

## KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

## Debye nevéhez fűződő elméletek, egyenletek, mennyiségek

A 19. század végén Arrhenius elmélete, amely szerint az oldatokban töltött részecskék (pozitív és negatív ionok) léteznek, és ezek bizonyos anyagok (elektrolitok) oldódása során keletkeznek, forradalmi változást hozott az elektrokémiában. Ezzel nemcsak az áram vezetését lehetett megmagyarázni, hanem az úgynevezett kolligatív tulajdonságokat (fagyáspont-csökkenés, forráspont-emelkedés, ozmózisnyomás), amelyek nagysága az oldatokban lévő részecskék számával változik. Az elektrolitot diszociáció során pedig legalább kétszer annyi részecske keletkezik, mint volt, ha a diszociáció teljes. Azt tapasztalták, hogy sok elektrolitnál a hatás kisebb, tehát kettőnél kevesebb ion keletkezik egy molekulából. Ezt úgy magyarázták, hogy a diszociáció egyensúlyi folyamat, tehát maradnak nem diszociált molekulák is. Ez nagyon jól illett az egyensúlyi termodinamika koncepciójába, amely az elektrokémiával párhuzamosan fejlődött ugyanabban a korban. A teljes diszociáció elképzelése viszont nem illett ebbe a felfogásba, ezért Svante Arrhenius (1859–1927, Nobel-díj: 1903) és mentora Wilhelm Ostwald (1853–1932, Nobel-díj: 1909) ezt el is utasította. Hiába küzdött éveken keresztül több tudós, például a dán Niels Bjerrum (1879–1958) azért, hogy igenis létezik a teljes diszociáció, és az elektromos vezetésben és más tulajdonságokban észlelt eltéréseket az ionok közti kölcsönhatásokkal, illetve asszociációs folyamatokkal megmagyarázhatók.

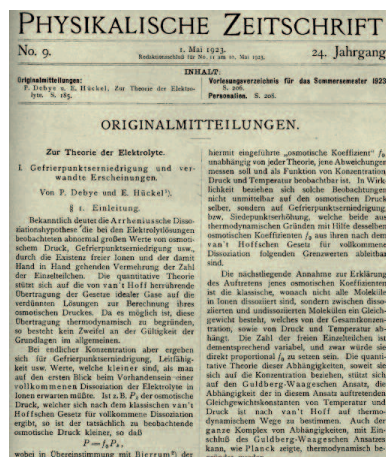
Bjerrum szerint „az elektrolitikus diszociációt legjobban úgy magyarázhatjuk, ha Arrhenius hipotézisét a következő módon változtatjuk meg. Feltesszük, hogy az erős elektrolitok mindig teljesen ionokra bomlanak.” „Ha ez az elgondolás helytálló, akkor a molekuláris vezetés csökkenése és a fagyáspont-csökkenés, amely a koncentráció növekedésével kapcsolatos, eltéréseinek okát az ionok elektromos töltéseinek egymásra gyakorolt hatásában találhatjuk meg.” [1, 2].

Érdeemes megnéznünk Bjerrum 1909 és 1929 között megjelent jelentősebb, az ünnepi kötetben foglalt előadásainak címeit e témában [2]: A New Form for the Electrolytic Dissociation Theory (1909), The Dissociation of Strong Electrolytes (1916), On the Activity Coefficient for Ions (1919), On Electric Forces Between Ions and Their Effects (1925), Investigations on Association of Ions. I. The

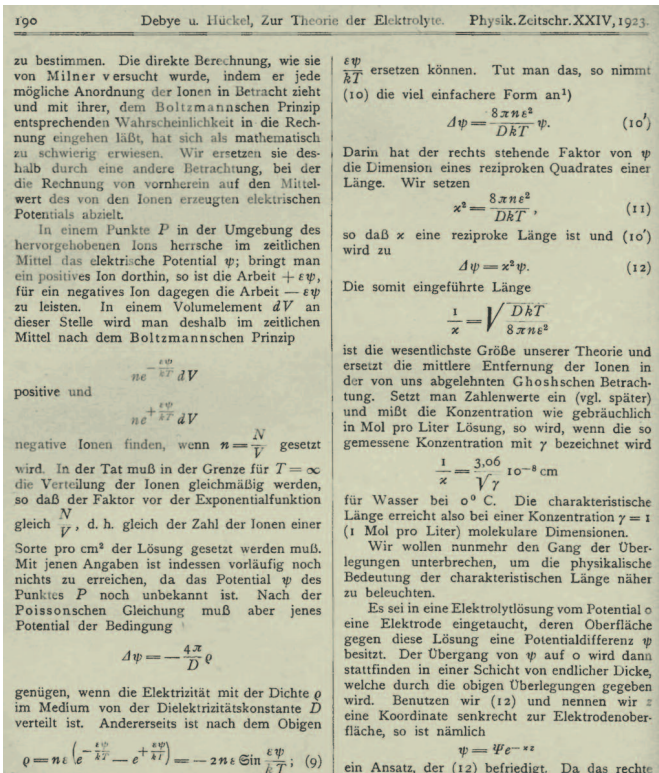
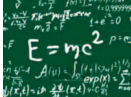
Influence of Association of Ions on the Activity of the Ions at Intermediate Degrees of Association (1926), The Theory of Ion-Distribution Coefficients, Their Determination and Use (1926), Recent Views on Electrolytes (1929). Debye és Hückel a Bjerrum által megnyitott úton haladt, amit cikkükben [3] (1. ábra) is elismertek. Meg kell még említenünk, hogy a Poisson-egyenlet és a Boltzmann-eloszlás kombinációját Louis Georges Gouy (1854–1926) [4] és David Leonard Chapman (1869–1958) [5] alkalmazta már korábban az elektrokémiái kettős réteg, azaz egy végtelen kiterjedésű töltött felülettel szemben kiépülő ioneloszlás leírására. Debye és Hückel egy adott iontól való gömbszimmetrikus töltéseloszlásra használta az eljárást.

## Az erős elektrolitok Debye–Hückel-féle elmélete

Debye és Hückel 1923-ban közzétett elméletükben [3, 6] csak az ionok közötti elektrosztatikus kölcsönhatást vették figyelembe a többi intermolekuláris kölcsönhatást elhanyagolták (1. és 2. ábra). A tiszta oldószer dielektromos permittivitásával számoltak, ennek változását az elektrolit koncentrációjával nem vették figyelembe. Az ionokat gömbszimmetrikus elektromos mezejű, pontszerű, nem polarizálódó töltéseknek tekintették. Az egyes ionokat körülvevő többi, ellentétes töltésű iont folytonos eloszlá-



1. ábra. A híres Debye–Hückel-cikk első oldala



2. ábra. Sorok a Debye–Hückel-cikk egy jellemző oldalából, a levezetés részletével

sú töltésfelhővel (ionatmoszféra) írják le. Az ionok közötti vonzási potenciál kicsi a hőmozgás energiájához képest. Az elektrolitokat teljesen disszociálnak tekintik, tehát az elmélet alapján véve csak az erős elektrolitokra vonatkozik.

Az elektroneutralitás elvének megfelelően bármely oldat  $dV$  térfogatelemében a töltés időbeli átlaga ( $\sum n_i z_i e = 0$ ), ahol  $n_i$  és  $z_i$  az ionok száma, illetve a töltése,  $e$  pedig az elemi töltés; és az elektromos potenciál ( $\Psi$ ) is nulla az oldat más térfogatelemével szemben, mert az adott térfogatelemben a pozitív és negatív töltésű ionok töltései kiegyenlítik egymást. Ha viszont az adott térfogatelemben egy központi ionnal összekötvé képzeljük el, ekörül több ellentétes ion lesz, amelyek mennyisége az elektromos ( $z_i e \Psi$ ) és a hőenergia ( $kT$ ) viszonyától függ, és elektromos potenciál is rendelkezünk a központi iontól különböző távolságokhoz. A töltéssűrűség ( $\rho$ ) időbeli átlaga az egyes ionok töltésének összegződéséből adódik:

$$\rho_j = \sum n_i z_i e \exp[-z_i \Psi_j / kT] \quad (1)$$

A  $j$  alsó index a központi ionra, míg  $i$  az ionatmoszféra ionjai-ra vonatkozik.

Mivel feltételezték, hogy  $z_i e \Psi \ll k_B T$ , az exponenciális sorbafejtésénél elég a lineáris tagot megtartani. Ez az egyszerűsítés ahhoz vezet, hogy az egész modell csak híg oldatokra érvényes. Az elektroneutralitás elvét figyelembe véve a továbbiakban azzal számoltak, hogy  $\rho$  lineárisan függ a potenciáltól. Az elektrosztatika törvényei szerint a töltésekből származó potenciálok lineárisan összegződnek, tehát a Boltzmann-féle exponenciális eloszlás nem lenne használható, mert ellentmond a Poisson-tételnek. Mivel a sorbafejtés után lineáris összefüggést kapunk, a Poisson-féle differenciálegyenlet alkalmazva gömbszimmetrikus töltésselosztás esetére a tértöltés sűrűsége és a potenciál közötti összefüggés megkapható. A részletes levezetés könyvekben megtalálható [7–10].

A levezetés végén megkapjuk az erős elektrolitok Debye–Hückel-féle elméletének alapegyenletét, amelyből az ionok közötti elektrosztatikus kölcsönhatásokból származó jelenségek levezethetők:

$$\Psi_j = \frac{z_j e}{4\pi\epsilon} \frac{\exp(\kappa a) \exp(-\kappa a)}{1 + \kappa a} \frac{1}{r}, \quad (2)$$

ahol  $a$  az ionok középpontjának egymástól való legkisebb távolságát, vagyis az oldatbeli effektív sugaruk összegét jelenti. Ez is elég durva közelítés, mert például az ionmozgékonyaságok alapján  $a$  eltérő a különböző ionokra. Az  $r$  a központi ion középpontjától számított távolság, az  $\epsilon$  a dielektromos permittivitás.

A  $\kappa$  reciproka ( $L_D = 1/\kappa$ ) az ún. karakterisztikus távolság (az ionatmoszféra sugara vagy vastagsága), amelyet **Debye-hossz**-nak (Debye–Hückel-hossz, Debye–Hückel-paraméter) hívunk:

$$\kappa = (2F^2 I_c / \epsilon RT)^{1/2}, \text{ ahol } F \text{ a Faraday-állandó, és } I_c = 1/2 \sum c_i z_i^2 \text{ az ionerősség.}$$

A Debye–Hückel elmélet első nagy sikerét az hozta, hogy az ideális viselkedéstől való eltérést kifejező aktivitási tényezőt ki lehet számítani, ha az ideális viselkedéstől való eltérés csak az elektrosztatikus kölcsönhatásnak tulajdonítható és az oldat híg ( $c < \sim 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ ), ahogy azt az elmélet feltételezi.

A közepes aktivitási tényező ( $\gamma_{\pm}$ ) logarimusa gyökösen függ az ionerősségtől:

$$\ln \gamma_{\pm} = -A z_+ z_- \sqrt{I} (1 + B a \sqrt{I})^{-1}, \text{ ahol} \quad (3)$$

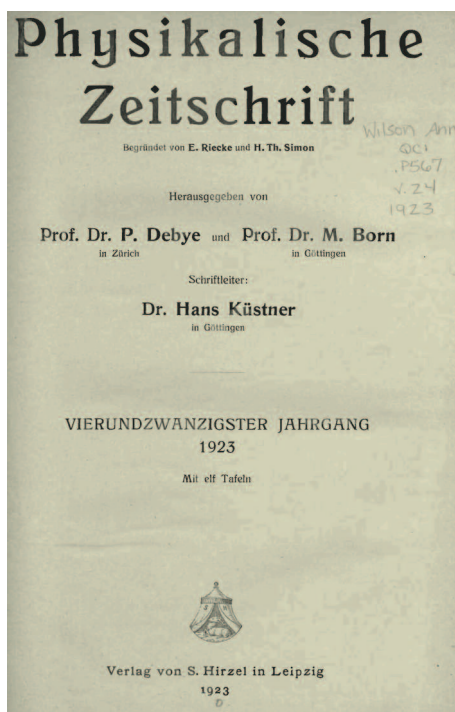
$$A = 1,825 \times 10^6 (\epsilon_r T)^{-3/2} (\text{dm}^{3/2} \text{mol}^{-1/2}), \text{ illetve } B = 5,03 \times 10^{10} (\epsilon_r T)^{-1/2} (\text{dm}^{1/2} \text{mol}^{-1/2}).$$

Nagyon híg oldatokban egyszerű gyökös függés adódik:

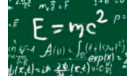
$$\ln \gamma_{\pm} = -A z_+ z_- \sqrt{I}$$

(Töményebb oldatokban  $\gamma_{\pm}$  még nőhet is a koncentrációval!)

Látható, hogy Debye is egyik főszerkesztője volt annak a folyóiratnak, ahol a cikkük megjelent (3. ábra). A másik Max Born (1882–1970, Nobel-díj: 1954), aki szintén nagyban hozzájárult az elektrolitok elméletének megértéséhez. Különösen a hidratációs



3. ábra. A Physikalische Zeitschrift címlapja, ahol Debye és Hückel cikke is megjelent



elmélete bizonyult gyümölcsözőnek. A következő témánk szempontjából ennek az elméletnek az a jelentősége, hogy az ionok hidratburkukat is magukkal viszik vándorlásuk során, és ez is hat a mozgékonyaságukra.

### Az erős elektrolitok elektromos vezetésének koncentrációfüggésére vonatkozó Debye–Hückel–Onsager-féle határtörvény

Az erős elektrolitok Debye–Hückel-féle elméletének másik nagy sikere az volt, hogy a Friedrich Kohlrausch (1840–1910) által kísérleti eredmények alapján meghatározott törvénynek elméleti magyarázatát tudták adni [8, 11, 12, 13]. Kohlrausch szerint az erős (teljesen disszociáló) elektrolitok híg oldataiban az elektromos vezetésnek a koncentrációval való változását az alábbi egyenlet adja meg:

$$\Lambda_o - \Lambda_c = A \sqrt{c}, \quad (4)$$

ahol  $\Lambda_o$  és  $\Lambda_c$  a „végtelen hígítású” oldat (extrapolációval határozható meg) illetve a  $c$  koncentrációjú oldat moláris vezetése,  $A$  pedig egy állandó.

Lars Onsager (1903–1976, Nobel-díj: 1968) felhasználta a Debye–Hückel-féle elméletet, és alapvetően két tényezőt vett figyelembe. A központi ion és az ionfelhő ionjai lévén ellentétes töltésűek, és így ellentétes irányba vándorolnak az elektromos potenciálgradiens hatására. Ezáltal az ionok ellenáramban mozognak, ami csökkenti a mozgékonyaságukat. A mozgékonyaság csökkenéséhez vezet az is, hogy a mozgás során az ionatmoszféra deformálódik, és az ellentétes töltésű ionok egymásra gyakorolt vonzó hatása is gátolja az ionok mozgását.

Debye neve még számos egyenletben szerepel, amelyek közül néhányat felsorolunk: **Debye–Clausius–Mossotti-egyenlet** (a Clausius–Mossotti-egyenlet kiterjesztése poláris molekulákra) [14, 15], **Debye–Falkenhagen effektus** (nagy frekvenciás váltóáram hatására nő az ionok vezetése) [16]. A szilárd anyagok fajlagos hőkapacitásával kapcsolatos **Debye-egyenlet**, **Debye-hőmérséklet** [17]. **Debye–Waller-tényező** (a röntgensugárzás szóródásának módosulása a hőmozgás miatt). **Debye–Scherrer pordiffrakciós röntgentechnika**, **-gyűrű**. **Debye-szórás** (makromolekulás oldatok fényszórási tartománya). A molekuláris dipólmomentum nem hivatalos egysége (nem SI-egysége) a **debye** (**D**), de az IUPAC megengedi a használatát [18].

### Peter Joseph Wilhelm Debye

Petrus Josephus Wilhelmus Debije (Maastricht, Hollandia, 1884. március 24. – Ithaca, USA, 1966. november 2.) (**4. ábra**) a helyi vasárugyárban művezetőként dolgozó Joannes Wilhelmus Debije (1859–1937) és Maria Anna Barbara Ruemkens (1859–1940) első gyermekeként született. A Debije család már több generáció óta Maastrichtban élt, katolikusok voltak (mint a többség Limburg tartományban) és a helyi nyelvjárást beszélték. Peter Debye is ezt a nyelvjárást beszélte, sőt élete végéig a barátaival való kommunikációban is ezt használta, nem a hivatalos holland nyelvet. Az általános iskolát, különösen a természettudományi tárgyakból, kiváló eredménnyel végezte. Ugyan négy nyelvből is vizsgázott, de latinból és görögből nem, ezért nem mehetett holland egyetemre. Az Aacheni Műszaki Főiskolára iratkozott be, és naponta ingázott, mert a család a tanulmányai költségeit is nehezen fedezte, ottani szállást pedig végképp nem tudtak volna finanszírozni. Ekkor került sor arra is, hogy elkezdte használni nevének

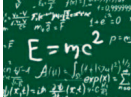


P. Debye

4. ábra. Peter Joseph Wilhelm Debye

eredménye mellett a legjelentősebb a szilárd anyagok állandó térfogaton mért fajlagos hőkapacitásának hőmérsékletfüggésére levezetett  $T^3$ -ös összefüggés [17]. Megemlíjtjük, hogy a kiváló magyar fizikus, Ortway Rudolf (1885–1945) zürichi tanulmányútja során mellette dolgozott. Debye-t 1912-ben az Utrechti Egyetemen találjuk. Valószínűleg azért ment oda, hogy kísérleti munkára (például dipólmomentum mérésére) is legyen lehetősége. Mivel ez a célja nem vált valóra, 1914-ben Göttingenbe ment. Többek között itt dolgozta ki Paul Scherrerrel (1890–1969) a rólu elnevezett röntgendiffrakciós technikát. Scherrert sem érintette a katonai behívó, mert ő svájci állampolgár volt. A háború utáni rossz körülmények miatt 1920-ban Debye Zürichbe ment. Zürichben születtek Hückellel az elektrolitok szerkezetével és vezetésével foglalkozó nagy hatású cikkeik; ez a terület új kutatási irányt jelentett a tevékenységében. 1923-ban publikált egy jelentős cikket „X-ray scattering and quantum theory” címmel, amelyben a Compton-effektus (a röntgensugárzás hullámhosszána változása az elektronon való szóródás miatt) elméleti magyarázatát fejt ki. A röntgendiffrakcióval kapcsolatos kutatásait 1927-től Lipcsében folytatta, ahol a Lipcsei Egyetem Fizikai Intézetének professzori és igazgatói állását töltötte be. A dipólusmomentummal és a röntgendiffrakcióval kapcsolatos kutatásaiért nyerte el a kémiai Nobel-díjat 1936-ban a következő indokolással: „for his contributions to our knowledge of molecular structure through his investigations on dipole moments and on the diffraction of X-rays and electrons in gases” [22]. Debye Nobel-díjáról Erdey-Grúz számolt be [23]. [Arthur H. Compton (1892–1962) a röntgenszóródás kutatásaiért – megosztva – az 1937-es fizikai Nobel-díjat kapta meg.] 1935-től Debye a berlini Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft Intézet Fizikai Intézetének igazgatói állását foglalta el, és professzorként tanított a Berlini Egyetemen. Az igazgatói állás, amellyel lakás is járt, élethossziglan szólt. Holland állampolgárságáról sem kellett lemondania. Berlinben egy másik neves fizikusunk, Budó Ágoston (1914–1969) dolgozott Debye laboratóriumában, ahol a dielektromos relaxáció és a molekulaszerkezet összefüggéseit vizsgálta az 1937–38-as tanév során.

Debye nem igazán törődött azokkal az eseményekkel, amelyek a náci Németországban történtek, sőt a háború kitörése után is maradt. Végül 1940-ben hagyta el az országot, egy svájci konfe-



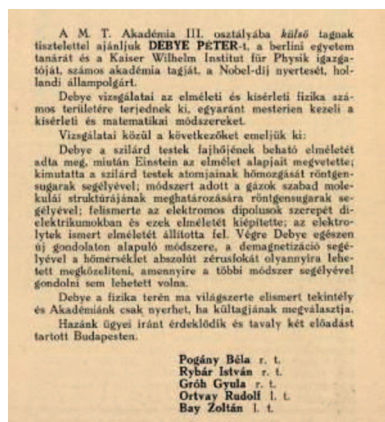
renciaira utazott, majd onnan az Egyesült Államokba. 1940 decemberében feleségét is kiengedték utána. Egyik fia már ott volt, de a másik és két lánya csak a háború után követhette. Debye a Cornell Egyetem Kémiai Tanszékének vezetője lett. Haláláig itt dolgozott, 1952-től professzor emeritusként. Főleg makromolekulás oldatok fényszórásával foglalkozott. A háborúval kapcsolatos kutatásokba nem vonták be. 1946-ban kapta meg az amerikai állampolgárságot.

Debye magatartása a náci Németországban később sok kritika tárgya lett. Az pedig, hogy az USA azonnal befogadta, egyik jelentős egyetemén azonnal professzor lett, szintén kérdéseket vet fel [24, 25]. 1939 őszén a berlini kutatóintézetét bízták meg az uránalapú atomreaktor építésével. Saját visszaemlékezése szerint Debye ebben nem vett részt, mivel nem volt hajlandó felvenni a német állampolgárságot, amire most már kötelezték volna, be sem léphetett a laboratóriumba [26].

Amit később leginkább felrögtak neki, az egy 1938. december 9-ei levél volt. Ebben mint a Német Fizikai Társaság (DPG) elnöke írt a zsidó származású tagoknak, és abban a nürnbergi törvényekre hivatkozva lemondásra szólította fel őket. A levelet „Heil Hitler”-rel fejezte be. (Az állami hivatalnokoknak ez kötelező volt.) Hosszú vita bontakozott ki arról, hogy a róla elnevezett fizikai intézeteket átnevezzék-e. Végül mind az Utrechti Egyetem, mind a Cornell Egyetem megfelelő intézetei megtartották a nevét, és a Maastrichti is hasonlóan járt el a róla elnevezett díj esetében.

A holland NIOD Intézet, amely a háború, a holokauszt és a népirtás kutatására alakult, úgy fogalmazott 2007-es jelentésében, hogy Debye oportunista ember volt, aki először a náci Németországnak, utóbb az Egyesült Államoknak vallott hűséget. Ez alapvetően túlélési stratégiát szolgált. A holland Terlouw Bizottság 2008-ban szintén arra a következtetésre jutott, hogy Debye kétségtelenül nem volt ellenálló, de nem volt náci párttag, nem volt antisemita, nem segítette a német háborús törekvéseket sem. Feltehető, hogy mindent annak rendelt alá, hogy tudósi tevékenységét folytathassa és családját megóvja.

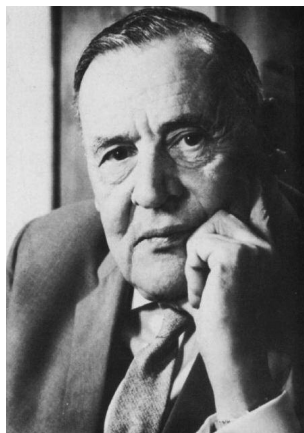
Debye Pétert, Bodenstein Miksa, Bragg Lawrence Vilmos, Ostwald Farkas és Planck Miksa (abban az időben – ahol tudták – magyarosították a keresztneveket) társaságában, 1940. április 26-án a Magyar Tudományos Akadémia külső tagjának választotta (5. ábra).



**5. ábra. Debye tagajánlása az MTA Almanachban. Látható, hogy az előző évben két előadást is tartott Budapesten**

## Erich Hückel

Erich Hückel (Stuttgart, 1896. augusztus 9. – Marburg, 1980. február 16.) (6. ábra) apja, Armand Hückel a tudomány iránt is érdeklődő orvos volt. Nagy hatással volt három fia, Walter Hückel (1895–1973), Erich Hückel és Rudi Hückel (1899–1949) pályavá-



*Erich Hückel*

**6. ábra. Erich Hückel (T. Binz felvétele, Mannheim, 1965)**

lasztására is. Walter gyógyszerészprofesszor lett Tübingenben, Rudi orvosi praxist folytatott [27].

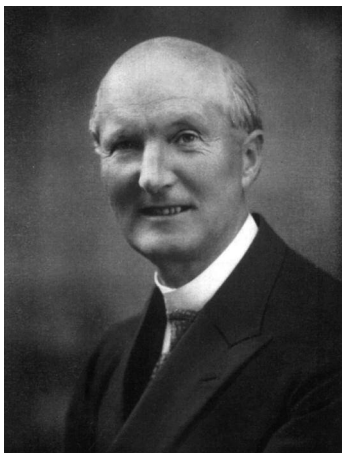
Az első világháború kitörésekor Erich Hückel Göttingenben fizikát tanult. A háború alatt Ludwig Prandtl (1875–1953) aerodinamikai laboratóriumában dolgozott. [Prandtl doktorandusza volt Kármán Tódor (1881–1963) 1906 és 1908 között. Míg Kármán 1930-tól az amerikai aerodinamika vezető személyisége lett, és nagyban hozzájárult a repülőgépek és a rakéták fejlesztéséhez, Prandtl 1925 és 1946 között a Vilmos Császár Áramlástan Intézetet vezette, és a második világháború alatt, 1942-től ő lett a német légielő kutatóintézetének vezetője.]

A háború után Hückel a Göttingeni Egyetemen folytatta fizikai és matematikai tanulmányait. Doktori fokozatát 1921-ben szerezte meg röntgensugárzás szóródása témában Debye professzorral együttműködve. A Göttingeni Egyetemen David Hilbert (1862–1943) matematikus asszisztense lett. Max Bornnal (1882–1970) is dolgozott. 1922-ben követte Debye-t Zürichbe, ahol 1927-ig dolgozott. Itt született az erős elektrolitok Debye–Hückel-féle elmélete. 1925-ben megnősült. Elvette egykori göttingeni professzora, Richard Zsigmondy (Bécs, 1865 – Göttingen, 1929, Nobel-díj: 1925) Anne nevű lányát. A házaspárnak három fia és egy lánya született. Az 1928-as és 1929-es éveket a Rockefeller Alapítvány ösztöndíjával Frederick G. Donnannál (1870–1956) Londonban, majd Niels Bohrnál (1885–1962) Koppenhágában töltötte. Ekkor kezdett kvantummechanikával foglalkozni. 1929-től német ösztöndíjjal Lipcsében dolgozott Werner Heisenberggel (1901–1976) és Friedrich Hunddal (1896–1997). A kettős kötés ( $\pi$ -elektronrendszerek) leírásával foglalkozott, habilitációját a benzolból írta. 1937-ben a Marburgi Egyetemre nevezték ki rendkívüli professzornak. Kiemelkedő tevékenységét igazából csak az 1950-es évektől ismerték el. Hunddal és Mullikannel együtt a molekulapálya-elmélet egyik alapítójaként tisztelik.

## Niels Janniksen Bjerrum

Niels Janniksen Bjerrum (Koppenhága, 1879. március 11. – Koppenhága, 1958. szeptember 30.) (7. ábra) édesapja, Jannik Petersen Bjerrum szemészprofesszor volt. Apja nővére, Dr. Kirstine Meyer pedig kiváló fizikus volt [28]. Bjerrum Dánia legelőkelőbb iskolájába, az 1209-ben alapított koppenhágai Metropolitanskolnbe (8. ábra) járt.

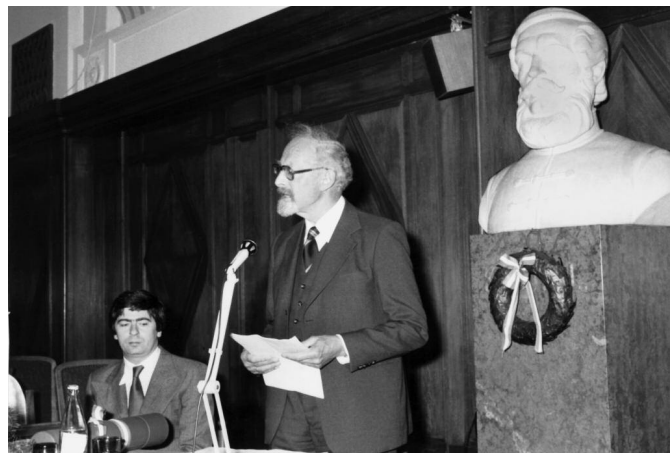
1897-ben kezdte el természettudományi egyetemi tanulmányait a Koppenhágai Egyetemen, főtárgyul a kémiát választva. Sophus Mads Jørgensen (1837–1914) témavezetésével a koordinációs komplexekből írta MSc-dolgozatát 1902-ben, majd szerezte meg a doktori fokozatot 1908-ban. Ezután Robert Luthernél (1868–1945) dolgozott Lipcsében (1905), Alfred Wernernél (1866–1919, Nobel-díj: 1913) Zürichben (1907), Jean Baptiste Perrinnél (1870–1942, Nobel-díj: 1926) Párizsban (1910), majd Walther Nernstnél (1864–1941, Nobel-díj: 1920) Berlinben (1911). 1912-ben docensnek nevezik ki a Koppenhágai Egyetemen. 1914-ben a kémia professzora lett koppenhágai Royal Agricultural College-ban,



7. ábra. Niels Janniksen Bjerrum [28]

Hívták a Koppenhágai Egyetemre, de olyan jól érezte magát itt, hogy inkább maradt. A legnehezebb időkben, a német megszállás alatt, 1939 és 1946 között ő volt az igazgató. 1949-ben ment nyugdíjba, de változatlanul bejárt a tanszékeére, még 1958. szeptember 25-én is dolgozott, amikor a végzetes agyvérzés érte.

1907-ben feleségül vette Ellen Dreyert (1885–1934). Fiuk, Jannik Bjerrum (1909–1992) a Koppenhágai Egyetem Szerzetlen Kémiai Tanszékének professzora lett.



9. ábra. Jannik Bjerrum díszdoktori avatása a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetemen (1979)



8. ábra. A Metropolitanskolen épülete 1728 és 1938 között, ma a Koppenhágai Egyetem Jogi és Teológiai Kara

A már fentebb ismertetett elektrokémiai tevékenységén kívül jelentőset alkotott más területeken is [2, 28], így a hőkapacitás hőmérsékletfüggésének kvantumelméleti és az infravörös spektrum forgási finomszerkezetének magyarázata, az aminosavak semleges formájának értelmezése fűződik a nevéhez.

Bjerrumról nevezték el a **Bjerrum-hosszt** ( $\lambda_B$ ),  $\lambda_B = e^2/\epsilon_r k_B T$ , ahol  $e$  az elemi töltés,  $\epsilon_r$  a relatív dielektromos permittivitás,  $k_B$  a Boltzmann-állandó és  $T$  a hőmérséklet. Ez a töltések közötti elektrosztatikus kölcsönhatás és a hőmozgás energiájának arányát írja le, amely fontos az elektrolitok, kolloid rendszerek tulajdonságainak kiszámításánál. A dielektromos permittivitás erős csökkenése a hőmérséklettel (például a víznél) azt okozhatja, hogy  $\lambda_B$  nem csökken, hanem nő a hőmérséklettel.

A **Bjerrum-féle ábrázolás** (koncentrációarányok a pH függvényében) igen hasznos például többszörösen disszociáló savak (foszforsav, kénsav, szénsav stb.) disszociációs állandóinak ( $pK_a$  értékeinek) meghatározására, komplex és oldhatósági egyensúlyok kiszámításánál.

A komplex egyensúlyok kiszámítását Niels Bjerrum kezdte 1915-ben a króm(III) tiocianáttal képződő komplexek szisztematikus vizsgálata alapján, majd fia, Jannik Bjerrum az 1940-es évektől pH függvényében követte a komplex folyamatok egyensúlyait, és határozta meg a lépcsőzetes képződési állandókat, ezzel új irányt nyitott ezen a fontos tudományterületen. Jannik Bjerrumnál, a Koppenhágai Egyetemen dolgozott ösztöndíjasként az 1960-as évek elején a hazai koordinációs kémia kiválósága, Beck Mihály (1929–2017), ahol fő témája a nikkel(II) egyes ligandumú komplexei stabilitási állandóinak meghatározása

volt. A magyar kutatók támogatását a debreceni egyetem később díszdoktori címmel ismerte el (9. ábra).

A 70. születésnapjára kiadott kötet bevezetőjében Niels Bohr ezt írta: „an edition of a selection of the papers of Niels Bjerrum by which he has erected himself a lasting monument in science, would be the most fitting way to express the indebtedness we owe to him” [2].

#### IRODALOM

- [1] N. Bjerrum, A New Form for the Electrolytic Dissociation Theory. Proceedings of the Seventh International Congress of Applied Chemistry, London (1909) Section X. 55–60.
- [2] N. Bjerrum, Selected papers. Edited by friends and coworkers on the occasion of his 70th birthday. Előszót Niels Bohr írta. Einar Munksgaard, Koppenhága, 1949.
- [3] P. Debye, E. Hückel, Zur Theorie der Elektrolyte I. Physikalische Zeitschrift (1923) 9, 185–206.
- [4] G. Gouy, Sur la constitution de la charge électrique à la surface d'un électrolyte (On the constitution of the electric charge on the surface of an electrolyte). Journal de Physique Théorique et Appliquée (1909) 9(4), 457–468.
- [5] D. L. Chapman, A contribution of the theory of capillarity. Philosophical Magazine (1913) 25, 475–481.
- [6] P. Debye, E. Hückel, Zur Theorie der Elektrolyte II. Physikalische Zeitschrift (1923) 24, 305–325.
- [7] Erdey-Grúz T., Schay G., Elméleti fizikai kémia III. Tankönyvkiadó, Budapest, 1962. 57–70.
- [8] Erdey-Grúz T., Transzportfolyamatok vizes oldatokban. Akadémiai Kiadó, 1971. 267–298, 361–398.
- [9] Kiss L., Láng Gy., Elektrokémia, Semmelweis Kiadó, Budapest, 2011. 227–237.
- [10] Inzelt Gy., Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei I. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999. 33–44.
- [11] L. Onsager, R. M. Fuoss, Journal of Physical Chemistry (1932) 36, 2689–2778.
- [12] L. Onsager, Physikalische Zeitschrift (1927) 28, 277–298.
- [13] L. Onsager, S. K. Kim, Journal of Physical Chemistry (1957) 61, 215–229.
- [14] P. Debye, Physikalische Zeitschrift (1912) 13, 97–100.
- [15] P. Debye, Polare Molekeln. Hirzel, Leipzig, 1929.
- [16] P. Debye, H. Falkenhagen, Physikalische Zeitschrift (1928) 29, 401–426.
- [17] P. Debye, Annalen der Physik (1912) 789–839.
- [18] IUPAC Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry. E. R. Cohen, T. Cvitas, J. G. Frey, et al. (eds), 2006. 24.
- [19] P. P. Ewald, Obituary, Peter Debye March 24 1884 – November 2 1966. International Union of Crystallography (1967) 947–949.
- [20] M. Davies, Peter Joseph Wilhelm Debye 1884–1966. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society (1970) 16, 173–232.
- [21] J. W. Williams, Peter Joseph Wilhelm Debye. Biographical Memoirs of National Academy of Sciences (1975) 46, 23–69.
- [22] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1936/debye/biographical/>
- [23] Erdey-Grúz T., Debye Péter, az 1936. évi kémiai Nobel-díj nyertese. Természettudományi Közlöny (1937) 198–200.
- [24] J. Reiding (2010). Peter Debye: Nazi Collaborator or Secret Opponent? Ambix (2010) 57 (3), 275–300.
- [25] S. Rispen, Einstein in Nederland. Ein intellectuele biografie. Ambo/Anthos 2006.
- [26] The collected papers of Peter J. W. Debye. Interscience Publ. Inc. New York, 1954.
- [27] H. Hartmann, C. Longuet-Higgins, Erich Hückel. 9 August 1896 – 16 February 1980. Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society (1982) 28, 152–162.
- [28] E. A. G., Bjerrum obituary. Transactions of Faraday Society (1959), 55, X001-X003.