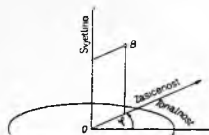
mentarne boje, dakle, recimo, u središtu kruga, nezasićene boje nalaze se na dijametrima bliže jednoj ili drugoj od komplementarnih boja, mogu se dakle smatrati također smjesom zasićene spektarske boje i akromatske boje iste svjetline.

Akromatske boje nemaju bojenog tona a zasićenost im je jednaka nuli; one su stoga potpuno određene svojom svjetlinom. Akromatska boja sa svjetlinom nula zove se crna, a sa maksimalnom svjetlinom bijela, ako se radi o reflektiranom svjetlu. Ako je posrijedi izvor svjetla, svjetlini (jarkosti) nula odgovara potpun mrak, maksimalnoj jarkosti zasljepljujuće svjetlo. U propuštenu svjetlu ima medij svjetlinu nula ako je potpuno neproziran, a maksimalnu svjetlinu akromatske boje kad je savršeno proziran i bezbojan.

Psihološki, pojam crnog i bijelog relativni su pojmovi: jednako osvijetljena površina, već prema osvijetljenju površine koja je okružuje, može izgledati bijela, više ili manje siva, pa i crna. To isto vrijedi i za zasićenost boje: boja se osjeća kao više ili manje zasićena samo u poređenju s drugom, ne ako se promatra izolirano. Stimulus, tj. svjetlosni fluks, sam po sebi ne određuje osjet crnog, sivog i bijelog, niti osjet zasićenosti boje (bijela mačka izgleda nam bijela i u polumračnoj sobi, a crna mačka crna i na jarkom suncu, mada sa crne mačke na suncu dolazi mnogo veći svjetlosni fluks na mrežnicu našeg oka nego sa bijele u polumraku). Ali psihofizički (ili kolorimetrijski) može se omjerom fluksova definirati skala akromatskih boja, a isto tako i skale većeg ili manjeg zasićenja boja.

**Prostor bojâ.** Budući da boja ima tri (i samo tri) kvaliteta i oni se mogu izraziti kvantitativno, svaka se boja može prikazati tačkom u trodimenzijskom prostoru i jednoznačno odrediti trima koordinatama. Nadovezujući na predodžbu bojenog kruga mogu se za određivanje boja izabrati cilindarske koordinate (sl. 3).

Bojeni ton neke boje  $B$  je onda određen amplitudom  $\varphi$ , tj. kutom između polarne osi i radijusvektora do tačke na obodu bojenog kruga koja prikazuje spektarsku boju ili najzasićeniji purpur istog bojenog tona kao boja  $B$ ; zasićenost je prikazana odgovarajućom dužinom na tom radijusu, a svjetlina udaljenošću okomite projekcije tačke  $B$  na vertikalnoj osi od tačke  $O$ , koja prikazuje crnu boju.



Sl. 3. Cilindarske koordinate boje

Budući da su bojeni tonovi smješteni na zatvorenoj krivulji a svjetlina i zasićenost su ograničene ekstremnim vrijednostima, sve se boje moraju nalaziti u zatvorenom dijelu prostora, unutar tijela ograničenog plohom spektarskih boja različite svjetline. To

tijelo ima na svom bijelom i crnom kraju šiljke, jer je na tim mjestima zasićenost jednaka nuli; što se od tih krajeva više ide prema nekoj srednjoj svjetlini to više stepena zasićenosti oko može razlikovati. Stoga se tijelo boja često zamišlja kao sastavljeno od dva stošca sa zajedničkom bazom (sl. 4).

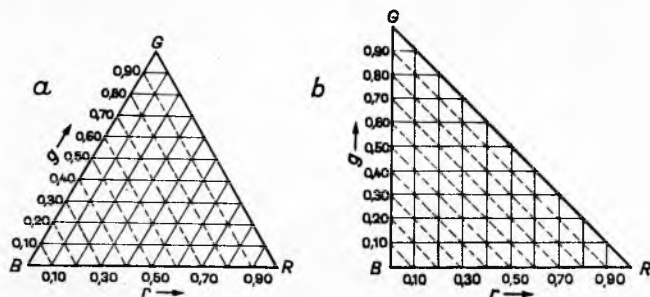
Na takav način su kvantitativni odnosi među bojama prikazani samo vrlo uslovno i shematski. U stvari, nije tačno da spektarske i purpurne boje leže na kružnici kojoj je akromatska boja u središtu, tj. nije tačno — psihofizički — da jednaki i za sve boje isti fluksovi komplementarnih boja daju (istu) akromatsku boju i — psihološki — da oko uvijek između akromatske i najzasićenije kromatske boje razlikuje isti broj stepena zasićenosti. Npr., da bi se dobila akromatska boja, treba od zelenkastomodrog ( $\lambda = 482$  nm) i žučkastonarandžastog ( $\lambda = 585$  nm) svjetla pomiješati fluksove u omjeru 1 : 1, a zelenog ( $\lambda = 520$  nm) i komplementarnog purpurnog u omjeru 1 : 2,6; pri nekoj srednjoj svjetlini oko može razlikovati između akromatske i najzasićenije kromatske boje dvostruko više purpurnih nijansa nego žutih. Nije tačno ni to da sve boje postizavaju svoje maksimalno zasićenje na istom nivou svjetline (u ravnini zajedničke baze stožaca na sl. 4); ljubičasta boja postizava svoje maksimalno zasićenje blizu crnom kraju tijela boja, žutozeleni blizu bijelom kraju. Oblik tijela boja bit će dakle nešto zamršeniji nego što je shematski prikazano na sl. 4, i metrika će u njemu biti različita prema tome da li se određuju psihofizički ili psihološki parametri.

**Dijagram kromatičnosti.** Psihofizičko mjerenje boja osniva se na Grassmannovim zakonima aditivnog miješanja boja. Ti se zakoni mogu formulirati ovako:

**Prvi Grassmannov zakon:** Trima pogodno izabranim osnovnim stimulusima može se imitirati bojeni osjet izazvan bilo kojim bojenim stimulusom. Svaki dani bojeni stimulus može se imitirati samo jednom kombinacijom određenih osnovnih stimulusa.

**Drugi Grassmannov zakon:** Daju li dva različita bojena stimulusa isti osjet boje, ostaje taj osjet jednak i kad se intenzitet zračenja obaju stimulusa bez promjene spektarnog sastava u istom smjeru promijeni.

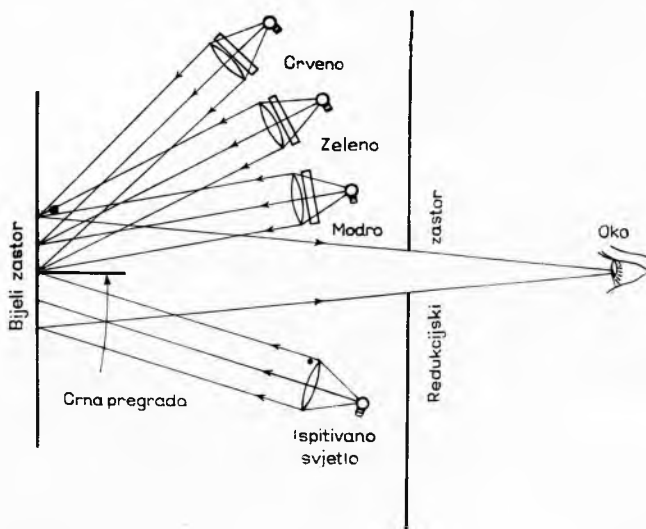
**Treći Grassmannov zakon:** Dva stimulusa (različitog spektarnog sastava) koja daju isti osjet boje vladaju se jednako i pri miješanju s nekim trećim stimulusom.



Sl. 5. Trokutni dijagrami

Na osnovu prvog Grassmannovog zakona može se svaka boja, nezavisno od spektarnog sastava svjetla koje ju je izazvalo, karakterizirati u oba smjera jednoznačno trima brojevima, članovima omjera u kojem treba aditivno pomiješati osnovne stimuluse da bi se ona dobila. Prema drugom Grassmannovom zakonu ton i zasićenost boje (koji zajedno čine *kromatičnost* boje), s jedne strane, i svjetlina, s druge strane, među sobom su nezavisni. Na trećem se Grassmannovom zakonu osniva cjelokupna moderna kolorimetrija, jer je prema njemu za vladanje neke boje odlučno samo kako ona »izgleda«, a ne kakav joj je spektarni sastav. Zbog važenja Grassmannovih zakona može se kromatičnost boje (bojeni ton + zasićenost) prikazati u ravnom dijagramu tako da se pri miješanju bojâ figurativna tačka kromatičnosti smjese nalazi na pravcu koji spaja figurativne tačke obiju sastojina, i da se svjetlosni fluksovi koji se moraju pomiješati izračunavaju po »pravilu poluge«, tj. da su oni u obrnutom razmjeru s udaljenostima figurativnih tačaka sastojine od figurativne tačke mješavine. To se postizava tako da se u trokutnom dijagramu (sl. 5) nanese udio svakog od triju osnovnih stimulusa u njihovoj sumi potrebnoj da se imitira prikazana boja. Te se koordinate mogu npr. dobiti direktnim određivanjem omjera osnovnih stimulusa s pomoću aparata koji se zove *tristimulusni kolorimetar* i čiji je princip prikazan na sl. 6.

Promatrač gleda vidno polje kroz otvor u zastoru; time se osigurava da on vidi samo obojeno polje, bez okoline koja bi mogla promijeniti subjektivni osjet boje (*redukcija boje na boju otvora*). Jednu polovinu vidnog polja zauzima ispitana boja (u sl. 6 to je



Sl. 6. Princip tristimulusnog kolorimetra

i najzasićenije kromatske boje razlikuje isti broj stepena zasićenosti. Npr., da bi se dobila akromatska boja, treba od zelenkastomodrog ( $\lambda = 482$  nm) i žučkastonarandžastog ( $\lambda = 585$  nm) svjetla pomiješati fluksove u omjeru 1 : 1, a zelenog ( $\lambda = 520$  nm) i komplementarnog purpurnog u omjeru 1 : 2,6; pri nekoj srednjoj svjetlini oko može razlikovati između akromatske i najzasićenije kromatske boje dvostruko više purpurnih nijansa nego žutih. Nije tačno ni to da sve boje postizavaju svoje maksimalno zasićenje na istom nivou svjetline (u ravnini zajedničke baze stožaca na sl. 4); ljubičasta boja postizava svoje maksimalno zasićenje blizu crnom kraju tijela boja, žutozeleni blizu bijelom kraju. Oblik tijela boja bit će dakle nešto zamršeniji nego što je shematski prikazano na sl. 4, i metrika će u njemu biti različita prema tome da li se određuju psihofizički ili psihološki parametri.

**Dijagram kromatičnosti.** Psihofizičko mjerenje boja osniva se na Grassmannovim zakonima aditivnog miješanja boja. Ti se zakoni mogu formulirati ovako:

**Prvi Grassmannov zakon:** Trima pogodno izabranim osnovnim stimulusima može se imitirati bojeni osjet izazvan bilo kojim bojenim stimulusom. Svaki dani bojeni stimulus može se imitirati samo jednom kombinacijom određenih osnovnih stimulusa.

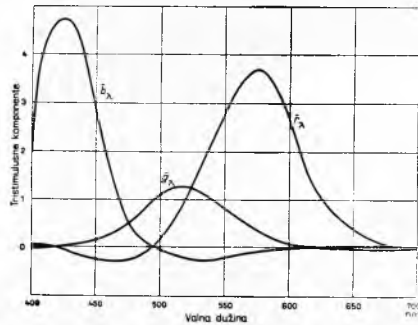
boja ispitivanog svjetla), na drugu polovinu bacaju se tri snopa svjetla boja izabranih kao osnovne (crvena, zelena, modra). Fluksovi se tih svjetala mogu mijenjati i njihove relativne vrijednosti mjeriti. Vrijednosti fluksova osnovnih svjetala koje treba namjestiti da bi se dobio isti osjet boje na objema polovinama vidnog polja predstavlja tri osnovna stimulusa, *trikromatske* ili *tristimulusne komponente* mjerene boje:  $R$  (crveni),  $G$  (zeleni) i  $B$  (modri). Koordinate  $r$ ,  $b$ ,  $g$  figurativne tačke u dijagramu kromatičnosti dobivaju se iz tih stimulusa prema jednadžbama:

$$r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B}, \quad b = \frac{B}{R+G+B}. \quad (3)$$

Iz toga slijedi da je

$$r + g + b = 1,$$

pa je potrebno izračunati i u trokutni dijagram unijeti samo dvije od tih koordinata,  $r$  i  $g$ . U pravokutnom trokutnom dijagramu (sl. 5b)  $r$  i  $g$  predstavljaju apscisu i ordinatu, a treća se koordinata računom dobiva odbijanjem sume prvih dviju od jedinice, a na dijagramu je prikazana udaljenošću figurativne tačke boje od hipotenuze trokuta. Skale koordinata udešene su tako da suma jednakih fluksova triju osnovnih stimulusa daje neku određenu akromatsku boju (npr. danje svjetlo, ili svjetlo s izoenergetskim spektrom, ili svjetlo kojim se osvjetljavaju obojene površine kad im se upoređuju ili mjere boje).



Sl. 7. Tristimulusne komponente boja izoenergetskog spektra za realne osnovne stimuluse i za standardnog promatrača

Različiti promatrači, i ako su svi normalnog vida, naći će redovito pod istim uvjetima pomalo različite vrijednosti  $R$ ,  $G$  i  $B$ . Guild i Wright odredili su s većim brojem normalnih promatrača prosječne tristimulusne komponente boja izoenergetskog spektra. Njihove vrijednosti — određene s različitim osnovnim stimulusima — prikazane su grafički na sl. 7 pošto su preračunate na monokromatska svjetla s valnim dužinama 650 nm (crveno,  $R_0$ ), 520 nm (zeleno,  $G_0$ ) i 450 nm (modro,  $B_0$ ) kao osnovne stimuluse. U toj slici su nad svakom valnom dužinom nanijete vrijednosti  $\bar{r}_\lambda$ ,  $\bar{g}_\lambda$  i  $\bar{b}_\lambda$  triju osnovnih stimulusa koje treba adirati u tristimulusnom kolorimetru da bi standardni promatrač, definiran tim krivuljama, doživio osjet boje izazvan monokromatskim svjetlom te valne dužine. Krivulje sl. 7 definiraju, u stvari, relativne osjetljivosti oka standardnog promatrača za tri osnovna stimulusa  $R_0$ ,  $G_0$  i  $B_0$ .

Iz vrijednosti  $\bar{r}_\lambda$ ,  $\bar{g}_\lambda$  i  $\bar{b}_\lambda$  mogu se za svako  $\lambda$  izračunati koordinate spektarskih boja  $r_\lambda$  i  $g_\lambda$  prema jedn. (3):

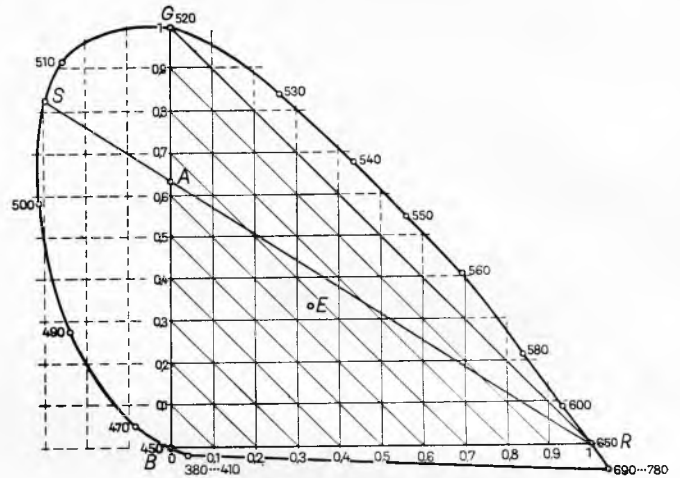
$$r_\lambda = \frac{\bar{r}_\lambda}{\bar{r}_\lambda + \bar{g}_\lambda + \bar{b}_\lambda} \quad \text{i} \quad g_\lambda = \frac{\bar{g}_\lambda}{\bar{r}_\lambda + \bar{g}_\lambda + \bar{b}_\lambda},$$

a s tim koordinatama može se nacrtati figurativna tačka spektarske boje valne dužine  $\lambda$  u trokutnom dijagramu. Figurativne tačke za sve valne dužine vidljivog spektra daju u tom dijagramu krivulju koja predstavlja geometrijsko mjesto boja vidljivog spektra kako ih vidi standardni promatrač (sl. 8).

Najzasićenije nespektarne boje prikazane su na pravcu koji spaja oba kraja krivulje spektarskih boja. U smjeru zraka koje polaze od centralne tačke (akromatske boje)  $E$ , kromatske boje postaju sve zasićenije uz zadržavanje istog bojenog tona. Komplementarne boje, budući da pomiješane mogu dati akromatsku boju, nalaze se na istom pravcu koji prolazi kroz tačku akromatske boje, a na suprotnim stranama od nje.

Kako se vidi iz sl. 7 i 8, svaka boja spektra — osim, dakako, onih triju koje su uzete kao osnovne — ima po jednu negativnu vrijednost stimulusa  $\bar{r}_\lambda$ ,  $\bar{g}_\lambda$  ili  $\bar{b}_\lambda$ . To znači da se nijedna boja ne

može miješanjem onih triju osnovnih (niti bilo kojih triju realnih osnovnih boja, kako ćemo uskoro vidjeti) dobiti s onim zasićenjem s kojim se nalazi u spektru. Ako je u donjem polju tristimulusnog kolorimetra (v. sl. 6) boja iz spektra, jednakost sa gornjim (za



Sl. 8. Geometrijsko mjesto boja izoenergetskog spektra u dijagramu kromatičnosti s realnim osnovnim stimulusima i za standardnog promatrača

upoređivanje) može se dobiti samo tako da se jedna od lampi  $R$ ,  $G$  ili  $B$  premjesti odozgo dolje i njezinog svjetla primiješa spektarskom svjetlu toliko koliko je potrebno da mješavina padne na stranicu trokuta  $RGB$  (v. sl. 8). Takva manje zasićena boja može se onda izjednačiti s pogodnom mješavinom ostalih dviju osnovnih boja. Dodavanje osnovne boje na donjoj strani aritmetički je ekvivalentno odbijanju na gornjoj, tj. jedan od triju stimulusa je negativan.

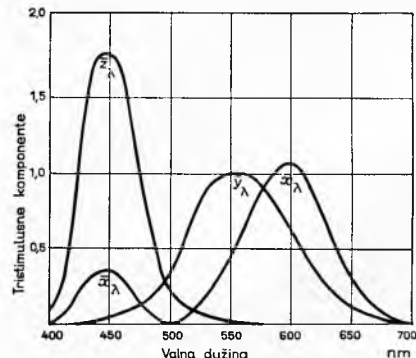
Npr. (v. sl. 8): da bi se u kolorimetru s tri osnovne boje  $R$ ,  $G$ ,  $B$  postigla jednakost sa spektarskom bojom  $S$ , treba  $S$  pomiješati sa  $R$  u omjeru  $SA : AR$  (pravilo poluge); dobivena boja  $A$  ( $A = S + R$ ) jednaka je mješavini od  $G$  i  $B$  u omjeru  $AB : AG$  ( $A = G + B$ ). Prema tome:

$$S + R = G + B \quad \text{ili} \quad S = G + B - R.$$

Računanje s negativnim stimulusima je nespretno pa se stoga koordinate  $r$ ,  $g$ ,  $b$  (odn. stimulusi  $R$ ,  $G$ ,  $B$ ) linearno transformiraju u koordinate  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (odn. stimuluse  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) jednog trokutnog koordinatnog sistema unutar kojega leži cijela krivulja spektarskih boja. Koordinate u tom novom koordinatnom sistemu su onda, prema jedn. (3):

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = 1 - (x+y). \quad (4)$$

Skale transformiranog koordinatnog sistema opet se udešavaju tako da centralna tačka ( $x = y = z$ ) prikazuje odgovarajuću akromatsku boju.



Sl. 9. Tristimulusne komponente boja izoenergetskog spektra za standardne osnovne stimuluse  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  i za standardnog promatrača

S pomoću jednadžbi transformacije mogu se, specijalno, izračunati iz vrijednosti  $\bar{r}_\lambda$ ,  $\bar{g}_\lambda$ , i  $\bar{b}_\lambda$  odgovarajuće vrijednosti  $\bar{x}_\lambda$ ,  $\bar{y}_\lambda$  i  $\bar{z}_\lambda$  sistema  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Tako izračunate vrijednosti prikazane su krivuljama na sl. 9, koje u tim novim vrijednostima definiraju standardnog promatrača.

Iz vrijednosti  $\bar{x}_\lambda$ ,  $\bar{y}_\lambda$  i  $\bar{z}_\lambda$  može se opet pomoću jedn. (4) izračunati geometrijsko mjesto spektarskih boja u dijagramu  $xyz$  (sl. 10). Dijagram  $xyz$  s krivuljom spektarskih boja zove se *dijagram kromatičnosti*.

čunati geometrijsko mjesto spektarskih boja u dijagramu  $xyz$  (sl. 10). Dijagram  $xyz$  s krivuljom spektarskih boja zove se *dijagram kromatičnosti*.

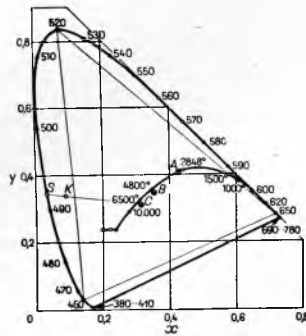


Kako izvan dijela ravnine obuhvaćenog krivuljom spektarskih boja i pravcem purpura ne može biti bojâ, to  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  ne predstavljaju realne boje, nego »imaginarne«, u stvari neke linearne funkcije realnih bojenih stimulusa, koje su praktičnije u upotrebi od samih stimulusa.

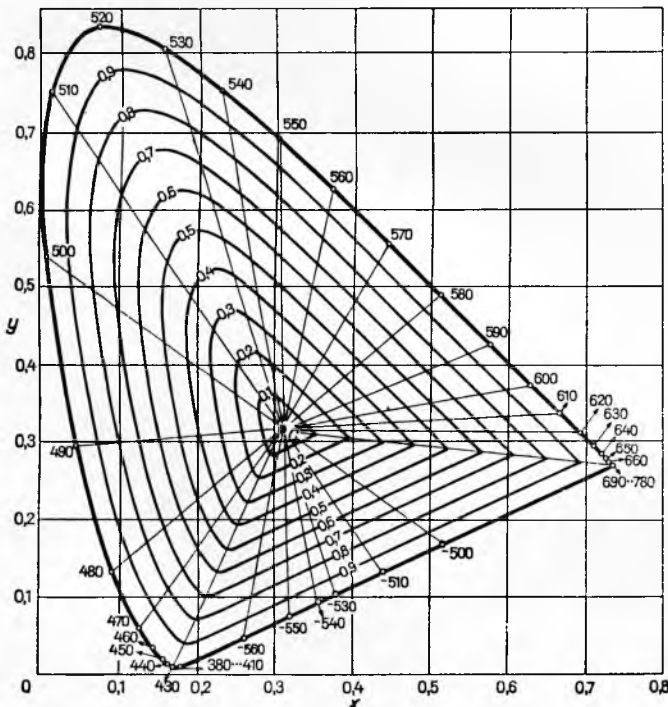
Krivulja spektarskih boja u dijagramu kromatičnosti konveksna je prema vani; razumljivo je stoga da se aditivnim miješanjem triju spektarskih boja kao osnovnih ne može reproducirati cjelokupno područje boja, nego samo područje unutar trokuta obrazovanog spojnica figurativnih tačaka tih osnovnih boja. Tehnike koje se služe trima bojama za reproduciranje svih boja (trobojni tisak, fotografija u bojama, televizija u bojama i dr.) moraju stoga tražiti kompromisne osnovne boje, koje će dati sve boje donekle nezasićene, ali nijednu previše.

Ako se usvoji plauzibilna teorija Younga i Helmholtza da osjet boje nastaje time što se u mrežnici nadražuju tri vrste receptora sa specifičnim osjetljivostima za tri osnovne boje, onda iz činjenice da se sa tri spektarske boje *ne mogu* imitirati ostale spektarske boje i iz činjenice da naš organ vida *može* stvoriti osjet svih spektarskih boja postaje vrlo plauzibilno da su osnovne boje za koje su receptori osjetljiviji zasićenije nego boje koje vidimo, tj. da su to »imaginarne« boje poput boja  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . To potvrđuju i bojeni osjeti promatrača slijepih za boje: npr. slijepi za boje zvani deuteranopij vide boje kao da nemaju receptora osjetljivog za boju  $X$ , tj. oni ne razlikuju boje prikazane tačkama na zruci koja polazi od tačke  $x = 1$  dijagrama kromatičnosti. (Ta je tačka očito tako i izabrana.)

Kao neutralno »akromatsko« svjetlo upotrebljava se u praksi kolorimetrije redovito svjetlo žarulja, s pogodnim filterima ili bez njih. Stoga je u dijagramu kromatičnosti sl. 10 ucrtano, kao zakrivljena linija koja polazi od crvenog ide prema centralnoj tački, geometrijsko mjesto boja koje zauzima crno tijelo kad se zagrije na označene temperature (*bojene temperature*). Tačka  $A$  (bojena temperatura 2854 °K) je boja svjetla standardizirane žarulje, standardnog predstavnika umjetne rasvjete; tačke  $B$  i  $C$  prikazuju boje dobivene svjetlom  $A$  s pomoću standardiziranih filtera; to su standardni predstavnici sunčanog svjetla u podne i prosječnog danjeg svjetla. Tačka  $E$  (centralna) u ovom dijagramu je boja svjetla s izoenergetskim



Sl. 10. Standardni dijagram kromatičnosti



Sl. 11. Dijagram kromatičnosti s linijama jednake dominantne valne dužine i jednake čistoće

spektrum. U USA se kao bijelo (akromatsko) svjetlo uzima redovito svjetlo  $B$ , u Engleskoj i Njemačkoj svjetlo  $C$ .

**Dominantna valna dužina i čistoća boje.** Koordinatama  $x$ ,  $y$  jednoznačno je određena svaka kromatičnost (bojeni ton + zasićenost boje) i one se mnogo upotrebljavaju za specifikaciju boje u nauci i privredi. Međutim, one same po sebi (bez dijagrama kromatičnosti) ne daju neposrednu predodžbu o bojenom tonu i zasićenosti boje o kojoj je riječ. S pomoću dijagrama kromatičnosti mogu se iz koordinata  $x$ ,  $y$  dobiti dvije druge koordinate, koje nemaju tog nedostatka: to su dominantna valna dužina i čistoća boje. *Dominantna valna dužina*  $\lambda$  je valna dužina spektarske boje istog bojenog tona kao boja o kojoj je riječ; dobiva se tako da se u dijagramu kromatičnosti iz akromatske tačke povuče pravac kroz figurativnu tačku dotične boje (npr.  $K$  u sl. 10) i očita valna dužina na sjecištu tog pravca s krivuljom spektarskih boja (tačka  $S$ ). Za nespektarne boje (purpure) kao dominantna valna dužina navodi se valna dužina komplementarne zelene boje s negativnim predznakom. *Čistoća* boje  $p$  je udio spektarske boje u boji o kojoj je riječ; dobiva se po pravilu poluge kao omjer dužina  $CK : CS$ . Na sl. 10 prikazana boja  $K$  ima dominantnu valnu dužinu 492 nm i čistoću 80%; iz tih podataka se i ne gledajući dijagram razabira da je to dosta čista modrozeleno boja. Dijagram poput onog na sl. 11, u kojemu su unijete krivulje jednake čistoće boje i pravci jednake tonalnosti, omogućava da se lako od koordinata  $x$ ,  $y$  pređe na koordinate  $\lambda$ ,  $p$ .

**Svjetlina.** Osim bojenog tona i zasićenosti, koje zajedno čine kromatičnost prikazanu koordinatama  $x$ ,  $y$  ili  $\lambda$ ,  $p$ , boja ima — kako je poznato — treću koordinatu: svjetlinu. Za svjetlinu vrijedi prema Grassmannu isti zakon aditivnosti kao i za kromatičnost: svjetlina svake boje jednaka je sumi svjetlina osnovnih stimulusa kojima se ona može imitirati, npr.:  $A = RL_r + GL_g + BL_b$ , gdje su  $R$ ,  $G$ ,  $B$  tri osnovna stimulusa kao u jedn. (2), a koeficijenti  $L_r$ ,  $L_g$  i  $L_b$  prikazuju relativne svjetlosne fluksove stimulusa  $R$ ,  $G$ ,  $B$ . Transformacijom od  $R$ ,  $G$ ,  $B$  na  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  dobiva se analogno

$$A = XL_x + YL_y + ZL_z. \quad (5)$$

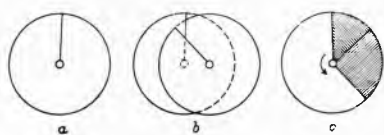
Svjetlina boje kako je doživljava standardni promatrač prikazana je krivuljom luminoziteta (v. sl. 2). Uporedi li se ta krivulja s krivuljom  $\bar{y}_\lambda$  na sl. 9, vidi se da su te dvije krivulje kongruentne. To je zbog toga što su osnovni standardni stimulusi  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (tj. jednadžbe transformacije od  $R_0$ ,  $G_0$ ,  $B_0$  na  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) izabrani tako da postaje  $L_x = L_z = 0$  i  $L_y = 1$ , pa time  $A = Y$ , a vrijednosti  $\bar{y}_\lambda$  proporcionalne ordinatama  $y$  krivulje luminoziteta. Prema tome, ako se podaci tristimulusnog kolorimetra preračunaju na stimuluse  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  s pomoću transformacijskih jednadžbi, dobiva se time, osim podataka za izračunavanje koordinata kromatičnosti  $x$ ,  $y$ , ujedno i treća koordinata, svjetlina, kao vrijednost  $Y$ . Budući da se  $Y$  dobiva u proizvoljnim jedinicama, obično se svjetlina izražava u odnosu na neku osnovnu svjetlinu  $Y_0$ , kao omjer  $Y/Y_0$ , npr. u procentima svjetline magnezijeva oksida. Psihofizičkim (ili kolorimetrijskim) koordinatama  $x$ ,  $y$ ,  $Y$  (odn.  $Y/Y_0$ ) određena veličina koja je obostrano jednoznačno pridružena svakom bojenom osjetu zove se *bojena valencija*.

Schrödinger je pokazao da za svaku trojku osnovnih stimulusa postoji u dijagramu kromatičnosti jedna linija koja je geometrijsko mjesto boja nultog luminoziteta, tzv. *alijna* (od grčkog  $\alpha$ - bez- i  $\lambda$ γνος svjetiljka, svjetlo). Ako se transformacija od koordinata  $b$ ,  $g$ ,  $r$  na koordinate  $x$ ,  $y$ ,  $z$  provede tako da tačke  $x = 1$  i  $z = 1$  padnu na alijnu, time se automatski pripisuje faktor luminoziteta u cjelini stimulusu  $Y$ . — Budući da se trodimenzijska priroda bojenog osjeta može izraziti kako tristimulusnim komponentama (sl. 9) tako i dimenzijama zeleno-crveno, modro-žuto i svijetlo-tamno (sl. 4), ne bi nas smjela iznenaditi činjenica da se između svjetline i jednog od osnovnih stimulusa može uspostaviti veza izražena jednakošću zavisnosti od valne dužine.

**Metode kolorimetrije.** Tristimulusna kolorimetrija, kako je shematski prikazana na sl. 6, praktično nailazi na različite teškoće. Najozbiljnija je od njih što je tačno upoređivanje metameričkih boja teško ako je vidno polje veliko, jer smeta tzv. »žuta pjega« na mrežnici oka, koja se projicira na vidno polje i mijenja mu boju u sredini; ako se uzme malo vidno polje (tako da ga jednolično zauzima projekcija žute pjege), tačno je upoređenje otežano slabim osvjetljenjem vidnog polja. Stoga se takvi tristimulusni kolorimetri u praksi razmjerno rijetko upotrebljavaju.

Drugi način tristimulusne kolorimetrije služi se principom Maxwellove ploče, kruga sa sektorima različitih boja, koje se miješaju brzim okretanjem ploče oko osi okomite na njoj. Naj-

jednostavniji takav kolorimetar sastoji se od četiri ploče od kartona, jedne crne i tri u osnovnim bojama, razrezane po jednom polumjeru tako da se mogu kombinirati u jednu ploču sa četiri sektora s različitim omjerima središnjih kutova sektora (sl. 12);



Sl. 12. Konstrukcija Maxwelllove ploče

ta kombinirana ploča montira se na osovinu zajedno s manjom pločom na kojoj se nalazi ispitana boja. Odnos osnovnih boja (središnjih kutova sektora s osnovnim bojama) mijenja se dok se pri brzom okretanju ploče ne izjednače boje velike i male ploče; kad je to postignuto, odnos središnjih kutova predstavlja odnos triju osnovnih stimulusa. Tačnost mjerenja se povećava ako se namjesto crne i osnovnih boja uzmu četiri boje koje su slične ispitanoj i kojima su tristimulusne vrijednosti poznate. (Četiri se boje moraju uzeti zbog toga što onda zbog određenog zbroja ukupnog središnjeg kuta,  $360^\circ$ , postoje tri stupnja slobode mijenjanja odnosa boja.) Takvi su tristimulusni kolorimetri dobro upotrebljivi za mjerenje boja koje se na taj način mogu imitirati.

**Monokromatskim kolorimetrima** se neposredno mjeri dominantna valna dužina i čistoća ispitane boje tako da se s njome upoređuje boja dobivena miješanjem monokromatske spektarske i akromatske boje. Takvi su kolorimetri komplicirani i nespretni, jer pored upoređivanja metameričnih boja (skopčanog s navedenim teškoćama), oni zahtijevaju i određivanje relativne luminancije komponenata boje, što je teško postići na objektivan način; u praksi se stoga malo upotrebljavaju.

Mnogo više se u praksi upotrebljavaju **suptraktivni kolorimetri**, tj. kolorimetri u kojima se mjerena boja upoređuje s bojom dobivenom umetanjem triju filtara u jednu jedinu zraku bijelog svjetla (v. dalje Suptraktivno miješanje boja.) To je princip vrlo raširenog kolorimetra Lovibond. Različite gustoće njegovih crvenih, žutih i modrih filtara označene su brojevima, pa se mjerena boja izražava brojevima triju filtara kojima mora proći bijelo svjetlo da bi joj postalo jednako. Takve se oznake teško preračunavaju na koordinate  $x$ ,  $y$ . Razumljivo je da se sa navedena tri filtra ne mogu reproducirati boje svih zasićenosti.

Svi vizualni kolorimetri zahtijevaju da se uporede boje koje su više ili manje metamerne (različitog spektarnog sastava) i prema tome jednakost među njima može biti samo uvjetna, tj. zavisna je od promatrača i (za boje tijela) od uvjeta osvjetljenja. **Fotoelektrički kolorimetri** upotrebljavaju fotoelektričke ćelije koje imaju spektarnu osjetljivost sličnu osjetljivosti oka standardnog promatrača za »imaginarne boje«  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (selenske i ventilne fotoelemente i fotomultiplikatore u kombinaciji sa filterima). Postoje aparati na kojima promatrač treba samo da okreće dugmeta potencijometara dok kazaljke odgovarajućih galvanometara ne zauzmu multi položaj, a onda se na ekranu sa dijagramom kromatičnosti pročitaju koordinate  $x$ ,  $y$  mjerene boje na sjecištu dviju niti.

Drugi način kojim se izbjegavaju teškoće skupčane s metameričnošću boja i kojim se mjesto individualnih promatrača uvodi standardni promatrač jest izračunavanje koordinata  $x$ ,  $y$ ,  $Z$  iz krivulje spektralne reflektancije (stimulusne funkcije) s pomoću krivulja sl. 9. Te krivulje, u stvari, pokazuju kako se ukupni svjetlosni fluks na svakoj valnoj dužini raspodjeljuje na stimuluse  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ , izražene kao dijelovi stimulusa  $Y$  na valnoj dužini 550 nm. Stimulusi  $X$  i  $Z$  izračunavaju se, prema tome, iz ordinata krivulje spektralne reflektancije na isti način kako je iz nje, s pomoću jedn. (2), izračunato  $Y$ , tj. kao površina ispod krivulja koje se dobivaju kad se svaka ordinata krivulje spektralne reflektancije pomnoži (ponderira) odgovarajućom ordinatom  $\bar{x}_\lambda$  odn.  $\bar{z}_\lambda$  i fluksom upadnog svjetla  $E_o(\lambda)$ :

$$X = \int_{380}^{760} \bar{x}_\lambda \cdot E_o(\lambda) \cdot \rho(\lambda) d\lambda,$$

$$Z = \int_{380}^{760} \bar{z}_\lambda \cdot E_o(\lambda) \cdot \rho(\lambda) d\lambda.$$

Iz  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  izračunavaju se  $x$  i  $y$  prema jedn. (4). Faktor  $\rho(\lambda)$  otpada ili se zamjenjuje sa  $\tau(\lambda)$  kao i u jednadžbama (1) i (2).

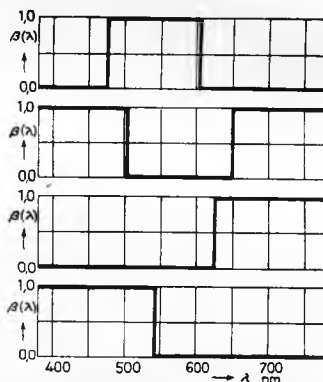
Namjesto integracije redovito se izvodi sumiranje:

$$X = \sum_{380}^{760} \bar{x}_\lambda \cdot E_o(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \Delta\lambda$$

(i analogno za  $Y$  i  $Z$ ) pošto se razdijeli spektar na dovoljan broj intervala  $\Delta\lambda$  (redovito je  $\Delta\lambda = 10$  nm). Taj je račun mnogo olakšan tablicama u kojima se nalaze za pojedine intervale navedene srednje vrijednosti  $\bar{x}_\lambda$ ,  $\bar{y}_\lambda$ ,  $\bar{z}_\lambda$  i za standardne izvore svjetlosti vrijednosti  $E_o(\lambda)$ , ili također umnoški  $\bar{x}_\lambda \cdot E_o(\lambda)$  itd., i drugi podaci potrebni za skraćene postupke koji ubrzavaju račun.

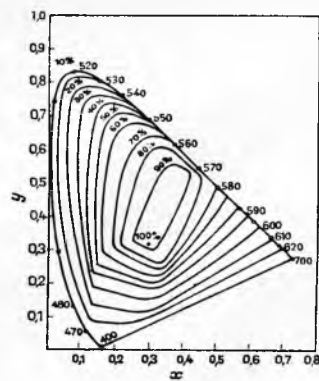
**Materijalni standardi boja.** Za mnoge svrhe u praksi specificiranje boja koordinatama dijagrama kromatičnosti nepraktično je ili ne odgovara svrsi (npr. ako treba specificirati boje zidova u sobama, ili ambalaže). U takvim slučajevima odavna se upotrebljavaju materijalni standardi, tj. specificira se da tražena boja treba da bude jednaka boji uzorka koji se specifikaciji prilaže, ili da bude jednaka boji uzorka koji se nalazi u određenoj zbirki materijalnih standarda ili u određenom atlasu boja, pri čemu se tražena boja označi brojem ili šifrom iz te zbirke ili atlasa.

Smatra se da oko može razlikovati bar 10 miliona nijansa boja tijelâ, tj. boja izazvanih reflektiranim i transmisiranim svjetlom. Te boje, koje jedino dolaze u obzir kao materijalni standardi, nalaze se unutar jednog tijela boja koje zauzima manji prostor nego tijelo svih boja uopće, jer ne mogu nikad postići zasićenost spektarskih boja. (Ovdje, kao u cijelom ovom članku, ostavljaju se po strani fluorescentne boje, tj. boje koje su nastale ne samo refleksijom ili transmisijom upadnog svjetla nego i mijenjanjem nekih njegovih valnih dužina, napose pretvaranjem nevidljivog svjetla u vidljivo.) Dio prostora unutar kojeg se nalaze boje tijela naziva se **bojenim tijelom** (u užem smislu riječi); na njegovoj se površini nalaze boje tijela koje imaju najveću moguću zasićenost, tzv. **optimalne boje**. Naime, lako je uvidjeti da između zasićenosti i svjetline boje tijela postoji suprotnost: najveću zasićenost imala bi boja koja bi nastala iz upadnog svjetla potpunom apsorpcijom svih valnih dužina osim jedne, ali takva bi boja bila praktično bez svjetline; najveću svjetlinu ima boja koja nastaje kad se od upadnog svjetla ništa ne apsorbira osim jedne valne dužine, ali takva je boja praktično bijela, tj. bez zasićenosti. Može se pokazati da bi najbolji kompromis između svjetline i zasićenosti predstavljale idealne boje izazvane stimulusom u kojemu je jedan dio spektra potpuno apsorbiran a drugi potpuno reflektiran, npr. prema jednoj od stimulusnih funkcija prikazanih na sl. 13. To i jesu spomenute optimalne boje koje tvore površinu bojenog tijela. Na sl. 14 prikazano je bojeno tijelo na osnovu dijagrama kromatičnosti. Izohipse predstavljaju linije optimalnih boja jednake svjetline  $Y/Y_o$ , one pokazuju koje se maksimalne čistoće (kolorimetrijske zasićenosti) boja mogu postići uz dati stepen svjetline. Iz sl. 14 se npr. odmah vidi da ljubičaste i grimizne boje mogu biti vrlo zasićene samo ako su i vrlo tamne, a vrlo svijetle da mogu



Sl. 13. Idealne stimulusne funkcije optimalnih boja

bojenim tijelom (u užem smislu riječi); na njegovoj se površini nalaze boje tijela koje imaju najveću moguću zasićenost, tzv. **optimalne boje**. Naime, lako je uvidjeti da između zasićenosti i svjetline boje tijela postoji suprotnost: najveću zasićenost imala bi boja koja bi nastala iz upadnog svjetla potpunom apsorpcijom svih valnih dužina osim jedne, ali takva bi boja bila praktično bez svjetline; najveću svjetlinu ima boja koja nastaje kad se od upadnog svjetla ništa ne apsorbira osim jedne valne dužine, ali takva je boja praktično bijela, tj. bez zasićenosti. Može se pokazati da bi najbolji kompromis između svjetline i zasićenosti predstavljale idealne boje izazvane stimulusom u kojemu je jedan dio spektra potpuno apsorbiran a drugi potpuno reflektiran, npr. prema jednoj od stimulusnih funkcija prikazanih na sl. 13. To i jesu spomenute optimalne boje koje tvore površinu bojenog tijela. Na sl. 14 prikazano je bojeno tijelo na osnovu dijagrama kromatičnosti. Izohipse predstavljaju linije optimalnih boja jednake svjetline  $Y/Y_o$ , one pokazuju koje se maksimalne čistoće (kolorimetrijske zasićenosti) boja mogu postići uz dati stepen svjetline. Iz sl. 14 se npr. odmah vidi da ljubičaste i grimizne boje mogu biti vrlo zasićene samo ako su i vrlo tamne, a vrlo svijetle da mogu



Sl. 14. Bojeno tijelo na bazi standardnog dijagrama kromatičnosti

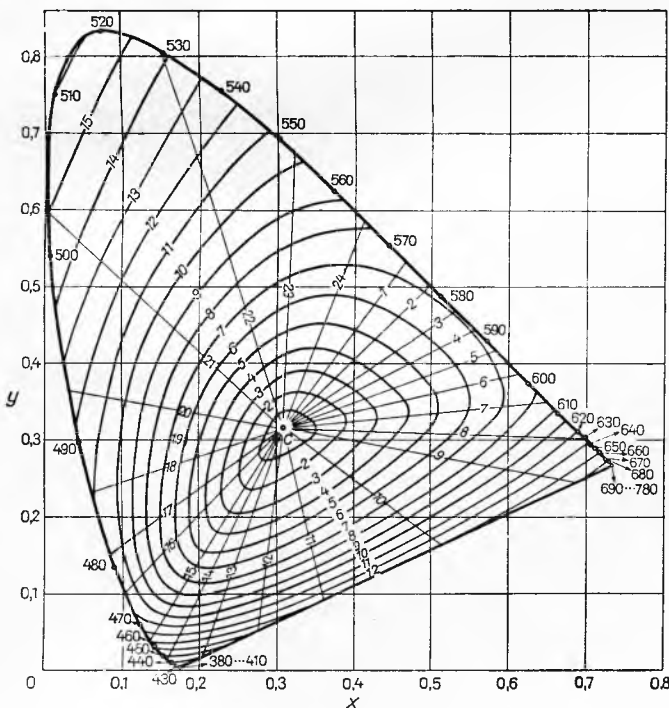
biti vrlo zasićene samo ako su i vrlo tamne, a vrlo svijetle da mogu

biti samo žute i žutozelene boje i gotovo bijele boje drugih tonalnosti.

Treba li od onih desetak miliona različitih boja koje se mogu razlikovati unutar takvog bojenog tijela izabrati razuman broj, recimo do hiljadu, da bi se sastavila zbirka materijalnih standarda u kojoj će se za svaku naprečac uzetu boju naći uzorak koji joj je bar donekle sličan, morat će se uzorci izabrati po smišljenom sistemu ili planu. (Kaže se: bojeno tijelo treba sistematski uzorkovati.) Načelno postoje samo tri osnovna načina kojima se može doći do takve zbirke uzoraka iz bojenog tijela. Prvi je način *miješanjem bojila*: razmjerno mali broj pogodnih bojila (pigmenata) miješa se u promjenljivim omjerima. Tako je npr. dobivena zbirka uzoraka koju nam daje soboslikar kad treba da izaberemo boje za zidove svojih soba. Drugi je način *miješanjem boja*, tj. time da se bojilima imitiraju boje dobivene miješanjem triju osnovnih stimulusa, npr. u tristimulusnom kolorimetru, uz sistematsko mijenjanje koordinata  $x, y, Y$ . Takav je sistem, na primjer, Ostwaldov, kojim se još uvijek mnogo služe umjetnici, grafički obrt itd., jer je njihovim potrebama prilagođen, mada nije naučno egzaktan. Treći način, konačno, jest *psihološki sistem*; u njemu se bojilima imitira boja uzoraka uzetih iz bojenog tijela tako da upoređujući dva susjedna promatrač s normalnim vidom ima uvijek doživljaj iste razlike. Od takvih sistema najsavršeniji je Munsellov (Munsell Book of Color), a u stadiju izrade je DIN-Farbenkarte.

Zadovoljavajući se za prva dva sistema uzorkovanja bojenog tijela onim što je o njima rečeno prilikom njihova prvog spominjanja, u odsjecima što slijede zabavit ćemo se psihološkim sistemima i tom prilikom reći nešto i o psihologiji vida uopće.

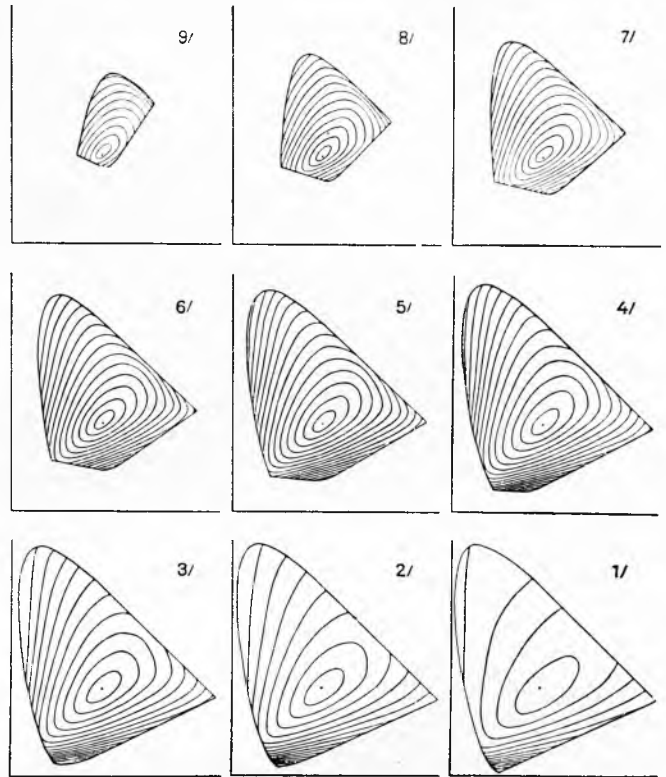
**Uzorkovanje psihološkog bojenog tijela.** Nadovezujući na psihofizičko mjerenje boje može se utvrditi da uzimanje uzorka u jednakim razmacima unutar bojenog tijela prikazanog na sl. 14, odn. njegova horizontalnog presjeka, dijagrama kromatičnosti sl. 10, ne bi odgovaralo zahtjevima psihološkog sistema uzorkovanja, a isto tako ni uzimanje uzoraka na sjecištima pravaca i krivulja na sl. 11. Jer, npr. između najčišće ljubičaste boje i akromatske boje normalni promatrač može uz srednju svjetlinu razlikovati znatno više nijansa nego između akromatske i od nje na dijagramu kromatičnosti jednako udaljene spektarske žučkasto-



Sl. 15. Dijagram kromatičnosti s psihološkim skalama prema prijedlogu DIN 6164

zelene, a preko dvostruko više nego između akromatske i žute, ma da su svi ti razmaci podjednako razdijeljeni na stupnjeve čistoće. To se vidi u dijagramu sl. 15 prema prijedlogu standarda DIN

6164, koji je osnova pripremane »DIN-Farbenkarte«. U dijagramu kromatičnosti su iz akromatske tačke (koja prikazuje standardni izvor svjetla  $C$ ) povučene zrake (numerirane od 1 do 24) tako



Sl. 16. Horizontalni presjeci psihološkog bojenog tijela

da među osjetima boje bilo kojih dviju susjednih zraka neki standardni (statistički definirani) promatrač osjeća istu razliku, a s akromatskom tačkom kao središtem povučene su krivulje jednakog psihološkog zasićenja (numerirane od 1 do 16) tako da taj promatrač razmake između dvije susjedne krivulje osjeća na svakom mjestu kao jednake razlike zasićenja.

Iz tog dijagrama mogu se za poznate koordinate  $x, y$  očitati koordinate prema prijedlogu DIN 6164: »Farbton«  $T$  (tonalnost, bojeni ton) i »Sättigungsstufe« (psihološko zasićenje)  $S$ .

Ni stepeni svjetline izraženi koordinatom  $Y$  ili  $Y/Y_0$  ne odgovaraju psihološkoj skali osjeta svjetline, koji prema Weber-Fechnerovu osnovnom zakonu psihofizike ne zavisi od stimulusa linearno, nego prema logaritamskom zakonu. Prijedlog DIN 6164 namjesto stepena svjetline uvodi stepen tamnine ili zagasitosti (»Dunkelstufe«)  $D$ , koji se iz svjetline  $Y$  mjerene boje i svjetline  $Y_0$  optimalne boje istog tona izračunava prema formuli:

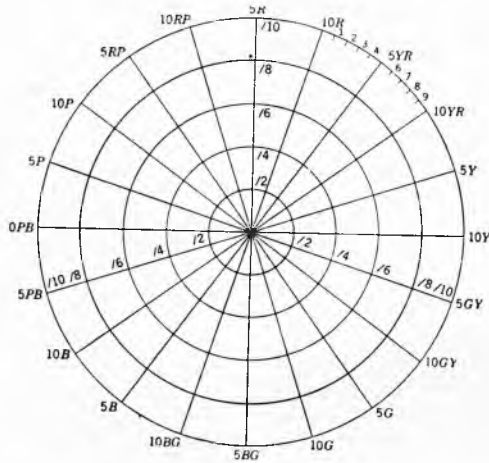
$$D = 10 - 6,1723 \lg \left( 40,7 \frac{Y}{Y_0} + 1 \right).$$

Crnoj boji ( $Y = 0$ ) odgovara  $D = 10$ , bijeloj boji ( $Y/Y_0 = 1$ ),  $D = 0$ . Svaka bi bojena valencija prema prijedlogu standarda DIN 6164 bila označena trima brojkama koje znače, redom, tonalnost, stepen zasićenosti i stepen tamnine, npr. »Farbe 7 : 3 : 2 DIN 6164«.

Krivulje iste psihološke zasićenosti mijenjaju se sa stepenom svjetline (ili tamnine). Sl. 16 prikazuje presjeka bojenog tijela (analognog onom na sl. 14) horizontalnim ravninama položenim u razmacima koji odgovaraju jednakim razlikama osjeta svjetline (analognima jednakim razlikama vrijednosti  $D$  u sistemu DIN) prema sistemu Munsell. Na tim presjecima ucrtane su krivulje jednakog zasićenosti prema istom sistemu.

Sistem Munsell predstavlja zbirku materijalnih uzoraka boja uzetih iz bojenog tijela po načelima psihološkog uzorkovanja; on nije od početka imao nikakve veze sa dijagramom kromatičnosti, ali je ta veza naknadno uspostavljena. Po Munsellu se bojeni ton (Munsell hue) označuje slovom i brojkom prema shemi sl. 17, zasićenost (Munsell chroma) brojkama od /1 do /16 (kao u DIN 6164) a svjetlina (Munsell value) brojkama od 1/ do 10/.

Kako pokazuje naročito jasno upoređenje dijagrama istog stupca u različitim redovima sl. 16, sa smanjenjem svjetline smanjuje se broj (psiholoških) stepena zasićenosti između sivog i optimalne boje (npr. na maloj površini presjeka 7/ ima 13 krivulja, od toga 6 zatvorenih, na velikoj površini presjeka 1/, ako se ne uzme u obzir gomilanje stepena kod ljubičastog, ima svega



Sl. 17. Oznake bojenih tonova (hue) i zasićenosti (chroma) prema Munsellu

4 ili 5 krivulja, od toga samo jedna zatvorena). Ako se bojeno tijelo slike 14 transformira tako da u njemu jednakim psihološkim razlikama bojenog tona, zasićenja i svjetline odgovaraju jednaki razmaci, dobije se tijelo koje ima dva šiljka kao ono što je shematski idealizirano prikazano na sl. 3; nepravilni oblik tog tijela prikazuju, primjera radi, vertikalni presjeci sl. 18. Kako se vidi na toj slici, tačkama označene najzasićenije boje Munsellovih uzoraka redovito su dosta daleko od optimalnih. Optimalne se boje, kao idealne, raspoloživim bojilima i ne mogu postići. To se u praksi još ne mora osjećati kao nedostatak bojenih standarda jer optimalnih boja ni u praksi nema. Ipak se kao nedostatak Munsellova sistema navodi da u njemu nema mnogih vrlo zasićenih boja koje u praksi dolaze.

**Viša bojena metrika.** Dosad se govoreći o psihološkom uzorkovanju bojenog tijela šutke pretpostavljalo da se razlike među doživljenim bojenim osjetima mogu objektivno utvrditi i jednoznačno u našem euklidskom prostoru grafički predočiti, a napose, da postoji obostrano jednoznačni odnos pridruženosti između psiholoških razlika tonalnosti, zasićenja i svjetline bilo kojeg bojenog osjeta i njemu susjednih, s jedne strane, i razlika njegovih psihofizičkih koordinata, npr.  $x$ ,  $y$ ,  $Y$ , s druge strane. (Takvu vezu žele prikazati, u suštini, dijagrami 15 i 16.) Da ustanovi psihološke skale za dimenzije bojenog osjeta i utvrdi njihove odnose prema psihofizičkim skalama tih koordinata, to je zadatak *više bojene metrike*. (Niža je bojena metrika samo svakom kvalitativno ili njegovom stimulusnom funkcijom datom bojenom osjetu pridruživala psihofizičke koordinate.)

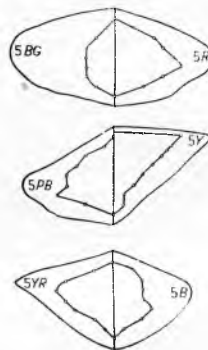
Mnogi istaknuti fizičari (npr. Helmholtz i Schrödinger) pokušavali su pronaći matematičko rješenje problema više bojene metrike, ali u tome nisu uspjeli. Vidjeli smo da je prijedlog standarda DIN 6164 definirao skalu svjetline s pomoću Weber-Fechnerova zakona (a isto je već ranije učinio Ostwald), ali su se teškoće koje stoje na putu analognoj definiciji skale ostalih dviju dimenzija bojenog osjeta dosad pokazale nesavladljivima. Subjektivne skale tonalnosti i zasićenosti boje u svim sistemima materijalnih standarda, a u većini i skala svjetline, određene su eksperimentalno statističkom metodom, na osnovu opažanja većeg broja promatrača s normalnim vidom. Postupa se, primjerice, tako da ti promatrači između velikog broja materijalnih uzoraka različite tonalnosti i iste ukupne reflektancije (svjetline) izaberu sve one koji su prema njihovu osjećanju jednako zasićeni, a između tako izabranih uzoraka opet manji broj uzoraka (recimo pet: jedan crveni, jedan žuti, jedan zeleni, jedan modri i jedan purpurni) koji su, po osjećanju promatrača, među sobom jednako

različiti, pa pet uzoraka kojima su tonalnosti na sretni između susjednih od prvih pet, onda daljih deset koji su na sredini između susjednih od ranije izabranih deset, i tako dalje. Za svaki izabrani uzorak biraju se onda između još neizabranih uzoraka svi koji imaju isti bojeni ton (ali različita zasićenja), pa se iz tako izabranih uzoraka za svaku tonalnost uspostavlja skala zasićenja na sličan način kao što je uspostavljena skala tonalnosti uz jednako zasićenje. Taj se postupak ustanovljenja skale tonalnosti i zasićenja ponavlja na pogodnom broju stepena skale svjetline, definirane bilo matematički (kao u sistemu DIN) ili uspostavljene eksperimentalno analogno kao ostale dvije skale.

Na putu takvog eksperimentalnog uzorkovanja bojenog tijela treba savladati niz teškoća psihološke prirode, koje su u vezi, poglavito: a) s psihološkim principom konstantnosti boje, b) s psihološkim djelovanjem kontrasta boja i c) s pojavom bojene adaptacije.

Princip konstantnosti boje je poseban slučaj općenite pojave da naš mozak pretpostavlja konstantnost fizičkih karakteristika stvari i na osnovu toga korigira podatke koje dobiva od osjetila. Mi čovjeka visoka rasta koji se nalazi u nekoj udaljenosti ne percipiramo kao nižeg od čovjeka koji nam je bliže, ma da ga nižeg vidimo; tako mi i bijeli stolnjak osvijetljen žutim svjetlom lojanice vidimo kao bijel, ma da je svjetlo koje s njega dopire u naše oko žuto kao i svjetlo kojim je stolnjak osvijetljen. Upoređenje boje stolnjaka i boje svjetla lojanice u tom slučaju daje razliku koja je čisto psihološka, a kolorimetrijski ne postoji. Takve razlike eliminiraju se svodenjem boje predmeta na boju otvora (v. str. 61 i sl. 6). (Eventualna strukturiranost površine — npr. tkanine — uklanja se time da se osvijetljeni predmet vibrira.)

Boja reducirana na boju otvora prema sl. 6 vidjet će se okružena bojom (redukcijom) zastora i u zavisnosti od te boje može joj se mijenjati valencija uslijed djelovanja *simultanog* (istovremenog)



Sl. 18. Vertikalni presjeci psihološkog bojenog tijela

*bojenog kontrasta*: boja okoline (inducirajuća boja) djelovat će na promatranu boju tako da će se razlika među njima po svjetlini, zasićenju i tonalitetu povećati. Tako će prema tamnoj pozadini boja izgledati svjetlija; prema pozadini istog tonaliteta a većeg zasićenja izgledat će manje zasićena; siva boja prema crvenoj pozadini izgleda zelenkasta, a prema modroj žućkasta; narandžasta boja prema žutoj pozadini izgleda crvena, prema crvenoj pozadini narandžastožuta, itd. Iste promjene bojenog osjeta nastat će ako se neposredno prije promatranja ispitane boje gleda kroz neko vrijeme inducirajuća boja (*sukcesivni kontrast*). Djelovanje bojenog kontrasta na upoređivanje boja treba uzeti u obzir stvaranjem pogodnih i konstantnih uvjeta promatranja; razumije se da eksperimentalno dobivene psihološke skale bojenih standarda mogu ispasti različite ako su ti uvjeti promatranja različiti.

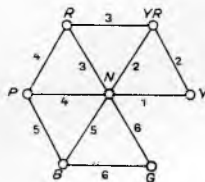
U znatnoj mjeri utječu na ustanovljene skale i pojave koje se svode pod pojam *adaptacije*, tj. prilagodavanja osjetljivosti organa vida određenoj svjetlini i/ili kromatičnosti. Čovjek kojemu su se oči duljim boravkom u mračnoj prostoriji prilagodile (adaptirale) na mrak, neće, stupivši u svijetlu sobu, u njoj moći razlikovati boju bijele plohe od boje plohe koja će mu se kasnije, kad su mu se oči adaptirale na svjetlo, pričiniti izrazito siva; isto tako čovjek koji je neko vrijeme gledao suncem obasjani snijeg, pa su mu se oči adaptirale na jako svjetlo, poslije toga neće moći neko vrijeme razlikovati od crne boje nijednu boju nije bijela ili gotovo bijela. Već prema tome da li su oči promatrača adaptirane na crno (mrak), bijelo ili neko srednje sivo, on će sastaviti različitu skalu akromatskih boja sa psihološki jednakim razmacima među stepenima. Tako će za prosječnog promatrača skala sastavljena s pomoću Weber-Fechnerova zakona (DIN, Ostwald) imati psihološki jednolike razmake stepena samo ako je on promatra očima adaptiranim na srednju svjetlinu između upoređenih susjednih stepena, a Munsellova skala samo ako je promatra prema bijeloj pozadini; pri tom on će gledajući bijeli kraj skale biti adaptiran na bijelo, a gledajući crni kraj, na neko srednje sivo.



Pored adaptacije na svjetlinu postoji i adaptacija na kromatičnost (*kromatična adaptacija*). Ako se nepomičnim okom gleda (fiksira) ploha određene boje, organ vida postaje postepeno sve manje osjetljiv za tonalnost te boje i sve osjetljiviji za tonalnost komplementarne boje, tako da doživljena boja postaje manje zasićena, ali joj se po pravilu mijenja i sama tonalnost, i to tonovi od crvene preko žute do određene zelene ( $\sim 500$  nm) postaju sve žući, a tonovi od te zelene preko modre do ljubičaste postaju sve modriji. Određena modra, zelena i žuta boja (koje ne moraju za sve promatrače biti sasvim jednake) ne mijenjaju ton pri fiksiranju, nego samo zasićenost. Nakon određenog vremena fiksiranja bojeni osjet promatrača više se ne mijenja, — promatrač (odn. njegov organ vida) je na promatranu boju adaptiran. Lako je razumjeti da će promatračeva sposobnost razlikovanja boja — a prema tome i psihološke skale kromatičnosti koje će on eksperimentalno ustanoviti — biti različite prema tome na kakvo je svjetlo adaptiran, a to znači, redovito, prema kakvoj okolini ili pozadini on gleda uzorke koje upoređuje. Čini se da se najveća osjetljivost za razlike kromatičnosti u svim smjerovima postizava ako je promatrač adaptiran na kromatičnost blisku upoređenima.

Uzimajući u obzir navedene psihološke činjenice, mogu se sastaviti — i sastavljeni su — različiti sistemi uzoraka iz bojenog tijela, prilagođeni različitim namjenama. Najpotpuniji, najbolje prostudirani, pa stoga za opću specifikaciju boja i za nastavu najpogodniji je već nekoliko puta spomenuti sistem Munsella. Svim su uzorcima Munsellova sistema određene psihofizičke koordinate  $x$ ,  $y$ ,  $Y$  i unijete u dijagrame kromatičnosti; time se dobivaju dijagrami analogni onima u slikama 15 i 16 (sa figurativnim tačkama pojedinih Munsellovih uzoraka na sjecištima linija jednake tonalnosti i linija jednake zasićenosti). Tako je praktično ostvaren zadatak više bojene metrike da poveže psihofizičke i psihičke parametre bojenih osjeta.

**Zakrivljenost bojenog prostora.** Praktičnim rješenjem problema više bojene metrike nije teorijski riješeno pitanje da li se bojeni osjeti mogu grafički prikazati u euklidskom prostoru. Može se pokazati da prostor bojenih osjeta apercipiranih bez promjene adaptacije sasvim sigurno nije euklidski, a da li taj prostor može biti euklidski uz promjenu adaptacije oka kojim se boje promatraju, to još nije utvrđeno. Zamislimo (sl. 19) da se provodeći uzorkovanje bojenog prostora pođe od akromatske (sive) boje  $N$  i — ne mijenjajući akomodaciju oka, tj. recimo, smještajući izabrane uzorke na veliku sivu površinu — izabira redom žuta (korak 1), pa žutocrvena (2), crvena (3), purpurna (4), modra (5) i konačno zelena boja (6), i to tako da je svaka od tih boja i od prethodne i od akromatske osjećajno »jednako udaljena« — kako je to grafički prikazano jednakom udaljenošću figurativnih tačaka —, tj. da se (uz jednaku svjetlinu) po kromatičnosti jednako razlikuje, ili, tačnije rečeno, da se između svake dvije susjedne boje može razlikovati jednaki najmanji broj upravo primjetljivih nijansa. Kad bi prostor bojenih osjeta (valencijâ) bio euklidski, razmak (razlika kromatičnosti, najmanji broj upravo primjetljivih nijansa) između konačne zelene i početne žute morao bi biti jednak razmaku među ostalim bojama. Ali on to neće biti: čovjek normalna vida osjetit će pod takvim uvjetima razliku između konačne zelene i početne žute boje kao znatno veću nego razliku između ostalih boja. U prostoru tako promatranih boja opseg kružnice je dakle veći od  $2r\pi$ , taj je prostor neeuklidski, zakrivljen. (Zaista je McAdam tako opažene razlike boja iste svjetline mogao jednolično smjestiti na jednoj dosta nepravilno zakrivljenoj plohi.) Sistemi na taj način provedenog uzorkovanja bojenog prostora (a to je većina, ako ne svi) ne mogu stoga biti savršeni; oni mogu samo nastojati da odstupanja koja se pojavljuju uslijed zakrivljenosti prostora što sretnije izravnavaju. Nije isključeno da bi prostor bojenih osjeta dobivenih nakon potpune adaptacije oka na svaku pojedinu boju bio i euklidski, ali za promatrača koji bi s bilo kako adaptiranim očima bacio brz pogled na cjelinu takvog prostora, razlike među jednako udaljenim susjednim bojama ne bi bile svagdje jednake.



Sl. 19. Dokaz da prostor boja nije euklidski

**Suptraktivno miješanje boja.** U praksi se sve moguće nijanse boja ostvaruju redovito kombiniranjem manjeg broja bilo obojenih svjetala (npr. u televiziji u bojama), bilo obojenih tijela, prozirnih ili neprozirnih (npr. u višebojnom tisku, premazima itd.), pa se postavlja pitanje da li se i kako parametri miješanjem dobivene boje mogu predskazati na osnovu parametara boja od kojih je dobivena. Za aditivno miješanje boja, tj. za slučajeve kad više bojenih stimulusa dolazi u oko istovremeno ili u tako brzom slijedu da ih oko apercipira kao istovremene, odgovor je na to pitanje već dat: s pomoću dijagrama kromatičnosti može se odrediti kromatičnost svake aditivnim miješanjem dobivene boje ako su poznate kromatičnosti boja od kojih je dobivena. Ali pored aditivnog postoji i tzv. suptraktivno miješanje boja, kad se od jednog bojenog stimulusa drugi oduzima selektivnom apsorpcijom pri prolazu kroz prozračno obojeno tijelo ili pri upadanju na obojenu površinu. Tako se npr. boje koje vidimo na slici izrađenoj u trobojnom tisku dobivaju time što bijelo svjetlo prije i poslije refleksije sa bijelog papira prolazi kroz više prozirnih obojenih slojeva tiskarske boje, koja iz njega oduzima apsorpcijom određene valne dužine, tako da konačno ostaje bojeni stimulus koji dolazi u naše oko. U sloju premaza, koji se sastoji od obojenih prozirnih ili neprozirnih čestica pigmenta (ili raznobojnih pigmenata) suspendiranih u prozirnom vezivu, bijelo svjetlo koje ulazi prolazi redom kroz veći broj čestica i/ili se od njih odbija, pri čemu se valovi nekih dužina apsorbiraju, pa zrake koje uspiju izaći kroz površinu sloja u naše oko izazivaju osjet »suptraktivne boje«. Iz ovog mehanizma nastajanja suptraktivne boje vidi se da ona jednoznačno zavisi od spektarnog sastava svjetla koje se apsorбира i prema tome može biti različita ako nastaje apsorpcijom uvjetno jednakih (metamernih) boja. Iz činjenice da kromatičnost boje ne zavisi jednoznačno od spektarnog sastava, a suptraktivna boja zavisi, slijedi da se iz kromatičnosti apsorbiranih boja, tj. iz njihovih psihofizičkih koordinata, ne može odrediti kromatičnost suptraktivne boje (njezine psihofizičke koordinate). U jednostavnijim slučajevima (kad se apsorpcija vrši filtrima) koordinate suptraktivne boje mogu se odrediti time da se odredi spektarna transmitancija suptraktivne boje odbijanjem, od valne dužine do valne dužine, transmitancije filtera od transmitancije upadnog svjetla, i onda iz dobivene spektralne transmitancije suptraktivne boje na poznat način odrede njezine koordinate  $x$ ,  $y$ ,  $Y$ . Taj je postupak tako zamršen da je redovito jednostavnije suptraktivnu boju odrediti eksperimentalno. Za boje koje se dobivaju miješanjem pigmenta u premazima eksperimenat je jedini mogući postupak, jer je u tom slučaju nemoguće slijediti što se događa s pojedinom zrakom remitiranog upadnog svjetla.

Treba li (npr. za trobojni tisak, fotografiju u bojama itd.) izabrati tri filtra (tri tiskarske boje itd.) s pomoću kojih će se suptraktivnim miješanjem moći reproducirati najveći opseg boja, bila bi za to pogodna (kako slijedi iz mehanizma nastajanja suptraktivne boje) tri filtra (tiskarske boje itd.) koji apsorbiraju boje na vrhovima trokuta ucrtanog u dijagramu kromatičnosti sl. 10, dakle koji apsorbiraju modru, zelenu odn. crvenu boju, a to znači da propuštaju (tj. »imaju«) komplementarne boje, a to su žuta, crvenopurpurna odn. modrozeleno boja. Mnogo zbrke i nerazumijevanja nastalo je od toga što se govori »crvena« mjesto »crvenopurpurna« i »modra« mjesto »modrozeleno«, pa ispada da se najpovoljnije boje za aditivno i za suptraktivno miješanje razlikuju samo po tome što je treća boja u jednom slučaju žuta, a u drugom zelena. U stvari te su boje jedne drugima komplementarne.

**Imena boja** mogu također služiti za karakterizaciju i specifikaciju boja ako su općepoznate ili su materijalnim standardima i/ili kolorimetrijskim koordinatama definirane. U najopsežnijem djelu o imenima boja, »A Dictionary of Color« A. Maerza i M. R. Paula, navedeno je oko 7000 imena u njemu prikazanih boja; Websterov »International Dictionary of the English Language« navodi 150 samostalnih imena boja (bez kvalifikacija »tamno«, »svijetlo« itd.); u knjizi Miroslava Adlešića »Svet svetlobe in barv« navedeno je 120 najčešće upotrebljivanih slovenskih imena boja s oznakama valencije po Ostwaldovu sistemu.

Sistem imena američkog »Medudruštenog savjeta za boje« (Inter-Society Colour Council — ISCC) i National Bureau of Standards (NBS) razradio je naročito K. L. Kelly u sistem koji zajedno s Munsellovim sistemom i sa karakteriziranjem boja psihofizičkim (kolorimetrijskim) koordinatama omogućuje specifikiranje boja na pet nivoa sve veće tačnosti. U sistemu ISCC-NBS bojeno je tijelo horizontalnim i vertikalnim ravninama podijeljeno u 267 »blokova« od kojih svaki ima svoje ime i centralnu valenciju određenu kolorimetrijskim koordinatama. Blokovi su podijeljeni u 13 grupa koje obuhvaćaju tri akromatske boje:

bijelu, sivu i crnu, i 10 kromatskih boja: ružičastu, crvenu, narandžastu, smeđu, žutu, maslinastu, zelenu, modru, ljubičastu i purpurnu. Tim se imenima boje mogu grubo identificirati na prvom nivou tačnosti. Grupe kromatskih boja podijeljene su u podgrupe koje nose imena kao: žučkastoružičasto, crvenkastonarandžasto, crvenkastosmeđe, narandžastožuto, žučkastosmeđe, maslinastosmeđe, zelenkastožuto, žutozeleno, maslinastozeleno, žučkastozeleno, modrikastozeleno, zelenkastomodro, purpurastomodro, crvenkastopurpurno, purpurastocrveno i purpurastoružičasto. Tim se imenima mogu identificirati boje na drugom nivou tačnosti. Na trećem nivou tačnosti boje su dalje podijeljene u podgrupe s imenima koja se tvore od imena prvog i drugog nivoa s pomoću pridjeva koji opisuju svjetlinu i zasićenost boje: živo, sjajno, jarko, sočno, vrlo sočno, vrlo svijetlo, svijetlo, umjerenost, zagasito, vrlo zagasito, vrlo blijedo, blijedo, sivkasto, tamnosivkasto i crnkasto. Dio bojenog tijela označen imenom »sivo« podijeljen je na tri manja dijela s imenima svjetlosivo, srednjesivo i tamnosivo. Vrlo svijetle boje nose ime »bijelo« s pridjevom izvedenim iz imena prvog nivoa, npr. ružičasto-bijelo. Na četvrtom nivou boje se mogu identificirati s pomoću Munsellova atlasa. Taj sadržava oko hiljadu uzoraka s cjelobrojnim oznakama valencije po Munsellovu sistemu; boje kojima valencije leže između valencija uzoraka u atlasu mogu se označiti decimalnim brojevima tačno na petinu stupnja tonalnosti (hue), na desetinu stupnja svjetline (value) i na trećinu stupnja zasićenja (chroma), odn. šestinu razmaka između dvije zasićenosti uzoraka, koji razmak redovito iznosi 2 stupnja (v. prilog u bojama). Time se broj boja koje se mogu identificirati s pomoću oznaka Munsellova atlasa (»Munsell notation«) povećava za faktor  $5 \times 10 \times 6 = 300$ , dakle na 300 000. Granice blokova sistema ISCC-NBS povučene su po granicama među stupnjima Munsellovih parametara, tako da su ta dva sistema integrirana. Želi li se boja identificirati još tačnije, treba je — na petom nivou tačnosti — analizirati spektrofotometrijski ili kolorimetrijski i odrediti joj kolorimetrijske koordinate  $x, y, Y$  ili  $\lambda, p, Y$ . Te se koordinate mogu danas odrediti tačno na dvije decimale, a ima mnogo izgleda da će se uskoro moći odrediti na tri, a možda i četiri decimale s pomoću spektrofotometara spregnutih s elektroničkim računalima. Na taj način moći će se vjerojatno tačno identificirati svaka moguća primjet-

oznaka (»Munsell notation«) s odgovarajućim brojem decimale. Time je i na petom nivou tačnosti sistem identifikacije boja integriran s naprijed spomenutim sistemima na prva četiri nivoa. Za specijalne svrhe postoje također atlas i zbirke materijalnih standarda kojima su danas već valencije određene i izražene kolorimetrijskim parametrima (odn. kao Munsell notation) pa se mogu namjesto Munsellova sistema upotrijebiti na četvrtom nivou tačnosti.

K. L. Kelly proširio je sistem ISCC-NBS, izraden za boje tijela, i na boje izvora svjetla. Sl. 20 pokazuje imena boja svjetala prema Kellyju.

LIT.: G. Klappauf, Einführung in die Farbenlehre, Berlin 1949. — D. B. Judd, Color in business, science and industry, New York 1952. — M. Déribéré, La couleur dans les activités humaines, Bruxelles 1955. — A. Adlešič, Svet svetlobe in barv, Ljubljana 1957. — F. W. Sears, Optika, Beograd 1963 (prijevod s engleskog).

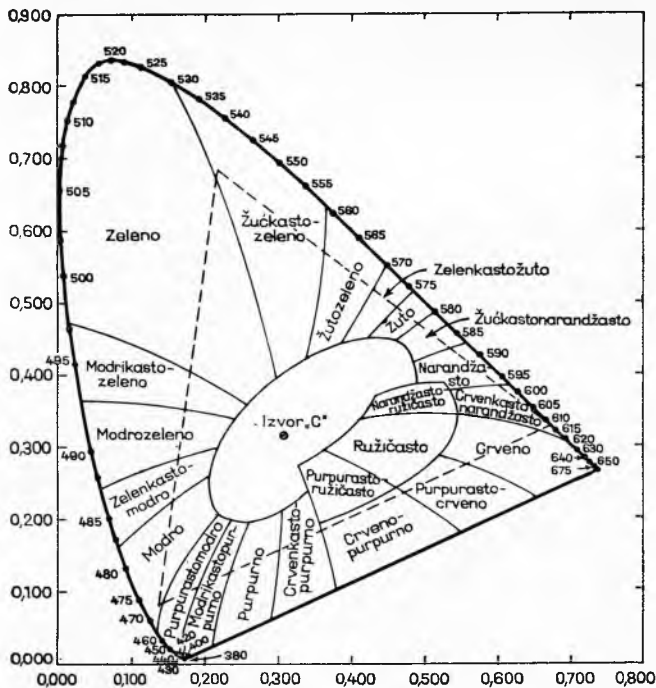
R. Podhorsky

**BOJADISARSTVO I TISAK TEKSTILA**, grane dorade tekstila: bojadarstvo je vještina i nauka bojadisanja tekstilnog materijala u cijelosti jednom bojom, a tisak tekstila prenošenje jednog bojila ili više njih samo na pojedina mjesta tekstilnog materijala, u prethodno određenim šarama. Pri tome bojadisati tekstil znači vezati bojilo na tekstilno vlakno jednolično u cijelom supstratu, tj. ne samo na površini nego i u unutrašnjosti vlakna, i to tako da je dobiveno obojenje željene boje i otporno prema određenim utjecajima. Bojadisanjem se osobine tekstilnog materijala u biti ne mijenjaju; sa stajališta funkcionalnosti ono većinom ne bi bilo potrebno. Tekstilni se materijal bojadiše da se udovolji prirodnim estetskim potrebama čovjeka, a i zbog toga što je nebojadisani materijal manje praktičan u upotrebi; npr. i najmanja nečistoća je na njemu mnogo više vidljiva nego na bojadisanom. Stvaranjem obojenja koja su u skladu s ukusom i modom, a istovremeno su ekonomična i odgovaraju namjeni tekstilnog materijala, bavi se *koloristika*.

#### BOJADISARSTVO

Najstariji obojeni tekstilni materijal naden je u Kini i potječe iz — II tisućljeća. O tehnici bojenja u tim starijim vremenima veoma je malo poznato. Plinije govori o metodama bojenja starih Egipćana; oni su umjeli s pomoću »materija koje upijaju boje« istim bojilom postići razna obojenja. Metode i postupci bojadisanja uvijek su bili držani u tajnosti i prelazili su od oca na sina. Najstariji priručnik o bojadisarstvu napisao je Rosetti u Veneciji oko 1540. Do sredine XIX st. upotrebljavala su se bojila biljnog i mineralnog porijekla; bojadisanje je bilo čisti ručni rad i vršilo se u jednostavnim posudama, uvijek u istima bez obzira na to da li se radilo o bojadisanju vlakana, prede ili tkanina. Tek po pronalasku industrijskih postupaka dobivanja potrebnih pomoćnih kemikalija i sintetičkih bojila, bojadisarstvo se počelo brže razvijati. Prodiranje pamuka u Evropu, i s time u vezi porast potroška tekstila, zahtijevalo je od bojadisara da promijeni svoje postupke i da ih prilagodi povećanim zahtjevima. Tako su bili konstruirani prvi mehanički uređaji za bojadisanje prilagođeni obliku materijala koji se bojadiše. Naučno tretiranje bojadisarstva počelo je tek početkom XX st. Nove grupe bojila i sve veće količine tekstila zahtijevale su nove postupke bojadisanja i strojeve s većim kapacitetima, prilagođene tim postupcima. Prije Prvog svjetskog rata pojavili su se prvi postupci kontinuiranog bojadisanja tkanina, i to u vezi s pronalaskom netopljivih azobojila koja se razvijaju na samom vlaknu. Sve veća upotreba regeneriranih celuloznih vlakana — osobito nakon Prvog svjetskog rata — zahtijevala je konstrukciju strojeva koja odgovara smanjenoj čvrstoći ove vrste vlakana u mokrom stanju. Karakteristično za period poslije Drugog svjetskog rata je uvođenje bojadisanja na visokim temperaturama, tj. iznad 100 °C, što je opet izazvalo potrebu da se konstruiraju novi uređaji za sve oblike prerade tekstilnog materijala. Specijalizacija tekstilnih tvornica za određene artikle povoljno je utjecala na razvoj kontinuiranog bojadisanja tkanina i danas se sve vrste tekstilnog materijala mogu polukontinuirano ili kontinuirano bojadisati svim grupama bojila.

**Teorije bojadisanja.** Jedinstvena teorija bojadisanja ne postoji: način stvaranja obojenja zavisi od kemijske konstitucije vlakna i od vrste bojila. Načelno postoje tri mogućnosti vezanja bojila na vlakno: fizička adsorpcija, mehaničko vezivanje i kemijska reakcija. *Fizička adsorpcija* predstavlja bazu za bojadisanje celuloznih vlakana direktnim bojilima i nastajanje obojenja najbolje je ispitano na ovoj grupi bojila. Preduvjet je za ravnomjerno raspoređivanje bojila na vlaknu da se vlakno nalazi u nabubrenom stanju. Celulozno vlakno građeno je od molekularnih kompleksa, tzv. micela. Ove micelle stvaraju submikroskopske kanale koji se u dodiru s vodom šire (vlakno nabubri). Sposobnost bojila da prelazi na vlakno i da se tu veže zove se *substantivnost*. Svako u vodi topljivo azobojilo ima svojstvo supstantivnosti, ali da bi supstantivnost bila dovoljno velika za praktično bojadisanje, molekula bojila treba da je što dulja i da sadrži velik broj dvostrukih veza u lancima između aromatskih jezgara položenih u istoj ravnini; sulfogrupe koje čine molekulu u vodi topljivom treba da budu što dalje od dvostrukih veza. Što je veća molekula bojila to je veći i afinitet prema vlaknu. Sile koje utječu na prijelaz bojila iz



Sl. 20. Imena za boje svjetala prema Kellyju

lijeva nijansa boje unutar bojenog tijela. Kolorimetrijske koordinate Munsellova atlasa poznate su i, obrnuto, izraden je idealni Munsellov sistem u kojemu svakoj valenciji određenoj kolorimetrijskim koordinatama odgovara jedna idealna Munsellova