

## KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

## A Raoult-törvény

Tiszta anyagok gőznyomásáról már az előzőekben írtunk (lásd Clausius–Clapeyron-egyenlet). Azt többen is megfigyelték, hogy ha folyékony oldószerben olyan anyagot oldunk fel, amelynek az adott hőmérsékleten nincs mérhető gőznyomása (tenziója), így például cukrot vagy sót vízben, az oldószer egyensúlyi gőznyomása kisebb lesz ( $p_1$ ), mint amit a tiszta oldószerre mérhetünk ugyanolyan hőmérsékleten ( $p_1^\circ$ ). François Marie Raoult volt az, aki hosszú évekig tartó gondos kísérletezés után megállapította ennek a jelenségnek a törvényszerűségeit az 1880-as években. Megfogalmazta, hogy híg oldatok esetén az oldószer relatív gőznyomás-csökkenése ( $\Delta p_1 = p_1^\circ - p_1$ ) arányos az oldat molalitásával ( $m$ ). A molalitást Raoult-koncentrációnak is nevezik, bár a koncentráció kifejezés szigorúan nem érvényes, mert azt definíciószerűen térfogategységre vonatkoztatjuk. Az arányossági tényező ( $C$ ) nem függ az oldott anyag anyagi minőségétől, hanem csak az oldószerétől (annak  $M_1$  molekulatömegétől). Eszerint

$$\Delta p_1 / p_1^\circ = C m. \quad (1)$$

Ez a róla elnevezett törvény egyik alakja.

A  $C$  tényezőről Raoult kimutatta, hogy az  $M_1/1000$ , azaz az oldószer mólszáma 1000 g oldószerben, amelyre az  $m$  molalitást vonatkoztatjuk. Következésképpen

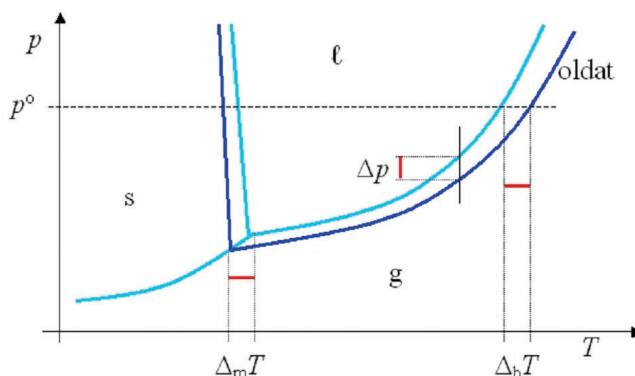
$$M_1 m / 1000 = n_2 / n_1, \quad (2)$$

vagyis az oldott anyag és az oldószer mólszámainak viszonya, ami híg oldatban gyakorlatilag azonos az oldott anyagra vonatkozó móltörttel. Az oldatban az oldószer  $x_1$  móltörtjének és az oldott anyag  $x_2$  móltörtjének az összege: 1. (Akárhányféle oldott anyag lehet, akkor  $x_2$  helyett  $\sum x_i$ -vel számolunk.) Viszont a Raoult-törvény csak híg oldatokra érvényes ( $x_1 \gg x_2$ , illetve  $x_1 \gg \sum x_i$  esetén), ekkor jó közelítéssel  $x_1 \sim 1$ , és

$$p_1 / p_1^\circ = x_1. \quad (3)$$

Ez a Raoult-törvény egyik gyakorta használt formája [1]. Fontos megjegyezni, hogy a Raoult-törvény érvényes folyadékelegyekre is. Itt az elegyítési aránytól függően hol az egyik, hol a másik folyadék az oldószer. A Raoult-törvény itt is abban a koncentrációtartományban érvényes, amelyben az egyik komponensre nézve az elegy hígna tekinthető. Kivételt képeznek az ideális elegyek; ilyenkor a teljes koncentrációtartományban érvényes a Raoult-törvény. Ezek általában hasonló kémiai felépítésű molekulák elegyei (például benzol-toluol).

Könnyen beláthatjuk, hogy a fagyáspont-csökkenés és a forráspont-emelkedés is a gőznyomás csökkenésével van kapcsolatban. A nyomást a hőmérséklet függvényében ábrázolva (1. ábra) a viszonyok könnyen áttekinthetők.



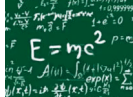
1. ábra. Az oldószer (víz) (világoskék vonal) és egy vizes oldat (sötétkék vonal) fázisdiagramján ábrázolva a gőznyomás-csökkenés,  $\Delta p$ , a forráspont-emelkedés,  $\Delta_b T$  és a fagyáspont-csökkenés,  $\Delta_m T$ . A gőznyomáscsökkenésből ( $\Delta p$ ) következik a forráspont-emelkedés (hiszen akkor nagyobb hőmérsékleten érjük el ugyanazt a nyomást, illetve a fagyáspont-csökkenés, mert az oldat gőznyomásgörbéje kisebb hőmérsékleten fut bele a fagyási görbébe. Az s, l és g betűk rendre a szilárd-, a folyadék-, illetve a gáz(gőz)fázist jelentik (dr. Báder Imre rajza)

Oldatok esetében – kivéve, ha az oldott anyag az oldószerrel elegykristályt képez – az oldószer fagy ki. A kifagyás kisebb hőmérsékleten indul meg, mint a tiszta oldószer esetén. A fagyáspont csökkenésének mértéke az oldott anyag mennyiségétől függ, és függ az oldatra nehezedő  $P$  nyomástól, miként a tiszta oldószer esetében is. Termodinamikai megfontolások alapján levezethető, hogy híg oldatokra, ideális viselkedésű oldószer esetén, a fagyáspont-csökkenés ( $\Delta T$ ):

$$\Delta T = T_{op} - T = RT_{op}^2 x_2 / \Delta H_{sl} = RT_{op}^2 m_2 / \Delta h_{sl}, \quad (4)$$

ahol  $T_{op}$  a tiszta oldószer olvadáspontja,  $R$  a gázállandó,  $x_2$  az oldott anyag móltörtje és  $\Delta H_{sl}$  a moláris olvadáshő,  $\Delta h_{sl} = \Delta H_{sl} / M_1$  (lásd a (2) egyenletet) az oldószer fajlagos olvadáshője.

Definiálhatjuk az 1 mólos oldat fagyáspontcsökkenését, amit mo-



lális fagyáspontcsökkenésnek nevezzük, és az oldószer anyagi állandója:

$$\Delta T_m = RT_{op}^2 / 1000 \Delta h_{sl}. \quad (5)$$

Említettük, hogy a vizsgált effektus csak az oldószerre jellemző. Tehát a termodinamikai egyenletekben az oldószer móltörtje ( $x_1$ ), pontosabban a kémiai potenciál koncentrációfüggésére vonatkozó összefüggések miatt ennek logaritmus szerepel. Mivel  $x_1 = 1 - x_2$  és híg oldatoknál  $x_2 \ll 1$ , közelítőleg igaz, hogy  $\ln(1 - x_2) = -x_2$ . Így kerül be az oldott anyagra jellemző mennyiség az egyenletekbe. Az előzőekben láttuk, hogy ezáltal az oldott anyag egy fontos jellemzője, azaz az  $M_2$  molekulatömeg kiszámítható a mérések eredményéből. Ugyanis ha 1000 g oldószerben  $g_2$  gramm anyagot oldunk fel, az oldat molalitása  $m_2 = g_2 / M_2$  lesz.

Igy az ismeretlen mólsúly meghatározására az alábbi egyenlet szolgál:

$$M_2 = g_2 \Delta T_m / \Delta T. \quad (6)$$

## François Marie Raoult



2. ábra. François Marie Raoult, fénynyomat (Meisenbach, Riffarth & Co. Leipzig, Zeitschrift für Physikalische Chemie (1898) 27.)

François Marie Raoult (Fournes, 1830. május 10. – Grenoble, 1901. április 1.) [2–5] (2. ábra) édesapja a társadalombiztosító alkalmazottjaként kereste a kenyerét. Úgy volt, hogy hősünk a helyi okmányirodában kezd dolgozni, de végül sikerült Párizsba utaznia, hogy tanuljon. A megélhetési gondok miatt később Raoultnak meg kellett szakítania tanulmányait. 1853-ban már publikált egy cikket elektrolitok transzportjáról áram hatására [Comptes rendus, (1853) 36, 826].

1853-tól gimnáziumban kezdett tanítani Reimsben különböző segédtanári állásokban, majd 1862-től Sensban folytatta kémia-tanárként. Itt készítette el doktori dolgozatát, ami az elektromotoros erő tárgyalta, és 1863-ban Párizsban nyerte el a fizikai doktori fokozatot.

1867-től előadó tanárként a Grenoble-i Egyetemen kezdett kémiát tanítani, majd 1870-től a tanszék vezető professzora lett, és élete végéig ott szolgált. Az első időkben továbbra is az elektrokémia cellák jelenségeit vizsgálta. Később vizsgálatának fő tárgya az oldatok viselkedése lett [6–11]. Ennek során jutott el ahhoz a felismeréshez, hogy az oldatok esetén tapasztalt fagyáspontcsökkenés és a gőznyomáscsökkenés mértéke között összefüggés van. Szisztematikusan különböző oldószer- és oldottanyag-párokat vizsgált, és rájött arra, hogy híg oldatok esetén (vagyis ha az oldószer és az oldott anyag molekulái számának aránya legalább 100:1) a fagyáspontcsökkenés csak az oldott anyag molekuláinak számától függ, és független az oldott anyag anyagi minőségétől [8, 9]. Pontosan 100:1 aránynál az adódott, hogy a fagyáspont mindig 0,62 °C-kal csökken [8]. Ezt elnevezte az oldószerek fagyási törvényének („Loi générale de congélation des dissolvants”).

A cikk magyar fordításából [9] idézünk: „A kísérletek, melyek során több mint kétszáz vegyület került feloldásra hat különböző folyadékokban, számosak, és egyöntetűen alapot szolgáltatnak az alábbiakhoz: Minden test a megszilárdulásra képes folyékony vegyületben való oldásakor csökkenti a fagyáspontot. Minden folyadék esetében érvényesül, hogy a molekuláris fagyáspontcsökkenés, amelyet különböző vegyületek váltanak ki, a folyadékra való tekintet nélkül két értékhez közelít, melyek közül az egyik a másik kétszerese. A nagyobbik észlelhető gyakrabban; ez jelenti a normális molekuláris csökkenést. A kisebb érték annak az esetnek felel meg, amikor a feloldott test molekulái kettesével összekapcsolódnak. A normális molekuláris fagyáspontcsökkenés az oldószertől függően változik: vízre 37, hangyasavra 28, ecetsavra 39, benzolra 49, nitrobenzolra 70,5, etilén-dibromidra 117. Ha ezeket a számokat elosztjuk a megfelelő oldószer molekulatömegével (ami ugyanaz, mintha az eredményt arra az esetre vezetnénk vissza, amikor 100 oldószer-molekula tartalmazza a feloldott test egy molekuláját), a hányadosok – a víz kivételével – alig különböznek egymástól. Tehát víz 37:18 = 2,050; hangyasav 28:46 = 0,608; ecetsav 39:60 = 0,650; benzol 49:78 = 0,628; nitrobenzol 70,5:123 = 0,600; etilén-bromid 117:188 = 0,623. A víz sem lesz kivétel, ha figyelembe vesszük, hogy fizikai molekulái három kémiai molekulából képződnek, legalábbis a fagyáspont közelében. A következő törvényt fogalmazhatjuk tehát meg: Bármely vegyület egy molekulája, mely tetszőleges, a vegyülettől különböző folyadék 100 molekulájában van feloldva, ennek a folyadéknak a fagyáspontját közel állandó mennyiséggel, 0,62 fokkal csökkenti.”

Raoult az oldatok gőznyomására is hasonló törvényt állapított meg, vagyis az oldószer gőznyomása csökken az oldott anyag koncentrációjával, és a csökkenés arányos az oldott anyag molekulatömegével. Az oldatok gőznyomásának csökkenése a forráspont emelkedésével járt, amire ugyanazok a szabályok vonatkoznak [10].

Megint érdemes az erre vonatkozó cikk magyar fordításából [11] idézni: „Az oldatok K gőznyomásának molekuláris csökkenése, vagyis a nyomásnak az a relatív csökkenése, amelyet egy anyag egyetlen molekulája idéz elő 100 gramm illékony folyadékban, a következő képlet alapján számítható ki:

$$K = \frac{f - f'}{fp} \times M$$

ahol  $f$  a tiszta oldószer gőznyomása,  $f'$  az oldat gőznyomása,  $M$  az oldott anyag molekulatömege,  $p$  ennek az anyagnak a súlya 100 gramm oldószerezellel készült oldatban, ha feltesszük, hogy a nyo-



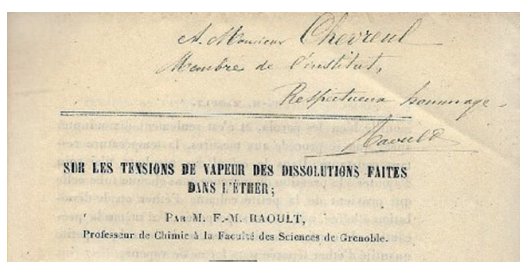
más relatív csökkenése,  $(f - f')/f$  arányos a koncentrációval. Mivel ez az arányosság még híg oldatok esetében is ritkán érvényesül szigorúan, ezekben az összehasonlító vizsgálatokban olyan oldatokat kellett használnom, amelyek molekuláris koncentrációja szinte mindig azonos, és az oldatokban az illékony oldószer 100 molekulájára az oldott anyag négy-öt molekulája jut. Nagyobb hígítás esetén nem végezhetnék kellően pontos méréseket. Az összes mérést a barometrikus módszerrel hajtottam végre, és ugyanúgy jártam el, mint az éteres oldatok esetében. A csövek párhuzamos üveglapokkal határolt, folyamatosan kevert, tetszés szerint fűthető vízfürdőbe merültek. [...] Tizenkét különböző, illékony folyadékot használtam oldószerként, nevezetesen vizet, foszfor-kloridot, a szén szulfidját, kloroformot, pentént, benzolt, metil-jodidot, etil-bromidot, közönséges étert, acetont, metil-alkoholt. Vízben a következő szerves anyagokat oldottam fel: nádcukrot, glükózt, borkősavat, citromsavat, karbamidot. Az összes anyag érzékelhetően ugyanazt a molekuláris gőznyomáscsökkenést idézte elő:  $K = 0,185$ . Az ásványi anyagokat egyelőre félretettem; ezen anyagok hatásának megállapítására Wüllner, jómagam és nemrégiben M. Tamman végzett elegendő eredményes kísérletet.

A víztől különböző oldószerekben a lehető legkevésbé illékony anyagokat oldottam fel. A következők közül válogattam: terpen-tinolaj, naftalin, antracén, szén-szesszviklorid [ $C_2Cl_6$ ], metil-szalicilát, etil-benzoát, antimon-klorid, higany-etil, benzoész, valeriánsav, triklór-ecetsav, timol, nitrobenzol és anilin. A vegyületek gőznyomása miatti hiba rendszerint elhanyagolhatóan tekinthető. Az oldott anyagok gőznyomását nagy oldószerefelesleggel készült keverékek valójában jelentősen csökkentik; ahhoz, hogy az eredményt ne befolyásolja számottevően, mindössze annyi szükséges, hogy a kísérleti hőmérsékleten az oldott anyagok gőznyomása ne haladjon meg az 5–6 millimétert.

Ugyanabban az oldószerekben a különböző testek által okozott molekuláris gőznyomáscsökkenés két érték körül mutatkozik. Ezek egyike, amelyet normálisnak nevezek, a másik kétszerese. Az egyszerű és klórozott szénhidrogének, valamint az éter mindig normális csökkenést idéz elő, míg a savak szinte mindig anormális csökkenést produkálnak. Vannak azonban olyan oldószerek is, amelyekben az összes oldott test ugyanolyan molekuláris nyomáscsökkenést okoz; ilyen például az éter és az acetont. Az illékony oldószerek közül két anyag, a víz és a benzol esetében a fagyáspontcsökkenést is alaposan tanulmányoztam. Az eredmények összehasonlítása azt mutatja, hogy az azonos oldószerekkel készült összes oldat esetében a molekuláris fagyáspontcsökkenés és a molekuláris gőznyomáscsökkenés csaknem állandó viszonyban van egymással. Vízben ez az arány 100, benzolban 60.”

Ebből az időből származik az a cikke is, amelyek címlapjának részletét a dedikációval érdekessége miatt bemutatam. A tiszte-

3. ábra. F.-M. Raoult, Sur les tensions de vapeur des dissolutions faites dans l'éther című cikkének címlapja, az Eugène Chevreulnak írt ajánlással (Ann. Chim. Phys. (1888) 15, 375 407.)



letpéldányt az akkor 102 éves Michel-Eugène Chevreul (1786–1889) akadémikusnak küldte (3. ábra). Chevreul a zsírsavak, a szappan- és gyertyagyártás (sztearin- és viaszgyertyák gyártására Gay-Lussackkal alapított manufaktúrát), a színezékek és a színskála területén végzett úttörő munkát, előállította és elnevezte a margarint, a kreatint, a glicerint és a koleszterint, szerepe volt a vegyület fogalmának meghatározásában. Kora gyakorlatilag minden akadémiájának tagja volt, és minden rangos kitüntetés megkapott.

Raoult több összefoglaló cikket is írt. Az egyik ilyen, kivételesen német nyelvű cikkéből mutatunk be részleteket a 4. és az 5. ábrán.

#### Ueber Präzisionskryoskopie. sowie einige Anwendungen derselben auf wässerige Lösungen.

Von  
F. M. Raoult<sup>1)</sup>.  
(Mit 9 Figuren im Text.)

Die Methoden, welche gegenwärtig in Gebrauch sind, um den Gefrierpunkt einer wässerigen Lösung zu bestimmen, laufen alle auf die Rückführung hinaus. Diese letztere wird folgendermaßen ausgeführt: In die Lösung wird ein empfindliches Thermometer gebracht und dieselbe unter fortwährendem Rühren langsam abgekühlt. Nachdem die Temperatur um einige Grade unter die normale Gefrierpunkttemperatur gesunken ist, wird ein Partikelchen Eis eingeführt. Die Überkaltung wird sofort aufgehoben, und die Temperatur steigt bis zu einem gewissen Punkt, wo sie einige Zeit konstant bleibt. Diese Temperatur ist dann die scheinbare Gefrierpunkttemperatur der fraglichen Lösung. Diese Temperatur nähert sich um so mehr der wahren Gefrierpunkttemperatur, je geringer die relative Menge des entstandenen Eises ist, und je näher die Temperatur der Lösung, im Moment der Beobachtung, der Temperatur der Umgebung ist.

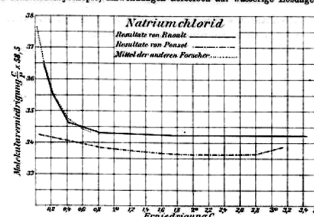
Die Gefrierpunktniedrigung einer wässerigen Lösung ist die Differenz zwischen dem Gefrierpunkt dieser Lösung und demjenigen des reinen Wassers, wenn beide Gefrierpunkte auf die gleiche Weise bestimmt worden sind.

Diese Erniedrigung kann mit einem viel grösseren Grad der Annäherung erhalten werden, als jede einzelne Temperatur (deren Differenz sie bildet) für sich allein. In der That, wenn man dafür Sorge trägt, dass die Gefrierpunktbestimmungen der Lösung und des reinen Wassers kurze Zeit nacheinander und unter gleichen Umständen ausgeführt werden (d. h. mit dem gleichen Apparat, bei der gleichen Temperatur des Kühlbades, mit dem gleichen Grade der Überkaltung u. s. w.), so besteht eine grosse

<sup>1)</sup> Übersetzt von R. Luther.

4. ábra. Raoult vizes oldatok precíziós krioszkópiás vizsgálatáról szóló összefoglaló cikkének címlapja (Zeitschrift für Physikalische Chemie Stöchiometrie und Verwandtschaftslehre (1898) 27, 617–661.)

#### Über Präzisionskryoskopie, Anwendungen derselben auf wässerige Lösungen. 659



Die Mittelkurve der übrigen Forscher fiel fast vollständig mit der meinigen zusammen; beide steigen stark bei der Annäherung an die Anfangsordinate. Sie beweisen beide die von mir seit 1885 (Ann. de chim. et de phys. (6) 8) betonte Thatsache, dass die molekulare Erniedrigungen des Chloratriums von  $C = 0,5$  ab, rasch zunehmen, in dem Masse, wie  $C$  kleiner wird; sie nähern sich einer Grenze, welche zwischen 37,4 und 36,9, im Mittel bei 37,2 liegt. Wie erichtlich, ist diese Zahl ziemlich genau doppelt so gross, wie die molekulare Normalerniedrigung 18,5 in Übereinstimmung mit den Betrachtungen von Arrhenius.

#### Kaliumchlorid.

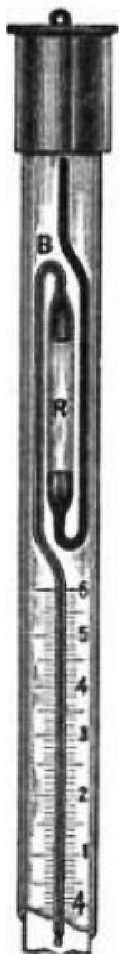
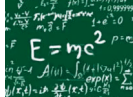
Die bereits S. 646 mitgetheilten korrigierten Molekularearniedrigungen des Kaliumchlorids sind in der folgenden Tabelle detailliert wiederholt.

| P                                  | C                              | C                          |
|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Gewicht von KCl<br>in 100 g Wasser | Gefrierpunkts-<br>erniedrigung | Molekulare<br>Erniedrigung |
| 1,400 g                            | 3,8664                         | 39,28                      |
| 3,500                              | 1,4012                         | 39,24                      |
| 1,708                              | 0,7091                         | 39,72                      |
| 0,975                              | 0,4007                         | 39,12                      |
| 0,435                              | 0,2025                         | 34,62                      |
| 0,211                              | 0,1031                         | 35,38                      |
| 0,100                              | 0,0509                         | 35,11                      |

Diese Resultate sind in der Fig. 9 durch die voll ausgezogene Linie dargestellt. Die sie begleitende punktierte Linie repräsentiert das Mittel aus den molekularen Erniedrigungen, wie sie seit dem Jahre 1893 von verschiedenen Forschern in guter Übereinstimmung gefunden sind.

5. ábra. A 4. ábrán bemutatott cikk egyik oldala

Raoult folyamatosan javította módszerét, egyre pontosabb eredmények elérése érdekében. A fagyáspontcsökkenés és a forráspont-emelkedés méréseiben sokat jelentett az Ernst Otto Beckmann (1853–1923) német vegyész által kifejlesztett hőmérő (6. ábra), ami kis hőmérséklet-különbségek pontos mérésére is alkalmas volt [12–14]. Beckmann az 1912-ben alapított berlin-dahle-mi Kaiser Wilhelm Fizikai Kémiai és Elektrokémiai Intézet első igazgatója volt. A Beckmann-hőmérő mellett a Beckmann-átrendeződés névadója.



6. ábra. A Beckmann-féle differenciális hőmérő (1918) felső részének rajza (E. S. Ferry, Handbook of Physics Measurements (1918) 67.)

Raoult módszere új utat nyitott oldott anyagok molekulaszámának meghatározására. A vizes elektrolitoldatok esetében még híg oldatok esetében is eltérést észleltek: a vártnál nagyobb érték adódott. Ez azonban nem cáfolta Raoult törvényét, hanem egy régen feltételezett hipotézist erősített meg: az elektrolitos disszociáció létezését. Ugyanis ha például egy só a víz, mint oldószer, hatására egy anionra és egy kationra bomlik, akkor a részecskék száma megkétszereződik, így a mért fagyáspontcsökkenés nagysága is kétszeres lesz. Részleges disszociációnál pedig a szorzószám 1 és 2 közé esik. Így került Raoult kapcsolatba van 't Hoff-fal, aki rövidesen megadta a híg oldatok törvényeinek termodinamikai levezetését, és Wilhelm Ostwalddal, aki ezen a területen dolgozott, és felismerve Raoult módszerének hasznosságát, valamint eredményeinek fontosságát népszerűsítette a tudóst és munkáját. (Erre céloz van 't Hoff, amikor megemlékezésében arról ír, hogy Raoult hírneve először külföldön alapozódott meg.)

1892-ben Raoult megkapta a Royal Society tag-ságát és a Davy-érmet. Ez a kitüntetés igencsak jelentős pénzdíjjal, 1000 angol fonttal járt. De ahhoz, hogy ezt igazán értékelni tudjuk Raoult esetében, érdemes megnézni, hogy kik kapták előtte és utána. Első ízben 1877-ben adták át Bunsennek és Kirchhoffnak. A teljes felsorolást mellőzve 1881-ben Adolf

von Baeyer, 1882-ben Mengyelejev és Lothar Meyer megosztva, 1888-ban William Crookes, 1889-ben William Henry Perkin, 1890-ben Emil Fischer kapta meg. Csak Raoult után nyerte el 1893-ban van 't Hoff és Joseph Le Bel megosztva, 1894-ben Per Theodor Cleve, 1895-ben Sir William Ramsay, 1896-ban Henri Moissan, 1902-ben Arrhenius, 1903-ban Pierre Curie és Marie Curie. Raoult-t élete utolsó tíz évében Franciaországban is elismerték a következő kitüntetésekkel: Prix International de Chimie LaCaze (1889), Francia Tudományos Akadémia levelező tagsága (1890), Prix de l'Institut de France (1895), Commandeur de la Légion d'Honneur (1900)]. Ritkaság volt az is, hogy a Grenoble-i Egyetem 70 éves korában nem nyugdíjazta.

Halála után olyan nagyság búcsúztatta, mint a friss Nobel-díjas Jacobus van 't Hoff (7. ábra) [3]. Van 't Hoff, akit szakmai kapcsolat fűzött Raoult-hoz, így jellemezte Raoult egyéniségét, életét és tudósi nagyságát: „Bár szeretetreméltó, társaságkedvelő ember volt, úgy tűnik, hogy inkább a visszavonultságban lelte kedvét. Ritkán hagyta el Franciaországot, élete nagyobb részét egy mindentől távol eső városban, Grenoble-ban élte le. Raoult élete kevés vonzó elemet mutat, nem volt romantikus, románcot a hosszú évek munkája után a majdnem hirtelen fel-emelkedés jelentette a hírnév magaslatára, ami a világ egy eldugott sarkából egyre terjedt, először saját hazája határain túl, majd Franciaországban is, és így vált kora egyik legkiválóbb tudósává.”

Nemcsak Európában, hanem az Atlanti-óceán túlsó partján is megemlékeztek Raoult-ról [2]. Ennek utolsó mondatában megemlíti a szerző, hogy „bár [...] mások is értek el eredményeket ezen a területen, de említésre méltó, általánosan érvényes következtetést nem tudtak levonni”. Pedig a sikernek mindig sok gaz-

## RAOULT MEMORIAL LECTURE.

(DELIVERED ON MARCH 26TH, 1902.)

By J. H. van't Hoff, Member of the Prussian Academy of Science, and Professor in the University of Berlin.

THE foreign honorary member whom the Chemical Society lost a year ago, although of an amiable, social character, seems to have been a man of retiring disposition. He rarely left France, and for the larger part of his life lived in that somewhat out of the way town, Grenoble.

Raoult's life thus offers little of attractiveness; it is not romantic; yet, after many years of work, the romance of his life was that almost sudden rise to fame, spreading from this nearly unknown corner, first over the frontier of his country, and then back to France, which made him one of the most prominent men of science of his age.

François-Marie Raoult, born on the 10th of May, 1830, in Fourmes, in the département du Nord, in France, was of modest origin, his father having been an employé des Contributions. It was intended that he should enter the Bureaux de l'Enregistrement, but this career did not satisfy his aspirations, so he left the Enregistrement and obtained permission to go to Paris, there to pursue his studies. Without fortune or patronage, young Raoult was a student struggling for a livelihood, unable to finish his studies without himself providing the means.

So he gave up studying at Paris, some years later, in 1853, after presenting to the Académie des Sciences a short communication, probably his first, containing observations on the transport of electrolytes by the action of the galvanic current as well as on electrical endosmosis (*Compt. rend.*, 1853, 36, 826). Characteristic of the circumstances in which he pursued these investigations are his concluding words: "Je laisse à d'autres plus fortunés que moi le soin de mener la science plus avant dans la voie nouvelle que je viens de lui ouvrir."

It was in the same year, 1853, that Raoult accepted the appointment of *Aspirant répétiteur* in the Rheims Lycée, becoming in 1855 *Régent de physique* in the College of St. Dié; in 1856, *Professeur adjoint*, and subsequently *Chargé de cours de physique* in Rheims again; in 1860 in Bar-le-Duc; his leisure having been employed in obtaining his degree as *Licencié ès-sciences physiques* and *Agrégé de l'Enseignement secondaire spécial*. In 1862, he left Bar-le-Duc for a corresponding position in Sens, and in this small country town, with no intellectual resources, left to his own initiative amid adverse material surroundings, forced

VOL. LXXXI.

3 T

## 7. ábra. Van 't Hoff emlékeszédének első oldala [3]

dája van. Nem szerepel a *Science*-cikk (8. ábra) névsorában Wilhelm Ostwald, pedig ő is úgy érezte, hogy neki is része volt a történetben, sőt legalább annyi, mint Raoult-nak. Ugyanis könyvé-

8. ábra. A *Science* megemlékezése Raoult-ról [2]

FRIDAY, JUNE 7, 1901.

FRANÇOIS MARIE RAOULT.

## CONTENTS:

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| François Marie Raoult: PROFESSOR H. C. JONES.                                                                                                                                                          | 881 |
| Charles Hermite: JUAN J. DE LANA-LORIGA.                                                                                                                                                               | 883 |
| The Extra-Nuptial Nectaries in the Common Brak.                                                                                                                                                        |     |
| Pteridium aquilinum: PROFESSOR FRANCIS E. LLOYD.                                                                                                                                                       | 885 |
| The British National Antarctic Expedition: PROFESSOR EDWARD B. POULTON.                                                                                                                                | 890 |
| First Report of the Limnological Commission of the American Microscopical Society: PROFESSOR A. E. BIGGIE, PROFESSOR C. H. EIDENMANN, PROFESSOR C. A. KOPPEL, DR. G. C. WHIPPLE, PROFESSOR H. B. WARD. | 897 |
| North Carolina Section of the American Chemical Society: DR. C. B. WILLIAMS.                                                                                                                           | 899 |
| The American Association for the Advancement of Science.                                                                                                                                               | 902 |
| Scientific Books:—                                                                                                                                                                                     |     |
| Ward on the Mesozoic Flora of the United States: PROFESSOR D. P. FENSHALL.                                                                                                                             |     |
| Kent's Steam-boiler Economy: PROFESSOR E. H. THURSTON.                                                                                                                                                 |     |
| Dodge's Reader in Physical Geography: DR. J. PAUL GOODE.                                                                                                                                               |     |
| Air, Water and Food: PROFESSOR WILLIAM P. MASON.                                                                                                                                                       | 904 |
| Books Received.                                                                                                                                                                                        | 908 |
| Scientific Journals and Articles.                                                                                                                                                                      |     |
| Societies and Academies:—                                                                                                                                                                              |     |
| Biological Society of Washington: F. A. LUCAS.                                                                                                                                                         |     |
| Chemical Society of Washington: DR. L. S. MURSON.                                                                                                                                                      |     |
| Torrey Botanical Club: PROFESSOR E. S. BURRESS.                                                                                                                                                        |     |
| The Onondaga Academy of Sciences: DR. PHILIP F. SCHNEIDER.                                                                                                                                             | 909 |
| Discussion and Correspondence:—                                                                                                                                                                        |     |
| The Larynx as an Instrument of Music: PROFESSOR E. W. SCHRIFTER.                                                                                                                                       |     |
| Physiology in the Schools: PROFESSOR THEODORE HUGH.                                                                                                                                                    | 913 |
| Shorter Articles:—                                                                                                                                                                                     |     |
| The General Equations of Rotation of a Rigid Body: PROFESSOR C. BARUS.                                                                                                                                 |     |
| On a Crinoidal Horizon in the Upper Carboniferous: DR. CHARLES K. KEYES.                                                                                                                               |     |
| The Process of Freezing of Waxes: JAMES E. DANDENO.                                                                                                                                                    | 914 |
| The American Mathematical Society.                                                                                                                                                                     | 917 |
| Scientific Notes and News.                                                                                                                                                                             | 917 |
| University and Educational News.                                                                                                                                                                       | 920 |

MS. intended for publication and books, etc., intended for review should be sent to the responsible editor, Professor J. McKen Cattell, Garrison-on-Hudson, N. Y.

THE death of Raoult, on April 1, 1901, removes from France one of her most brilliant investigators. Raoult was born at Fourmes (Nord) on May 10, 1830, and was, therefore, nearly seventy-one years old when he died. After finishing his academic training in Paris, he began his career as a teacher in the Lycée at Reims at the age of twenty-three. In 1870 he was called to the chair of chemistry at Grenoble. In 1889 he was elected dean of the Faculty of Sciences in Grenoble—a position which he held until his death.

The earlier work of Raoult was devoted to problems of a purely physical nature. His thesis, presented for the degree of Doctor of Science was on 'The Electromotive Force of Voltaic Cells,' and much of his earlier work had to do with the phenomena connected with electrolysis.

His most important work, however, and that with which his name will always be connected, was done after 1870, while at Grenoble. When Raoult took up the study of the lowering of the freezing-point and of the vapor-tension of solvents by dissolved substances, our knowledge of these phenomena was hardly more than qualitative. A few regularities had been pointed out by Blagden, Coppey, Wüllner, Emden, Rüdorff and others, but scarcely any generalization worthy of the name had been reached.



ben [15] így írt: „Találkozni akartam vele [Adolf Wüllner], mert átszámoltam vizes sóoldatok gőznyomáscsökkenésére vonatkozó eredményeit, amire ki akartam térni a tankönyvemben, és azt találtam, hogy azonos összetételű sók egyenértékű koncentrációban ugyanazt a hatást váltják ki. Ez előfutára volt Raoult munkájának, amely vizes oldatok gőznyomáscsökkenésére vonatkozott, és amiért egyedül ő kapta az elismerést. Majdnem mindig ez a helyzet, ha egy új felfedezés egy vaskos könyvben jelenik meg. A tudományos közösség hozzászólt, hogy új dolgok csak cikkekből jelenhetnek meg.”

Bizony igazi ritkaság, hogy egy tudós, aki ritkán mutatkozik a tudományos-társadalmi élet rendezvényein, csak szorgalmasan, kitartóan és célratorősen dolgozik, aki hisz abban, hogy a pontos megfigyelés és a független gondolkodás egy kutató feladata, végül világhírű lesz.

IRODALOM  
[1] Erdy-Grúz T., Schay G., Elméleti fizikai kémia II. Tankönyvkiadó, Budapest, 44–85.  
[2] H. C. Jones, Francois Marie Raoult. Science (1901) 13(336), 881–883.

[3] J. H. van 't Hoff, Raoult Memorial Lecture. London Chemical Society on 26 March 1902. Journal of the Chemical Society, Transactions (1902) 81, 969–981.  
[4] H. Chisholm (szerk.), Raoult, François Marie. Encyclopaedia Britannica. Vol. 22 (11th ed.). Cambridge University Press, 1911, 898.  
[5] A. G. Morachevskii, Francois Marie Raoult (To 175th Anniversary of His Birthday). Russian Journal of Applied Chemistry (2005) 78, 856–858.  
[6] E.-M. Raoult, Sur la tension de vapeur et sur le point de congélation des solutions salines. Comptes rendus (1878) 87, 167–169.  
[7] E.-M. Raoult, Loi de congélation des solutions benzéniques des substances neutres. Comptes rendus (1882) 95, 187–189.  
[8] E.-M. Raoult, Loi générale de congélation des dissolvants. Comptes rendus (1882) 95, 1030–1033.  
[9] <https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/olvaso/histchem/vegy/raoult.html>  
[10] E.-M. Raoult, Loi générale des tensions de vapeur des dissolvants. Comptes rendus (1887) 104, 1430–1433.  
[11] <https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/olvaso/histchem/vegy/raoult2.html>  
[12] E. Beckmann, „Modifikation des Thermometers für die bestimmung von Molekulargewichten und kleinen Temperaturdifferenzen.”. Zeitschrift für physikalische Chemie (1905) 51, 329–343.  
[13] E. Beckmann, Bestimmung des Molekulargewichts aus Siedepunktserhöhungen. Zeitschrift für physikalische Chemie (1889) 3, 603–604.  
[14] E. Beckmann, Studien zur Praxis der Bestimmung des Molekulargewichts aus Dampfdruckerniedrigungen. Zeitschrift für physikalische Chemie (1889) 4, 532–552.  
[15] W. Ostwald, The Autobiography. (R. S. Jack, F. Scholz szerk.) Springer, 2017, 103.



# Kutasi Csaba

## Miért ráz a ruha?

### A textíliák elektrosztatikus feltöltődésének oka, hatása és a védekezés lehetőségei

Sztatikus elektromosság akkor lép fel, ha az elektromos töltések nincsenek egyensúlyban egy anyagban vagy a felületén. Az egyensúlyt elektromos áram, elektromos kisülés állíthatja helyre. Amikor kétféle felület érintkezik, súrlódik egymással, majd elválik egymástól, elektronok lépnek át egyikből a másikra, és az egyik felület pozitív, a másik negatív töltésű lesz.

A két különböző anyag összedörzsölésekor kiváltott hatást triboelektromos hatásnak nevezik. (A triboelektromos kifejezés görög eredetű, a „tribo” tag a dörzsölésre, az „elektromos” a borostyánra – elektron – utal.) A triboelektromos hatás a mindennapi életben megfigyelhető statikus elektromosság fő oka (1. ábra).

1. ábra. Példa elektrosztatikus feltöltődésre



Az elektrosztatikusan érzékeny eszközök – például integrált áramkörök – gyártása során akár 5 V feszültség is a *tönkremenetelüket* okozhatja. Egyébként az emberek a „fő generátorok”, így 10–20%-os relatív légnedvességű térben a padlószőnyegen áthaladó személy akár 35 000 V-ot, a padon ülő dolgozó pedig 6000 V-ot generálhat, de mivel kisüléskor nagyon kicsi az áramerősség, az ember számára nem jelent veszélyt.

A szálanyagok döntően kiváló elektromos szigetelők, ezért elterjedt a villamos ipari alkalmazásuk is. Ezeknek a *dielektrikumoknak* (amelyek kevés szabad töltéshordozót tartalmaznak) a fajlagos ellenállása  $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ -nél nagyobb. A szigetelők fontos jellemzője a permittivitás (dielektromos állandó) is, amely megadja, hogy hányszorosára nő egy kondenzátor kapacitása, ha fegyverzetei közé a vákuum helyett ilyen anyag kerül. A szálanyagok kedvező szigetelőképesége ugyanakkor – az anyagminőségtől, felvitt adalékoktól függően – változó mértékű elektrosztatikus feltöltődéssel párosul. Ez a hatás nemcsak a feldolgo-

2. ábra. Töltésmegoszlás két anyag összedörzsölése során

