

KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

A Polányi-szabály Első rész

A Polányi-szabály eredetileg egy $AB + C \rightarrow A + BC$ típusú kémiai reakció aktiválási energiája ($\Delta H^\ddagger$) és reakcióhője (ΔH) között állapított meg lineáris kapcsolatot, ha az A, B, illetve C közül valamelyiket homológjaival helyettesítjük, például egy RX halogenidben R-et vagy X halogént változtatjuk, míg a velük reagáló alkálifém ugyanaz marad [1], azaz

$$d\Delta H^\ddagger = \alpha d\Delta H \quad (1)$$

ahol α arányossági tényező. Ma ezt a következőképpen írjuk:

$$d\Delta G^\ddagger = \alpha d\Delta G \quad (2)$$

ahol $\Delta G^\ddagger$ a reakció Gibbs-féle aktiválási szabadenergia-változása, ΔG pedig a reakció Gibbs-féle szabadenergia- (szabadentalpia-) változása (a reakciót kísérő szabadentalpia-változás).

John C. Polanyi (1929, Nobel-díj 1986) a később Polányi-szabálynak hívott összefüggést és az átmenetiállapot-elmélet kidolgozását nevezte édesapja legfontosabb alkotásainak: „Talán a két legfőbb fogalmi újítás, mely Polányi laboratóriumában a manchesteri években született, egyrészt a kémiai reakciók rokon családjában megfigyelt reakcióhő és reakciósebesség közötti pár-

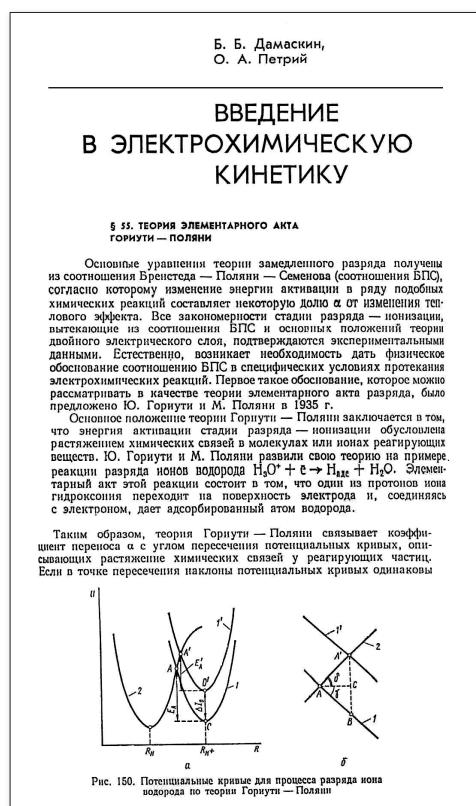
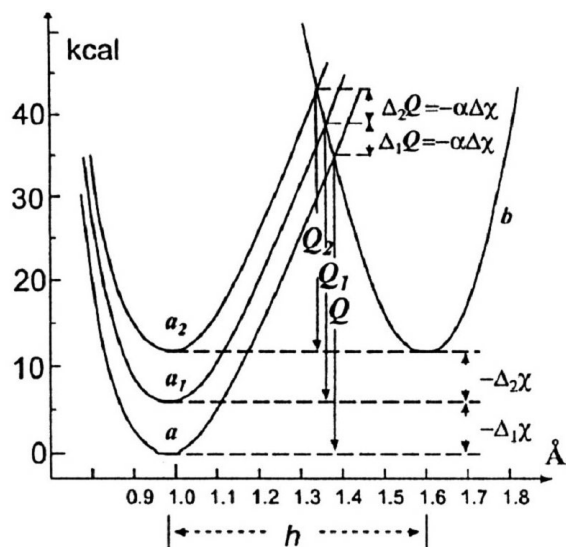
huzamosság levezetése (és magyarázata), másrészt pedig a kémiai reakciók »átmenetiállapot-elméletének« kidolgozása» [2].

A Polányi-szabályt Horiuti és Polányi cikkének [3, 4] egyik ábrájával tesszük szemléletessé, amelyen az energia a részecskék távolságának függvényében látható (1. ábra).

Az aktiválási energiára (ΔQ) és a reakcióhőre ($\Delta\chi$) a [3] közlemény eredeti jelöléseit használjuk (1. ábra). Megjegyzendő, hogy a parabola alak a harmonikusoszillátor-közelítésből származik. A (2) egyenlet akkor adódik matematikailag, ha a parabola érintett szakaszát egyenessel helyettesítjük, ami általános szokás, ahogy az alábbi könyv (2. ábra) is mutatja, ahol Horiuti és Polányi elméletének fontosságát elemzik. [5]

2. ábra. Horiuti és Polányi elméletének bemutatása Damaszkín és Petrij könyvében [5]

1. ábra. A reakcióhő és az aktiválási hő közötti összefüggés, $\Delta Q = -\alpha \Delta\chi$, $\alpha < 1$ illusztrálása [3]

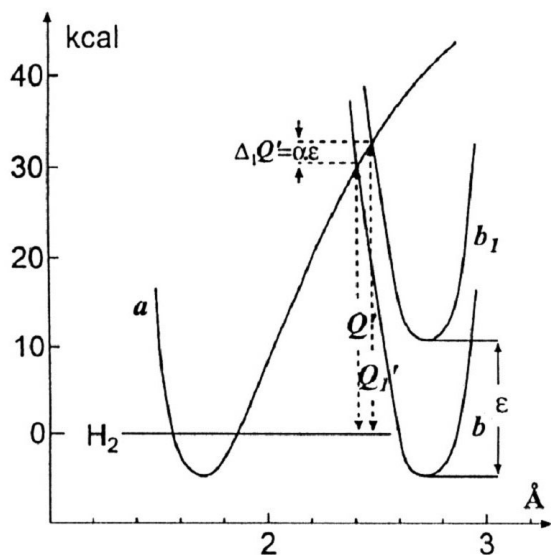


Ezzel az elmélettel fizikai jelentést lehetett adni Erdey-Grúz és Volmer által bevezetett α tényezőnek [4, 6], amit elemi reakcióknál szimmetriatényezőnek (ugyanis értéke függ a parabolagörbe alakjától), általánosságban átlépési tényezőnek nevezünk. Ha egy töltött részecske elektromos erőterbe kerül, annak energiája változik, tehát egy elektrokémiai cellában az elektród potenciáljával változtatni tudjuk az energiáját (a parabola felfelé vagy lefelé mozdul el).

$$\Delta G_c^\ddagger = \Delta G_c^\ddagger + \alpha_c z_{ox} FE \quad \text{vagy} \quad \Delta G_a^\ddagger = \Delta G_c^\ddagger - \alpha_a z_{red} FE \quad (3)$$

ahol $\Delta G_c^\ddagger$ és $\Delta G_a^\ddagger$ a katódos, illetve az anódos folyamathoz tartozó aktiválási szabadentalpia-változás, $\Delta G_c^\ddagger$ az egyensúlyi vagy formális szabadentalpia-változás a két görbe metszéspontjánál, E az elektródpotenciál, F a Faraday-állandó, z_{ox} és z_{red} a reagáló részecske töltése, α_c és α_a a katódos, illetve az anódos átlépési tényező. Katódos folyamatoknál $E < 0$, míg anódosnál $E > 0$, és $\alpha < 1$. Általában $\alpha_a = \alpha_c = 0,5$, ami azzal van összefüggésben, hogy a parabola szimmetrikus, és ettől eltérő, ha ez a feltétel nem teljesül.

Tehát például a $H^+ + e^- \rightarrow H$ elektródreakció esetében a hidrogénionra hat az erőter, a töltés nélküli hidrogénatomra nem (3. ábra).



3. ábra. A $H^+ + e^- \rightarrow H$ reakció potenciálgörbéjének változása az elektródpotenciál függvényében [3], $\epsilon = z_{H^+} FE$

Horiuti és Polányi cikke (4. ábra) 1935-ben jelent meg, azonban hosszú út, sok számítás és kísérlet vezetett ideig. Ennek főbb lépéseit az alábbiakban nagyon röviden bemutatjuk. Reakciókinetikával, reakciódinamikával Polányi az 1920-as évektől [7] 1949-ig [8] foglalkozott. Érdekes, hogy Polányi [7] cikke megtermékenyítőleg hatott később a magreakciók elméletére is, amint Wigner Jenő (1902–1995, Nobel-díj 1963) publikációjából [9] megtudhatjuk: „A közbenső-mag-modell valamely magreakciót két szukcesszív eseményre bontva értelmez. Az első esemény: az ütköző magok egyesülése egyetlen egységgé, az ún. közbenső maggá. [...] A második esemény a közbenső mag bomlása vagy azokra a magokra, amelyekből képződött, vagy valamilyen más magpárra. [...] Az imént leírt modellt javasolták kémiai reakciók számára is.” [A Wigner idézte cikk: M. Polányi, Z. Physik, 2, 90 (1920)].

Polányi kiindulópontja az volt, hogy a kémiai reakciókra vonatkozó addigi elméletek nem lehetnek érvényesek, mert a két

Grundlinien einer Theorie der Protonübertragung

Elektrolytische Dissoziation; Prototropie; spontane Ionisation und elektrolytische Abscheidung von Wasserstoff an Elektroden; Wasserstoffkatalyse

Von J. Horiuti und M. Polanyi

Die Anschauungen, die wir in der Folge darlegen, stellen die Resultate unserer Theorie in vereinfachter Form dar. Da die Fertigstellung der genauen Ausarbeitung, welche unter Berücksichtigung aller erlassbaren Faktoren auch eine genauere Begründung unserer Vorstellungen darlegen soll, im Hinblick auf den Umfang des Materials, längere Zeit erfordert, mag es berechtigt erscheinen, hier zunächst die Ergebnisse in abgekürzter Form mitzuteilen.

1. Einleitung

Unsere Methode schliesst sich an die allgemeine Theorie ionogener Reaktionen von Ogg und Polanyi¹ an. Diese Theorie ist bisher angewendet worden auf die Reaktionen, von Alkalimetallnatrium mit organischen Halogenverbindungen², sowie auf die Reaktionen von Alkalimetallnatrium mit den Halogenen³ und den Halogenwasserstoffen⁴, ferner auf die Reaktionen von Na_2 -Molekülen mit Halogenatomen⁵. Ausserdem liegen vor Anwendungen auf eine Gruppe von Ionenreaktionen in Lösungen, nämlich auf die elektrolytische Dissoziation und Hydrolyse organischer Halogenverbindungen und auf die Substitution organischer Halogenverbindungen durch Halogenionen⁶. Weitere Untersuchungen über Substitution orga-

¹ Ogg u. Polanyi, Proc. Manchester. Lit. Phil. Soc., 78, 41 (1933–34)

² Unveröffentlichte Resultate von Ogg u. Polanyi.

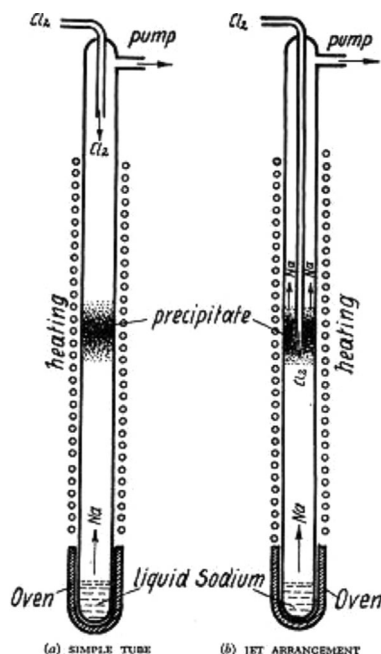
³ M. G. Evans u. A. G. Evans, Trans. Farad. Soc. im Druck.

⁴ Ogg u. Polanyi, Trans. Farad. Soc., 31, 604 (1933)

4. ábra. Horiuti és Polányi cikkének [3] első oldala

irányban lejártszódó reakciók sebességei nem adják ki azt az egyensúlyt, amit a termodinamika törvényei megkövetelnének [1, 2]. Az ütközési elmélet alapján nem kaptak megfelelő értéket a reakciók sebességi együtthatójára. Az Arrhenius-féle törvényt használták azzal a magyarázattal, hogy az aktiválási hő, amely mindig pozitív energiamennyiség, a reakciógátlás leküzdésére szolgál, azaz az átlagosnál nagyobb energiájú molekulák képesek reakcióra. Általában csak termikus aktiválású reakciókkal foglalkoztak. Fotokémiai vagy elektromos kisülés hatására végbemenő reakciókat, amelyekre nem érvényes Arrhenius törvénye, nem vizsgáltak. Az értelmezéshez szükséges molekuláris modell megalkotása várt Polányira és kortársaira, akik már támaszkodhattak a statisztikus mechanika és a kvantummechanika új eredményeire. Jelentős lépés volt az asszociációs és disszociációs reakciókra kidolgozott Polányi–Wigner-féle elmélet [10]. Az egyszerűbb reakció típusra, például $H + H_2 \rightarrow H_2 + H$ vagy $H + HBr \rightarrow H_2 + Br$, Polányi London elméletét [2] alkalmazta, amely szerint az atommagok a klasszikus mechanika törvényei szerint mozognak olyan potenciál szerint, amelyet a kvantummechanika rendel a magok egy adott konfigurációjához (Born–Oppenheimer-közelítés). Ily módon ezeknek a reakcióknak az energiafelületei kiszámíthatók voltak. Az ilyen reakciók aktiválási energiájának megadásánál az elméleti számításokon kívül a mérési adatokra is támaszkodtak.

Gyors reakciók vizsgálatára kifejlesztették a „nagy ritkítású atomi láng” módszert (5. ábra). Ebben a munkában részt vettek magyarok, így Schay Géza (1900–1991) és Bogdándy István (Stefan von Bogdándy 1890–1933) is, akiknek Hans Beutlerrel (1896–1942) együtt a kísérleti technika fejlesztésében volt oroszánrészüik [11–13]. Schay Géza a magyar fizikai kémiai meghatározó, iskolateremtő személyisége lett, különösen reakciókinetikai, termodinamikai és adszorpciók kutatásai voltak jelentősek.

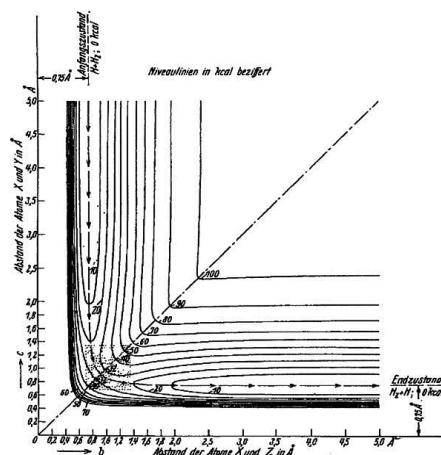
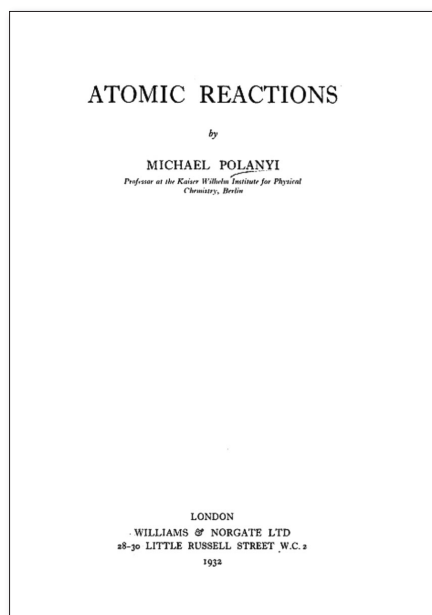


5. ábra. Polányi és munkatársai egyik kísérleti eszköze reakciósebességek mérésére

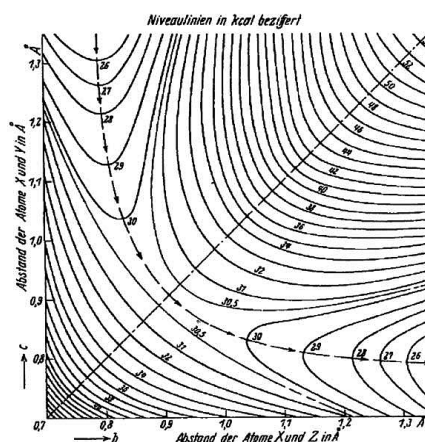
Az 5. ábrán a reakció: $\text{Na} + \text{Cl}_2$. Az egymással reakcióba lépő gázok a kb. 1 m hosszú, 3 cm átmérőjű cső két végén lépnek be nagyon kis nyomás mellett. A reakció a cső közepén megy végbe. Itt mérték a kemilumineszcenciát vagy a szilárd lerakódást a cső falán. A reakciózóna hosszából a diffúzió és a gázkinetikai hatáskeresztmetszet ismeretében meg lehet becsülni, hogy hány szóródáshoz vezető ütközés történt a belépő atomok (molekulák) között a reakciót megelőzően [14]. Polányi a korai eredményeket könyvben foglalta össze 1932-ben (6–8. ábra).

A potenciálisenergia-felületeket Polányi és Eyring [15–16], illetve az általuk kidolgozott átmenetiállapot-módszer alapján H. Pelzer és Wigner [17] sikerrel alkalmazta az aktiválási energia és a reakciósebesség kiszámítására. Érdekes, hogy Wigner nemcsak Polányi mellett dolgozott a reakciókinetika elméletén, hanem még azután is évekig, sőt a Polányi vetélytársává váló Eyringgel is publikált [18–22].

6. ábra. Polányi addigi eredményeit összefoglaló könyvének címlapja [14]

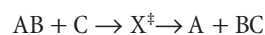


7. ábra. Három, egyvonalban elhelyezkedő hidrogén rezonancia-energiája a köztük lévő távolság függvényében a H_2 -molekula optikai energiagörbéje alapján számolva, a Coulomb-kölcsönhatást elhanyagolva [15]



8. ábra. A 7. ábra nyeregpont körüli része kinagyítva [15]

A 8. ábra topográfiai térképhez hasonlít, de a magassági vonalak azonos potenciális energiájú felületeket jelölnek. Az aktiválási potenciálgát nyergének megfelelő konfigurációjú rendszert aktiválási komplexumnak nevezik. Az átmeneti állapotban lévő komplexumra meg lehet adni a termodinamikai függvényeket, ehhez a kinetikai mérések szolgáltatnak adatokat, és ebből a komplexum mibenlétére lehet következtetni. A függvényeket a statisztikus mechanika módszereivel lehet kiszámítani. A statisztikus elmélet az aktivált komplexum ($\text{X}^\ddagger$) reagáló anyagokból való képződését asszociációs reakciónak tekinti, amelynek endoterm hőeffektusa az aktiválási energia.



Amennyiben egyensúlyra vezető reakcióról van szó, akkor az egyensúly elérése után a két egymást követő lépésnek ugyanolyan sebességgel kell végbemennie mindkét irányba [23]. Az egyensúlyi állandót a komponensek és az aktivált komplexum állapotösszegeiből a zéruspont-energiákat figyelembe véve lehet kiszámolni. Az aktivált komplexumnak a reakciótermékekre való szétesését úgy veszik figyelembe, hogy a termékek állapotösszegeiből leválasztják a szétesésre vezető normálrezgést [1]. Igazából már Angliában születtek Polányi azon cikkei, amelyek reakciókinetikai elmélete, az átmenetiállapot-elmélet betetőzését jelenti.

Polányi Mihály

Fiatal évei és munkásságának kezdete Magyarországon



9. ábra. Polányi Mihály aláírt arcképe [2]

Polányi Mihály (Budapest, 1891. március 11. – Northampton, Egyesült Királyság, 1976. február 22.) (9. ábra) Pollacsek Mihály (1848–1905) és Cecilia Wohl (1861–1939) ötödik gyermekeként született [2, 24–30]. Apja a zürichi Eidgenössische Technische Hochschule hallgatója volt, itt szerzett mérnöki diplomát 1870-ben. Építésvezetői állást kapott a svájci államvasutaknál. Komoly feladatokkal bízták meg, így 1876-ban ő vezette a Seebach–Zürich vasútvonal építését. Ezt követően Bécsben vállalt vasúttervezési munkát. 1892-ben Budapestre költöztek, itt az apa építési vállalkozóként folytatta a munkáját. Magyarországon több mint 1000 km vasutat épített a vállalkozása. A gyerekek gondos nevelésben, az elemi iskolák helyett magántanításban részesültek. Már korán

10. ábra. Az 1882-ben, Feszty Adolf tervei szerint épült Foncière-palota korabeli képeslapon (FSZEK Budapest Gyűjtemény)



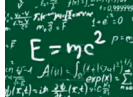
elsajátították a magyaron kívül a német és az angol nyelvet is. A család jómódban élt, azonban a századvégi gazdasági válság miatt 1899-ben elvesztették vagyonuk és jövedelmük nagy részét. Ki kellett költözniük a Foncière-palotából (Andrássy út 2.) (10. ábra) lévő nagypolgári lakásukból. A ház még ma is az Andrássy út elejének ékessége, noha a 2. világháborúban elpusztult kupoláját nem állították helyre. Polányi Mihály születésének 100. évfordulójára a ház falára emléktábla került (11. ábra).



11. ábra. A Polányi család emléktáblája az Andrássy út 2. házon

Polányi édesapja Németországban vállalt munkát. Vélhetően a megfeszített munka és a megrázkódtatások hatása miatt 1905-ben elhunyt. Polányi gimnáziumi tanulótársai korrepetálásával kereste meg a család megélhetéséhez szükséges pénz egy részét. A Magyar Királyi Tanárképző Intézet Gyakorló Főgimnáziumába járt. Ma ez az iskola az Eötvös Loránd Tudományegyetem Gyakorlóiskolája és Trefort Ágoston nevét viseli. Ebből a gimnáziumból sok kiválóság került ki, így Kármán Tódor (1881–1963), Szilárd Leó (1898–1964), Hevesy György (1885–1966), Erdey-Grúz Tibor (1902–1976), Teller Ede (1908–2003), Kürti Miklós (1908–1998), valamint Schay Géza, csak azokat említve, akik a jelen írásban is szerepelnek.

Az érettségi után, 1908. szeptember 23-án Polányi Mihály orvostanhallgató lett a Budapesti Magyar Tudományegyetemen. Ez édesanyja kívánsága volt, aki szerette volna azt, hogy fiának biztos megélhetése legyen. Polányi első orvosi szigorlatát 1910 júniusában tette le kitűnő eredménnyel. Orvosi kémiából Buchböck Gusztávnál (1869–1936) kitűnőt kapott. Egyre inkább a kémia iránt érdeklődött, egyes orvosi tárgyakból kevésbé volt szorgalmas. Tangl Ferenc (1866–1918) orvosprofesszor hatására, aki akkor az Állatorvosi Akadémián dolgozott, Polányi már elsőévesként elkezdte a kutatómunkát. Első, biokémiai tárgyú dolgozata 1910-ben jelent meg. Ekkor kezdett el termodinamikával is foglalkozni.



1912-ben Karlsruheba ment tanulmányútra Georg Bredig (1868–1944) kémiai intézetébe, aki katalízissal, reakciókinetikával és elektrokémiával foglalkozott. Hazatérte után írt dolgozatai a termodinamika és a kvantumhipotézis összefüggéséről, valamint a termodinamika harmadik főtételének kiterjesztéséről még Einstein tetszését elnyerték. Einsteinnel később több levelet is váltott, a Chicagói Egyetem könyvtárában található Polányi-archívum összesen hármát őriz – 1920-ból, 1922-ből és 1932-ből. Kevés olyan 20. századi tudós van, akivel Polányi nem levelezett. Ebben az archívumban számos levél található Max Born-tól, Niels Bohrtól, William H. és William L. Braggtól, Bredigtől, Otto Hahntól, Fritz Habertől, Werner Heisenberg-től, Hevesy György-től, Kürti Miklóstól, Max von Laue-tól, Walter H. Nernst-től, Edwin Schrödingertől, Szilárd Leótól, Kármán Tódortól és Wigner Jenőtől. Thomas Kuhn amerikai tudományfilozófussal folytatott levélváltásából pedig az derül ki, hogy a későbbiekben nagy karriert befutó „paradigma” fogalmát Kuhn Polányitól vette át.

Polányit 1914. április 7-én fogadták orvosdoktorrá. 1914. július 28-án kitört az 1. világháború, hősi cselekedeteiért pedig katonasíri lett. A szerbiai hadszíntéren nap mint nap rengeteg súlyos sebesültet látott el, és a járványokkal is meg kellett küzdenie. Az ifjú segédorvost hamarosan főorvossá nevezték ki, de nemsokára ő is megbetegedett. Először diftériát kapott, majd vesebeteg lett. Még ellátott ugyan kórházi szolgálatot, de idővel nyugdíjazták. A katonai szolgálat alatt is folytatta kutatásait, és levelezett a vezető német tudósokkal. A Kir. Magyar Természettudományi Társulat kémiai-ásványtani szakosztályának 155. ülésén, 1917. január 30-án tartott előadásáról ez áll az emlékeztetőben: „Polányi Mihály az adszorpció címen e jelenség természetét kutató vizsgálatait terjesztette elő. Az előadás a M. Ch. Folyóiratban megjelenik”. (Meg is jelent – hosszúsága miatt – több részletben.) Az adszorpció tárgykörében írt disszertációját be tudta nyújtani a Budapesti Tudományegyetemen, és 1918-ban megszerezte bölcsészdoktori címet. A többregegy adszorpció modell, amit Polányi felállított, a hazai és a német kollegák kritikáját is kiváltotta. Csak két év tized után derült ki, hogy Polányinak volt igaza. Ehhez az kellett, hogy Fritz London (1900–1954) megalkossa a diszperziós erők elméletét, amivel magyarázni lehetett a felület és az adszorbeálódó molekulák közötti, illetve a molekulák egymás közti kölcsönhatását [31]. Az adszorpció és a kemisorpció problémájával gyakorlatilag egész vegyész pályafutása alatt foglalkozott.

Polányi Mihály ugyan egyik alapító tagja volt a Galilei Körnek, aminek első elnöke (1908–1910) bátyja, Károly volt, de bátyjával ellentétben nem vonzódott a politikához, és szkeptikus volt a szocialista ideológiákkal kapcsolatban. Polányi Károly (1886–1964) elhagyta Magyarországot 1919-ben, a Tanácsköztársaság kikiáltása után, mert ellenezte a proletárdiktatúrát. Ő is világhírű tudós lett, gazdaságtörténetet és szociológiát tanított az Oxfordi Egyetemen, majd Kanadában, illetve a New York-i Columbia Egyetemen.

A politikai helyzet miatt és tudományos törekvéseinek megvalósítása végett Polányi Mihály úgy döntött, hogy visszatér Né-

metországba. Németországi és angliai életével és munkásságával folytatjuk a 2. részben.



IRODALOM

- [1] Erdély-Grúz T., Schay G., Elméleti fizikai kémia II. Tankönyvkiadó, Budapest, 498–554.
- [2] E. P. Wigner, R. A. Hodgkin, Michael Polányi. Biographical Memoirs of Fellows of Royal Society (1977), 423–448 [magyarul Polányiana (2002) 1–2/11, 19–62].
- [3] J. Horiuti, M. Polányi, Grundlinien einer Theorie der Protonübertragung. Acta Physicochimica U.R.S.S. (1935) 2, 505–532.
- [4] Inzelt Gy., Egyetlen cikk elég a halhatatlansághoz, avagy Polányi Mihály elektrokémiai kirándulása. Polányiana (2003) 12, 75–90.
- [5] B. B. Damaszkis, O. A. Petrij, Vvegyenyije v elektrokhimiceszkuju kinetiku (Bevezetés az elektrokémiai kinetikába). Vűszsaja skola, Moszkva, 1975.
- [6] Inzelt Gy., Milestones of the development of kinetics of electrode reactions. J. Solid State Electrochemistry (2011) 15/7–8, 1373–1389.
- [7] M. Polányi, Zur Theorie der Reaktionsgeschwindigkeiten. Z. Physik (1920) 90–110.
- [8] M. Polányi, Mechanism of chemical reaction. Endeavour (1949) 8, 3.
- [9] E. P. Wigner, Richtmyer Memorial Lecture, 1955. On the development of the compound nucleus model. American Journal of Physics (1955) 23, 371–380. A közbesőmag-modell fejlődése. Wigner J., Szimmetriák és reflexiók. Válogatott tanulmányok. Gondolat, Budapest, 1972. 121–123.
- [10] M. Polányi, E. Wigner, Formation and decomposition of molecules. Z. Physik (1925) 33, 429–434.
- [11] H. Beutler, M. Polányi, Über hochverdünnte Flammen. I: Flammen im einfachen Rohr. Vorläufige Analyse des Reaktionsmechanismus. Reaktionsgeschwindigkeit, Leuchtvorgang. Z. phys. Chem. (1928) B1, 3–20.
- [12] S. von Bogdandy, M. Polányi, Über hochverdünnte Flammen. II.: Düsenflammen. Anstieg der Lichtausbeute bei wachsendem Partialdruck des Natriumdampfes. Z. phys. Chem. (1928) B1, 21–29.
- [13] M. Polányi, G. Schay, Über hochverdünnte Flammen. III.: Die Natrium-Chlorflamme. Beweis und Ausbau des Reaktion- und Leuchtmechanismus. Die beiden Reaktionstypen. Überblick über die ganze Untersuchung. Z. phys. Chem. (1928) B1, 30–61.
- [14] M. Polányi, Atomic reactions. Williams & Nordgate Ltd., 1932.
- [15] H. Eyring, M. Polányi, Über einfache Gasreaktionen. Z. phys. Chem. (1931) B12, 279–311.
- [16] H. Eyring, The energy of activation for bimolecular reactions involving hydrogen and the halogens, according to the quantum mechanics. J. Am. Chem. Soc. (1931) 53, 2537–2549.
- [17] H. Pelzer, E. Wigner, Über die Geschwindigkeitskonstanten von Austauschreaktionen. Z. phys. Chem. (1932) B 15, 445–471.
- [18] E. Wigner, Über das Überschreiten von Potentialschwellen bei chemischen Reaktionen. Z. phys. Chem. (1933) B 19, 203–216.
- [19] E. Wigner, H. Eyring, On the Rate of Chemical Reactions. Scientific Monthly (1937) 44, 564–567.
- [20] E. Wigner, Calculation of the Rate of Elementary Association Reactions. J. Chem. Phys. (1937) 5, 720–725.
- [21] E. Wigner, The Transition State Method. Trans. Faraday Soc. (1938) 34, 29–41.
- [22] E. P. Wigner, Some Remarks on the Theory of Reaction Rates. J. Chem. Phys. (1939) 7, 646–652.
- [23] Veszprémi T., Általános kémia. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2008, 435–462.
- [24] Czeizel E., Tudósok, gének, tanulságok. A magyar természettudós géniusok családfaelmzése. Galenus Kiadó, Budapest, 2006, 153–186.
- [25] Szapor J., A világhírű Polányiak. Egy elfelejtett család regényes története. Aura Kiadó, 2017.
- [26] Inzelt Gy., Vegykonyhájában szintén megteszi. A kémiáról és más dolgokról. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2006. 291–312.
- [27] Hargittai I., Móza Sz., Beck M., Bérces T., Keszei E., Inzelt G., Bényei A., Schiller R., Fűstöss L., J. C. Polányi, G. A. Olah, G. A. Somorjai, Polányi Mihály, a kémikus. Polányiana (2003) 12 (1–2) 3–129.
- [28] M. J. Nye, Working Tools for Theoretical Chemistry: Polányi, Eyring, and Debates Over the “Semiempirical Method”. J. Computational Chemistry (2007) 28, 98–108.
- [29] B. Friedrich, Michael Polányi (1891–1976) The Life of the Mind. Bunsen-Magazin (2016) 18, 160–167.
- [30] G. Palló, Michael Polányi’s Early Years in Science. Bulletin History of Chemistry (1998) 39–43.
- [31] M. Polányi, F. London, Über die atomtheoretische Deutung der Adsorptionskräfte. Naturwissenschaften (1930) 18, 1099–1100.

Béke és civilizáció

Polányinak mint generációja minden tagjának életét megváltoztatta az 1. világháború. Hosszú tanulmányban fejtette ki azokat a gondolatait, amelyek tartós békéhez vezethetnének. Többek között ezt javasolta: „Civilizációnk fennmaradását csak az egyesült Európa eszméje biztosíthatja; ne várjunk, míg a népek elkeseredése forradalmak szenvedéseit át valósítja meg azt. [...] Csak gyors, határozott és messzemenő rendezése a nemzetközi jognak a népek önrendelkezési joga alapján mentheti meg Európát oly megrázkódástól, mely borzasztóbb lenne, mint minden, amit eddig átéltünk. Csak egy megoldás van: a legfőbb hatalmat a nemzetek fölé helyezni, állandó európai hadsereget állítani fel, mely az Egyesült Államokkal egyetemben biztosítsa civilizációnk uralmát a földön.”

Polányi M.: A békeszerzőkhöz. Nézetek az európai háború és béke feltételeiről. Huszadik Század (1917) szeptember–október

