

Inzelt György

A tudásvágy útjai

Inzelt György

A tudásvágy útjai

*A fizikai kémia nagyjainak
élete és munkássága*



TYPOTEX

A könyv a Magyar Tudományos Akadémia
és a Vegyész Oktatásért Alapítvány támogatásával készült.



© Inzelt György, Typotex, Budapest, 2026
Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

A borítón Joseph Louis Gay-Lussac és Jean-Baptiste Biot
1804-es léggömbutazása látható.
Romanet & cie. imp. edit., Paris, 1890–1900
Library of Congress, Prints & Photographs Division, Tissandier Collection

ISBN 978 963 493 363 2

Kedves Olvasó!
Köszönjük, hogy kínálatunkból választott olvasnivalót!
Újabb kiadványainkról és akcióinkról a www.typotex.hu
és a facebook.com/typotexkiado oldalakon értesülhet.

Typotex Kiadó
Alapította Votisky Zsuzsa, 1989
A kiadó az 1795-ben alapított
Magyar Könyvkiadók és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.
Felelős kiadó: Németh Kinga
Felelős szerkesztő: Brunner Ákos
Szerkesztette: Böröczki Tamás
Tördelés: Madarász György
Borítóterv: Szalay Éva
Készült a Multiszolg Bt. nyomdájában
Felelős vezető: Kajtor Bálint

Tartalom

Bevezetés	7
A gáztörvények vidéke	10
A Boyle-törvény vagy Boyle–Mariotte-törvény	10
A Gay-Lussac-törvény, a Charles-törvény és az Amontons-törvény	22
Az Avogadro-állandó	30
A van der Waals-egyenlet, van der Waals-erők, Eötvös-törvény	42
A termodinamika hőskora	49
A Clapeyron–Clausius-egyenlet	49
Mértékegység, amely egy folyó nevét viseli: a kelvin	62
A Gibbs-energia, Gibbs aktiválási energia, Gibbs fázistörvénye, a Gibbs-féle adszorpció egyenlet, a Gibbs–Duhem-egyenlet, a Gibbs–Lippmann-egyenlet, a Gibbs–Helmholtz-egyenlet	78
Van 't Hoff törvényei	93
A Raoult-törvény	104
Henry és Dalton törvényei	114
Az elektromosság, elektrokémia, transzportfolyamatok, kinetika, fényelnyelés, adszorpció	129
Az Ohm-törvény	129
Faraday törvényei	134

A Kirchhoff-törvények, Kirchhoff sugárzási törvénye, Bunsen–Kirchhoff-spektroszkóp	155
A Fick-törvények	163
Kohlrausch törvényei	167
Az Arrhenius-egyenlet	171
Donnan-egyensúly, Donnan-potenciál, Donnan-féle megoszlási hányados	179
Olivia Newton-John nagypapája és a hidratáció elmélete: Born hidratációs törvénye, a Born–Haber-ciklus	184
A Debye nevéhez fűződő elméletek, egyenletek, mennyiségek	197
A Nernst-egyenlet	209
A Tafel-egyenlet	231
Az Erdey-Grúz–Volmer-egyenlet	238
A Polányi-szabály	247
A Bouguer–Lambert–Beer-törvény	270
A Brunauer–Emmett–Teller-egyenlet	281
 Zárógondolatok	 289
 Fontosabb felhasznált és ajánlott irodalom	 290
 Névmutató	 315

Bevezetés

Kémiai és fizikai tanulmányaink során nagyon sok törvényt, egyenletet, eszközt úgy tanulunk, hogy azokat egy vagy több személy nevéhez kötjük. Hosszú évekre visszanyúló oktatói tapasztalatom az, hogy azokról a kutatókról, akiknek a nevével így ismerkedünk meg, nagyon keveset vagy éppen semmit sem tud a hallgatóság, sőt a tanároknak sincs mélyebb ismeretük a tevékenységükről, életükről. Kivételt csupán néhány kiemelkedő tudós, például Michael Faraday jelent, akinek rövid életrajzáról általában már a középiskolában is szó esik. De mit tudnánk hirtelen mondani Bouguer-ről, Born-ról, Brunauerről, Duhemről, Fickről, Lippmannról, Ohmról vagy Volmerről?

Sokan szerepelnek ebben a könyvben, de terjedelmi okokból számosan vannak kimaradók is, vagy olyanok, akik csak másról elnevezett fejezetben kerülnek említésre. Időnként letérünk a kémia ösvényéről, mert sok hősünk jelentőset alkotott más tudományágak vagy a technika fejlesztése területén is. Az életutak tanulságosak. Erőt adhatnak az ifjú, de akár az idősebb olvasónak is, hiszen sokuk nagy nehézségek legyőzése után lett olyan tudós, akinek neve azután évszázadokra fennmaradt. Írok a családi háttéréről, és bár a tudósok képességei, zsenialitása az alapvető tényező, a külső, társadalmi hatások (család, iskola, élethelyzetek) is fontos szerephez jutnak. Ezért írok arról a korról is, amelyben a tudós alkotott. Érzékeltetem azt is, hogy a kutatók megküzdöttek háborúk, polgárháborúk, járványok, a koruk ideológiai és vallási nézeteinek gátló befolyásával. Érdeemes azon is elgondolkozni, hogy királyok, az országokat vezető tisztségviselők értékelték nagyra a tudósok munkáját, kérték ki a tanácsukat. Ők és államaik gazdag polgárai anyagilag is támogatták a tudósokat, a tudományos intézményeket, mert tisztában voltak azzal, hogy a kutatási eredmények teszik sikeressé országukat. Ezt láthatjuk például Nagy-Britanniában, Franciaországban, Németországban.

Azt is megtudhatjuk a könyvből, hogy nem minden törvény vagy egyenlet viseli az eredeti felfedező nevét, például ilyen a Boyle–Mariotte-törvény, a Lambert–Beer-törvény, a Butler–Volmer-egyenlet, és még sorolhatnánk. Sajnálatos, de ez leginkább azzal függ össze, hogy az adott korban melyik nemzet a tudományos nagyhatalom, ahol és akik nyelvén a könyvek és folyóiratok megjelennek. Ezért változnak is az elnevezések. Kibővülnek újabb szerzőkkel, és mivel három név már sok, egy-egy kezd elmaradni. E sorozat írásai rendszerint az adott törvény, szabály, egyenlet stb. ismertetésével kezdődnek, majd a névadók életével foglalkoznak. A matematikai egyenleteket igyekeztem a legegyszerűbb alakban felírni. Sok fontos összefüggés mindössze 3-5 betű, például $I = U/R$ vagy $PV = nRT$. Ezek és magyarázatuk megértése nem igényel komolyabb erőfeszítést. Ahol bonyolultabb az összefüggés, ott is általában kerültem a differenciál- vagy integrálegyenleteket. Ezek a részek azonban hasznosak lehetnek vegyész kollégáknak a régen tanultak felelevenítéséhez, tanároknak, tanár szakos hallgatóknak, egyetemistáknak és középiskolásoknak, illetve általában a természettudományok iránt érdeklődőknek. A könyvben foglaltak segítenek megérteni azt, hogy az elmúlt 500 évben a tudományos-technikai forradalom hogyan változtatta meg a világunkat, és tette Európa számos államát a világ vezető hatalmává. A mai ifjúságnak a számítógép, a mobiltelefon, az űrhajózás, a GPS-navigáció már hétköznapi dolognak számít. Ezek szüleik, nagyszüleik életében még nem léteztek, vagy éppen egyszerű formájukban számítottak újdonságnak. A változást egyre gyorsabbnak érezzük, és ez így is van. I. (Szent) István (975 körül – 1038. augusztus 15.) nem sok meglepetést látott volna I. (Hunyadi) Mátyás (1443. február 23. – 1490. április 6.) udvarában. Mátyás király viszont nehezen ismerné ki magát a mai Magyarországon.

Ebben a könyvben a kezdettel és a fejlődéssel nagyjából az elmúlt évezred közepéig-végéig foglalkozom egy olyan tudományterületen, amelyik nagyban hozzájárult életünk megváltozásához. Kémia nélkül nem lennének például gyógyszereink, hatékony tisztítószerünk, polimerjeink stb., a fizikai kémia területéről pedig – csak az elektrokémiát kiemelve – nem lennének elektrokémiai áramforrásaink, amik a hordozható eszközeinket (beleértve a szívritmus-szabályozót is)

az elektromos gépjárműveinket működtetik, de az úrhajózásban is alapvető a szerepük. Elektrolízissel állítjuk elő a fémek jelentős részét, a fertőtlenítőszerhez és a poli(vinil-klorid)hoz a klórt, a mosószerekhez a nátrium-hidroxidot és még nagyon sok vegyületet. Nem felejtethetjük el azt sem, hogy a fizikai kémia szolgáltatja az elméleti alapokat ahhoz, hogy megértsük a természeti folyamatok végbemenetelének okát, irányát és sebességét meghatározó tényezőket is, valamint a fizikokémikusok fejlesztették ki azokat az eszközöket, amelyekkel már nemcsak a Földön, hanem naprendszerünkben, sőt azon kívül is jelen lévő anyagok milyenségét és mennyiségét, valamint a hőmérsékletét és a nyomását meg tudjuk határozni.

A múltat vizsgálva bizvást meg lehet jósolni azt is, hogy a tudomány katedrálisa tovább fog épülni. Ennek építőmesterei és munkásai most kezdik tanulmányaikat, vagy még meg sem születtek.

A szerző kémikus, fizikai kémiával, ezen belül elektrokémiával foglalkozik. Talán jobb, ha nem én dicsérem a szakmámat, hanem segítségül hívom Füst Milán *A feleségem története* című regényének hőst: „A vegytannál ugyanis nincs érdekesebb. Mert hogy milyen költői öröm e tudományban rájónni valamire, el se hiszi, aki nem próbálta.”

Köszönetemet fejezem ki mindazoknak, akik segítettek e könyv kiadásának létrejöttét. Elsősorban köszönöm Hargittai István és Hudecz Ferenc akadémikusoknak, akik könyvem kéziratát elsőként olvasták, és az ő értő véleményük, támogatásuk megalapozta a Magyar Tudományos Akadémia könyvpályázatának elnyerését. Hasonlóképp köszönöm Szalai István professzornak, a Vegyész Oktatásért Alapítvány igazgatójának és kuratóriumának támogatását.

Köszönet illeti a Typotex Kiadót is, amiért felvállalta munkám kiadását, illetve a pályázatok adminisztrációját.

Végezetül köszönöm a Magyar Tudományos Akadémia és a Vegyész Oktatásért Alapítvány (ELTE Kémiai Intézete) anyagi támogatását.

A gáztörvények vidéke

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 folyamodunk. A desztillációkor is ennek tudatában vigyázunk, hogy ne zárjuk le a rendszert. A tudománytörténeti jelentőségük 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 vagy Boyle–Mariotte-törvény

Nagyon egyszerű törvény. Azt mondja ki, hogy a tökéletes gázok esetében, állandó hőmérsékleten (T) a nyomás (P) és a térfogat (V) szorzata állandó:

$$P V = \text{állandó}.$$

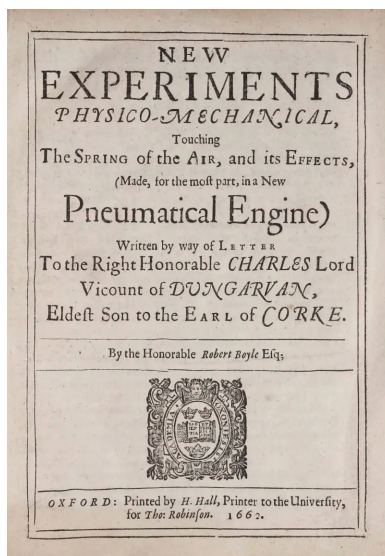
A kísérleteket Boyle először 1660-as könyvében publikálta, majd két év múlva megjelent a második kiadás (1. ábra) is, amelyben a kritikáinak válaszolt, és itt jelenik meg a gáztörvény is. A kiegészítés címe: *Defence of the Authors Explication of the Experiments, Against the Obiections of Franciscus Linus and Thomas Hobbes* (A szerző védelme Franciscus Linus és Thomas Hobbes kifogásai ellen a kísérletek részletes magyarázatával). 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*) tette lehetővé ezeket és a további kísérleteket [2, 3]. Időnként a Royal Society épületében ki is állították, hogy minden érdeklődő megtekinthesse. A Royal Society of London for Improving Natural Knowledge társaságot 1660-ban alapították,

a hivatalos királyi elismerést 1662-ben nyerte el. Csak azt vették fel, aki kiemelkedő eredményeket ért el a tudományos életben, bár később, mivel a társaság tagdíjából fedezte a működését, a tudományban kevésbé jeles emberek is tagok lehettek. A társulat tagjai dolgozataikat 1665 óta a *Philosophical Transactions* folyóiratban tették közzé.

Boyle és Hooke alapító tagok voltak a társaságban. Hooke „a kísérletek kurátora” tisztséget is viselte. Rendkívüli, sokoldalú tudós volt. Nevét viseli az 1660-ban felfedezett, a rugalmasságtanban alapvető fontosságú **Hooke-törvény** (1660), 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* című könyvében. Jelentős építészeti munkát is végzett. Boyle-nak a *New Experiments* két kiadása közötti évben megjelent nagy hatású könyve, a *The Sceptical Chymist* (A kételkedő kémikus) is, amelyet a modern kémia megalapozásának tartunk.

Francis Line vagy más néven Liège-i Linus (1595–1675) jezsuita szerzetes volt, aki szerette kritizálni a 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



1. ábra. Boyle 1662-es könyvének címlapja

(1588–1679) a levegő mint éteri közeg képzelt tulajdonságaival érvelt. Boyle a kísérleti tényekre hivatkozott, szembeállítva azokat a filozófiában használt képzelgésekkel.

A könyv angolul jelent meg, de gyakorlatilag egyidejűleg elkészült a latin fordítás is, mert akkor még a latin volt a közös nyelv 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 higannyal, 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 megállt, felette vákuum alakult ki. Torricelli felismerte, hogy ez a nyitott részben lévő higanyra nehezedő légnyomás miatt van. A felismerését frappánsan így foglalta össze: „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 még lovakkal sem tudták széthúzni, 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-t Boyle alig említette a könyvében, de később elismerte az érdemeit.

Boyle és Hooke vizsgáltak égési jelenségeket, a kis nyomás hatását különböző fizikai és fiziológiai jelenségekre, például a mágnesességre, a hang terjedésére, az inga mozgására, a füstre, illetve folyadékokból való gázfejlődésre. Egyes kísérletek leírása magyar fordításban is olvasható [4].

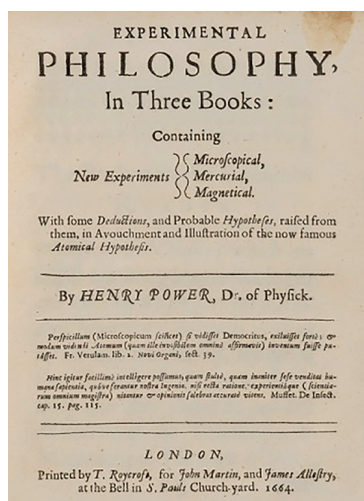


2. ábra. A Towneley Hall napjainkban

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, természetfilozófus és csillagász volt, aki Towneley Hallban (2. ábra), Lancashire-ben lakott [5, 6].

A lentebb olvasható, Power könyvéből vett idézetben szerepel a nagybátyja, a régész és matematikus Christopher Towneley (1604–1674) neve is. Towneley Hallban 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 tagja 1663-ban. Könyve, az *Experimental Philosophy* (3. ábra) sok más téma (pl. mikroszkópia) között tartalmazza 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 meglétét attól függően, hogy völgyben vagy a hegytetőn mérünk-e. Power éppen a különböző magasságokban mért eredményekből következtetett a nyomás és a sűrűség közötti



3. ábra. Power könyvének címlapja

összefüggésre. Ebben a könyvében, amely 1664-ben jelent meg, 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 törvény, felfedezés esetében helyénvaló lenne, hogy olyan elődöket vagy kortársakat, akiknek a neve később feledésbe merült, említeni kellene. Itt is ez a helyzet, de azért nem teljesen. Power könyvében ezt találjuk:

„További kísérletek Townley-Hallban 1660 és 1661-ben a kiváló és tiszteletre méltó RICHARD TOWNLEY, valamint Mr. JOHN, Mr. CHARLES TOWNLEY és Mr. GEORGE KEMP nagy tudású urak tanácsai alapján és közreműködésükkel. Az előző évben, 1660-ban jelent meg a tiszteletre méltó Boyle úr kitűnő értekezése az általa alkotott és publikált levegőpumpával végzett kísérleteiről, amely szerkezet felülmúlja az összes eddigieket, amelyekkel korábbi természetfilozófusok dolgoztak. Ha valóban igaz és megérdemelt jellemzését akarom adni munkájának, azt kell mondanom, hogy még sohasem olvastam ehhez hasonlítható értekezést, amelyben minden dolgot érdekesen és kritikusan ismertetnek, minden kísérletet körültekintően és nagy pontossággal végeznek, és azokat őszintén és intelligensen tárják az olvasók elé. Én csak azután olvastam az értekezést, hogy a kísérleteimet elvégeztem, de fellelevenítve azokat, új nézőpontból nézem a régi és már majdnem elfeledett eredményeimet. Nemcsak rám gyakorolt nagy hatást, hanem hasonlóképp nagyra tartott barátomat, Mr. Townleyt is izgalomba hozták, és elhatároztuk, hogy megkíséréljük a következő kísérletek elvégzését.”

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 igaz, vagyis hogy Boylek sokkal pontosabb méréseket végeztek. Bár Power és Towneley is figyelemre méltó munkát folytattak, de azt, hogy a törvényt mégis Boyle-ról nevezték el, nem kell igazságtalannak tartanunk. A Boyle–Mariotte elnevezés már kérdésesebb – ezzel foglalkozunk majd az alábbiakban.

Robert Boyle

Robert Boyle (Lismore, Írország, 1627. január 25. – London, 1691. december 30.) (4. ábra) Richard Boyle (1566–1643) tizennégy gyermeke közül hetedik fiúként látta meg a napvilágot [2, 7]. Apja 22 évesen Angliából érkezett Írországba, ahol gazdagságát és 1620-ban Cork grófja (1st Earl of Cork) címet jó házasságok és ügyes földüzletek révén szerezte. A lányai kiházásítása tovább segítette társadalmi emelkedését és vagyona gyarapítását.

Robertet 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



4. 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)

számára, kivéve a polgárháborús időkben (lásd alább). 1644 és 1652 között Stalbridge-ben folytatta kísérleteit. Előadásait Londonban – ahol szintén volt házuk – és Oxfordban tartotta. Barátaival rendszeresen megvitatták a tudomány újabb eredményeit. Ezt a kört Boyle „láthatatlan kollégiumnak” (Invisible College) hívta, tulajdonképpen ebből nőtt ki a Royal Society. Bár több helyen azt találjuk, hogy Boyle a Royal Society elnöke is volt, ez így nem teljesen 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 elmaradott írországi környezetet nem találta vonzó-
nak a tudomány művelése szempontjából. Ezért 1654-ben Oxfordba költözött. Itt születtek azok az eredményei, amelyek tárgyunkat is képezik. Számos műve őrzi Galilei írásainak hatását, mert a *The Sceptical Chymist*-ben kitalált szereplők vitatkoznak, míg a *New Experiments* című könyve formailag unokaöccséhez írt levelekből áll.

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; hatással volt a testvére is, javították egymás kéziratait. 1676-ban ő bízta meg Robert Hooke-ot, hogy alakítsa át a házat, hogy legyen hely öccse laboratóriumának is. Lady Ranelagh szalonjában gyűltek össze az Invisible College és az intelligencia más tagjai. Több társaságnak is tagja volt, így a Hartlib Körnek is, amely igyekezett összefogni a kor filozófusait, így kapcsolatot tartottak Johannes Amos Comeniusszal (Jan Amos Komenský) (1592–1670), kora kiemelkedő pedagógusával 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, így egyre inkább visszavonult a tudományos közéletől. Boyle rendkívül termékeny szerző volt. Eredményei közül az eddigieken kívül kiemeljük a hidrogéngáz előállítását (1671), a sav-bázis koncepció és az indikátorok bevezetését, valamint 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 ahhoz, hogy a kutatásnak szenteljék életüket, összejárjanak, megalapítsák az ország első tudományos társaságát, és 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 viszont 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. II. Jakab 1685-ös királlyá választása után térhettek vissza a katolikusok a közéletbe. Ekkor Towneley-t békebíróvá is kinevezték. Az 1688-as „dicsőséges forradalom” után eljárás indult Richard Towneley ellen is, megvádolták összeesküvéssel, amely II. Jakab újbóli trónra juttatását célozta.

Nézzük meg azt, hogy mi is történt Boyle életében a Brit-szigeteken. I. Erzsébet (1533–1603, uralkodott 1558-tól) halálával kihalt a Tudor-dinasztia, és Anglia királya a skót Stuart-házból származó I. Jakab (1566–1625) lett. (Ő VI. Jakab néven már Skócia királya volt.) Angliából és Skóciából létrejött 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. I. Jakab utódja fia, I. Károly (1600–1649, uralkodott 1625-től) lett. Vele kezdődtek a bajok. Túlterjeszkedett a király jogain, a parlamentet feloszlatta, túl sok adót szedtetett, erősödött a katolicizmus. Írországban is felkelés tört ki. 1642-ben kezdődött az első polgárháború, amely 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, de 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 megkoronázó Skóciát. A holland közvetítő kereskedelem ellen irányuló törvény kirobbantotta az első angol–holland háborút (1652–1654), ami az angolok győzelmével végződött. 1653-ban Cromwell feloszlatta a „csonka parlamentet”, és felvette a Lord Protector (fővédnök) címet. A protektorátus rendszere Cromwell haláláig működött (1653–1658). Végül a népnek már nagyon elege lett a puritánok által megkövetelt aszketikus életmódból. Az anarchia elkerülésére a királyság látszott jó megoldásnak. Elkövetkezett a restauráció időszaka, amely 1660-tól 1685-ig tartott. A 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 kitört a nagy londoni pestisjárvány, amelynek két év alatt több százezer áldozata volt. Aki tudott, elmeneült. Boyle Oxfordban töltötte ezt az időszakot, Towneley a birtokán. 1666-ban azután London nagy része egy hatalmas tűzvész áldozatául esett. A második angol–holland háború (1665–1667) kudarccal végződött. 1670-ben II. Károly és a francia király, XIV. Lajos megállapodást 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 utódja, 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 jogaikat 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 protestáns-üldözés miatt a Boyle-lal és Hooke-kal is dolgozó, a biztosítószepes, túlnyomásos fazék feltalálója, Denis Papin (1647–1712), akit 1680-ban

a Royal Society tagjává is választottak, sem térhetett vissza hazájába. A katolikus restauráció veszélyét 1688 júniusában Jakab fiának születése tetőzte be, akit katolikusnak kereszteltek. A katolikus dinasztia létrejötte ellen a tíz évvel korábban alakult két, egymással egyébként szemben álló 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” 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.”

„Talán szükségtelen bemutatnom a pártatlan Olvasónak, hogy e boldogtalan nemzet mennyi kaotikus állapoton ment keresztül, amelyek közepette végeztem és írtam le a kísérleteimet, és milyen



5. ábra. Brit tudósokról kiadott 2010-es bélyegsorozat a Royal Society alapításának 350. évfordulójára. Az első bélyeg Boyle-t és a levegőpumpát ábrázolja. „Kalaptrükkös” dizájn: minden portré felső része a tudós fejéből kipattanó gondolatot illusztrálja. Boyle megbecsültségét jelzi, hogy a brit tudósok sorában őt tették az első helyre, jelezve azt, hogy vele kezdődött a modern természettudományos kutatás

mértékben képesek azok megzavarni az elme nyugodt gondolkodását és a figyelem összpontosítását, amely alapvető feltétele az örömteli elmélkedésnek.”

Edme Mariotte

Edme Mariotte (Dijon vagy Til-Châtel, kb. 1620 – Párizs, 1684) (6–8. ábra) apja Simon Mariotte (?–1652), Til-Châtel ügyintézője volt. Édesanyja Catherine Denisot (?–1636) volt, aki öt gyermeket szült. Két gyermek Dijon környékén élt, míg a legidősebb, Jean 1630-tól haláláig (1682) a párizsi parlament (bíróság) tisztviselője volt. Mariotte húga, Catherine Párizsban ment férjhez. Férje, Blaise de Beaubrieul XIV. Lajos király (1638–1715) tanácsadója volt. Jean velük egy házban lakott, és valószínűleg egy ideig Edme Mariotte is, legalábbis Christian Huygens (1629–1695) hágai matematikus oda címezte egyik neki szóló levelét [7, 9, 10].

Gyermekekről, miként későbbi életéről is, keveset tudunk. Mariotte római katolikus pap, a Saint-Martin-sous-Beaune perjele volt. 1667-ben hívták meg a Francia Tudományos Akadémia tagjának [10]. A növények nedvkeringésével kapcsolatos felismerései vezettek oda, hogy felkérték akadémikusnak. További kísérletezés után eredményeit 1679-ben a „De la végétation des plantes” című tanulmányában foglalta össze. Azt, hogy természettudományos ismereteit miként szerezte, homály fedi. Feltehetően önképzéssel. 1670-ben költözött Párizsba [9]. Az Akadémiát Jean-Baptiste Colbert (1619–1683) főminiszter tanácsára XIV. Lajos alapította 1666-ban. Colbert ugyan a gazdaság fejlesztéséről és a pénzügyek rendbetételéről híres, de felismerte a tudomány jelentőségét is.

Akadémikusként (a fizikusokhoz, majd a matematikusokhoz is tartozott) Mariotte sokat publikált különböző témákban. Így foglalkozott hidrodinamikával, a színek mibenlétével, a testek rugalmas és rugalmatlan ütközésével, a szem vakfoltjával, a növények fiziológiájával, mérte az eső mennyiségét. De a puskák visszalökődéséről is írt tanulmányt, ami fontos téma volt, mert királya folyamatosan háborúzott. Levelezett a kor vezető tudósaival, például Leibnizzel.

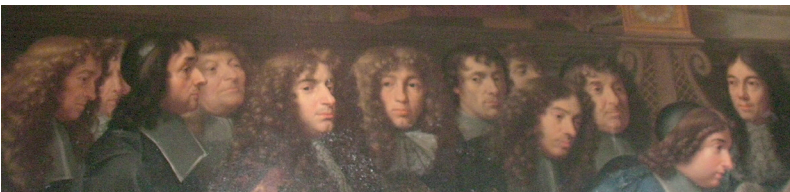
Mariotte tevékenységét az jellemezte, hogy előadásaiban hosszan elemezte mások munkáit, majd azok alapján új, gondosan tervezett



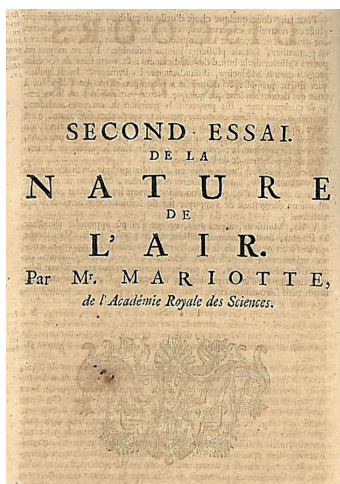
6. ábra. Colbert bemutatja a Francia Királyi Akadémia tagjait XIV. Lajosnak. Henri Testelin 1667-ben készült festménye (Musée national des châteaux de Versailles). Valószínűleg az itt megfestett tudósok egyike Edme Mariotte. Háttérben az újonnan épített csillagvizsgáló

kísérleteket folytatott azok bizonyítására, és kiemelte az eredmények jelentőségét. Nem szeretett másokra hivatkozni, ezért úgy tűnik, hogy mások (például Huygens) egyes, még publikálatlan munkáit mint sajátjait adta elő. Ezért többen plágiummal vádolták, viszont számos esetben világosabban fejtette ki az eredményeket és a következtetéseket, mint kollégái.

Mariotte, ahogy a fenti festmény is ábrázolja (6. ábra), feltehetően jelen volt a Francia Tudományos Akadémia tagjainak bemutatásakor, de bizonytalan, hogy a festményen melyik alak Mariotte.



7. ábra. A 6. ábrán látható kép részlete: vagy az itt balról harmadikként látszó, papi ruhát viselő személyt, vagy balról a hetediket gondolják Mariotte-nak.



8. ábra. Discours de la nature de l'air (1679, új kiadás: 1717)

Számunkra a *Discours de la nature de l'air* (Értekezés a levegő természetéről, 1679) című műve (8. ábra) érdekes, amelyben a Boyle-törvény újbóli megfogalmazását találjuk. A törvénybe ő vezette be a térfogatot a Boyle által használt sűrűség helyett. Boyle-t nem idézi. A franciák azt állítják, hogy Mariotte nem ismerte Boyle munkáját, ami igen valószínűtlen. Mindazonáltal fontos kísérleteket végzett, például a barométert különböző mélységekben víz alá helyezte, és megállapította, hogy a higanyoszlop magassága a higany és a víz sűrűségének arányában változik [11]. Franciaországban a törvényt Mariotte-törvénynek hívják, de a Boyle–Mariotte-törvény név az elfogadott a világban.

Jean-Baptiste Du Hamel (1624–1706), természetfilozófus és pap, aki az Akadémia első titkára volt, így írt Mariotte-ról [12]: „Mindent képes volt elsajátítani, írásai hatalmas tudásról tanúskodtak. Egyetlen elméletének meggyőző ereje elég volt, hogy 1667-ben az Akadémia tagjává válasszák. Éles elméjű leleményessége szorgalommal párosulva valósította meg azt, amit azután értekezésében bizonyított. Okossága, ahogy kísérleteit megtervezte, rendkívüli volt, és azokat csekély költséggel meg is tudta valósítani.”

A Gay-Lussac-törvény, a Charles-törvény és az Amontons-törvény

Magyarországon, miként a világ számos országában, Gay-Lussac-törvényről vagy -törvényekről beszélünk, ha a gázok (szigorúan: a tökéletes gáz) nyomásának vagy térfogatának hőmérsékletfüggését írjuk le. Nagyon egyszerű, de rendkívül fontos összefüggésekről van szó, amelyek alapvető szerepet játszottak a fizikai kémia fejlődésében

(például a hő és a hőmérséklet mibenlétének tisztázásában), és ma is használjuk ezeket.

Tehát ha a hőmérséklet (T) nő, a nyomás (p) is nő állandó térfogaton (V):

$$p / T = \text{állandó.}$$

Ezt nevezik Gay-Lussac 2. törvényének, illetve Amontons törvényének is. Amontons még Gay-Lussac előtt megadta ezt az összefüggést, bár kevésbé pontos mérések alapján. Állandó nyomáson pedig a térfogat változását a hőmérséklettel (hőtágulás) az alábbi egyenlet írja le:

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2$$

Ezt Gay-Lussac 1. törvényének vagy Charles-törvénynek is nevezik, mert nemcsak Gay-Lussac, hanem Charles is eljutott ehhez a felismeréshez. Persze ezeket az összefüggéseket a gázok hőtágulására először más formában írták le, például:

$$V = V_0 (1 + bT),$$

ahol V_0 egy vonatkozási vagy kiindulási térfogat, és b a hőtágulási együttható.

A b értéke minden ideálisan viselkedő gázra azonos. Szilárd anyagokra és folyadékokra is érvényes ez az egyenlet, de ezeknél a b értéke az anyagi minőségtől függ. (Gondoljunk a higanyos hőmérőre vagy a villamossínre.)

A törvények megszületése idején még nagy vita folyt a hő természetéről és a hőmérséklet mibenlétéről [1–3]. A 17. századtól a tudósok egy része amellet állt ki, hogy a hő a részecskék mozgásával függ össze (kinetikus elmélet). Ezt képviselte Francis Bacon (1561–1626), Daniel Bernoulli (1700–1782), Leonhard Euler (1707–1783) és Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716). Számításokat is végeztek a gázcsepp sebességével és azok hőmérsékletfüggésével kapcsolatban. A másik tábor hőanyagról értekezett (caloricum-elmélet). Idetartozott Joseph Black (1728–1799), Nicolas L. Sadi Carnot (1796–1832) és Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768–1830). Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794) és Pierre-Simon Laplace (1749–1827) ingadozott. Benjamin Thompson, Lord Rumford (1753–1814) 1798-as

előadása a Royal Societyben az ágyúfúrási kísérletéről – amelyben bebizonyította, hogy a sűrűdési hő kimeríthetetlen – vezetett el a kinetikai elmélet egyre szélesebb körű elfogadásához. Eszerint egy gáz hőmérséklete a részecskék mozgási energiájának mértéke. A gáz mozgási energiájának növekedésével a részecskék (atomok, molekulák) egyre gyakrabban ütköznek a tartály falával, az impulzusváltozás nagysága is nő, ezért a nyomás is nő. Ha ábrázoljuk adott térfogatú és anyagmennyiségű gáz nyomását a hőmérséklet függvényében, egyenest kapunk. Ha a vizsgálatot többféle és különböző mennyiségű gázzal elvégezzük, azt tapasztaljuk, hogy az egyenes meredeksége változhat, de a hőmérséklet tengelyét mindig $-273,15^{\circ}\text{C}$ -nál metszi. Ennek alapján tett javaslatot William Thomson (1824–1907) az abszolút hőmérsékleti skála bevezetésére 1848-ban. (Lásd a Kelvinről szóló fejezetet.)

Már a gáztörvények felfedezése előtt is foglalkoztak tudósok a legkisebb hőmérséklettel. Ezek egyike, Mihail Lomonoszov (1711–1765) logikai úton jutott el az abszolút nullapont létezésének szükségességéhez 1750-ben:

„a meleg elegendő oka a mozgásban rejlik [...] mozgás anyag nélkül nem lehetséges, így szükségszerű, hogy a meleg elegendő oka valamely anyag mozgása legyen. [...] Továbbá nem lehet olyan nagy sebességű mozgást megjelölni, amelynél gyorsabbat ne képzelhetnénk el. Minthogy ez joggal vonatkozik a hőképző mozgásra is, így a melegnek, amelyet mozgásnak tekintünk, nincs végső, lehetséges legnagyobb mértéke. Ezzel szemben a mozgást addig csökkenthetjük, amíg a test teljes nyugalomba nem kerül, és ezt a mozgás további csökkentése nem követheti. Szükségszerű tehát, hogy a hidegnek létezzék végső határa, amely a részecskék forgó mozgásának teljes megszűnésében áll, és ennek tulajdonítható.”

Meditationes de caloris et frigoris causa (Elmélkedések a meleg és a hideg okáról). *Novi commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, 1750, 206.)

A Boyle–Mariotte-törvényből és a Gay-Lussac-törvényekből következett az egyesített gáztörvény:

$$PV = nRT,$$

ahol n a gáz mennyisége (a mólok száma), R a gázállandó.

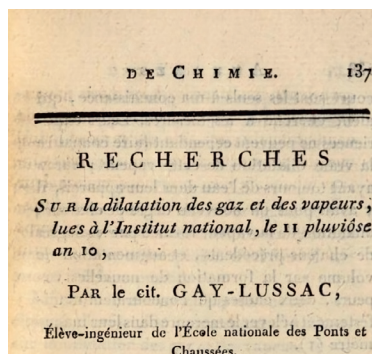
Ezt először Benoît Paul Émile Clapeyron vezette le a gáztörvények kombinációjából 1834-ben, majd August Krönig (1822–1879) 1856-ban, illetve Rudolf Clausius 1857-ben a kinetikus elmélet alapján. (Lásd a Clapeyron–Clausius-egyenletről szóló fejezetet.)

Joseph Louis Gay-Lussac

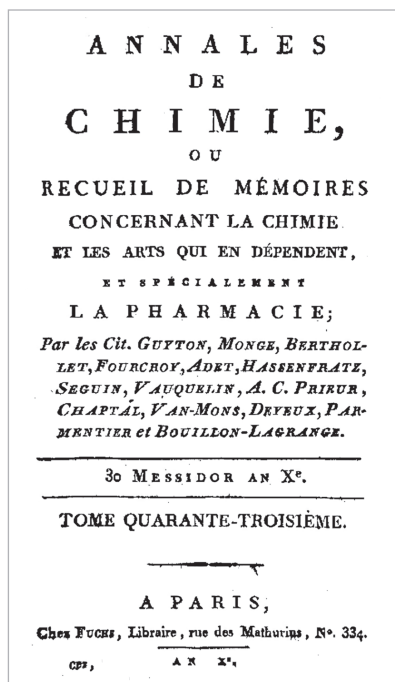
Joseph Louis Gay-Lussac (Saint-Léonard-de-Noblat [most Haute-Vienne], Franciaország, 1778. december 6. – Párizs, 1850. május 9.) (1. ábra) apja, Antoine Gay (1744–1819) bíró volt. Szülővárosában tanult. Apja a forradalomban elvesztette állását és vagyonát, 1793–94-ben be is börtönözték. Lussaci birtokaik után vették fel a Gay-Lussac nevet 1803-ban. Gay-Lussac kénytelen volt saját magáról gondoskodni, eleinte magánórák adásából tartotta fenn magát. 1794-ben Párizsban folytatta tanulmányait. 1798-tól az École Polytechnique-en Claude Louis Berthollet (1748–1822) felkarolta a tehetséges diákot, az ő laboratóriumában dolgozott mint asszisztens. 1802-től demonstrátor lett Antoine François Fourcroy (1755–1809) mellett az École Polytechnique-en, majd 1809-től ugyanitt kémiaprofesszor. (Neves támogatók: lásd alább az *Annales* szerkesztőbizottságát [2. ábra]. Berthollet különösen befolyásos ember volt, például a francia szenátus alelnöke is volt az 1800-as évek elején.)



1. ábra. Joseph Louis Gay-Lussac
(François-Séraphin Delpech
(1778–1825) litográfiája,
Bibliothèque nationale de France)



2. ábra. A Gay-Lussac-törvényt tartalmazó cikk első oldala (magyarul a legfontosabb részlete hozzáférhető [4]), illetve a folyóirat címlapja, ahol megjelent a cikk (Messidor = az aratás hónapja az 1793–1806 között érvényben lévő francia forradalmi naptár szerint; a Gergely-naptár szerint június 19. – július 18.)



Gay-Lussac 1808 és 1832 között a Sorbonne fizikaprofesszora volt. Utána a Jardin des Plantes botanikus kert kémiaelnökének nevezték ki. 1809-ben megnősül, felesége Geneviève-Marie-Joseph Rojot (1785–1876). Öt gyermekük született. Sok későbbi neves tudós dolgozott nála, így a francia Henri-Victor Regnault (1810–1878) és a német kémia atyja, Justus von Liebig (1803–1873) is. Később viszont legidősebb fia, Jules Gay-Lussac Liebig mellett dolgozott Gießenben. Regnault pedig szorosan kapcsolódik a témánkhoz, hiszen a gázállandó jele, R , a neki szóló elismerést fejezi ki. (Lásd a Clapeyron–Clausius-egyenletről és a Kelvinről szóló fejezetet.)

Gay-Lussac veszélyes hőlégballonos kísérleteket is végzett társával, Jean-Baptiste Biot-val (3. ábra). A ballon 4000 méter fölé emelkedett (nyomásmérésből számítva). 1804. szeptember 16-án Gay-Lussac egyedül közel 7000 méterig jutott. Megállapították, hogy a légkör összetétele nem változik a csökkenő nyomással (a magassággal),

mérték a hőmérséklet csökkenését, és mágneses vizsgálatokat is végeztek. A léggömböt Laplace közbenjárására a hadseregtől kölcsönözték, Napóleon az egyiptomi hadjárata során már használta. Biot francia fizikus és matematikus volt. Ismert az elektromágnesesség **Biot–Savart törvényéről**, a fény polarizációjának vizsgálatáról, a meteoritok eredetével kapcsolatos megállapításairól. Gay-Lussac Alexander von Humboldttal (1769–1859) is együttműködött, együtt utaztak Olaszországban és Németországban, geológiai kutatásokat végeztek, valamint kimutatták azt is, hogy két térfogatrészt hidrogénből és egy térfogatrészt oxigénből víz képződik.

A róla elnevezett gáztörvény 1802-es publikálása és a légkörkutatás után Gay-Lussac még nagyon sok jelentős eredményt ért el a természettudományok területén, különösen az analitikai kémiában. Ez utóbbi tevékenységének részletes leírása olvasható magyarul is [5], ezért csak röviden szemlélünk a bő kínálatból.

Két elem társfelfedezője, illetve előállítója volt. A borax és a bórsav ismert volt, de az elemet Gay-Lussacnak és Louis Thénard-nak (1777–1857) káliumos redukcióval, illetve tőlük függetlenül Humphry Davy-nek (1778–1829) elektrolízissel sikerült csak előállítaniuk 1808-ban.

1811-ben Bernard Courtois (1777–1838) tengeri algák hamuját savval kezelve lila gőzök fejlődését észlelte, de azt, hogy a jó egy elem, Gay-Lussac és Davy igazolta 1813-ban egymástól függetlenül, még hozzá csak néhány nap eltéréssel, ami miatt prioritási vita bontakozott ki a két tudós között.



3. ábra. Gay-Lussac és Jean-Baptiste Biot (1774–1862) hőléggelballonnal folytatott légköri vizsgálatokat 1804. augusztus 24-én (19. századi illusztráció)

Thénard-ral még nevezetes eredményük volt a kálium-klorát hevítésekor keletkező szén-dioxid és oxigén pontos mennyiségi meghatározása. Az alkoholos fermentáció leírása és a hidrogén-cianid képletének meghatározása is az ő nevéhez fűződik (1810). Nagy szolgálatot tett a titrimetria technikájának kidolgozásával is, új típusú bürettát fejlesztett. Ő találta ki a büretta és a pipetta neveket is. Nagy jelentőségű volt például ércek, pénzek ezüsttartalmának pontos meghatározására az általa kidolgozott csapadékos ezüsttitrálás (1832). Ez pontosabb volt, mint a korábbi kupellációs eljárás, és ma is használjuk. A gázokkal kapcsolatos kutatásának egy másik, kiemelkedő eredménye volt a gázelegyek térfogatának meghatározása, amelyet 1809-ben tett közzé. Avogadro ennek alapján alkotta meg híres törvényét (lásd alább, Avogadro-állandó). Egyébként Berthollet és a Berthollet-tanítvány, Gay-Lussac nem fogadta el Avogadro felfogását [6].

Guillaume Amontons

Guillaume Amontons (Párizs, 1663. augusztus 31. – Párizs, 1705. október 11.) (4. ábra) apja ügyvéd volt. Amontons fiatalkorában elvesztette a hallását, ez fordította a tudomány felé. Egyetemre nem járt, önállóan sajátította el a fizikai, matematikai és csillagászati ismereteket. Állami alkalmazásban dolgozott különböző területeken.

Amontons vizsgálta a nyomás és a hőmérséklet összefüggését, bár pontos hőmérsékletméréseket nem végzett. Például megmérte azt, hogy a hideg és a forró víz hőmérséklete között a gáz nyomása egyharmad résszel növekszik. Azon is eltöprengett, hogy nagyon kis hőmérsékleten a gázhőmérőjében lévő levegő térfogata nullává válik.

Egész jól meg is becsülte azt a hőmérsékletet, amit ma abszolút nulla foknak (0 kelvin) hívunk. (Meg kell jegyeznünk, hogy a fenti képleteket már ezzel, a ma használatos hőmérséklettel írtuk – nem az abszolút hőmérsékleti skálát használva a képletek némileg bonyolultabbak.) Amontons hőerőgépet szerkesztett, amely a forró levegőt használta a mozgásához. Számos eszköz, így a barométer, a hőmérő, a higrométer konstrukcióján javított, főként tengerészeti célú használatra. A sűrűdással kapcsolatos kutatásait is nagyra értékelték, főleg azután, hogy Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806) is igazolta az eredményeit.



4. ábra. Amontons bemutatja az optikai távíróját a francia trónörökösnek a párizsi Luxemburg-kertben a 17. század végén. A távíróállomásokon elhelyezett mozgatható fakarok különböző állása felelt meg az ábécé betűinek. A távírász távcsővel olvasta le a jeleket (Alexis Belloc: La Telegraphie Historique, 1888)

Jacques Alexandre César Charles

Jacques Alexandre César Charles (Beaugency, Franciaország, 1746. november 12. – Párizs, 1823. április 7.) (5. ábra) 1795-ben lett a Francia Tudományos Akadémia tagja és a Conservatoire des Arts et Métiers fizikaprofesszora.

Nem publikálta az eredményeit. Az, hogy egyáltalán tudunk a gázokkal kapcsolatos kísérleteiről, Gay-Lussacnak köszönhető, aki hivatkozott rá. Charles megtöltött öt léggömböt különböző gázokkal, azonos térfogatot használva, majd felmelegítette őket. Azt észlelte, hogy ugyanolyan mértékben tágultak. Igazából arról nevezetes, hogy ő használt először hidrogénnel töltött léghajót. Társaival abból az akkor már ismert tényből indultak ki, hogy a hidrogén sokkal könnyebb a levegőnél. A hidrogént kémiai reakcióval nyerték vasreszeléket és kénsavat használva. A gáztartályuk selyemdarabokból készült, amelyeket terpentinben oldott gumival vontak be. A kísérletben



5. ábra. Jacques Alexandre Césaire Charles, 1820 (Library of Congress)



6. ábra. Kortárs illusztráció a felszálló léghajóról

részt vettek a Robert testvérek, Anne-Jean Robert (1758–1828) és Nicolas-Louis Robert (1760–1820) is. Főleg a ballon elkészítése volt a feladatuk.

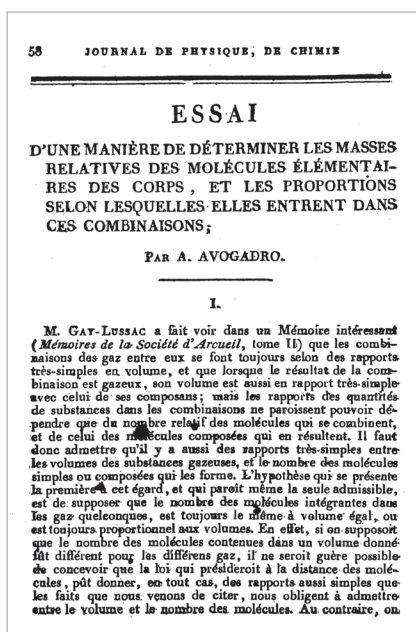
Néhány nappal a Montgolfier-fivérek hőléggallonos bemutatója után, 1783. december 1-jén Charles és Nicolas-Louis Robert Párizs környékén kb. 550 méter magasba emelkedtek, majd egy mezőn landoltak (6. ábra). A parasztok úgy megijedtek, hogy megsemmisítették a léghajójukat.

Az Avogadro-állandó

Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro, Quaregna és Cerreto grófja vagy röviden Amedeo Avogadro, a Torinói Egyetem egykori professzora tiszteletére nevezték el az 1 mól anyagban található elemi részecskék (atomok, ionok, molekulák) számát, aminek 2019 óta rögzített értéke $N_A = 6,02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ [1–3].

A történet 1811-ben kezdődött, amikor a 35 éves Avogadro a *Journal de Physique de Chimie et d'Histoire naturelle et des Arts* folyóirat 73. kötetében publikált egy 18 oldalas tanulmányt, amely a következő címet viselte: „Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons”, azaz „Tanulmány a testek elemi molekulái relatív tömegének meghatározási módjáról és az arányokról, amely módon ezek kapcsolatba lépnek egymással” [4] (1. ábra). Akkor a cikk ugyan kiváltott némi vitát, de nem igazán rengette meg a tudóstársadalmat.

A cikk első oldalának fordítását, illetve lényeges elemeit idézzük:



1. ábra. Avogadro híressé vált, 1811-es cikkének első oldala. Az „M.” betű Gay-Lussac neve előtt nem keresztnévet jelez, hanem a Monsieur rövidítése [4]

„Gay-Lussac úr egy érdekes tanulmányában megmutatta, hogy a gázok mindig egyszerű térfogatarányokban egyesülnek, és amikor az egyesülés terméke gáz, annak térfogata igen egyszerűen függ alkotói térfogatától. Úgy tűnik mármost, hogy a vegyületekben szereplő anyagok kvantitatív aránya csak a kombinálódó molekulák számarányától, valamint a keletkező összetett molekulák számától függ. A gázalakú anyagok térfogatai, beláthatóan, igen egyszerű kapcsolatban állnak az őket alkotó egyszerű vagy összetett molekulák számával. Az első, ezzel kapcsolatban felvetődő és szemmel láthatóan az egyetlen elfogadható hipotézis, miszerint az egész molekulák száma bármely gázban, azonos térfogatban

mindig azonos, és mindig arányos a térfogattal. Ha ugyanis azt tételeznénk fel, hogy a molekulák száma egy adott térfogatban különböző gázok esetén különböző, aligha állíthatnánk, hogy a molekulák távolságát szabályozó törvény minden esetben olyan egyszerű arányokat ad, mint amelyeket az imént vázolt tények, a térfogat és a molekulák számának összefüggéséről eléink tárnak. Ebből a hipotézisből kiindulva látható, hogy igen kényelmes meghatározási mód adódik gázállapotú anyagok molekulái relatív tömegének meghatározására, valamint ezen molekulák vegyületekbeni relatív számának megállapítására, mivel a molekulák tömegének aránya azonos hőmérsékleten és nyomáson megegyezik a különböző gázok sűrűségének arányával, és valamely vegyület molekuláinak relatív száma egyből adódik az alkotó gázok térfogatarányából. Az 1,1359 és a 0,07321 számok például az oxigén- és a hidrogéngáz sűrűségét fejezik ki levegőre mint egységre vonatkoztatva, a két szám aránya következésképpen megadja a két gáz tömegének arányát azonos térfogatban. Elméletünk szerint ez az arány egyben a molekulák tömegének arányát is kifejezi. Így az oxigénmolekulák tömege mintegy 15-szöröse a hidrogénmolekulák tömegének, vagy pontosabban az arány 15,074:1. Hasonlóan a nitrogénmolekula tömege 0,96913:0,07321, azaz 13:1 arányban áll a hidrogénéhez, így 13-szorosa, pontosabban 13,238-szorosa. Másrésztől, miután tudjuk, hogy a hidrogén és oxigén térfogatainak aránya a víz képződésekor 2:1, következik, hogy a víz minden molekulája 1 molekula oxigén és 2 molekula hidrogén egyesülésével keletkezik. Hasonlóan okoskodva, azokból a térfogatarányokból kiindulva, amelyeket Gay-Lussac úr állapított meg az ammónia, a nitrogén-oxid, a nitrózus gáz és a salétromsav elemeiből való képződésekor, az ammónia egy molekula nitrogén és három molekula hidrogén egyesüléséből származik, a nitrogén-oxid egy molekula oxigén és két molekula nitrogén, a nitrózus gáz egy molekula nitrogén és egy molekula oxigén, a salétromsav egy molekula nitrogén és két molekula oxigén egyesülésekor keletkezik.

Van egy megfigyelés, amely összetett anyagok esetében első pillanatban ellene szól hipotézisünk elfogadásának. Úgy tűnik, hogy valamely, két vagy több elemi molekulából felépülő molekula

tömegének meg kellene egyeznie ezen molekulák tömegének összegével. Ha egy vegyületben, példaképpen, az első alkotó anyag egy molekulája egy második alkotó anyag két vagy több molekulájával egyesül, az összetett molekulák számának meg kellene egyeznie az első anyag molekuláinak számával. Ennek megfelelően, elméletünk szerint, ha egy gáz egy, a saját térfogatának kétszeres vagy többszörös térfogatában jelen levő másik gázzal egyesül, a kapott vegyületnek, ha gáznemű, az első gáz térfogatával megegyező térfogatban kell keletkeznie. Nos, általában nem ez a helyzet. Mint azt Gay-Lussac úr megmutatta, a víz térfogata gázállapotban például kétszer akkora, mint az őt felépítő oxigén térfogata, vagy ami ugyanaz: egyenlő a hidrogénével, ahelyett, hogy az oxigénével egyezne. Az ilyen jellegű tények megmagyarázására természetesen adódik azonban egy magyarázat, amelyik egyezésben van elméletünkkel. Azt tételezzük fel, hogy bármely egyszerű gázban (tehát amelyben a molekulák olyan távolságra vannak, hogy nem tudnak egymásra kölcsönösen hatást gyakorolni) az alkotó molekulák nem magányos elemi molekulákból állnak, hanem azokat bizonyos számú ilyen molekula alkotja, amelyeket vonzás egyesít egyetlenné. Továbbá, ha egy másik anyag molekulái egyesülnek az előbbivel, valamely összetett molekulát eredményezve, a keletkezett egész molekula szét fog esni két vagy több részre (vagy egész molekulára), amely fele-, negyedannyi stb. számú elemi molekulát tartalmaz (mely az első anyag alkotó molekuláját fogja alkotni), vegyülve a második anyag fele-, negyed- stb. számú alkotó molekulájával ahhoz képest, amennyinek az első anyag egy alkotó molekulájával kombinálnia kellene (vagy ami ugyanaz, amennyinek a második anyag feleannyi, negyedannyi molekulájával kellene vegyülnie). Így a vegyület egész molekuláinak száma kétszerese, négyszerese stb. lesz annak, mint aminek akkor kellene lennie, ha a molekula nem hasadt volna fel, és pontosan annyi, amennyi ahhoz szükséges, hogy a keletkező gáz térfogatát megmagyarázza. Így például a víz teljes molekulája $1/2$ molekula oxigénből és egy molekula hidrogénből áll, vagy ami ugyanaz, két fél molekula hidrogénből.” (Szepesváry Pálné fordítása.)