

Tudományos kutatások Napóleon idejében

Bonaparte Napóleon (1769–1821) határozottan pártolta a tudományos kutatásokat Franciaországban. Nemcsak a magas színvonalú felsőoktatási intézményeket támogatta, amilyen például az École Polytechnique vagy az École Normale Supérieure, de 1803-ban, még mint első konzul, visszaállította az 1635-ben *Richelieu* bíboros alapította, majd 1793-ban a jakobinus diktatúra által megszüntetett Francia Tudományos Akadémiát. (Érdeemes összehasonlítani ezt a magyarországi helyzettel: ugyancsak 1635-ben alapította *Pázmány Péter* érsek a magyar tudományegyletemet, a mai ELTE elődjét, de csak 1825-ben került sor a Magyar Tudományos Akadémia megalapítására, *Széchenyi István* felajánlása nyomán.) Hogy Bonaparte tábornok maga is részt vett az Akadémia szakmai tevékenységében, arra a következő esemény szolgáltat példát.

Jean-Baptiste Biot (1774–1862) a *College de France* fiatal matematikatanára, *Laplace* támogatásával mutatta be az Akadémián egy *Euler* által felvetett problémára adott saját megoldását. A hallgatóságból hárman ott mindjárt gratuláltak a fiatal tudósnek: *Lagrange*, *Monge* és Bonaparte tábornok. Ezek után az értekezés írásbeli értékelésével *Lacroix*, Bonaparte és *Laplace* lett megbízva. 1804-ben Biot már a párizsi csillagászati obszervatórium munkatársaként szállt fel *Gay-Lussac* társaságában léghajóval 4000 méter magasra, hogy ott a földi mágneses tér gyengülését kvantitatívan észlelhessék, és többféle fizikai, kémiai és biológiai mérést is elvégezzenek. (*Gay-Lussac* az École Polytechnique hallgatójából lett a kémikus *Berthollet* asszisztense, aki nem melleleg Bonaparte tábornokkal vett részt annak egyiptomi hadjáratában.) Maga Biot azonban egyáltalán nem lett a hadvezér Napó-

leon híve: mindig határozottan kiállt a politika és a tudomány szétválasztása mellett.

Miből éltek a tudósok? Ezekben az években, a 18. és 19. század fordulóján még alig voltak „fizetett” tudományos kutatói állások. A sikerebb kutatóknak általában volt valamilyen öröklött vagyonuk, vagy valamilyen jól fizetett polgári állásuk, amely mellett eleinte csak hobbiból, kíváncsiságból érdeklődtek a tudományos kérdések iránt, majd ez az érdeklődés a legjobbaknál akár a megszállottsáig fokozódott. Érdeemes felidézni néhányuk példáját, akik az optikai kutatásokban fontos eredményeket értek el: *Young* orvos volt, *Fresnel* útépítő mérnök, *Malus* hadmérnök, *Biot* és *Arago* pedig obszervátorként indult pályáján a párizsi csillagdában, ahol közösen kezdték el kutatni a gázok fénytörését.

Döntő(?) bizonyíték a fény korpuszkuláris elméletére

A fény hullámtermészetének feltárása *Huygens* nevéhez fűződik, a fény részecskékből álló természetének első felvetője – igaz, csak kérdések formájában – *Newton* volt. Mindkettőjük számára az izlandi mészpát kettős törésének meglepő jelensége volt az a kihívás, amely elindította gondolkodásukat. A hullámterjedést *Huygens* a hullámfelületből kiinduló elemi hullámokkal értelmezte, ahol az elemi hullámok burkolója adja az új hullámfelületet. Az elemi hullámok izotróp közegben gömbhullámok, anizotróp közegben viszont ellipszoid hullámok, mivel a terjedési sebesség irányfüggő – íme, máris megvan a kettős törés magyarázata, gondolta *Huygens*.

Az ordinárius és az extraordinárius fényugarak azonban nemcsak a terjedés irányában tértek el egymástól!

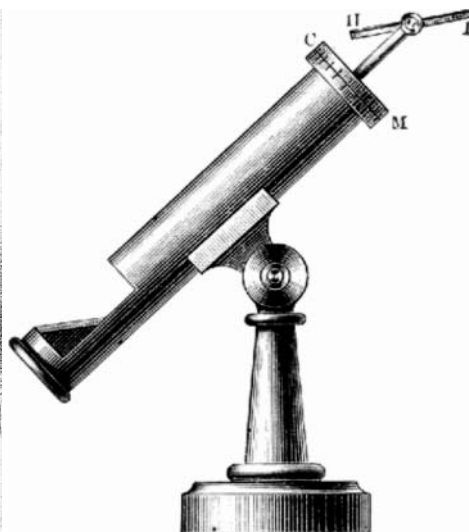
Newton a mészpátkristályokkal végzett kísérletei alapján arra következtetett, hogy a fénysugár nem lehet olyan henger-szimmetrikus, mint a longitudinális hanghullámok. *Simonyi Károly* *A fizika kultúrtörténete* című könyvében idéz néhány kérdést, amelyet *Newton* feltett *Optika* című művében:

„Vajon nincs-e a fénysugárnak több oldala, mindegyik más-más sajátsággal felruházva?”

„Vajon a fénysugarak nem kis testekből állnak-e, amelyeket a fénylő anyag kibocsát?”

Newton tudományos tekin-tye akkora volt, hogy az

Jean-Baptiste Biot (1774–1862) és polarizációkészüléke



optikai kutatásokat folytató francia fizikusok közül többen az ő korpuszku lakibocsátó emissziós elméletét fogadták el a fényre, és még meg is rótták Youngot, aki angol tudós létére Huygens oldalára állt, kimutatva az általa interferenciának nevezett jelenséget, amely szerint két fénysugár ki is olthatja egymást. Young szerint a fény nem állhat anyagi részecskékből, csak valamilyen virtuális anyag, az éter hullámzása lehet. Ezt az elméletet, amellyel még a Newton-gyűrűk keletkezését is meg lehetett magyarázni, a hullám szó latin kifejezéséből adódóan „undulációs” elméletnek hívták, és ez bizony élesen szemben állt az emissziós elmélettel. Minthogy rejtélyes és bizonytalan állítás akadt a kettős törés bármelyik magyarázatában, ezért a Francia Akadémia 1808. január 4-én a következő pályázatot tűzte ki: „Felállítandó a kettős törés tapasztalással megegyező matematikai elmélete.” A pályázat határidejéül 1810-et szabták, de már a kitűzés évében jelentkezett egy hadmérnök azzal a felfedezéssel és elmélettel, amellyel – úgy gondolta – döntő bizonyítékot szolgáltatott a fény korpuszku lakis jellegére. Az illető hadmérnököt Malus-nek hívták.

Étienne Louis Malus (1775–1812) csaknem egyidős volt Biot-val, és ő is az École Polytechnique hallgatója volt. Biot egy évig volt katona, utána visszamenekült a tudomány bástyái mögé, Malus viszont tanulmányai végzése mellett se lépett ki a hadsereg kötelékéből, sőt közvetlenül részt vett a hadi eseményekben. 23 éves korában részt vett Napóleon egyiptomi hadjáratában. Ennek sikertelen befejeződése után visszatért Franciaországba, megnősült és hadmérnöki beosztásban hadi kikötők és erődök építésén dolgozott. Közben szenvedélyesen élt tudományos hobbi-jának: nem kevesebbet akart megérteni és megmagyarázni, mint a fény természetét. 1807-ben „analitikus geometriai optikai elméletet” publikált. Kapóra jött az akadémiai pályázat, azonnal elkezdett kísérletezni a mészpátkristályokkal.

Szép, romantikus történet szól arról, hogyan fedezte fel Malus a visszavert fény polarizációját. Párizsi lakása a Luxemburg kert mellett volt, és egy ízben lakása ablakából egy mészpátkristályon keresztül vizsgálta a környék fáit, házeit. Azt vette észre, hogy a Luxemburg palota üvegablakairól visszaverődő fény ugyanolyan változásokat mutat, ha forgatja a szeme elé tartott kristályt, mint amikor egy másik mészpát kristályon átjövő fényt vizsgál hasonló módon.

Először azt hitte, hogy a levegő gyakorol ugyanolyan hatást a benne haladó napsugarakra, mint a mészpát, ezért a jelenséget este, gyertyafénynél is megpróbálta előállítani a lakás ablakánál. Minthogy ott is meg tudta figyelni ugyanazt a tüneményt, meggyőződött róla, hogy új jelenséget fedezett fel és körültekintő kísérlet-sorozatba kezdett, amelynek eredménye lett az 1808 decemberében beadott *Az átlátszó testek által visszavert fény egyik tulajdonságáról* című dolgozata. Sietett vele, attól félt, hogy valaki megelőzi a felfedezésben, annyira „szembetűnő” jelenségről volt szó.

A polarizáció szót azért vezette be a jelenségre, mert a következő értelmezést találta ki hozzá: a fény részecskékből áll, ezek fénytani dipólusok. A természetes



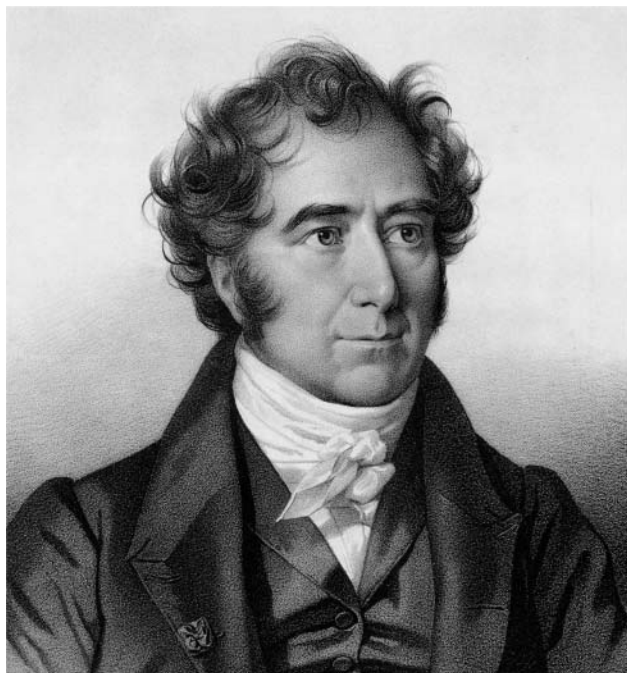
Étienne Louis Malus (1775–1812)

fényben össze-vissza, minden irányban állnak, a mészpátkristályon való áthaladáskor azonban rendeződnek, ráadásul az ordinárius és az extraordinárius sugaraknál egymásra merőleges irányban. Vagyis a mészpát a fényrészecskéket pólusaik szerint rendezi, amit így mondhatunk: polarizálja a fényt! A nagy felfedezés az volt, hogy kimutatta: minden átlátszó anyag, a ráeső fénysugarak beesési szögétől függő mértékben képes erre, amikor visszaveri a fénysugarakat.

Mi minden történt 1815-ben?

Malus fiatalon, 37 éves korában, 1812-ben meghalt. Még megérte, hogy Young, akkor már a Royal Society külügyi titkára 1811 márciusában levélben értesítette őt a Rumford-érem elnyeréséről. Ebben a levélben többek között ezt írta Young: „Az ön kísérletei az általam felállított elmélet (tudniillik az interferenciák elmélete) hiányosságáról tanúskodnak ugyan, de helytelenségét nem bizonyítják.” Nemcsak a Rumford-éremet, de Young ezen mondatát is munkássága elismerésének tekintette Malus. Akkor már az optikával foglalkozó fizikusok a legkülönbözőbb polarizációs jelenségeket kutatták.

Dominique François Arago (1786–1853) 1811-ben felfedezte az általa színes polarizációnak nevezett jelenséget, amelyet ma már a feszültségoptika, illetve az optikai aktivitás témakörébe tartozónak gondolunk. Talán mondanunk sem kell, hogy ő is az École Polytechnique növendéke volt – sőt, később az intézet



Dominique François Arago (1786–1853)

tanára. 1809-től az Akadémia tagja, majd titkára lett. (E minőségében az elhunyt akadémikusokról tartott emlékbeszédei nemcsak a fizikatörténet kutatói számára jelentettek nagy segítséget, de *Trefort Ágoston* elnöksége alatt mintául szolgáltak a Magyar Tudományos Akadémia számára is hasonló emlékbeszédek tartására.) Mint említettük, Biot-val együtt a párizsi obszervatóriumban dolgozott és a levegő fénytörését vizsgálták, mert az az észlelhető csillagok fényét befolyásolja. Különböző gázokkal, illetve különböző sűrűségű levegővel megtöltött prizmán végeztek nagy pontosságú törésmutató-méréseket. Úgy találták, hogy az atmoszférikus levegő abszolút törésmutatója 1,000294, egyébként arányos a sűrűséggel és nem mutat diszperziót. Kiválóan tudtak együtt dolgozni annak ellenére, hogy Biot a fény emissziós elméletében, Arago pedig a hullámelméletben hitt.

A színes polarizációt Arago is úgy fedezte fel, hogy mint Malus, az ablakából figyelte, milyennek látszik a világ a kettősen törő mészpátkristályon keresztül. Ő azonban nem a fákat és a házakat, hanem a kék eget figyelte, ráadásul különböző átlátszó lemezeket tett a kék ég és a mészpátkristály közé. Azt már régebben észrevette ugyanis, hogy a kék égről többé-kevésbé poláros fény érkezik, ezért azt vizsgálta, történik-e valami változás, ha ez a polarizált fény áthalad az átlátszó lemezen.

A „csoda” akkor történt, amikor csillámlemez volt az átlátszó lemez. A mészpáton keresztül látott kép kiszínesedett! Ha elforgatta a csillámlemez a saját síkjában, vagy a mészpát kristályt forgatta, a színek változtak. Felfedezését megosztotta Biot-val, aki az elkövetkező 2-3 évben rendkívül átgondolt és körültekintő kísérleteket végzett és nem kevesebb, mint hat tapasztalati törvényt állított fel erre a jelenségcsoportra. Az általa adott magyarázat lényege az volt, hogy a csillám maga is kettősen törő tulajdonságú.

Még ugyanebben az 1811-es évben Arago egy másik jelenséget is felfedezett, amikor egy kristálytengelyére merőlegesen kimetszett kvarclemezt tett a csillámlemez helyére, ez pedig a kvarclemez optikai forgatóképessége volt. Biot ezt is alaposan megvizsgálta, még azt is megnézte, változik-e a kvarclemez viselkedése, ha nem levegő, hanem viszonylag nagy törésmutatójú folyadék, például terpentinolaj veszi körül. Így vette észre, hogy a polarizációs síkot elforgató képességük még nem kristályos testeknek, akár folyadékoknak is lehet, hiszen a terpentinolaj már akkor elforgatta a fény polarizációs síkját, amikor még benne se volt a kvarclemez!

Kísérleteik eredményét Arago és Biot 1815-ben mutatta be a Francia Akadémián.

Az 1812–15-ös évek nevezetes évek voltak a francia történelemben. 1812 nyarán Napóleon oroszországi hadjáratra indult több mint félmillió katonával. Szeptemberben már bevonult Moszkvába, de ott nem volt kívül tárgyalnia. A francia sereg visszavonult, és az orosz télben és a partizántámadások során óriási veszteségeket szenvedett. 1813 elején porosz–oroszsvéd szövetség jött létre Napóleon ellen. 1813 őszén a porosz–osztrák–svéd koalíciós csapatok Lipcsénél legyőzték a francia csapatokat. 1814 tavaszán bevonultak Párizsba, XVIII. (Bourbon) Lajos elfoglalta a királyi trónt, Napóleont pedig száműzték Elba szigetére. 1815 tavaszán – legnagyobb meglepetésre – Napóleon visszatért Párizsba. A királynak újra menekülnie kellett. Napóleon újraszervezett serege azonban nyáron a waterlooi ütközetben megsemmisült. Ezután Napóleont Szent Ilona szigetére száműzték. 1815. szeptemberben Bécsben az osztrák császár, a porosz király és az orosz cár megkötötték a Szent Szövetséget, amelyhez később az angol király kivételével minden európai uralkodó csatlakozott.

Ennek az idén kétszáz éves eseménynek van magyar vonatkozása is. Budán ugyanis felgyorsították a gellérthegy csillagvizsgáló építését, hogy 1815. október 19-én a Szent Szövetség három uralkodója jelenlétében nyithassák meg azt. Ahogy az már lenni szokott, az épület nem lett teljesen kész, a felszerelt vadonatúj műszerek pedig a kiszáradó falak között hamar rozsdásodásnak indultak. Végül nem is a rozsdá, hanem Buda 1849-es ostroma során kapott ágyúlövések végeztek a *Pollack Mihály* tervezte csillagdával, a *Pasquich János* által vásárolt drága műszerekkel.

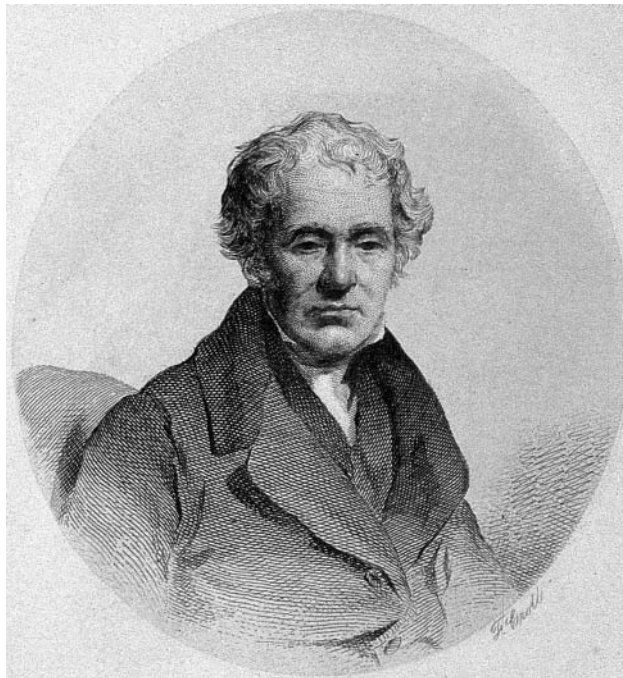
Ugyanebben az évben, 1815-ben, a messzi Skóciában egy szorgalmas kutató, aki főleg a hozzá eljutott tudományos közleményekből tájékozódott az aktuális európai kutatásokról, egy rendkívül egyszerű matematikai formulába tudta foglalni a visszaverődésnél keletkező teljes polarizáció szögének a törésmutatóval való összefüggését, de ezt csak akkor publikálta, miután 18 féle anyagon megvizsgálta ennek teljesülését. Ez a kutató volt *Brewster*, és az összefüggést azóta Brewster-törvényként tanítják – ha tanítják – az iskolában. Tartalma: az átlátszó közeg felületéről visszaverődő fénysugár akkor lesz teljesen polarizált, amikor merőleges a megtört fénysugárra. Ebből kö-

vetkezik az az egyszerű matematikai összefüggés, hogy a teljes polarizáció szögének tangense a közeg (relatív) törésmutatójával egyenlő. Még ebben az évben felvették Brewstert a londoni Royal Society tagjai sorába, és elnyerte a Copley-érmet, amelyet Arago is csak tíz év múlva kapott meg.

Mit érdemes tudnunk a Brewster-törvény felfedezőjéről?

David Brewster (1781–1868) egy skót kisvárosban született, amelynek gimnáziumában édesapja volt az igazgató. Két lány- és három fiú-testvére volt, a fiúk mind a skót presbiteriánus egyház lelkészei lettek. Őt is azzal küldte apja Edinburgh-ba az egyetemre 12 éves korában, hogy majd a skót egyház lelkésze váljon belőle. 1800-ban meg is szerezte ezt a jogosítványt, de érdeklődése akkor már teljesen a természettudomány és annak gyakorlati alkalmazása felé fordult, miközben gazdag családoknál vállalt nevelői állást, hogy fenntarthassa magát. Szónokolni ugyan nem, de írni nagyon szeretett, és már első diffrakciós kísérleteiről, megfigyeléseiről érdekes cikkeket közölt különböző londoni tudományos folyóiratokban. 27 éves volt, amikor az Edinburgh-i Royal Society tagjának választották, és ekkor merész vállalkozásba fogott: *The Edinburgh Encyclopaedia* kiadását kezdte meg. Ebben az évben publikálta Malus a visszavert fény polarizációjára vonatkozó megfigyeléseit, és ettől kezdve Brewster különös figyelemmel fordult a polarizációs jelenségek felé. Igyekezett megismételni minden mások által elvégzett és publikált kísérletet, de úgy, hogy javítson is rajtuk, lehetőleg növelje a leírt mérések pontosságát. Malus például azt hitte, hogy fémes visszaverődésnél nem lép fel polarizáció. Brewster kiderítette, hogy ott is fellép, de soha se lehet teljes, hasonlóan az áttetsző közegekben a megtört fény részleges polarizációjához. Először 1814-ben látogatott el a kontinensre. Bejárta Franciaországot és Svájcot, Párizsban megismerkedett és összeharatókozott az optikai kutatásairól legtöbbet publikáló Aragoval és Biot-val.

1815-ben a *Philosophical Transactions*, a londoni Royal Society hivatalos folyóirata hozta nyilvánosságra azt a levelet, amelyet David Brewster a londoni társulat idős elnökének, *Sir Joseph Banksnek* írt, és amelyben beszámolt „Az átlátszó testekről visszavert fény polarizációjának törvényéről” – a törvény felfedezéséről. A levél bevezetésében megdicsérte Malus-t a jelenség felfedezéséért és az általa kitalált mérésekért, amelyek végső tanulsága azonban így szólt Malus megfogalmazásában: „A polarizációs szög nincs közvetlen kapcsolatban sem a törésmutatóval, sem a diszperzióval. Ez a testeknek egy, a többitől független tulajdonsága.” A levél folytatásában megírta, hogy már 1811 nyarán elkezdte megismételni Malus kísérleteit, és egyre több esetben sikerült a megsejtett tangens-törvényt nagy pontossággal igazolnia. Ugyanakkor üvegre nem teljesült az elvárt összefüggés, ezért, mint sikertelen próbálkozást, abbahagyta ezt a kutatást. Egy év kihagyás után



David Brewster (1781–1868)

tért vissza rá, elővette újra ugyanazt az üveglemezt. Meglepetésére az üveg egyik oldalán teljesült a tangens-törvény! A másik oldalon azonban még mindig nem: mintegy 2° eltérést kapott. Ugyanakkor észrevette, hogy ez az oldal valamilyen kémiai változáson mehetett át, valamilyen vékony réteg rakódott rá, mert kevésbé verte vissza a fényt, mint a másik oldal. 1814-ben Párizsban Aragónak is beszámolt ezekről a méréseiről, és Arago bízta, hogy publikálja a felismert törvényt. Így született a levél és az ezt követő 35 (!) oldalas publikáció 1815-ben, éppen 200 évvel ezelőtt.

Hosszú élete során David Brewster még sok felfedezést tett, de egyik sem volt ennyire egyszerűen megfogalmazható, mint ez a tangens-törvény. A feszültségoptikai jelenségek közül például a szilárd halmazállapotú enyvről, de még a kristályos kvarclemezről is sikerült megmutatnia, hogy külső nyomás hatására kettősen törővé válhat. Hosszúkás üveglemeznél is, hajlítás hatására, jelentkezett a kettős törés. A hirtelen hűtött üvegek már eleve kettősen törő viselkedést mutattak. A magyarázatot – helyesen – az üvegben keletkezett feszültségekben kereste. Kristályoknál világosan elkülönítette egymástól az egy- és kéttengelyű kristályokat, optikai módszereket adott meghatározásukra, lefektetve ezzel a geológiai kristallográfia alapjait. Optikai kutatásai más területre is kiterjedtek: vizsgálta a gőzök abszorpciós színeképet vagy éppen a fluoreszkálás jelenségeit.

Fizikai kutatásai mellett mindenképpen említést érdemel David Brewster irodalmi tevékenysége. Több folyóiratot indított, ezekben számos önálló cikket és fordítást közölt ő maga is, de e folyóiratok legfontosabb erénye az volt, hogy a tudósok közösségét hozták létre. Neveltetésénél és személyiségénél fogva közösségben gondolkodó ember volt, igazán a tudósok közösségé-



David Brewster kaleidoszkópjai

ben érezte jól magát, viszont a mindennapi életben elég bizonytalanul tájékozódott. Sokat foglalkozott *Galilei* és még többet Newton munkásságával, személyiségével, titkon lelki rokonságot érezhetett vele. Lobbanékony természetű ember lévén meg tudta érteni Newton ingerlékenységét. Életéről lánya írt könyvet, amely Brewster halála után jelent meg.

Legismertebb találmánya, amelyből egy jó üzleti érzékű ember óriási vagyonra tehetett volna szert, a kaleidoszkóp.

A kaleidoszkóp

Legendák szerint már a régi egyiptomiak is használtak kőből csiszolt óriási siktükröket arra, hogy az előttük táncoló egyetlen táncos helyett ennek megsokszorozott képét lássák. Ennek misztikus jelentést tulajdonítottak, mivel a látott képek „mágikus” körben helyezkedtek el, izgalmasan mozgó „mandalát” képeztek. A két, egymás felé fordított, bizonyos szöget bezáró tükör alkotta képek bizonyára feltűntek az embereknek azóta is, de csak Brewsternek jutott eszébe, hogy ebből gyönyörködtető játékot lehetne készíteni. Ő maga írta meg, hogyan jutott a felfedezésre.

Biot kísérletét, amellyel a terpentinolaj optikai forgatóképességét fedezte fel, szerette volna megismételni. Kereste ennek különböző, más-más módokon történő bemutatási lehetőségeit. Többek között a polarizáló és az analizáló tükröt megfelelő szögben összeragasztotta, és az így előálló vályúba öntötte a folyadékot, majd közel hajolva a folyadék felszínéhez, figyelte a fény útját. Észrevette, hogy a tükrök ragasztási helyénél kitüremkedő ragasztódarabkák megsokszorozódva látszanak. Ez először bizonyára zavarta a megfigyelésben, de azután megpróbálta a tükrök szögét úgy beállítani, hogy szép szimmetrikus ábra keletkezzék. Nem lett volna Brewster, ha nem kísérletezett volna tovább az érdekes jelenséggel. Ennek során már nem folyadékot, hanem színes üvegcserepeket helyezett el a tükrök találkozási helyénél, és elgyönyörködött a látványban. Tapasztalatait, tanácsait az alábbiakban foglalta össze folyóiratának olvasói számára:

1. A tükrök szöge legyen a teljes szög páros vagy páratlan része.

2. A tárgy a tükrök végeinél helyezkedjen el.

3. A szemet minél közelebb kell vinni a tükrök találkozási helyéhez.

A két tükröt egy csőben helyezte el, és az eszközt – görögös műveltségű révén – kaleidoszkópnak nevezte el, mivel a kalos szó görögül gyönyörűt jelent. (Ebből származik a kalligráfia szavunk is, ami szépírást jelent.)

Ahhoz, hogy az üvegcserepeket tartó csövet külön forgatni lehessen, talán éppen Biot polarizációs készüléke adta az ötletet, erről már nem írt Brewster.

Találmányát maga mutatta meg mindenkinek, sőt, még az is eszébe jutott, hogy szabadalmaztatni kellene. Mire 1817 augusztusában megkapta rá a szabadalmat, már javában gyártották és árusították a kaleidoszkópokat nemcsak Skóciában, de egész Angliában és a kontinensen. Brewster erkölcsi győzelmet aratott, anyagi haszna azonban nem lett belőle. Még egy találmányával járt ugyanígy, a gyűjtőlencsés sztereonézóval. Ezt 1851-ben mutatták be Londonban egy nagy kiállításon a Crystal Palace-ban, és még Viktória királynő is megcsodálta. Ma már gyerekek játéka. Az 1970-es években Magyarországon az NDK-ban gyártott optikai készlet részeként lehetett kapni. Napjainkban pedig hatalmas a választék akár online is.

A kaleidoszkóp korabeli világsikerét a bűvös kocka huszadik századi sikeréhez lehet hasonlítani. Csakhogy amíg a bűvös kocka „Rubik's cube” néven terjedt el a világban, a kaleidoszkópról csak kevesen tudják feltalálójának nevét. Ezért is született ez a cikk a fény évében, két évszázaddal a kaleidoszkóp feltalálása után.

Irodalom

Czöglér Alajos: *A fizika története életrajzokban*. Kiadja a Kir. Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1882.

Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1978, 1986.

Kuncsner Gabriella: *Brewster élete és munkássága*. szakdolgozat, Budapest, 1988.

Világtörténet évszámokban 1789–1945. Összeállította Ormos Mária. Gondolat Kiadó, Budapest 1982.

<http://tudosnapta.kfki.hu/historia/> és számos más cikk, dokumentum az internetről.