

## A színérzékelés struktúrája

VITÁNYI IVÁN

Az itt következő tanulmány része egy nagyobb munkának, amely a zenei hangok hallásának és a színek látásának objektív (fizikai-fiziológiai) törvényeit az esztétikában való alkalmazás céljából vizsgálja.

Miért van szükség erre a vizsgálatra? Azért, mert a marxista esztétika eddig, a tartalom primátusának mindenképpen helytálló hangsúlyozása mellett nem szentelt elég figyelmet művészi forma problémáinak, nem dolgozott ki kellően megalapozott tudományos módszert a forma elemzésére, és nem értékelte megfelelő mélységben azokat a metódusokat sem, amelyeket e célra marxizmuson kívüli irányzatok hoztak létre.

Esztétikánknak e hiányosságát nem azért kell felszámolnunk, hogy az eddigi megközelítési módot egy másikkal cseréljük fel (hogy tehát a tartalom primátusa helyett a forma primátusát fogadjuk el), hanem azért, hogy az eddigi módszert kiegészítsük. Az esztétikai vizsgálat célja annak az útnak a követése, ahogy a tartalom megformálódik, ahogy a forma elsajátítása útján eljutunk a tartalomhoz. Ezt az utat azonban az esztétika nem járhatja be anélkül, hogy ne adna számot a forma törvényeiről. Számot kell róluk adnia, mégpedig nem azért, hogy beleragadjon a formába, hanem hogy a formából (és valóban a formából, nem pusztá impressziókból) eljusson a tartalomhoz. Olyan módon, ahogy Romain Rolland mondta: „Általában legfőbb szemrehányásom a formalista kritikával szemben nem az, hogy *egyedül* a formába kapaszkodik, hanem hogy *szorosán* belekapaszkodik, mint a féreg a fa kérgébe, s nem lát semmit azon a részletfoszlányon túl, amelyen rágódik. Az esztétikai formák nagy kritikája át tudja fogni a műnek és a teremtő szellemnek egészét.”<sup>1</sup>

A művészi forma megteremtésének elvi kérdéseire a marxista esztétika már rámutatott. A folyamat lényege eszerint a valóság egy speciálisan (a művészet módján) szervezett tükörképének megalkotása. A tükörkép azonban természetesen nem pusztá mása az eredetinek — már magában a képnek fogalmában is benne van, hogy egyvalamit (a valóságot) valami másban (a kép anyagában, „közegében”) ábrázol. A valóság „modelljét” alkotja meg tehát. S ebben az ábrázolásban a való világ összefüggései a művészi nyelv sajátos közegének összefüggéseiben kell hogy megjelenjenek. Ami a valóságban az élet, a társadalom, az emberi tevékenységek mozgása és harca volt, az a műalkotásban a hangok, színek, vonalak mozgásává és harcává alakul. A való világ összefüggéseinek végtelen sokneműsége a művészi modellben egyneművé válik, — véleményem szerint ez is egyik pozitív tanulsága Lukács György a művészet „egynemű közegére” vonatkozó felfogásának.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Romain Rolland: *Beethoven. A nagy teremtő korszakok*. Dante Könyvkiadó, 1929.

<sup>2</sup> Lukács György: *Az esztétikum sajátossága*. I. köt. Akadémiai K., 1965. 592—644 o.

A művészetben tehát két törvény-rendszernek kell egymást fednie, a világnak és a művészet sajátos közegének. S hogy elemezni tudjuk, létrejött-e ez a fedés (vagyis a művészet), ahhoz nemcsak a világ törvényrendszerét kell egzakt módon vizsgálnunk, hanem a közegét is.

A művészet közegének, pontosabban a művészetek közegeinek törvény-rendszere azonban rendkívül sokrétű és bonyolult. Sokrétű abban az értelemben, hogy minden művészeté más és más. Ezért választottam a magam számára a művészetek közül pusztán kettőt, a zenét és a festészetet (s a festészetben belül elsősorban a színt), de úgy gondolom, hogy törvényrendszerük összehasonlításával már talán általánosabb összefüggésekhez is eljuthatunk.

De sokrétű ez a törvényrendszer egy másik vonatkozásban is: van egy *fizikai*, van egy *fiziológiai*, vagy egy *pszichológiai* és van egy *társadalmi* rétege. A zene törvényeiben világosan megkülönböztethetjük ezeket a rétegeket. Fizikai szintet jelentenek a hangsoroknak, hangrendszereknek a felhangsoron alapuló összefüggései, fiziológiai szintet a hangérzékelésnek különösen újabban feltárt törvényei, pszichológiai az ennek alapján kialakult hallás-típusok. Csak e rétegek fölött helyezkedik el a zene törvényrendszerének társadalmi rétege. Fölötte, ami azt is jelenti, hogy legmagasabb rendű és (a műalkotás egésze szempontjából nézve) elsődleges. A zene (és bármely művészet) társadalmi törvényrendszere ráépül a fizikai-fiziológiai-pszichológiai törvényekre, de nem szolgálja őket, hanem „uralkodik” felettük, nemcsak a fejlődés ütemét szabja meg, de módjában van átalakítani, magasabb rendű összefüggések keretébe beilleszteni a természet által adott struktúrákat.

Véleményem szerint azonban éppen a törvényrendszer társadalmi rétegének szerepét nem tudjuk világosan megragadni, ha nem tisztázzuk a fizikai-fiziológiai-pszichológiai szintek szerepét. Hiszen éppen ott ragadhatjuk meg a zene törvényrendszerének társadalmiságát, ahol ez a törvényrendszer szembe kerül a pusztán fizikai eredetű szabályokkal, ahol módosítja és félreteszi őket. Hogy azonban ezt a szembesítést a tudomány egzakt eszközeivel elvégezhessük, mindenekelőtt egzakt módon meg kell határoznunk a természetileg adott törvények érvényességének határait.

Az itt következő tanulmány ennek a feladatnak egy részletével kíván foglalkozni, az emberi szín-látás struktúrájával. A legújabb természettudományos eredmények sok újat mondtak és sok régi sejtést konkretizáltak erre vonatkozólag. S bár a kutatás itt még korántsem tekinthető lezártnak — úgy vélem, elérkezett az ideje annak, hogy eredményeit megpróbáljuk összefoglalni és az esztétikai vizsgálat számára hasznosítani.

A kérdés, amelyre a feleletet keressük, a következő: van-e valami objektív rendszere az emberi szín-látásnak, és ha igen, milyen ez a rendszer. Ha erre felelni tudunk, a következő lépésben kell majd azzal foglalkoznunk, hogy ez az objektív rendszer milyen szerepet töltött be a festészet fejlődésében, mennyiben volt a festői szín-viszonyok alapja és mennyiben tért el tőle a festészet, magasabb, társadalmi összefüggések kifejezése céljából.

Keressünk először az első kérdésre feleletet, mintegy összegezve az eddigi kutatások eredményeit.

### **Linearitás vagy polaritás?**

Ha a színlátásnak egyáltalán van rendszere, akkor ez kétféle lehet: vagy *lineáris* vagy *poláris*. *Lineáris* rendszer esetén a színek színérzékelésünk

számára is fokozatosan egymásba átmenő sort alkotnak (mint ahogy a szivárványon látjuk őket), s ebből a sorból nem emelhetünk ki kitüntetett pontokat — *poláris* rendszer esetén viszont színérzékelésünket éppen ilyen kitüntetett (és egymással meghatározott, szabályszerű rendszert alkotó) pontok határozzák meg.

Vajon lineárisan vagy polárisan látjuk a színeket, vagy esetleg a kettő valamilyen kombinációjában? Nemcsak a közvetlenül vett szín-látásra, hanem érzékelésünk egész rendszerére vonatkozóan fontos kérdés ez. (Különösen, ha az eredményt a többi érzékszerv működésére jellemző struktúrákkal is összehasonlítjuk — ami most természetesen nem feladatunk —, a közös törvényekből ugyanis következtetéseket vonhatunk le nemcsak a színekre és hangokra, hanem általában az érzékelésre is, arra a módra, ahogyan a világot szemléljük.)

A polaritásos felfogás legegyszerűbb formája az, amely a színek sorából néhány *főszínt* kiemel. Ezt megteszi már maga a nyelv is (amikor bizonyos színeknek önálló nevet ad) — a filozófiai gondolkodás kezdetein pedig mindennütt abban az igényben jelentkezik, hogy a főszínek számát és rendszerét is lerögzítsék. A kínaiak pl. az öt elem, öt cselekvés, öt hang analógiájára öt főszínt különböztettek meg (fekete, fehér, vörös, sárga, kékeszöld), Csuang-ci szerint rendszerük megőrzése egyenesen erkölcsi kötelességünk.<sup>3</sup> A színek kapcsolata a kínai „szofisták” és logikusok spekulációinak visszatérő témája.<sup>4</sup>

A főszíneket a görög filozófiában is az elemekkel kapcsolták össze — ezért a főszínek száma többnyire négy. Keletkezésükre vonatkozóan azonban két elmélet állt egymással szemben. Az egyik, amelyet néhány püthagoreus és nyomukban Empedoklész is képviselt, azt vallotta, hogy szemünk bocsát ki sugarakat, amely a tárgyakat szinte letapogatja. Empedoklész szerint a szem belsejében tűz van, körülötte pedig föld, víz, levegő. „A tűz pórusaival a fehér színeket, a víz pórusaival pedig a fekete színeket fogjuk fel . . . Ami a színeket illeti, azok kiáramlás útján jutnak a szemhez.”<sup>5</sup> Püthagorász a hagyomány szerint az elemekkel való analógia alapján négy főszínt jelöl meg (fehér, fekete, vörös, sárga).

A másik felfogás szerint a fény a tárgyról érkezik hozzánk. Anaximandrosz a fényt és a hangot is összehasonlítja, a nap mintegy trombitából bocsátja ki sugarait. Démokritosz már azt is kifejti, hogy „minden dologból folyvást valami kiömlés folyik le”, amelyet a levegő közvetít a pupillához.<sup>6</sup>

Az epikurosi materializmus természetesen a démokritoszi vonalat folytatta. Epikurosz<sup>7</sup> és nyomában Lucretius<sup>8</sup> a tárgyról kiinduló sugárzás mellett foglalt állást, okát a szilárd test belsejében végbemenő rezgésekben kereste, és e rezgéseket a hangokhoz hasonlította. Ez a felfogás kétségtelenül a legfejlettebb volt, amelyhez az ókori tudomány eljuthatott (hiszen a szemből kijövő sugarak elméletéhez jó két évezred múlva még Vico is ragaszkodott<sup>9</sup>).

A közvetítő álláspontot a két felfogás között Platón foglalta el, szerinte

<sup>3</sup> *Kínai filozófia, Ókor*. II. köt. Szerk. Tókei Ferenc. Akadémiai Kiadó, 1964. 95. o.

<sup>4</sup> Uo. 143–151. o.

<sup>5</sup> *Korai görög materialisták*. Művelt Nép, 1952. 65. o.

<sup>6</sup> Sebestyén Károly: *A görög gondolkodás kezdetei Thalestől Sokratesig*. Franklin, 1898. 197. o.

<sup>7</sup> Epikurosz: *Legfontosabb tanításai*. Officina könyvtár 84/85 sz. é. n. 40–41. o.

<sup>8</sup> Titus Lucretius Carus: *A természetről*. Alföldi Magvető, Debrecen 1957. 109. o.

<sup>9</sup> Giambattista Vico: *Az új tudomány*. Akadémiai Kiadó, 1963. 435 o.

a fehér szín pl. a „szemből kiinduló látásnak s szint-szülő tárgyakból fakadó fehérnek” érintkezésével jön létre, közben „a szem megtelik a látás tényével”, míg a „szint-szülő dolog megtelik fehérséggel”.<sup>10</sup>

A platóni felfogás egyik legfontosabb vonása számunkra mindenesetre a fehér-fekete, világos-sötét polaritás erőteljes hangsúlyozása, olyan gondolat, amely később Goethénél kap majd új szerepet a színlátás polaritásos elméletében. Arisztotelész ebben a kérdésben Platón felfogásából indul ki, s a színek rendszerét a fekete-fehér polaritásból vezeti le.<sup>11</sup>

## Newton

A filozófiai gondolkodás fejlődésének első időszakában tehát általában a színek polaritásos felfogása került előtérbe. A kísérleti fizika fejlődése viszont a lineáris felfogásnak kedvezett.

Ezért most — az időbeli áttekintésben nem törekedve teljességre — közvetlenül Newtonra kell rátérnünk. Persze felesleges lenne a nagy fizikus fénytani munkáit részleteiben ismertetni, tételei ma már közkinccsé váltak, nemcsak a tudományos, hanem a közgondolkodásban is. Közismert, hogy ő adta meg először — Fontenelle kifejezése szerint — a fehér fény „anatómiáját”, ő bizonyította be, hogy a fehér fény nem egyszerű, hanem a spektrum színeiből összetett jelenség, s híres prizmás kísérleteivel először bontotta fel összetevőire. (Azt, hogy a fehér és a fekete nem önálló szín egyébként már Alberti is sejtette-tudta, de kísérletileg még nem igazolhatta.<sup>12</sup>)

Newton eredménye: a prizmán felbontott fehér fényből a „tarka” színek *lineáris* sora az ibolyától a vörösig. A linearitás tehát kísérletileg beigazolódott.

Ez azonban nem jelentette azt, hogy ebben a lineáris sorban nem lehet kitüntetett pontokat találni, nem lehet fő- és mellékszíneket találni. A probléma azonban most már némiképpen módosult formában jelent meg, Newtonnál például a színek harmóniájának kérdéseként.

Amíg a főszínek kiválasztása esetében mintegy az (abszolút hallás értelmében vett) „abszolút látás” szempontjából keresünk kitüntetett pontokat, addig a színek harmóniája esetében azt kutatjuk, hogy a színek lineáris során tetszőleges helyen felvett színnel mely másik szín vagy színek alkotnak harmonikus párt.

Newton maga többször visszatért erre, és itt a hangok analógiájához fordult. „Vajon nem eredhet-e — írja — a színek harmóniája és disszonanciája azoknak a rezgéseknek az arányaiból, amelyek a látóideg rostjain keresztül jutnak el az agyvelőbe, mint ahogy a hangok harmóniája és disszonanciája a levegő rezgéseiből származik? Mivelhogy bizonyos színek, ha együtt látjuk őket, kellemesen hatnak, mint például az arany és az indigó, míg mások kellemetlenül.” Vagy máshol: „Továbbá, amint a hangok harmóniája és disszonanciája a levegő rezgéseinek arányaiból keletkezik, úgy bizonyos színek harmóniája, mint az aranyé és a kéké, és mások diszharmóniája, mint a vörösé és a kéké, az éter rezgéseiből keletkezik. És lehetséges, hogy a színek ugyanazon

<sup>10</sup> Platon *Theaitetos*. Magyar Tudományos Akadémia Kiad., 1890. 22. o.

<sup>11</sup> Aristotle's *Metaphysics*. London 1961. 320. o.

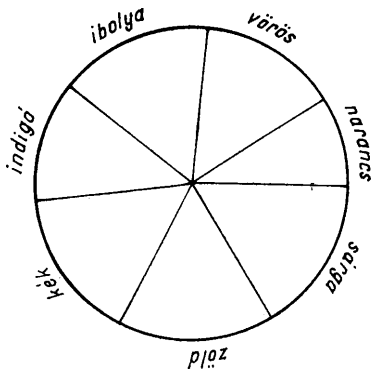
<sup>12</sup> Vö. Harry Berger: *L. B. Alberti on Painting: Art and Actuality in Human Perspective*. The Centennial Review, 1966/2. 242. o.

az alapon oszthatók be alapvető fokozatokba — vörös, narancs, sárga, zöld, kék, indigó és mélyibolya —, mint ahogy a hangok helyezkednek el az oktávon belül.”<sup>13</sup>

S talán tegyük hozzá a harmadik, az előzőkkel szinte szóról szóra egyező megfogalmazását, amely különösen érdekes, hiszen a szigorú tudós ezúttal szubjektív megjegyzéseket is tesz a színek harmóniájáról: „Az ilyen beosztást én nem azért tartom jobbnak, mivel leginkább felel meg a jelenségeknek, hanem azért, mert van benne valami a színek harmóniájából (amit a művészek ismernek, de amiről jómagamnak nincs elég határozott véleményem), mely harmónia talán hasonlatos a dallamok összhangjához. Ezért valószínűnek tűnik fel a hasonlóság a szélső bíbor vagyis ibolya és a vörös — a színskála végei — és az oktávok végei között, amelyek egyazon hangnak foghatók fel.”<sup>14</sup>

Mindebből látható, hogy Newton — szabadkozása ellenére — felismert valamit a színek harmónia-törvényeiből, s hogy itt a színek lineáris sorát poláris összefüggésekkel kívánta kiegészíteni. Ő ismerte fel először, hogy az oktávazonosság törvénye a színekre is érvényes. Valahányszor harmonikus színpárokat sorol fel, megközelítőleg komplementer színeket emel ki (pl. az arany-sárga és kék), míg a nem-komplementer kettősöket (piros-kék) disszonánsnak tekinti.

Ma már mindenképpen erőltetettnek érezzük azonban azt az igyekezetét, ahogy a zenei (még hozzá a 7 fokú diatonikus) skála mintájára és rezgésszámiai matematikai viszonyai alapján akarja a spektrum-színeit is meghatározni. Sorra veszi a skála hangjainak távolságait  $1/9$ ,  $1/16$ ,  $1/10$ ,  $1/9$ ,  $1/10$ ,  $1/16$ ,  $1/9$  arányban, s így kapja meg a sort: vörös, narancs, sárga, zöld, kék, indigó, ibolya. Hogy az analógiát megőrizze, a newtoni színek a következőképpen alakul:



1. ábra. Newton színeköre

### Az alapszínek

Newton zenei analógiájából csak az oktáv-azonosság bizonyult időtálló-nak, a zenei skálának és a színek sorának közvetlen párhuzama azonban már nem. S éppen saját kísérleti munkái tették elavulttá. Addig ugyanis a külön-

<sup>13</sup> Newton's *Philosophy of Nature. Selections from his writings*. Hafner Publishing Company. New York 1953. 140. és 98. o.

<sup>14</sup> Idézi Sz. I. Vavilov: *Isaac Newton*. Szikra, 1948. 66. o.

böző gondolkodók spekulatív úton igyekeztek meghatározni a főszíneket (így tett Newton is, amikor a zenei számviszonyokat akarta átvenni), s így tett Descartes is, amikor az anyag spekulatív úton, „more geometrico” feltételezett három különböző állapotához kapcsolva három főszínt különböztetett meg, a vöröset, sárgát és kéket.<sup>15</sup> Amikor azonban a színek keverése tudományos vizsgálat tárgya lett, a spekuláció szükségszerűen elégtelenné vált. Most éppen azt kellett kikutatni, hogy hány *alapszínre* van szükség ahhoz, hogy belőle valamennyi színt ki tudjuk keverni. A főszínek problémáját így váltotta fel magasabb síkon az alapszínké.

Ennek alapján a XVII. században egymást követően több jelentős munka látott napvilágot, amelyek kísérleti alapon foglalkoztak az alapszínekkel, s általában a *háromszín-elmélet* mellett törtek lándzsát. Le Blond és Gautier — egymástól függetlenül, de egy időben (1730) rájött arra, hogy a rézkarcok színezésénél három szín egymásra nyomásával a színek összes többi színét elő lehet állítani. Nem sokkal azután (1745) Tobias Meyer már a színek rendjének ábrázolására is a háromszöget választotta. A három színe való alapszínt (vöröset, sárgát, kéket) helyezte a csúcokra, az élek mentén így a mellék- és keverékszínek kaphattak helyt. J. H. Lambert (1772) viszont azokat a festékeket kereste, amelyekből az összes színt ki lehet keverni. Meg is találta a sárga gumiguttiban, a kárminban és a berlini kékben. Háromszín-teóriát fejtett ki Lomonoszov is (1756).

Ezekben az eredményekben tehát ismét egy polárisan felépített színrendszer körvonalai bontakoztak ki. Így érthetjük meg, hogy Goethe színelmélete minden korábbival radikálisabban s Newtonnal is élesen szembefordulva fogalmazta meg a *színek rendszerének polaritásos elméletét*.

### Goethe színelmélete, Schopenhauer Hegel

Goethe lényegében Arisztotelész színelméletéhez nyúl vissza, amikor a színeket a sötétség és világosság különböző arányú vegyüléséből származtatja. Elsősorban Newton alapkövetkeztetése ingerli: tagadja, hogy a fehér az összes színek keveréke. Megismétli Newton kísérletét, de rosszul, s a sikertelenséget bizonyítéknak véve szegzi szembe vele saját elképzelését. Vagyis Goethe — aki pedig színelméletét tekintette élete nagy művének — ez alkalommal tévedett, s a nagy angol fizikus vaskövetkezetességű és kísérletileg alátámasztott érvelésével szemben elavult elképzeléseket elevenített fel. Tisztán fizikai szempontból nézve valóban ez a helyzet, és Helmholtz, a kísérleti fizika talaján állva, nem is talált más érvet Goethe védelmében, minthogy költő volt, s „a költészetben nincs másra gondja, mint hogy 'a szép látszatot' keresse, mely az eszményt szemlélhetővé teszi; de nem törődik azzal, miként jó létre e látszat. . . . A fizikus ellenben az emeltyűket, köteleket és csigákat keresi, melyek a színpalak mögött működnek. A gépezet látása, az igaz, zavarja a szép látszatot. Ezért szeretné a költő a köteleket és csigákat eltagadni, pedáns elmék szüleményeinek nyilatkoztatni, s a dolgot úgy előtűntetni, mintha a színpalak maguktól változnának, vagy csupán a műtárgy eszméje által vezéreltetnének.”<sup>16</sup>

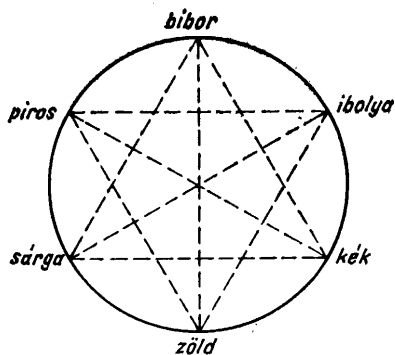
<sup>15</sup> René Descartes' *Philosophische Werke. III. Die Prinzipien der Philosophie*. Berlin 1870. 108—115. o.

<sup>16</sup> H. Helmholtz: *Népszerű tudományos előadások*. Bp. 1874. Első füzet. 59. o.

A védelem tehát — Goethe színelmélete számára — nem túl meggyőző. Mégis azt látjuk, hogy a legutóbbi időkben megjelent munkák egyszerre ismét hivatkoznak Goethére, „felfedezik” érvelését, s végül Newton mellé állítják, az ősök sorába.

Ez volt az alapvető gondolata Werner Heisenbergnek is Goethe és Newton színelméletéről Budapesten 1941-ben tartott előadásában. Heisenberg abból indul ki, hogy a két színelméletet nem kell egymással szembeállítani. Goethe csak ott téved, ahol Newtonnal vitatkozik. Egyébként: „A Goethe- és a Newton-féle színelmélet közötti különbséget talán a leghelyesebben így határozhatjuk meg: a két elmélet a valóságok két különböző rétegével foglalkozik . . . Ezzel az objektív valósággal szemben, mely szigorú törvények szerint folyik le, és ott is köt bennünket, ahol érthetetlen véletlennek látszik, szemben áll a másik valóság, amelyik fontos, számunkra jelent valamit . . . Ilyen valóságba tartozik a Goethe-féle színelmélet, mely már szubjektív, de egy cseppet sem gyengébb a másikinál. Minden művészet ebbe a valóságba tartozik és mindenféle jelentős műalkotás ezen a területen gazdagítja ismereteinket. Soká úgy látszott, mintha e kétféle valóságnak mindig áthidalhatatlan ellentétben kellene állnia egymással. Ez esetben Goethenek a Newton-féle színelmélettel folytatott harca csak ennek az elsimíthatatlan ellentétnek egyik kifejezője lenne. Azonban a természettudományok fejlődése az utolsó évtizedekben azt mutatta, hogy a világnak ilyenén módon két tartományra való bontása nem jelenti a tudomány utolsó szavát.”<sup>17</sup> Heisenberg tehát, jelezve, hogy Goethe *Farbenlehre*jét ma már nemcsak költői, hanem tudományos értéként is számontartják, túlhaladja a helmholtzi merevséget. Nem azért, mintha megcáfolná Newtont, hanem mert a színek polaritásának elméletével olyan problémákat vetett fel, amelyek a későbbi tudományos fejlődés (éspedig nemcsak a szín-pszichológia, hanem a fiziológia, sőt olykor még a fizika) számára is ösztönzőnek bizonyultak.

Ezért nem is térünk ki most Goethe színelméletének azokra a pontjaira, amelyekben Newtonnal vitázik, ezek számunkra ma már nemigen érdekesek. Induljunk ki azonban abból a rendszerből, amelybe a színeket belefoglalta.



2. ábra. Goethe színrendszere

A harmóniát Goethe a teljességben, a totalitásban látja: „A különböző jelenségek a maguk különböző fokain egymás mellett szemlélve totalitást

<sup>17</sup> Werner Heisenberg: *Goethe és Newton színelmélete a modern fizika megvilágításában*. Matematikai és fizikai lapok, 1941. 551–552. o.

hoznak létre. Ez a totalitás a harmónia a szem számára.”<sup>18</sup> S később is sokszor aláhúzza, hogy a harmónia forrása a teljesség: „Itt van tehát az alaptörvénye a színek minden harmóniájának.”<sup>19</sup>

A teljességet leginkább azok a színek adják, amelyek a megrajzolt színekörökön egymással szemben fekszenek. Tehát a sárga és az ibolya, a kék és a vörös, a bíbor és a zöld.

Ezek a polaritások részben egyeznek a komplementer színekkel (bíbor és zöld, s megközelítően a sárga és az ibolya), részben azonban eltérnek tőle (kék és vörös!). Rajtuk kívül megkülönböztet még karakterisztikus és jellegtelen összeállításokat. Karakterisztikusak a sárga és a kék, a sárga és a bíbor, a kék és a bíbor, valamint a vörös és az ibolya (Gelbroth und Blauroth). A jellegtelen összetételek esetében többnyire egymáshoz közel álló színekről van szó (sárga és vörös, vörös és bíbor, kék és ibolya, ibolya és bíbor). Megszabja az egyes színeknek a fehérrel és a feketével való összhangját, illetve diszsonanciáját is. A meleg színek a feketével együtt nyernek erőben, a hideg színek veszítenek. A melegek a fehérrel együtt erőt veszítenek, a passzívak melegséget nyernek. A bíbor és a zöld a feketével együtt sötétnek látszik és komornak, míg fehérrel együtt örömet okoz stb.

Két nagy csoportot különböztet tehát meg, a *hideg* és a *meleg* színeket. Hideg színeknek nevezi elsősorban a kéket, meleg színeknek a sárgát. A két színtartományt mint poláris ellentéteket állítja szembe egymással, s az alábbiakkal jellemzi őket.<sup>20</sup>

Plusz	Mínusz
sárga	kék
hatás	megfosztottság (Beraubung)
fény	árnyék
világosság	sötétség
erő	gyengeség
meleg	hideg
közel	távol
taszítás	vonzás
savak	lúgok

A két oldal összege, szintézise, „egysége” a zöld. A vörös Goethe rendszerében nem egyszerűen a meleg színtartomány másik tagja a sárga mellett, hanem mindkét oldalon fokozást jelent. A sárga fokozása a „Gelbroth”, a kéké az ibolya, amelyet Blaurothnak nevez. E kettő szintézise a bíbor.

Goethe felfogása sokban mutat utat a később szín-pszichológiának, szín-dinamikának. Figyelme még arra is kiterjed, hogy pl. a lakószobát legjobb zölddel kitapétázni (272. o.) — mintha csak a mai szín-dinamikusokat hallanánk. A színek polaritásán alapuló szemlélete voltaképpen (bár Newtonnal ellentétes módon, de éppúgy) a zenével azonos harmónia-törvények után kutat, noha maga ezt az analógiát nem ismerte el.

Hogy azonban ellentétekben mozgó dialektikus szemléletétől nem volt idegen a zenei és a színharmónia rokonságának gondolata, azt Philipp Otto

<sup>18</sup> Goethe: *Zur Farbenlehre*. Erster Band. Goethe's Sämmtliche Schriften. XX. Band. In Comission bei Geistinger, Wien 1812. 239. o.

<sup>19</sup> Uo. 274. o.

<sup>20</sup> Uo. 236. o.

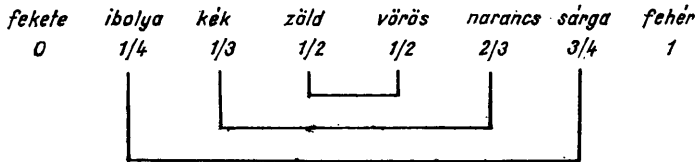
Runge szavai is bizonyíthatják. Runge, akinek érdekes gondolatai nagy hatást tettek Goethére, s akinek egy levelét a *Farbenlehre* első kötete befejező részében teljes terjedelemben közli is, egy másik levelében így ír: „Az az analógia, amely a látás, vagyis a láthatóság alapjelensége és a hallás alapjelensége között fennáll, nagyon szép eredményekre vezethet a zene és a festészet, a hangok és színek jövőbeli egyesítésében.”<sup>21</sup>

Jelentős szerepet játszik a polaritás-elv azoknak a filozófusoknak felfogásában, akik Goethe hatására építették ki színelméletüket.

Schopenhauer a színekkel foglalkozó fiatalkori munkáját (*Über das Sehn und die Farben*) Goethe védelmében írta a newtonistákkal szemben. Mivel azonban nem fogadta el ortodox módon Goethe állításait, sőt a fehér fény „anatómiáját” illetően Newton alapjára helyezkedett, Goethe is megharagudott rá. (Maga a szerző egyébként az 1815-ben írt mű 1854-ben megjelent második kiadásának előszavában is azt írta, hogy a goethei színelmélet igazsága éppen olyan világos számára, mint 31 évvel azelőtt.)

Goethe felfogása szerint minden szín a világosság és sötétség különböző arányú és különböző módon létrejött keveréke. A kékben a világosabb közegen keresztül szemlélt sötét elem a domináló, a sárgánál fordítva: a világosat nézzük sötét közegen át. Ezekután természetesen szó sem lehet arról, hogy a színek együttesen fehéret adjanak, s ebben a véleményében — mint mondtuk — Goethe csak megerősödött, amikor a newtoni kísérletet rosszul megismételve nem ugyanazt az eredményt kapta.

Schopenhauer abban tér el Goethétől, hogy az újabb kutatások hatására érdeklődése a *fiziológia* felé fordult. Az egyes színeket ő is a világosság és a sötétség különböző arányú keverékének fogta fel, csak hogy a jelenség létrejöttének okát a külvilágból a szem retinájára helyezte át. Abból indult ki, hogy a fény, azaz a fehér szín a teljes retina tevékenysége, a sötétség és a fekete szín a retina teljes tétlensége. Az egyes színek miért ne lehetnének akkor a retina korlátozott tevékenységének eredményei? Ez magyarázatot adna arra is, miért függenek össze páronként s miért alkotnak komplementer egységeket. Ha a retina fele kerül ingerületbe, vörös és — kiegészítésképpen — zöld szín jön létre. Ha az arány  $1/3 - 2/3$ , akkor kapjuk a kékét és a narancsot. Ha viszont  $1/4 - 3/4$ , akkor jutunk az ibolyához és a sárgához. Így a következő sor áll elő:



3. ábra. Schopenhauer színrendszere

Schopenhauer ilyen módon a komplementer-színeket egyszerű számviszonyokból vezette le, s ez módot adott arra, hogy a színek harmóniáit a zenei harmóniákkal hasonlítsa össze. Amint a zenei tiszta terc, kvint, oktáv egyszerű számviszonyokat képvisel, „ugyanúgy a hat saját névvel illetett szín

<sup>21</sup> Idézi Paul Klee: *Das bildnerische Denken*. Basel 1956. 521. o.

azáltal tűnik ki a közöttük fekvő számtalan közül, hogy retina tevékenységének benne kifejezett törtszáma racionális és egyszerű”.<sup>22</sup>

Ez a beosztás Schopenhauer szerint annyiban is megfelel a Goethe-félenek hogy tartalmazza a Goethe által megjelölt polaritást a hideg és meleg színek között. Az ábra jobb oldalán levő sor, a vörös, narancs és sárga, adják a meleg színeket, míg a másik oldal a hidegeket. Ugyanaz a polaritás jelenik meg itt Schopenhauer szerint, mint a magnetizmusban, a villamosságban vagy mint — a jin és jang principium ellentétében.<sup>23</sup> Schopenhauer — mint már bevezetőben céloztunk rá — ezzel gondolja a legnagyobb csapást mérni Newtonra, aki a színek rendjét önmagában visszatérő folytonos sornak tekintette. „A színek pszichológiai ellentéte — írja Schopenhauer —, amelyen egész létük nyugszik, és amely egyedüli alapja annak, hogy színekből, mégpedig egy tetszés szerint választott színpárból, s nem hét meghatározott színből, fehér szín legyen előállítható, számára ismeretlen maradt, mégcsak meg sem sejtette, s ezzel nem ismerte fel a színek valódi természetét sem.”<sup>24</sup>

Schopenhauer színelméletében mindenekelőtt a fiziológiai felfogás igénye a jelentős. Viszonylag kis hatásának oka egyrészt az, hogy törekvése — akkor amikor Helmholtz már tudományos aparátussal foglalkozott a látás fiziológiájával — csupán az igény szintjén maradt, másrészt pedig, hogy konklúzióját (a számviszonyokra visszavezetett színlátást) a későbbi fiziológiai kutatás semmiben sem igazolta.

Goethe színelméletéből indult ki Hegel is, s az *Enciklopédiában* egyértelműen le is szögezte magát mellette (gúnyolódva azon, hogy Newton szerint a fehér fény hétfajta sötétségből előállítható).<sup>25</sup> Érdeemes megjegyezni, hogy itt ő is négy alapszínről és szín-négyszögről beszél (vörös, kék, zöld, sárga), s ebben látja a színek polaritását.

Goethe alapján foglalkozik a színek szerepével az *Esztétika* festészetről szóló fejezetében is. Itt is négy alapszínét különböztet meg: a kékben egy sötét a főelem, melyet egy világos közeget át nézünk, a sárgában viszont a világos, melyet sötétebb közeget át szemlélünk. A vörös és a zöld összszínek, csak-hogy a vörös „konkrét egység”, míg a zöld az „eltörölt különbségek” alapján jön létre, s a „nyugodt semlegességet” képviseli. Ezek az alapvonalak adják meg szerinte a színek szimbolikus használatának alapját. „A kék megfelel a gyengédebbnek, tündőlőnek, csendesebbnek, az érzelmes maga-elé-nézésnek, amennyiben elve a sötét, amely nem eleven, derűs; a piros a férfias, uralkodó királyi; a zöld közömbös, semleges. E szimbolika alapján pl. Mária ott, ahol mint trónoló égi királynőt ábrázolják, piros palástot visel, ahol ellenben mint anya jelenik meg, kékét.”<sup>26</sup>

A továbbiakban e polaritás és az ellentétek egységében megjelenő totalitás elve alapján zseniálisan elemzi a festészet színharmoniait, erre most ez alkalommal természetesen nem térhetünk ki. Vissza kell kanyarodnunk a szín-tan természettudományos fejlődésének útjára. Ezen úton következő állomásként a *fiziológiai optikának* a XIX. században végbement fejlődése következett.

<sup>22</sup> Arthur Schopenhauers *Sämtliche Werke*. 12. Band Verlag der I. G. Cotta'schen Buchhandlung, Stuttgart. 43. o.

<sup>23</sup> Uo. 45. o.

<sup>24</sup> Uo. 61. o.

<sup>25</sup> Georg Wilhelm Friedrich Hegel: *Encyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse*. Leipzig 1930. 320 § 282—283. o.

<sup>26</sup> Hegel: *Esztétikai előadások*. III. köt. Akadémiai kiadó, 1956. 57. o.

Megalapozói — Thomas Young, Hermann Helmholtz, Ewald Hering — a fizika tekintetében szigorúan a newtoni felfogás alapján álltak, a színlátás polaritássosságát fiziológiai alapon magyarázták, és a fény-érzetek analízisében legfontosabb szerepet betöltő *recehártya* (*retina*) sajátosságaira vezették vissza.

Rögtön két, egymással szembenálló (és máig is viaskodó) elmélet alakult ki, a Young—Helmholtz-féle *háromszín-* és a Hering-féle *négyszín-*teoria. Mindkettőjüket kiegészítette és a színlátásnak egy ismét másfajta strukturáltságát vallotta a látás *kettősségének* (*dualitásának*) elmélete.

### A fiziológiai optika. A háromszín- és négyszín-elmélet

A *háromszín-teória* első fiziológiai megalapozását Thomas Young adta (1807), majd Herman Helmholtz egészítette ki.

Young felfogását Helmholtz a következőképpen ismerteti: „Thomas Young fölveszi, hogy a szemben háromféle nemű idegrost van, melyek közül az egyik rendbeliek, midőn bármi módon ingereltnak, a vörös színnek érzését hozzák létre, míg a második rendbeliek a zöldnek, a harmadik rendbeliek pedig az ibolya színét. Fölveszi továbbá, hogy a vörös-érző rostok nagyobb hullámhosszal bíró, világító éterlengések által aránylag legerősebben ingereltnak, a zölden érzők a közép hosszúságú hullámok által, az ibolya színt érzők pedig a legkisebb hullámhosszbeli fény által. Így tehát a színeknek vörös végén a vörösre érző rostoknak ingerülete fogna túlnyomó lenni, s éppen ezért ezen rész vörösnek tetszeni; továbbá a zölden érző idegeknek észrevehető ingerülete fogna ahhoz csatlakozni, és eképpen a sárga színnek vegyes érzése támadni. A színeknek közepén a zölden érző idegeknek ingerülete fogna a többi két nembelieket túlnyomni és azért a zöld színnek érzése felülkerekedni. Ott ellenben, hol emez az ibolyával összekeveredik, a kék támad; a színeknek legtörékenyebb végén az ibolya érzése válik túlnyomóvá.”<sup>27</sup>

Az elmélet alapjai tehát megvoltak, és elmondhatjuk, hogy azóta a színek sok kutatója ezt követi. Egyetlen hibája van, mégpedig az, hogy a háromféle idegrostot, pontosabban a recehártya háromféle fényérzékeny „csapocskáját” sem Youngnak, sem Helmholtznak nem sikerült anatómiailag felfedezni. Ez vált később a legnagyobb viták forrásává.

Helmholtz mindenesetre néhány nagy jelentőségű tétellel egészítette ki a Young-féle hipotézist, amelyet ezért Helmholtz-Young-féle háromszín-elméletnek neveznek.

Először is ő foglalkozott első ízben a *szín-érzékelés összetevőivel, komponenseivel* („*dimenzióival*”). A zenei hanghoz hasonlóan ugyanis egy színt sem határozhatunk meg csak a hullámhosszának vagy a rezgésszámának értékével. Helmholtz — szintén a hanghoz hasonlóan — három komponenst különböztet meg:

„E szerint — írja — a színek valamenyi különbségei összevonhatók, háromra, amelyeket mint különbségeket az *árnyalatra*, a *teltségre* és a *világosságra* nézve jelezhetünk. Az *árnyalatbeli* különbségek azok, melyek a különböző színek között fennállanak, s miket a vörös, sárga, zöld, kék, ibolya, bíbor neveivel jelölünk . . . A színek *teltsége* legnagyobb a tiszta színeké-

<sup>27</sup> H. Helmholtz: id. mű. 206—207. o.

nél . . . annál gyengébb lesz, mentül több vegyül hozzá a fehérből . . . Valamennyi elegyes szín rendesen kevésbé telt, mint az egyszerű színképi színek. Végre hátra vannak még a *világosság* vagy *fényerősségnek* a színtáblán nem képviselt különbségei. . . Eképpen tehát minden lehetséges tárgyilagossá különbség a fény összetételeiben az érzésre nézve visszavezethető a különbségeknek csupán három nemére, úgymint a *színárnyalat*, a *teltség* és a *világosságbeli* különbségekre. Eképpen jelzi a nyelv is a színek rendszerét.”<sup>28</sup>

E három komponens ma is érvényes rendszerét adja a szín-érzeteknek (legfeljebb az ún. „fajlagos világosságot” tehetjük még hozzá, erről később még szólunk). Helmholtz kortársa, Heinrich Grassmann pedig már megpróbálkozott azzal is, hogy e komponenseket a *frekvencia* és az *intenzitás* alapján értelmezze.

Grassmann ugyanúgy a XIX, század érdekes, sokoldalú emberei közé tartozott, mint Helmholtz. Legfőbb működési területe a matematika, „Ausdehnungslehre”-je a vektoranalízis, az affin-geometria és bizonyos mértékig általában a nem-euklidészi geometria kialakulása szempontjából jelentős.<sup>29</sup> Ezenkívül foglalkozott fizikával (többek között a hangtannal és a színtannal), nyelvtudománnyal (többek között a szanszkrit nyelvészettel), botanikával és folklorisztikával. De életrajza szerint népdalgyűjtő is volt, a gyűjtött dalokat saját harmonizálásában adta ki, erről Hermann Kretzschmar is elismeréssel nyilatkozott.<sup>30</sup> Munkásságát Hegelen iskolázott<sup>31</sup> eleven dialektika jellemzi.

Helmholtz hatására írt szintani munkájából (*Zur Theorie der Farbenmischung*) most nem is a szín-keverés törvényeinek pontokba foglalását kívánom kiemelni, hanem azokat az elveket, amelyeknek alapján ezt keresztülvitte, Grassmann a szín minden tulajdonságát kettőre vezette vissza, a frekvenciára és az intenzításra. Így — tekintve, hogy egy valóságos fénysugár nem homogén, hanem alapszíne mellett más színeknek, összezszerűen a fehérnek keveréke — három matematikailag mérhető tényezővel kell számolni: a hullámhossz szerint vett szín-értékkel (Farbenton), a szín intenzitásával és a hozzákevert fehér fény intenzitásával.<sup>32</sup>

A színelmélet története szempontjából különösen jelentős, hogy Grassmann az intenzitás-frekvencia elvvel a vektorszámítás módszerét (amelynek egyik úttörője volt) is bevezette a színmérésbe: a vektor iránya jelzi a szín-értéket, hossza pedig az intenzitást.<sup>33</sup> A színek keverésekor ezeket a tényezőket kell tekintetbe vennünk, s az eredményt „geometriai összegük” adja, A rendszer null-pontja — mint második tanulmányában mondja — a fekete. A

<sup>28</sup> Uo. 200—201. o. Lásd továbbá H. von Helmholtz: *Handbuch der Physiologischen Optik*. Hamburg und Leipzig 1896. 321—326. o.

<sup>29</sup> Vö. Dirk J. Struik: *A metamatika rövid története*. Gondolat, 1958. 183. o.

<sup>30</sup> Hermann Grassmanns *Gesammelte Mathematische und Physikalische Werke*. III. Band, II. Teil: *Grassmanns Leben*, geschildert von Friedrich Engel. Leipzig 1911. 251—255. o.

<sup>31</sup> Uo. 132. o.

<sup>32</sup> Hermann Grassmann: *Zur Theorie der Farbenmischung* (1853). Uo. II. Band, II. Teil. Leipzig 1902. 162. o.

<sup>33</sup> Uo. 169—170. o. Ezzel Grassmann a színkeverést az „Ausdehnungslehre” alapján értelmezi. Ami röviden azt jelenti, hogy a színek egyrészt folyamatosan változó, másrészt kombinatorikus jellegű mennyiségek. Az Ausdehnungslehre ugyanis két dialektikus fogalompár alapján osztja be a matematika területét, ezek: a folyamatos és a diszkrét, az azonos és a különböző (kombinatorikus). Lásd: *Die lineale Ausdehnungslehre ein neuer Zweig der Mathematik*. Uo. I. Band. I. Teil. Leipzig 1894. 22—28. o.

telítettség az alapszínhez hozzákevert egyéb színek mennyiségével fordítottan arányos.<sup>34</sup>

Ez a felfogás a szín-jelenségeknek máig is legnagyobbvonalúbb, legreálisabb, matematikailag pedig legpregnánsabb értelmezését adja. Ezért nem véletlen, hogy elsősorban a szín-elmélettel foglalkozó matematikusok és fizikusok alkalmazták, mint pl. Maxwell és Schrödinger. (Később majd látni fogjuk, hogyan találta meg ez a felfogás klasszikus tolmácsolóját Schrödingerben. Most — történelmi sorrendet is tartva — csak Maxwellre utalunk.)

Maxwellnek már 1855-ből származó első szín-elméleti tanulmányában (*The Theory of Colours in Relation to Colour Blindness*) feltűnik az az elv, hogy mindent az intenzitásra vagy fényességre (brightness) és a spektrumon elfoglalt pozíció (tehát a frekvencia) által meghatározott szín-értékre (hue) kell visszavezetni.<sup>35</sup> A színelmélettel foglalkozó legjelentősebb tanulmányában (*On the Theory of Compound Colours*) pedig — Grassmannra hivatkozva — már a vektorszámítás módszerének alkalmazása mellett szólal fel: a vektor iránya jelzi a szín „minőségét”, hossza pedig „mennyiségét”.<sup>36</sup>

Grassmannnál és Maxwellnél azonban mégis inkább csak „kirándulás” volt a szintan, matematikai és elméleti szempontból foglalkoztak vele. Helmholtz több oldalról és szélesebb körben hatolt bele problémáiba. Így ő különböztette meg először a színek *kétfajta (additív és szubsztraktív) keverését*. Az elsőben színes fénysugarakat keverünk össze optikai úton, a másodikban festékeket pigmenteket, színes folyadékokat. Megállapította, hogy a kétféle keverésre más-más törvények is érvényesek. Ha vörös és zöld *fénysugarat* keverünk össze, az eredmény sárga lesz, sárga és kék fény pedig nem zöldet, hanem fehéret eredményez. Általában minél több, különböző hullámhosszú fényt kombinálunk, az összszín annál világosabb. Ezzel szemben a festékek keverésénél a vörösből és zöldből nem sárga, hanem barna lesz, a sárgából és kékből pedig zöldet kapunk, minél több színt használunk, annál jobban megközelítjük a feketét. A kétfajta keverésben ellentétes törvények érvényesülnek, az elsőben az egyes fénysugarak összeadódnak, ezért azt *additív (összeadó) fénykeverésnek* nevezzük, a másodikban viszont, bár itt a festékeket összeadjuk, a színérzet megváltozásának az az oka, hogy az egyes festékek más és más színű sugarakat nyelnek el, *vonnak ki*, és csak más színeket engednek visszaverődni. Ezért ezt *szubsztraktív (kivonó) keverésnek* nevezzük.

Helmholtz az optikai, additív keverést tartotta a színelmélet szempontjából alapvetőnek (hiszen szemünk kétségtelenül minden színt érzékel, s a keveréket optikailag állítja elő). Ezért a harmadik alapszínnek nem a sárgát tekintette, mint ahogyan a festői gyakorlat alapján általában tették, hanem a *zöldet*.

Ennek alapján fogott hozzá a szín-kontrasztok és a komplementer-színek létrejöttének elemzéséhez. (Elgondolásait, felfogásával megegyezően, de részben korrigálva és a színkeverés törvényeit pontokba foglalva Grassmann és Maxwell egészítette ki.)

Hogy bizonyos színek egymáshoz ellentétesen és egyben kiegészítőképpen kapcsolódnak, az régi felismerése a színek harmóniájával foglalkozó festőknek, íróknak. Leonardo da Vinci is körülbelül a komplementer-színek

<sup>34</sup> Grassmann: *Bemerkungen zur Theorie der Farbenempfindungen*. Uo. II. Band, II. Teil. 213—214. o.

<sup>35</sup> *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. University Press, Cambridge 1890. Vol. I. 120. o.

későbbi elméletének megfelelően határozta meg, hogy mely színek kapcsolódnak jól egymáshoz: „Jól összeillő színek — írta —: a zöld a pirossal vagy a bíborral vagy a világos lilával, a sárga a kékkel.”<sup>37</sup> Most Helmholtz ezt az érzést tudományos szintre emelte. Két tapasztalati tényből indult ki. Az egyik: hogyha hosszú ideig, mondjuk, vörös fényt szemlélünk intenzíven, s utána hirtelen fehér papírra nézünk, zöldeskék szín jelenik meg előttünk. (És viszont: zöldeskékre vörös, kékre sárga, sárgára kék.) Ez az *utólagos kontraszt* alapvető jelensége színérzékelésünknek, s bevilágít a színek egymással való rokonsági viszonyaiba. A másik: ha ugyanezeket a színeket additívan keverjük, akkor már a komplementer színpárokából is fehér színt nyerünk nemcsak mint Newton állította, a hét főszínből). Továbbá, ha egy színtelen (fehér) sugárnyalávból az egyik színt kiszűrjük, s a fennmaradottakat ismét összekeverjük, nem kapunk fehéret, hanem az eltávolított fény komplementerjét. Grassmann azt is bebizonyította, hogy minden színnek megvan a spektrumon az a kiegészítő színe, amellyel összesítve fehéret kapunk, kivéve a zöldnek, amelynek kiegészítő színe, a bíbor, nincsen rajta a spektrumon, hanem a vörös és kék fény keveréke.

Grassmann érdekes bizonyítékot talált arra is, hogy a spektrum két vége felé haladva valóban egyre inkább azonos szín-érzetet kapunk. A már szinte a szín-érzékenység határán túleső 812,5  $\mu$  hullámhosszú vöröset a szintén e határon fekvő 406,2  $\mu$  hullámhosszú ibolyával kevert össze, s eredményül, olyan telített vöröset kapott, amelyet a szín-érzékelés nem érzett összetettségnek.<sup>38</sup> Ennek alapján a színkeverésnek két irányát különbözteti meg. Az egyik a vöröstől a narancson, zöldön, kéken, ibolyán, bíboron át vezet vissza a vörösig. A másik ugyancsak a vöröstől a bíboron, ibolyán, kéken, zöldön, narancson át vezet vissza a kiindulóponthoz. Az elsőt nevezi pozitívnak, a másodikat negatívnak.<sup>39</sup>

Ezeknek a jelenségeknek az értelmezése azóta is a színek rendszerezésének legnagyobb problémája, s ma sincs rájuk minden szempontból megfelelő tudományos magyarázat. Helmholtz a megoldást éppen a háromszín-elméletben kereste. *Optisches über Malerei* című munkájában<sup>40</sup> Young hipotézisére hivatkozva a következőképpen válaszolja fel a folyamatot. Ha például sokáig nézünk vörös színt, akkor a rechártya vöröset érzékelő csapocskái kifáradnak, a másik két fajta azonban pihent marad, s amikor szemünket elfordítjuk a képről, átveszi az ingerületet. Mivel az előbbieket a zöldre és kékre érzékenyek, az ún. negatív utókép e két szín összege, tehát zöldeskék lesz. Ugyanígy a többiek esetében: a tiszta-zöld komplementer színe a bíbor, a pirosnak és kéknek keveréke, a kéké a sárga, a piros és a zöld összege és így tovább. Helmholtz és Grassmann e feltevések alapján kísérletileg is meghatározzák, hogy milyen színek adnak együtt fehéret, milyen színek tekinthetők tehát komplementereknek. Kutatásaik eredményeképpen tapasztalatilag igazolt megalapozását adták az egyes színek összefüggéseinek, s azóta minden olyan munka, amely a színek harmóniájával foglalkozott, természetszerűen ezen alapult. Érdemük, hogy egyben precízírozták is az addigi sejtéseket. Lerögzítették, hogy a pirosnak nem a zöld a komplementerje, hanem a kékeszöld, a bíbornak

<sup>36</sup> Uo. 418—419. o.

<sup>37</sup> Leonardo da Vinci: *Tudomány és művészet. Válogatás művészi írásából.* Magyar Helikon, 1960. 98. o.

<sup>38</sup> Grassman *Gesammelte Werke*. II. Band. II. Theil. 216. o.

<sup>39</sup> Uo. 164. o.

<sup>40</sup> Hermann von Helmholtz: *Vorträge und Rede*. II. Band. Braunschweig 1903. 122.

viszont maga a zöld, az ibolyának nem a sárga, hanem a zöldessárga, a tiszta kéknek nem a narancs, hanem a sárga, végül a narancsnak a kissé már zöldes árnyalatú kék (türkizkék).

Egzakt vizsgálatainak tapasztalati eredményeit Helmholtz az alábbi táblázatban összegezte:<sup>41</sup>

Szín	Hullám-hossz $m\mu$	Kiegészítő szín	Hullám-hossz $m\mu$	A hullámhosszak hányadosa
vörös	656,2	zöldeskék	492,1	1,334
narancs	607,7	kék	489,7	1,240
aranyásárga	585,3	kék	485,4	1,206
aranyásárga	573,9	kék	482,1	1,190
sárga	567,1	indigókék	464,5	1,221
sárga	564,4	indigókék	461,8	1,222
zöldessárga	563,6	ibolya	433-tól	1,301

Ebből a táblázatból néhány fontos következtetést vont le.

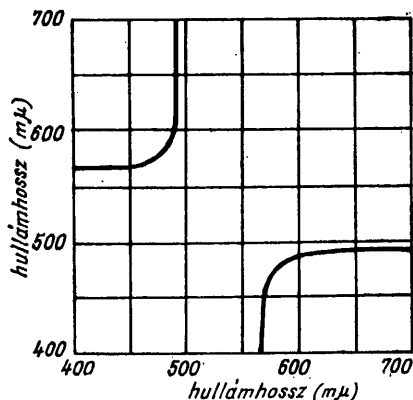
Először is azt, hogy komplementpárok viszonzyszámai nem azonosak, a komplementaritás tehát nem analóg a zenei összhanggal, mondjuk a kvinttel vagy a terccel. Az utolsó oszlopból azt is kiolvashatjuk, hogy a hányados a kvarttól (1,33) a kistercig (1,20) csökken, hogy azután körülbelül a kvartig, ismét nőjön.

A hányadosnak ez a csökkenése-növekedése rámutat a komplementer-színek kapcsolatának másik feltűnő sajátosságára. Arra ti., hogy ha helyeiket a spektrumon összekapcsoljuk, nem kapunk szimmetrikus kontinuitást. Van két sajátos területe a spektrumnak, a zöld szín két oldalán, a zöldessárga és a zöldeskék tartományban, ahol a hullámhossz egész kis változásának a kiegészítő színek hullámhosszában sokkalta nagyobb változás felel meg.

Nézzük meg közelebről ezt a két szín-tartományt. Haladjunk például a sárga színek között 10 millimikron hullámhosszal előre (563,6-től 573,9-ig), azt látjuk, hogy ezalatt kiegészítő színeik hullámhosszai kb. 400-tól, de legalábbis 433-tól 482,1-ig növekednek. Itt tehát a 10-zel 50–80 áll szemben.

Vegyünk most a zöldeskék tartományban hasonló 10 millimikronnyi változást, s haladjunk 482,1-től 492,1-ig. Ezalatt a kiegészítő színek ismét kb. 80 millimikronnyival növekednek: 573,9-től 656,2-ig.

A komplementer színek törvényszerűségét tehát nem kereshetjük sem azonos hányadosban, sem azonos különbségben. A valódi összefüggést Helmholtz az alábbi módon, hiperbolikusan ábrázolta:<sup>42</sup>

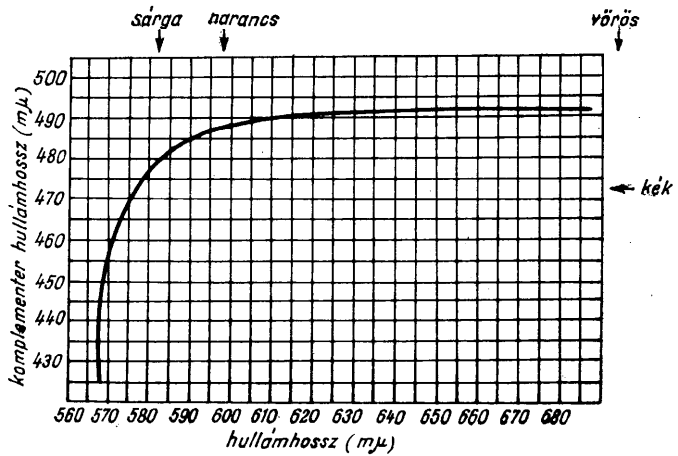


4. ábra. A komplementer színek összefüggése Helmholtz szerint

<sup>41</sup> H. von Helmholtz: *Handbuch der Physiologischen Optik*. Hamburg und Leipzig 1896. 317. o.

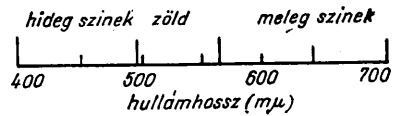
<sup>42</sup> Uo.

Priest az ábrát még áttekinthetőbbé tette azzal, hogy az adatokat egyetlen görbében foglalta össze:<sup>43</sup>



5. kép. A komplementer színek összefüggése Priest szerint

A színlátásnak ez a szerkezete annál karakterisztikusabb, mivel ez a két kitüntetett terület (kb. 497 mμ-n innen és 565 mμ-n túl) éppen azt a zöld tartományt fogja közre, amelynek a spektrumon nincs kiegészítő színe. Lineárisan ábrázolva így a következő szerkezetet kapjuk:



6. ábra. A színlátás struktúrájának alapvonásai

Az így feltárt összefüggések alapján dolgozták ki a komplementer színek tapasztalati képletét. Ezt először V. Grünberg adta meg 1905-ben a következő formulában:<sup>44</sup>

$$(\lambda - 559)(498 - \lambda') = 424,$$

eszerint tehát a spektrum két kiemelt pontjától (559 és 498 mμ) számítva a rezgésszámok különbözeteinek szorzata állandó.

<sup>43</sup> Woodworth—Schlosberg: *Kísérleti pszichológia*. Akadémiai Kiadó, 1966. 481. o. alapján.

<sup>44</sup> V. Grünberg: *Farbengleichung mit Zuhilfnahme der drei Grundempfindungen im Young—Helmholtz'schen Farbensystem*. Annalen der Physik. Vierte Folge. Band 17. Heft 1. 1905. 165—173. o. Grünberg, mint a címből is kitűnik, számításait a színmetrikának arra a később tárgyalandó módszerére építette, amely szerint három alapszínből a spektrum valamennyi színét elő lehet állítani. König és Diterici alapján ő 482, 506 és 665 mμ-ban vette fel a három alapértéket. Miután két komplementer szín közül az egyik a vörös-zöld, a másik a kék-zöld alapszínek között (vagy körül) található, azt feltételezte, hogy az elsőt éppen vörös-zöld, a másodikat a kék-zöld arány határozza meg oly módon, hogy összegük mindig állandó. Ezt az összeget egynek véve számította ki a következő képletet.

$$\frac{665 - \lambda}{\lambda - 506} + \frac{\lambda' - 482}{506 - \lambda'} = 1;$$

s ebből egyszerű számítás útján kapta a fenti formulát.

Ennek a képletnek azóta többféle változatát ismerjük, struktúrájában azonban valamennyi azonos ezzel, csak a két határérték és az állandó különböznek. Így például Manfred Richter a következőképpen módosította.<sup>45</sup>

$$(\lambda - 567,4)(497,7 - \lambda') = 184,3$$

Priest viszont frekvenciában adta meg:<sup>46</sup>

$$(530 - f)(f' - 608) = 220$$

Végül az International Congress on Illumination (ICI) 1931-ben, a színmetrika normalizálásakor (az akkor konvencióul elfogadott 700, 546,1 és 435,8 alapértékekre vonatkoztatva) a következő formulában egyezett meg:<sup>47</sup>

$$(\lambda - 565,52)(497,78 - \lambda') = 223,02$$

Bár egyes számítások igen pontos értékeket adnak, a számított hullámhosszak (vagy frekvenciák) mégis csak hozzávetőlegesen értendők. Márcsak azért is, mert az emberi szem nem érzékeli a hullámhossz-egység tört részeit, sőt a spektrum legnagyobb részén több egységnyi különbség kell a színérzet megváltozásához. De ezen túl is tapasztalhatunk bizonyos ingadozást, a kiegészítő színeket nem lehet egész pontosan lerögzíteni, hanem csak kis sávokra. Priest és Sinden az eltéréseket is megvizsgálták. Megállapították pl., hogy a 655 hullámhosszú piros kiegészítő színe a 485–493 között levő kékeszöld sávban található. Ha fordítva, a kékeszöld vagy sárga sáv kiegészítő színét keressük, még nagyobb lehet a „szórás”, a 495 $\mu$ m kékeszöld komplementer színe 585 és 655 között helyezkedik el.<sup>48</sup>

Mindez nem a fenti képlet tagadását, hanem a *statisztikai érvényességét* jelenti (hiszen a fehér már eleve statisztikai átlag). És azt is, hogy a fehér érzet létrejöttéhez nemcsak a két szín hullámhossz- és rezgésszám-értékét kell tekintetbe venni, hanem világosságát és telítettségét is. Egyenlő intenzitás mellett például — Helmholtz megállapítása szerint<sup>49</sup> — egyetlen esetben jön létre a kiegyenlítődség jelensége: a ciánkék és a narancs komplementer kettős esetében. Ezt egyébként legújabbán Heinrich Frieling is alátámasztotta, ő a kiegészítő színek sorából világítás-telítettség viszonyai alapján öt párt emelt ki. Köztük a világosság szempontjából a legnagyobb különbséget a citromsárga-violet kék, a kiegyenlítődsést viszont a narancsvörös-zöldeskék pár adja.<sup>50</sup>

A komplementer színek tapasztalati rendszere tehát kialakult, de az okául megadott háromszín-elmélet csak hipotézis maradhatott, mivel nem találtak

<sup>45</sup> Lásd Dr. Herbert Schober: *Das Sehen*. Band II. Leipzig 1945. 152. o.

<sup>46</sup> Lásd C. H. Graham: *Color Theory*. In: *Psychology: A Study of a Science*. Volume I. Edited by Sigmund Koch. McGraw-Hill Book Company, New York-Toronto-London 1959. 163. o.

<sup>47</sup> Lásd S. W. Krawkow: *Das Farbensehen*. Akademie Verlag, Berlin 1955. 16. o.

<sup>48</sup> Ismerteti Woodworth-Schlosberg: i.m. 481. o.

<sup>49</sup> Helmholtz: *Handbuch* ... 319. o.

<sup>50</sup> Heinrich Frieling: *Kompensationsfarben — ihre phänomenologische und psychologische Bedeutung, insbesondere für die Gestaltung*. Internationale Farbtagung Luzern. 1965. A másik három pár egyébként: a legnagyobb fényerőkülönbsége a narancssárga-kék, az erő kiegyenlítődsége a bíbor-zöld, s végül a „temperatura” kiegyenlítődsége az ibolya-zöldessárga.

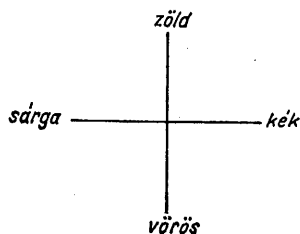
bizonyítékot a háromféle csapocska létre. Ez adott módot Ewald Heringnek arra, hogy *négyszín-teóriájával* fellépjen Helmholtz ellen.

Ahogy a háromszín-elmélet hívei számtalan elődre hivatkoztak és hivatkoznak, ugyanúgy utalnak a négyszín-elmélet védelmezői másokra, többek között a görög filozófusokra, Leonardóra, Hegelre, Machra, akik mind négy alapszín ismertek el. Különösen nagy hatással volt az elmélet kialakulására Mach. Ewald Hering, a négyszín-elmélet megalkotója, filozófiai tekintetben is reá hivatkozik.

Hering filozófiai megnyilatkozásai elsősorban a „spiritualista” pszichológia ellen irányulnak. Az olyasfajta fogalmaknak, mint lélek, szellem, ítélet, nincs helyük a pszichológiában,<sup>51</sup> minden pszichikai folyamatnak egy fizikai,<sup>52</sup> mindenekelőtt pedig kémiai folyamat felel meg.<sup>53</sup> Ez az első látszatra materialista állásfoglalás azonban végül is a Mach-féle parallelizmusba torkollik, Hering őt vallja mesterének.<sup>54</sup> Lenin az *Empiriokriticismusban* nem hiába emlegette őket együtt.<sup>55</sup>

Hering a szín-látás strukturáját a kétszeres, illetve a fehér-fekete kettőssel együtt a háromszoros polarításban látta. Három látási „szubsztancia” van tehát, mindegyikükhöz két-két alapszín tartozik, amelyek egymáshoz viszonyítva „ellenszínnek”. Az első két szubsztanciát a kék-sárga és a vörös-zöld pár alkotja. E színpárok tagjainak ellenszín-jellegét nemcsak komplementaritásuk adja meg, hanem az is, hogy nincs egymásba olvadó árnyalatuk, a sárga például lehet vöröses vagy zöldes, de sohasem kékes, a zöld lehet kékes vagy sárgás, de sohasem vöröses, és így tovább.<sup>56</sup> A harmadik szubsztancia ellenszínei a fekete és a fehér, középtűt a szürke különböző árnyalataival. (A kontraszt elvéből következik, hogy bár a fekete szín Hering szerint sem létezik fizikailag, az érzékelés szempontjából mégsem pusztán hiány, hanem valóságos érzet. A színek hiányát ugyanis egyfajta sötétszürkének érzékeljük, a fekete már a fény hatására keletkezett kontraszt.)

A tarka színek viszonyait ezek szerint a következő séma mutatja.



7. ábra. A színek polaritása Hering szerint

<sup>51</sup> Ewald Hering: *Wissenschaftliche Abhandlungen*. II. Band. Georg Thieme Verlag, Leipzig 1931. 37. *Zur Lehre vom Lichtsinne*. 6. o. (Mivel a kiadás Hering tanulmányait — szám szerint 84-et — az eredeti kiadás oldalszámozásával közli, a további hivatkozások alkalmával a sorszámot is meg kell adnunk.)

<sup>52</sup> Uo. 42. sz. 197. o.

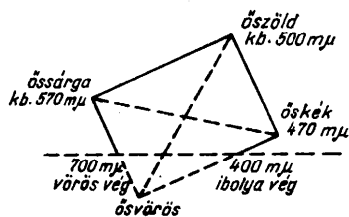
<sup>53</sup> Uo. 41. sz. 183. o.

<sup>54</sup> Uo. 44. sz. 72. o.

<sup>55</sup> Lenin: *Összes Művei* 14. köt. Kossuth, 1964. 171. o.: „... amit a fiziológiai és a geometriai tér, vagyis az érzéki észlelet tere és az absztrakt tér közti különbségről mondott . . . teljes egészében megismétli Dühring hibáját.”

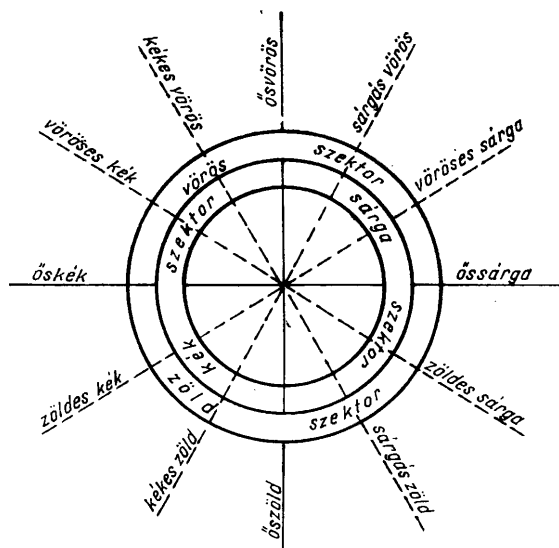
<sup>56</sup> Ezt a gondolatot természetesen Hering műveiben több helyen is megtaláljuk. A legteljesebben kifejtve talán a *Zur Lehre vom Lichtsinne* VI. fejezetében (*Grundzüge einer Theorie des Farbensinnes*). Id. mű. 42. sz. 169—172. és 180—184. o.

A szín-háromszöget így váltja fel a négyszög.



8. ábra. A szín-négyszög Hering szerint

Ez az ábra<sup>57</sup> megadja az ősszínek hullámhosszát is, s elválasztja a spektrum-színeket a bíbortól (a bíborban látva az „ősvöröst”). A körös ábrázolásban viszont így alakul Heringnél a színek rendje.<sup>58</sup>



9. ábra. A színekör Hering szerint

Ez már magában foglalja a komplementer-színviszonyokat is, és kétségtelenül kifejezi a többi színt a négy ősszín kombinációjával.

Hering tetszetős feleletet adott a polaritások fizioiógiai alapjára vonatkozólag is. Szerinte is háromféle fotoreceptornak kell működnie a recehátyán, az egyik a fehér-fekete, a másik a sárga-kék, a harmadik a zöld-vörös szubsztanciára reagál az asszimiláció és disszimiláció egymással ellentétes folyama-

<sup>57</sup> Ezt az ábrát Hering követőjének, Dr. Arnim von Tschermak-Seyseneggnek 1947-ben kiadott könyvéből vettük. (*Einführung in die physiologische Optik*). Springer Verlag, Wien 1947. 82. o.) Hering értékei az ősszínekre vonatkozóan: ősvörös — az 510 mμ zöld komplementerje, össárga —  $565 \pm 0,5 \text{ m}\mu$ , őszöld —  $504,5 \pm 0,5 \text{ m}\mu$ , őskék —  $468 \pm 1,2 \text{ m}\mu$ .

<sup>58</sup> Uo. 47. o.

tával.<sup>59</sup> Ha mondjuk a sárga vagy a fehér fény hatására disszimiláció, bomlás indul meg, ugyanabban a fekete vagy a kék hatására regeneráció következik be. A fehér szubsztanciában valamennyi fény hatására bomlás jön létre, s ezzel magyarázható a komplementaritás jelensége: amikor egyidejűleg kék és sárga színt észlelünk, nem összegük lesz fehér, hanem asszimilációs-folyamatuk megsemmisíti egymást.

Ez az elmélet azonban éppúgy megmaradt a hipotézis színvonalán, mint a Young-Helmholtz-féle. Az asszimiláció-disszimiláció elve termékeny gondolatnak bizonyult, de a háromféle szubsztanciát (csakúgy, mint Helmholtzéit) ma sem sikerült megtalálni. S bár a szín-látás kontrasztos felfogásával kétségtelenül fontos törvényt ragadott meg, nem tudott magyarázatot adni olyan fontos kérdésekre, mint amilyeneket Helmholtz görbéje már felvetett (ezek tárgyalását Hering mindig kikerüli). Megkerüli azt aényt is, hogy a sárga szín additív keverés, a zöld pedig szubsztraktív keverés esetében előállítható más színekből (a sárga a zöldből és vörösből, a zöld a kékből és sárgából, a bíbor pedig mindkét módon a kékből és vörösből). Hering elutasította azt a közvetítő megoldást — amelyet többek között Aubert képviselt —, hogy három *alapíngert* de négy *alapérzetet* vegyünk fel,<sup>60</sup> a négy szín egyenrangúságát azonban nem tudta bizonyítani. A négyesség mégis jobban megfelelt a közvetlen szín-érzetnek (amely a sárga színt a helmholtzi trikromatizmussal ellentétben egyenrangú alapszínnek érzi), és tetszetősebb magyarázatot adott a komplementaritás tényére. A színlátás tudományának történetében tovább folyt a harc a két elmélet között. Hering felfogását nemcsak tanítványai — mint Tschermak-Seysenegg — fejlesztették tovább, nemcsak a svéd színrendszer (az ún. Hering-Johannson természetes szín-rendszer) képviselői építettek elméletére, de ma is találkozunk elveivel az olyan nagytekintélyű filozófusok írásaiban is, mint pl. MacNichol, Macpherson és Svaetichin.<sup>61</sup> Sok követője akad a szín-pszichológiában is, nálunk például Hering elméletét vallja Kardos Lajos.<sup>62</sup>

A látás *kettősségének (dualitásának, duplicitásának)* elmélete, mint mondtuk, másfajta bontásban foglalkozik a szín-látás jelenségeivel. Ezért nem is volt „vitapartner” — Helmholtz is, Hering is elfogadta, és a maga módján értelmezte. Mégis hozzájuk képest olyan új momentumokat is tartalmaz, amelyek miatt melléjük kell állítanunk.

A problémát először Purkinje cseh fiziológus vetette fel a múlt század első felében, s ezért az általa megfigyelt tényeket Purkinje-féle jelenségnek nevezik. Eszerint világosban más a színlátásunk, mint sötétben, a nappali világossághoz alkalmazkodott szem sokkal több árnyalatot különböztet meg (például felismeri a sárgát és a vöröset is, az éjszakai sötéthez akkomodálódott szem viszont csak néhányat (leginkább a kéket és a kékeszöldet). Később pontos mérésekkel bebizonyították, hogy az előbbi fényérzékenységi görbéjének maximuma kb. az 560m $\mu$  körüli zöldessárgában, az utóbbié az 500m $\mu$  körüli kékeszöldben van. Az éjszakai színérzékenység tehát a rövidebb hullámhosszak felé tolódik, a sárgát sötétnek, a vöröset csaknem feketének látjuk. Maga

<sup>59</sup> Uo. 41. *Zur Lehre vom Lichtsinne*. 187. — 193. o.

<sup>60</sup> Uo. 44. 88. o.

<sup>61</sup> E. F. MacNichol, L. Macpherson, G. Svaetichin; *Studies on Spectral Response Curves from Fish Retina* In: *Visual Problems of Colour. Proceedings of a symposium held at the National Physical Laboratory, on september 23—25. 1957.* No. 39. 534. o.

<sup>62</sup> Kardos Lajos: *Általános pszichológia*. Tankönyvkiadó, 1964. 38. o.

az alkalmazkodás is pontosan megfigyelhető folyamat, mérni tudják idejét, patalógikus hiánya az ún. farkasvakság.

E jelenség okát keresve alakította ki Johannes Kries a duplicitásos látás elméletét, a nappali és az éjszakai látást a szem ideghártyájának (recehártyájának vagy retinájának) kétféle receptor-elemével, a pálcikákkal és csapokkal hozva összefüggésbe. (1894)

Valóban igen kézenfekvő ez az összekapcsolás. A pálcikák és csapok számuk, beidegzésük, anatómiai felépítettségük, a retinán való elhelyezkedésük szerint egyaránt feltűnően különböznek egymástól. A pálcikák száma sokkal több (mai mérések szerint 125 millió), mint a csapoké (4–7. millió). A pálcikák fürtszerűen, csoportosan kapcsolódnak az idegrostokhoz (számuk mintegy 1,250,000), míg a csapok gyakran egymagukban is „közvetlen összeköttetésben állnak” velük, a pálcikák nagyobbak, vastagabbak a kicsi és a karcsú csapoknál. A pálcikák inkább a recehártya szélsőbb részein helyezkednek el, a csapok viszont középen, az un. sárgafoltban (macula lutea) és a látógödörben (fovea centralis). Mindez arra mutat, hogy funkciójuk kb. a fül belső és külső szőrsejtjeivel vethető össze.

A gondolat akkor vált pusztá sejtésből tudományos hipotézissé, amikor Boll 1876-ban felfedezte a pálcikák színérzékelő anyagát, a *rhodopsint* (látóbíbor). Kries dualitásos elmélete erre támaszkodott. Nem Helmholtz és a háromszínlátás ellen, hanem tulajdonképpen éppen mellette, Kries véleménye szerint ugyanis ez a jelenség éppen Helmholtzot igazolja. Ameddig megmarad amellett, hogy a nappali látás színérzékeny, az éjszakai színvak, valóban azt is teszi. Amikor azonban hangsúlyozza, hogy a nappali színlátás a hosszabb hullámhosszakra, az éjszakai a rövidebbekre reagál erőteljesebben, mégis felveti egy Helmholtzéval ellentétes értelmezés lehetőségét.<sup>63</sup> A különféle elméletekből ő próbált meg először szintézist teremteni, általában ma is őt tekintik az ún. „zóna-elméletek” előfutárjának, amelyek a kettes, hármas és négyes rendszert egyaránt elismerik, de mindegyiket csak az idegműködés más és más szintjén, zónájában tartják érvényesnek.

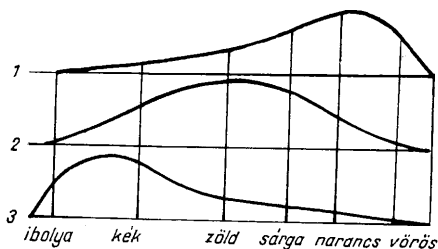
Mindhárom elmélet termékeny hipotézisnek bizonyult, s azóta sok új felfedezést ösztönzött. Három különálló területen követhetjük ezt a fejlődést. A *szín-metrikával*, *szín-méréstannal* voltaképpen a fizikához kanyarodunk vissza, hiszen ez a tudomány az emberi szín-érzékelés törvényei alapján egzakt fizikai módszerekkel foglalkozik a színek viszonyaival (és művelői között olyan neveket is találunk, mint J. C. Maxwell vagy Erwin Schrödinger). Ezután a két elmélet alapján létrejött *színrendszereket* vesszük sorra (ezuttal nem az esztétikai célzatú rendszereket még, hanem az olyan modelleket, mint Ostwald vagy Munsell színekörei, szintestei). Végül a színérzékelés *fiziológiai* kutatásának újabb eredményeire térünk ki.

### Szín-metrika

A szín-metrika egzakt mérésekkel és matematikai értelmezésükkel visz bennünket közelebb a szín-látás struktúrájának feltáráshoz. A szín-metrika problémaköréből itt természetesen csak azokat a kérdéseket ragadjuk ki, amelyek a színek rendszerére vonatkoznak.

<sup>63</sup> Johannes von Kries: *Helmholtz als Physiolog*. Die Naturwissenschaften, 1921/35 680. o.

Mindenekelőtt a feltételezett három alapszín „színérzékelési görbéjével” kell foglalkoznunk. Young még igen egyszerűen képzelte el a háromféle receptor-elem érzékenységét.<sup>64</sup>



10. ábra. A háromféle receptor-elem színérzékelése Young szerint (1. a vörös-, 2. a zöld- és 3. az ibolyaérzékeny receptoré)

Ez a séma szimmetrikus: mindhárom receptor érzékelési területe kiterjed az egész spektrumra, a vörös és az ibolya polárisan ellentettek, a zöld pedig arányosan tölti ki az egész területet.

A mérések azonban nem igazolták ezt az elképzelést, hanem feltárták a szín-látás struktúrájának aszimmetriáját.

Itt mindenekelőtt James Clerc Maxwell eredményeiből kell kiindulnunk, a három „alapszín” színérzékelési görbéjét ő vizsgálta meg először *egzakt módszerekkel*. Munkássága során vissza-visszatért a színproblémához összegyűjtött művei között kilenc erről szóló kisebb-nagyobb tanulmányt, közleményt találunk.

Maxwell kiindulópontul elfogadja Young háromszín-elméletét, s ennek alapján kezdi meg kísérleteit, Helmholtztól függetlenül 1852-ben.<sup>65</sup> Hangsúlyozza, hogy a hármasság már Young szerint sem fizikai jellemvonása a színnek, hanem a szem sajátosságaiban gyökerezik.<sup>66</sup> Több alkalommal leszögezi, hogy három és csakis három alapszín van,<sup>67</sup> de a vörös és a zöld mellett hol a kéket, hol az ibolyát veszi fel harmadiknak.<sup>68</sup> Végül arra a következtetésre jutott, hogy bármely három színt felvehetünk, ha egy háromszög csúcsának fogjuk fel őket. Hozzájuk viszonyítva minden színt meg tudunk határozni.<sup>69</sup>

Legjelentősebb színelméleti munkájában (*On the Theory of Compound Colours, and the Relations of the Colours of the Spectrum* (1860, Vol. I. 410–44. o.) beszámol kísérleteiről. Három alapszínt választott: vöröset (630  $m\mu$ ), zöldet (528  $m\mu$ ) és indigókéket (457  $m\mu$ ).<sup>70</sup> Az egyes alapszíneket betűkkel jelölte ( $x$  = vörös,  $y$  = zöld,  $z$  = kék), azóta is e jelöléseket használja a szín-metrika. Intenzitásukat úgy választotta meg, hogy együtt fehéret adjanak, tehát

<sup>64</sup> Helmholtz *Handbuch* . . . c. könyve alapján, 346. o.

<sup>65</sup> *The Scientific Papers of James Clerc Maxwell. (Experiments on Colour, as perceived by the Eye, with remarks on Colour—Blindness)*. University Press, Cambridge 1890. Vol. I. 152. o.

<sup>66</sup> Uo. 136. o., továbbá Vol. II. 267. o. (*On Colour Vision*)

<sup>67</sup> Pl. Uo. Vol. I. 121. o. (*On the Theory of Colours in relation to Colour—Blindness*); 245. o. (*On the Theory of Compound Colours, with reference to Mixtures of Blue and yellow Light*); 263. o. (*Account of Experiments on the Perception of Colour*): 448. o. (*On the Theory of Three Primary Colours*).

<sup>68</sup> A kéket pl. uo. Vol. I. 131. o., az ibolyát Vol. I. 150. o. stb.

<sup>69</sup> Uo. Vol. II. 273. (*On Colour Vision*)

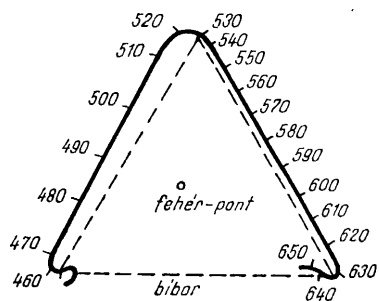
<sup>70</sup> Uo. 425. o. Megjegyzendő, hogy Maxwell egyrészt a Fraunhofer-vonalakhoz viszonyítva, másrészt angol mérték-rendszerben adja meg az adatokat, a mi mértékrendszerünkben vett értéküket Kravkov alapján adjuk (i. m. 28. o.).

komplementer színhármast alkossanak.<sup>71</sup> Olyan készüléket szerkesztett, amely lehetővé tette, hogy a három alapszín különböző mérhető mennyiségekben állítsa elő és adja össze. Ezután a három alapszínből, megmérve a szükséges mennyiséget, kikeverte a spektrum különböző hullámhosszágú színeit (illetve a hozzájuk „legjobban hasonlókat”).

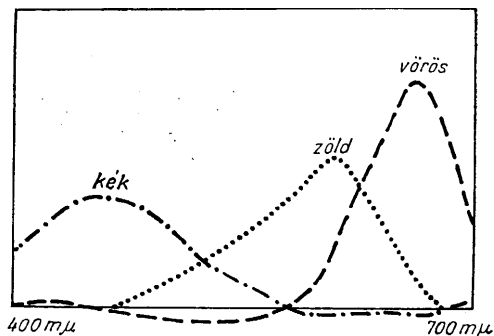
Voltaképpen ez a kísérlet volt a szín-metrika születése. A három alapszínen alapuló szín-mérés ekkor vált találgatásból tudománnyá, ekkor bizonyosodott be, hogy három színből valamennyi spektrumszínt elő lehet állítani (sőt nemcsak a spektrumszíneket, hanem valamennyi látható színt is). Igaz, hogy Maxwell bizonyos színekre negatív értékeket kapott, ez azonban csak a közvetlen szemlélet számára meglepő, hiszen a negatív értékek matematikailag éppúgy értelmezhetők, mint a pozitívak.

Kísérletei alapján Maxwell módosította a szín-háromszöget. Azok a színek, amelyeknél bizonyos alapszínekre vonatkozólag negatív érték adódott, a három alapszín által bezárt háromszögön kívülre kerültek, a háromszög belsejében viszont meghatározta a „fehér-pontot”, azt a helyet, ahol az alapszínek által meghatározott rendszerben a fehér elhelyezkedik.<sup>72</sup>

Megszerkesztette továbbá, mint már említettük, a három alapszín érzékelési görbéjét.<sup>73</sup>



11. ábra. Maxwell szín-háromszöge



12. ábra. A három alapszín érzékelési görbéje Maxwell szerint

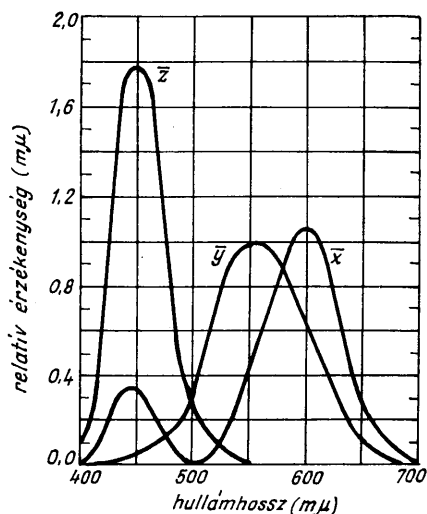
Maxwell metódusával azóta is többen elvégezték a fenti mérést. Az eredményeiket összegező színérzékelési görbéken egyes részletek módosultak, annak következtében, hogy mást és mást vetek fel alapszíneknek (König és Diterici 655, 505 és 430 Granit 600, 530 és 460  $\mu\text{m}$ -ost stb.). Fejlődött a metódus is. Ennek ellenére a görbék bizonyos alapjellegzetességei változatlanok maradtak.

<sup>71</sup> Ami azt jelenti, hogy mégsem választhatunk tetszőlegesen bármely alapszínt. Ha azt akarjuk, hogy általuk minden színt maximálisan meghatározhassunk, komplementer viszonyban kell állniuk egymással.

<sup>72</sup> Uo. Vol. II. 444. o. (Maxwell háromszögének alapja a vörös-zöld vonal, mi a háromszöget a ma szokásos ábrázolás szerint elforgattuk.)

<sup>73</sup> Uo. Maxwell két megfigyelő adatai alapján két görbét ad, a sajátját és egy másik személyét. Tekintve azonban, hogy saját magát bizonyos tartományokra vonatkozóan színvaknak ítéli, a másik megfigyelő adatai alapján készített grafikont közöljük. Ebben még a három görbe összege is fel van tüntetve, a későbbi szerzők ezt elhagyták. Az ábrát az eredetihez képest tükörszerű fordításban adjuk, Maxwell a vörös tartományt tette a kép baloldalára.

Jellemzésül most csak a legfontosabbat mutatjuk be, a Nemzetközi Világításügyi Bizottság (International Commission on Illumination, ICI)<sup>74</sup> által 1931-ben konvencionálisan elfogadott és általánosan használt görbét.<sup>75</sup> Alapértékei: 700, 546 és 435,8  $m\mu$ .



13. ábra. Az ICI szín-érzékelési görbéje ( $\bar{x}$  = kék,  $\bar{y}$  = zöld,  $\bar{z}$  = vörös)

Mit mutatnak ezek a színérzékelési görbék?

Számunkra azt, hogy a spektrum a színérzékelés szempontjából jól elkülöníthető sávokra oszlik,<sup>76</sup> amelyeket *kitüntetett pontok* határolnak. Ezek a színérzékelési görbék csúcspontjai, mélypontjai és kereszteződési pontjai:

csúcspontok:	450 $m\mu$	560 $m\mu$	600 $m\mu$
mélypontok:		500 $m\mu$	560 $m\mu$
kereszteződési pontok:	485 $m\mu$	500 $m\mu$	575 $m\mu$

Két szakasznak van kiemelkedő szerepe: a 485–500 (kékeszöld) és az 560–575  $m\mu$  (sárga) hullámhosszú tartománynak.



14. ábra. A kitüntetett sávok

<sup>74</sup> Franciául: Commission Internationale d'Éclairage, CIE.

<sup>75</sup> Ralph M. Evans *An Introduction to Color* (New York—London 1948.) c. könyve alapján. 206 o.

<sup>76</sup> Itt röviden utalni kell a kérdés történetére is. A spektrum sávjaira elsősorban Koenig hívta fel a figyelmet, őt idézve foglalkozik ezzel a problémával Helmholtz (*Handbuch* . . . 357–358. o.) és Schrödinger is (i. m. 429. o.). Koenig szerint a két szélső sáv színei monochromatikusak, mert előállításukhoz 655  $m\mu$  fölött elégséges a vörös, 430  $m\mu$  alatt pedig az ibolya. Ezután befelé haladva két köztes sáv következik, nagyjából a 630–655 és 430–475  $m\mu$  hullámhosszak között, itt a vöröshöz, illetve ibolyához zöldet is kell keverni. Végül a belső sávon a sárga, a zöld és a kék színek találhatók, ezek előállításához mindhárom alapszín fel kell használni.

Ez a beosztás később módosult. A legfontosabb változásokat itt csak jelezhetjük. Ha akár az ICI által elfogadott színérzékelési görbét és a hozzá számokban is megadott

Éppen annak a két szakasznak tehát, amelynek kiemelkedő jelentőségét az előbb a komplementer színekkel kapcsolatban is fel kellett ismernünk. E két szakasz fogja körül a zöld szín-tartományt, amelynek nincs a spektrumon kiegészítő színe, e két rövid szakasz szolgáltatja az ellentett oldal hosszú sávjainak kiegészítő színeit. Nyilvánvaló tehát hogy az tud majd kielégítő feleletet adni a színlátás struktúrájára (s egyben harmónia-törvényeire), aki kielégítően meg tudja adni e jelenség okát is.

értékeket nézzük, akár Kravkov ide vonatkozó fejtegetéseit (i. m. 65. o.), lényeges eltéréseket látunk. Először is eltűntek a széles „monochromatikus” végsávok, lényegében az egész spektrumon nem találunk pontot, amely egy alapszínből kikeverhető lenne. Továbbá — mivel a kék tartományban a kék és a zöld mellett a vörös érzékenységére is pozitív értékeket mértek — a trichromatikus tartomány is nagyobb lett. Az történt tehát, amit az előbb a Youngtól Maxwellig tartó fejlődésben egyszer már láttunk: eltűnt a kezdő hipotézis „megnyugtató” szimmetriája.

Megmaradt azonban továbbra is az a tény, hogy a spektrum sávokra bontható, aszerint, hogy az egyes sávokon belül levő színeket milyen és milyen mennyiségű alapszín-ekből lehet kikeverni.

A következő táblázatban az ICI által közölt értékeket (Evans: i. m. 207. o.) és Kravkov beosztását vesszük alapul (i. m. 65. o.). Az egyes sávokat aszerint különböztetjük meg, hogy az ott található színekben milyen arányban vesznek részt az egyes alapszínek. Figyelembe vettük továbbá, hogy (mindig a nagyobb hullámhosszaktól a kisebbek felé haladva) az egyes színek részvételének aránya növekvő vagy csökkenő tendenciát mutat-e. Ezek alapján a spektrumot az alábbi sávokra oszthatjuk:

#### I. 760—575 $m\mu$

(Az e sávon található színekben a vörös aránya a legnagyobb.)

1. 760—600  $m\mu$  vörös és narancs
  1. a vörös (növekvő tendenciával)
  2. a zöld (növekvő tendenciával)
  3. a kék (620  $m\mu$ -tól, minimális mértékben)
2. 600—575  $m\mu$  sárga
  1. a vörös (de már csökkenő tendenciával)
  2. a zöld (növekvő tendenciával)
  3. a kék (minimális mértékben)

#### II. 575—500 $m\mu$

(Az e sávon található színekben a zöld aránya a legnagyobb.)

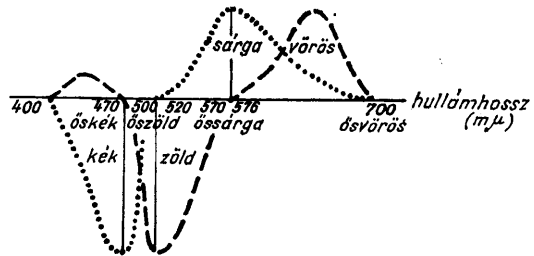
3. 575—560  $m\mu$  sárgászöld
  1. a zöld (növekvő tendenciával)
  2. a vörös (csökkenő tendenciával)
  3. a kék (minimális mértékben)
4. 560—252  $m\mu$  világoszöld
  1. a zöld (csökkenő tendenciával)
  2. a vörös (csökkenő tendenciával).
  3. a kék (560  $m\mu$ -tól erőteljesen emelkedő mértékben)
5. 525—500  $m\mu$  sötétzöld
  1. a zöld (csökkenő tendenciával)
  2. a kék (növekvő tendenciával)
  3. a vörös (csökkenő tendenciával)

#### III. 500—400 $m\mu$ .

(Az e sávon található színekben a kék aránya a legnagyobb.)

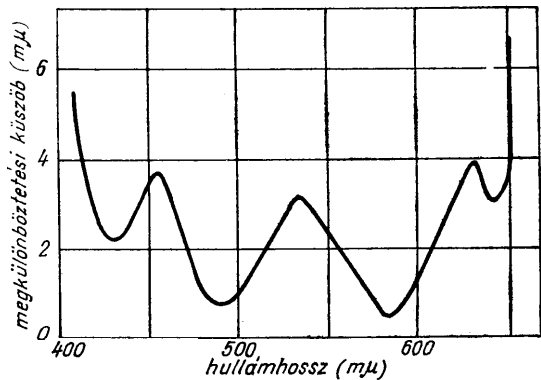
6. 497—485  $m\mu$  kékeszöld
  1. a kék (növekvő tendenciával)
  2. a zöld (csökkenő tendenciával)
  3. a vörös (növekvő tendenciával)
7. 485—450  $m\mu$  kék
  1. a kék (növekvő tendenciával)
  2. a vörös (növekvő tendenciával)
  3. a zöld (csökkenő tendenciával)
8. 450—400  $m\mu$  ibolya

Itt most csak néhány dolgot kell kiegészítőül hozzátennünk. Az egyik, hogy az említett kiemelkedő pontok akkor is előtűnnek, ha nem a háromszín-, hanem a négy szín—elméletből indulunk ki. Elég egy pillantást vetnünk Hering görbéjére, az 500 és az 570  $m\mu$  körüli szakaszok itt is kitüntetett szerepet játszanak.<sup>77</sup>



15. ábra. Hering szín-érzékelési görbéje

A másik, nem kevésbé fontos kiegészítés az ember szín-megkülönböztető képességének a spektrumon való eloszlására vonatkozik. Szemünk kb. 160 spektrumszint tud megkülönböztetni (nem beszélve most a telítettség és világosság szerinti árnyalatok tömegéről). Ez a 160 szín azonban nem egyenletesen oszlik el a színtéren: egyes tartományokban már 1  $m\mu$  hullámhossz különbséget érzékelnünk tudunk, más tartományokban csak 6-ot, végül 430-on innen és 655-ön túl egyáltalán nem teszünk különbséget. A diszkriminációs képesség görbéje Hecht szerint<sup>78</sup> a következő:



16. ábra. A szín-megkülönböztetési képesség görbéje Hecht szerint

1. a kék (csökkenő tendenciával)
2. a vörös (csökkenő tendenciával)
3. a zöld (csökkenő tendenciával)

Ezt a táblázatot azért tartom fontosnak, mert véleményem szerint ez az egyetlen reális alap annak eldöntéséhez, hogy az egyes hullámhosszúságú színeket minek nevezzük. E téren ugyanis tökéletes zűrzavar uralkodik, az egyes szerzők teljesen más és más beosztással élnek. Ha egymás mellé állítanánk ezeket, világosan szembetűnnék, hogy a színek világában szó sincsen még az intervallumoknak olyan szigorúan rögzített rendszeréről, mint a zenében. Természetesen az itt közölt táblázat sem kidolgozott, számos részletkérdésre nincs tekintettel, nem adja meg a pontos értékeket stb. Alapelveiben azonban véleményem szerint csakis ilyen alapon lehet majd a terminológiai problémákban is meggyezésre jutni.

<sup>77</sup> Tschermak-Seysenegg nyomán. I. m. 55. o. Vö. még Hering: i. m. 42. sz. 182. o.; itt a görbék leírását is olvashatjuk.

<sup>78</sup> Hofstätter nyomán, *Psychologie* Fischer Bücherei, 1957. 140. o.

Azaz: megint csak elsősorban a két legelső helyen kitüntetett sáv ugrik ki: közvetlenül  $500\text{ m}\mu$  előtt és valamivel  $560\text{ m}\mu$  után.

A harmadik kiegészítés a színek világossági fokozataira vonatkozik. Már Helmholtz (és Hering is) felfigyelt arra, hogy a világosság fogalmában két tényező egyesül. Az egyik tényező független a hullámhossztól, minden szín lehet világosabb vagy sötétebb. A másik tényező viszont a hullámhossz függvénye, ezért Hering — Hildebrand nyomán, a ma is használt kifejezéssel — specifikus, fajlagos világosságnak nevezte.<sup>79</sup> Eszerint egyes színek — a sárga tartomány — eleve világosabbak, mint a spektrumon tőle jobbra és balra eső színtartományok, a zöld, a vörös és a kék. De ez utóbbiak világossági fokozata is sort alkot, amit Helmholtz a következőképpen fejezett ki: zöld <vörös> kék.<sup>80</sup>

Helmholtz ezzel hozta kapcsolatba azt a jelenséget is, hogy a színek erősebb megvilágítás esetében nemcsak világosságban, de szín-értékben is megváltoznak. E változások irányja mindig a sárga felé tart. Az ibolya kékebb, a kék fehérebb (mert kék és sárga egyenlő fehér), a zöld és a vörös sárgább. Csak egy szín van, amely minden intenzitás esetében azonos marad: a sárga.<sup>81</sup>

Helmholtz e jelenség okát a recehártya Fechner által feltételezett „sajátfényében” látta, amely szerint a működő retina minden fényforrás nélkül nem feketét lát, hanem egyfajta sárgás árnyalatú szürkét, s aztán az egyes színeket mintegy ennek szűrőjén engedi keresztül.

Helmholtz természetesen nem azt állítja, hogy ez a sajátfény sárga. A változások irányát a „legrövidebb színsorok” rendszerén szemlélte. Így nevezi azokat a sorokat, amelyekben minden két szomszédos színt a legkisebb észrevehető különbség választ el egymástól. Ha mármost e sorokat világossági fokozatok alapján építjük fel, akkor azt tapasztaljuk, hogy az így nyert „legrövidebb színvonalak” közül csak egy alkot egyenest a szín-háromszögben. S ez az, amelyre áll, hogy  $x = y$ , vagyis kiindulópontjául az a szín szolgál, amelynek érzékelésében a vörös- és a zöld-receptor egyenlő arányban vesz részt. Ez pedig, mint az előbb láttuk, körülbelül az  $575\text{ m}\mu$  hullámhosszú sárga esetében történik meg. Ennek a színárnyalatnak legsötétebb változata a „sajátfény”, melynek az  $x = y$  sárgájáig terjedő vonalát Helmholtz a „színrendszer alapvonalának” (Principallinie des Farbensystems) nevezi.

Később Purdy pontos mérései ugyanezt az eredményt támasztották alá és egészítették ki (1931). Az intenzitás fokozásával minden szín meghatározott irányban változik, konstans szín-értékek felé törekszik, ezek: az  $571\text{ m}\mu$  sárga, az  $506\text{ m}\mu$  kékeszöld és a  $474\text{ m}\mu$  kék.<sup>82</sup> Ami más szóval azt jelentheti (és, mint később látni fogjuk, azt is jelenti), hogy nemcsak ott kapunk „legrövidebb színsort”, ahol a vörös és a zöld értéke egyenlő, hanem ott is, ahol a kék és a zöld. (A harmadik pont, a  $474\text{ m}\mu$  kék körülbelül az  $571\text{ m}\mu$  sárga kiegészítő színe, másodlagos szerepét a Purdy által közölt görbe is világosan mutatja.)

Az elmondottaknak fordítottja következik be az ún. Bezold—Brücke-jelenség esetében, tehát amikor a megvilágítást gyengítjük, vagy ha szubsztraktív keveréssel a spektrum színeihez fehéret adunk hozzá. (Az additív és szubsztraktív színkeverés különbözőségéből következik, hogy a megvilágítás fokozása, tehát több fehér fény éppen ellentétes hatású, mint a megvilágítás csökkentése

<sup>79</sup> Hering: i. m. 60. sz. 70—73. o.

<sup>80</sup> Helmholtz: *Handbuch* . . . 437. o.

<sup>81</sup> Uo. 466. o.

vagy több fehér *festék*). Ebben az esetben ugyanis az átmeneti színek fokozatosan elhalványodnak, és végül — egymástól éles vonallal elválasztva — már csak három szín marad: a vörös, a zöld és az ibolya, melyeket Bezold és Brücke ezért „pszichológiai alapszíneknek” nevezett. Magyarázatul Brücke azt hozta fel, hogy a fehér színben egy kissé mindig nagyobb a meleg színek aránya, mint a többieké.<sup>83</sup> Helmholtz viszont, nagyon helyesen, a világítás csökkentésével kapcsolta össze a magyarázatot.<sup>84</sup>

Ilyen módon tehát az intenzitás növelése, illetve csökkentése ellentétes irányú folyamatot vált ki. A fényerő növekedésekor a spektrum kitüntetett pontjai (500 és 575  $m\mu$ ) tűnnek elő, csökkenésekor viszont a két vége és a közepe. Ugyanerre az eredményre jutunk egyébként a szimultán és a szukceszív kontraszt, valamint az áthangolódás jelenségének megfigyelése során. A kontraszt a komplementaritás törvényén alapul: ha két színt együttesen vagy egymás után szemlélünk, némiképpen más árnyalatúnak érezzük őket. (Hogy a Kravkov könyvében reprodukált példát idézzük, egészen másként hat például egy sűrű zöld, vörös vagy kék alapon.) Mind a szimultán, mind a szukceszív kontraszt esetében az egyik szín megközelítőleg a kiegészítő szín irányába tolódik el. De csak megközelítőleg. Fjodorov, Jurjev, Szklarevics és Vedenszkaja kísérletei szerint a szimultán kontraszt csupán három ponton egyezik meg a komplementer színekével, a 460, az 500—510 és az 570  $m\mu$  hullámhosszak körül, a többi szín esetében általában a spektrum két vége felé tolódik el. Tehát bár indigó és a sárga komplementerek, az indigó szimultán *kontraszt-színe a narancs*, a sárgáé pedig az ibolya.<sup>85</sup> Hasonló a helyzet a szimultán kontraszt esetében, sőt — Kravkov megfigyelései szerint — itt minden esetben a vörös és az ibolya felé történő eltolódás észlelhető. A kontraszt jelensége tehát — érthetően — a csökkenő fényintenzitás törvényét követi. Az áthangolódás jelensége viszont a növekvő intenzitását. Amikor huzamosabb ideig figyelmesen nézünk egy színt, úgy érezzük, hogy árnyalata némiképp módosul: a sárga és a kékeszöld irányába tolódik el. A figyelmes szemlélés nyilvánvalóan az intenzitás növekedésével párhuzamosan hat. Kivételt képeznek a 460 és 500  $m\mu$  körüli színek, ezek változatlanok maradnak.

A szín-metrika következő, tárgyunk szempontjából fontos s az eddig érintettekkel összefüggő kérdése a színek rendjének geometriai ábrázolása. A háromszín-elmélet hívei rendszerint *háromszöget*, a négyzögméleti *négy-szöget* alkalmaznak. Kiderült azonban, hogy az ábra egyik esetben sem lehet szabályos.

Helmholtz ennek megfelelően már a legegyszerűbb (népszerűsítésre szánt) formán is az alábbi módon korrigálta a szabályos háromszöget.<sup>86</sup> (17. ábra)

Ezen az ábrán már megjelent a „fehér-pont”, amelynek segítségével szemléltethetjük a kiegészítő színek összefüggéseit. Minden komplementer színpár ugyanis a fehér-ponton átfektetett egyeneseken fekszik.

De miért kellett módosulnia a szabályos háromszög-formának? Ezt részletesen megmagyarázza a *Handbuch der Physiologischen Optik*ban. Az

<sup>82</sup> Ismerteti J. Segal: *Mechanismus des Farbensehens*. Fischer Verlag, Jena 1957. 8. o.

<sup>83</sup> Dr. Ernst Brücke: *Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe*. Verlag von S. Hirzel, Leipzig 1866. 43—49. o.

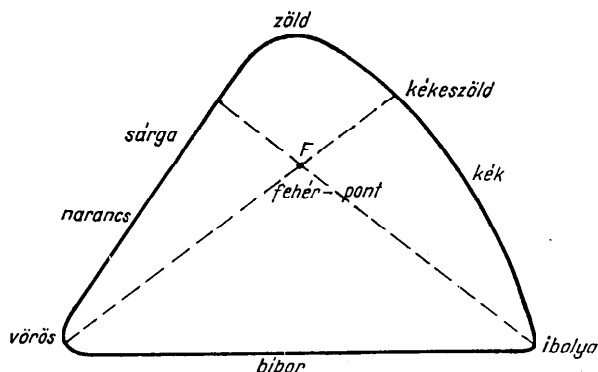
<sup>84</sup> Helmholtz: *Handbuch* . . . 469—470. o.

<sup>85</sup> Krawkow: i. m. 63. o.

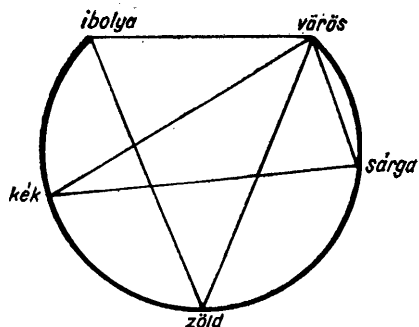
<sup>86</sup> Helmholtz: *Vorträge* . . . 306. o.

összetett színek mindig kevésbé tiszták, kevésbé telítettek, mint a tiszta spektrum-színek. Igaz, hogy a színkeverés szabályai szerint ibolyából és zöldből ki lehet keverni a kéket, de ez nem lesz a spektrum telített kékje.

E magyarázathoz a következő ábrát (18. sz.) mellékelte.<sup>87</sup>



17. ábra. Helmholtz színháromszöge



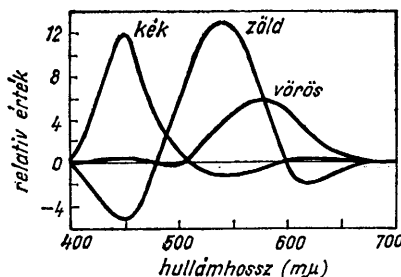
18. ábra. A szín-keverés háromszögei Helmholtz szerint

Eszerint tehát a telített kék (és a telített sárga) kívül van az ibolya-vörös-zöld háromszögön. Ami más szóval azt jelenti, hogy az ibolya és zöld keverésével előállított kék szín csak akkor lesz egyenlő a spektrum kék színével, ha a spektrumszínt vörössel felhígítjuk, vagy a háromszög oldalán fekvő ibolya-zöld keverékből vöröst kivonunk. Miután azonban ebben a keverékben nincs vörös, a vörös színre itt negatív érték adódik.<sup>88</sup>

Ha tehát a háromszöges ábrázolás mellett akarunk maradni (s a háromszín-elméletet elfogadva ezt kell tenni), akkor a telített színek görbéjét vagy a háromszögön kívül kell vezetni, mint Maxwell tette, vagy a pontos méréssel nyert görbét egy virtuális szín-pontok által meghatározott háromszögbe kell

<sup>87</sup> Helmholtz: *Handbuch* . . . 334. o.

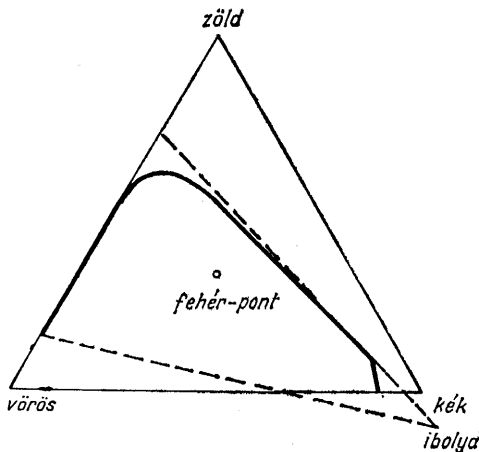
<sup>88</sup> Ez a magyarázata annak, hogy a Maxwell-féle színérzékelési görbében negatív értékek is jelentkeznek. De később is készítették színérzékelési görbét ezzel a módszerrel. Az ICI által a reális alapszínekre megadott színérzékelési görbe pl. a következő: (Evans: i. m. 112. o.)



19. ábra.

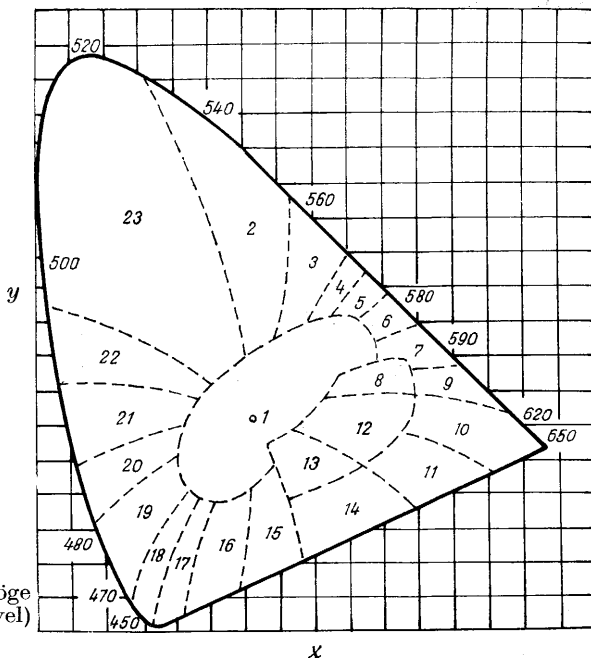
Nem nehéz belátnunk, hogy ez a megoldás szintén érintetlenül hagyja a szín-látás előbb tárgyalt szerkezetét. Sőt annyiban még szemléletesebb, hogy a vörös görbéje éppen a kékeszöld tájékán, a kéké pedig a zöld mellett a sárgászöldben kap negatív értéket, ami értékes adalék a komplementer-színek keletkezésének elméletéhez.

beírni. Ez utóbbi Koenig és Diterici megoldása, akik ennek alapján a következő általánosan használt formát kapták.<sup>89</sup>



20. ábra. A szín-háromszög Koenig és Diterici szerint

Ennél is jobbnak mutatkozott az, amikor a szín-diagrammot egyenlőszárú háromszög helyett derékszögűbe írták, ebben az esetben ugyanis egy-egy szín meghatározásához három érték helyett kettő (két koordináta) is elegendő.<sup>90</sup>



21. ábra. Az ICI színháromszöge (Evans szintértékével)

<sup>89</sup> Helmholtz: *Handbuch* . . . 40. o.

<sup>90</sup> Evans: i. m. 209. o. alapján. Evans az ábrán vázlatot ad arról is, hogy hol helyezkednek el az egyes színek. 1: fehér, 2: zöld (sárgás), 3, 4, 5: a sárga árnyalatai, 6, 7: a narancs, 9, 10: a vörös, 8, 12, 13: a rózsaszín, 11, 14: a bíbor, 15, 16: az ibolya, 17: az indigó, 18, 19: a kék, 20, 21, 22 a kékeszöld árnyalatai, 23: zöld (kékes árnyalattal). A diagramban a 3 alapszín (X, Y, Z) 2 irányt (x, y): fejez ki: X esetében x = 1, y = 0; Y esetében x = 0, y = 1; Z esetében x = 0, y = 0.

Ez a ma általánosan elfogadott „szín-diagramm”. Ezen könnyen meg lehet szerkeszteni bármely színhez a kiegészítő színét: egyenest kell vezetni belőle a fehér-ponton keresztül a túloldalra. Meg lehet szerkeszteni azokat a színhármasokat is, amelyek együttesen fehéret adnak, tehát komplementer színhármasoknak tekinthetők, ilyenek mindazok, amelyeket összekötve a kapott háromszög közrefogja a fehér-pontot.

A diagramm nem ad egyértelmű feleletet arra, hogy a három vagy a négyszín-elmélet-e a helyes. Kétségtelen, hogy a görbe a háromszög módosítása, de az is kétségtelen, hogy — az egyik csúcs lekerekítésével — a négyszöghöz tart, s ugyanúgy levezethető lenne a Hering-féle négyszögből. Négy szakaszra osztható, melyek közül egy egyenes (a bíbor színeké alul, amelyeket csak szín-érzékelésünk állít elő), kettő megközelítően egyenes (a piros-sárga és a kék vonala), s egy erősen görbült (a zöld vonala). A szembenállók (bíbor-zöld, vörös, sárga + kékeszöld, kék) komplementerek. Az is a négyszín-elmélet mellett látszik szólni, hogy ilyen módon a színek két koordinátával kifejezhetők.

Az ábra tehát, s így a szín-metrikának az ábra létrehozásában alkalmazott módszerei nem alkalmasak a három- vagy négyszín-elmélet vitájának eldöntésére. De nem alkalmasak arra sem, hogy magyarázatot adjanak a szín-látás struktúrájára. Ehhez — bár a végső szót természetesen csak a fiziológia mondhatja ki — a szín-metrikának magasabb módszerei szükségesek. E magasabb módszerek lényege a színviszonyok térbeli, éspedig nem-euklidészi térben való ábrázolása.

A magasabb szín-metrikának mindmáig Erwin Schrödinger munkája (*Grundlinien einer Theorie der Farbenmetrik im Tagessehen*) a legkiemelkedőbb összefoglalása. Csak sajnálni lehet, hogy az ott felvetett gondolatok kevés visszhangra találtak. A szín-elméleti könyvekben többnyire még csak utalást sem találunk rá, még azokban az írásokban sem, amelyek a színek fizikájával foglalkoznak. Max Born, aki Schrödinger művét a színmetrika legnagyobb teljesítményének tartja, joggal emlékezik meg keserű szavakkal erről.<sup>91</sup> (Csak újabban kerül ismét előtérbe Schrödinger munkája, olyan szerzők műveiben, mint Stiles vagy Judd.)

Schrödinger munkájának kiindulópontja a „niedere” és „höhere Farbenmetrik” vagy — Max Born kifejezésével — elemi és tiszta színgeometria szétválasztása. A különbség kritériuma módszertanilag világos. Két szín összehasonlításának (mérésének) több formája lehetséges. Schrödinger négyet sorol fel: két szín egymáshoz való viszonya a következő formákat öltheti: azonosság, nem-azonosság, a legnagyobb hasonlóság és a legnagyobb ellentét. A szín-metrika alacsonyabb foka az azonosság és nem-azonosság kategóriáival mér, csak a magasabb fokon keresi a legnagyobb hasonlóságon (tehát a legkisebb különbségen) felépülő kapcsolatok rendjét.<sup>92</sup> Ezen a különbségen azonban igen sok múlik: a magasabb szín-metrika ugyanis a színek rendjét nem-euklidészi, hanem Riemann-féle térben gondolja el.

Tanulmányának az elemi szín-geometriát tárgyaló részében Schrödinger szemmel láthatólag az összefoglalásra szorítkozik, de itt is találkozunk újszerű gondolatokkal, pregnáns megfogalmazásokkal. Ilyen például a spektrum-színek

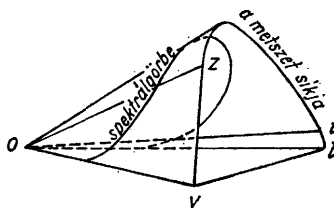
<sup>91</sup> Max Born: *Betrachtungen zur Farbentehre*. Jenaer Rundschau, 1963/6. 241. o.

<sup>92</sup> Erwin Schrödinger: *Grundlinien einer Theorie der Farbenmetrik im Tagessehen*. Annalen der Physik. Vierte Folge, Band 63. 1920. 399., 403. és 481. o. (Vö. Born: i. m. 240. o.)

dimenziószámának tárgyalása, ami éppen a három- vagy a négy szín-látás kérdését érinti. Megállapítja, hogy a dimenziók száma legalább három, de legfeljebb négy.<sup>93</sup>

Mivel azonban a spektrál-színekből, keverés útján két tőlük független szín-sort lehet létrehozni (a bíbor és a fehér színek sorát), Schrödinger amellet foglalt állást, hogy a dimenziók száma három.

Ennek következtében már az elemi szín-metrikában szükségesnek tartja a síkban való ábrázolásról a térbelire áttérni. A szokásos szín-diagram helyett „szín-kupot” alkalmaz, amelynek az ismert görbe csak metszete.<sup>94</sup>



22. ábra. A szín-kúp Schrödinger szerint

Schrödinger szín-kúpja lényegesen magasabbrendű a más színrendszerekben (Runge, Munsell) használt térbeli ábrázolásnál, szintestnél. Míg azok mellőzik a színek egymás közötti viszonyainak a szín-metrika által feltárt törvényeit, Schrödingeré éppen ezeken a törvényeken. épül. Míg azok gömböt vagy szabályos kúpot alkalmaznak (amelyeken éppen a finomabb összefüggések torzulnak el), ezen — mint a VZIL-metszetnek a szín-diagrammal azonos vonala mutatja — éppen ezek az összefüggések maradnak épek.

Az egyes színek tulajdonságait a szín-kúpon a *vektor-számítás* módszereivel lehet meghatározni. Minden pontot két tényező jellemez: a 0 ponthoz viszonyított iránya és a tőle való távolsága. A színek valamennyi tulajdonsága e két adattal meghatározható.<sup>95</sup>

A szín hullámhossz szerinti értékét az irány adja meg. A spektrum-színek (valamint a bíbor) iránya a 0-ponttól a spektrális görbe megfelelő pontjára mutat, a fehér színé viszont a VZIL-metszeten elhelyezhető fehér-pont felé.

Az intenzitás mértéke a vektor hossza. Mivel a spektrum-görbe egyes pontjai különböző távolságra vannak a 0-ponttól, jól leolvasható az egyes színek „fajlagos világossága” is. Ha a fehér irányában haladunk előre, a vektor hossza szabja meg, hogy a feketétől (0-pont) a fehérig a szürke-skála mely pontjára érkeztünk el. Ennek következtében a telítettség meghatározásához mindkét tényezőt fel kell használnunk. A vektor iránya jelzi a tiszta színtől a szürke-skála irányába való eltérést, a vektor hossza a konkrét fekete-fehér tartalmat.

<sup>93</sup> Uo. 421. o.

<sup>94</sup> Uo. 428. o.

<sup>95</sup> Az a törekvés, hogy a szín valamennyi tulajdonságát két tényezőre vezessük vissza, egyébként nem új. Megtaláljuk már Heringnek a színkeverés newtoni törvényeiről írt tanulmányában, ahol — az egyes színeket síkrendszereken ábrázolva — szintén az irányt és a hosszúságot jelzi alapvető tulajdonságnak. (Hering: i. m. 48. sz. 179. o.) De erre törekszik Grassmann is. Itt három tényezőt vesz fel: a szín hullámhosszát (Farbenton), intenzitását és a hozzákevert fehér intenzitását. Tehát minden konkrét szín különböző hullámhosszú (alapszín + a hozzákevert „fehér”) színek összege, jellemzésükre az egyes rész-színek hullámhosszának (irányának) és intenzitásának együttes adataira van szükség.

A magasabb, mint hozzáteszi, a „tulajdonképpeni szín-metrika” kiindulópontja a legnagyobb hasonlóság (azaz a legkisebb érzékelhető különbség) keresése. Mint mondtuk, Schrödinger szerint ehhez már nem elégséges a színek rendjének euklidészi térben való ábrázolása, itt kifejezetten nem-euklidészi, riemann-i térre vonatkoztatva kell a számításokat elvégeznünk.<sup>96</sup>

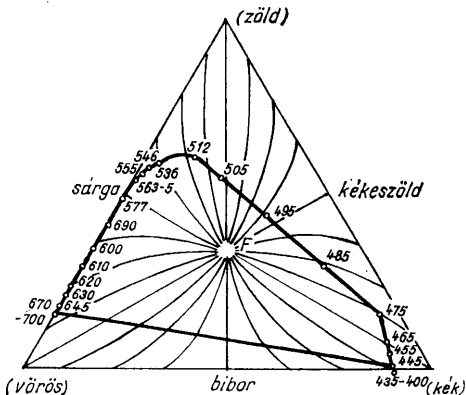
Ez természetesen a közvetlen szemléletességgel szemben a matematikai értelmezés szerepét húzza alá. (Mint Judd írja ezzel kapcsolatban,  $n$  dimenziójú Riemann-teret csak  $n(n+1)/2$  dimenziójú euklidészi térben lehet kifejezni, tehát valóságos szín-viszonyokat elvileg nem lehet a szokásos diagramokban adekvát módon kifejezni.<sup>97</sup>)

Nem térhetünk most ki az ebből adódó összes következtetésekre, ezek értékelése és feldolgozása már fizikai szakkérdés. Most tárgyunk szempontjából azt kell kiemelnünk, hogy az egymástól éppen csak hogy megkülönböztethető színek egymás után következő sora nem (vagy csak kivételesen) alkot egyenest, az őket összekötő legrövidebb vonalak a Riemann-geometria értelmében „geodetikus vonalaknak” tekinthetők.<sup>98</sup> (Mindenekelőtt olyan logaritmikusan spirál-  
lokna, melyek aszimptotikus pontja 0.)<sup>99</sup>

Schrödinger felfogása itt Helmholtzhoz vezet vissza, akinek a „legrövidebb színsorokról” szóló elgondolásait már ismertettük. (Jellemző, hogy Helmholtz könyvének e részét értetlen utódai a későbbi kiadásokból kihagyták. Schrödinger ezen az úton haladt tovább. Foglalkozott azokkal a sorokkal is, melyeket a megvilágítás mértékének legkisebb megváltozásával vagy a fehér szín fokozatos hozzáadásával nyerünk.

Ennek alapján a következőkben adta meg azoknak a geodetikus vonalaknak a vázát, amelyek a szín-háromszögben a fehér-ponton keresztül fektetett azonos világosságú vonalakat kötik össze.<sup>100</sup>

Láthatjuk, hogy a vonalak közül csak azok egyenesek, amelyeket az alapszínek és ellenszínek között húzhatunk, csak ezekben az esetekben marad



23. ábra. A szín-háromszög geodetikus vonalai Schrödinger szerint

<sup>96</sup> Schrödinger: i. m. 483–486. o., Max Born: i. m. 241. o.

<sup>97</sup> Deane B. Judd–Günter Wyszecki: *Color in B*

John Wiley and Sons, New York and London 1963. 308–309. o.

<sup>98</sup> Schrödinger: i. m. 485. o.

<sup>99</sup> Uo. 506. o.

<sup>100</sup> Uo. 515. o.

a szín-érték a fehérrel való fehéjítés után is változatlan. Ezzel továbbfejlesztette a Helmholtz elméletét a „legrövidebb színsorokról”, s egyben magyarázatát adta a Bezold-Brücke-jelenségnek is.

Schrödinger emellett úgy találja, hogy a színeknek nemcsak fajlagos világosságuk, hanem fajlagos telítettségük is van, s ez az előzőnek éppen fordítottja. Ha vörös színhez fehérrel keverünk, azért látszik sárgás árnyalatúnak, mert a sárga a legteltettebb szín.<sup>101</sup> A fajlagos világosság és fajlagos telítettség, mint egy másik munkájában érdekesen kifejti, éppen ellentétes irányú.<sup>102</sup> Ezzel szín-érték, világosság és telítettség összefüggő rendszerre kapcsolódik egybe.

A szín-látás szerkezetére vonatkozólag mindez csak megerősíti az eddig elmondottakat. Ismét ugyanazokat a színeket, szín-sávokat találjuk kitüntetett helyzetben, mint korábban: az egyenesek 577, 505 és 494  $m\mu$  körül metszik a szín-diagramot. A magasabb szín-metrika nem törölte el ezeknek a pontoknak a kiemelt helyzetét, hanem csak értelmezte őket egy egységes koncepció keretében.

Schrödinger szín-elméleti munkásságának nagy érdeme, hogy az itt vázolt elvek alapján *matematikailag megoldotta a két-három-négy szín-elmélet problémáját*. Ezt 1925-ben megjelent munkájában (*Über das Verhältnis der Vierfarben- zur Dreifarben-theorie*) fejtette ki.

Schrödinger itt a következőkből indul ki: „Az elmélet Kries-féle értelmezése számomra nagyon nagy valószínűséggel bír. Amit azonban a következőkben kifejtek, az teljesen független a látási folyamat fiziológiai hordozójának e mély felfogásától. Arról az egyszerű megállapításról van szó, hogy a három- és a négy szín-elmélet közötti kapcsolat tisztán formális, és rendkívül egyszerűen felfogható a változók pusztán transzformációjának.”<sup>103</sup>

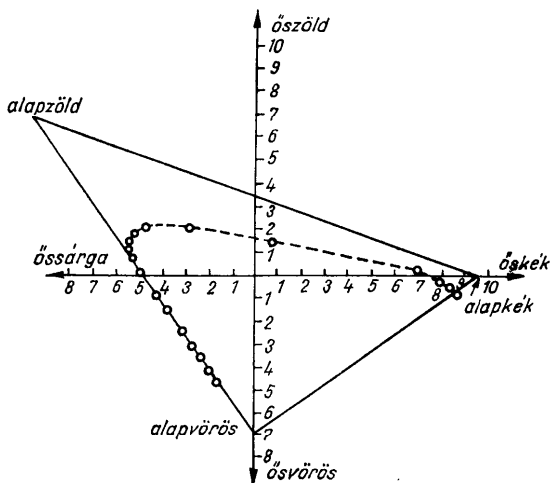
S ezt a felfogást matematikai számításokkal ragyogóan bizonyítja. Elegendő egy pillantást vetnünk az általa közölt ábrára,<sup>104</sup> hogy lássuk, milyen nyilvánvalóan igaza van: pusztán szemlélet és kiindulópont kérdése, hogy a színdiagramot három vagy négy (vagy — mivel mindkettő két koordinátával ábrázolható — két) irányban kiterjedtnek fogjuk-e fel. S az is nyilvánvaló, hogy a Helmholtz- és a Hering-elmélet két alapszínben (vörös és kék) körülbelül megegyezik, csak abban különböznek, hogy míg Helmholtz egyfajta középzöldet vesz fel harmadikul, Hering ezt két összetevőre bontja, sárgára és „ős-zöld” néven egy a kékeszöldhöz közelálló zöldre.

<sup>101</sup> Uo. 514. o. Ez a felfogás egyébként általánossá vált. Az *Encyclopaedic Dictionary of Physics* is hangoztatja, hogy 560 — 580  $m\mu$  közt a legalacsonyabb a színek telítettsége.

<sup>102</sup> Erwin Schrödinger: *Theorie der Pigmente von grösster Leuchtkraft*. *Annalen der Physik*. 62, 603, 1920, 603 — 622. o. Itt azt kérdezi, hogyan érheti el egy pigment a spektrális telítettséget. Miután két különböző hullámhosszú fény keveréke mindig világosabb is, mint a két összetevő, csak akkor, ha egyetlen hullámhosszt reprezentál. Ebben az esetben azonban éppen feketét kell látnunk, mert a test egy szín kivételével az összeset visszaveri. A spektrális telítettség tehát csak elenyésző világosság esetében érhető el. A továbbiakban ennek alapján vizsgálja a pigmentek telítettségét.

<sup>103</sup> Erwin Schrödinger: *Über das Verhältnis der Vierfarben zur Dreifarben-theorie*. *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien. Abteilung II. a.* 134. Band. 1925. 472. o.

<sup>104</sup> Uo. 482. o. Az egyszerűség kedvéért kihagytuk ebből az ábrából az „Alychne”-vonalat, amely „az elenyésző világosságú színek geometriai helye”. Ez nagy szerepet játszik Schrödinger bizonyításában, de számunkra most nem tartalmaz fontos új elemet.



24. ábra. A helmholtzi „alapszínek” elhelyezése a heringi „ős-színek” koordinátarendszerében Schrödinger szerint

Azt lehet tehát mondani, hogy Schrödinger matematikai szempontból egyszer s mindenkorra „elintézte” a két-három-négyszín-elméletet. Csak sajnálni lehet, hogy eredményei nem találtak kellő visszhangra. Még a színelmélettel foglalkozó fizikusok körében sem, Pascual Jordan (aki pedig, azt lehetne mondani, „szakátarsa” Schrödingernek) 1947-es színelméleti cikkében egyoldalúan a háromszín-elmélet álláspontjára helyezkedik, s egyszerűen félrevezetőnek nevezi a Hering-féle felfogást.<sup>105</sup>

Igaz, hogy Schrödinger nem tudta álláspontját fiziológiailag igazolni, de, mint később majd látni fogjuk, az újabb kutatások ezen a téren is lényegében Schrödinger koncepciójához vezetnek vissza.

### Újabb kísérletek

Nem lenne teljes a szín-metrika fejlődéséről kapott képünk, ha nem foglalkozna a legújabb kísérletek eredményeivel is. Elsősorban természetesen Edwin H. Land újszerű vizsgálódásaival.<sup>106</sup>

Land színes objektumokat fotografált le fekete-fehér filmre, egyszer vörös, másszor zöld szűrővel. A negatívokon színek természetesen nem látszóttak, de a szűrő következtében a különböző színű felületek egymástól mégis különböztek, legalábbis a viágossági skála más fokán helyezkedtek el. Ezután a negatívokat egymásra helyezte és két különböző színű fénysugárral átvilágította őket. A meglepő eredmény: az így nyert képen megjelent a teljes színskála, még abban az esetben is, ha a két sugár egymáshoz igen közelfekvő sárga volt (579 és 599 m $\mu$ ) Land hangsúlyozta, hogy nem akar a háromszín-elmélettel szemben egy új „kétszín-teóriát” felállítani, de megkockáztatta azt a feltevést,

<sup>105</sup> P. Jordan: *Zur Biophysik des Farbensehens. Optik*, Band 2. Heft 3. 1947. 171. o. Jordan egyébként a három alapszínét úgy határozza meg, hogy a vöröset és a kékét a spektrum két szélére, a zöldet pedig a közepére helyezi.

<sup>106</sup> Edwin H. Land: *Experiments in color vision*. Scientific American, 1959. May. 1–14. o.

hogy a színlátás voltaképpen „rövidebb és hosszabb hullámhosszú fények összevetésén alapul”. Hogy pontosan kettőn, azt nem mondja határozottan, mert elismeri, hogy hárommal pontosabb a látás, mint kettővel, de még pontosabb négy vagy öt alapszínnel. Mindenesetre megfelelő feltételek mellett már *kettő is elegendő* csaknem a teljes színkép létrehozására.

Hasonlít ehhez M. H. Wilson kísérlete is, amelyet Max Born is említ.<sup>107</sup> Wilson egy ismert Van Gogh-képet fényképezett le három fekete-fehér negatívra, aztán egy-egy részüket tussal elsötétítette, minden negatívon más színeket. Majd a három képet háromféle kék (világos, halvány zöldes és mély sötétkék) szűrőn keresztül egymásra vetítette. Eredményképpen itt is megjelentek a kép sárga, barna, zöld és vörös foltjai.

Véleményem szerint ezek a kísérletek valóban nem adnak alapot egy kétszín-teória felállítására (bár többen, Land óvása ellenére, ezt a következtetést vonják le belőlük). Nem szabad ugyanis megfedkezünk arról, hogy még Land kísérletében sem két szín szerepel csak, hanem két különböző színű szűrővel készített kép is. Ezeket nem tekinthetjük egyszerűen színteleneknek, mert egyes sajátosságaik (a foltok tónusa, világossága, „sűrűsége”) ok-okozati összefüggésben állnak azzal, hogy a szűrő milyen színeket engedett át, milyen színeket nyelt el. Éppen a szín-méréstan eredményei mutatják ugyanis, hogy összefüggés van a színek hullámhossza, valamint világosságuk és telítettségük között, ez utóbbi sajátosságok pedig a fekete-fehér képen is megjelennek. Ezért tapasztalhatjuk, hogy fekete-fehér képen is gyakran meg tudjuk „becsülni” egy-egy folt színét, éspedig nemcsak azokét, amelyek eleve adva vannak (fa, ég stb.). Faber Birren szín-pszichológiai könyvének<sup>108</sup> első oldalain például négy fénykép-illusztrációt találunk, négy különböző falfelületet fekete-fehérre fényképezve. Sokaknak megmutattam a képeket, és a színt a fekete-fehér képekről is általában helyesen ismerték fel. Szűrővel készített fekete-fehér kép tehát már eleve úgy tekinthető, mint egy színes „szöveg”, „színtelen” nyelvre való fordítása, mely fordítás kétségtelenül tartalmaz információkat a színekre vonatkozóan is. Amikor kétféle színnel átvilágítják, ezt a szöveget voltaképpen „visszafordítjuk” az eredeti nyelvre. A teljes színképet azonban semmi esetre sem két színből kapjuk meg, hanem két (esetleg egymáshoz közelfekvő) színből + kétféle színszűrővel készített fekete-fehér képből. Ez legalábbis három dimenzió. Land maga is kimutatja, hogy két színből sohasem kapjuk meg a teljes szín-skálát, a közölt esetben (kétféle sárga, piros és zöld színszűrő) például a bíbor hiányzik.

(Itt jegyzem meg, hogy hasonló a helyzet J. Walraven kísérleteinek azon eredményével is, amelyek szerint minden szín a világosság és sötétség egymásra hatásából keletkezik.<sup>109</sup> Walraven — Goethe és Hegel felfogásának kései utódaként — „homályos” közeget keresztül vetített fényt és sötétet (tehát különböző intenzitású fényt), s eredményképpen megkapta a tarka színeket. Szerinte ebből az következik, hogy „a színkép keletkezését a világosság és sötétség egymásrahatásaként magyarázhatjuk meg. Ez a színek létrejöttének keletkezésében levő új elmélete.” Walraven szól arról, hogy az egyes zavaros anyagokat az különbözteti meg egymástól, hogy különböző mértékben engedik át a fényt, csak arról fededkezik meg, hogy különböző hullámhosszú fényeket engednek át, akkor lát tehát vöröset, ha a zavaros anyag a többi színt elnyeli.)

<sup>107</sup> Max Born: i. m. 242—243. o.

<sup>108</sup> Faber Birren: *Color Psychology and Color Therapy*. New York 1961.

A Land-féle kísérlet legelgondolkoztatóbb eredménye ezért, nézetem szerint inkább a viszonyítás problémájának előtérbe állításában van. A háromszín-elmélet is úgy tekintette az egyes színeket, mint a három alapszín különböző „viszonyát”, de nem zárta ki annak a lehetőségét, hogy *egyetlen* színt érzékeljünk (az alpingerek megfelelő arányában). A viszony fogalmának ebben az új értelmezésében azonban, azt kell modanunk, „egyetlen szín” sincs. (Kissé hasonlóképpen ahhoz, ahogy a nyugalomban levő szem nem lát — bebizonyosodott, hogy a szemünk szüntelenül „letapogatja”, egymáshoz viszonyítja a tárgyakat, ha ez a viszonyítás megszűnik, látás nem jön létre.) Színlátás csak akkor keletkezik, ha két vagy több színt összehasonlítunk. Ebben az értelemben nem az alapszínek száma válik fontossá, hanem maga a viszonyítás ténye.

Land közöl egy táblázatot is, amelyből újabb adatokat kapunk a színlátás struktúrájára vonatkozólag is. Ezek szerint, ha mindkét szín 430  $m\mu$  alatt van, csak az ibolya színeket látjuk, ha mindkettő kb. 500  $m\mu$  alatt van, akkor csak a hideg színeket, ha 500 és 575  $m\mu$  között vannak, akkor nem látjuk a spektrum két végének színeit, a vöröset és a narancsot, illetve a kéket és a bíbort. A tágabb határt kb. az 575  $m\mu$  jelenti, a vörös színt ugyanis csak akkor látjuk, ha legalább az egyik szín e fölött van. Az 575—620-ig terjedő tartomány viszont kitüntetett helyzetben van; ha mindkét színt ebből választjuk, akkor megkapjuk az egész színskálát — a bíbor kivételével. Végül, ha mindkét szín 620  $m\mu$  fölött van, csak a vörös színek tűnnek elő.

A Land-féle kép tehát a szín-látás struktúrája szempontjából nem ad lényegesen újat: körülbelül ugyanazokat a határpontokat emeli ki, amelyek más összefüggésben is kitüntetett helyzetben levőknek mutatkoztak.

### Szín-rendszerek

A szigorúan vett szín-metrikától el kell választanunk azokat a törekvéseket, amelyek, részben persze a szín-mérés alapján, de nem elsősorban elméleti-hanem gyakorlati (vagy esztétikai) szempontból akarják megadni a színek rendszerét. Nem lenne most érdemes valamennyi ilyen rendszert sorra venni, hiszen számuk igen nagy, igen sok szerző próbálkozott már meg a színek leg-tetszetősebb rendjének felállításával. Csak a három legismertebb rendszert lesz szükséges ez alkalommal említünk: az Ostwald-, a Munsell- és a Johannson-féle színrendszert.

Az Ostwald-féle elsősorban német nyelvterületen terjedt el, s nálunk is általánosan használják. A magyar nyelven hozzáférhető irodalom (Walter Ernő és Novák László 1927-ben kiadott kis könyvétől kezdve Hruska Rudolf általános szintánán át a most megjelent színdinamikai bevezetésig)<sup>110</sup> ezt fogadja el.

Ostwald a színeket különböző nagyságú színekörökbe rendezte, külön-

<sup>109</sup> J. Walraven: *A művész mint fizikus és a fizikus mint művész Internationale Farbtagung, Luzern 1965. Vorabdruck aus dem Tagungsbericht.* Vom Autor nicht geprüft. (Magyar fordítás.)

<sup>110</sup> Walter Ernő—Novák László: *A színek világa.* Világosság Kiadó, Bp. 1927., Hruska Rudolf: *Általános szintan és szín-mérés.* Közgazdasági és jogi könyvkiadó, 1956., Bálint—Hruska—Murányi—Sebestyén: *Bevezetés a színdinamikába.* Tánácsics Kiadó, Bp. 1966.

böző számú színekkel. A legkisebb, a 8 tagú, a következő komplementer szín-párokból áll:<sup>111</sup>

sárga	arany-sárga	vörös	ibolya
búzakék	jégekék	hidegzöld	melegzöld

Ennél is használatosabb a 12 fokú színekör, itt a fokok száma a zene skála 12 félhangjával is analógiába hozható. Beosztása (szintén komplementer-páronként) a következő:

1. kénsárga 573,2 m $\mu$	2. arany-sárga 579,5 m $\mu$	3. narancs 603,5 m $\mu$	4. cinóber 700 m $\mu$	5. kármin <sup>112</sup> —512,8 m $\mu$	6. bíbor —550,5 m $\mu$
7. ultramarinkék 464, 7 m $\mu$	8. ciánkék 479,1 m $\mu$	9. zöldeskék 490 m $\mu$	10. tengerzöld 493,9 m $\mu$	11. fűzöld 512,8 m $\mu$	12. lombzöld 550,5 m $\mu$

Ezenkívül Ostwald összeállított egy 24 fokú és egy 100 fokú színekört is. A tiszta színek sora mellett elkészítette a fekete–szürke–fehér sort — eredetileg 24 fokkal, ezt később 8-ra csökkentette. A sor tagjai „fehér- és fekete-tartalmukban” különböznek egymástól. Ostwald—Hering nyomán — ezt használja a telítettség és a világosság mérésére — értelmezésében a fehértartalom növekedése a telítettség csökkenését, a feketetartalom növekedése viszont a világosság csökkenését vonja maga után. Ilyen értelemben a telítettség és világosság ellentett jellegűnek bizonyul, amit azonban módosít az, hogy egy színnek egyszerre is lehet fekete- és fehértartalma (s ekkor a tompa színeket kapjuk). Összefüggésüket a következő képlet fejezi ki:  $r + w + s = 100$ , ahol  $r$  (reine Farbe) jelenti a tiszta színt,  $w$  (weiss) a fehértartalmat,  $s$  (schwarz) a fekete-tartalmat.<sup>113</sup> Az Ostwald-féle „színtest” két, alapjával egymásnak fordított kúp, alapjának területén található a telített színek, a tengelyen a fekete-fehér sor, alsó csúcán a fekete-, felső csúcán a fehér-pont.

E rendszer legfőbb előnye bizonyos gyakorlati használhatóságában van. Azt az igényt azonban, hogy „meghozza a fogalmi precizitást is a színek dolgában”,<sup>114</sup> éppen nem teljesíti. Egyrészt azért, mert semmi újat nem ad a szín-metrika addigi eljárásaihoz, legfeljebb bizonyos dolgokat másképpen nevezett el. Erre Erwin Schrödinger mutatott rá a *Physikalische Zeitschrift* 1925-ös évfolyamában, egy Ostwaldot dicsőítő cikkre válaszolva<sup>115</sup> Másrészt pedig azért, mert a színekör összeállítása végül is önkényes marad. Az egyes színek kiválasztása nem követ sem fizikai, sem matematikai, sem pszichológiai (szín-érzet szerinti) rendet. Nincs fizikai rend, nem tükröződnek a színeknek azok a viszonyai, amelyet a szín-metrika kimutatott és ábrázolt. Nincs matematikai rend, az egymás után következő színek intervallumában nem érvényesül semmilyen közös elv. De nem felel meg az érzet szerinti rendnek sem,

<sup>111</sup> Wilhelm Ostwald: *Die Farbenfibel*. Anesma, Leipzig 1917. 20. o.

<sup>112</sup> A spektrumon nem található — tehát meghatározott hullámhosszal nem rendelkező — bíbor-színeket kiegészítő színük hullámhosszával jelöljük, negatív értékkel.

<sup>113</sup> Ostwald: i. m. 28. o.

<sup>114</sup> Walter — Novák: i. m. 15. o.

<sup>115</sup> Tadeusz Oryng: *Über die physikalische Definition der bunten Körperfarben*. *Physikalische Zeitschrift*. S. Hirzel Verlag, Leipzig, XXVI. 1925. 185—187. o., E. Schrödinger: *Über Farbmessung*. Uo. 349—352. o. Schrödinger többek között így nyilatkozik: „Minden valóságapot nélkülöz és mégis újra felmerül az az állítás, hogy először Ostwald találta fel a szín-mérés kísérleti módszerét . . .” (350. o.)

az egyes színeket nem érezzük egymástól egyenlő távolságban állónak. Még önkényesebb az, ahogy az egyes színek harmónia-törvényeit meghatározza. A 24-es körön például nemcsak minden 12. szín (a kiegészítő színek) harmonikusak, hanem minden 3., 4., 6., 8. és 9. is. Ostwald itt a harmónia-törvények rendjét már filozófiailag is meg akarja alapozni, de éppen itt bizonyosodik be, mennyire igaza volt Leninnek, amikor „igen nagy vegyésznek és igen zavaros fejű filozófusnak” nevezte.<sup>116</sup> Az Ostwald-féle színrendszer mindennek következtében nem alkalmas arra, hogy a színek esztétikai kapcsolatainak (harmónia- és diszsonancia-viszonyaiknak) felmérésére kiindulópontul használjuk fel.

Körülbelül ugyanezt tudjuk mondani a Munsell-rendszeréről is, amely különösen az angolszász nyelvterületen terjedt el. Munsell térbeli ábrázolásból indult ki, „szín-fája” többé-kevésbé az Ostwald-féle „színtesttel” azonos.<sup>117</sup> A különbség annyi, hogy Munsell alapköre tíz fokú (s öt színre, a vörösre, bíborra, kékre, zöldre, sárgára vezethető vissza).

Az előzőkkel ellentétben határozottan fiziológiai alapra helyezkedik a Hering—Johannson-féle „természetes színrendszer”. Mint neve is mutatja alapja Hering négyszín-elmélete. Az 1965-ben Luzernben tartott *Internationale Farbtagung* alkalmából több előadás is foglalkozott a „svéd szín-iskola” eredményeivel, így mindenekelőtt Sven Hesselgren, Anders Hard, Gunnar Tonnquist és Herbert Weise.<sup>118</sup>

Az előadások alapján azt mondhatjuk, hogy a svéd szín-iskola tárgyunk szempontjából nem sok újat ad az eddigi rendszerekhez. A legmodernebb (1952), a Hesselgren-féle szín-atlasz, körbe rendezi a tiszta színeket, a szemben állók komplementerek, s a két fő tengelyen a Hering-féle négyes — a sárga-kék és a vörös- (bíbor-)zöld — szín pár helyezkedik el. Újat jelent azonban hogy az egyes színek egymástól való távolságának kimérésére el akarják kerülni az Ostwaldnál és Munsellnél egyaránt fellelhető önkényt, és elvi alapot keresnek. Ezt az egyenlő és arányos távolság megkülönböztetésében találják meg.<sup>119</sup> E kettő voltaképpen az Arkhütásznál a zenei skálára alkalmazott aritmetikai és geometriai középnek felel meg. (Az egyenlő intervallum képlete Hard szerint  $C_3 - C_2 = C_2 - C_1$  — konstans, az arányos (szimmetrikus) intervallumé pedig  $\frac{C_3}{C_2} = \frac{C_2}{C_1}$  = konstans.)

Úgy tűnik tehát, hogy itt a zenei skálával való összehasonlítás lehetősége is megnyílik. A rendszernek azonban éppen az a hibája, hogy a szín-látás struktúrájának már tárgyalt sajátosságairól nem vesz tudomást (így például a komplementer színek képletben is kifejezhető összefüggéséről, amely ellent-

<sup>116</sup> Lenin: i. m. 153. o.

<sup>117</sup> Vö. Evans: i. m. 215—218. o.

<sup>118</sup> Sven Hesselgren: *Phenomenology in General and as Method Research in the Field of Colour.*, Anders Hard: *Philosophy of the Hering—Johannson Natural Colour System.*, Gunnar Tonnquist: *A Comparison Between Symmetrical and Equi—Spaced Hue—Circles.*, Herbert Weise: *Vergleich dreier skandinavischer Farbsysteme mit dem der DIN—FARBENKARTE. Internationale Farbtagung, Luzern 1965.* — Meg kell azonban jegyezni, hogy a címek ne tévesszenek meg bennünket, a következőket. A filozófia és fenomenológia megjelölés egyáltalán nem jelent a szó tulajdonképpen értelmében filozófiát és fenomenológiát. A színek filozófiájában például arról van szó, hogy milyen elvek (szín-érték, világosság, telítettség, erő, tisztaság stb.) szerint lehet sorba állítani a színeket, a filozófia itt — az angol nyelvterületen szokásos gyakorlat szerint — egyszerűen elméleti megközelítést jelent.

<sup>119</sup> Hard: i. m. 4. o., Tonnquist: i. m. 6. o.

mond mind az egyenlő, mind az arányos összefüggés elvének — vagy legalábbis bonyolultabb összefüggést feltételez). Az arányos intervallum elvét nem is sikerül teljesen megvalósítania. Hesselgren atlaszában például éppen a vörös-kék távolság nem arányos a többi alapvető intervallummal (vörös-sárga, sárga-zöld, zöld-kék), ezért éppen a vörös és kék között több színt vesz fel, mint a többi szakaszon, márpedig ez a szín-érzékenység ismertetett görbéje alapján semmiképpen sem indokolt.

Összefoglalva tehát: a gyakorlati és „filozófiai” alapon létrejött színrendszerek egyelőre nem bizonyultak alkalmasnak a színek „fogalmi percizítással” kidolgozott, tehát az esztétikai vizsgálat számára is megfelelő rendjének megteremtésére.<sup>120</sup>

### A szín-látás fiziológiája

A felvetett kérdésekre a szín-látás fiziológiájának kell választ adnia. A végleges kép azonban még itt sem alakult ki. Ma is érvényesek még Piéron 1938-ban mondott szavai: „Eddig még nem állítottak fel olyan rendszert, amely képes lenne a szín-látást ellentmondások nélkül megmagyarázni.”<sup>121</sup> Bartley a *Handbook of Neurophysiology*-ban a szín-látásáról adott összefoglalásában csakúgy inkább kérdéseket sorol fel,<sup>122</sup> mint Ditchburn az 1959-es *Thomas Young Oration*-jében.<sup>123</sup> A legkitünőbb szakemberek is óvakodnak tehát attól, hogy az adatokat a véglegesség igényével foglalják rendszerbe. Mégis, éppen az utóbbi évtizedekben, sok olyan eredményt értek el, amelyek közelebb visznek a megoldáshoz.

Ragaszkodva eredeti kérdésfeltevésünkhöz, az újabb eredményeket abból a szempontból próbáljuk meg sorra venni, hogy milyen következtetéseket lehet levonni belőlük a szín-látás struktúrájára vonatkozóan. Melyek igazolják tehát a kettős, melyek a hármas és melyek a négyes elméletet.

Kezdjük a sort a **KETTŐS LÁTÁS ELMÉLETÉVEL**. Igaz, ezt egységes teóriává összefoglalva csak ritkán alkalmazták a színlátásra, egyes új eredmények alapján azonban mégis fokozottabban számolnunk kell vele.

Mint említettük, a nappali és az éjszakai látás színérzékenységi görbéi a spektrum széleiig terjednek, maximumaik pedig az 560 és az 500  $m\mu$  körüli hullámhosszú zöldessárgában, illetve kékeszöldben vannak. Ez a tény már csak azért is figyelemreméltó, mert hiszen láttuk, milyen nagy szerepük van e sávoknak a szín-látás struktúrájában. Még inkább figyelmet érdemel, ha a szín-látás kémiájával vetjük össze. Vajon találunk-e az ideghártyán olyan elemeket, amelyek érzékenysége megegyezik a nappali és az éjszakai látásával?

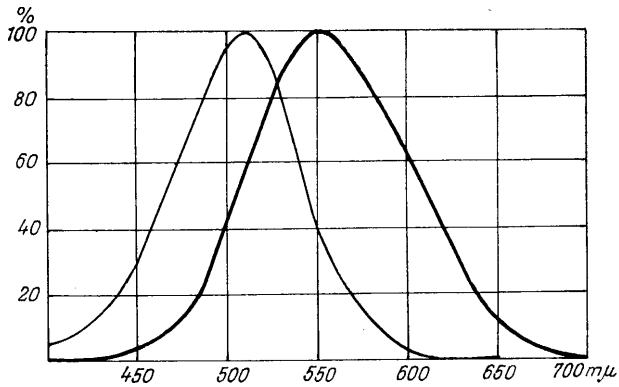
A legelőször felfedezett fotopigment, a pálcikák rhodopsinja eleget tesz ennek a követelménynek. Fényelnyelési görbéje szinte százszázalékosan megegye-

<sup>120</sup> Csak a három legjelentékenyebb rendszerrel foglalkoztunk. Ezenkívül még sokféle van, Judd és Wyszecki könyve például hetven oldalon sorolja őket, a legegyszerűbbektől az olyan összetettekig, mint a Regular Rhombohedral Lattice Sampling of Object-Color Space, amely 12, a középponttól térben egyforma távolságra levő pontra rajzolja fel az alapszíneket.

<sup>121</sup> Idézi J. Segal: i. m IX. o.

<sup>122</sup> Howard Bartley: *Central Mechanism of Vision. Handbook of Neurophysiology*. Chapter XXX. 738. o.

<sup>123</sup> R. W. Ditchburn: *20th Thomas Young Oration*. Delivered before the Society on 12th November 1959. 78. o.



25. ábra. Az éjszakai (baloldalt) és a nappali (jobbaldalt) látás színérzékenységi görbéje

zik az éjszakai látásával. Fényelnyelési maximumát Granit,<sup>124</sup> valamint Crescitelli és Dartnall<sup>125</sup> egyaránt 497  $m\mu$ -ra teszi. Legutóbb Wald és Brown pontos mérésekkel mutatta ki, hogy szilárd állapotban 493  $m\mu$  az elnyelési maximuma. Oldatban azonban a színek vörös oldala felé tolódik el, s egyben receptív mezeje is elkeskenyedik.<sup>126</sup>

Lényeges előrehaladás következett be a látás kémiai folyamatának megismerésében is. Wald — akinek nagy része van e tudományág fejlődésében — a *Handbook of Neurophysiology* első kötetében összefoglalja az eddigi adatokat: „Négy látópigmentet ismerünk: s rhodopsint és a porphyropsint a pálcikákban, valamint a jodopsint és cyanopsint a csapokban. Mindegyiknek azonos a felépítése. Valamennyien caretenoid proteinok — tehát olyan proteinok, amelyek caretenoid chromophorokat hordoznak és ennek alapján szín-érzékenységgel bírnak.”<sup>127</sup> A fényérzékenység alapanyaga az opsin, a látópigment a a fény hatására opsinra és retinene-re oszlik. Újrafelépüléséhez A vitamin kell, amely az opsinnel egyesülve újraterelemli a fényérzékeny anyagot.<sup>128</sup>

(Ennél mélyebbre egyelőre nem hatolt a kutatás. A biológiai szféránál mélyebben, a kvantumfizika szférájában egyelőre főleg azzal a problémával foglalkoztak, hogy hány kvantum szükséges a fényérzékelés létrejöttéhez. Erről most csak e kérdés legjobb szakértőinek, Pirrenne-nek és Mariottnak összefoglalását idézhetjük: „a vizuális receptorok fotokémikus reakcióinak részletei ma még nincsenek tisztázva”.<sup>129</sup>

A négy alapvető pigment szabályos rendet alkot: rhodopsin és jodopsin esetében retinene<sub>1</sub> szerepel a folyamatban, porphyropsin és cyanopsin esetében

<sup>124</sup> Ragnar Granit: *Receptors and Sensory Perception*. Yale University Press, New Haven 1955. 124. o.

<sup>125</sup> Idézi George Wald — Paul K. Brown: *Human Rhodopsin*. Science, January 31. 1958. Volume 127. No. 3292. 225. o.

<sup>126</sup> Wald és Brown: i. m. 222 — 226. o. Érdemes megjegyezni, hogy a rhodopsinnak van még egy maximuma a 290  $m\mu$  körüli ibolyántúliban. Ez azonban nem játszik szerepet a látási folyamatban. Narancssárga bomlásterméke — 367  $m\mu$  abszorpciós tetőzéssel — már inkább, erre a „szűrők” szerepének tárgyalásakor visszatérünk.

<sup>127</sup> George Wald: *The Photoreceptor Process in Vision. Handbook of Physiology. Section I. Neurophysiology*. Volume I. Chapter XXVIII. 672. o.

<sup>128</sup> Uo. 673. és köv. o.

<sup>129</sup> M. H. Pirenne and F. H. C. Mariott: *Vision and Quantum Theory of Light*, In: *Psychology: A Study of a Science*. Mac Graw Hill Book Company, New York — Toronto — London 1959. 354. o.

pedig retinene<sub>2</sub> (ezek csak egyes vízben élő állatok szemében találhatóak) — a rhodopsin és a porphyropsin a pálcikák, a jodopsin és a cyanopsin a csapok látóanyaga. A kétféle receptor felépítéséhez más-másféle opsin szükséges; a pálcika-látáshoz elsősorban a megvilágításra érzékeny scotopsin, a csap-látáshoz a szín-érzékeny photopsin.

Különösen nehéz volt természetesen az igen kisméretű csapok látóanyagának előállítására. Hosszú ideig nem is sikerült.<sup>130</sup> Az első hiteles eredmény itt is Wald nevéhez fűződik (1937), aki a csirke retinájáról vont ki fotopigmentet. Ez a jodopsin, 562 m $\mu$  elnyelési maximummal. A másik csap-pigmentet, a cyanopsint először laboratóriumban állította elő Wald, Brown és Smith (1953),<sup>131</sup> abból a feltételezésből kiindulva, hogy az ismertett rendszer alapján kell lennie egy olyan látópigmentnek is, amely a retinene<sub>2</sub> és a photopsin kombinációja.

Úgy látszott tehát, hogy a rendszer ezzel teljessé vált. Az emberi látás kémiáját alapvetően kétféle anyag szabályozza, a pálcikákban a rhodopsin (elnyelési maximuma oldott állapotban 500 m $\mu$  körül), a csapokban pedig talán a jodopsin (560 m $\mu$  körül). Ez megfelel a nappali, ill. az éjszakai látás érzékenységeinek, és Granit az adatok egész tömegét vonultatja fel annak bizonyítására, hogy ez minden állatfajban lényegében e két érték körül van.<sup>132</sup>

Újabb adatok azonban azt is bizonyítják, hogy a pálcikáknak és vele együtt a rhodopsinnak nemcsak az éjszakai, hanem a nappali látásban is fontos szerepük van.

Itt elsősorban arra az — elsőízben Hartridge és Willmer által ismertett — tényre kell utalnunk, hogy az egyes színek iránti érzékenység nem egyforma a retina egyes részein. Két fő területet különböztethetünk meg. A belsőn, a látógödörben, ahol a látás a legpontosabb, s ahol csak csapok találhatóak, a szem igen érzékeny a vöröstől zöldig terjedő skála színei iránt, de érzéketlen a kékre és a sárgára. A külső területen viszont, ahol pálcikák és csapok egyaránt találhatóak, a kék-sárga érzékenység az erősebb. Végül legkívül, ahol csak pálcikák vannak, vörös-zöld, majd teljes színvaktság áll elő.<sup>133</sup>

A retinának ezen a térképén az a legmeglepőbb, hogy a nappali látás területének, a csapok székhelyének ismert fovea éppen a legvilágosabb szín, a sárga iránt érzéketlen. Jól megegyezik viszont azzal a festők által jól ismert ténnyel, hogy a vörös hat a legközelebbi és a kék a legtávolabbi színnek. (Ezért hatott például olyan megdöbbentően disszonánsnak, amikor Matisse ezeket

<sup>130</sup> Megemlíthetjük, hogy először G. Studnitz tett jelentést csap-pigment előállításáról (1937). Egy teknősbéka-faj retinájáról olyan fényérzékeny anyagot vont ki, melynek elnyelési görbéje három maximumot mutatott, 470, 560 és 670 m $\mu$ -nál. (G. v. Studnitz: *Zur Physiologie des Farbensehens*. Die Naturwissenschaften. 1941. 377—389. o.) A bejelentést nagy érdeklődéssel fogadták. Bekerült — a háromszín-elmélet bizonyítékeképpen — a magyar szakirodalomba is. (Vö. pl. Beresényi L. György: *Színelmélet*. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, 1962. 39. o.) Más mérések azonban sajnos nem támasztották alá eredményeit, amikor pedig Hosoya, Okita és Akune (1938) megismételték kísérletét, semmiféle fényérzékenységet nem kaptak. (Vö. Segal: i. m. 39. o.) Ezért a nemzetközi szín-irodalomban ma már nem igen hivatkoznak rá.

<sup>131</sup> Élőlény recehártájáról még nem vonták ki, de Granit egy európai teknősbéka csap-látásában olyan elnyelési görbét észlelt, amely egyezik a cyanopsinével.

<sup>132</sup> Granit: *Receptors* . . . 124—128. o.

<sup>133</sup> Lásd többek között: Boller—Brinkman—Walter: *Einführung in die Farbenlehre*. Bern 1947. 57—58. o. Továbbá: Clifford T. Morgan: *Introduction in Psychology*. New York—Toronto—London 1956. 463—466. o.

a viszonyokat rendre megfordította, például kékruhás alakot festett piros háttér elé.)<sup>134</sup>

A pálcikáknak a színlátásban való szerepe többféle formában merült fel az utóbbi évek irodalmában. Megvizsgálták a pálcikák és a csapok anatómiai szerkezetét, és kimutatták, hogy mechanizmusuk lényegében azonos.<sup>135</sup>

Határozott állásfoglalásokat kapunk a modern szín-fiziológia olyan kimagasló képviselőitől, mint De Valois vagy Alpern és Campbell. De Valois például azt állítja, hogy a kék-érzékenység a pálcikákkal kapcsolatos rendszerekben jelentkezik, de a csapokkal kapcsolatos rendszerekből hiányzik.<sup>136</sup> Alpern és Campbell egy munkájában pedig a következőket olvashatjuk: „a vörös fényre adott választ nagyrészt (vagy kizárólag) a csapok határozzák meg, a kék fényre adottat pedig nagyrészt (vagy kizárólag) a pálcikák”.<sup>137</sup> Willmer ennél is továbbment, amikor lényegében két tényezővel magyarázta a színlátás egész szerkezetét, a kék-érzékítő pálcikákkal és a vörös-érzékítő csapokkal.<sup>138</sup>

Egy ilyen totális kétszín-elmélet azonban már megoldhatatlan problémákat vet fel: hogyan jön akkor létre a színek többdimenziós gazdagsága? Wodsworth és Schlosberg helyesen mutat rá, hogyha csak két színerzékítő receptorunk lenne (a nappali és az éjszakai látásnak megfelelően a sárga és a kékeszöld), akkor a kettő egyenlő ingerlésekor előállott sárgászöldet (és, tegyük hozzá, a bíbort) nem tudnánk megkülönböztetni a fehértől.<sup>139</sup> A totális kétszín-elmélet tehát ellentmond a tényeknek. Viszont meglehetősen ellentmondásmentes modelljét adhatjuk a színlátásnak, ha nem két alapszínre, hanem a *színek kétféle rendszerére* építjük fel. Az egyik rendszert csak a csapok alkotják, területe a fovea belső része, érzékenysége a vörös-zöld skála. A másik rendszerben a pálcikák is résztvesznek, területük a fovea szélső része — ez a sárga és a kék skála iránt érzékeny. Jól értelmezhető ezen a módon a nappali és az éjszakai látás kapcsolata is. Csak az első pillanatra lehet meglepő például, hogy a fovea belső része éppen a legvilágosabb szín, a sárga iránti színvakságban szenved. Amikor ugyanis a vörös és a zöld kiegyenlíti egymást, a fovea nem sárgát, hanem fehéret észlel (a színtelennek tartott napfényben is éppen az 560—580 m $\mu$  körüli sugarak a legerősebbek). A nappali látáshoz alkalmazkodott fovea ezt érzi „a fény”-nek, a mellette két oldalon levő zöld és vörös színek között viszont viszonylag éles megkülönböztetést tud tenni gyenge intenzitás esetében is, pusztán hullámhossz-különbségek alapján. (A zöld és vörös között ugyanis nincsenek olyan éles fajlagos intenzitásbeli különbségek, mint a kék és sárga között.)

Így látunk éles fényben, így látunk, ha valamit nagyon szemügyre akarunk venni (tehát úgy helyezzük el szemünket, hogy a tárgy képe a foveára essék). A normális nappali látásban azonban a két rendszer együttesen működ-

<sup>134</sup> Vö. Marcel Bagniet: *Essai sur la psychologie des formes*. É. n. 20. o.

<sup>135</sup> Vö. E. De Robertis: *Some observation on the Ultrastructure and Morphogenesis of Photoreceptors*. In: *Supplement to The Journal of General Physiology. Second supplement. Mechanisms of Vision*. Volume 43. Number 6. New York 1960. (A továbbiakban: *Mechanisms of vision*). 3. o.

<sup>136</sup> Russel L. De Valois: *Color Vision in the Monkey. Mechanisms of Vision*. 119. o.

<sup>137</sup> M. Alpern and F. W. Campbell: *The spectral sensitivity of the consensual light-reflex*. *Journal of Physiology*. 1962/164. 505. o.

<sup>138</sup> Ismerteti Segal: i. m. 18. o.

<sup>139</sup> Woodworth—Schlosberg: i. m. 477. o.

dik, és együtt adja a színek teljes gazdagságát. Ezért közepes megvilágításban a fényérzékenység maximuma nem egyezik egyik rendszerével sem, hanem a kettő között, 530—548 m $\mu$  körül van.<sup>140</sup> (Ami megegyezik Alpernek és Campbellnek a pupilla érzékenységre vonatkozó adataival is.<sup>141</sup> Az éjszakai látásban viszont túlnyomó a pálcika-rendszer szerepe, ekkor kevésbé vagyunk képesek a frekvencia szerinti diszkriminációra, inkább intenzitásbeli különbségeket észlelünk, bár más szín-összefüggésekben. Az ibolya-sárga-sor fajlagos intenzitás-skálája mélyebbről indul és magasabbra emelkedik, mint a vörös-zöld színsoré.

Ilyen módon a nappali és az éjszakai látás, a két fényérzékelési görbe, a jodopsin és rhodopsin szín-érzékenységi skálája, a recehártya belső és külső területeinek szerepe egységes hipotézissé foglalható össze.

Azt a tényt is jól értelmezhetjük e felfogás alapján, hogy a kék és a vörös színtartomány fehérrel, illetve feketével keverve más-másképpen viselkedik. A kék színek mind fehér, mind fekete adagolásakor szürkébe mennek át, a vörös pedig barna vagy rózsaszínű lesz — itt tehát továbbra is erősebben érvényesül a frekvencia szerinti megkülönböztetés, a tiszta szín és a feketeszürke-fehér skála közé még egy szín-értékkel rendelkező tartomány iktatódik. (Zenei hasonlattal élve úgy is mondhatnánk, hogy a vörös színek felhangban gazdagabbak. Ez a hasonlat nem is sántít teljesen, mert a vörös színek rezgésszáma kisebb, tehát az alacsonyabb hangnak felelnek meg. A „felhangok”, azaz a frekvenciára érzékenyebb vörös színekhez hozzákevert más rezgésszámú színek a szín-árnyalatot is módosítják, az „alhangok” viszont az intenzitásra érzékenyebb kék színeknél inkább az intenzitást változtatják meg.) A spektrum középső szakaszán, ahol mind a két rendszer érzékeny, mindkét fajta változás bekövetkezik: a zöld egyaránt válhat át zöldesszürkébe és a barnának megfelelő olajzöldbe.

Jó magyarázatot ad a két-rendszer elmélet arra is, hogy míg a vörös és a zöld színvakság viszonylag gyakran fordul elő, a kék színvakság csak kivételes patológikus esetekben (ugyanis eszerint a sokkal nagyobb „létszámú” pálcikákkal áll összefüggésben, amelyek funkciója nem maradhat betöltetlen). Végül segítséget jelent a szín-látás filogenetikus fejlődésének megértésében. Ezen alapul az ún. Ladd—Franklin-elmélet, melyet újabban több adat támaszt alá, s melyet Guilford a szín-pszichológiában is alkalmazott.<sup>142</sup> A Ladd—Franklin-elmélet szerint a törzsfajlás kezdeti fokán a látás akromatikus, később a kék-sárga skála megkülönböztetésével vált dikromatikuská. (Ezen a fokon vannak pl. a békák, amelyek, újabb kísérletek szerint, a kék színre a legérzékenyebbek.) A következő lépés a sárga szétbontása volt zöldre és vörösre, így keletkezett a trikromatikus látás. A színvakság visszatérés egy korábbi állapotra, de — Guilford kísérletei szerint — az egyes színek és szín-harmóniák kedvelésében is ennek a rendszernek hatása érezhető.

Mivel a Ladd—Franklin-elmélet koncepciója nagyon jól összeillik a foveális és foveán kívüli látás különbségével is, az utóbbi időben ismét felszínre került. Woodworth és Schlosberg (akik pedig, amint láttuk, kategorikusan

<sup>140</sup> Saul M. Luria: *Color Vision*. Physics Today, March, 1966. 34. o.

<sup>141</sup> Alpern és Campbell: i. m. 483. és 492. o. Érdemes megjegyeznünk, hogy a széleken is nagyobb érzékenységet találtak, mint a CIE szkotopikus görbe adatai.

<sup>142</sup> J. P. Guilford: *The Affective Value of Color as a Function of Hue, Tint and Chroma*. Journal of Experimental Psychology. XVII. 1934. 342—370. o.

tagadták a totális kétszín-elmélet lehetőségét) voltaképpen a Ladd—Franklin-teóriát érzik a tényekkel leginkább összhangban állónak.<sup>143</sup>

Csak hogy a két rendszer ilyen felfogásával már lassan túl is jutunk azon a határon, amely a kétszín-elméletet a négy szín-elmélettől elválasztja. A két színrendszer ugyanis mindig két színskálát jelent, a kék-sárga és a zöld-vörös skálát. Itt vagyunk tehát a Hering-féle koncepció kellős közepében. Mi sem látszik egyszerűbbnek, minthogy a két rendszer gondolatát a heringi négyesség-gel kössük össze.

Igen ám, de a szín-látás kémiai vizsgálata egyre több adatot sorakoztat fel a trikromatikus látás mellett!

Vizsgáljuk meg tehát a következőkben a *HÁROMSZÍN-ELMÉLET* pozícióit.

Wald, a *Handbook of Neurophysiology*ban adott összefoglalásában, mint említettük, a felfedezés örömeivel írja le az addig megismert négyféle pigment rendszerét. Kitért arra is, hogy a jodopsin még nem magyarázza az ember „fotopikus”<sup>144</sup> látásának sajátosságait, mert emberi szemből még nem sikerült kivonni. Valószínű, hogy csak középső tagja a színes-látáshoz szükséges háromféle receptornak, amelyek várható értékéül a 450, 550, és 659  $m\mu$  hullámhosszakat jelölte meg.<sup>145</sup>

A következő lépést W. A. H. Rushton felfedezései jelentették. Rushton 1955-ben Campbellel együtt új módszerhez folyamodott a csapok fényérzékenységének megmérésére.<sup>146</sup> Abból indult ki, hogy a szem vissza is ver valamit a reávetődő fényből — amit mindenki jól megfigyelhet, ha éjszaka fény esik egy macska szemére. A visszavert fény keresztülhalad a fotopigmenten, hullámhossza tehát módosul. Az elnyelt fény meghatározza a fotopigment elnyelését.

Az első, amit ezzel a módszerrel az emberi szemre vonatkoztatva megállapítottak az, hogy a rhodopsin görbéje logaritmikusan követi a fény intenzitását. Rushton figyelme ezután a csapokra összpontosult. Úgy irányította a berendezést, hogy a fény a retina központi területére, a foveára essék, ahol tudvalevően csak csapok találhatók (és ahol csak vörös- és zöld-érzékenység mutatható ki). Ezzel a módszerrel egészséges színlátású, majd zöld és vörös színvak emberek színérzékelését megvizsgálva arra az eredményre jutott, hogy a foveán két fényérzékelő elem, kétféle pigment van, az egyik a vörösre, a másik a zöldre érzékeny. A vöröset erythrolabe-nak (vörös-fogó), a zöldet chlorolabe-nak (zöld-fogó) nevezte el. A vörös érzékenységi görbéjének maximuma azonban a sárga színtartományban van (570—600  $m\mu$  között), a zöldé pedig kb. 530—540  $m\mu$ -nál.

Van-e vajon egy harmadik látófesték, „kék-fogó” cyanolabe? Rushton úgy gondolja, valószínűleg van, csak még nem sikerült megtalálni.

A kísérlet — hasonló módszerekkel — Marksnek és MacNicholnak sikerült azután. Ők olyan módszert dolgoztak ki, amellyel egyetlen csap érzékenységét is meg lehetett mérni. Először aranyhállal kísérleteztek (ez az állat ugyanis kék-sárga és vörös-zöld színlátással egyaránt rendelkezik). Három görbét

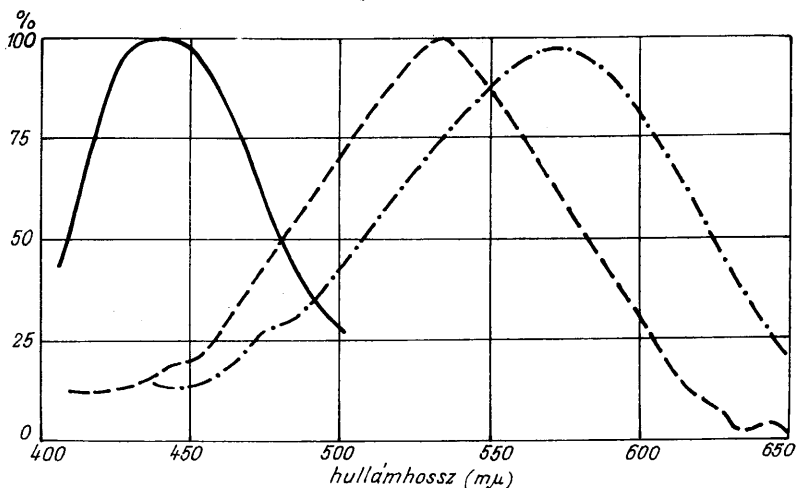
<sup>143</sup> Woodworth—Schlosberg: i. m. 486. o.

<sup>144</sup> A szakirodalomban a színes-látására gyakran használják a fotopikus jelzőt, szemben a szkotopikus (akromatikus) látással.

<sup>145</sup> Wald: i. m. 683. o.

<sup>146</sup> W. A. H. Rushton: *Visual Pigments in Man*. Scientific American, November 1962. 120—132. o.

kaptak, 455, 530 és 625  $m\mu$  maximumokkal. Ezután az emberi (és a majom-) szemnek közvetlenül a fovea mellett elhelyezkedő csapjait vizsgálták meg. Itt is három jól elkülöníthető görbét kaptak, 447, 544 és 577  $m\mu$  hullámhosszakkal.<sup>147</sup> Miután a két utóbbi egyezik a Rusthton-féle pigmentekéivel, a harmadiknak a csapok keresett harmadik pigmentjének kell lennie.



26. ábra. Az alap-pigmentek szín-érzékenységi görbéi MacNichol nyomán

Ennek a kísérletnek maga a három görbe a legnagyobb eredménye, amely minden mérés alkalmából előtűnt. Azóta a kísérletet Wald is megismételte, s ugyancsak hasonló görbéket kapott, 430, 540 és 575  $m\mu$  maximumokkal. Saul M. Luria 1966 márciusában megjelent összefoglalása olyan új kísérletekről is beszámol, amelyek során (közvetlenül a halál után) már az ember reechártyájára egy fotoreceptorának színérzékenységi görbáját is meg tudták mérni. W. B. Marks, W. H. Donelle és MacNichol kísérleteiben 445, 535 és 570  $m\mu$ , P. K. Brown és G. Wald kísérletében 450, 525 és 555  $m\mu$  volt a három maximum.<sup>148</sup>

A fiziológiai kutatás legújabb eredményei tehát azt bizonyítják, hogy az emberi reechártya fotoreceptív berendezése különösen három színre érzékeny. Ennek alapján a legújabb irodalomban egyre általánosabbá válik a *három-pigment* elmélet.<sup>149</sup>

Arra is bizonyítékkal szolgálnak ezek az eredmények, hogy az alapszínek hármassága valóban a Helmholtz-, nem pedig a Hering-féle felfogás alapján jön létre. Az egyes pigmentek tehát nem kiegészítő színpárokra érzékenyek (vörösre és zöldre vagy kékre és sárgára), hanem vörösre, vagy zöldre, vagy kékre, s a kiegészítő színpárok közötti kapcsolat is diszjunktív, nem konjunktív.

<sup>147</sup> MacNichol: i. m. 49. és 56. o.

<sup>148</sup> Saul M. Luria: *Color Vision*. Physics Today. March, 1966. 40. o.

<sup>149</sup> Vö. pl. Karl Miescher, Klaus Richter, Paul Weisenhorn: *Prinzipielles zur Chromatik. Farbvokabular*. Internationale Farbtagung. Luzern 1965. 2–3. o.

A komplementaritás érzetének fiziológiai magyarázatában eszerint nem fogadjuk el Hering megoldását, hanem Helmholtzéhoz kell visszatérnünk. Egy-egy receptor érzékenysége éppen kb. a kiegészítő szín határáig terjed, valamely alapinger kiegészítő színét tehát nem ugyanannak a diszszimilálódott pigmentnek az asszimilációja, hanem talán inkább a másik két alapinger keveréke adja. Mindenesetre a megoldást itt kell keresni, a kémiai folyamatok szintjén. A pozitív és negatív utóképekkel kapcsolatban az utóbbi években végzett kutatások — elsősorban G.S. Brindley kísérletei — ugyanis azt bizonyítják, hogy a komplementer utóképek fotokémikus eredetűek.<sup>150</sup>

A kép mégsem teljes még, a megoldás nem kielégítő, noha MacNichol az említett cikkében már szinte elintézettnak veszi. Nem teljes, egyrészt mert még mindig nincs egyértelmű képünk a látópigmentek rendszeréről és működéséről, másrészt mert a közölt görbe is több problémát vet fel.

Természetesen a pigmentáció kérdése az elsőrendű. Az erythrolabe és chlorolabe felfedezésével bebizonyosodott, hogy vannak speciális érzékenyséű csap-elemek, de még MacNichol kísérletei alapján sem bizonyosodott be a számuk s a rhodopsinnal való kapcsolatuk. Vannak ugyanis — erről a kettős elmélet kapcsán beszéltünk —, akik a kék-érzékenységet a rhodopsinnak tulajdonítják, s csap-kapcsolatú és pálcika-kapcsolatú látás-rendszerről beszélnek. (MacNichol és Rushton kísérletei alapján is kétféle csapot kell elkülönítenünk, az egyik fajta — a foveán — vörösre és zöldre érzékeny, a másik — a foveán kívül — vörösre, zöldre és kékre, s ez utóbbi valamilyen módon kapcsolatban áll a pálcikalátással is.) Másrészt vannak, akik még többféle csap-pigmentet tartanak elképzelhetőnek, sőt egyes vizsgálatok során többet mértek is. (Stiles, később Hanaoka és Fujimoto, majd nyomukban több más kutató ötöt.)<sup>151</sup>

Ezért úgy vélem, hogy ebben a kérdésben ma is Ditchburn megfontolt álláspontja lehet számunkra a mértékadó. Ditchburn—Thomas Young emlékére mondott beszédében — azt fejtette ki, hogy a trikromatizmus nem jelenti feltétlenül azt, hogy háromféle és csakis háromféle fotopigment létezik. Több más megoldást is említ. „A trikromatizmus legkézenfekvőbb elmélete — írja — azon a hipotézisen alapul, hogy a foveán három különböző fajtájú csap található, s mindegyik egy pigmenttel jellemezhető, amelynek elnyelési-görbéje valamelyik alapvető ingerhez kapcsolódik. Ez egyik lehetséges alapja a trikromatizmusnak, de nem az egyedüli lehetőség. Valóban sok út van, amelyen a trikromatizmus tapasztalati tényei fiziológiai elméletbe foglalhatók össze, beleértve a csapok egy vagy legfeljebb két különböző fajtáját is.”<sup>152</sup> Ilyen megoldás pl., ha a csapok fényérzékeny molekuláinak három jól megkülönböztethető izgalmi állapotuk van. Másik, ha az izgalmi és a gátlási folyamatok úgy összegeződnek, hogy a különböző színek ingerei egy-egy areán területileg is elkülönülnek.<sup>153</sup>

Ismét más lehetőség — amelyről Ditchburn nem szól, de az utóbbi évek irodalmában egyre többször merül fel —, hogy a szín-látásban különböző szűrők

<sup>150</sup> G. S. Brindley: *The Discrimination of After-Image*. Journal of Physiology. 1959. Volume 147. No. 1. 200. o., továbbá G. S. Brindley: *After-Images*. Scientific American, October 1963. 86. o.

<sup>151</sup> Lásd: Gunnar Svaetichin, Willi Krattenmacher and Miguel Laufer: *Photostimulation of Single Cones*. In: *Mechanisms of Vision*. 101. o.

<sup>152</sup> R. W. Ditchburn: *20th Thomas Young Oration* . . . 77. o.

<sup>153</sup> Uo. 78. o.

működnek. Azt is kimutatták, hogy a szín-érzékelés folyamata nem a fényképezéskor használt fényérzékeny anyag működéséhez hasonlít, hanem a szűrőhöz — az egyes pigmentek szerepe nem az ingerek válogatás nélküli továbbításában, hanem speciális szelekciójukban van. Ennek alapján kockáztatta meg Barlow azt a merész állítást, hogy „csupán egy fotopikus pigment van, amelynek spektrális érzékenységét szín-szűrők variálják”.<sup>154</sup> Schober is ezt vallja, a színelátás szerinte a rhodopsin melléktermékeinek eredménye.<sup>155</sup> Brindley viszont a pigmentek bomlástermékének az anyapigmentre gyakorolt gátló hatásával magyarázza a komplementer-negatív utóképek megjelenését.<sup>156</sup>

Megoldás, elképzelés tehát van és lehet sokféle. Amíg nincs elég adat annak eldöntésére, hogy melyiket kell választanunk közülük, addig a háromszín-látás elmélete sem mondható befejezettnek és bizonyítottnak. A trikromatizmus ténye azonban nem függ attól, hogy a pigmentek száma pontosan három legyen, hanem attól, hogy bármennyi is legyen a számuk, három területet határozzanak meg. Stiles nevezetes feltevése, amely szerint a szín-látás struktúrájához öt mechanizmus ( $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5$ )szükséges, ebből a szempontból nézve éppen nem jelenti a háromszín-elmélet tagadását, az öt voltaképpen itt is három csoportba osztható: kék, zöld és sárga mechanizmus, csak a kéket két görbe képviseli, az egyik ( $\pi_2$ ) szerepe pedig még tisztázatlan.<sup>157</sup>

Problémák vetődnek fel a MacNichol-féle görbe (1. 26. ábra) adataival kapcsolatban is. Azt ugyan az első pillanatban is láthatjuk, hogy ezek is ugyanazokat a pontokat tüntetik ki, mint az előbbiek — csak hogy ami ott a görbék csúcs- vagy mélypontja volt, itt kereszteződési pontokká változott. A két legfontosabb sáv (480–500  $m\mu$  és 560–575  $m\mu$ ) itt is előtűnik. Az elsőben kereszteződik a kék vonala a zölddel, majd a vörössel (itt áll első tehát a  $z = y$  és a  $z = x$  esete), a másodikban pedig a zöld és a sárga ( $y = x$ ), majd itt éri el az  $x$  a maximumát.

Az egyes pontok szerepének ez az átértelmezése nem is okozna nehézséget. Újabb kérdést ad fel azonban az, hogy MacNichols harmadik alapszínül a sárgát, nem pedig a vöröset jelöli meg.

Több érv szól e felfogás mellett, de ellene is. Mellette például az, hogy már Rushton első mérései szerint is a sárgában van az erythrolabe színélnyelési maximuma. Mellette, hogy később Stiles adatai szerint az 575–587  $m\mu$  sávban a legerősebb az emberi szem vörös-érzékenysége továbbá az, hogy ennek a felfogásnak kétségtelenül megvan a maga logikája („figyelemreméltó, de nem meglepő tény” — kommentálja MacNichol). Érdekes módon Goethe szín-rendszere elevenedik itt fel: nála ugyanis, mint láttuk, a kék és a sárga az alapszínek, a zöld a kettő összege, az ibolya és a vörös pedig fokozásuk.

Több adat szól azonban a sárga ilyen kiemelése ellen is. Elsősorban az,

<sup>154</sup> H. B. Barlow: *Intrinsic Noise of Cones*. National Physical Laboratory. Paper 28, 1967. 14. o. Barlow kiindulópontját a' recharlyán tapasztalható „retinális zaj”, azaz a receptor apparátus különböző fajtájú „sajátfényei” szolgáltatták.

<sup>155</sup> Herbert Schober: *Das Sehen*. Leipzig 1964. 253–254. o.

<sup>156</sup> G. S. Brindley: *Two New Properties of Foveal After-Images and a Photochemical to Explain Them*. Journal of Physiology. Volume 164, 1962. 177. o. — Ebben a felfogásban kap tehát szerepet a rhodopsin már említett bomlásterméke is.

<sup>157</sup> Lásd: Barlow: i. m. 21–23. o., Graham: i. m. 171–177. o. — Az öt görbe maximuma:  $\pi_1 = 445$ ,  $\pi_2 =$  ismeretlen,  $\pi_3 = 440$ ,  $\pi_4 = 542$ ,  $\pi_5 = 573 m\mu$ . A csap-látás érzékenységének egyébként Stiles szerint is végő soron három maximuma van: 440, 540 és 590  $m\mu$  (174. o.).

hogy a kísérlethez a csapokat a foveán kívüli területről preparálták.<sup>158</sup> Innen könnyebb volt, de mivel a csapok igazi „hazája” a fovea belseje, ez esetleg félrevezető is lehet. Hátha a csappigmentek érzékenysége is módosul a foveán belül és kívül?

Ellene szólnak a sárga alapszín-voltának a rögzített képekkel való kísérletek is. A látás fiziológiai vizsgálatának ezt az új módszerét a Szovjetunióban és Nyugaton egyaránt eredményesen alkalmazzák. A Szovjetunióból Jarbusz kísérleteit említhetjük, aki kimutatta, hogy „azt a tárgyat, amelynek képe a recehártya egy mozdulatlan pontjára esik, a szervezet már 2—3 másodperc múlva megszűnik észlelni, s a tárgy tartós vizuális észleléséhez az ábrázolatnak folyamatosan változtatnia kell helyét a recehártyán.”<sup>159</sup>

A nyugati kutatások az eredmények esztétikai alkalmazásához is elvezetnek már. (F. Molnár kísérletei pl. azt bizonyítják, hogy egy festmény „le tapogatásának” menete, az egyes elemek sorrendje szoros összefüggésben áll a színekkel.)<sup>160</sup> Közvetlenül a színérzékelés struktúrájának feltárását segítik elő azok a kísérletek, amelyek során a pupillához rögzített és a mozgását követő szerkezet elé színes felületeket helyeztek.<sup>161</sup> Megállapították, hogy a színek előbb összeolvadnak (fúzió), majd elhalványodnak.

A fúzió folyamán azonban az egyes színek nem viselkednek egyformán, s e szempontból a spektrum ismét három tartományra oszlik. Az 590 m $\mu$  hullámhosszon túli sáv színei (a narancs és a vörös) nem olvadnak össze más színekkel. A kék és a zöld igen, de a kék az „erősebb”, az eredmény kékesszürke. A zöld tudja magát legkevésbé „megvédelmezni.”

E jelenségnek eddig még nincs tisztázva a pontos mechanizmusa. Clowes azzal hozza összefüggésbe, hogy a rögzített kép természetesen a fovea központjára esik, így a jelenség lefolyását a fovea látási viszonyai határozzák meg, ott pedig a vörös-érzékenység a legerősebb.<sup>162</sup> Ditchburn részben szintén a foveális pigmentek viselkedéséből vezeti le,<sup>163</sup> részben pedig a szem mozgásaival hozza kapcsolatba.<sup>164</sup>

Most nem is az értelmezés az elsődlegesen fontos a számunkra, hanem az a tény, hogy a határ itt 590 m $\mu$ . A rögzített képekkel folytatott kísérletek egyelőre nem egyeztethetők össze MacNichol eredményeivel.

<sup>158</sup> MacNichol: i. m. 56. o.

<sup>159</sup> *Filozófiai problémák a magasabbrendű idegműködés fiziológiájában és a pszichológiában.* Akadémiai kiadó, 1965. 300. o.

<sup>160</sup> Vö. F. Molnar: *Aspect Temporal de la Perception de l'Oeuvre Picturale.* Párizs 1966.

<sup>161</sup> A módszerre és az általános eredményekre vonatkozólag lásd R. W. Ditchburn *Physical Methods Applied to the Study of Visual Perception.* Bulletin of The Institute of Physics, London, May, 1959. 121—125. o. (Ditchburn egyébként hivatkozik Jarbusz munkájára is.) Továbbá Roy M. Pritchard; *Stabilized Images on the Retina.* Scientific American, June, 1961. 72—78. o.

<sup>162</sup> M. B. Clowes: *A Note on Colour Discrimination under Conditions of Retinal Image Constraint.* Optica Acta, Vol. 9. No. 1. Jan. 1962. 67. o.

<sup>163</sup> R. W. Ditchburn: *Eye-movements in relation to perception of colour.* Különlönyomat, év- és helymegjelölés nélkül. 426. o.

<sup>164</sup> R. W. Ditchburn: *20th Thomas Young Oration . . .* 78—80. o. — Eszerint a szemnek háromfajta „tapogató” mozgása van, ezeket driftnek, flicknek és tremornak nevezi. Az első kettőt tudjuk akaratlagosan korlátozni, de a remegés — amelynek frekvenciája a közölt görbe szerint másodpercenként 70 körül van — nem függ akaratunktól. A fúzióban csak a remegés hatása érvényesül, ezért itt másképpen alakulnak a viszonyok, mint a színek másfajta keveredésénél, részletes okadatolással azonban Ditchburn sem tud még szolgálni.

Mindenképpen arról van itt szó, hogy akár a sárgát vesszük alapszínnek, akár a vöröset, meg kellene tudnunk magyarázni, miért észlelünk ugyanannak a pigmentnek ingerülete által két jól elkülöníthető színt. S ez annál fontosabb kérdés, mert ugyanez a jelenség — bár kevésbé élesen — megismétlődik a spektrum túlsó szélén, a kék és az ibolya színnel is. Végeredményben a már Newton által felvetett problémához érkezünk el: a spektrum két végén a színek egyre inkább egymáshoz válnak hasonlóvá. Ez a jelenség, amint hullámhossz-  
szaik mind jobban megközelítik a zenei oktáv 1 : 2 arányát, egyre fokozódik.

Aligha lehet kétséges, hogy itt valóban párhuzam van a színek és a hangok észlelésében, valamilyen módon azonosnak érezzük a dupla rezgésszámot. De hogy pontosan milyen módon, arra egyelőre nincsen semmi adatunk. Lehetséges, sőt valószínű, hogy ebben az esetben a másik, ellentétes pigment is ingerülete jelez, erre mutat egyébként az is, hogy a színmérések adatai szerint a kékben vörös-, a vörösben kék-érzékenységgel kell számolnunk. Lehetséges, hogy a szemben is van a rezgésszámok harmonikus többszöröseinek (illetve hányadosainak) észlelésére szolgáló mechanizmus. Esetleg az egyes pigmentek bomlástermékeinek hatását is figyelembe lehet venni, Pinegin szovjet fiziológus rendkívül érdekes kísérletei alapján.<sup>165</sup> Pinegin bebizonyította, hogy nagyon erős intenzitás esetében érzéklni tudunk 380 m $\mu$  alatti ibolyántúli sugarakat is egészen 302 m $\mu$ -ig (és a másik oldalon a vörösöninni 950 m $\mu$ -ig). A kísérleti személyek a látott fényt is többnyire ibolyának, kéknek vagy szürkének nevezték. Ezt a jelenséget Segal a rhodopsin bomlástermékének tevékenységével hozza kapcsolatba, melynek elnyelési maximuma 367 m $\mu$  (Segal: i. m. 85—86 o.), s így harmonikus a 724 m $\mu$ .

Ezek persze csak feltevések, a spektrumszínek színazonosságának okait a későbbi vizsgálatoknak kell feltárniuk. Akkor kapunk végleges feleletet a sárga-vörös és a kék-ibolya diszkriminációra is.

Addig meg kell elégednünk annyival, hogy a szín-látás kémiai struktúráját illetően a fiziológia ma is a Young—Helmholtz-féle háromszín-elmélet alapján áll, legalábbis emellett sorakoztatja fel a legtöbb érvet.

Az ingerület elvezetésének vizsgálata viszont a heringi polaritások *NÉGYSZÍN-ELMÉLETET* igazolja. A soron következő feladatunk ennek az áttekintése.

A négy szín-elmélet újabb formája nem az ideghártya felszínén, a csapocskákban és pálcikákban keletkezett receptív ingerület vizsgálatára támaszkodik, hanem arra, ahogyan az ideghártya mélyebb rétegei ezeket az ingerületeket összefogják és az agy felé elvezetik. (Granit ezt a két folyamatot különbözteti meg a „receptió” és a „szenzorikus percepció” műszavakkal.)<sup>166</sup>

Itt elsősorban a receptív idegsejtek (pálcikák és csapok) után következő két neuron-réteg jön tekintetbe. A horizontális és a bipoláris internunciális sejtek rétege még inkább közvetítő szerepet tölt be, erre a rétegre még csak egyes szerzők (pl. Mitarai) terjesztették ki a szín-látás mechanizmusának vizs-

<sup>165</sup> Pinegin bebizonyította, hogy nagyon erős intenzitás esetében érzéklni tudunk 380 m $\mu$  alatti ibolyántúli sugarakat is egészen 302 m $\mu$ -ig (és a másik oldalon az infravöröset, 950 m $\mu$ -ig; Krawkow: i. m. 57—58. o.). A kísérleti személyek a látott fényt többnyire szintén ibolyának, kéknek vagy szürkének nevezték. Ezt a jelenséget Segal a rhodopsin bomlástermékének tevékenységével hozza kapcsolatba, melynek elnyelési maximuma 367 m $\mu$ , s így harmonikus a 734 m $\mu$  (Segal: i. m. 85—86. o.).

<sup>166</sup> Granit- i. m. 5—8. o.

gálatát.<sup>167</sup> Annál fontosabb a harmadik, a ganglionsejtek rétege. Az egyes ganglion-sejtekben már megtörténik az első összegezés, itt összegyűlnek a pálcikáktól nyert információk (a csapok jelentős része viszont *egyenként* kapcsolódik egy-egy ganglionhoz). A ganglionáris sejtek után már nem következik be újabb konvergencia az ingerület vezetésében.<sup>168</sup>

(Itt most csak zárójelben utalhatunk arra, hogy az idegpályák további szakaszai és a különböző agyi központok természetesen ismét új szinteket és új problémákat jelentenek a szín-látás struktúrájának vizsgálatában is. A legújabb kutatások — elsősorban Maturana, Lettvin, McCulloch és Pitts korszakos felfedezései, majd Hubel és Wiesel új eredményei, amelyeket legutóbb Cowan a neuronális háló elméletével is összekapcsolt<sup>169</sup> — új összefüggéseket tártak fel a színek érzékelésére vonatkozólag is. Ezeket az eredményeket nem nélkülözheti egy olyan teljesebb összefoglalás sem, amely az érzékelés tényeit esztétikai céllal foglalja össze. Ezen a szinten azonban viszont már nem tekinthetnénk el a szín-érezékelés mellett a forma érzékelésétől sem — mivel azonban ez teljesen új problematikát von magával, tárgyalását ezúttal mellőznünk kell.)

A receptor- és a ganglion-sejtek kapcsolatát az *elektrofiziológia* módszereivel vizsgálták meg. Hartline kutatásainak eredményeképpen (1938) on-sejteket, off-sejteket és on-off-sejteket különítettek el, s ezzel gyökeresen új, addig tökéletesen ismeretlen szempontot vezettek be a látás folyamatának vizsgálatába.

Röviden összefoglalva<sup>170</sup> arról van szó, hogy a háromféle sejt háromféle módon kerül elektromos ingerületbe. Az on-sejtek akkor sülnek ki, ha fény éri őket, a sötétség hatására gátlás alá kerülnek. Az off-sejtek éppen fordítva, a világosság, megszűnésekor, a sötétség beálltára adnak elektromos választ, és a fény hatására lépnek fel bennük a gátlás jelenségei. Végül az on-off-sejtek mind a fényre, mind a fény megszűnésére választ adnak.

Minden ganglion-sejt a retina egy meghatározott mezejéről gyűjti össze az információkat, s az on-, az off- és az on-off-elemek (a ganglion viszonylatában) ezen a mezőn is jól elkülöníthetők. Hartline és Kuffler vizsgálataiból tudjuk, hogy a következőképpen: ha például egy on-jellegű ganglion-sejt mezejét térképezzük fel, ennek közepén olyan elemeket találunk, amelyek on-választ, szélén olyanokat, amelyek off-választ és a közbeeső területen olyanokat, amelyek on-off-választ adnak. Hartline (1940) ezt a következő sémán ábrázolta:

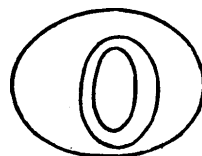
<sup>167</sup> Genyo Mitarai: *Determination of Ultramicroelectrode Tip Position in the Retina in Relation to S Potential*. In: *Mechanisms of Vision*. 97. o.

<sup>168</sup> Horányi: i. m. 164. o.

<sup>169</sup> Csak néhány fontosabb munkát említünk meg: Humberto R. Maturana, J. Y. Lettvin, W. S. McCulloch and W. H. Pitts: *Anatomy and Physiology of Vision in the Frog (Rana Pipiena)*. The Journal of General Physiology. Volume 43. Number 6. Part 2. July, 1960., *Mechanisms of Vision* 129—176. o. D. H. Hubel and T. N. Wiesel: *Receptive Fields. Binocular Interaction and Functional Architecture in the Cat's Visual Cortex*. Journal of Physiology 1962. No 160. 106—154. o. P. O. Bishop, W. Kozak, W. R. Levick and G. J. Vakkur: *The Determination of the Projection of the Visual Field on the Lateral Geniculate Nucleus in the Cat*. Journal of Physiology, 1962. No 163. 503—539. o. Jack D. Cowan: *Neuronal Nets*. Imperial College of Science and Technology, London, July 1966. 1—47. o.

<sup>170</sup> Az On-off rendszer leírása ma már minden látásfiziológiai könyvben megtalálható. Mégis itt elsősorban Granit műveire támaszkodom: *Receptors and Sensory Perception*, 33—36. és 70—79. o., továbbá *Neural activity in the retina. Handbook of Neurophysiology*. Chapter XXIX. 693—713. o.

27. ábra. Egy-egy idegrost receptív mezejének képe Hartline szerint (belső kör: on válasz, középső gyűrű: on-off válasz, szélső gyűrű: off válasz)



Ez a mechanizmus több ponton mutat érdekes analógiát azzal, amit a hallás folyamatában tártak fel, így a gátlás szerepében, a területi és „telefon”-elv kombinációjában s az intenzitás-frekvencia-elv érvényesülésében.

Ami az elsőt illeti: az on- és az off-területek nyilvánvalóan a kölcsönös gátlás viszonyában állanak egymással.<sup>171</sup> Ennek szerepe nyilvánvalóan a percepció élesítése, ahogy a hallási folyamatban a gátlás megakadályozva a szomszédos területek ingerét, biztosabbá teszi a hangmagasság-érzékelést, ugyanígy a látásban az egyes mezők perifériáinak gátlása zavarmentesebbé teszi a középpont által közölt információt. Hartline — az on-off mechanizmus felfedezője — egyik újabb munkájában ezért hivatkozik Békésyre, aki még 1928-ban írt munkájában először figyelt fel a gátlás élesítő szerepére.<sup>172</sup>

Igen újszerű és frappáns az az analógia, amely az on- és az off-elemek mechanizmusának megismerésével a hely- és telefonelméletek vonatkozásában nyílt a hallás és a látás között. A modern fiziológiai akusztika egyesíti ezt a két elméletet, a ma uralkodó elmélet szerint a csigába érkező hanghullámot a belső fül a helyelmélet szerint lokalizálja, majd a telefonelmélet szerint vezeti el. Most lényegében hasonló mechanizmusra leltünk a szemben. Ez eddig elképzelhetetlen volt, annyira uralkodott az a leegyszerűsítő felfogás, amely szerint a külvilág képe pontról pontra jelenik meg a retinán, majd az agyban, mint a televízió képernyőjén. Most világossá vált, hogy az idegrostok a retina meghatározott területéről, s ennek is pontosan egy részéről gyűjtenek információkat a szomszédos területek gátlás alá esnek. Az információ elvezetése viszont a halláshoz hasonlóan már nem a területi, hanem a telefon-elv alapján történik.

Végül nagyon lényeges az is, hogy az on- és off-elemek elmélete az intenzitás-frekvencia elv dialektikájának szempontjából is közelebb viszi egymáshoz a hallás és a látás elméletét. Egy elektromos ingerületnek természetesen két alapvető paramétere van: *intenzitása és frekvenciája*; a látás elektrofiziológiájának kutatói — köztük a legjelentősebbek, mint Ditchburn,<sup>173</sup> MacNichol<sup>174</sup> és mások — több ízben rámutattak, hogy ez a két elv érvényesül a látás idegfolyamatában is. (Nem térve ki most a Denis Gábor által felfedezett ún. „holográfia” jelenségeire, eszerint térbeli látásunk az egyes tárgyakról érkező fénysugarak intenzitása mellett ezek fázisát is figyelembe veszi.<sup>175</sup> Ami azt jelenti, hogy a növekvő intenzitásra — mint Hartline vizsgálataiból tudjuk — az egyes idegelemek a kisülések frekvenciájának növelésével felelnek.<sup>176</sup> Ez viszont logikusan vezet

<sup>171</sup> K. T. Brown and T. N. Wiesel: *Intraretinal Recording with Micropipette Electrodes in the Intact Cat Eye*. Journal of Physiology, 1959. No 149. 549. és 560. o.

<sup>172</sup> H. K. Hartline, F. Ratcliff and W. H. Miller: *Inhibitory Interaction in the Retina and its Significance in Vision*. Különlenyomat. Hely és év nélkül, 241. o.

<sup>173</sup> Ditchburn: *20th Thomas Young Oration* ... 74. o.

<sup>174</sup> MacNichol: i. m. 52. o.

<sup>175</sup> Vö. Denis Gabor idevonatkozó munkáit. Legutóbb D. Gabor: *Character Recognition*. Imperial College, 7. October 1966. 5. o.

<sup>176</sup> Idézi: Dr. Heinz Zemanek: *Információelmélet*. Műszaki könyvkiadó, 1956. 75—76. o.

el a hallás mechanizmusából ismert sortűz- (volley-), elmélethez, melyet Palestini, Davidovich és Hernández—Peón már a látás folyamatára is alkalmaznak.<sup>177</sup> (E szerint több szomszédos idegelem együttes frekvenciája adja a rost frekvenciáját, valamennyi elem egyszerre történő kisüléseinek száma pedig az intenzitást.<sup>178</sup> Ugyanők mutatnak rá arra, hogy e folyamat egészében a „belső gátlás” döntő szerepe voltaképpen Pavlov felfogása szerint érvényesül.

Granit 1955-ben még inkább csak mint sejtést közli, hogy az on-off-mechanizmusnak nagy szerepet kell játszania a színek percepciójában. Ekkor már folytak azok a kutatások, amelyek később egyre többet tártak fel ennek a mechanizmusnak lényegéből.

Mindenekelőtt Gunnar Svaetichin kísérleteit kell említenünk, ő egy más oldalról közelített a kérdéshez. Megvizsgálva egyes halfajták retinájának (pontosabban ganglion-sejtjeinek) potenciál-változását, talált egy jellemző formát: lassú potenciálváltozást (slow changes in potential, „S potencial”), amely felvillanó fény hatására jön létre.<sup>179</sup> Az S-potenciálnak is kétféle fajtáját különböztette meg, az L- (luminosity) és a C- (chromacity) választ. Az L-válasz végig negatív, görbéjének maximuma a spektrum közepén, van s a két széle felé egyenletesen csökken. A C-válasz görbéje viszont két élesen elkülönülő szakaszra oszlik: a spektrum egyik felén negatív, azután elérkezik egy semleges ponthoz, majd pozitívvá válik.<sup>180</sup>

A továbbiakban a C-válasznak is két típusát tudták megkülönböztetni, ezeket R—G- (Red—Green: Vörös—Zöld-) és Y—B- (Yellow—Blue: Sárga—Kék-) válaszoknak nevezték. Ezek — mint nevük is mutatja — két skála szerint osztották fel a spektrumot. Az R—G típus a negatív feszültségének a maximumát a kékeszöldben (valamivel 500  $\mu$  előtt) éri el, pozitív feszültségét pedig 650  $\mu$  körül a vörösben, s a semleges pont helye 575 körül van. Az Y—B típus két maximuma 450 és 575  $\mu$  körül van, semleges pontja valamivel 500  $\mu$  fölött.<sup>181</sup>

Ezekután már csak az S-potenciál és az on-off-mechanizmus kapcsolatának felderítése hiányzott. Ez sem sokáig váratott magára. MacNichol, Wohlbarsht és Wagner vizsgálatai bebizonyították, hogy a negatív feszültségnek on-válasz, a középső hullámhosszok semleges pontjának on-off-válasz, a pozitív feszültségének pedig off-válasz felel meg.<sup>182</sup>

<sup>177</sup> M. Palestini, A. Davidovich and R. Hernández—Peón: *Functional Significance of Centrifugal Influences upon the Retina*. Acta Neurologica Latinoamerica. 1959/5. 125. o.

<sup>178</sup> S. Howard Bartley: *Central Mechanism of Vision*. In: *Handbook of Neurophysiology* 731. o.

<sup>179</sup> Későbbi vizsgálatok pontosabban feltárták az S-potenciál struktúráját. Három szakasza van: a dinamikus fázis (a kezdő maximális depolarizáció), a statikus fázis (kisebb, de tartott depolarizáció), és az off-jellel kezdődő depolarizáció. Vö. Ryoji Kikuchi and Mine Tazawa: *Effect of Intensity Duration and Interval of Stimulus on Retinal Slow Potential*. In: *Electrical Activity of Single Cells*. Tokyo 1960. 26. o. Továbbá: H. G. Wagner—E. F. MacNicol—M. L. Wohlbarsht: *The Response Properties of Single Ganglion Cells in Goldfish Retina*. In: *Mechanisms of Vision*. 45—61. o.

<sup>180</sup> Leirja MacNichol: i. m. 48—52. o.

<sup>181</sup> E. F. MacNichol, L. Macpherson, G. Svaetichin: *Studies on Spectral Response Curves from the First Retina*. *Visual Problems of Colour*. Proceedings of a symposium. National Physical Laboratory, Sept. 23—25. 1957. Paper. No 39. 531—535. o.

<sup>182</sup> Kutatásaikra vonatkozóan a következő forrásokat használtam: E. F. MacNichol, M. L. Wohlbarsht, H. G. Wagner: *Electrophysiological Evidence for a Mechanism of Color Vision in the Goldfish*. Naval Medical Research Institute (Bethesda), Maryland. 22. Oct.

MacNichol és munkatársai ebből két alapvető következtetést vontak le a szín-látás struktúrájára vonatkozóan. Először is azt, hogy a spektrum három egymástól jól elkülöníthető részre tagolódik: *a)* 530 m $\mu$ -ig, ahol vagy on-, vagy off-választ kapunk, *b)* 530–610 m $\mu$  között, ahol on-off-választ kapunk, és *c)* 610 m $\mu$  fölött, ahol ismét vagy on-, vagy off-választ kapunk. Ezért már itt feltételeztek egy három-receptoros rendszert (akkori számításaik szerint 500, 600 és 650 m $\mu$  maximumokkal). E tényben tehát már akkor a Helmholtz-féle trikromatizmus igazolását látták. Második következtetésük: az ingerület elvezetésében viszont úgy találták hogy a Hering-féle tetrachromatizmus bizonyult igaznak. Két rendszer áll egymással szemben: a vörös-zöld- és a sárga-kék-rendszer. Az az idegsejt, amely vörösre on-választ ad, zöldre offot fog adni. Amelyik zöldre ad ont, az fordítva, vörösre válaszol offal. Hasonló a helyzet a sárga és a kék színnel. Az on-off-válasz a kettő közötti területen található, a vörös-zöld típusnál a sárgában, a sárga-kék típusnál a kékeszöldben.

Ezekután nem csodálhatjuk, hogy a szín-látás elektrofiziológiájának kutatói rendre elismerő szavakkal emlékeznek meg Hering „opponens szín-rendszeréről”.<sup>183</sup>

Még egy fokkal mélyebbre, a szín-látás agyi folyamatáig hatolt előre rendkívül érdekes kísérletei során Russel L. De Valois.<sup>184</sup> Különösen jelentőssé teszi munkáját, hogy majmokkal végezte, tehát az emberhez legközelebb álló élőlényekkel, amelyeknek színlátása is legközelebbi rokona az emberének. De Valois a majmok laterál geniculate nucleusában fekvő agyi látóközpontját vizsgálta, és itt szintén háromféle sejtet talált on-, off- és on-off-sejteket — s funkciójukat is sikerült közelebről meghatározni.

Az on-sejtekről bebizonyosodott, hogy a színlátás terén elsődleges feladatuk a frekvencia szerinti megkülönböztetés. (Ezt a tapasztalatot a békákkal végzett kísérletek is megerősítik, mint erről W. R. A. Muntz tudósít<sup>185</sup>. De Valois eredményei szerint ebben a munkában a pálcikák és a csapok egyaránt résztvesznek, mégpedig olyan formában, hogy minden sejt a spektrumnak aránylag kis szakaszára érzékeny. Komplementaritásra, ellentétes színek összefüggéseire vonatkozó adatok nincsenek. Ez a mechanizmus, úgy látszik, valamilyen módon az „abszolút színlátást” szolgálja (az abszolút hallásnak megfelelő értelemben használva e fogalmat). Külön problémát jelent, hogy De Valois adatai szerint ötféle on-sejt működik. Érzékenyséjük maximuma 440, 510, 550, 590 és 620 m $\mu$ . Közülük a 440 és 510 m $\mu$ -s kapcsolata világos, a 440 m $\mu$ -s sejteknek az 510 m $\mu$ -ban, az 510 m $\mu$ -s sejteknek a 440 m $\mu$ -ban van egy második maximumuk. Más 510 m $\mu$ -s sejteknek viszont az 550, az 590 és a 620

1960. 353–367. o. Ugyanók: *The origin of „on” and „off” responses of retinal ganglion cells.* Uo. 19. Dec. 1960. 563–570. o. Ugyanók: *Receptive Fields of Retinal Ganglion Cells.* Uo. 19. Dec. 1960. 571–576. o.

<sup>183</sup> Vö. pl. MacNichol, Macpherson, Svaetichin: i. m. 531. o.; Granit: i. m. 78. o. (Itt ugyanis az on-off-rendszerről beszél, a pigmentáció szempontjából vizsgálva a kérdést, a trikromatizmust védelmezi.); Leo M. Hurvich and Dorothea Jameson: *Perceived Color, Induction Effects, and Opponent Mechanisms.* In: *Mechanisms of Vision*, 63. o., Russell L. De Valois. *Color Vision, Mechanisms in the Monkey.* In: *Mechanisms of Vision*, 127. o.

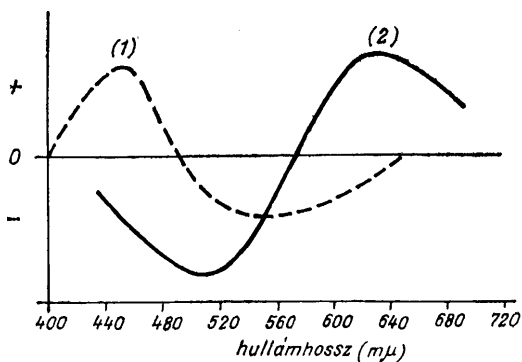
<sup>184</sup> Russel L. De Valois: *Color Vision Mechanisms in the Monkey.* In: *Mechanisms of Vision*. 115–128. o.

<sup>185</sup> W. R. A. Muntz: *Vision in Frog.* Scientific American. March 1964. 114. o.

$m\mu$ -ban. Az 510  $m\mu$ -os sejteket De Valois ezért a pálcika-rendszerrel hozza kapcsolatba.<sup>186</sup>

Az off-sejtek funkcióját az szabja meg, hogy intenzitásérzékenységük küszöbe egy-két logaritmus-egységgel alacsonyabb a többi sejténél. Ezek tehát az éjszakai látás szervei, bár De Valois hangsúlyozza, hogy az on-sejtek is működnek éjszaka, és az off-sejtek is nappal. Az elválasztás tehát nem kizárólagos. Mégis fontos megjegyezni, hogy az off-sejtek érzékenységi görbéje egyetlen vonulatot alkot, kb. 510  $m\mu$  maximummal, ezért De Valois szerint ez a rendszer a pálcikákkal áll összefüggésben.

Végül az on-off-sejtek képviselik az „opponent color system”-et. Itt olyan sejtek találhatóak, amelyek egy bizonyos szín-tartományra on-, egy másik színtartományra off-választ adnak, a kettő között középen egy kis semleges sávval, ahol nem mutatnak érzékenységet. De Valois itt lényegében ugyanazt a két rendszert találta meg, mint Scaetichin a halaknál: a vörös-zöld- és a kék-sárga-rendszert. A vörös-zöld rendszer két ellentétes csúcspontja 640 és 510



28. ábra. Az on-vagy-off sejtek két típusának — (1) kék-on, sárga-off, (2) piros-on, zöld-off-érzékenységi görbéje de Valois szerint

$m\mu$  körül van, semleges pontja 570  $m\mu$ . A kék-sárga-rendszer két csúcspontja viszont 450 és 560  $m\mu$ , semleges pontja pedig 490  $m\mu$ .

Két pontosan egymásbailló rendszer tehát: ahol az egyiknek a semleges pontja van, ott a másik még tetőponton áll. Az on-szakasz komplementer színe az off-szakasz csúcspontján található, mindkét esetben. Továbbá a görbe világosan három szakaszra bontja az egész spektrumot: a szélső szakaszokban jobbra egy-egy rendszer dominál, középen viszont mindkét rendszer együttesen működik. De Valois ebben a három-pigment-elmélet bizonyítékát látja.

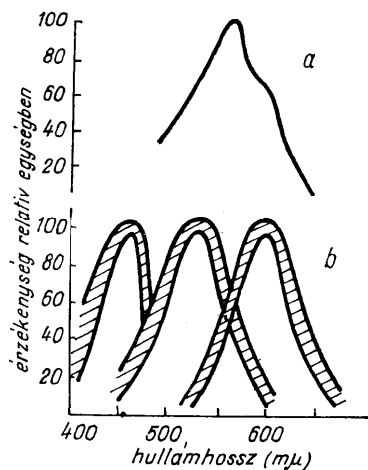
Áttekintve a két-, három- és négy szín-elmélet pozícióit, röviden át kell még tekintenünk azokat az elméleteket is, amelyek felismerve az előzőek egyoldalúságát a **KÖZVETÍTÉS** vagy az **EGYESÍTÉS IGÉNYÉVEL LÉPNEK FEL**.

<sup>186</sup> Ez az ötös struktúra viszont Stiles, valamint Hanaoka és Fujimoto adataival egyezik. Fennáll tehát annak lehetősége is, hogy a hármas rendszer mögött egy ötelemű rendszer kombinációját találjuk, egyes számértékek egyezése is erre látszik utalni.

<sup>187</sup> C. H. Graham: *Color Theory* . . . Graham mindent ismerteti, s a megoldást végül — pozitívista módon — leginkább a színelmélettel kapcsolatos nyelvi kérdések tisztázásában látja. Ebben is van valami (hiszen a különböző megfogalmazású, sőt gyakran élesen v. tatkozó teóriák lényegüket tekintve gyakran igen jól összhangba hozhatók), Graham azonban erre a tisztázásra nem tesz lényeges kísérletet.

Nem számítva most az olyan pozitívista jellegű, de önálló koncepciót nem nyújtó összefoglalásokat, mint C. H. Grahamé,<sup>187</sup> így ennek kell tekintenünk a korábbi teóriák közül valamennyi „zóna-elméletet”, azokat tehát, amelyek a kettős, hármas és négyes rendszert egyaránt érvényesnek tekintik, de az idegműködésnek csupán egy-egy szintjére, egy-egy zónájára vonatkozóan. E felfogás kezdeményezője (mint láttuk) Johannes Kries volt. Követői közé tartozott Adams és Müller — a látópigmentre vonatkozóan ők is a helmholtzi hármasságot (vörös-zöld-ibolya) fogadták el, a látóideg vonatkozásában pedig a heringi négyes rendszert. S ide sorolják — ha említik — Schrödinger szín-elméleti felfogását is.<sup>188</sup>

Beszélnünk kell a szintézis keresésének újabb kísérleteiről is. Mindenekelőtt a Granit-féle dominátor-modulátor-rendszert kell említenünk. Granit felfo-



29. ábra. A dominátor (a) és a modulátorok (b) érzékenységi görbéje Granit szerint

gása szerint<sup>189</sup> a színlátásban két fő-, ún. dominátor-rendszer működik, egy fotopikus és egy szkotopikus, az egyik a nappali, a másik az éjszakai látásé. A dominátor-rendszereket az ideghártya olyan elemei képviselik, amelyek minden fénysugárra érzékenyek. A két rendszert három modulátor tevékenysége módosítja, ide viszont azok az elemek tartoznak, amelyek csak bizonyos hullámhosszú fényre érzékenyek. Granit tehát a dominátor-rendszert a kettős-látás, a modulátor-rendszert viszont a Helmholtz értelmében vett trikromatizmus szellemében képzelte. Ezt bizonyítja a fotopikus rendszer dominátor -- és modulátor-elemeiről készített vázlata.

A dominátor—modulátor-rendszer erős hatást gyakorolt a szín-fiziológia fejlődésére. E hatás gyakran inkább csak közvetett, nem a rendszert magát veszik át, hanem csupán a szintézis igényét. Azok is, akik alkalmazzák, sokszor lényeges módosításokat hajtanak rajta végre.

Lényegében hasonló Granit felfogásához Studnitzé és Segalé is. Studnitz

<sup>188</sup> Az elméletek összesítését lásd Graham: i. m. 220—221. o., Jüdd i. m. alapján

<sup>189</sup> Granit: *Receptors...* 113—148. o., továbbá: *Neural activity in the retina. Handbook of Neurophysiology.* 1959. 707—709. o.

két<sup>190</sup> alapvető rendszert különböztet meg H—Erregung (Helligkeitserregung) és F-Erregung (Farbenqualitätserregung) néven, ez utóbbin belül pedig FR (vörös), FG- (zöld) és FB- (kék) „Erregung”-ot. Segal „háromréteg”-elmélete, amelyben a három alapszín iránti érzékenységet a reechártya három különböző területéhez, rétegéhez kapcsolja (területileg s a fényérzékeny elemek mineműségét tekintve egyaránt). Munkája<sup>191</sup> az újabb kutatások fényében elavult.

A dominátor-modulátor-elméletet később maga Granit módosította, most már hétféle modulátort különböztet meg (vörös, narancs, sárga, zöld, zöldeskék, kék, ibolya), Hartridge pedig valamiképpen a látás rétegeivel kapcsolta össze, a hét szín nála három rendszert alkot. Közülük kettő azonos a Svaetichin- (eredetileg Hering-) féle vörös-zöld- és kék-sárga-rendszerrel, a harmadik pedig három alapszínnel átfogja az egész spektrumot.<sup>192</sup>

A részletes tárgyalás során láthattuk, hogy a modern látásfiziológia képviselői rendre egy ilyen szintetikus elmélet felé közelítenek akármelyik oldalról indulnak is el. Láttuk, hogy De Valois milyen nagyvonalúan kapcsolja össze a kettős (pálcika-csap), a hármas (három receptor) és az antagonisztikus négyes (piros-zöld + kék-sárga) elméletet. Még kiforrottabb formában jelentkezik a szintézis igénye MacNichol 1964-ben kifejtett felfogásában. Eszerint a szín-látás kétlépcsős folyamat. A receptorok szintjén hármas tagolású, itt a Young-Helmholtz-elméletnek van igaza. Az idegrostok szintjétől kezdve azonban már az opponens színrendszer Hering-féle négyessége érvényesül.<sup>193</sup> Ezt a fel fogást — mint Luria 1966-os megfogalmazásából láthatjuk — ma már igen széles körben vallják.<sup>194</sup>

Más kérdés, hogy néha úgy beszélnek róla, mint valami vadonatúj felfedezésről, holott láthattuk, hogy a különböző zónaelméletek (Kries, Müller, Adams), bizonyos mértékig a Ladd—Franklin-elmélet, különösképpen pedig Schrödinger már lényegében ezt vallották, sőt a kérdés matematikai oldalát tekintve Schrödinger zseniálisan be is bizonyította. Most mindenesetre maga a megoldás is új szinten kezd kibontakozni, nemcsak a matematika, hanem a konkrét fiziológiai kutatás szintjén is. S ez azt jelenti, hogy a szín-látás elmélete végre a megoldás felé halad.

Úgy látszik tehát, hogy a két régi vetélytárs, Helmholtz és Hering követőinek vitája úgy fog kimulni (mint már nem egyszer megtörtént a tudomány történetében), hogy utódaik egyszerre nem is tartják már olyan összegegyeztetetetlennek a harcok elődök nézeteit. Rájönnek, hogy nem mondtak alapvetően mást, csak más oldalát ragadták meg a bonyolult valóságnak. Most minden a szintézis után kiált. Ezért úgy vélem, hogy miután tőlünk telhetően áttekintettük a színekkel kapcsolatos fiziológiai kutatás fejlődését, meg kell próbálkoznunk a tanulságoknak a szín-érzékelés struktúrája szempontjából való összefoglalásával. Nincs alapunk persze arra, hogy a fiziológia szakkérdéseibe „beleszóljunk”. De arra ez után az áttekintés után talán igen, hogy bizonyos általános összefüggésekre rámutassunk.

<sup>190</sup> G. V. Studnitz: *Zur Physiologie des Farbensehens*. Die Naturwissenschaften. 1941. 377. o.

<sup>191</sup> Segal: i. m. 25—35. o. és tovább.

<sup>192</sup> Hartridge felfogására vonatkozóan lásd H. Hartridge: *Colours and how we see them*. London 1939. (népszerű ismeretterjesztő munka) H. Hartridge: *Recent advances in the physiology of vision*. London 1950., továbbá Luria: i. m. 39. o.

<sup>193</sup> MacNichol: *Three-pigment* . . . 54. és 56. o.

<sup>194</sup> Luria: i. m. 41. o.

## Összefoglalás

Végignéztük a színekkel foglalkozó különböző tudományágaknak a színlátás struktúrájára vonatkozó feltevéseit és eredményeit. Sokféle problémával, sokféle — sokszor ellentétes — megoldási javaslattal találkoztunk. Mégis észrevehetjük, hogy az eltérő interpretációk mögött volt valami közös: a színlátás struktúrájának legalapvetőbb jellemvonásaira nézve feltűnő egyezéseket mutattak. Próbáljuk meg most ezeket a közös vonásokat megragadni.

Nézetem szerint abból kell kiindulnunk, hogy kettős- (Kries), hármas- (Helmholtz), négyes- (Hering), ötös- (Stiles), hatos- (Wundt), hetes- (Hartridge) nyolcas- (Ostwald), tízes- (Munsell) elméletek egyaránt jól használhatók a maguk szűkebb alkalmazási körében, de egyaránt alkalmatlanok arra, hogy a színlátás egyetlen elméletévé emeljük őket. A valóságban a színlátás nem kettős, nem hármas, nem négyes, nem ötös, nem hatos, nem hetes, nem nyolcas, nem tízes rendszerű, hanem valamennyi egyszerre. A színlátás struktúrájában nem az alapszínnek száma a lényeges, hanem maga a színek *ellentétén és egységén felépülő dialektikus szerkezet*.

Ennek a szerkezetnek pedig az a jellegzetessége, hogy az egyik szempontból nézve kettős, a másiktól hármas rendszerű, és így tovább.

Induljunk ki abból, amit a különböző elméletek ismertetésekor mindig kiemeltünk, ti hogy a spektrum vonulatának vannak *kitüntetett pontjai*, illetve „*foltyái*”. Mindenekelőtt két pont, illetve két kis sáv emelkedik ki, az *500 m $\mu$  körüli pont* (a 480—500 m $\mu$  sáv) és az *560 m $\mu$  körüli pont* (az 560—580 m $\mu$  sáv). Az *500 m $\mu$*  az a határ, amelytől kezdődőleg (a számsoron felfelé haladva) a színeknek már nincs kiegészítő színük a spektrumon — csak a bíbor. Ez viszont a kiegészítő színe a színekép vörös végének, a 480—500-as sáv pedig a meleg színek egész vonulatának. Schrödinger értelmezésében ezt köti össze egyenes vonal a spektrumszéllal, s itt van a színmegkülönböztetési képesség egyik maximuma. A háromértékes színérzékenységi görbéken minden esetben kiemelkedik ez a szakasz, itt található a zöld és a kék görbe kereszteződése s a vörös mélypontja. Ez az a szín, amely felé erős megvilágításban a környező színek törekednek (Purdy kísérlete), ez nem változik sem a szimultán, sem a szukcesszív kontrasztban. Ez a határ Land kísérleteiben. Ez az éjszakai látáshoz alkalmazkodott szem fényérzékelési görbéjének maximuma. Ez a rhodopsin fényelnyelési görbéjének csúcsa. MacNichol hárompigment-görbéjén itt található a kék vonala a zöldével, majd a sárga-vörösével. Végül e pont körül van az on-off-rendszer szerint a vörös-kékeszöld színlátás negatív csúcspontja és a sárga-ibolya színlátás semleges pontja. (A felsorolásban most mindig az 500 m $\mu$  körüli pontot emeltük ki, de ugyanígy hozzátehetnénk, hogyan követi árnyékként a 480 m $\mu$  körüli, ha pl. a vörös 500 m $\mu$  körül kereszteződik a késsel, a zöld 480 m $\mu$  körül stb.)

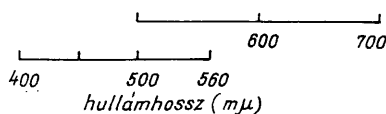
Hasonló módon emelkedik ki az 560—580 m $\mu$  (577 m $\mu$ ) közötti sáv is. Ez az a szakasz, amelytől kezdődőleg (a számsoron felfelé haladva) ismét van kiegészítője az egyes színeknek a spektrumon. Ez a kiegészítő színe a színekép ibolya végének, az 560—580-as sáv pedig valamennyi hideg színnek. Ide esik Helmholtz, „Prinzipallinie”-jének végpontja, Schrödinger rendszerében pedig az ibolyától elinduló egyenes. Itt van a színmegkülönböztetési képesség másik maximuma. A háromértékű színérzékelési görbéken itt van a zöld csúcspontja, majd itt található a zöld a vörössel. Prudy kísérleteiben itt van a másik (és legfőbb) pont, amely felé a színek erős megvilágításban törekednek. Ez

a sáv nem változik a szimultán és a szukcesszív kontrasztban. Itt a másik határ Land kísérleteiben. Itt van a nappali látáshoz alkalmazkodott szem fényérzékenységi görbéjének maximuma. Itt a jodopsin színérzékenységének csúcsa, s ha az embernél nem is találtak jodopsint, MacNichol kísérleteiben is 577 körül van a vörös-sárga-érzékenység maximuma, és 560 körül kereszteződik a vörös-sárga vonala a zölddel. Az on-off-rendszer értelmezésében viszont itt van a kék-sárga rendszer negatív maximuma s a vörös-zöld rendszer semleges pontja.

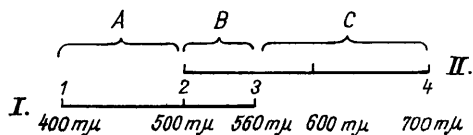
Ne zavarjon most bennünket az, hogy ezek a kitüntetett pontok az egyes vizsgálatokban más és más értelmezést kaptak (hogy pl. az 560-as pont az egyik görbén a zöld vonulatának csúcsa, a másikon pedig a zöld és vörös kereszteződése). Hogy melyik a konkrétan helyes interpretáció, azt a további kutatásnak kell majd eldöntenie. Mi most inkább arra irányítuk a figyelmünket, hogy ilyen kiemelt pontok *vannak*, s hogy a színlátás struktúrájának bármiféle értelmezésében belőlük kell kiindulni. Nem az a fontos tehát a számunkra, hogy például pontosan hányféle pigment van, és hogy pontosan hová esik a maximumuk vagy a minimumuk, hanem az a mindaddig elhanyagolt tény, hogy a színlátásnak van egy elvont, matematikai struktúrája, amely a különböző értelmezésekben mindig következetesen előtűnik. *Ez a struktúra önmagában zárt, kerek és teljes rendszert alkot: a két belső pontot a szélső pontok, a spektrum végei határozzák meg.*

Olyan a természete ennek a struktúrának, hogy egyaránt tekinthetjük kettes, hármas vagy négyes rendszernek (s ezek kombinációjaként bármely továbbiak). Vegyük a legegyszerűbb ábrázolást. Miután a kiemelt belső pontok egyértelműen utalnak a spektrum ellentétes végére, a spektrum lineáris sorát legegyszerűbben két párhuzamos, ellentétes sorra lehet bontanunk.

Ennél egyszerűbben már nem lehet a szín-látás rendszerét ábrázolni. A spektrum két végpontja egyértelműen meghatározza a két belső pontot, ez a négy pont pedig három szakaszt és két pontosan egymásbailleszkesdő rendszert: a kék-sárga skálának épp ott van a semleges nyugvópontja, ahol a zöld-piros skála egyik opponens pólusa és viszont.<sup>195</sup>



30. ábra.



31. ábra.

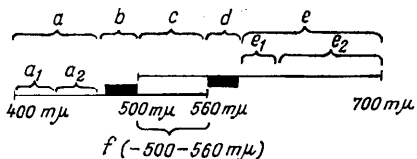
Már ez az ábrázolás is magában hordja a többféle értelmezés lehetőségét. *Itt ugyanis két rendszerről (I., II.), három szakaszról (A, B, C) és négy kitüntetett (párónként ellentétes) pontról (1, 2, 3, 4) van szó.*

Minden elmélet, amely a kettes számot emeli ki, két *rendszert* vesz fel (két alapszínnel ugyanis értelmezhetetlen a színek kettőnél többdimenziós rendszere). Minden hármas elmélet a receptor-elemek számát adja meg, tehát a spektrumot a színérzékenység szempontjából három *szakaszra* hasítja, vagy ha nem háromra, akkor ötre, vagy hétre, de mindenképpen páratlan, mégpedig

<sup>195</sup> Ami nemcsak a látás elektrofiziológiai folyamatának felel meg, hanem a Ladd-Franklin-elméletnek is.

törzsszámot vesz alapul).<sup>196</sup> Végül — mivelhogy a vonalon  $n$  szakaszt  $n + 1$  pont határoz meg, — minden négyes elmélet (és minden hatos, nyolcas) nem szakaszokban, hanem kiemelt, *ellentétes pontokban* gondolkodik.

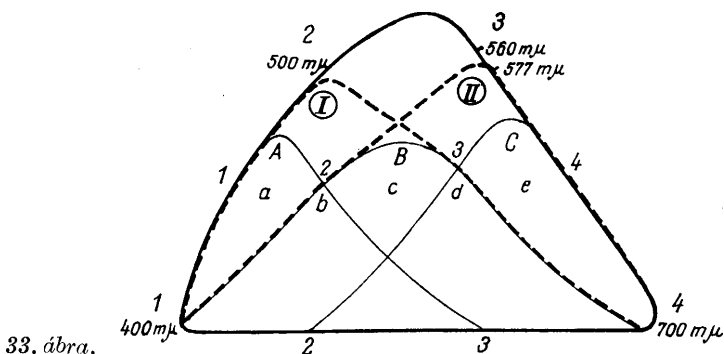
Ezen az alapon aztán nem lesz nehéz bármely számú rendszert levezetnünk. Négyes rendszert kapunk például akkor is, ha az A—B—C szakaszokhoz D-nek hozzávesszük a spektrumon jelen nem levő, de a középső B sávnak kiegészítő színét bíbort. Ötös rendszert kapunk, ha az A—B—C rendszerből kiindulva a kiemelt sávokat (480—500  $m\mu$  kékeszöld és 560—580 sárga) is különválasztjuk (amit annál inkább megtehetünk, mert hiszen eleget foglalkoztunk e sávok kitüntetett szerepével).



32. ábra.

Ez a rendszer aztán szintén a bíborral (f) egészül ki hatossá. De úgy is ötös rendszert kapunk, ha az a-val és e-vel jelölt szakaszokon megkülönböztetjük az ibolyától a kéket és a sárgától a vöröset (tehát a Goethe szerint alap- és fokozási színeket). (Az ábrán az a<sub>1</sub>-a<sub>2</sub> és e<sub>1</sub>-e<sub>2</sub>.) A bíbor itt is társulhat hatodikul. Hétté egészül ki a sor, ha mindkét elvet alkalmazzuk (ezt teszi Hartridge a hetes-modulátor-rendszerében). Nyolc, ha hozzávesszük a bíbort. Kilenc, ha a zöldben is két sávot különböztetünk meg, a kékhez (hidegszínekhez) közelebb állót és a sárgához (melegszínekhez) húzót. Tíz, ha szétválasztom a bíborban is a kétféle zöld kiegészítő színeit.

Szemléletesen ábrázolhatjuk az összefüggéseket akkor is, ha a színháromszög Helmholtz által megadott formájában (17. ábra) belerajzoljuk a feltételezett három alapszín érzékenységi görbéjének sematikus vázlatát (természetesen — az összefüggések szemléltetése érdekében — bizonyos torzítással):



33. ábra.

<sup>196</sup> Ezért tárgyunk szempontjából másodlagos kérdés, hogy pontosan 3, 5 vagy 7 receptor vagy „modulátor” található-e a recehártján. Öt elem éppoly jól, sőt még „üzembiztosabban” határozhat meg három szakaszt, mint három (pl. a-b-c elem az első, b-c-d elem a második, c-d-e elem a harmadik szakaszt). De Valois és Stiles ötféle on-eleme ilyen rendszerre enged következtetni.

Ennek alapján is egyaránt levezethetjük a kettes, hármas és négyes szín-látást s módosulásaikként az összes nagyobb számokat.<sup>197</sup>

Sietek hangsúlyozni, hogy mindez nem pusztán játék a számokkal. Nemcsak a színek elsajátításának történelmi fejlődését tükrözi,<sup>198</sup> hanem egyben a szín-érzékelés folyamatának materiálisan adott dialektikáját is. Mert nemcsak az jelenti itt a dialektikát, hogy minden szín-érzékelésünk viszonyítás, valamiféleképpen két rendszer egymásra való vonatkoztatása, ez még pusztán relativitás is lehetne. Az összefüggések azáltal válnak valóban dialektikussá, hogy e folyamatban nem pusztán eltérő, hanem ellentétes (még hozzá azonos lényegen belül ellentétes) elvek érvényesülnek. Az összefüggések részletes felvázolása külön tanulmányt igényelne. Most csak azt bocsátjuk előre — ami közvetlenül az eddig elmondottakra tartozik —, hogy ellentétes elvek szabják meg a *receptió* és a *perceptió* rendjét az *első* és a *második szinten*, tehát a retina első (csap-pálcika) és második-harmadik (internunciális és ganglionális) sejtrétegében.

Az *első rétegben*, ahol a színérzékelést a pigmentek szabják meg, a belső ellentmondás lényege az *intenzitás-frekvencia* elv ellentéte. Az elsődleges receptió természetesen nem ismer telítettséget és más másodlagos minőséget, csak két elsődlegeset: intenzitást és frekvenciát. Ez a kettő azonban a receptió folyamatában dialektikusan olvad egymásba: az intenzitás frekvenciává változik (az ingerület periódusaiban), a frekvencia pedig intenzitássá (a fényérzékeny anyag bomlásának a frekvencia által meghatározott voltában). E belső ellentmondás határozza meg a Brücke—Bezold- és a Purdy-féle jelenség ellentétét: az intenzitás növelésével a színek egy irányban, csökkentésével ellentétes irányban változnak, ábránkon (33. sz.) az első esetben felfelé, az I. és a II. pont felé, a másodikban lefelé, az A, B és C szakasz közepe felé. Az első egyben az additív, a második a szubsztraktív színkeverés iránya.

Az első szint tevékenységének tehát ez a belső ellentmondása, amelyet az individuális receptor elemek fényérzékelő tevékenysége végül mégis lineáris renddé szervez. A festék színérzékelési görbéje nem ismer ellentétes pólusokat, csak a minimumtól az emelkedő szakaszon át újra a minimumig tartó vonulat

<sup>197</sup> Ez a séma jól mutat sok más összefüggést is. Abba a háromszögbe, amelynek csúcsa a II. pontban van, beleírhatnánk a nappali fényérzékenység görbéjét, s világosan kitűnik, hogy ez — a foveális látásrendszer — két színérzékeny pigmenten, az erythrolabeon és a chlorolabeon alapul. Az I. csúcsú háromszögbe viszont az éjszakai látás görbéjét írhatnánk. Ennek a rendszernek pigmentációja még bizonytalan, de az ábra egyezik a jelenlegi feltételezéssel, hogy tudniillik a rhodopsin mellett egy kék-érzékeny és esetleg egy zöld-érzékeny pigment vesz részt a rendszerben. Tükrözi az ábra azt is, hogy a zöld és bíbor bizonyos értelemben az I. és II. rendszer összegének tekinthető (az egyik pozitív, a másik negatív előjellel), és lehetőséget ad arra is, hogy a spektrum két végének azonosságát értelmezzük: míg a tiszta sárga és a tiszta kék abban tűnik ki, hogy kölcsönösen gátolják egymást, a vörösnek már kapcsolata van az I-es (kék), az ibolyának a II-es (vörössárga) rendszerrel.

<sup>198</sup> A színérzékenység fejlődése kétségtelen differenciálódáson ment keresztül. Ami nem jelenti azt, hogy a primitív ember nem lett volna képes igen sokféle szín-árnyalat megkülönböztetésére. A színek elsajátításán azonban itt most azt a képességet értem, hogy a receptíve és perceptíve felismert különbséget ne csak lássuk, hanem a művészi vagy más tükrözés szolgálatába is állítsuk. Ebben pedig a fejlődés az előbb feltárt matematikai rendet követte: előbb mindig a főszíneket „sajátították el” és használták fel, főképpen szimbolikus értelemben, azután ezek számának szaporodásával differenciálódás következett be, hogy végül, a lokális színek elvének uralomra jutásával, valamennyi megkülönböztethető szín jelentőséget kaphasson, most már egy magasabb rendben, amelyet az az ábrázolás és a szín saját értéke (Jantzen megfogalmazása szerint a *Darstellungswert* és az *Eigenwert*) együttesen szabályoz.

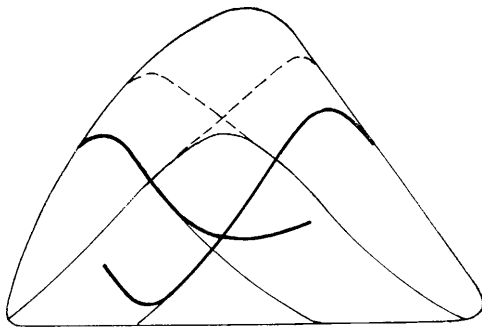
szimmetrikus feszültségmentességét. A második szinten azonban már az idegrendszer több receptor-elem tevékenységét fogja össze, itt ezek az egyes lineáris rész-momentumok *polárisan* szervezett egységekben forrnak össze. Itt egy-egy rendszer (egy-egy ganglion-sejt, majd egy-egy idegrost) tevékenysége már nem a minimum-maximum-minimum vonalát követi, hanem a pozitív maximum-semleges pont-negatív maximum vonalát. Ennek jellege az előzővel éppen ellentétes, mert két, egymással polárisan szembenálló maximummal rendelkezik. Eszerint tehát az alapvető ellentmondás a linearitás és polaritás kettőssége.

A szín-látás struktúrájának egész gazdagságát az adja, hogy ez a két elv s velük az ellentmondások egész rendje hallatlanul bonyolult és sokoldalú épületet hoz létre. Ebben nem is igazodhat el az, aki mindenáron *egyetlen* összefüggés szálára akarja felfűzni az egésztest.<sup>199</sup>

A szín-látás dialektikájának jellemzéséhez ezen a fokon még csak azt kell hozzátennünk, hogy az ellentétek egysége itt nem pusztán szólam a dialektika tankönyveiből kimásolva: az egység kézzelfogható, materiális formában

<sup>199</sup>Hogy az első szint lineáris elvű működése hogyan kapcsolódik a második szint poláriselvű működéséhez, az még nem teljesen tisztázott, mint láttuk, éppen ez az egyik legfontosabb tárgya a fizioológia kutatásnak. Az eddigiek szerint — ha elfogadjuk a pigmentációnak Rushton és MacNichol által felállított rendjét — a következő séma látszik valószínűnek. Ha, mondjuk, a kék-érzékeny pigment izgalma on-jelzést ad, a kék és a zöld pigment egyenlő arányú együttes izgalma ad semleges választ, a zöld- és a sárga-érzékeny pigment együttes izgalma (tehát az ellentétes rendszer) off-választ. Ha csak a sárga pigment lép működésbe, akkor nincs válasz. Ugyanez az eset a sárga-vörös-érzékeny pigment esetében, azzal az eddig még meg nem magyarázott különbséggel, hogy itt a pigment szín-érzékenységi maximuma nem esik egybe az elektromos válasz maximumával.

Mindez — De Valois grafikonját az előbbi ábrára alkalmazva — a következőképpen is szemléltethető:



34. ábra

(Ami másféleképpen kifejezve annyi, hogy az on-off-viszonyok az ábra két — kék-sárga-, illetve vörös-kékeszöld — tengelyén szemléltethetők. A kék-sárga-tengelyen például a metszéspontoktól elválasztott első szakasz az on-, a második szakasz a semleges, a harmadik szakasz az off-válasz területe.)

Felmerül persze a kérdés ez esetben hogy mi a helyzet a zöld és a bíbor színnel. A zöld-érzékeny pigment izgalmára — De Valois adatai szerint — mindkét rendszerben off-válasz jelentkezik, a zöld tehát valóban mindkét színtartomány összege. Kézenfekvő a feltételezés, hogy a bíbor szín ennek fordítottja, tehát akkor jön létre, ha mindkét rendszerben on-válasz jön létre, a vörös- és a kék-érzékenység pigment egyidejű izgalma által. A bíbor-színérzékenységet azonban eddig, tudomásom szerint, elektrofiziológiai módszerrel nem tanulmányozták.

relentkeznek a színek mérhető összegében: a fehér szín érzetében. A spektrum színeinek összege a fehér, de ezen belül minden szín helyzetét s minden két szín egymáshoz való viszonyát az szabja meg, hogy milyen helyet foglal el a spektrum színektől a fehérhez vezető sorban.<sup>200</sup>

*Lineáris vagy poláris természetű-e tehát szín-látásunk struktúrája?* Nem egyik vagy másik, hanem mindkettő egyszerre. A különböző hullámhosszú és rezgésszámu fénysugarak lineáris rendbe rendezhető sora úgy szerveződik polárisan felépített struktúrává, hogy megőrzi a lineáris rendet is. Ezen alapul a *színérzékelés dialektikája*.

S ezen alapul a szín-érzékelésnek az *az objektív struktúrája*, amely egy további vizsgálatban — a bevezetőben vázolt módon az esztétikai célzattal felépített színrendszerek (Leonardo, Runge, Delacroix, Van Gogh, Kandinsky, Klee stb.) és a festészetben alkalmazott szín-viszonyok konkrét elemzésének alapja lehet. Elvezet tehát bennünkeket a *színek esztétikájához*.

## СТРУКТУРА ВОСПРИЯТИЯ ЦВЕТА

### И. Витани

Одна из важнейших задач эстетики — и в особенности марксистской эстетики — состоит в том, чтобы вскрыть структуральные законы *материала* отдельных искусств (музыкальных звуков, цветов и форм в живописи, движений человеческого тела и т. д.). Для этого должны быть разработаны те результаты, которые были достигнуты за последние десятилетия в исследовании звуков, цветов и т. д. в области естественных наук, в первую очередь, в физике, физиологии и психологии. В особенности физиология изобилует новыми открытиями в этой области, для неврофизиологии и происходящего в её рамках исследования восприятия в чаще время характерное, поистине революционное развитие, воздействие которого должно распространиться не только непосредственно на медицину и биологию, но и на философию.

Настоящая работа, естественно, может взять на себе выполнение лишь малой части этой задачи. Её предмет — восприятие *цветов*. Выбор этот был совершен в первую очередь потому, что вопросами сущности, перцепции, структуры, воздействия цветов занимается в наше время не одна наука, и именно за последние годы были сделаны такие новые открытия, которые существенно изменяют, корректируют сложившуюся ранее картину.

Использование новых результатов затрудняется тем, что занимающиеся изучением цветов различные науки (учение о свете, фотометрика, физиология зрения, психология цветов, цветодинамика и т. д.), довольно изолированы друг от друга, так что применение сложившегося в отдельных специальных областях представления осуществляется медленно в других областях. Не было сделано и попытки философского обобщения достигнутых результатов, хотя условия для этого уже созрели в процессе исследования, на что указывает тот факт, что были подняты (и частью разрешены) многие проблемы, относящиеся и к общему процессу ощущения.

Из этого следует, что автор статьи стремится в первую очередь к философскому обобщению результатов естественных наук, чтобы создать таким образом основу для стетического анализа цветов. С этой целью проводится обзор развития занимающихся

<sup>200</sup> A két ellentétes szín-tartomány — a hideg és a meleg színek — összege (ha az alapszínek a kiegészítő szín-párton belül esnek) a zöld. A vörös, a zöld és a sárga együtt fehéret alkot. Ha az alapszínek a kiegészítő színpáron kívül esnek, a hideg és meleg színek összege a bíbor. A bíbor és a zöld együtt fehéret alkot. Továbbmenően: a kék és a zöld összege a kékeszöld, a zöld és a sárga összege a zöldessárga. A zöldessárga kiegészítő színe a kéknék, a kékeszöld a vörösnék, a kékesvörös — tehát a bíbor — pedig (mint láttuk) a zöldnek. A zöldessárga, a kékeszöld és a bíbor is fehéret alkot együtt. Így lehet építeni komplementer színhármasokat és szín-négyeseket a legegyszerűbb szín-pártól a legbonyolultabb összetételekig.

изучением цветов отраслей науки (подробный обзор распространяется, естественно, на последние сто лет), а также делается попытка обобщения тенденций новейших исследований. Из проделанного анализа делается вывод, что резко противостоящие ранее друг другу теории (теория «трёх цветов» Юнга — Гельмгольца, теория «четырёх цветов» Херинга и т. д.) в настоящее время уже на кажутся коренным образом противоположными. Причина их различия состояла в том, что в них фиксировались различные стороны действительного процесса. Теперь кажется существенным уже не число основных цветов (как это математически было доказано ранее Е. Шредингером) а *диалектика* цветов и структуры их восприятия которая в дальнейшем может стать основой эстетики цветов.

## STRUCTURE OF COLOUR-PERCEPTION

### *I. Vitényi*

One of the most important tasks of aesthetics—specially of Marxist aesthetics—is to discover the structural laws of the *material* of certain artistic branches (musical sounds, picturesque colours and forms, movements of the human body etc.). For the sake of this it is essary to use those results which were achieved in recent decades by the natural sciences, specially by physics, physiology and psychology in the examination of sounds and colours. Specially the physiology gave new discoveries in this respect; neurophysiology and the researches concerned with perception had a revolutionary development recently and the effect of this must be taken into account not only in the medical sciences and biology but in philosophys as well.

The subject of this study is the analysis of the perception of colours. Sciences today deal with the essence, perception, structure and effect of colours and there were some perfectly new discoveries which modify and correct the earlier formed views. The different sciences dealing with colours (optics, photometry, physiology of seeing, psychology of colours) are rather isolated and the views of certain branches are very slowly transmitted to other territories, and these facts make difficult to use the new results. There was no attempt on summarizing results by philosophy although the researches founded the condition of this by raising and even solving problems concerning the general process of perception.

Consequently the study intends to arrive at a philosophical generalization of the results of natural sciences and to create a base for examining colours by aesthetics in this way. Therefore it surveys the development of sciences dealing with colours (of course only its last hundred years in detail) and tries to summarize the tendencies of the newest researches.

It comes to the conclusion that the previously contradictory principles seem not to be so deeply antagonistic anymore; the reason of their difference was that they emphasized different sides of the real process. (The three-colours principle of Young- Helmholtz, the four-colours principle of Hering) The most important thing is—as it is mathematically proved by E. Schrödinger — not the number of the main colours but the dialectics of colours and the structure of their perception. And should be the base of the aesthetics of colours.