



Braun Tibor

■ ELTE Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Információs Központ | dr.braun.tibor@gmail.com

Lenyűgöző ionos folyadékok

A szakirodalom exponenciális növekedése

Előszó

Eredetileg „Káprázatos ionos folyadékok” címmel összefoglalót terveztem írni az ionos folyadékokról. Közben eszembe jutott, hogy ezt a jelzőt már használtam, amikor a kémia egy másik káprázatos felfedezéséről (a C₆₀-molekuláról) írtam cikkeket és könyvet. Ezért az ismétlés elkerülésére a *káprázatos* szó helyettesítésére a magyar szinonimaszótárból kikerestem egyik szinonimáját, a *lenyűgözőt*.

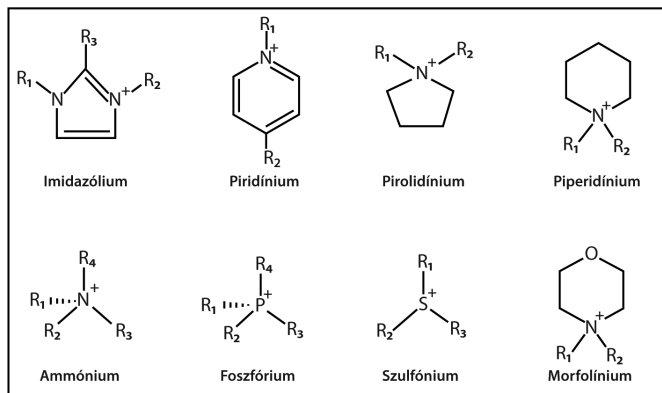
Az 1914-ben felfedezett [1], majd a 2000-es években alapos kutatások tárgyává vált ionos vegyületekről több mint száz könyvet, körülbelül ezer összefoglaló közleményt (review-t) és több tízezer folyóiratcikket publikáltak. Nem kell túl nagy jóstehetség ahhoz, hogy bárki, beleértve jómagamat is, könnyen rájöjjön, hogy ilyen szakirodalmi háttérrel rendelkező témáról rendkívül nehéz, vagy lehetetlen cikkterjedelmű jó összefoglalót írni. Ezért Robin D. Rogers egyik, a témáról 2007-ben publikált *Reflections on ionic liquids* című cikke [2] bevezetőjéből a következő mondatot idézem: „Ionic liquids seem to defy common sense” (Az ionos folyadékok ellentmondani látszanak a józan észnek). Legkevesebb, amit a fenti kijelentésről mondhatok, és feltételezem, hogy ebben nem vagyok egyedül, az, hogy meglepő. Többek között azért, mert úgy tudom, a józan észnek való ellentmondás benne van a „paradoxon” definíciójában is. Ugyanis paradoxon alatt állítások olyan halmazát értjük, amelyek ellentmondásra vezetnek vagy a józan észnek ellentmondó következtetés vonható le belőlük. A fentiek hatására elhatároztam, hogy nem írok összefoglalót az ionos folyadékokról, illetve azt is, hogy megpróbálom kifürkészni, mire utalt Rogers professzor*, aki jelen témánknak világszerte egyik legismertebb és legelismertebb szakértője, amikor a fent idézett talányos mondatot leírta. Úgy döntöttem, hogy itt előbb röviden bemutatom az ionos folyadékokat, majd foglalkozom az ionos folyadékok számának kérdésével és végül rátérek a kémiai, majd az ionos folyadék szakirodalma exponenciális növekedésének körbejárására.

Ionos folyadékok (rövid bemutató)

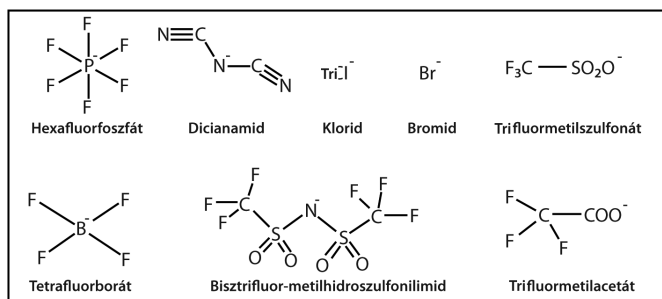
Az ionos folyadékok lényegében kationokból és anionokból álló, alacsony olvadáspontú sók. Azokat a sókat, amelyek 100 °C, illetve szobahőmérséklet alatt olvadnak, általában szobahőmérsékletű ionos folyadékoknak nevezik. Az első alacsony olvadáspontú só, az etil-ammónium-nitrátot (C₂NH₈N₃) a német Paul Walden szintetizálta 1914-ben [1], és 12 °C-os olvadáspontját is le-

* Robin D. Rogers publikációs adatai (a Google Scholar adatbázisban 2020. január 15-én): idézettsége: 64 662; Hirsch-indexe: 108; i10-indexe: 630 és cikkeinek száma körülbelül 800.

Kationok

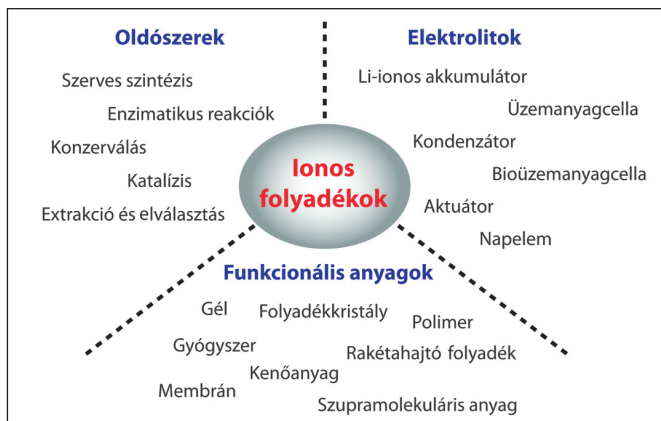


Anionok



1. ábra. Ionos oldatokban használt anionok és kationok (példák)

írta. Ő az ionos folyadékot az etil-amin koncentrált salétromsavval való semlegesítésével állította elő. Bizonyos ismert ionos folyadékok, például nitrogént és foszfort tartalmazó heterociklusos (imidazólium vagy piridin) alkil-helyettesített kationokból és szerves anionokból, mint például BF₄⁻, Cl⁻, PF₆⁻ vagy NO₃⁻ ionokból állnak (1. ábra). Mivel az ionos folyadékok komponensei változtathatók, ezek a vegyületek különböző speciális alkalmazásokhoz előre is tervezhetőek [3]. Más szavakkal: az ionos folyadékok alkalmasak adnak specifikus tulajdonságaik beállítására megfelelő alkalmazásokhoz való használatnál (2. ábra). Ezért *tervezett folyadékok* (*designed liquids*) elnevezéssel is illetik őket. A tulajdonságaik finombeállítása (hangolása) például a szerves kationba beépített alkilcsoportok lánchosszának és/vagy elágazásainak, vagy az anion változtatásával történik. Ennek megfelelően az olyan tulajdonságok, mint az ionos folyadékok olvadáspontja, viszkozitása, sűrűsége és hidrofobicitása könnyen módosíthatók az összetevő ionok változtatásával [4]. Annak tulajdoníthatóan, hogy a legtöbb ionos folyadék egyedi hasznos tulajdonságokkal rendelkezik, mint például alacsony illékonyság [5], nagyobb hőstabilitás [6], alacsonyabb gyúlékonyság [7] és jó vezetőképeség [8], nagy figyelmet kaptak az olyan kutatási területe-



2. ábra. Ionos folyadékok alkalmazásai

ken, mint az orvostudomány, kémia, fizika és mérnöki tudományok [9].

Az ionos folyadékok száma

Rogers említett cikkében [2] arról is beszámolt, hogy körülbelül egymillió, laboratóriumban potenciálisan előállítható ionos folyadékot ismernek jelenleg, és 10^{18} ternér (az anion és kation mellett harmadik komponenst tartalmazó, ez utóbbi valamelyik tulajdonság javítása érdekében hozzáadott) ionos folyadék keverékvegyület lehetséges előállítására is sor kerülhet. Ezt az 1-es szám után 18 nullával kifejezett (trillió) számot találta valószínűleg észbontónak Rogers professzor. A Rogers által említett számoknál kissé „szerényebb” 10^{12} (billió) ionos folyadék lehetőségéről más dolgozat is beszámolt [10]. Ahhoz, hogy összehasonlítsuk e számok valóban őrlítő nagysága mennyire befolyásolhatta a kémiai józan ésszt, megnézhetjük az egyesült államokbeli Columbusban (Ohio) székelő *Chemical Abstracts Service (CAS[®])* adatbázist (az American Chemical Society egyik részlege), ami feladatként leltárba vesz minden, a földgolyón ismert vegyületet, kémiai anyagot. Ez az adatbázis mindmáig az említett ionos folyadékok 10^{18} darabszámához hasonlítva „csekély”, 127 millió ($127 \cdot 10^6$) vegyületnél tart. Az ionos folyadékokon kívül a kémia nem nagyon ismer olyan bőséges és átfogó vegyületcsaládot, talán beleértve még a szerves kémiát is, ami lehetőséget kínál olyan lenyűgözően nagy számú tervezhető (designer) tulajdonságú új vegyület előállítására, mint az ionos folyadékok. Talán ez is befolyásolhatta Rogers bevezetőben említett mondatát.

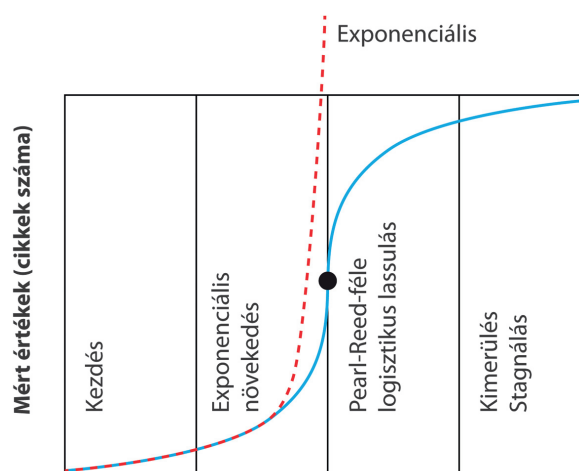
A szakirodalom exponenciális növekedése

A tudomány, a tudományos kutatás, illetve a tudományos szakirodalom exponenciális növekedésének és fejlődésének felismerését általában *Derek deSolla Price*-nak [11] tulajdonítják, de nemrég kimutatták, hogy azt már 1885-ben *Conan Doyle* [12], sőt előtte 1883-ban *Friedrich Engels* [13] is kiderítette. De el kell ismerni, hogy *Derek Price* volt az, aki rendkívül sokrétűen értelmezte a tudományos szakirodalom növekedésének jelenségeit [11].

A „szakirodalom” szó lényegében egy bizonyos tárgykörben publikált dokumentumsorozatot jelent. Különböző publikációs formákat foglalhat magába, ilyenek például a folyóiratcikkek, könyvek és könyvfejezetek, konferenciadolgozatok és disszertációk. A szakirodalom növekedésének mértékét általában szakosított adatbázisokból (például *Chemical Abstracts*, *Web of Science* stb.) vagy a cikkek címeiből, absztraktjaiból kiválogatott kulcsszavak-

ból álló adatbázisokból végzik. A kutatók általában formális publikációkon keresztül kommunikálnak egymással. Az említett formális publikációk igénybevételével ennek megfelelően az ismeretek átadása folyóiratcikkek, könyvek, könyvfejezetek, konferenciák formájában terjed. A természettudományos szakterületen az ismeretek három rétegből tevődnek össze. Elsőként a primer tanulmányok szerepelnek, amelyeket a kutatók végeznek és publikálnak. Emellett léteznek ezeknek a tanulmányoknak rendszeres és konceptuális összefoglalói (abstracts), amelyek új értelmezéseket foglalnak magukba az eredeti irodalomból építve, végül megszületnek a következtetések és elemzések, amiket a kutatók például folyóirati beszélgetések során osztanak meg és amik részei lesznek a szóban forgó szakterület alapismereteinek (knowledge). Az ionos folyadékok kutatása, illetve szakirodalma fejlődésének hátterében az exponenciális növekedés állt és ez még ma is így van. Nem hisszük, hogy ennek a közismert növekedési szabályszerűségnek lényegét itt ismertetni kellene. Érdeklődőknek javasoljuk átlapozni a 14., 15. és 17. hivatkozásokban említett kitűnő összefoglalókat.

A világszerte megjelenő tudományos szakirodalom exponenciális növekedési túlbujánzása arra a következtetésre juttatta a

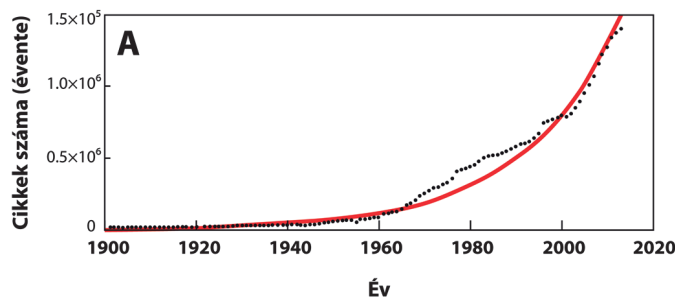


3. ábra. Exponenciális és logisztikus növekedési görbék

szakembereket, hogy a tudományos szakirodalom növekedésének eszkáliciója, így az ionos folyadékoké is képtelen lesz végtelen ideig folytatódni, illetve fennmaradni. Arra a következtetésre jutottak, hogy amikor a növekedés rendkívül magas szintre ér, általában bekövetkezik egy lassulási folyamat, és a szakirodalom növekedésében a *Pearl-Reed-féle* logisztikai görbe szerinti növekedés kerül előtérbe (3. ábra). Ez a helyzet, mármint a szakirodalom növekedésének lassulása az ionos folyadékok esetében még nem jelentkezett.

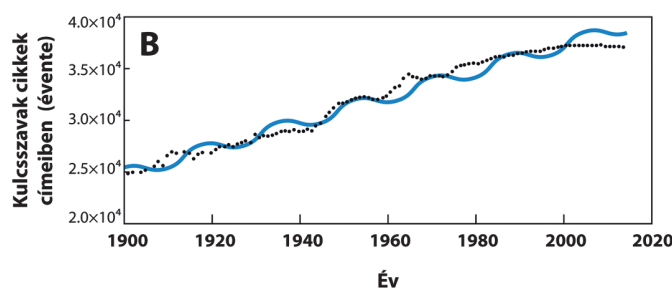
A világ természettudományi szakirodalmának exponenciális növekedése

Mielőtt az ionos folyadékok szakirodalmának exponenciális növekedésére rátérnénk, érdemes egy pillantást vetni a világ teljes természettudományi szakirodalmának növekedésére (4. ábra). Mint az ábra mutatja, a növekedés itt is exponenciális jellegű. Ezek után felmerülhet a kérdés, hogy a világ természettudományi ismeretei ugyanolyan exponenciális növekedést mutatnak-e, mint a szakirodalomé. Ezt a kérdést a szakirodalom cikkeiben és összefoglalóiban (abstract) foglalt ötletekre és felfedezésekre utaló kulcsszavak és az azokhoz a későbbiekben csatolt deszkriptó-



4. ábra. A világ természettudományi szakirodalmának exponenciális növekedése [14]

rok számlálásával végezték el [14–15]. Arra a következtetésre jutottak, hogy az ismeretek nem exponenciális, hanem lineáris növekedést mutatnak (5. ábra). Amennyiben az 5. ábrán a pontokból álló görbét figyelmesen megvizsgáljuk, láthatjuk, hogy az egymást követő rövid, logisztikus görbékből áll. Ezek átlóját meghúzva látható a lineáris növekedést mutató vonal. A fentieket ki-



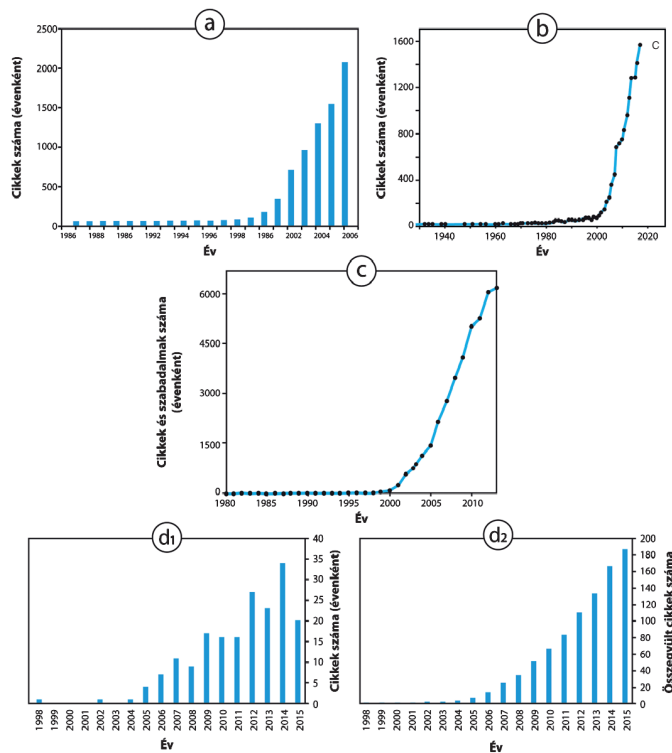
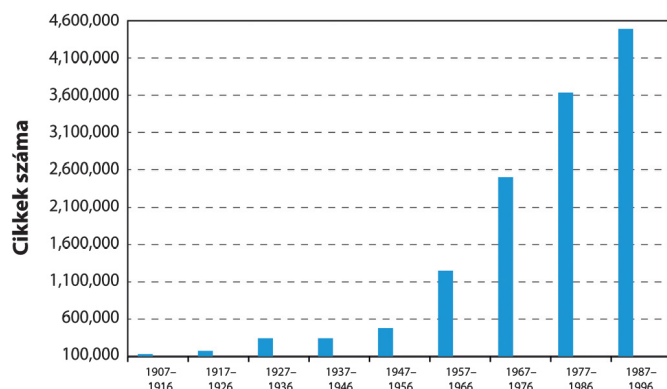
5. ábra. A természettudományi felfedezések lineáris növekedése [14]

egészítendő, valamint azért is, mert dolgozatunk kémiai jellegű, a 6. ábrán bemutatjuk az előzőekben említett legnagyobb kémiai adatbázis (CAS, Chemical Abstracts Service) szintén exponenciális növekedését.

Az ionos folyadékok szakirodalmának exponenciális növekedése

Az előbbiekben említettük, hogy az ionos folyadékok kutatásának, illetve szakirodalmának fejlődése háttérben az exponenciális növekedés áll. Ezt most, amikor konkrétan rátérünk az ezzel kapcsolatos példára, ki kell egészítenünk azzal, hogy egy exponenciális görbe jól jellemezhető azzal az időtartammal, amely

6. ábra. A Chemical Abstracts Service adatbázis exponenciális növekedése



7. ábra. Példák az ionos folyadékok szakirodalmának exponenciális növekedésére: a) exponenciálisnál gyorsabban növekedő kumulatív görbe (lásd 1. táblázat, XIII. cikk), b) exponenciálisnál gyorsabban növekedő kumulatív görbe (lásd 1. táblázat, XII. cikk), c) exponenciálisnál gyorsabban növekvő kumulatív görbe (lásd 1. táblázat, X. cikk), d₁) évente megjelenő cikkek száma (lásd 1. táblázat, IX. cikk), d₂) évente megjelenő cikkek kumulatív száma (lásd 1. táblázat, IX. cikk)

alatt a mért érték (jelen esetben az ionos folyadékok szakirodalmának) a kétszeresére nő (megduplázódik). Az ionos folyadékok 2020-ig átnézett szakirodalmában számos olyan cikket találtunk, ami többek között foglalkozott, illetve adatokat közölt az ionos szakirodalom exponenciális növekedéséről. Ezekből válogattuk azokat, amelyeket az 1. táblázatban foglaltunk össze. A táblázat felsorolja a cikkek címeit és szerzőit, azokat az időtartamokat, amikre a cikkekben foglalt, exponenciális növekedést mutató ábra vonatkozik, a szakirodalom méretének körülbelüli kétszeresedési idejét, a szerzők által alkalmazott adatbázisokat, valamint az ionos folyadékok alkalmazási területeit.

Talán itt érdemes felhívni a figyelmet arra, hogy az exponenciális görbék esetében a cikkek számát, egyes szerzők évenkénti értékben ábrázolták, más szerzők viszont azokat kumulatíván tüntették fel (7. ábra, d). Még érdekességként és Rogers professzor talányos utalásának egyik magyarázataként meg kell említsük, hogy az 1. táblázatban szereplő Plechkova és Sedlak, valamint Deetlef, Fanselow és Seddon dolgozataikban kiemelték, hogy az általuk mért és ábrázolt görbék növekedési sebessége a mért növekedési idő bizonyos szakaszaiban (7. ábra, a, b, c) az exponenciálisnál is gyorsabbnak bizonyult (meredekebb volt).

Az 1. táblázatban felsorolt cikkekből, de még az ionos folyadékok manapság elérhető teljes szakirodalmából is nehéz megbízható adatokat szerezni a teljes szakirodalom méretéről, illetve darabszámáról. Nincs kialakult megegyezés, elfogadott vélemény a téma területéről publikáló szerzők között. Ezt az is okozhatja, hogy mint a táblázatban látható, a szerzők többféle adatbázisból származó adatokat dolgoztak fel. Az egyik leg-



megbízhatóbb adatbázisnak a CAS által működtetett SciFinder látszik.

Természetesen az ionos folyadékok szakirodalmának növekedéséről sokat lehetne írni, úgyszintén az ezen folyadékokkal kapcsolatos szakmai tudásról, ismeretekről is (vigyázat: a publikált szakirodalom és a szakmai tudás nem ugyanazt jelenti!), de arra most és itt már nem térünk ki. Azzal a kijelentéssel fe-

jezzük be, hogy az ionos oldatok kutatási területe, valamint annak szakirodalma ma (2020) a kémia egyik legkiemeltebben fejlődő része. Ezt a mért adatokkal is bizonyítják az **1. táblázatban** említett cikk szerzői, Deetlef, Fanselow és Seddon, amikor dolgozatukban megemlítik, hogy például a 2013-ban megjelent 6265, ionos folyadékokról szóló cikk száma nagyobb, mint az ugyanabban az évben a szuperkritikus folyadékok (925), a szup-

1. táblázat. Az ionos szakirodalom exponenciális növekedésének illusztrálása

Nr.	Cikk címe és bibliográfiai adatai	Szerző(k)	Vizsgált évek	Szakirodalom kb. kétszereződési ideje, év	Adatbázis	Ionos folyadékok alkalmazási területe, megjegyzések
I.	Uses of Ionic Liquids in Analytical Chemistry, 2004, mariecurie.org/annals/volume3/berthod.pdf	A. Berthod, S. Carda-Broch	1966–2002	4,0	CAS Current Contents Medline IUPAC	exponenciális növekedés
II.	Dramatic Increase in Research on Ionic Liquids, IUPAC Ionic Liquids Database, IL Thermo, August 2005	Kian Dong et al.	1990–2004	3,5	CAS Current Contents Medline	exponenciális növekedés
III.	Ionic Liquids and Microwaves in Promotion of Organic Synthesis, Academic Dissertation, University of Helsinki, 2009	U. Hakalla	1990–2007	3,5	SciFinder	exponenciális növekedés, ionos folyadékok és mikrohullámok
IV.	Application of Ionic Liquids in Liquid Chromatography, Crit.Rev.Anal.Chem., 2007, 37, 127.	M. P. Marszall, R. Calisza	1980–2004	3,5	Scopus	exponenciális növekedés, ionos folyadékok a kromatográfiában
V.	Applications of Ionic Liquids in the Chemical Industry, Chem.Soc.Rev., 2008, 37, 123.	N. V. Plechkova, K. R. Seddon	1906–2006	2,0	SciFinder	exponenciálisnál meredekebb növekedés, ipari alkalmazások
VI.	Molecular Simulations of Phosphonium-based Ionic Liquid, Molec.Simulation, 2010, 36, 79,	X. Liu et al.	1999–2008	4,0	ISI WOS	exponenciális növekedés
VII.	Hybrid Organic-Inorganic Materials Based on Polyoxometalates and Ionic Liquids and their Application in Catalysis, International Scholarly Research Notices, 2014	S. Ivanova	2000–2013	4,0	Science Direct	exponenciális növekedés, alkalmazás katalízisben
VIII.	Ionic Liquids: Alternative Reactive Media for Oxidative Enzymes, in: Ionic Liquids: Applications and Perspectives, February 21, 2011	O. Rodriguez et al.	2000–2010	4,0	WOS	exponenciális növekedés, enzimológiai alkalmazás
IX.	Application of Ionic Liquids in Hydrometallurgy, Int.J.Mol.Sci., 2014, 15, 15320.	J. Park et al.	1999–2013	4,0	CAS	exponenciális növekedés, hidrometallurgiai alkalmazás
X.	Ionic Liquids: The View from Mount Improbable, R.S.C.Adv, 2016, 6, 4280.	M. Deetlefs, M. Fanselow, K. R. Seddon	1980–2014	2,0	SciFinder	exponenciálisnál meredekebb növekedés
XI.	Meta-Analysis of Ionic Liquid Literature and Toxicology, Chemosphere, 2016, 150, 266.	M. E. Heckenbach et al.	2000–2014	3,5	SciFinder	exponenciális növekedés, ionos folyadékok, toxikológia
XII.	A Bibliometric Analysis of Research on Supported Ionic Liquid Membranes, 2017, 7, 63.	R. Abeion, H. Perez-Acebo, A. Garea	1998–2015	2,5	CAS	exponenciális növekedés, függesztett ionos folyadékok
XIII.	Brief Bibliometric Analysis of Ionic Liquid Applications, Environmental Research, 2019, 175, 34.	I. A. Lawal et al.	1960–2020	2,0	Scopus	exponenciálisnál meredekebb növekedés, szerves szennyezők adszorpciója



ravezetés (1781) és a C_{60} (2260) témákban megjelentek cikkek száma együttvéve.

Utószó

Annak ellenére, hogy a dolgozatban leírtak után még mindig úgy érzem, hogy az ionos folyadékok kutatási területén felhalmozott emberi ismeret, tudás, valamint a szakirodalom fejlődési sebessége valóban lenyűgöző, be kell ismernem, hogy nem voltam képes eleget tenni e dolgozat előszavában tett ígéretemnek, hogy megpróbálom kideríteni, mire utalt Rogers professzor, amikor leírta, hogy az „ionos folyadékok ellentmondanak a józan észnek”. Egy feltételezhető magyarázatom azért van, és pedig az, hogy Rogers professzor *Albert Allen Bartlett* fizikusprofesszor [16] „The greatest shortcoming of the human race is our inability to understand the exponential function” (Az emberiség legnagyobb hiányossága az exponenciális függvény megértésének képtelensége) felvetésének hatására alakította ki véleményét.

Be kell vallanom, hogy végül kiderült, fenti magyarázatom téves. Ugyanis nem tudtam megállni, hogy ne írjak Rogers professzornak (2020. március 11.) kérve az ő magyarázatát. Postafordultával válaszolt, levelét a **8. ábra** mutatja be.

Sapientia sat.



Irodalom

- [1] P. Walden, *Bull. Acad. Inter. Sci. (St. Petersburg)* (1914) 8, 405.
- [2] R. D. Rogers, *Nature* (2007) 447, 917.
- [3] R. Heynes, G. G. Nufar, R. Aimu, *M. Reviews* (2015) 115, 6332.
- [4] I. Newmington, J. M. Perez-Arlandis, T. Welton, *Org. Lett.* (2007) 9, 5247.
- [5] M. Kosmulski, J. Gustafsson, J. B. Rosenholm, *Thermochim. Acta.* (2004) 412, 47.
- [6] M. J. Earle, J. M. et al., *Nature* (2006) 439, 831.
- [7] D. M. Fox et al., *Ind. Eng. Chem. Res.* (2008) 47, 6327.
- [8] M. Galinski, A. Lewandowski, I. Stepniak, *Electrochim. Acta.* (2006) 51, 5567.
- [9] D. R. MacFarlane, M. Kar, J. M. Pringle, *Fundamentals of Ionic Liquids. From Chemistry to Applications*, Wiley, VCH Verlag GmbH, 2017.
- [10] N. Plechkova, K. R. Seddon, *Chem. Soc. Rev.* (2008) 32, 123.
- [11] J. D. deSolla Price, *Little Science, Big Science*. Columbia University Press, 1963.
- [12] A. Conan Doyle, *Belgravia Magazine* (1885) 57 (July), 52.

Hi Tibor:

Good luck on your project! The *Nature* paper was written in a time when ionic liquids were still quite misunderstood (perhaps they still are). Even by 2007, many classically trained chemist (particularly Inorganic chemist) could not wrap their heads around salts (ionic compounds) which were liquid. The ‘common sense’ of the field was that ionic compounds would be high melting solids rather than expectations for molecular compounds. Thus, classes (of very large numbers of possibilities) of salts which were liquids, many at or below room temperature, was surprising to people. The fact that they could be used as solvents at room temperature just like classic molecular solvents didn’t ‘make sense’ to many. I can tell you at the time, it wasn’t that easy to explain this to referees!

Before airplanes were invented, the concept of a human flying was against ‘common sense’ at the time.

Regards,
Robin

Prof. Robin D. Rogers
Research Professor, The University of Alabama,
Tuscaloosa, AL

8. ábra. Rogers professzor válaszelevele

- [13] F. Engels, *Dialektik der Natur*, 1883 (in: A. Schubert, *ISI Newsletter* (2019) 15, 64.)
- [14] S. Fortunato et al., *Science* (2018) 359, 185.
- [15] S. Milojevic, *J. Informetrics* (2015) 9, 982.
- [16] Albert Allen Bartlett, *The Essential Exponential! (For the Future of Our Planet)*. University of Colorado, Boulder, 2004.
- [17] J. Tague, J. Behesti, L. Rees-Potter, *Library Trends* (1981) 30, 125.

Magó Károly Legendák és tények a „magyartarkáról”



Tanulmányom célja a *Magyar Kémikusok Lapjának* 4. és 5. számában megjelent „*Magyartarka*” *testközelből* című cikkel kapcsolatos új információk közreadása, valamint a Kraye E. és Társa Festék-, Kence és Lakkgyár¹ valós szerepének bemutatása a Magyar Királyi Honvéd Légierő festékellátásában.

Bevezető

A magyar repülőipar egyik fontos beszállítója a Kraye festékgyár volt. A rendelkezésre álló bizonyítékok alapján a Kraye szerepét két részre kell osztani a katonai álcázó festékek területén. A gyár törekedett a saját repülőgépfesték gyártására és a légierő

álcázófesték-igényeinek folyamatos biztosítására külföldről importált festékek forgalmazásával. A vegyes építésű repülőgépekre készült festékreceptek, majd a modern könnyűfém szerkezetű repülőgépekre alkalmas festékek kísérleti gyártásai a német technológia (Titanine Werk GmbH, Beckacite Kunstharzfabrik GmbH) honosítását bizonyítja. A Kraye beszállítói szerepe pedig a német Hebig-Haarhaus AG festékein alapult a dokumentumok alapján.

¹ Továbbiakban: Kraye. A Kraye előbb leírt cégneve az általam talált legkorábbi, 1915. október 30-án keltezett dokumentumon szerepel. A gyár megnevezésében később a gyártott vegyipari termékek felsorolása és sorrendje többször változott.