

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 háttérrel, 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 tisztítószereink, 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 űrhajózásban 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 végbe menetelének 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 hőstét: „A vegytannál ugyanis nincs érdekesebb. Mert hogy milyen költői öröm e tudományban rájönni 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:

$$P V = \text{állandó.}$$

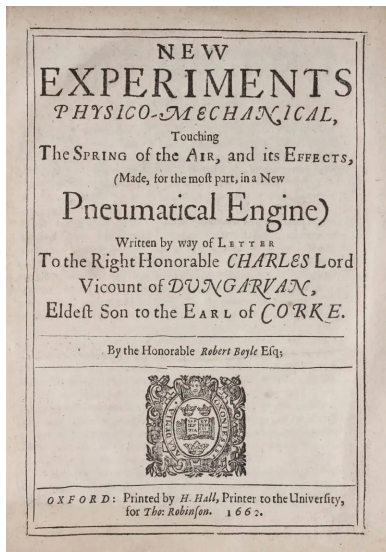
A kísérleteket Boyle először 1660-as könyvében publikálta, majd két év múlva megjelent a második kiadás (1. ábra) is, amelyben a kritikáinak válaszolt, és itt jelenik meg a gáztörvény is. A kiegészítés címe: *Defence of the Authors Explication of the Experiments, Against the Obiections of Franciscus 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, olvasható 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 Newton (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].