

KIRŐL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

A Boyle-törvény vagy Boyle–Mariotte-törvény

A 17. században megfogalmazott gáztörvényeket már középiskolában tanuljuk. Ezeket a törvényeket még ma is használjuk a tudományban és a gyakorlatban. Ha a lélegzésünket meg akarjuk érteni, akkor is a Boyle-törvényhez nyúlunk. A desztillációkor is ennek tudatában vigyázunk, hogy ne zárjuk le a rendszert. A törvények tudománytörténeti jelentősége is óriási, hiszen az atom és a molekula fogalmának kialakulásában, az atom- és a molekulatömegek meghatározásában, a termodinamika megszületésében alapvető szerepük volt.

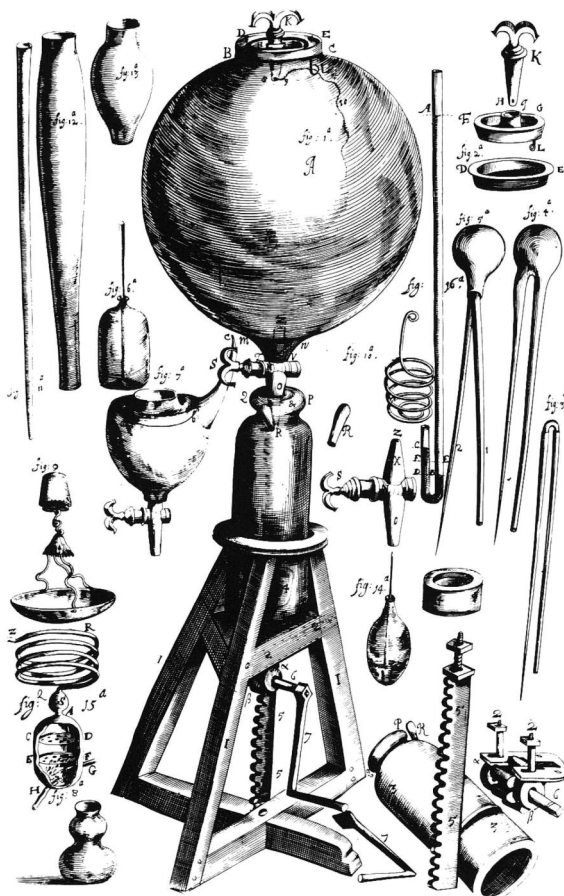
A Boyle-törvény nagyon egyszerű. Azt mondja ki, hogy az (ideális) gázok esetében a nyomás (P) és a térfogat (V) szorzata állandó:

$$P V = \text{állandó.}$$

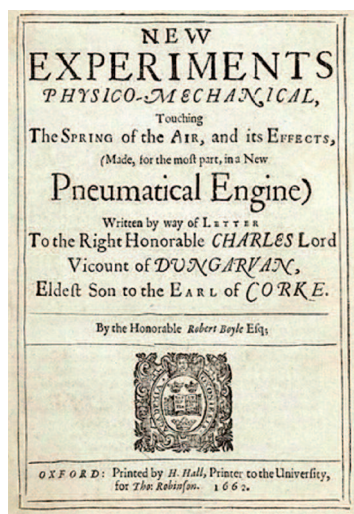
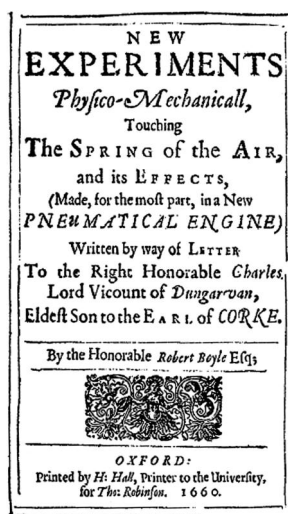
A kísérleteket Boyle először 1660-as könyvében publikálta, majd két év múlva megjelent a második kiadás (1. ábra) is, amelyben válaszolt a kritikusaiknak, és itt jelent meg a gáztörvény is. A kiegészítés címe: „Defence of the Authors Explication of the Experiments, Against the Objections of Franciscus Linus and Thomas Hobbes”. A kísérleti eredmények, amelyek alapján a Boyle-

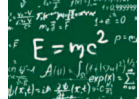
törvény megfogalmazásához jutottak, elolvasható magyar fordításban [1], ezért ezekre itt nem térünk ki. A Boyle és Robert Hooke (1635–1703) által tervezett levegőpumpa (pneumatic engine) (2. ábra) tette lehetővé ezeket és a további kísérleteket [2, 3]. Időnként a Royal Society épületében ki is állították, hogy minden ér-

2. ábra. A Robert Boyle és Robert Hooke által tervezett levegőpumpa (pneumatic engine) rajza. A teljes készülék közepén látható, az alkatrészeket annak két oldalán ábrázolták



1. ábra. Boyle 1660-as és 1662-es könyvének címlapja





deklódó megtekinthesse. A „Royal Society of London for Improving Natural Knowledge” társaságot 1660-ban alapították, a hivatalos királyi elismerést 1662-ben nyerték el. Csak azt vették fel, aki kiemelkedő eredményeket ért el a tudományos életben, bár később, mivel a tagdíjából fedezték a működésüket, a tudományban kevésbé jeles emberek is tagok lehettek. A társulat tagjai a *Philosophical Transactions* folyóiratban tették közzé dolgozataikat 1665-től.

Boyle és Hooke alapítótágok voltak. Hooke a „Kísérletek kurátora” tisztséget is megkapta. Rendkívüli sokoldalú tudós volt. Nevét viseli a 1660-ban felfedezett, a rugalmasságtanban alapvető fontosságú Hooke-törvény, amely egy rugó terhelése és megnyúlása közötti lineáris összefüggést írja le. Szerkesztett mikroszkópot, amellyel növényeket (tőle származik a cell = sejt kifejezés), rovarokat és más kis élőlényeket vizsgált, és írt le az 1665-ben kiadott *Micrographia* könyvében. Jelentős építészeti munkát is végzett.

Boyle-nak a két említett munka kiadása közötti évben megjelent nagy hatású könyve, a *The Sceptical Chymist* is, amelyet a modern kémia megalapozásának tartunk.

Francis Line, más néven Liège-i Linus (1595–1675), jezsuita szerzetes volt, aki szerette kritizálni kortársai munkáját, így nemcsak Boyle-t bírálta, hanem Isaac Newtont (1642–1727) is. Linus többek között szóvá tette, hogy a Torricelli-féle barométernél, amelyet Boyle használt, a légnyomás is hozzájárult a higanyoszlop emelkedéséhez, és nem vette figyelembe a funiculust a vákuumban, amely segített tartani az oszlopot. A funiculust mint tudománytalan hipotézist Boyle elutasította, és válaszában érvelésként megjelenik a nyomás és a térfogat közötti inverz összefüggés. Thomas Hobbes (1588–1679) a levegő mint éteri közeg képelt tulajdonságaival érvelt. Boyle a kísérleti tényekre hivatkozott, szembeállítva azokat a filozófiában használt képzelgésekkel.

A kísérletekhez a készülék tetején lévő 38 cm átmérőjű üveg edényben létesítették a részleges vákuumot. (Ennél nagyobb edényt a korabeli üvegfúvó mesterek nem tudtak készíteni.) Az üveg edény tetején volt egy négy inch átmérőjű lyuk, ennek 1 inch magas részéhez lehetett csatlakoztatni más edényeket. Egy odaerősített bronzdugó zárta a nyílást, amelyet alul egy rugó rögzített. Alul volt egy zárócsap is. A készülék másik része volt az üres cső a dugattyúval, amelyet egy fogasrúddal és fogaskerékkel lehetett mozgatni. A tömítéseket nem tudták tökéletesen megoldani, ezért csak aránylag rövid ideig tartó kísérleteket végeztek.

Boyle könyve angolul jelent meg, de gyakorlatilag egyidejűleg elkészült a latin fordítás is, mert akkor még a latin volt a közös nyelv (lingua franca) a tudományban, angolul kevesen tudtak, Boyle pedig azt szerette volna, ha mások is megismerik eredményeit és gondolatait.

Boyle 43 kísérletről számol be, amelyeket hét csoportba osztott. Az első csoport a levegő rugalmasságával foglalkozott, azaz milyen nyomást lehetett mérni, ha annak térfogatát csökkentették. A kísérletek jelentős részéhez Evangelista Torricelli (1608–1647) 1643-ban feltalált higanyos barométerét használta. A legegyszerűbb esetben az egyik végén leforrasztott üvegcsövet megtöltötték higanyval, majd a nyitott végét befogták az ujjukkal, és így merítették egy higanyos edénybe. Légköri nyomáson a higany egy része kifolyt a másik edénybe, de a higanyoszlop kb. 76 cm magasságban állt meg, felette vákuum alakult ki. Torricelli felismerte, hogy ez a nyitott részben lévő higanyra nehezedő légnyomás miatt van. Így írt: „Egy levegőóceán alján élünk, amelynek súlya van.” A vákuumról még hosszú ideig vita folyt. Sokan kezdték vizsgálni a jelenséget. 1648-ban Blaise Pascal (1623–1662) unokaöccsével egy hegytetőn mérte a légnyomást. Otto von Guericke (1602–1686) 1654-ben levegőpumpájával csökkenteni tudta a levegő mennyiségét egy edényben, majd három év múlva került sor a nevezetes kísérletére, amikor is két egymáshoz illeszkedő, fémből készült félgömbből olyan mértékben el tudta a levegőt távolítani, hogy a félgömböket nem tudták szét húzni még lovakkal sem, bizonyítva ezzel a levegő nyomását.

Boyle figyelmét is felkeltették ezek a kísérletek, de ő olyan készüléket akart szerkeszteni, amelyben vizsgálni lehet a légritkítás hatását. Ez vált lehetségessé a Hooke által tervezett levegőpumpával. Hooke-ot Boyle alig említette a könyvében, de később elismerte az érdemeit.

Boyle és Hooke vizsgálták égési jelenségeket, megvizsgálták, hogyan hat a kis nyomás a különböző fizikai és fiziológia jelenségekre, például a mágnesességre, a hang terjedésére, az inga mozgására, a füstre, illetve folyadékokból való gázfejlődésre. Egyes kísérletek leírása magyar fordításban megtalálható [4].

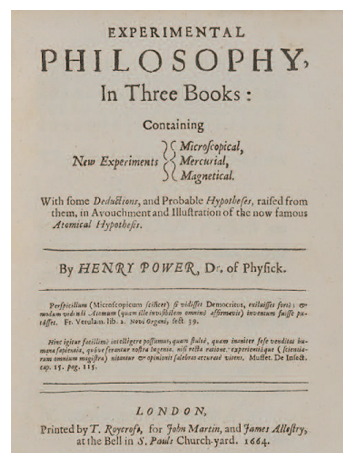
Érdekes még a prioritás kérdése is a törvény tekintetében. 1662-ben Boyle idézi Richard Towneley (1629–1707) 1661-es munkáját. A törvényről mint Mr. Towneley hipotéziséről írt. Richard Towneley matematikus, természettudós és csillagász volt, aki Towneley Hallban (3. ábra), Lancashire-ben lakott [5, 6].



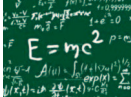
3. ábra. Towneley Hall napjainkban

Lentebb, a Power könyvéből vett idézetnél megtaláljuk nagybátyja, a régész és matematikus Christopher Towneley (1604–1674) nevét is. Ott végezték a kísérleteiket is. Valószínű, hogy Richard Towneley elküldte a mérési eredményeiket Boyle-nak, és meg is látogatta Londonban 1661-ben.

Igazából Henry Power (1623–1668), illetve Towneley közös munkájáról beszélhetünk. Power orvos (többek között a Towneley családé is) és fizikus volt. Munkája elismerésül ő lett a Royal Society első Fellow-ja 1663-ban. Könyve, az *Experimental Philosophy* (4. ábra) sok más téma (pl. mikroszkópia) között tar-



4. ábra. Power könyvének címlapja



talmazza a ritkított levegővel (vákuummal) végzett kísérleteit. Megismételte Torricelli-kísérletét a higanyt vízzel helyettesítve, hogy bemutassa, hogy a higanynak semmi köze a vákuum létrejöttéhez, és Pascal kísérletét, újra bizonyítva: a légnyomáskülönbség attól függ, hogy völgyben vagy a hegytetőn mérték-e. Éppen a különböző magasságokban mért eredményekből következtetett a nyomás és a sűrűség közötti összefüggésre. Ebben a könyvben, amely 1664-ban jelent meg, Power hivatkozik egy 1661-es kísérletére, amelynek adataiból valóban következik a Boyle-törvény. Ezért az utóbbi évtizedekben tudománytörténeti munkákban felmerült, hogy a Boyle-törvényt Power–Towneley-törvénynek kellene hívni. Nagyon sok törvényt, felfedezésnél felmerül, hogy olyan elődököt vagy kortársakat, akiknek neve később a homálybavész, említeni kellene. Itt is az a helyzet, de azért nem teljesen.

Power könyvében ezt találjuk: „VIII. Additional Experiments made at Townley-Hall, in the years 1660. and 1661. by the advice and assistance of that Heroick and Worthy Gentleman, RICHARD TOVVNLEY, Esqr. and those Ingenious Gentlemen Mr. JOHN, and Mr. CHARLES TOVVNLEY, and Mr. GEORGE KEMP. The last year, 1660. came out that excellent Tractate of Experiments of Esqr.Boyle's, with his Pneumatical Engin, or Ayr-pump, invented, and published by him; wherein he has, by virtue of that rare Contrivance, outdone all that ever possibly could be performed by our late Mercurial and Experimental Philosophers: And, indeed, to give a true and deserved Character of that worthy Production of his, I must needs say, I never read any Tractate in all my life, wherein all things are so curiously and critically handled, the Experiments so judiciously and accurately tried, and so candidly and intelligibly delivered. I no sooner read it, but it rubbed up all my old dormant Notions, and gave me a fresh view of all my former, and almost-forgotten, Mercurial Experiments. Nay, it had not that effect onely on me, but likewise it excited and stirr'd up the noble Soul of my ever honoured Friend, Mr. Townley, together with me, to attempt these following Experiments.” Tehát Power kijelenti, hogy nem ismerte előzőleg Boyle kísérleteit, de azokat kitűnőnek tartja, mint ahogy a kifejlesztett levegőpumpát is. Ezzel tulajdonképpen elismeri azt, ami tényleg így van, hogy Boyle-ék sokkal pontosabb méréseket végeztek. Bár Power és Towneley is figyelemre méltó munkát folytattak, azt, hogy a törvényt Boyle-ról nevezték el, nem kell igazságtalannak tartanunk. A Boyle–Mariotte név már kérdésesebb, ezzel foglalkozunk majd az alábbiakban.

Robert Boyle

Robert Boyle (Írország, Lismore, 1627. január 25. – London, 1691. december 30., **5. ábra**) Richard Boyle (Cork első lordja) hetedik fiaként látta meg a napvilágot [2, 7].

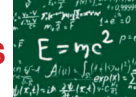
Igen gazdagok voltak. Eleinte magántanítók oktatták, majd az Eton College következett. Európai körútján eljutott Firenzébe is, ahol nagy hatást tett rá Galilei munkássága. Apja halála után jelentős vagyont örökölt, többek között uradalmakat a dorseti Stalbridge-ben és az írországi Limerick megyében. Ezek komoly jövedelmet biztosítottak, kivéve a polgárháborús időkben (lásd alább). 1644 és 1652 között Stalbridge-ben folytatta a kísérleteit. Előadásait Londonban, ahol szintén volt házuk, és Oxfordban tartotta. Barátaival rendszeresen megvitatták a tudomány újabb eredményeit. Ezt a kört Boyle „láthatatlan kollégiumnak” hívta, tulajdonképpen ebből nőtt ki a Royal Society. Bár több helyen azt találjuk, hogy Boyle a Royal Society elnöke is volt, ez nem telje-



5. ábra. Boyle 37 éves korában. A háttérben a levegőpumpa látható. François Diodati metszete William Fairthorne 1680-as metszete után (Edgar Fahs Smith Collection, University of Pennsylvania)

sen helytálló. Boyle az egyesület tanácsának tagja volt. 1680-ban megválasztották elnöknek, de ő ezt visszautasította, mert az esküt nem akarta letenni. Írországi birtokait is többször látogatta, 1652-ben oda is költözött, de az elmaradt írországi környezetet nem találta vonzóknak a tudomány művelése szempontjából. Ezért 1654-ben Oxfordba költözött. Itt születtek azok az eredményei, amelyekről most beszélünk. Formájában őrzik Galilei írásainak hatását, mert a *The Sceptical Chymist*ben kitalált szereplők vitatkoznak, a *New Experiments* pedig „unokaöccséhez írt levelek” formájában született. 1668-ban visszatért Londonba, ahol idősebb nővérével, Katherine Jonesszal (Lady Ranelagh) (1615–1691) élt egy házban, aki a kortársak szerint szintén foglalkozott a tudománnyal, főként filozófiával, és hatással volt a testvére, javították egymás kéziratait. 1676-ban ő bízta meg Robert Hooke-ot, hogy alakítsa át a házat, hogy legyen hely öccse laboratóriumának. Szalonjában gyűltek össze a láthatatlan kollégium és az intelligencia más tagjai. Több társaságnak is tagja volt, így a Hartlib Körnek, amely igyekezett összefogni a kor filozófusait; kapcsolatot tartottak például John Amos Comeniusszal (Jan Amos Komenský, 1592–1670) is. E körnek Samuel Hartlib vagy Hartlieb (kb. 1600–1662) polihisztor volt a központi figurája, aki a tudományos ismeretek terjesztésében játszott kiemelkedő szerepet. Boyle egészsége 1669-ben jelentősen romlani kezdett, egyre inkább visszavonult a tudományos közéletől. Rendkívül termékeny szerző volt. Eredményei közül az eddigieken kívül kiemeljük a hidrogén előállítását (1671), a sav-bázis koncepció és az indikátorok bevezetését, a vér természetrajzáról írt könyvét [8].

A 17. századi brit tudósokról beszélve szólnunk kell arról, hogy mi minden történt abban az időszakban hazájukban, mert úgy tűnhet, hogy egy békés korszakban éltek, hiszen elég jövedelmük volt arra, hogy kutatásnak szenteljék életüket, összejárjanak, megalapítsák az ország első tudományos társaságát, könyvek sorát jelentessék meg. Nem így volt, rettenetes idők jártak. Fentebb írtunk Boyle és Towneley találkozásáról. Ez sem volt magától értetődő. Boyle anglikán és ír származású, a normann időkben



már szerepet játszó Towneley család római katolikus, királyhű Stuart-párti volt. Mindketten megszenvedték a turbulens időket. Richard Towneley apja, a royalista gyalogság egyik vezetőjeként 1644-ben Marston Moornál esett el. Az első angol polgárháború idején Towneley Hallt megszállták a parlamentarista erők. Richard Towneley katolikusként hivatalosan nem vehetett részt a tudományos összejöveteleken sem. Birtokukat csak az 1660-as restauráció után kapták vissza, és csak akkor nyílt anyagi lehetősége arra, hogy tudománnyal foglalkozzon. A katolikusok csak II. Jakab 1685-ös királlyá választása után térhettek vissza a közéletbe. Ekkor Towneley-t békebíróvá is kinevezték. Az 1688-as „dicsőséges forradalom” után eljárás indult Richard Towneley ellen is, II. Jakab visszahozását célzó összeesküvéssel vádolták.

Nézzük meg, mi is történt Boyle életében a brit szigeteken.

I. Erzsébet (1558–1603) halálával kihalt a Tudor-dinasztia, és a király a skót Stuart-házból származó I. Jakab (Anglia), illetve VI. Jakab (Skócia) (1603–1625) lett. Angliából és Skóciából létrejön Nagy-Britannia. Az aránylag békés korszakban azonban kiújultak a vallási feszültségek az anglikánok, a katolikusok és a puritánok (szélsőséges tanokat valló protestánsok) között. A puritánok első csoportja a Mayflower hajón Amerikába ment. Jakab utóda fia, I. Károly (1625–1649) lett. Vele kezdődtek a bajok. Túlterjeszkedett a király jogain, a parlamentet foszlatta, túl sok adót szedtetett, erősödött a katolicizmus. Írországból is felkelés tört ki. 1642-ben kezdődött az első polgárháború, ami négy évig tartott. A király mellett álltak a katolikusok, a főnemesség és az északi és nyugati grófságok; Oliver Cromwellt (1599–1658), Cambridge puritán parlamenti képviselőjét követte a köznép, a puritánok, az ipari területek, a flotta és a kikötők, London, kelet és dél. A skótokkal együtt Cromwell jól kiképzett serege 1644-ben döntő győzelmet aratott. A királyt elfogták. Cromwellnek még 1648-ban le kellett győznie az ellene felkelő újabb koalíciót, amely kiegészült a skótokkal. 1649-ben kivégezték a királyt. Anglia államformája köztársaság lett. Igazából Cromwell mint az Államtanács elnöke (1649–1653) gyakorolta a hatalmat. Megvalósította Nagy-Britannia egységét: 1650-re legyőzte a fellázadt íreket, majd 1651-re az I. Károly fiát koronázó Skóciát.

A holland közvetítő kereskedelem ellen irányuló törvény kirobantotta az első angol–holland háborút (1652–1654), ami az angolok győzelmével végződött. 1653-ban Cromwell foszlatta a „csonka parlamentet”, és felvette a Lord Protector (fővédnök) címet. A protektorátus rendszere Cromwell haláláig működött (1653–1658). A népnek már nagyon elege volt a puritánok által megkövetelt aszkétikus életmódból. Az anarchia elkerülésére a királyság látszott jó megoldásnak. Elkövetkezett a restauráció időszaka, amely 1660-tól 1685-ig tartott. Stuart II. Károly lett a király, a parlament működött. A kezdeti, viszonylag nyugodt időszakban születtek azok a művek, amelyeket fentebb tárgyaltunk, illetve alakult meg a Royal Society. 1664 végén azonban kitért a nagy londoni pestisjárvány, amelynek két év alatt több százezer áldozata volt. Aki tudott, elmenekült. Boyle Oxfordban volt, Towneley a birtokán. 1666-ban pedig London nagy része tűzvész áldozatául esett.

A második angol–holland háború (1665–1667) kudarccal végződött. 1670-ben II. Károly és a francia király, XIV. Lajos megáldozást kötött, amelynek titkos záradéka volt Anglia újra katolikussá tétele. Megindult a harc az anglikánok és a katolikusok között. Törvényeket hoztak, például kizárták a katolikusokat a parlamentből. II. Károly utódjá, II. Jakab (1685–1688) az anglikán egyházon kívül maradt protestánsokat és a katolikusokat (a lakosság kb. 2%-a) érintő kedvező törvényeket hozott, hatályon

kívül helyezte a jogait korlátozó törvényeket. A Franciaországból induló protestáns menekültáradat Angliában és Hollandiában rémtörténeteket terjesztett a katolikusokról, így Jakab katolikusokat támogató intézkedéseit a többségi anglikán lakosság nem fogadta jól. A franciaországi protestánsüldözés miatt például a Boyle-lal és Hooke-kal is dolgozó Denis Papin (1647–1712), aki a biztosítószelvény, túlnyomásos fazekat feltalálta és 1680-ban a Royal Society tagja lett, nem térhetett vissza hazájába.

A katolikus restauráció veszélyét 1688 júniusában Jakab fiának születése tetőzte be, akit katolikusnak kereszteltek. A katolikus dinasztia létrejötté ellen a tíz évvel korábban alakult két, egymással egyébként szembenálló tábor, a whigek és a toryk egyaránt felléptek. A holland királyi rokon, Orániai Vilmos meghívása döntötte el a kérdést, aki nagy sereggel megérkezett, és átvette a hatalmat. Megszavazták a Bill of Rights törvényt, ami utat nyitott az alkotmányos monarchia irányába. A „dicsőséges forradalom” (glorious revolution) néven ismert események kijelölték a britek jövőjét, de ezt hőseink már nem érték meg.

Boyle így írt arról, hogy ezek a turbulens idők bizony kedvezőtlenül befolyásolták a tudományos kutatást, és a nyugodt elmélkedést: “I need not perhaps represent to the equitable Reader, how much these strange Confusions of this unhappy Nation, in the midst of which I have made and written these Experiments, are apt to disturb that calmness of Minde, and undistractedness of Thoughts, that are wont to be requisite to Happy Speculations.”

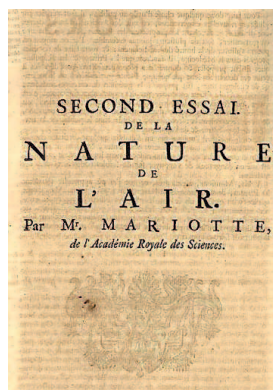
Edme Mariotte

Edme Mariotte (Dijon vagy Til-Châtel, Franciaország, kb. 1620 – Párizs, 1684, **6. ábra**) apja, Simon Mariotte Til-Châtel ügyintézője volt. Gyermekkoráról, miként későbbi életéről is keveset tudunk. Mariotte római katolikus pap, a Saint-Martin-sous-Beaune

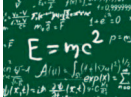


6. ábra. Csoportkép tudósokról. Henri Testeli 1666-ban készült festményének (Colbert bemutatja a Királyi Tudományos Akadémia tagjait XIV. Lajosnak) részlete. Musée National du Château, Versailles. Valószínűleg Edme Mariotte balról a harmadik. Előtte Cassini és Huygens

perjele volt. Egyik alapítótágja a francia Tudományos Akadémiának, amely 1666-ban Párizsban alakult meg. Sokat publikált különböző témákban, így foglalkozott hidrodinamikával, a színek



7. ábra. „Discours de la nature de l'air” (1676) új kiadás, 1717 [9]



mibenlétével, a testek ütközésével, a szem vakfoltjával, mérte az eső mennyiségét. Levezetett a kor vezető tudósaival, például Leibnizsel. 1670-ben Párizsba költözött [7].

Számunkra a *Discours de la nature de l'air* (Értekezés a levegő természetéről, 1676) című műve (7. ábra) érdekes, amelyben a Boyle-törvény újbóli megfogalmazását találjuk. Ő már nyomásról és térfogatról ír. A franciák azt állítják, hogy nem ismerte Boyle munkáját. Franciaországban a törvényt Mariotte-törvénynek hívják, de a Boyle–Mariotte-törvény név az elfogadott a világban.

IRODALOM

[1] <http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/vegy/boyle.html>; Két új kísérlet az összenyomott és a kitágított levegő rugóerejének mérését illetően. 1682, W. F. Magie: A Source Book in Physics, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.

[2] J. B. West, J. Appl. Physiol. (2005) 98, 31–39.

[3] Ch. Webster, Archive for the History of Exact Sciences, (1965) 2, 441–502.

[4] <http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/boyle.html>; A tiszteletre méltó Robert Boyle traktátusa új kísérletekről, mik a láng és a levegő összefüggését érintik. London, 1672., H. M. Leicester, H. S. Klickstein, A Source Book in Chemistry 1400–1900, McGraw Hill, New York, 1952.

[5] Ch. Webster, Richard Towneley and Boyle's Law. Nature, (1963) 197, 226–228.

[6] H. Power, Experimental Philosophy. Printed by T. Roycroft for John Martin and James Allestry, London, 1663, 126–130.

[7] Czöglér A., A fizika története életrajzokban. Kir. Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1882. <https://mek.oszk.hu/03500/03574/html/cz2.htm>

[8] R. Boyle, Memoirs for the natural history of the human blood, especially the spirit of that liquor. London, 1683–1684.

[9] E. Mariotte, Essais de Physique, ou mémoires pour servir à la science des choses naturelles. (Második esszé: De la nature de l'air.) Paris, France: E. Michallet, 1679.

Kutasi Csaba

Jelentős bővülés a kék pigmenteknél – forgalmazható az új YInMn Blue

Tizenhárom éve Mas Subramanian professzor irányításával folyt kutatás az Oregoni Állami Egyetemen, egy elektronikai anyag kifejlesztése volt a cél. A munka során a PhD-tanulmányokat folytató Andrew E. Smith hallgató véletlenül jutott el egy egyedi képességű szervesen kék pigmenthez. Az örölt ittrium, indium és mangán közel 1200 °C-ra hevítése során, a 115 éve feltalált mangánkék után született meg az újabb színezet, az YInMn-kék. A felfedezés és szabadalmaztatás után, 2021 januárjában adta ki a forgalmazási engedélyt az Amerikai Környezetvédelmi Hivatal (EPA).

A képzőművészetben az ég és a víz kékjét nem lehetett egyszerűen megjelentetni. Az emberiség az idők folyamán számos színezőanyagot kipróbált. A kék pigment elérésére előtérbe került a bányászat szerepe és az ásványok magas hőmérsékletű hevítése, valamint az alkalmas növények felhasználása egyaránt. A kék szín kedveltsége evolúciós fejlődésünkre is visszavezethető: például a vadászathoz elengedhetetlen a derűs égbolt, de a mindennapokban nélkülözhetetlen a tiszta víz. Ugyanakkor idővel kiderült, hogy sem a víz, sem az ég kékje nem tökéletes, ami főként a művészet területén okozott problémát. Ezért fáradhatatlanul folyt az igazi kék színezetet biztosító anyagok utáni kutatás, már a dísz tárgyak és akár a textíliák elvárás szerinti színezésére is.

Az egyiptomi kéktől a Nemzetközi Klein Kékig

Az ókori egyiptomiak kezdtek el először kék festéket előállítani, ehhez azuritot vagy malachitot (mindkettő réztartalmú karbonátásvány) használtak. Az első mesterséges pigment az ún. egyiptomi kék ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$) volt. I. e. 2200 körül az említett réztartalmú karbonátásványok valamelyikét keverték mészkővel, ill. homokkal, ezt 1470 és 1650 °C közötti hőmérsékletre hevítették, így nem átlátszó kék üveg jött létre. Ennek zúzásos porításával jött létre a kék pigment (1. ábra).



1. ábra. Egyiptomi kék

A későbbi ultramarin (a „valódi kék”) is ásványból készült örléssel, lazuritból (klór- és nátrium-kálium-tartalmú szilikátásvány) állították elő. Ezt az értékes féldragákövet (lapis lazuli) először egyetlen hegységben bányászták Afganisztánban, majd később Pakisztánban is. Az egyiptomiak eleinte ékszerekhez használták, pigmentként csak a középkorban, a reneszánsz idején kezdték alkalmazni. Európa legkeresettebb színe lett, azonban a lazurit szó szerint aranyárban volt. Egyes históriák szerint Michelangelo Krisztus sírból való kiemeléséről készült festményét azért nem tudta befejezni, mert nem volt pénze az ultramarinkékre. [Jóval később hozták létre a mesterséges ultramarinkéket, a természetes kéntartalmú nátrium-alumínium-szilikát-komplexet – $(\text{Na}, \text{Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4)_2\text{S}_2\text{Cl}_2$]

Az indigót eredetileg az Indiából származó cserje zúzott rost-



jaiból nyerték, már az ókorban is kék festék alapanyaga volt. A 17–18. században igen keresett színezőanyag lett, fonalak, kelmék és fényűző falikárpitok színezéséhez használták. A hazánkban is meghonosodó kékfestőmintázás az indigószínezéken alapult. Az indigót kockatömbökbe préselve szállították, a kékfestőműhelyben őrölték, és vizes fürdőben redukálva jött létre az ún. színezőcsáva. Minél hosszabb ideig hagyták a csávában a mintázott textilanyagot, annál sötétebb lett az alapszint adó kék (innen ered a „benn hagyja a csávában” mondás).

A porosz kéket – $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ – a 18. században, Poroszország fővárosában fejlesztették ki (állítólag Picasso is ezzel alkotott a kék korszakában). A legenda szerint Johann Jacob Diesbach festékkészítő 1703-ban egy újabb vörös pigment létrehozásán dolgozott: hamuzsír (K_2CO_3) elegyített állati vérrel, és az anyagok egymással reagálva – egy nem várt – kék színt hoztak létre. Ezt porroszkek elnevezés mellett berlini, illetve párizsi kékként is említik.

A kobaltkékről (CoAl_2O_4) 1777-ben írtak először, végül 1802-ben vált ismertté. Az ultramarin olcsóbb, mesterséges változatát 1826-ban Jean Baptiste Guimet francia iparos, 1828-ban pedig Christian Gmelin német kémikus fedezte fel. A ftalocianinkéket 1927-ben kezdték alkalmazni.

Yves Klein (francia festőművész) 1960-ban egy általa feltalált kék színt szabadalmaztatott, amit festékkervekről kísérletezett ki, az elegyben ultramarin is volt. Így jött létre a Nemzetközi Klein Kék (International Klein Blue, IKB).

Az YInMn-kék felfedezése

Ennek az új színes vegyületnek a feltalálása kísértetiesen hasonlít az első szintetikus színezék felfedezéséhez. Amikor August Wilhelm Hofmann – az Egyesült Királyságban – 1845-ben alapított Royal College of Chemistry igazgatója lett, a 18 éves William Henry Perkin is bekapcsolódott abba a kutatásba, amely a kininnek – mint fontos gyógyszernek – a szintetizálásával foglalkozott. A fiatal vegyész ennek során próbálta meg a kinint anilinnél létrehozni, azonban amikor az anilint kénsavval és káliumbikromáttal kezelte, nyomait sem látta a kívánt vegyületnek. A kísérlet során kialakult fekete csapadékból idővel bíborszínű oldat keletkezett vöröses kristályok kiválásával. Az eltűnődő Perkin selyem zsebkendőjét bemártotta a létrejött színes fürdőbe, az mályvaszínű lett, és még a szappanos mosást is bírta. Így lett a mauvein az első mesterséges textilszínezék.

Az Oregoni Állami Egyetemen 2009-ben Mas Subramanian professzor irányításával a PhD-tanulmányokat folytató Andrew E. Smith hallgató véletlenül fedezte fel az egyedi képességű szer-

vetlen kék pigmentet [YInMn Blue (Y → ittrium; In → indium; Mn → mangán) elemek vegyjeleiből képezve]. A mangánkék (mesterséges bárium-manganát-szulfát – $\text{BaSO}_4 \cdot \text{BaMnO}_4$) 1907 évi feltalálása (és 1935-ben szabadalmaztatása) után több mint száz évet kellett várni a szinte tökéletesen kék, élénk szívetlen pigmentre (2. ábra). Ennek különlegessége az, hogy a rá eső, láthatatlan közeli-infravörös sugárzást a látható tartományban veri vissza. A vegyület egyedi szerkezetéből arra lehet következtetni, hogy a zöld, lila és narancssárga pigmentek hasonló strukturális módosításával ezek a színezetek is tisztábbá tehetőek, élénkíthetőek.

A véletlen felfedezés előzménye, hogy 2008-ban Subramanian a Nemzeti Tudományos Alaptól az elektronikai alkalmazások új anyagainak feltárására irányuló támogatásban részesült. A projekt keretében különösen a mangán-oxidokon alapuló multiferromágneses anyag szintetizálása került a kutatás középpontjába. Andrew E. Smith hallgató kapta a feladatot, hogy próbálkozzon az előállítással. Az YInO-ot (ferroelektromos anyag) és YMnO-ot (antiferromágneses anyag) tartalmazó elegyet kb. 1100 °C fölé hevítette. Az általa szintetizált vegyület váratlanul élénk kék színezetű lett. Subramanian a DuPont-nál szerzett tapasztalatára alapozva felismerte, hogy ez a vegyület kék pigmentként felhasználható (együtt benyújtották a szabadalmi leírást). Felfedezésük publikációja alapján a Shepherd Color Company felvette a kapcsolatot Subramaniannal a sikeres kereskedelem érdekében. Ezt követően 2010-ben Smith sikeresen megvédte doktori disszertációját, a Shepherd Color Company pedig megbízta a továbbfejlesztéssel és a YInMn Blue kereskedelmi forgalomba hozatalának engedélyeztetésével (3. ábra).



Mas Subramanian

Andrew E. Smith

3. ábra. Nevükhöz fűződik az YInMn Blue felfedezése

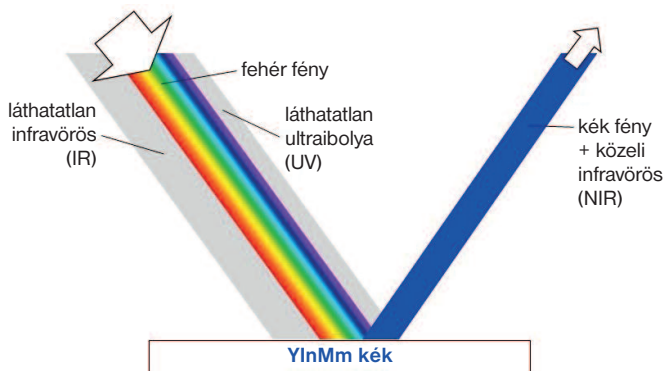
Az YInMn Blue kémiaiilag stabil színezőanyag. Az alternatív kék pigmenteknél – élénk színét – megtartva biztonságosabb, mint például a kobaltkék (amely valószínűsíthetően rákkeltő és toxikus). A láthatatlan tartományban levő infravörös sugárzásból a közeli tartományt (NIR) fokozottan visszatükrözi, így a pigment energiatakarékos, illetve „hűvös” épületbevonatok készítésére is alkalmas lett. 2016-ban az ausztrál Derivan cég ugyanakkor eredményes kísérleteket folytatott az YInMn felhasználásával készülő művészeti festékek (Matisse acrylics) létrehozására. A kaliforniai központú félvezetőgyártó vállalat – az Advanced Micro Devices, Inc. – 2016-tól alkalmazta az új kék pigmentet az energiahatékonyság érdekében (közeli infravörös reflexió), a vezérlőkártyák központi egységében „grafikai processzorként” kezdte alkalmazni (4. ábra).

2. ábra. Az YInMn-kék por alakban





KITEKINTÉS



4. ábra. Az YInMn-ből létrejövő szín, vázlatosan

Az YInMn-kékhez szükséges anyagok, tulajdonságok

Az ittrium fémesszürke átmenetifém, az ún. ritkaföldfémek közé tartozik (általában mindig más ritkaföldfémekkel együtt fordul elő ásványokban). Ezt az elemet 1787-ben fedezte fel Carl Axel Arrhenius a svédországi Ytterby faluban (ezért nevezték el ittriumnak, Y lett a vegyjele).

Az indium szürke színű lágú fém, késsel vágható, hajlításakor hallható az ún. ónzörej (ezt a fémkristályok elmozdulása, egymáshoz való súrlódása okozza). 1863-ban fedezte fel Ferdinand Reich színképelemzéssel, kék lángfestését észlelve az indigóról nevezték el.

A mangán az átmenetifémek közé tartozik, a természetben főként a barnakőben [poroluzit, mangán-dioxid (MnO_2)] fordul elő, a termelt mangán 90%-át az acélgártásnál alkalmazzák.

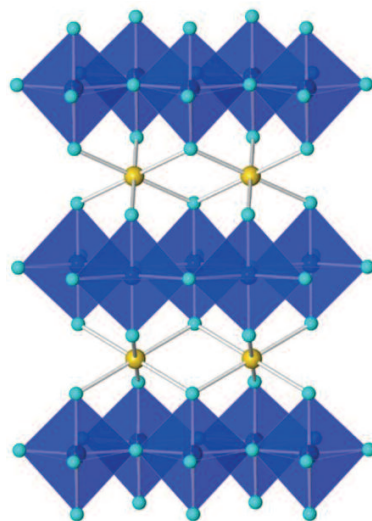
Az elemet először 1770-ben Ignatius Gottfried Kaim nyerte ki, de ez az módszer nem vált ismertté. Pár év múlva, 1774-ben, Carl Wilhelm Scheele felvetésére Svédországban Johan Gottlieb Gahn

5. ábra. Az YInMn-kék előállításához szükséges elemek



újra előállította a mangánt: a piroluzitot aktív szénnel hevítve redukálva (5. ábra).

Az YInMn-kék tehát a nagyon drága ittriumból (Y), a rendkívül ritka félfém indiumból (In) és a mangánból (Mn) képzett vegyes oxid (6. ábra). A nagyon magas hőmérsékleten végrehajtott reakciók jól meghatározott ciklusában nyerhető az élénk kék pigment. A közeli infravörös tartományban bekövetkező fényvisszaverése következtében az YInMn-kék pigmenttel – amely kiváló, fénnel szembeni színtartósságot garantál, hőálló és átlátszatlan – kevert színezetek új színtartományokat képviselnek.



6. ábra. Az YInMn-kék hexagonális kristályszerkezete

cellaméretetek $a = 6,24 \text{ \AA}$; $c = 12,05 \text{ \AA}$

Számos színes pigmenttel ellentétben, toxicitása szinte elhanyagolható. A pigment elnevezését a nehezen kiejthető vegyjeles formula helyett a kék és a szép angol kifejezésekből „bluetiful”-ra módosították.

Ebből a pigmentből elsősorban különböző felhasználási célú festékeket lehet gyártani, az építőipari felhasználástól – a műanyagszínezésen át – a képzőművészeti igényekig.

Az YInMn-kék textilipari alkalmazása?

A különböző színezékekkel (amelyek az adott szálanyagot tartósan színezik) laza szálhalmazt, fonalat és készterméket egyaránt lehet színezni. Így tarkánszőtt szöveteket, színes fonalakal mintázott kötöttanyagokat, illetve egyszínűre színezett kelméket lehet előállítani.

Az egységes szerkezetű kelmék tarkázása, sokszínű mintázat kialakítása a színnyomással (ma már digitális textilnyomtatással is) érhető el, ami helyi színezésként (vagy színes alapok helyenkénti színezék-elroncsolásaként) szintén jól ismert kémiai mintázóeljárás (a színezés mint kémiai művelet és a mintázás folyamata egybeesik) (7. ábra).

Az alkalmas textilszínezékek közös jellemzője a részleges színnyelésre alkalmas vegyületrész (amely a rá eső fehér összetevői közül visszavert színes sugárral/sugarakkal biztosítja a színérzetet), továbbá adott esetben a vízdoldhatóságot biztosító csoport jelenléte, valamint a színezék-szál kapcsolat (kémiai kötással vagy másodrendű kötőerőkkel) kialakításhoz szükséges szerkezet rész előfordulása. A textilszínezékek közös elve, hogy külön rögzítőanyagra nincs szükség a színezék szálban való tartós előfordulása érdekében.

A pigmentek (amelyeket alapvetően a textilnyomásnál használnak) nem ilyen jellegű színezékek, csak külön átlátszó mű-



a színezés – mint kémiai művelet – és a mintázás egymástól független



mechanikai mintázás színes fonalakkal
előre színezett sokszínű, mintás textilfelület előállítás

a színezés – mint kémiai művelet – egybeesik a mintázással



kémiai mintázás – helyi színezés
egységes szerkezetű kelmén, kelmefelületen helyenkénti színezés

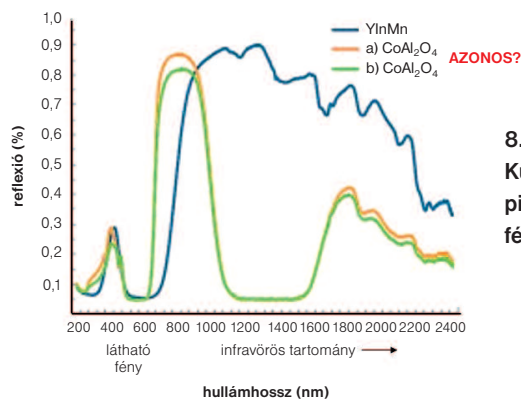
7. ábra. Példák különböző textilmintázási eljárásokra

anyagfilmmel fixálhatók a textílián (ezért nyomófestékeknek is nevezik őket).

Az YInMn-kék textilszínezékként való esetleges megjelenése még külön vizsgálatok, kutatások tárgya. A nyomóipari felhasználás egyszerűbb lehetőséget kínál, azonban az egyedi kék pigment magas ára az elterjedést még korlátozza.

Egyes szencióhajhász dizájnipari publikálók – tévesen – már előrevetítik a YInMn-kékkel színezett/nyomott anyagokból készült ruházatok hűsítőkéességét. Ez az elképzelés azért hibás, mert az emberi test hőleadása (pl. közel 23 °C-os külső hőmérséklet esetén) 60%-ban infravörös sugárzással (kb. 60 W/m²-es mértékben) valósul meg. Így a speciális kék pigment gátolja a hőleadást – így annak ellenére, hogy a kívülről érkező melegítő sugarak részben visszaverődnek –, nem fog hűsíteni, talán inkább melegít. Persze téli testközeli ruházatoknál előnyös lehet (8. ábra).

Alkalmazása valószínűbb a tereptarka („camouflage”, mimikri) álcázóruházat (katonaság, rendvédelmi szervek stb.) alapanyagoknál. Ezeknél általános elvárás a látható tartományban (380–750 nm) optimális tereptarka hatás, az éjszakai álcázáshoz pedig az emberi test hőleadásából származó közeli infravörös [(NIR) (750–1200 nm)] sugárzás megfelelő elnyelése. Általában országoként változóak az álcázó színezetek és mintázatok. A számos álcázó ruházati változatnál (erdei és sivatagi, ill. városi stb.) több színvariáció terjedt el [zöld (levél), barna (fakéreg), drapp (talaj), fekete (egyéb, pl. madár stb.), szürke (városi kör-



8. ábra.
Különböző kék pigmentek fényvisszaverése

nyezet)] színezetek jellemzők. Így közvetlenül a YInMn-kék keverékben való alkalmazása minimális lehetőséget ad, azonban az új pigment egyedi szerkezetéből arra lehet következtetni, hogy



hagyományos textilnyomással kialakított mintázatok



digitális képfeldolgozáson alapuló mintázatok

9. ábra. Példák infra-remissziós álcázóruházati alapanyagokra

például a zöld, narancssárga pigmentek hasonló strukturális módosításával is elérhető a megnövekedett infra-remisszió (9. ábra).



IRODALOM

- [1] https://szubkult.blog.hu/2018/02/18/a_kek_festek_6000_eves_tortenete
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/YInMn_Blue
- [3] <https://chemistry.oregonstate.edu/content/story-yinmn-blue>
- [4] <https://news.artnet.com/art-world/yinmn-blue-comes-market-1921665>
- [5] Kutasi Csaba: Optimális infraremissziót biztosító tereptarka álcázó ruházat alapanyaga. Magyar Textiltechnika, (2015) 1.

Tanárhiány

Több mint 2100 álláshirdetést dobott ki a közsféra állásportálja, a kozigallas.gov.hu a „tanár” keresőszóra a 2021/2022-es tanév utolsó előtti napján. Úgy tűnik, tanítóból is komoly hiány van az iskolákban, országszerte majdnem ezer – egészen pontosan 967 – betöltetlen állást hirdetnek az oldalon, de 853 hirdetés található az „óvodapedagógus” és 420 a „gyógyepedagógus” szóra rákeresve is.

A hirdetések egy részében természettudományos tárgyak oktatásához keresnek tanárt az iskolák, például biológia és kémia szakosokat, de informatika- és matematikatanárt is sok helyre vennének fel. Olyan iskolák is vannak, ahol már most intézményvezetőt vagy vezetőhelyettest keresnek, de az oldalon gyógyepe-

dagógusi, gyógytestnevelői, zenetanári, angoltanári állásokat is szép számmal lehet találni.

A szakemberhiány hátterében többek között a bérek állnak. Mennyit keresnek a tanárok? Kezdő bérük az alapképzés elvégzése és a minősítés után sem közelíti meg bármilyen más friss diplomását. Egy pályakezdő, „gyakornok” pedagógus bére bruttó 312 000 forint pótlékkal együtt (ez nettó 207 ezer forint körüli fizetést jelent), tehát egy albértre is csak szűkösen elég.

Szintén komoly probléma a területen a túlterheltség – a szakszervezetek erről is fogalmaztak meg követeléseket –, a magyar tanárok uniós összehasonlításban is sokat dolgoznak. (eduline.hu)