

Zemplén Gábor Áron:

Analitikus szivárványfilozófia és Newton végtelenül egyszerű színelmélete¹

Hány egyszerű színből áll a szivárvány? Sokan válaszolnak erre a kérdésre úgy, hogy hét szín van a szivárványban. A tizennyolcadik századi költők gyakran megénekelték, a tankönyvek az ábrák mellé rendre meg is nevezték a hét színt (Gouk 1994; Nicolson 1963). Persze sokan azt mondanák, hogy ez téves, valójában végtelen sok színre bontható a szivárvány, ahogy a prizma is a fehér fényt végtelen számú színre bontva hozza létre a spektrumot. Mindkét válasz Newton munkásságának hatására terjedt el.

Newton színelméletének első publikált változatában, az 1672-ben az angol Királyi Társaságnak küldött levél ötödik tételében így fogalmaz:

[...] tehát kétféle szín létezik: Az egyik eredeti és egyszerű, a másik viszont összetett. Az eredeti, vagyis elsődleges színek: a vörös, a sárga, a zöld, a kék, és a bíborlila, valamint a narancssárga és az indigókék és a közbülső színek végtelen sorozata. (Newton 1977, 21)

A nyelvi szerkezet az utolsó két színt valamennyire elválasztja az első öttől, és ha felidézzük, hogy Arisztotelésznél csak három szín van a szivárványban, továbbá, hogy Newton előtt nemigen ábrázolták a szivárványt hat színnel sem (3, 4 vagy 5 szín volt a leggyakoribb) egy harmadik válasz is felsejlik. E szerint csak öt szín van a szivárványban.

Annyit mindenesetre állíthatunk a „Hány egyszerű színből áll a szivárvány?” kérdésre, hogy Newton szerint öt, hét, végtelen színből, és pont ugyanennyi egyszerű szín is létezik. Ahhoz, hogy ezt a szokatlan megfogalmazást racionális stratégiának tekinthessük, felvázolom azokat a feszültségeket az optika formálódó nyelvében, amelyek elemzésével bemutatható a matematizáló hagyomány, a késői skolasztika és a formálódó korpuszszkuláris filozófiák fogalmi rendszereinek mély konfliktusa, és ezen keresztül új szempontból értékelhető Newton stratégiai manőverezése elmélete színdefiníciójában. Egyfelől amellet érvelek, hogy a három válaszlehetőség közül a végtelen számú egyszerű szín nem volt problémamentesen illeszthető sem az arisztotelai színelméletekkel, sem a geometriai optikával, és Newton tételeinek kifejtésekor a megfogalmazások ezeket a konfliktusokat rejtik el. A stratégiai manőverezés a kor formálódó tudósközössége számára nem

¹ A kézirat elkészítését az OTKA „Perspektíva és megismerés a kora újkorban” (K 81165) pályázata, valamint TÁMOP (4.2.2.B-10/1) támogatta.

tette nyilvánvalóvá az elmélet teljes mélységét, és a többértelmű megfogalmazás a kritikák elleni védekezés fontos technikájává vált. *Ut pictura poesis*; az ábrázolási konvenció radikális átalakításában érdekelt Newton az ábrákon keresztül is manőverez, hiszen színelmélete a kor több diagramm-készítési konvenciójával is ütközik. Ez az értékelés lehetőséget ad arra, hogy az öt és a hét szín lehetőségét vizsgálva a Newton-recepció több, jól ismert Newton félreértelmezését legitim és a kor fogalmi hálójába jól illeszkedő interpretációnak tekintsük.

1. Az eredeti színek

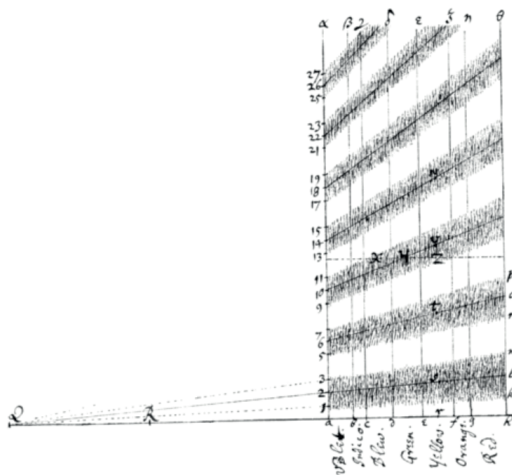
1.1 Egyszerű fényszínek és pigmentszínek

Newton kétféle színről beszél. Mielőtt megvizsgálánk, hogy számára ez a dichotómia mit jelent, szögezzük le: teljesen általános volt a korban, hogy *valamilyen* felosztást vagy dichotómiát alkalmaztak a színek tekintetében. A pigmentkeverési hagyomány az ókortól alapszínekben és azok keveredéseiben vizsgálta a színeket, és ezek nyomai a korai természetfilozófiai szövegekben rendre meg is jelentek (Gage 1993). Newton diákéveiben sokat kevert színeket, és ez a felosztás mind a közismert primitív elméleteken, mind a gyakorlaton keresztül nyilvánvaló volt számára (Westfall 1980). Valószínűsíthetően tehát használta az elkülönítést „színkeverés” értelmében, hiszen az *Optika* különböző kiadásainak ábráin a spektrum színeiből álló színekörével általában hetes felosztással konkrét színkeverési tanácsot ad.

Persze így *fényszíneket* és nem *pigmentszíneket* lehet keverni, és ez egy igen lényeges felosztás, amivel Newton legkésőbb az 1660-as évek első felében már megismerkedett. A sugárzó fény (színei) és a tárgyról visszavert fény (színei) között a természetfilozófiában „tananyagként” szerepelt a különbség. A sugárzó fény (*lux*) az optikai hatás (*lumen*) révén látható, a tárgyról szembe jutó fény (és szín) akkor válik láthatóvá, ha a sugárzó fény (szín) aktiválja. A magyarázati keretek ugyan részleteikben eltértek, de az elméleti szövegek Avicennától kezdve megtették a fenti különbséget: a *lumen* a *lux* speciése. A középkorban már virágzó fény-kísérletek ehhez az elkülönítéshez kapcsolódva beszéltek emphatikus, irreális, látszólagos, vagy valódi, objektív színekről. A dichotómia világos, a megfogalmazás konfúzus volt az egyre kifinomultabb kísérleteket és magyarázatokat kidolgozó kora modern szerzőknél. Tipikusan az összes színt az üveggömbön vagy prizmán keresztül megjelenő színek segítségével magyarázták, hisz a tizenhetedik században domináns megközelítés szerint a leggyümölcsözőbb kutatási irány a *látszólagos* színek alapján magyarázni *valódiakat*.

Robert Hooke a vékony filmek és rétegek interferenciaszíneit vizsgálva az irizáló színek mikroszkópos leírásával bővítette a kísérleti optika példatárát,

és a vékony filmek színeit használta *explanans*-ként a visszavert fény színeinek értelmezésekor, vagyis *fényszínekkel* magyarázza a *pigmentszíneket*. A vékony filmeket Newton is felhasználta, hogy a pigmentszíneket magyarázza. Newton még diagramot is készített, az ún. nomográft (nomograph, 1. ábra), amely a *lumen*, a fény színei és a *lux*, a természetes, visszavert színek korrespondenciáját adja.² Szemben a klasszikus pigmentkeveréssel, Hooke és Newton szerint nem kitüntetett pigmentszínek keveréseivel állíthatók elő az egyéb pigmentek színei, hanem az egyszerűbb, alapvetőbb fényszínekből keverhetők ki a pigmentszínek. Egyszerű szín ebben az értelemben az öt illetve hét alapszín. Mivel a nomográf a rétegvastagság függvényében egyre növekvő mértékű keveredéssel a spektrum hét kitüntetett színét tartalmazza, így Newton a pigmentszíneket a nomográffal, a nomográf összetett színeit a spektrum színeivel magyarázza, tehát végülis *fényszínek keverésével* magyarázza a *pigmentszíneket*.



1. ábra A nomográf a spektrum színeit és a vékony filmek gyűrűinek átfedését kapcsolja össze. (MS Add. 3970.3, f. 522r)

Ezt érthetjük úgy, hogy Newton a fehér fényt összetettnek tekintette és hét alapszínt különített el, amiből minden szín kikeverhető. Ugyanakkor a

² Hooke még megoldhatatlannak tartotta a filmrétegek vastagságának mérését, Newton szabad szemmel végzett megfigyelések és ügyes számítások alapján a mai értéektől sem távoli 1/80 000 hüvelykben adta meg a fénnel interferáló éter hullámhosszát (monokromatikus sárga fényre, élete során többször megváltoztatva az értéket). Ez egyben korpuszkuláris felfogásának léptékét is mutatja.

triviális optikatörténeti értelmezés alapján és geometriai optikai elméletében hozzárendelte a változó törékenységű sugarakat a konkrét színekhez. „A végtelen számú szín = a törésmutatók/színek végtelen sorozata” a helyes fizikai értelmezés. Az elméleti hagyomány valódi/látszólagos felosztásában megfogalmazva azonban ez azt jelenti, hogy a fényből létrehozható spektrumszínek száma végtelen, és Newton ezekkel a színekkel magyarázza a természetes színeket. Olvasható a szöveg a pigmentkeverési és az optikai hagyomány felől is, egyszerre beszél egyszerű (öt) hét színről a pigmentkeverés nyelvén és végtelenről az optikai elméletek nyelvén.

Retorikai stratégiaként vizsgálva, Newton több elméleti hagyomány fogalmait helyezi egy mondatban egymás mellé, ezáltal hozva létre ún. fogalmi kiazmust. Newton tételében világos példáját látjuk annak az általános megfigyelésnek, amit Leah Ceccarelli tett a fogalmi kiazmusok szerepével kapcsolatban: különösen alkalmasak megerősíteni fogalmi kapcsolatokat a különböző területek lexikonja között, és így interdiszciplináris kapcsolódások létrehozására képesek (Ceccarelli 2001). Newton azonban nem pusztán két színkeverési hagyományt, hanem, ahogy ezt a következőkben látni fogjuk, két optikai hagyományt is összekapcsol az ötödik tételben.

1.2 A geometriai és a fizikai sugár

Az optika elmélete az ókortól a geometriai hagyományhoz kapcsolódott, vagyis egy tetszőlegesen osztható világban mozgott. A matematikai idealizáció konkrét kísérleti szituációkban (tehát valóságosan) nem jelenhet meg. Ezzel szemben a 17. századi, részben az epikureus filozófiák újraéledésével terjedő részecske-alapú szemlélet fizikailag véges kiterjedésű entitásokkal dolgozott. Newton, mentora és olvasmányai alapján (Isaac Barrow, valamint Hooke, Boyle, Charleton, Descartes), mindkét hagyományt ismerte, és számos kísérletet végzett, ami az utóbbi hagyományhoz kötötte. Korpuszkuláris értelemben illetve egy konkrét kísérleti szituációban csak véges számosságú halmazról beszélhetünk: nagyon sok egyedi fényrészecske, mind saját törésmutatóval.

Newton más helyeken hangsúlyozza a „geometriai” és a „fizikai” sugár fogalmának különbségét. Ezek nem tekinthetők ekvivalensnek, a geometriai és fizikai sugarak halmazai között nem determinisztikus a kapcsolat, csak esetleges, indeterminált kapcsolásokat hozhatunk létre. Ráképezésről (szűrjekció) beszélhetünk a geometriai és fizikai sugarak között, de leképezés (injekció) vagy megfeleltetés (bijekció) nincs.

A fent idézett ötödik tételben a *végtelen* kifejezés használata további kétértelműséget rejt. Newton nem diszambiguálja a két értelmet, hisz nem

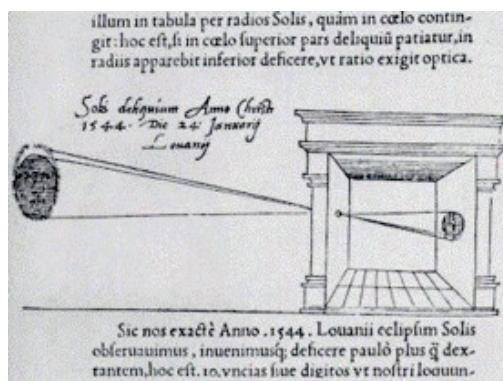
teszi evidenssé, hogy a végtelen a fizikai sugarakra vagy a geometriai sugarakra vonatkozik. Valójában igen bravúros ez a többértelmű megfogalmazás, mert számos probléma nincsen explicálva benne, s ezáltal nem teszi nyilvánvalóvá a két fogalmi háló feszültségét, hiszen a megfogalmazás látszólag érthető mind geometriai optikai, mind fizikai optikai értelemben. Vagyis már annak két értelme van, hogy „Newton szerint végtelen számú elsődleges szín létezik.” Beszélhetünk ugyanis geometriai sugárról és fizikai sugárról, az elsődleges színek száma tehát lehet megszámlálhatóan sok és megszámlálhatatlanul sok.

Ez egy *ontológiai problémát* rejt, és módszertanilag több ponton problematikus állásponthez vezet. Mielőtt azonban továbblépnénk az elemzésben, fontos tisztáznunk: ma már általában úgy tekintjük, hogy a tizenhetedik századi optikai munkák mindegyikének elemzése során hasonló fogalmi nehézségeket találhatunk. Egyfelől ez várható a 17. századi formálódó tudományos közösség disszenzuális kultúrájában, ahol a résztvevők vitáznak, gyakoriak a polémiák és a társadalmi kredit elosztása során a vitatott álláspontok sikeres megvédése a társadalmi siker egyik formáját is jelentette. Egy ilyen kultúrában a folyamatos támadások a résztvevőket az explicált álláspontokon *belüli* topikus potenciál minél jobb kihasználásában teszik érdekeltté, amely megfelelő elemzési technikákkal jól elemezhető (Zemplén és Demeter 2010).

Másfelől az ókori geometriai optika skolasztikába oltott és a 17. században általánosan elterjedt változata, a perspektivista hagyomány éppúgy inherensen terhelt volt a fogalmi feszültségekkel, mint ahogy a tizenhetedik századi korpuszkuális filozófiák. Newton elméletében a párhuzamosan használt fogalmi hálók feszültségéből fakadó hasonló belső ellentmondások rekonstruálhatók, sőt kimutatható, hogy a kortársak ezek jó részét észlelték is. Olyan terminusok használata, amelyek egyszerre érthetőek az elméleti nyelven (geometriai optika) és a hipotetikus fizikai magyarázat nyelvén (a korpuszkuális filozófiákban) valójában súlyos fogalmi konfúziót lepleznek. A kortársak számára is létező nehézség miatt azonban kevesen mertek olyan merészen eltávolodni a bevett nézettől, mint a „modern” newtoni elmélet. Jól, talán túl jól is ismertek Descartes fizikai és optikai elméleteinek abszurd belső ellentmondásai, de ez csupán a legjobban dokumentált eset, hogy mi történik, ha a fogalmi zavart keresik és kimutatják. Newton retorikai stratégiája, mint lassan kezd kirajzolódni, *elrejt* ezeket a nehézségeket. Descartes egyik legkíméletlenebb kritikusaként pontosan láthatta azokat a veszélyes területeket, ahol a fogalmi hálóban konfliktusok nehezítették a sikeres elméletek megfogalmazását. Elsőként ezek közül vizsgáljuk meg a geometriai optika, a „képecskék” és a fizikai sugárfogalom feszültségét.

1.3 A „képek” leképezése

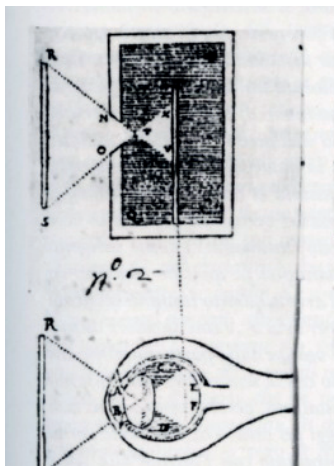
A látósugár a szemből a tárgy felé irányulva egy aktív látásmagyarázat részét képezte. Eukleidész és Arisztotelész idején bevett volt, és bár a Középkor még erősen magán hordozta a Filozófus kézjegyét, az Európában kialakuló perspektivista hagyomány számos ponton eltávolodott az antik szerzőktől. Már Ptolemaiosz optikájában a szemből táguló gömb(szelet) modellezi a látást, de a hányatott sorsú kézirat jelentős hatást csak közvetve, elsősorban arab tudósok, mint Alhazen munkái nyomán fejtett ki. A reneszánsz perspektivikus ábrázolási hagyomány jól illeszkedett a gömbi terjedés modelljéhez és a középkori „species”-elméletéhez, az elterjedt látásmagyarázathoz, amely vékony, a tárgyról leváló hátyákkal adta anyagi modelljét a látásnak. Ha a gömbhéj a matematikai modell, akkor egy sötétkamra lyukán keresztül a tárgy *képe* képeződik le a belső falra. A csillagászok már évszázadok óta vizsgálták a Napfogyatkozásokat ezzel a módszerrel.



2. ábra Az 1544-ben Gemma Frisius által megfigyelt Napfogyatkozáson jól látszik, hogy a sugarak a képek egy-egy kitüntetett pontját kötik össze (Vaquero 2007).

Kepler „forradalmi” elméletében is megmarad a fénypontból táguló gömb(szelet), a látás geometriai értelemben a látósugarak által meghatározható, de végtelenül osztható kúp. A látható-látvány-látott magyarázati sémában Kepler a fényt végtelen sebességűnek tekinti, ami hasonló tárgyalást tesz lehetővé, mint a skolasztikus szerzőknél (Lindberg 1976), a retinán leképezve megjelenő vetített képet pedig leírhatónak tekinti terjedő, két-dimenziós gömbhéjként. Ám egy

ideig még a retinán leképeződő képet is egyszerű egyenesekkel eredeztették és az ábrázolásokon a hangsúly egy *konkrét fizikai tárgyleképezésén* volt. Esetenként az ábrázoláskor figyelmen kívül hagyták, hogy a szem nem egy apró nyílás, egy homogén közeg „beltere”, hanem maga is optikailag aktív, fénytörő közeg.

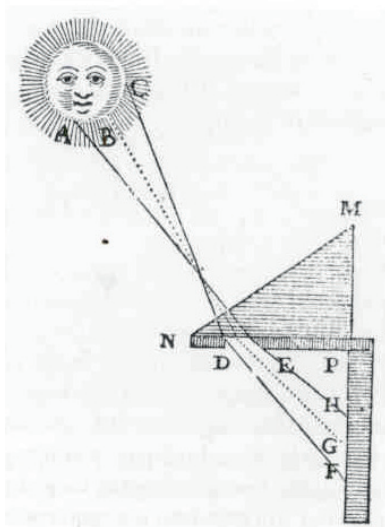
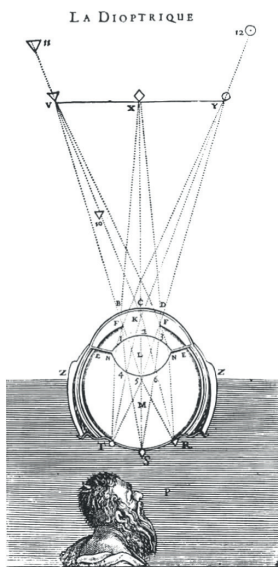


3. ábra Gyakorlati perspektíva („Prospettiva Pratica”) Ludovico Cardo (il Cigoli) kéziratában. A tárgy és a képe jól láthatóan ábrázolható a korban ismert geometriai optika teljes eszköztára nélkül is. (1613, Ms 2660A/Uffizi; <http://www.lumen.nu/rekveld/wp/?p=352>)

1.4 A lencse/szem leképezése

A kép leképezése az optikai rendszerek megismerésének függvényeként egyre bonyolultabb feladattá vált. A lencsékre épülő modern tudomány számára egyre nagyobb jelentőségű volt a fénytörés pontos törvénye, az olyan közelítések már nem voltak elégségesek, mint Robert Grosseteste nagyvonalú fénytörési szabálya, mely szerint a törési szög mindig a beesési szög fele. Több tudós érdeklődésének is homlokterébe került a fénytörési probléma Európa azon területein, ahol a legjobb lencsecsiszolók is dolgoztak. A tudománytörténész nemzeti hovatartozása és szimpátiája alapján az angol Thomas Harriot 1601 előtt, a holland Willibrord Snel 1621-ben vagy a Hollandiában élő francia René Descartes 1637-ben fedezte fel a ma már gimnáziumokból ismert szinusz-törvényt. Míg a 17. század elején

a demonstrálandó tartalom az, hogy a retinán megfordult kép jelenik meg, a fénytörés szinusz törvényének felfedezésével az is ábrázolhatóvá vált, hogy milyen úton haladnak az egyes fénysugarak.. Vizsgáljuk meg Descartes ábrázolását a retinális kép kialakulásáról, ami a látás értelmezésében is forradalminak tekinthető.



4-5. ábra Descartes ábrája a retinális kép kialakulásáról. (Fishman 2008). Kvalitatív optikailag is majdnem pontos (a belső pont belső sugara és a külső pontok külső sugarai alig törnek meg) és geometriai optikailag is majdnem pontos (YF sugár alig törik meg C pont fölött, a lencsetesten kívül). Descartes ábráján (5. ábra) a prizmán keresztül vetülő kép megfordításában a fénytörő közeg nem vesz részt, a prizma „csak” a fény töréséhez és a megjelenő színekhez járul hozzá (Zemplén 2005).

Az ábrát több irányból is nézhetjük, a korabeli, elsősorban skolasztikán edződött olvasó és a geometriai optika felől. Az első olvasatban fontos, hogy a szakasz képe B, C, D pontokon egy-egy merőleges sugárban érinti a szem optikai rendszerének felületét. A skolasztikus munkáknál a fény és a szín az elsődlegesen észlelték, de nem közvetlenül, hanem virtuálisan jelennek meg a szemben és így a látó számára. Egy megvilágított tárgyat sok nézőpontból szemlélhetünk, így a tárgy egyes pontjairól különböző irányba terjedhetnek a fényből létrejövő színek fajtái

(species). A konfúziót elkerülendő a látás számára a közegen át gömbhullámként terjedő speciesek közül *csak* kitüntetett sugarak tudnak re-prezentációt létrehozni a szembe jutva. A legtöbb szerző szerint csak *a merőlegesen beeső* sugarak válhatnak észleltté.

A merőlegesen beeső sugarak révén látott „intencionális species” a fényen és a színen túl további attribútumokkal is rendelkezhetett egy perspektivista számára. Witelo például felsorolja a következőket: távolság, hely, tárgyasultság („korporealitás”), alak, méret, folytonosság, elkülönültség, szám, mozgás, nyugalom, felületi durvaság és finomság, fényátersztés, sűrűség, árnyék, kivehetetlenség, szépség, csúnyaság, valamint hasonlóság és különbség. A szemben kialakuló „látható species” a tárgyról a szembe jutó színek vagy egyéb attribútumok intenciója, vagyis a szerzők tipikusan a kvalitatív változások egyik aleseteként kezelték a színészlelést (Smith 1987).

Ebben a „kvalitatív optikai” olvasatban a fény törése révén sérül, a „látott minőségei” a sugarak beesési minőségének függvénye. Ha megnézzük a B, C, D pontokon merőlegesen belépő sugarakat, azt látjuk, hogy sem a szembe, sem a lencsébe jutva nem törnek meg, pusztán minimálisan változtatják meg irányukat a lencse és az üvegtest határán, közvetlenül összefutásuk előtt.

Ez az olvasat topológiailag nem tér el jelentősen a 4. ábrától, csak az átfordulási pont került a lencse belső felületéhez. Optikailag így tiszta a helyzet. Azonban a gömbi lencsék (gyakorlatból már korábban ismert) aberrációja alapján a lencsetest különböző részein áthaladó párhuzamos sugarak nem egy pontban, hanem a lencsetest tengelye mentén, egy szakaszon találkoznak. Ha megnézzük, a központi szakasz kitüntetett pontjai, mint K és 5 nem pontosan a fénytörő közegek határvonalain találkoznak.

Mivel az ábra egyáltalán nem „megfigyelés” rögzítése, inkább egyfajta geometriai demonstráció, feltételezhetjük a tudatos szerkesztési elveket. Ha ránézünk Descartes ábrájára a prizma fénytöréséről (5. ábra), az látjuk, hogy a nap képe nem a prizmán belül vagy a prizma és a függőleges ernyő között fordul meg, hanem egy kis képecske már fordítva éri a prizmat. Vagyis az ábrázolási konvenció megőrzi a képek leképezésének fő elemeit, és ezt – amennyire lehet – a vizsgált optikai rendszertől függetlenül, térben elkülönítve, az elé helyezi. Az optikai közeg határára már egy fordított kép vetül, és ez a kép utazik tovább a falra vetülő képet létrehozva. A Napból kiáradó fény kitüntetett sugarai nem a párhuzamosak, hanem az ellentétes oldalról érkezők, hiszen az ábrának érthetővé kell tennie, hogy a kép megfordul.

A 4. ábrán is azt látjuk, hogy a kép leképeződése nyomot hagy: a sugarak keresztesződése kiüntetett síkokban található. BCD mentén a két szélső sugár

középnyalábjai még nem találkoztak, a K pontban összefut a három középsugár, és ezzel BKD, azaz egy vízszintes mentén egy belépési síkról beszélhetünk, ahol megkezdődik a kép teljes megfordulása. A K és az 5 pont között az optikai rendszer aktív részében történik a leképeződés, a lencse belső felületétől a kollimált sugarak már a megfordított képet vetítik a retina belső falára.

Descartes ábrái tehát jól olvashatók a „kvalitatív” optika felől is, bár már nyilvánvalóan szakított a perspektivista hagyomány számos skolasztikus elemével (Tóth 2008). A fénytörés törvénye és a szem optikai rendszerként való modellezése tehát nem zárta ki vagy tette értelmezhetetlenné a skolasztikus kvalitatív optikát. Sőt, az ábráról „kvázi-képek” is leolvashatók, a nyalábok szekvenciális kereszteződése mentén. Ezzel az analitikus felbontással ugyan megmutatható, hogy nem csak a merőlegesen beeső sugarak hozzák létre a látványt, de a skolasztikus és perspektivista hagyomány sem feltétlenül sérül a geometriai optika új felfedezése, a fénytörési törvény hatására. A geometriai sugarak ábrázolási hagyománya a képek leképeződésével jól megfér még Descartes ábráján is: a „sugár” fogalma egy-egy pont leképezését lehetővé tette az analízis céljaiból, de nem sugarakat látunk, hanem képet, látványt.

1.5 A fizikai sugár

A fény hatására észlelhetővé váló színek értelmezését több oldalról lehetett megközelíteni. Newton számára már nem a geometriai optika hagyománya nyújtotta a magyarázati sémát, hanem a descartes-i, korpuszkuláris alapokra épülő korabeli fizikai optika, amely elsősorban már nem formai okot, hanem ható/anyagi okot keresett. Ez a fizikai optika a geometriai sugarat a látásmagyarázatban kitüntetett szerepet kapó fizikai sugár egyfajta modelljének tekintette, szemben a species-elmélettel, amely a sugarat inkább segédhipotézisként kezelte, amit olyan bizonyításokban felhasználhatónak tekintett, mint például: „Ha egy szakasz távolsága nő a szemtől, akkor a végeihez húzott sugarak által bezárt szög csökken”.

Egy geometriai sugarat fizikai sugárral egyenlőnek tekinteni nyilvánvalóan kontraintuitív volt, hiszen egy apró lyukon át hogyan jutna be keresztül-kasul a sok sugár, ami pl. a camera obscura sötétkamra-képét hozza létre? A fizikai realizáció nem csak a fizikai sugarak esetében volt kérdés: ugyanígy problematikus volt az, hogy mi választja ki a minden pontból minden pontba eljutó speciesek közül a láthatókat. A geometriai optikai „gömbök” hogyan terjednek egymáson keresztül? A „merőleges” sugár primátusa és elsőbbsége részben ilyen problémákat

küszöbölt ki. Egyes esetekben emiatt a szerzők rendre elhanyagoltak bizonyos hatásokat, és apró csúsztatások révén tudták a fény-tárgy-látó-látott-látvány kontinuitását megőrizni. A modellek párhuzamos használata is megfigyelhető: Descartes például a fény természetéről hol így (végtelen sebességüként), hol úgy (véges sebességű, részecske-alapúként) ír.

A heterogén optikai hagyomány azonban mély ontológiai dilemmát örökölt. Arisztotelész számára a látás során nem kell semmilyen anyagi folyamatnak végbemennie. Ahogy egy pohár mögött látszó tárgy színe – megfelelő szögből nézve – szinte megtölti a poharat – vagyis színesnek látjuk a pohárban levő színtelen vizet – ugyanúgy a szem (mint közeg) csak felveszi a tőle fizikai értelemben elválasztott, de optikai értelemben nem független közegben megjelenő színt (Burnyeat 1995). A közeg kvalitatív módosulásai a tudat kvalitatív módosulásaival, az észlelt színekkel korrelálnak. Már a közeg is a fénytől válik átlátszóvá (*diaphanes*) és a színek is így válnak láthatóvá.

A módosulások azonban egy fizikai elméletben egész más módon jelennek meg: a fény részecske, amit módosulva (pl. megpördülve, fénytörés esetén útvonalát megváltoztatva), vagy módosítva (más részecskéket mozgatva) hoz létre materiális értelemben vett módosulásokat a szem, majd az idegrendszer egyre finomabb „spirituszaiban”. Az észlelés „kvalitatív” és „kvantitatív” modellje a legtöbb szerző esetében ugyanazon az értelmezési tartományon osztozott, gyakran némi átfedéssel. Azonban az ontológiai státuszok kiosztása nem volt egyértelmű.

Már a perspektivista hagyományban kettős a színek státusza. Witelo beszél a színről, mint a sok közül az egyik attribútumról, de a színről, mint formai okról is, a vizuális modalitás elsődleges észleletei kételemű halmazának (fény, szín) egyik tagjaként. A fény (ok) – attribútum (észlelt „okozat”) reláció mindkét argumentuma lehet a szín, a fény a tárgyak színét teszi láthatóvá, de mindkettő elsődlegesen észlelt (Smith 1987). A fizikai optika részecske alapú megközelítése ontológiailag azonos státuszúnak tekintette a fényt és a színt, mint fényrészecskék módosulatlan, vagy módosult állapotban. Nézzük meg részletesebben, ahogy ez a probléma felmerül Newton végtelen számú színével kapcsolatban.

2. Newton és a színek végtelen fajtája

2.1 Geometriai és fizikai törésmutató

Az optikailag eltérő sűrűségű közeg határfelületére merőlegesen beeső fizikai sugár továbbhaladva is fehér/színtelen marad. A nem merőleges, tehát bizonyos

értelemben nem kitüntetett sugarak azonban a határfelületen szétválnak, a fénynyaláb különböző törékenységű sugarakra esik szét. Ha például egy prizmán engedjük át a fehér fény nyalábját, létrejön a színes spektrum. Mivel a spektrum színei Newton számára megszakítás nélküli sorozatot alkottak, indokoltnak tűnt a végtelen számú eltérő törésmutatójú fény feltételezése. De vonatkozhatott-e ez a geometriai sugarak végtelen számára?

Ha a végtelen számú színt úgy értjük, hogy a geometriai sugarak száma végtelen, elég abszurd ontológiai feltételezéshez jutunk. Ahhoz, hogy valahány színt lássunk (*in specie*) megszámlálhatatlanul sok eredeti színfajta (*genus*) kell feltételeznünk. Számolhatatlanul sok geometriai sugár operál magyarázóként, holott minden egyes magyarázatban csak megszámlálható részecske és így szín lehet. Ráadásul, ahogy már tárgyaltuk, a leképezés a két halmaz között indeterminált.

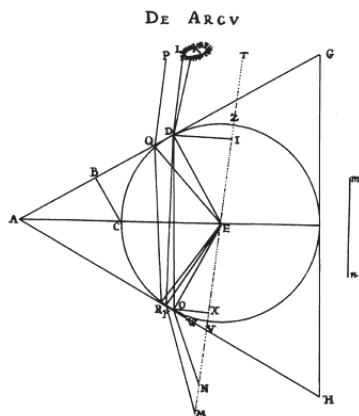
És ha úgy értjük, hogy végtelen sokféle *fizikai* törésmutatót feltételezve állítja Newton azt, hogy végtelen számú szín létezik? Egy korabeli olvasónak, aki minden bizonnyal a skolasztikus/perspektivista hagyományban nőtt fel, Newton megoldása valószínűleg ebben az értelemben is nagyon „pazarló” volt. Az arisztotelianusok a színeket a fény és a sötét, a fehér és a fekete keveredésével magyarázták, a fény módosulásaként tekintettek a színekre. Mivel sokféle közeg és tárgy kerülhet a fény útjába, empirikusan is sokféle színnel találkozhatunk, azonban a magyarázati séma két ható/formai okot feltételez. A mechanikus filozófiák tipikusan két alapvető/elsődleges szín létrejöttével magyarázták a többi színt, amely a fényrészecske valamilyen tulajdonságának megváltozásához volt kötve. A kortársak közül ketten is (Hooke és Huygens) Newton szemére vetették, hogy túl sok létezőt tételez fel, és mindkét szerző két alapszínnel operáló modifikacionista elméletet dolgozott ki (Steinle 1993).

2.2 Marcus Marci és a beesési szög függvényében változó törés

Érdemes ezen a ponton egy korábbi elmélet részletét megvizsgálni, mivel Marcus Marci modellje számos hasonlóságot mutat Newton megoldási javaslatával, de kompatibilis a perspektivista hagyománnyal. Marci prizmakísérleteket vizsgálva korpuszkuláris modellt dolgozott ki, amelyben a merőlegesen belépő sugarak a fény módosulatlan útját jelölték ki, amely mentén az attribútumok észlelhetők voltak. Ahogy Garber részletesen elemzi, a nem merőleges belépés esetén az optikai közegek sűrűségétől függően a merőleges felé vagy attól elfelé haladva pedig a színek keletkeznek, a fény módosulásával. A megoldás elegánsan

örtözi a skolasztikát, a perspektivistá hagyományt, a geometriai optikát és a korpuszszulák tanát (Garber 2005). A fehér fény ható ok is és egyben anyagi ok is lehet, hiszen homogén. A közeg módosít: a sűrűség/ritkaság különbségének hatására megjelennek a színek. Amikor azonban sugarakról beszél, akkor Marci „egyenességüket” vizsgálja, *a belépés síkjára állított merőlegeshez való viszonyukat*, és ez alapján különít el színeket. Ez az akcidencia az esetleges közeghatár-fény viszonyra jellemző, nem a sugár esszenciális tulajdonsága, mint Newtonnál.

Marci részletesen megvizsgálja, hogy a prizmákon végzett kísérleteit milyen „alapon” vonatkoztathatja a szivárványra. Vagyis egy esőcseppet modellező kör és egy prizmakeresztmetszetként szolgáló, a kör köré szerkesztett egyenlő oldalú háromszög esetében szerkeszti meg különböző sugarak útvonalát. Newton ugyan javasolja a 60 fokos, egyenlő oldalú prizmák használatát, de ilyesmi ábrát nem készít.



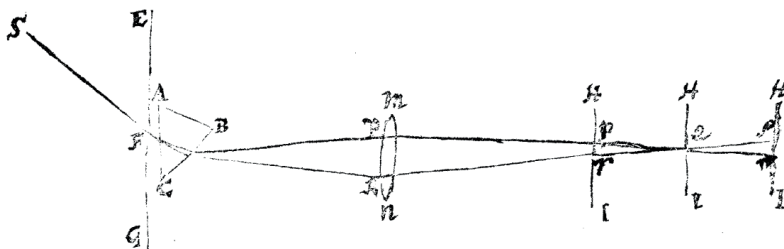
6. ábra Marci ábráján a Nap képe megfordul a leképezés közben: a nem merőlegesen beeső sugarak megtörnek, minél erősebb a deviáció a merőlegetől, annál erősebben (Garber 2005).

Mint látható, az AG oldalra szerkesztett ED merőleges egyben a kör sugara is. Az itt találkozó és ezen a ponton közösen belépő sugarak L és K. A fényforrás széléről L, a közepéről K érkezik. Az LD útján belépő sugár/részecske LO, majd a prizmából kilépve ON szakaszon halad, míg a középről induló sugár a KD-DF-FM nyomvonalon. „Mivel az LD sugár [*radius*] a fényforrás periferiájáról érkezik [*peripheria luminosa*], ezért egyenesebb [*magis rectus*] a KD sugárnál, amely ugyanezen fényforrás centrumából érkezik, ez a KD sugár vörös színt hoz létre, míg LD bíborlilat” (Garber 2005, 182). A prizmán/üvegcsuppen keresztül a

fényforrás képe jelenik meg. Egy adott látószög alatt látott fényforrás leképeződik egy színes képpé, és bár az ábra hasonlít a newtoni diagramokhoz, valójában nem igényli az eltérő törésmutatójú sugarak feltételezését. A sugarak eltérő színei az eltérő belépési szögekhez és a belépési pontra állított merőlegeshez való eltérő viszonyhoz kapcsolhatók. Alapvetően képek átképeződéséről beszélhetünk, amelyben egy-egy színes sugár példája illusztrálja a tükrözött kép (színeinek) kialakulását.

2.3 Newton kettősen olvasható ábrái

Marcival szemben Newton igyekszik kerülni azokat az ábrázolásmódokat, amelyekben a kép-kép transzformáció, vagy akár a gömbi terjedés látványos. Elméletének első, 1672-es publikációjában nem is közöl diagramot az ún. döntő kísérletről, de egy ábrát mellékel egy másik prizmakísérletről.

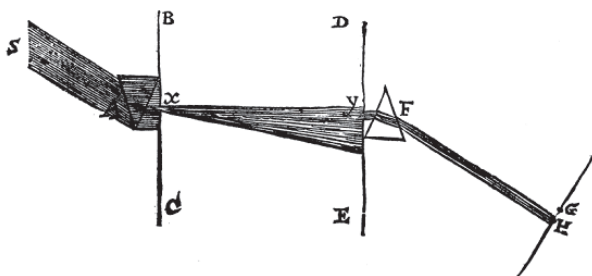


7. ábra Newton első publikált ábrája prizmakísérletről. A prizma szétválaszt, a lencse megfordít. (Phil. Trans. 1672, 3086)

Itt összesen egy belépő sugár látszik, ami 'felhasad', de a Nap képének leképezését nem lehet az ábrán értelmezni. Egy korabeli olvasónak zavaró lehetett a rajz, hiszen a fordított kép egy területi leképezést értelmezett, Newton sugara pedig egy időbeli folyamatot, mert egy geometriai sugáron csak úgy oszthatott két entitás (a két kilépő, színes sugár), hogy azok időben követték egymást.

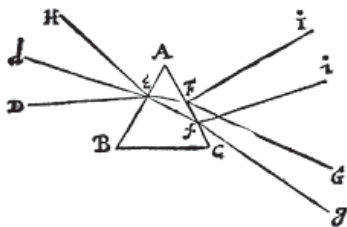
Amikor később ábrát mellékel az egyik levélhez, a párhuzamosan belépő sugarak közé rejti a nem párhuzamosakat, így ez az ábra már 'atemporalis', a geometriai optikának megfelelően, de az apertúra mögött haladó fénynyaláb már nem párhuzamos. A kép-transzformáció paradigmájának nyomaként látható, hogy bár nem szerkesztett a kép, az SX szakasz és az xy szakasz hossza nem tér

el jelentősen, sőt a napot (fényforrást) jelentő S pontban a sugárnyaláb hasonló kiterjedésű, mint az y pontban. A Nap (S) képe egy apró lyukon is át tud jutni, és ugyanaz alatt a szög alatt látszik, mint a fényforrás az égbolton. Newton elmélete értelmében a párhuzamos beeső sugarak a prizmán megtörve különböző törékenységű sugarak széttartó fénypásmájában haladnak tovább. A megtört és egy ponton átengedett fény természete, hogy keverék, más-más törékenységű sugarakból áll. Ezt akarja bizonyítani ugyan az ábra, de zseniálisan kétértelmű megrajzolásával az alapvetően eltérő geometriai optikai elmélet gömbi terjedési paradigmája felől is olvasható a DE ernyőig.



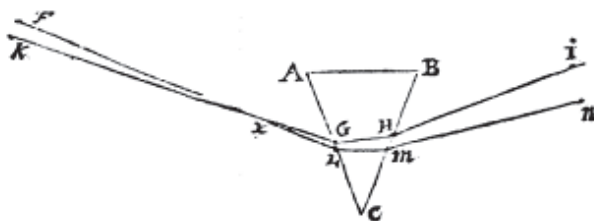
8. ábra A döntő kísérletről publikált első ábra (Phil.Trans. 1672, 5016). Az y nyílástól már nem széttartó nyalábot ábrázol Newton.

Az ábra további elemzése helyett tanulságos felidézni, hogy a korabeli optika egyik fontos alakja, a jezsuita Pardies kifejezetten kérte az egyértelműsítést. A diszambiguálással Newton még mindig adós volt, hiszen a párhuzamos nyalábok egy eddig nem sértett geometriai optikai elvet szegtek meg: nem jól látható és elkülöníthető, diszkrét sugarakat használt az ábrázolás. Egyáltalán nem volt világos, sem Newton leírása, sem ábrái alapján, hogy milyen belépő és kilépő sugár kapcsolatokat tételez fel.



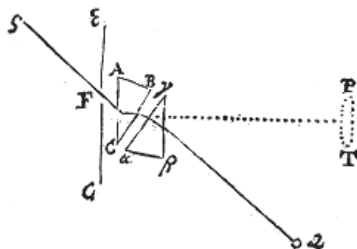
9. ábra A jezsuita (módszertani arisztotelianus) Pardies levele (Phil.Trans. 1672, 4088, a 8. ábránál későbbi, de az oldalszámokat elírták).

Newton válaszában először ábrázol két diszkrét sugarat, most a transzformált kép már a prizma fényforrás felőli oldalán létrejön, hiszen ezen a képen az ablaktábla (és rajta az x nyílás) a prizma előtt és nem mögött van. Így ez a már eleve széttartó sugárnyaláb (a fényforrás már megfordított képe) tart még inkább szétfelé, immár színessé válva az i és az n nyalámban. Ez ugyanaz a megoldás, mint amit korábban Descartes prizmaábrázolásánál láttunk (5. ábra), mivel azonban Newton jóval távolabbi felületre vetített, észrevette a fénytörés szinusz törvénye alapján vártnál jóval nagyobb hosszanti szóródást. Egy korabeli jezsuita számára is érthető módon kommunikálta tehát felfedezését, hiszen a megnyúlás mértéke akkora volt, hogy a fénytörés törvényét ki kellett egészíteni színspecifikus törésmutatókkal.



10. ábra Newton válasza Pardiesnak (Phil.Trans. 1672, 4091).

Ez az ábra is tekinthető „felületesen” úgy, mint ha egy „leképezést” ábrázolna – az új fizikai tartalom tehát ismét a cáfolni kívánt elmélet grafikai konvencióinak is megfelelő. Ezek után érthető, hogy amennyiben nem kritikákra vagy értelmezésre válaszolt, úgy Newton gyakran csak egy izolált sugár útját ábrázolta.

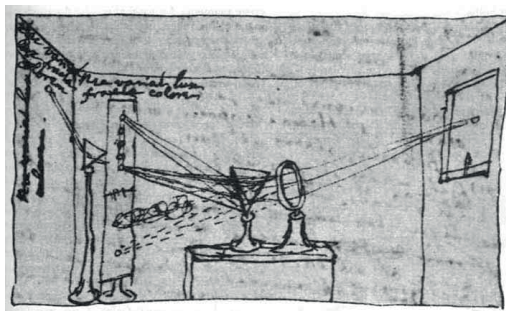


11. ábra Newton ábrája egy izolált sugár töréséről (Phil.Trans. 1672, 4061).

Így azonban olyan típusú absztrakciót vezetett be, ami a kor geometriai optikája számára idegen volt, hiszen a tárgyak bizonyos látószög alatt látszanak, gömbhéjra kivetítve kiterjedésük van, míg egyetlen geometriai sugár kiterjedés nélküli. A Descartes-féle felfogásban még a közegek optikai sűrűsége és a belépési szög volt csak változó, Newton esetében a fény *fajta*ja is szerepet játszott. Newton megoldása a sugarakat osztályozta – ehhez egy tulajdonságot tartott mérhetőnek, az adott közegbe adott szög alatt belépő sugár „törékenységet”. A fénytörés szinusz-törvénye, a Snellius-Descartes törvény már ismert volt, és Newton ennek egyfajta módosításaként javasolta saját fénytörés-elméletét, ahol a fehér fény nem egyszerűen, hanem részeire bontva, részeinek törékenysége alapján halad.

A törékenységi mutató alapján lehetett a sugarak fajtáiról beszélni. Geometriai optikai értelemben így persze végtelen sokféle sugár és szín van, és ez akár azt is jelentheti, hogy a színeket megszámlálhatatlanul sok kategóriába soroljuk, vagyis minden valaha megtörő fénysugárt saját osztálynak tekintünk. Ez merológiai értelemben elég abszurd álláspontot jelent, bár idealizációként elfogadható.

Fizikai optikai modelljében ezért Newton felkínálja a lehetőséget, hogy öt, illetve hét alapvető szint különböztessünk meg, amelyek a végtelen sokféle sugár törékenységi osztályait adják. Ennek az értelmezésnek az ábrázolása azonban nem egyszerű, hiszen minden belépő sugár felhasad és az egy osztályba tartozó sugarak a képen keresztül-kasul szóródnak – egy képből öt-hét (de akár végtelen) kép szuperpozíciójaként. Newton saját, jóval későbbi ábrája megerősíti ezt az értelmezést.



12. ábra Newton rajza az Optika francia kiadásának címlapjához. A gyűjtőlencse nem szerepelt az eredeti kísérletekben, de a viták során Newton olyan ügyesen fogalmazta meg a prizmájának fizikai hibáit, hogy ekvivalensnek tekintette a lencse nélküli és a lencsével operáló kísérletet (Zemplén 2011).

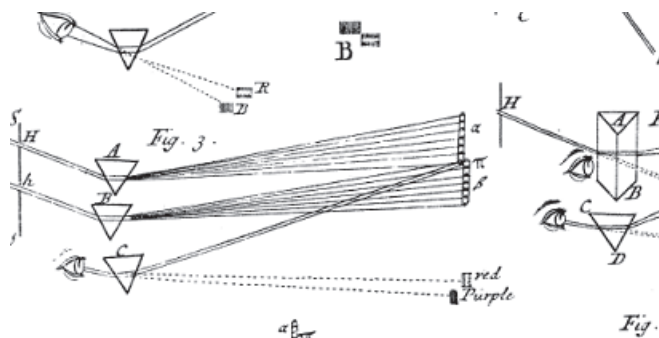
Ezen az ábrán már egy gyűjtőlencse is szerepel, amely a belépéstől divergáló sugarakat konvergálja az ernyőn. Ezzel az ábrázolástechnikailag zárt optikai rendszerrel Newton végre mentesül a szobán kívüli fényforrás leképezésének bonyodalmaival. A szobába belépő (ábrázolt) sugarak mind a lencsébe jutnak, a lencse által kollimált sugárnyaláb a geometriai optika gömbi leképezésében a Nap képét, a fizikai optika sugarainak megfeleltetésében az ablaktáblába vágott nyílás képét adják. A képek gömbi terjedésének paradigmája helyett immár a sugarak terjednek, Newton saját céljaira felhasználta (zárt térbe transzformálta) a camera obscura ábrázolási hagyományát.

2.4 Öt vagy hat, nyolc egyszerű szín

A 12. ábrán Newton csak öt színekörrel különít el, vagyis ez a késői megjelenítés azt sugallja, hogy öt egyszerű szín van számára. Tehát a színek száma nem a geometriai sugarak osztályai alapján, hanem a fizikai sugarak osztályai alapján határozható meg. De miért nem hét színt ábrázol Newton? Hipotézisem szerint, amit elsősorban az eddig bemutatott szándékos óvatosságra alapozok, egyszerűen azért ennyit, mert ennyi fért el.

Mit értek ez alatt? Newton többször kifejti, hogy a falra vetülő kép $5\frac{1}{2}$ szer hosszabb, mint széles. A Nap képe tehát legalább 5-ször diszkrétén kirajzolható a spektrumban. Amikor a jezsuita Lucas megjegyzi, hogy az ő prizmai csak 3-szor hosszabb képet állítanak elő, Newton először sürgősen részletes mérési adatokat küld vissza (Zemplén 2008), majd megvádolja Lucast a kísérletek pontatlan kivitelezésével. Amikor a kép hosszáról beszél (Phil. Trans. 1676, 699.) hangsúlyozza, hogy a spektrum arányai tovább nyújthatók, és speciális prizmákkal egységnyi szélesség mellett „nem csak öt, hanem hat, vagy nyolc egységnyi hossz” is elérhető. Newton szerint egy 60 fokos prizma esetén is legalább ötszörös megnyúlás látható. A gömbi terjedés paradigmájának megfelelően legalább öt egyszerű szín létezik, a fényforrás képe átfedés-mentesen a Nap öt kicsi képéből rakható ki.

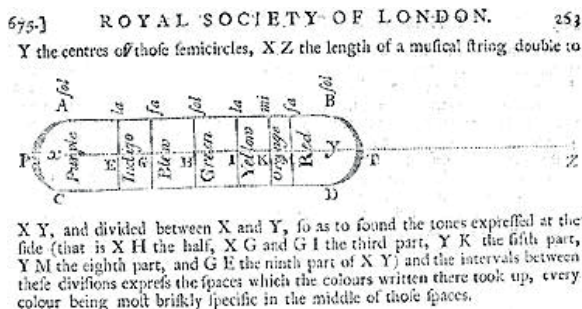
Newton tanítványa, a hírhedten tehetséges kísérletező Desaguliers már párhuzamos sugarakkal hat kört is bele tudott rajzolni a spektrumba, ezzel egyszerre demonstrálva Newton elméletének nagyságát és saját precizitását. Az ábrázolást megkönnyítette, hogy már teljesen elhanyagolta a gömbi terjedést. Newton is készített hasonló ábrákat fiatalkorában, így nem volt idegen számára ez az ábrázolási konvenció, bár került a korai publikációkban.



13. ábra Desaguliers ábráján már nem értelmezhető a kép leképezése (Phil. Trans. Vol 29. (1714-1716) 348. szám 1. ábra részlete).

2.5 A hét szín bipoláris harmóniája

Amikor Newton az optikai apparátust nem, csak a színeket ábrázolja, akkor a spektrum idealizált képét a harmonikus arányok szerint felosztva hét színre különíti el. A két szélső esetén látszik, hogy ezek legalább olyan hosszúak, mint amilyen szélesek. Vagyis, bár a kis köröcskék leképezése itt már eltűnik, a szélső színek esetében még mindig „konform” az ábrázolás: legalább ez a két szín olyan, hogy a fényforrás más színekkel nem átfedve leképezhető a színsáv területére. Ezzel egyszerre felel meg a neopüthagoreus harmóniatannak és a korban bevett, két szín poláris terjedésével operáló színelméleteknek.



14. ábra Már a korai színelméleti publikációkban feltűnik az Optika kiadásában is megjelenő ábra a színek és a hangok kapcsolatáról (Phil. Trans. 1675, 253).

3. A színek elsődleges és másodlagos minősége

3.1 A szín és a törékenység

A korabeli ábrázolási hagyomány nehezítette Newton elméletének elfogadását, így érthetővé válik, hogy nem is mellékelt ábrát az elmélete megítélése szempontjából döntő prizmakísérletről első publikációjában. Az egyszerű szín több értelemben is beleolvasható a tételbe, ráadásul nem elkülöníthető, hogy a végtelen a geometriai vagy a fizikai sugarakra vonatkozik. Az amúgy igen precíz Newton miért nem egyértelmű? Indokolja valami a terminológiai bizonytalanságot?

A döntő kísérlethez kapcsolódó színelmélet centrális dogmája szigorú korrespondencia megállapítása volt. A fizikai sugár mérhető tulajdonsága a törésmutató, az észlelhető tulajdonsága a színe. A tapasztalati tény, hogy piros (rongydarab) képe jelenik meg számomra, azt jelenti, hogy egy adott irányból a szememet *ilyen* törésmutatójú fénysugár éri. A két kvalitás szigorú megfeleltetése *megőrzi* a látott-látvány-látó folytonosságát.

A test-tudat modern problémája ebben a felfogásban nem jelenik meg. Newton valós (észlelt) minőségnek tekinti a színeket, és fizikájának egyik dinamikus elve szerint az elsődleges minőségek száma nem meghatározott, a fizikai „tulajdonságok” számát a kutató növelheti (Stein 1990). *Felfedez* egy új fizikai tulajdonságot (elsődleges minőséget), amit megfeleltet az „elsődleges” színnek. Egy kortárs még megnyugtatóan azt olvashatta ki ebből, hogy az elsődlegesen észlelt szín ugyan nem a közeg vagy a tárgy, hanem a fény kvalitása, de a minőségek közvetlenül és feloldhatatlanul kapcsoltak. A látott tárgyról a szembe érkező fény minősége alapján közvetlenül meghatározható a visszavert fény hatására megjelenő színészlelet minősége.

Már korai jegyzetfüzeteiben találunk nyomot arra, hogy a fenti sémát Newton egy korpuszukuláris modellel igyekezett kiegészíteni. Itt egy mögöttes minőség (a fényrészeszke ereje/súlya) korrelált egyfelől a fizikai törésmutatóval, másfelől a szembe bejutó részecske nyomásával, amivel az optikai ideget ingerli. A szemideget ujjával, vagy a szemgolyó mellett becúsztatott botocskával igyekezett megpiszkálni, hogy közvetlen nyomás-szín adatokhoz jusson. Sőt, tovább haladva, a látórendszer belső működését is vizsgálta, vagyis elmélete publikálásakor már összerakott egy mechanikus filozófiát, amelyben a külvilág tulajdonságai (természetükénél fogva) egyértelműen meghatározzák a belvilág érzetminőségeit. Ha

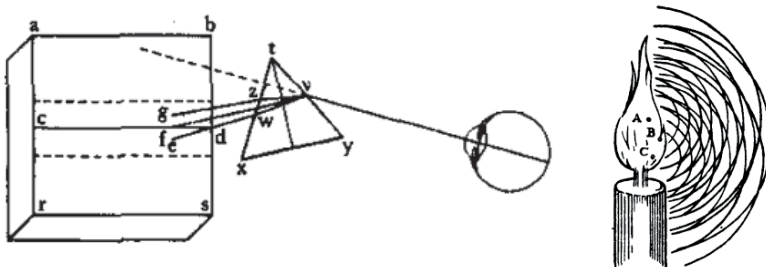
közvetítést feltételezünk, vagyis magyarázó hipotéziseket gyártunk, akkor a közegeken átjutó fényrészecske nyomása az, ami a fizikai törésmutatót + az állati spirituszokban bekövetkező áramlást + színészleletet meghatározza.

3.2 Newton színeinek minősége

A 17. századra a látósugár „feleslegessé” vált, helyette a tárgyról visszavert fény bizonyos kitüntetett sugarai váltak a látvány hordozójává. A korabeli ábrázolási hagyomány a gömbi terjedés segítségével a kép leképezését tette érthetővé. A tárgy vagy fényforrás kitüntetett pontjait általában keresztvező sugarakkal szerkesztették, a sötétkamra lyukán (vagy a pupillán) keresztül jutott be a fény és a forma, a falon vagy a retinán létrehívva a tárgy képét.

Newton saját elméletéhez szerkesztett ábrái még rendre olvashatók, ha nem is nyilvánvalóan, ebben az ábrázolási hagyományban. Elméletének didaktikus kifejtését azonban a párhuzamos sugarak ábrázolási konvenciója tette igazán érthetővé. Amikor az 1710-es években Desaguliers már így ábrázolta a kísérleteket, ez a konvenció el tudott terjedni. Az 1670-es években, amikor Newton először publikálta elméletét, a kortársak kritikája még megakadályozta a széles körű elfogadást.

Desaguliers ábráján a sugarak párhuzamossága miatt nem fordul meg a kép – ha csak ilyen ábrákat nézünk, sokszor értelmetlen a képek leképezése. Száz évvel Desaguliers kísérleteit követően Coleridge 1817. július 17-én ezt írta Tiecknek: „Izgatottan várom a matematikusok ellenvetéseit Goethe *Farbenlehre*-jével kapcsolatban [...] Be kell vallanom, hogy Newton álláspontja, egyrészt, miszerint a fény *sugár* fizikai, színodiális egység, másrészt, hogy hét körülhatárolt létező koegzisztál (mily copula által?) ebben a komplex, de felbontható sugárban, harmadrészt, hogy a prizma pusztán mechanikus szétválasztója ennek a sugárnak, s végül, hogy a fény, mint mindennek eredménye = konfúzió; mindig és már évekkel azelőtt, hogy Goethéről hallottam volna monstruózus *fikciónak* tűnt” (Griggs 1959, 4:750). Newton elméletének problémáit jól foglalja össze az idézet. Ha nem körülhatárolhatóak a színek (mint az öt vagy a hét szín esetében) végtelen színt kellene feltételezni, de akkor még nehezebb felfogni, hogyan koegzisztál a végtelen sokféle sugár a fehér fényben. Már két részecske sem tud egyazon fizikai sugárban létezni, vagyis a geometriai sugár fogalmát és a fizikai sugár fogalmát Newton *keveri* a színelméletében.



15-16. ábra Fiatalkori kézirat (ULC Add 3975), amely mutatja, hogy Newton szubjektív prizma-kísérletekkel kezdett, és hogy a (szembe) merőlegesen beeső sugarakat kitüntette (McGuire és Tamny 1983, 469). Newton kortársaként Huygens nem az eukleidészi látósugár, hanem a ptolemaioszi látókúp hagyományához kapcsolódóan a gömbi terjedés paradigmáját fejleszti tovább (16. ábra). A későbbi hullámelméletek fejlődésében fontos szerepet játszott az elmélet, de itt a temporalitás nem elrejtve van a képen (ld. 7. ábra), hanem túldimenzionálva, fokális elemként jelenik meg (Huygens 1790 (1962)).

3.3 Gyümölcösöző többértelműség és burjánzó kritika

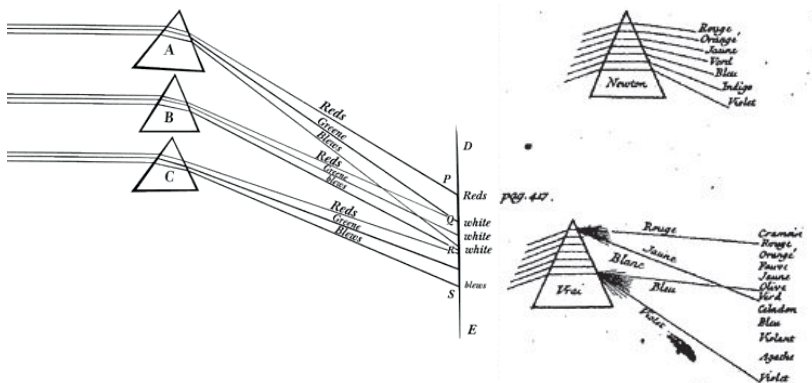
A nyelvileg is többértelmű ötödik tétel „eredeti, egyszerű, elsődleges” színeinek megfogalmazását ugyan tekinthetjük problematikusnak, azonban ez a megfogalmazás tette lehetővé a newtoni elmélet produktivitását. Wollaston a színek jobb elkülöníthetőségének módját keresve fedezte fel a spektrum vonalait, és ezzel elindult a spektroszkópia fejlődése. Jacob Christoph Le Blontól soknak tartva az alapszíneket Newton spektrumában, végül négy színnel operáló színes nyomtatást dolgozott ki. A hét szín és a harmonikus arányok az optika és az akusztika metszéspontján szintén további analógiákat hívott létre, amelyek lehetővé tették a modern hullámelmélet kidolgozását.

Tudományosan tehát különlegesen produktív volt Newton elmélete, bár a használt fogalmi hálók feszültsége éppúgy rekonstruálható itt, mint például Descartes fény- és színelmélete esetében. Az 1670-es években csak elszórtan talált elfogadásra, és csak évtizedekkel később, a képi konvenciók további fejlesztésével, a kísérletek részletes kidolgozásával és gondosan kidolgozott „demonstratív” kísérletek megtervez(tet)ésével sikerült népszerűvé tenni elméletét.

Newton stratégiai manőverezése a kétértelmű ábrák és többértelmű szöveghelyek révén eltérő olvasatoknak adott teret. Elmélete az elmélet-

változatok terjedése révén több kutatási területre is hatott. A korábbi ábrázolási hagyományt azonban elsősorban a soha semmilyen más elmélethez nem fogható popularizáció tette megkerülhetővé (Fehér 1995).

A tizennyolcadik század közepére már senki sem *érthetetlennek* tartotta ábráit, legfeljebb *hibásnak*. A 2.3 szakasz megmutatta, hogy mindegyik ábrázolásmód *valamilyen* konvencióval ütközött, az ábrázolási konvenciók tehát magukban hordozták a cáfolatok ábrázolásának lehetőségét. A képecskék leképezésének ábrázolási hagyománya például egyszerre szolgálta az *imago solis* megjelenését, és a szín módosulásának megjelenését a fény és a sötét határvonalán. Newton párhuzamos sugarakkal ábrázolt prizmakísérletein 'elveszett' az az empirikus megfigyelés, hogy a színek a határon, a Nap képe, és a mellette viszonylag sötét égbolt képének határán jönnek létre, amikor megtörnek a határfelületen, pl. a prizmán.



17-18. ábra. Newton egy korai rajza (MS Add. 3975, 11) és Louis-Bertrand Castel anti-newtoniánus színelméletének ábrája (L'Optique des couleurs (Paris, 1740), 414.). Geometriai optikai értelemben egyik ábra sem pontos.

Louis-Bertrand Castel vagy később Goethe az ábrázolás *hibája* miatt (is) tarthatatlannak tekintették azt a felfogást, amit Newton kortársai még csak nehezen érthetőnek és bizonyíthatatlannak láttak. A matematikai apparátus fejlődésével a huszadik századra az optika formalizmusában is nyilvánvalóvá vált az értelmezés problematikussága. Lord Rayleigh 1905-ben már úgy tartja: „a kijelentést, miszerint Newton kísérletei bizonyítják, hogy a színek már a fehér fényben léteznek, általában nem minősítik eléggé” (Darrigol 2012, 286).

Irodalom:

Burnyeat, Myles F. 1995. How Much Happens When Aristotle Sees Red and Hears Middle-C. In *Essays on Aristotle's De Anima*, szerk. M. Nussbaum, Rorty A.O. Oxford: Clarendon Press.

Ceccarelli, Leah. 2001. *Shaping science with rhetoric: the cases of Dobzhansky, Schrödinger, and Wilson*. Chicago: University of Chicago Press.

Darrigol, Olivier. 2012. *A history of optics from Greek antiquity to the nineteenth century*. Oxford; New York: Oxford University Press.

Fehér Márta. 1995. The Triumphal March of a Paradigm - A Case Study in the Popularization of Newtonian Science. In *Changing Tools - Case Studies in the History of Scientific Methodology*. Budapest: Akadémiai Kiadó.

Fishman, Ronald S. 2008. The Study of the Wonderful The First Topographical Mapping of Vision in the Brain. *Arch Ophthalmol* 126 (12):1767-1773.

Gage, John. 1993. *Colour and Culture. Practice and Meaning from Antiquity to Abstraction*. London: Thames & Hudson.

Garber, Margaret D. 2005. Chymical Wonders of Light: J. Marcus Marci's Seventeenth-Century Bohemian Optics. *Early Science and Medicine* 10 (4):478-509.

Gouk, Penelope. 1994. The harmonic roots of Newtonian science'. In *Let Newton be!*, szerk. F. Fauvel, Shortland, Wilson. Oxford UP.

Griggs, Leslie, szerk. 1959. *Collected Letters of Samuel Taylor Coleridge*. Oxford: Clarendon Press.

Huygens, Christiaan. 1790 (1962). *Traité de la lumiere (Treatise on light, trans. S. P. Thompson)*. New York: Dover.

Lindberg, David C. 1976. *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*. Chicago: University of Chicago Press.

McGuire, John. E. és Martin Tamny. 1983. *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*. Cambridge: Cambridge UP.

Newton, Isaac. 1977. *A világ rendszeréről és egyéb írások*. Ford. Fehér Márta. Budapest: Magyar Helikon.

Nicolson, Marjorie. 1963. *Newton Demands the Muse - Newton's Opticks and the Eighteenth Century Poets*. Hamden, Connecticut, London: Archon Books.

Smith, A. Mark. 1987. Descartes's Theory of Light and Refraction: A Discourse on Method. *Transactions of the American Philosophical Society* 77 (3):i-92.

Stein, Howard. 1990. On Locke, "the Great Huygenius, and the Incomparable Mr. Newton". In *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, szerk. P. Bricker és R. I. G. Hughes. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Steinle, Friedrich. 1993. Newton's Rejection of the Modification Theory of Colour. In *Hegel and Newtonianism*, szerk. M. J. Petry. Dordrecht: Kluwer Academic.

Tóth Zita Veronika. 2008. Hogyan szabaduljunk meg a repülő képecskéktől - avagy Descartes Dioptrique-ja és a középkori ismeretelmélet. *Világosság* 11-12 (35-58).

Vaquero, J.M. 2007. Historical sunspot observations: A review *Advances in Space Research* 40 (7):929-941.

Westfall, Richard S. 1980. *Never at rest: a biography of Isaac Newton*. Cambridge; New York: Cambridge University Press.

Zemplén Gábor Á. 2005. *The History of Vision, Colour, & Light Theories - Introductions, Texts, Problems*. szerk. G. Grasshoff, T. Lampert és K. Nickelsen, *Bern Studies in the History and Philosophy of Science*. Bern: Bern Studies in the History and Philosophy of Science.

———. 2008. Scientific controversies and the pragma-dialectical model: Analysing a case study from the 1670s, the published part of the Newton-Lucas correspondence. In *Controversy and Confrontation - Relating controversy analysis with argumentation theory*, szerk. F. v. Eemeren és B. Garssen. Amsterdam: John Benjamins.

———. 2011. Prism. In *Eine Naturgeschichte für das 21. Jahrhundert: hommage à, zu Ehren von, in honor of Hans-Jörg Rheinberger*, szerk. S. Azzouni, C. Brandt, B. Gausemeier, J. Kursell, H. Schmidgen és B. Wittmann. Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte.

Zemplén Gábor Á. és Demeter Tamás. 2010. Being Charitable to Scientific Controversies - On the Demonstrativity of Newton's Experimentum Crucis. *The Monist* 93 (4 (October)):638-654.