

Isaac Newton úr Cambridge-i matematika professzor levele, melyet a Szerző Cambridge-ből, 1672. február 6-án küldött el a Kiadónak azzal, hogy kerüljön közlésre a Királyi Társaság ülésén is. A levél a fény és a színek új elméletét tartalmazza.

Uram!

Régi ígéretemet teljesítve, minden további körülményeskedés nélkül közlöm Önnel, hogy az 1666-os év elején (amikor is a gömbi lencsék alakjától eltérő formájú optikai üvegek csiszolására adtam magam) készítettem egy háromszögű hasáb alakú üvegprizmát, hogy vele ama nevezetes *színelenségeket* tanulmányozzam. Evégből azután besötétítettem szobámat és az ablaktáblán kicsiny lyukat vágtam, hogy így megfelelő mennyiségű napfény juthasson be, a prizmat pedig a belépő

sugarak útjába helyeztem úgy, hogy a fény megtörve a szemközti falra vetődjék. Kezdetben igen élvezetes volt látni az így előálló élénk és erős színeket, amint azonban körültekintőbben szemügyre vettem őket, meglepetve láttam, hogy *hosszanti* elhelyezkedést mutatnak, noha a fénytörés eddig elfogadott törvényei alapján azt vártam, hogy *kör alakban* helyezkednek majd el.

A színek két végét egyenes vonalak határolták, de a végein a fény halványodása olyan fokozatos volt, hogy nehéz volt pontosan meghatározni azok alakját; mégis inkább *félkör* alakúnak látszottak.

E *színspektrum* hosszát és szélességét összehasonlítva, az előbbi ötször nagyobbnak találtam az utóbbinál. Ez pedig oly feltűnő aránytalanság,¹ hogy nem mindennapi kíváncsiság ébredt bennem megvizsgálni, miből fakadhat. Nem gondoltam ugyan, hogy az üveg *vastagsága* vagy az árnyékolás bármiféle befolyással lehetne a fényre e jelenség előidézésében, mégis elengedhetetlennek tartottam, hogy előbb ezeket is megvizsgáljam; így azután kipróbáltam, mi történik, ha a fényt a prizma különböző vastagságú részein, vagy különböző nagyságú nyílásokon bocsátom át, megpróbáltam azután a prizmát kívülre helyezni úgy, hogy a fény áthaladhasson és megtörhessen rajta, mielőtt még a nyíláson áthalad. E körülményeket azonban nem talál-

tam lényegesnek; a spektrum alakja minden esetben változatlan maradt.

Ezután arra gyanakodtam, vajon nem az üveg *egyenetlensége* vagy más véletlenszerű szabálytalansága miatt húzódnak-e így szét a színek. Ezt ellenőrzendő vettem egy másik, az előzőhöz hasonló prizmát, és úgy helyeztem el, hogy a fény mindkettőn áthaladva ellentétes irányokba törjön meg, s így a második prizma visszatérítse abba a haladási irányba, amelytől az első eltérítette. Ily módon, úgy véltem, az első prizma *szabályos* hatásait a második prizma kiküszöböli, a *szabálytalanságokat* azonban megnöveli, a többszörös törés folytán. Az eredmény az volt, hogy a fény, melyet az első prizma *hosszúkás* téglalap alakban szórt szét, a másik *kör alakúvá* tette, még hozzá oly nagy szabályossággal, mintha egyáltalán nem haladt volna át a két prizmán. Bármi is volt tehát az oka a spektrum hosszúságának, bizonyos, hogy nem valamely véletlen szabálytalanság eredményezte.

Ennek utána hozzáfogtam, hogy tüzetesen megvizsgáljam, milyen hatással van erre a jelenségre a Nap különböző részeiből jövő sugarak beesési szögeinek különbsége; evégből megmértem a spektrumképre jellemző távolságokat és szögeket. A képnek a nyílástól, azaz a prizmától való távolsága 22 lábnyi volt, legnagyobb hosszúsága $13\frac{1}{4}$ hüvelyk, szélessége $2\frac{1}{8}$ hüvelyk;² az ablaktáblán levő nyílás

átmérője pedig $\frac{1}{4}$ hüvelyknyi volt; az a szög, amelyet a kép közepére tartó sugarak azzal az iránnyal zártak be, amelyben fénytörés nélkül folytatták volna útjukat, $44^\circ 56'$ volt. A prizma vertikális szöge $63^\circ 12'$ volt. Amennyire csak tudtam, igyekeztem a prizma mindkét oldalán egyenlővé tenni a törést, azaz a beeső és kilépő sugarak szögeit, amelyek így $54^\circ 4'$ -esek voltak. A fénysugarak pedig merőlegesen estek a falra. Ha mármost levonjuk a nyílás átmérőjét, $\frac{1}{4}$ hüvelyket, a kép hosszából és szélességéből, akkor megkapjuk a nyílás közép-pontján áthaladó fénysugarak által létrehozott kép hosszát, ami 13 hüvelyk, és szélességét, ami $2\frac{3}{4}$ hüvelyk; az ilyen szélességű kép egy körülbelül $31'$ szögátmérőjű nyílásból származik, s ez a Nap átmérőjének felel meg; a kép hosszúságának megfelelő nyílásszög azonban több mint ötször ekkora, $2^\circ 49'$ -nyi volt.

Miután e megfigyeléseket megtettem, kiszámítottam a prizma törésmutatóját is, s ezt a beesési és törési szögek sinusának *arányából* $20 : 31$ -nek találtam. Ennek az *arány*nak a felhasználásával azután kiszámítottam két olyan sugár törési szögét, amelyek a *napkorong* átellenes pontjairól érkeztek, tehát beesési szögeik különbsége $31'$, és azt kaptam, hogy a kilépő megtört sugaraknak ugyancsak $31'$ kell legyen a szögek különbségük, ugyanúgy, mint mielőtt a prizma-ba beléptek volna.

Mivel azonban ezek a számítások a beesési és törési szögek sinusainak arányosságára vonatkozó hipotézisen alapultak,³ ezért, jóllehet saját tapasztalataim alapján is elképzelhetetlennek tartottam, hogy ez a hipotézis annyira téves legyen, hogy $31'$ -nek adódik belőle az a szög, ami a valóságban $2^\circ 49'$, mégis kíváncsiságomban újra elővettem a prizmat, és úgy, mint előzőleg, az ablakom elé helyeztem, s megfigyeltem, hogy *tengelye* körül több, mint 4° - vagy 5° -kal ide-oda forgatva, tehát az oldalának a fénnel bezárt szögét változtatva, a falon levő színspektrum nem tolódott el észrevehetően. Következésképpen tehát a beesési szög megváltoztatásával a törés mértéke nem változott meg észlelhetően. E kísérlet, valamint a megelőző számítás folytán így nyilvánvalóvá lett, hogy a Nap különböző részeiről érkező fénysugarak beesési szögének különbsége nem idézheti elő azt, hogy a sugarak az áthaladás után nagyobb szögben divergáljanak, mint amilyenben előtte konvergáltak, ami pedig csak $31'$ - vagy $32'$ -nyi volt; másban keresendő tehát az ok, ami miatt a törés után $2^\circ 49'$ -es szöget zárnak be egymással.

Ezután arra kezdtem gyanakodni, vajon a fénysugarak a prizmán való áthaladásuk után nem térnek-e görbe vonalú pályákra, s nem e pályák különböző görbesége miatt érkeznek-e a fal különböző pontjaira. Csak növelte gyanúmat, hogy visszaemlékeztem arra, milyen

gyakran láttam ferdén tartott ütővel megütött labdákat görbe vonalú pályán mozogni. Az ütés révén ugyanis a labda előrehaladó és egyszersmind körkörös irányú mozgásra is szert tesz, így azon az oldalán, ahol e mozgások összegeződnek, sokkal erősebben összenyomja a vele érintkező levegőt, mint a másikon, s ezáltal a levegő részéről is sokkal hevesebb ellenállást vált ki reakcióképpen. Ugyanezen okból kifolyólag a feltehetőleg gömb alakú fényrészecskék, amikor ferdén haladnak át az egyik közegből a másikba és körkörös mozgásra tesznek szert, nagyobb ellenállásra kell hogy találjanak az éter részéről azon az oldalukon, ahol a haladó és a körkörös mozgások összegeződnek, mint a másikon, s így állandóan ebbe az irányba kell hogy elhajoljanak. Mindazonáltal, bármennyire kézenfekvő volt is e sejtésem, amint közelebből szemügyre vettem a fénysugarakat, nem észleltem semmiféle elgömbülést. Azonfelül megfigyeltem (s ennyi elég volt nekem), hogy a színekp hosszúsága és ama nyílás átmérője közötti különbség, amelyen át a fénysugarakat a szobába bebocsátottam, a köztük levő távolsággal volt arányos.

Sejtéseim fokozatos megcáfолódása végül is az *experimentum crucis*⁴ elvégzéséhez vezetett; ez pedig a következőképpen folyt le: vettem két táblát, melyek egyikét szorosan a prizma mögé az ablakhoz állítottam úgy, hogy a fény

egy rajta e célra készített kicsiny nyíláson keresztülhaladva a másik táblára essék, melyet ettől körülbelül 12 lábnyi távolságra helyeztem el, s amelyen előzőleg ugyancsak egy kis nyílást vágtam, hogy a beeső fény egy része áthaladhasson rajta. Azután egy másik prizmát helyeztem e második tábla mögé úgy, hogy a fény, amely mindkét táblán keresztülhaladt, még ezen is átmenjen, és újra megtörjön, mielőtt a falhoz érkezik. Mikor ez megtört, kezembe vettem az első prizmát, és a *tengelye* körül lassan ide-oda forgattam úgy, hogy a második táblára vetődő színekp egyes részei egyenként és egymás után haladjanak át a táblába vágott nyíláson, hogy így megfigyelhessem, mely részére érkeznek a falnak a második prizmától elszenvedett törés után. E helyek változásából pedig azt láttam, hogy a színekpnek az első prizmától elszenvedett törés irányába eső vége felé tartó fény a második prizmától sokkal nagyobb mérvű törést szenvedett, mint a színekp másik vége felé tartó fény. Ily módon felfedeztem, hogy a színekp hosszúságának valódi oka nem más, mint az, hogy a fény olyan *sugarakból* áll, melyek *különbözőképpen törnek meg*,⁵ s amelyek – tekintet nélkül beesési szögük eltérő voltára – törésük mértéke szerint érkeznek a fal különböző pontjaira.

Ezt belátván, felhagytam a fentebb mondott optikai üvegszóló tevékenységgel, mivel

megértettem, hogy a teleszkóplencsék tökéletesítését eddig nem annyira a lencsék – az optika tudósai által előírt alakúra való – csiszolásának hiányosságai hátráltatták (amint mostanáig hitték), hanem az, hogy a fény voltaképpen *különböző mértékben megtörő sugarak heterogén keveréke*. Úgyhogy mégha egy lencsét oly pontosan megcsiszolnának is, hogy mindenféle fajtájú sugarat egy pontba gyűjtsön, akkor sem gyűjtheti egyazon pontba azokat a sugarakat, amelyek még azonos szögben beesve is különböző mérvű törést szenvednek az adott közegben. És látván, hogy a törés mértékében ily nagyok a különbségek, most már azon csodálkoztam, hogy a teleszkópok egyáltalán eljuthattak jelenlegi tökéletességük fokára. Megmérve ugyanis a törést az egyik prizmamában, azt találtam (feltéve, hogy a prizma lapján belépő sugarak közös beesési szögének sinusa 44 résznyi), hogy az üvegből a levegőbe kilépve a színekép vörös vége felé tartó legkülső sugarak törési szögének sinusa 68 résznyi és a színekép másik vége felé tartóké 69 résznyi volt, úgyhogy a különbség a teljes törésnek mintegy 24-ed vagy 25-öd része. Következésképpen tehát egyetlen teleszkóp tárgylencséje sem képes arra, hogy az egy pontból érkező sugarakat egy olyan körnél kisebb területre *fókuszálja*, amely körnek az átmérője az apertúra átmérőjének 50-ed része. Ez pedig olyan hiba,⁸ amely több százszor na-

gyobb annál, mint ami a hosszú teleszkópok tárgylencséiként használt kis görbületű gömbi *lencsék* tökéletlen alakjából származhatna, ha a fény *egyöntetű* volna.

Ez arra készítetett, hogy a *visszaverődést* is vizsgálat alá vegyem; és mivel ezt szabályosnak találtam, vagyis mindenfajta sugár esetében a visszaverődési szög megegyezett a beesési szöggel, arra a belátásra jutottam, hogy ennek révén az optikai eszközöket tetszőleges fokú tökélyre lehetne juttatni, feltéve, hogy találunk olyan *fényvisszaverő* anyagot, melyet oly finomra lehetne csiszolni, mint az üveget, s amely éppen annyi fényt *verne vissza*, mint amennyit az üveg *átereszt*, és feltéve még, hogy megtalálnánk a módját annak is, hogy *parabolikus* alakúra formáljuk az illető anyagot. Mindezzel kapcsolatban azonban olyan óriásiak voltak a nehézségek, hogy már-már legyőzhetetlennek tartottam őket, különösen amikor azt is észrevettem, hogy a visszaverő felületek szabálytalanságai ötször vagy hat-szor akkora mértékű eltérülést okoznak a fénysugaraknál, mint amekkorát hasonló szabálytalanságok a fénytörő felületek esetében okoznának. E problémák tehát sokkal nagyobb érdeklődésre tarthatnának számot, mint a fénytörő üvegek csiszolásával kapcsolatosak.

E vizsgálatok közepette arra kényszerültem, hogy a pestis miatt elhagyjam Cambridge-et, s

csak több mint két év múltán folytathattam a munkát. Azután pedig kieszeltem a fémek csiszolásának egy olyan finom módját, melyről úgy véltem, a forma tökéletesítésére is igen megfelelő lesz; később hozzáfogtam, hogy kipróbáljam, mire lehet jutni ily módon, így azután fokozatosan kifejlesztettem azt az optikai eszközt (lényegét tekintve ahhoz hasonló, mint amit Londonba küldtem), mellyel már képes voltam a Jupiter négy holdját megkülönböztetni; meg is mutattam őket különböző alkalmakkor két ismerősömnek. Azonfelül meg tudtam vele figyelni a Venus holdszerű fázisait, persze nem valami jól kivehetően, s amellett nem is voltam képes a megfigyelőeszközt finomabban beállítani.

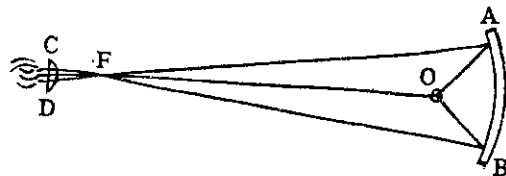
Attól fogva azután egészen a múlt év őszéig felhagytam e kísérletekkel, akkor azonban újra hozzáfogtam a dologhoz, és elkészítettem ezt a másik távcsövet. Mivel pedig ez észrevehetően jobb volt (különösen a nappali fényben végzett megfigyelésekre), mint az előző, ezért semmi kétségem afelől, hogy azok, akik – mint Ön írja – Londonban már foglalkoznak vele, tovább tudják majd még tökéletesíteni.

Gyakran gondoltam arra, hogy *mikroszkóp* is lehetne készíteni hasonló elv alapján,⁷ a tárgylencse helyett egy fényvisszaverő fémlapot alkalmazva. Remélem, hogy akiket illet, ezt a lehetőséget is fontolóra veszik majd

Londonban. Ezek az optikai eszközök ugyanis – úgy tetszik – éppen olyan mértékben tökéletesíthetők, mint a *teleszkópok* – ha nem jobban –, mivel csak egy fényvisszaverő fémlemezre van szükség a megszerkesztésükhöz, amint ez a mellékelt ábrából is kitűnik, ahol AB jelöli a tárgylencse helyén levő fémlemez, CD jelöli a szemlencsét, F ezek közös fókuszát, O pedig a fémtükör másik fókusza, amelybe a tárgy helyezendő.

Visszatérve azonban előbbi témánkhoz, mondtam már, hogy a fény nem egyöntetű, azaz nem homogén, hanem *eltérő fajtájú*⁸ sugarakból áll, amelyek azonos közegben és azonos beesési szög mellett eltérő mérvű törést szenvednek, méghozzá nem az üveg hibájából, vagy más külső okból kifolyólag, hanem a fény sajátos diszpozíciója folytán, melynek következményeként minden egyes sugárnak egy bizonyos mértékű törést kell szenvednie.

A továbbiakban pedig beszámolok Önnek a fénysugarak egy másik nevezetes difformitásáról, amely egyúttal a *színek eredetét* is megmagyarázhatóvá teszi; úgy járok majd el,



hogy először az *elméletet* fejtem ki, azután annak alátámasztására megismertetem Önt egy-két olyan *kísérlettel*, amelyet az említetteken kívül elvégeztem.

Az elméletet az alatt következő tételek formájában fejtem ki és világítom meg.

1. Minthogy a fénysugarak különböző mértékben törnek meg, ezért különbözniük kell ama képességüket tekintve is, hogy ezt vagy amazt a sajátos színt előállítsák. A színek tehát (ellentétben azzal, ahogyan eddig hitték) nem a fénynek a természeti testeken elszenvedett töréséből vagy visszaverődéséből származó *módosulatai*,⁹ hanem a fénynek *eredendő és elválaszthatatlan tulajdonságai*, amelyek sugaranként különböznek. Az egyik sugár példának okáért vörös színt és csakis vörös színt mutathat, a másik sárgát és csakis azt, ismét másik pedig csakis zöld színt mutathat, és így tovább. Persze nemcsak az alapszíneknek vannak saját és elkülönülő sugaraik, hanem az összes közbenső színárnyalatnak is.

2. A fénytörés egy bizonyos mértékéhez mindig ugyanaz a szín tartozik és ugyanazon színhez mindig egyazon mértékű törés. Azok a sugarak, amelyek a *legkisebb mérvű törést* szenvedik, mind a vörös színt állítják elő, és megfordítva, azok a sugarak, amelyek vörös színt előállítására képesek, mind kismértékben törnek csak meg. A *legnagyobb mértékű törést* az ibolyalila szín előállítására képes su-

garak szenvedik, és viszont: azok a sugarak, amelyek a lila színt állítják elő, a lehető legnagyobb mértékben törnek meg. És ehhez hasonlóan, a közbülső színek valamennyi fokozatának a fénytörés mértékének valamely közbülső foka felel meg. A színek és a törés mértékei közötti ilyen megfelelés pedig feletőbb szigorúan és pontosan érvényesül; a fénysugarak tehát vagy megegyeznek egymással mindkét vonatkozásban, vagy arányosan különböznek mindkettőben.

3. Valamely fénysugár esetében a hozzá tartozó színfajta és a törés mértékét nem lehet megváltoztatni sem újabb törés, sem a testekről való visszaverődés révén, sem semmi más eddig megfigyelt módon. Amikor ugyanis egy bizonyos fajta fénysugárnyalábot elkülönítettem a többitől, az attól kezdve állhatatosan megtartotta a színét, akárhogy igyekeztem is megváltoztatni azt: megtörtem prizmával, vagy olyan testekről való visszaverődésre készítettem, amelyek nappali fényben más színűek voltak; átbocsátottam két üveglap közé fogott színes levegőrétegen, azután pedig különböző más színes közegeken, és olyanokon, melyeket más fajta fénysugarakkal sugároztam be, végül pedig különböző ernyőkön fogtam fel őket, mégsem sikerült semmiféle színmódosulást elérnem. Persze amikor a sugárnyalábot összenyomtam és széthúztam, akkor a szín élénk vagy halvány lett, amikor pedig a

sugarak közül sok szétszóródott, akkor igen homályos és sötét, mindazonáltal *in specie* nem változott meg.¹⁰

Látszólagos színváltozásokat mégis létre lehet hozni, mégpedig akkor, ha különböző fajtájú sugarakból álló keverékekkel van dolgunk. Az ilyen keverékekben ugyanis nem tűnnek ki külön-külön az alkotó színek, hanem csak az elegyedésükből származó keverék színt látjuk. Ezért, ha törés révén, vagy az említett módok valamelyikén szétválasztjuk a keverékben rejlő különböző fajtájú sugarakat, akkor a keverék színétől eltérő színek is megjelenhetnek. Ezek a színek azonban nem újonnan keletkeznek, hanem csupán láthatóvá válnak az elkülönítés folytán, mert ha ismét összekeverjük és hagyjuk elvegyülni őket, akkor újra előáll az a szín, amelyet a szétválasztás előtt láttunk. Ugyanez okból kifolyólag a színkeveréssel végrehajtott színváltoztatások sem valódiak, mivel ha a különböző fajtájú sugarakat újra szétválasztjuk egymástól, ismét csak olyan színek állnak elő, mint a keveredés előtt. Mint Ön is tudja, ha kék és sárga színű port alaposan összekeverünk, akkor az elegy a puszta szemnek zöldnek tűnik, az alkotórészcscék színe azonban valójában nem változik meg, csak összeolvad. Amennyiben ugyanis mikroszkóppal szemléljük meg őket, az egyes elkeveredett részcscék továbbra is kéknek illetve sárgának látszanak.¹¹

5. Ennélfogva 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, az indigókék és a közbülső színek végtelen sorozata.

6. Az elsődleges színekkel azonos *fajtájú* színek keveréssel is előállíthatók; a sárga és a kék keveredése ugyanis zöldet eredményez,¹² a vöröse és a sárgáé narancssárgát, a narancssárgából és a sárgászöldből pedig keveredéssel sárga lesz. Általában: ha két olyan színt keverünk össze, melyek a prizma által előállított színsorozatban nem esnek túl messze egymástól, akkor összeolvadásuk azt a színt fogja eredményezni, amelyik a mondott sorozatban éppen középtűt helyezkedik el a kettő között. Azon színek esetében viszont, amelyek túl messze esnek egymástól, ez nem így van. A narancssárga és az indigókék együtt nem a közbülső zöldet adják, a skarlátvörös és a zöld keveredéséből sem áll elő a köztük levő sárga.

7. A legmeglepőbb és legcsodálatraméltóbb keverék azonban a fehér. Ezt a színt ugyanis egymagában egyik fajta fénysugár sem képes felmutatni. Mindig csak keveredés eredménye lehet, s előállításához valamennyi fent mondott elsődleges szín megfelelő arányú összekeverése szükséges.¹³ Gyakorta csodálkoztam magam is afelett, hogy ha a prizma által

szétválasztott színeket újra összetartóvá teszem, s ezáltal úgy összekeverednek, mint mielőtt áthaladtak volna a prizmán, akkor az így előálló fény teljesen és tökéletesen fehér, és semmilyen észlelhető módon nem különbözik a közvetlenül a Napból érkezett fénytől, kivéve azt az esetet, amikor az általam használt optikai üvegek nem voltak eléggé tiszták és átlátszóak, mert ilyenkor ezek kissé elszínezték az áteresztett fényt.

8. Mindebből pedig az következik, hogy a fény rendszerint fehér színű, lévén a fénylő testek által elegyesen kibocsátott és így a legkülönbözőbb fajtájú színeket hordozó sugarak együttese.¹⁴ És mint mondtam, az ilyen keverék, amennyiben az alkotórészek megfelelő arányban vannak jelen benne, fehér színű lesz, ha azonban valamelyik összetevője túlsúlyra jut, akkor a fény ennek megfelelő színt ölt; ezért kék a kénkő lángja, ezért sárga a gyertyaé, és ezért különféle színűek az állócsillagok.

9. A mondtak alapján már nyilvánvaló, hogy milyen módon állítja elő a prizma a színeket. A beeső fényt alkotó sugarak közül ugyanis azok, amelyek eltérő színűek, eltérő mértékben törnek is meg, s e különböző mérvű törés folytán szétválnak, és hosszanti alakban rendezett sorban következnek egymásra a legkisebb mértékben megtört vöröstől a legnagyobb mértékben megtört ibolyáig. Ez az

oka annak is, hogy ha prizmán keresztül nézünk valamilyen tárgyat, az színesnek tűnik. A különböző fajtájú sugarak ugyanis eltérő mértékben megtörve és szétválva, a retina különböző pontjai felé tartanak, és ott a tárgy színes képeit hozzák létre, ahogy az előbbi kísérletben a Nap színes képét vetítették a falra. A törés mértékének illetően egyenlőtlensége folytán pedig az előállt kép nemcsak hogy színes, hanem azonfelül igen zavaros és kivehetetlen is.

10. Ugyancsak nyilvánvaló ezek után, hogy miért tűnnek fel a szivárvány színei az esőcseppeken. Ugyanis ama fénytörő esőcseppek, melyekből a néző szemébe jutó fény főleg bíborlila színűnek látszik, a többi fajta sugarat annnyival kisebb mértékben törik meg, hogy azok már nem jutnak a néző szemébe, hanem elhaladnak mellette; ilyenek az elsőleges szivárványív belső oldalán és a másodlagos ív külső oldalán levő cseppek. Ama cseppek pedig, melyekből a néző számára vörösnek látszó megtört sugarak jönnek, a többi sugarat annnyival nagyobb mértékben törik meg, hogy ezek már elkerülik a szemet; ilyenek az elsőleges ív külső részén és a másodlagos ív belső részén levő cseppek.

11. Az sem rejtély többé, hogy miért látszanak a színes üvegcserepek, az aranyfűst, a *lignum nephriticum*¹⁵ és más átlátszó, színes testek majd ilyen, majd olyan színűnek, helyez-

tüktől függően. Ezek ugyanis olyan anyagok, amelyek az egyik fajta fényt visszaverik, a másik fajtát átengedik, amint ez megfigyelhető akkor, ha sötét szobában homogén, vagyis nem kevert fénnel világítjuk meg őket. Ilyenkor csakis olyan színűnek látszanak, mint amilyennel megvilágítjuk őket, bizonyos helyzetekben azonban élénkebb színűek és fénylőbbek, mint másokban, aszerint, amint többé vagy kevésbé verik vissza vagy engedik át a rájuk eső fényt.

12. Szembeötlő a magyarázata annak a meglepő kísérletnek is, amelynek elvégzéséről Hooke¹⁶ számolt be valahol *Micrographiájában*: ti. hogy két v alakú edényt megtöltött színes folyadékkal, az egyiket vörös színűvel, a másikat kék színűvel, amelyek azután – noha külön-külön eléggé átlátszóak voltak – együtt már átlátszatlanná váltak; az oka az, hogy mivel az egyik csak a vörös fényt engedte át, a másik meg a kéket, együtt már semmilyen színű sugarat nem engedtek át.

13. Szaporíthatnám még az effajta példákat, de inkább azzal az általános érvényű megállapítással fejezem be a tételket, hogy a természetes testek azért színesek, mert eltérő módon és mértékben verik vissza az egyik fajta fényt, mint a másikat. Ily módon bármely test bármilyen színűvé tehető. A testeknek ugyanis nincs saját színük, hanem mindig olyan színűnek látszanak, amilyen színű

fénnel megvilágítjuk őket; azzal a különbséggel, hogy színük akkor látszik a legélénkebbnek és legerőteljesebbnek, ha a nappali félynél látható színüknek megfelelő színű fénnel vannak megvilágítva. A *minium* akármilyen színt felvehet, amellyel megvilágítjuk, a legfénylőbb azonban a vörösben lesz; ugyanígy a *lazúrkő* is akármilyen színűnek látszhat, amivel csak megvilágítjuk, a legfénylőbb azonban a kékben lesz. A *minium* tehát mindenféle színű fényt visszaver, a legtöbbet azonban a vörösből veri vissza; következésképpen, ha nappali fénnel világítjuk meg, azaz a különböző fajta sugarak keverékével, akkor a visszavert fényben a vörösből lesz a legtöbb, s ennek túlsúlya miatt fog vörösnek látszani. Ugyanezen okból a *lazúrkő*, amely főleg a kéket veri vissza, kéknek fog látszani, mivel ezek a sugarak kerülnek túlsúlyba a róla visszavert fényben; hasonló a helyzet a többi testeknél is. Hogy pedig ez a valódi és teljes oka a testek színeségének, az nyilvánvaló abból, hogy a testek nem képesek megváltoztatni vagy módosítani a rájuk eső különböző fajta sugarak színét, hanem mindig olyan színt öltenek, amilyen-nel megvilágítjuk őket.

S mivelhogy így áll a dolog, nem képezheti vita tárgyát többé, hogy vannak-e színek a sötétben is, s hogy vajon a színek a látható dolgok kvalitásai-e, de talán még az sem,

hogy vajon testi létező-e a fény. Ugyanis a színek nem mások, mint a fény *kvalitásai*, melyeknek kizárólagos és közvetlen hordozó szubjektumai a sugarak; hogyan tarthatnánk tehát magukat a sugarakat is *kvalitásoknak*, hacsak meg nem engedjük, hogy egyik kvalitás a másik hordozója legyen; következésképpen tehát a fényt *szubsztanciának* kell tekintenünk.¹⁷ A testeket ugyanis érzékelhető *kvalitásaik* alapján tartjuk *szubsztanciáknak*, s mivel ezen *kvalitások* legfőbbikét most valami másnak tulajdoníthatjuk, jó okunk van úgy vélekedni, hogy ez a más ugyancsak *szubsztancia*.

Azonfelül ki hallott már *heterogén* *kvalitásról*, márpedig a fényt a sugarak *heterogén* *együttesének* találtam. Mindazonáltal az, hogy még tökéletesebben meghatározzam, mi is a fény, miképpen törik meg, és miféle hatások révén hozza létre szellemünkben a színeképzeteket, nem könnyű dolog. Én pedig nem fogom a bizonyosságot sejtésekkel keverni.

Átnézve újra mindazt, amit írtam, úgy látom, a gondolatmenet maga is számtalan olyan kísérletet sugall, melyek a kifejtettek helyességének vizsgálatára megfelelőek lehetnek; nem terhelem tehát tovább figyelmét, hanem haladéktalanul leírom egyikét azoknak a kísérleteknek, melyekre már utaltam.

Egy elsötétített szobában vágjon nyílást az

ablaktáblába; legjobb, ha mintegy $\frac{1}{2}$ hüvelyknyi a nyílás átmérője, így megfelelő mennyiségű napfényt bocsát be. Helyezzen elé egy tiszta és szintelen prizmat úgy, hogy az a szoba túlsó részének irányába törje meg a belépő fényt, amely ezáltal hosszanti alakban elhelyezkedő színes kép formájában terül szét. Azután ettől körülbelül 4 vagy 5 lábnyi távolságra helyezzen el egy három láb sugarú *lencsét* (esetleg egy teleszkóp tárgylencséjét), amelyen az összes színek még egyszer áthaladnak, és benne megtörve 10 vagy 12 láb távolságban újra összetalálkoznak. Ha azután ebben a távolságban a fény útjába egy fehér papírlapot helyez, akkor látni fogja, hogy az összekevert színek újra fehér színű fényt állítanak elő. Ehhez azonban az szükséges, hogy a *prizma* és a *lencse* rögzítve legyen, a papírt viszont, melyre a fény vetül, ide-oda lehessen mozgatni; e mozgatás során ugyanis nemcsak azt fogja látni, hogy hol a legtökéletesebb a fehérség, hanem azt is, hogyan találkoznak fokozatosan össze a színek, és tűnnek el a fehérségben; továbbhaladván pedig arról a helyről, ahol kereszteződtek, és elkeveredvén fehér színt adtak, a fénysugarak ismét szétszóródnak és elkülönülnek, s fordított sorrendben ugyanazokat a színeket állítják elő, mint mielőtt összevegyültek volna. Azt is láthatja majd, hogy ha valamelyik szín további útját a *lencsénél*

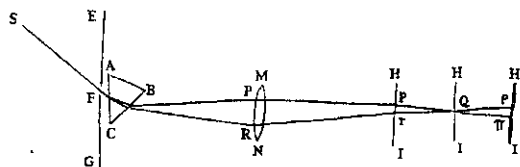
elváágja, akkor a fehér szín helyett más szín áll elő. Következésképpen azért, hogy a fehérség tökéletes legyen, ügyelni kell arra, hogy egyik szín se haladjon el a *lencse* mellett.

A kísérlet mellékelt tervrajzán ABC jelöli a szorosan az EG ablaktáblába vágott F nyíláshoz helyezett prizmat, amelynek vertikális szöge: ACB, leghelyesebb ha 60° -os. MN jelöli a *lencsét*, ennek szélessége $2\frac{1}{2}$ -3 hüvelyk. SF egyike azon egyeneseknek, amelyeken a folyamatosan a Naphól érkező különböző fajta sugarak a feltevés szerint haladni fognak. FP és FR pedig két egyenlőtlenül megtört sugár, amelyek a lencsén áthaladva Q felé konvergálnak, a kereszteződés után viszont megint szét tartanak. HI a különböző távolságokra elhelyezett papírlap, erre vetülnek a színek, melyek azután Q-ban fehérre vegyülnek, de vöröset és sárgát adnak R-ben, r-ben és p-ban, kéket és bíborlilát adnak viszont P-ben, p-ben és π -ben.

Ha ellenőrizni akarja továbbá, hogy valóban lehetetlen megváltoztatni a vegyítetlen színeket (mint a harmadik és tizenharmadik

tételben állítottam), akkor ehhez az szükséges, hogy a szobát felettébb jól besötétítse, nehogy valamilyen szórt fény a színhez keveredvén, szándékával ellentétben, színvegyültté változtassa azt. Szükséges továbbá, hogy a színeket a fentebb leírt módon – vagyis az egyetlen prizmával – elérhetőnél tökéletesebben szétválassza, ez azonban aligha eshet nehezebbre annak, aki a törési törvényeket szem előtt tartja. Ha viszont nem teljesen szétválasztott színekkel kísérletezik, akkor a keveredés mértékének megfelelő mérvű színváltozásokat fog tapasztalni. Ugyanis, ha keverék sárga szín esik kék színű *lazúrkőre*, akkor ez nem sárgának fog látszani, hanem inkább zöldnek, lévén a zöld kevésbé távol a lazúrkő szokásos kék színétől, mint a sárga, tehát a zöld az, amit nagyobb mértékben visszaver.

Hasonlóképpen ha valamelyik prizmával előállított színt, például a vöröset beárnyékoljuk avégből, hogy ellenőrizzük, csakugyan lehetetlen-e – amint én állítom – létrehozni ezt a színt a többi színből, akkor ehhez az szükséges, hogy a színeket igen jól szétválasszuk, mielőtt a vöröset leárnyékoljuk, vagy pedig hogy a szomszédos színeket (így a sárgát és esetleg még a zöldet is), amelyekbe még némi vörös vegyülhetett, ugyancsak leárnyékoljuk. Megtehetjük persze azt is, hogy azt a kevés vöröset, ami a zöldessárgába a szóródás



közben belekeveredett, figyelmen kívül hagyjuk. S ha aztán ily körülmények között járunk el, lehetetlen, hogy a vöröset vagy bármelyik leárnékolt színt újra megjeleníteni lássuk.

Mindez, úgy vélem, az effajta kísérletekbe való bevezetésekként elegendő; s ha közülük valamelyiket a Királyi Társaság¹⁸ végrehajtásra érdemesíti, szeretném tudni majd, milyen eredménnyel, úgyhogy ha valami bonyodalom adódna, vagy bármi olyasmi, ami elmentmondani látszik a feltárt összefüggéseknek, módomban legyen további tanácsot adni, vagy ha netán hibáztam volna, belátni tévedésemet.

Eddig e tudós és felettebb éles elmére valló levél, melyet a jeles társulat, előtte felolvasztatván, igen nagy tetszéssel fogadott, és azon tagjainak figyelmébe ajánlott, akik járatosak az effajta dolgokban; úgyhogy az olvasó egy újabb füzetben¹⁹ tudomást szerezhet majd az e tárgyban folytatott vitáról is.

1675. december 9. Ezen a napon került a Társaság elé Newton úr kézírata, amely a fény és a színek elméletével foglalkozik, és részint az előző írásaiban a fény tulajdonságairól mondottak magyarázatát szolgáló hipotézist tartalmaz, részint pedig a vékony lemezek és buborékok által előidézett főbb színjelenségeket tárgyalja; ez utóbbiak a szerző szerint további megfontolást igényelnek ugyan, mindazonáltal a fény fent jelzett tulajdonságaival kapcsolatosak.

A hipotézisnek csak az első része került felolvasásra, az a rész, amely a törést, a visszaverődést valamint a testek fényáteresztő és fény-át-nem-eresztő képességét vizsgálja; a színek magyarázatáról szóló második részt a következő ülésre halasztottuk.

Az első rész a következőképpen hangzik: