

A kvarkfizika történetének második évtizedében végzett munka kutatói stílusunkra mindmáig rányomja bélyegét. Egyikünk sem érdeklődött tartósan a modellépítés, az új szimmetriákat, új szabadsági fokokat feltételező elméleti modellek konstrukciója iránt. Mindannyian a Standard Modell (esetleg annak minimális tágítását jelentő modellek) kvantumdinamikájának minél nagyobb elméleti tisztaságú megoldására tettünk és teszünk erőfeszítéseket. Ez a kutatói érdeklődés és stílus átsugárzott a QCD kutatásában bennünket követő generációra is. *Fodor Zoltánt, Trócsányi Zoltánt, Petreczky Pétert* világszerte a finom megközelítést igénylő dinamikai kérdések kiemelkedő aktivitású magyar szakembereiként tartják számon.

És végül: a kvarkok dinamikájának Puskin utcai kutatását kezdeményező barátunk, Kuti Gyula 1940. november elsején született. Éljen és dolgozzon soká!

## Irodalom

1. R. Barbieri, R. Kögerler, Z. Kunszt, R. Gatto, *Phys. Lett.* 56B (1975) 477, *ibid.* 57B (1975) 455, *ibid.* 66B (1977) 349.
2. R. Barbieri, R. Kögerler, Z. Kunszt, R. Gatto, *Nucl. Phys.* B105 (1976) 125.
3. L. Gálfi, P. Hasenfratz, *Lett. Nuov. Cim.* 3 (1972) 702.
4. I. Montvay, *Nucl. Phys.* B53 (1973) 521.
5. F. Csikor, I. Farkas, Z. Katona, I. Montvay, *Nucl. Phys.* B74 (1974) 343; F. Csikor, Z. Katona, I. Montvay *Lett. Nuov. Cim.* 8 (1973) 99.
6. F. Csikor, I. Farkas, I. Montvay, *Nucl. Phys.* B79 (1974) 92; I. Montvay, *Phys. Lett.* 53B (1974) 377; F. Csikor, *Acta Phys. Pol.* B7 (1976) 713.
7. F. Csikor, I. Montvay, F. Niedermayer, *Phys. Lett.* 49B (1974) 47.
8. F. Niedermayer, *Nucl. Phys.* B79 (1974) 355.
9. A. Patkós, *Nucl. Phys.* B97 (1975) 352, *ibid.* B112 (1976) 333, *ibid.* B129 (1977) 339.
10. P. Gnädig, P. Hasenfratz, J. Kuti, A. S. Szalay, *Phys. Lett.* 64B (1976) 62.
11. P. Gnädig, Z. Kunszt, P. Hasenfratz, J. Kuti, *Annals Phys.* 116 (1978) 380.
12. P. Hasenfratz, J. Kuti, *Phys. Rept.* 40 (1978) 75–179.

# POLÁNYI KONTRA EINSTEIN: VITA AZ ADSZORPCIÓRÓL

Palló Gábor

MTA Tudományszervezési Intézet

Az 1920-as évek elején fontos tudományos témává vált a gázok adszorpciója szilárd felületeken. Egyebek között azért, mert általában is a tudományos érdeklődés középpontjába kerültek az atomok és molekulák közötti kölcsönhatások. *Walther Kossel* és *G. N. Lewis* ugyanabban az évben, 1916-ban tett alapvető állításokat az atomokat összekapcsoló erőkről, amelyek elektromos természetűek, azaz elektronok játsszák a főszerepet benne. Lewis elektronpárokról érkezett, amelyeken az összekapcsolódó atomok osztoznak, Kossel pedig arról, hogy az atomok egymástól vesznek el elektront, miközben elvesztik elektromos semlegességüket, és eltérő töltésük miatt ionos vonzás alakul ki közöttük. A tudományos periférián alkotó *Polányi Mihály* kidolgozott egy adszorpció elméletet, amely túlmutatott az addigi empirikus felfogáson. Időközben az amerikai *Langmuir* egy vonzóan egyszerű elmélettel állt elő, amely nem vett tudomást Polányi eredményeiről. Polányi azonban hamarosan emigrált Németországba, szakmája centrumába, és megpróbálta megvédeni adszorpció elméletét a vezető szakemberek körében, amely kör magában foglalta *Albert Einsteint* és *Fritz Habert*, a Nobel-díjas fizikai kémikust, az egyik legbefolyásosabb német tudóst. A vita Polányi számára élet-halál kérdése volt. Úgy érezte ettől függ mind tudományos, mind emigránsi jövője. Az alábbi írásban a vitát fogom elemezni, szomorú háttérfolyamataival, a tudomány gyakran lokális, azaz nem globális, nem univerzális jellegével együtt, továbbá az érve-

lési módokkal és a centrumban tevékenykedő tudósközösség működésével együtt.

A gázadszorpcióval foglalkozó vita a tudósközösségen belül zajlott, nem gyakorolt jelentős hatást a specialisták körein kívül. Nem nyilvánvaló tehát, hogy csakugyan számított benne a résztvevők földrajzi vagy kulturális helyzete, azaz, hogy a hatalmas tudományos hálózat perifériáján dolgoztak vagy a centrumában. A tudományos vitákkal foglalkozó szakirodalom főként olyan vitákat elemzett, amelyek vagy a tudósok közösségén belül zajlottak, vagy olyanokat, amelyek a tudósok és a laikusok között. A lokalitás mintha inkább az utóbbi esetben gyakorolt volna befolyást, az előbbiben nem. Amikor például a nukleáris hulladék elhelyezésének biztonságáról kell meggyőzni a lakosságot, a lokális tudás és a helyiek érvelése bizony döntő lehet. A helyi érvelési módok, illetve retorikai eszközök jelentősen különbözhetnek egymástól, sőt függhetnek a vita tárgyától és a résztvevők sajátos helyzetétől, érdekeitől. Ennek analógiájára azt is feltételezhetjük, hogy az érvelés és retorika más a tudományos centrumban, mint a periférián, mert eltérnek a társadalmi és politikai értékek, hagyományok és kommunikációs módok.

Ebben az írásban éppen ez utóbbi jelenséget mutatom be. Milyen szerepet játszhat a periférikus helyzet valamely általános érvényű tudományos problémáról folytatott vitában, azaz olyanban, amelyben a szönyegen szereplő problémának nincs köze a helyi gyakorlathoz. Miféle periférikus vonást lehet felfedezni a tudomány belső köreit foglalkoztató vitában? Az alábbiak éppen ilyen vitát idéznek fel, fontos pontokon

Az alábbi írás az *Ambix* című folyóiratban angolul közölt tanulmány rövidített, átdolgozott változata.

vitatva egy nemzetközi együttműködés eredményeit, amely a centrum és periféria kapcsolatait jellemzi az európai periférián működő tudomány és technológia területén.<sup>1</sup>

## A probléma kognitív oldala

A gázadszorpció mindennapi jelenség: ha gáz kerül kapcsolatba szilárd test felületével, a gázrészecskék a felülethez tapadnak. A jelenséget a felületen megkötődő, azaz adszorbeált gáz mennyisége és a nyomása közötti összefüggés segítségével szokták leírni megadott hőmérsékleten. A függvényt adszorpció izotermának hívják. Az izoterma megadható grafikusan és matematikai formulával. A 20. század elején a jelenséget, illetve az izotermát az új tudományterület, a fizikai kémia, pontosabban az éppen születőben lévő aldiszciplína, a kolloidika fogalmaival akarták leírni.

Polányi Mihály, az adszorpcióról szóló vita egyik résztvevője orvos és fizikokémikus volt, később filozófus. Évtizedekkel a vita lezárulása, de nem eldöntése után megírta a vita történetét saját filozófiai reflexióival együtt. 1963-ban a *Science* magazin közölte a cikket, amely beszámolt fontos részletekről, beleértve a vita kétségeket támasztó, állásfoglalás nélküli végét [1].

Polányi 1914-es adszorpció elméletében föltételezte, hogy a szilárd test felülete vonzza a gázmolekulákat. A vonzás potenciális energiája függ a felület és gázrészecske közötti távolságtól, de nem függ a jelenlévő többi gázrészecskétől. Polányi definiált egy fogalmat, amelyet adszorpció potenciálnak nevezett. Az adszorpció potenciál térfogatófüggését egyszerű formula fejezte ki:  $\epsilon = f(\phi)$ , ahol  $\epsilon$  az adszorpció potenciál,  $\phi$  az a térszegmens, amelyben a vonzóerő hat. Polányi fizikai elgondolása szerint a gáz a termodinamika törvényeinek megfelelően viselkedik, és van der Waals-erők működnek a nempoláris gázmolekulák között: ha a vonzóerők hatékonyak, a gáz kondenzál az adszorbens felületén. Az adszorbeált anyag ezért több molekula vastagságú réteget is alkothat az adszorbens felületén és a molekulák meghatározott sorrendben helyezkednek el ezen a felületen. Azonban Polányi nem tudta pontosan megmondani, milyen természetű a vonzóerő és nem tudott megadni izoterma-egyenletet sem [2].

Az amerikai Irving Langmuir 1916-tól kezdte kifejleszteni a gázadszorpcióra vonatkozó elméletét, persze Polányitól teljesen függetlenül [3]. Langmuir feltételezte, hogy az adszorpcióval mindig együtt jár az ellentétes folyamat, a deszorpció, azaz a már felületre tapadt gázrészecskék leválása az adszorbens felületéről. Az adszorpció és a deszorpció dinamikus egyensúlyt alakít ki. Az adszorbens felületének lefedettsége

a két folyamat sebességi állandója segítségével számítható ki. Langmuir egyszerű izoterma-egyenletet adott meg:

$$\theta = \frac{\alpha P}{1 + \alpha P},$$

ahol  $P$  az adszorbeált gáz egyensúlyi nyomása,  $\theta$  a felület lefedettségének aránya,  $\alpha$  empirikus állandó.

Langmuir megközelítése három fő ponton különbözött Polányiétól. Először: Langmuir föltételezte, hogy az adszorbensen keletkező gázréteg egyetlen molekula vastagságú, azaz monomolekulás, Polányi viszont több molekula vastagságú réteget is megengedett. Másodszor: Langmuir föltételezte, hogy az adszorbeált molekulák nem lépnek egymással kölcsönhatásba. Ez utóbbi nem teljesen független az elsőtől: a több molekula vastag rétegben az adszorbeált molekulák közötti kölcsönhatás szükségszerű, a monomolekulásban nem. Harmadszor: Langmuir szerint az adszorpciót elektrosztatikus erők okozzák, amelyek az ionok és polarizált atomok, illetve molekulák között működnek.

Részletes elemzés nélkül is kitűnik, hogy a két megközelítés az egyik pontban látványosan különbözik egymástól: az adszorbeált réteg vastagságában: egymolekulás vagy többmolekulás az adszorbeált réteg vastagsága?

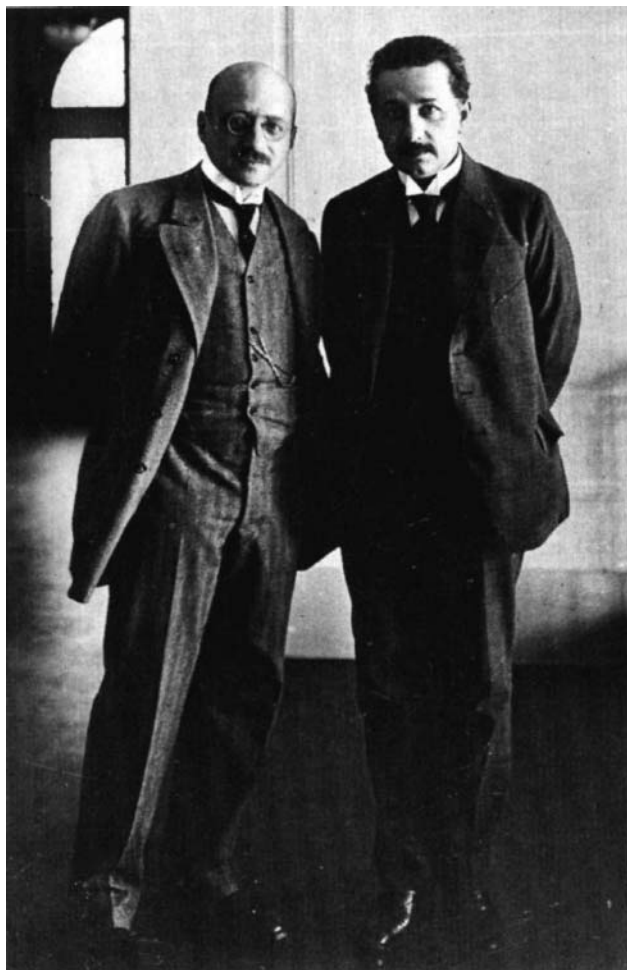
## A szociológiai probléma

A vita drámai körülmények között tört ki 1921-ben. A helyszín a tudomány egyik leghíresebb korabeli centruma: Berlin-Dahlemben a Kaiser-Wilhelm Fizikai Kémiai és Elektrokémiai Intézet, amelynek igazgatója a Nobel-díjas Fritz Haber, a korabeli németországi tudomány egyik legbefolyásosabb személyisége. Polányi harminc éves volt, friss jövevény mind a fizikai kémiában, mind Berlinben.

Polányi orvosi végzettséget szerzett Budapesten 1914-ben. Az Első Világháború után a növekvő antiszemitizmus és a beszűkülő perspektíva miatt 1920-ban döntött úgy, hogy elhagyja Magyarországot és vele tanult mesterségét is. A fizikai kémia és a kolloidika iránt budapesti egyetemi éve alatt ébredt fel érdeklődése. Végzett némi laboratóriumi munkát *Tanagl Ferenc* fiziológiai intézetében, kémiai nyári kurzusokon tanult Karlsruhe-ban a budapesti egyetemi vakációk idején. Körülbelül ez volt a teljes, hivatalos iskolázottsága kémiából. 1920-ban, a német tudományos világ perifériájáról érkezve létfontosságú volt Polányinak a tudományos állás Berlinben: Budapesten élő családja alig-alig tudta támogatni, inkább a család szorult volna az ő anyagi segítségére.

Azt a reményt, hogy esetleg tudóssá válhat Albert Einstein táplálta belé. A budapesti fiziológiai laboratóriumban dolgozva, Polányi belebotlott *Nernst* tételébe, amelyet a termodinamika harmadik főtételének szoktak nevezni, és önálló gondolata támadt a tétellel kapcsolatban. Elküldte kéziratát *Georg Bredig*nek,

<sup>1</sup> Kostas Gavroglu, Manolis Patiniotis, Faidra Papanepopoulou, Ana Simoes, Ana Carneiro, Maria Paula Diogo, José Ramon Berto-meu Sanches, Antonio Garcia Belmar, Agusti Nieto-Galan: Science and Technology in the European Periphery. *History of Science* 156 (2008) 153–175.



Fritz Haber és Albert Einstein a Kaiser-Wilhelm Fizikai Kémiai és Elektrokémiai Intézetben 1915-ben.

kémia-professzorának a nyári kurzuson, ő pedig továbbította Einsteinnek, aki biztató levelet küldött Polányinak. Évtizedekkel később Polányi élete döntő eseményeként emlékezett az epizódra: „Bang, tudós lettem” – írta.

Miután elhagyta Magyarországot, Polányinak nem sok esélye volt, hogy állást találjon Karlsruheban, ahova Budapestről érkezett. Hamarosan lehetősége nyílt azonban arra, hogy részt vegyen a cellulóz szerkezetével foglalkozó kutatásban, mégpedig Berlinben a Kaiser Wilhelm Szálasanyag (Faserstoff) Intézetben, amely az akkoriban még vadonatújnak számító módszerrel kísérletezett; röntgen-diffrakcióval. Mind a cellulóz, mind pedig néhány fémkristály szerkezetére vonatkozó eredményei azt mutatták, hogy Polányi hihetetlenül kreatív. Az intézet közös épületben tevékenykedett a Fritz Haber igazgatása alatt működő Kaiser Wilhelm Fizikai Kémiai és Elektrokémiai Intézettel. Polányi a kémiai reakciók sebességének vizsgálatával szeretett volna foglalkozni, kitűnni, elismert kémikussá válni és átmenni a magas presztízsű és nagyobb lehetőségeket nyújtó Haber-intézetbe.

1921-ben mutatta be Polányi adszorpciós elméletét a Haber-intézet belső szemináriumán. Maga a téma igen közel esett Haber érdeklődéséhez, mert az ad-

szorpció szorosan kapcsolódott a heterogén katalízishez, Haber egyik legfőbb kutatási területéhez. Haber külön meghívta a szemináriumra Einsteint is, az intézet gyakori látogatóját, részint a téma érdekessége és fontossága miatt, részint pedig azért, mert tudta, hogy Polányi igen eredeti nézeteket kíván előadni az adszorpcióra vonatkozóan. Az ülés azonban Polányi számára szinte tragikusan végződött. Mindkét tekintély, Haber is és Einstein is mereven elutasította elméletét. Nem tudták elfogadni a többrétegű adszorpció elgondolását, és szóvá tették Polányi tudatlanságát az intermolekuláris erőkkel kapcsolatos újabb eredményekre vonatkozóan, amelyeket a tudományos világ széles körben tárgyalt akkoriban. Polányi úgy érezte, elveszítette minden reményét arra, hogy átmehessen a Haber-intézetbe, és attól tartott, hogy szépen induló tudományos pályájának is befellegzett. Évtizedekkel később, 1963-ban így emlékezett vissza az esetre: „Einstein és Haber úgy döntött, teljesen figyelmen kívül hagytam a tudományosan megalapozott anyag-szerkezeti eredményeket. Szakmailag éppen hogy csak túléltem az esetet.” Azt gondolta, hogy pályafutása Einsteinnel indult és Einsteinnel zárult.

Tudományszociológiai szempontból különös vonásokat mutatott a vita. Polányi fő opponensei, Haber és Einstein nem dolgozott ki semmiféle alternatív elméletet az adszorpcióra vonatkozóan. Másrészt Irving Langmuir, aki kidolgozott, nem volt jelen a szemináriumon. *Harry Collins*, angol tudományszociológus, a tudományos viták egyik kutatója használja a „core set” fogalmát, amit talán „legbelső körnek” fordíthatunk az adott összefüggésben: a vita résztvevőinek legbelső köre. Collins meghatározása szerint „a legbelső kört azok a tudósok alkotják, akik a vitatott témakörrel összefüggő kísérleti vagy elméleti munkában komolyan érdekeltek. Az adott tudományban csak a legbelső kör tagjai jogosultak arra, hogy hozzájáruljanak a konszenzus kialakításához, illetve a tudományterület későbbi fejlesztéséhez.” [4]

Esetünkben azonban sem Einstein, sem Haber nem végzett saját kutatást az adszorpció terén, viszont a szeminárium más résztvevői végeztek. Haber, mint említettem, ismerte a témát a heterogén katalízisre vonatkozó kutatásai miatt, Einstein pedig felhasználta a termodinamikát, sőt a kolloidikát is a Brown-mozgásra vonatkozó kutatásaiban, az Einstein–Smoluchowsky-egyenlet kidolgozásakor és egyéb munkáiban. Ezek alapján a belső körhöz tartoztak, de, hogy most *Ludwig Fleck* terminológiáját vegyük kölcsön, nem tartoztak a „specialista szakértők” (special experts) közé, csupán a „az általános szakértők” (general experts) közé. A specialista szakértők kutatják legmélyebben az adott tudományos témát, míg az általános szakértők csak az adott témához kapcsolódó témákat.

Polányi kínos helyzetét az okozta, hogy az általános szakértők elvetették megoldását, ám ezek az általános szakértők történetesen a korszak legtekintélyesebb tudósai közé tartoztak. A specialista szakértők Haber intézetének kémikus kutatói voltak, köztük *Herbert Freundlich*. Utóbbi Haber helyetteseként dolgozott, és

a kolloidikai osztályt vezette. Ő készítette az első adszorpciós izotermát, empirikus alapon még 1894-ben:

$$\frac{x}{m} = kP^n,$$

ahol  $x$  az adszorbeált mennyiség,  $m$  az adszorbens tömege,  $P$  a gáz nyomása,  $k$  és  $n$  empirikus állandók, amelyek eltérnek gáz-adszorbens páronként és hőmérsékletenként. Ez az egyenlet, anélkül, hogy bármiféle elméleti értelmezés kapcsolódott volna hozzá, úgynevezett elfogadott nézetnek számított Langmuir munkássága előtt.

Freundlich és csoportjának vegyész tagjai jelen voltak az inkriminált szemináriumon. Az egyik tag, a később nagynevű polimerkémikus *Hermann Mark* szerint a csoport tagjai nagyon is meg voltak elégedve Polányi értelmezésével, mivel maguk is gyakran alkalmaztak klasszikus termodinamikai gondolatmeneteket kutatásaikban. A specialista szakértők tehát úgy gondolták, hogy Polányi adszorpcióértelmezése nem mond ellent saját tapasztalataiknak és felhasznált elméleteiknek. Nem nagyon törődtek azzal, mit mondanak a nagyfőnökök, az általános szakértők a kémiai kötés legújabb elektronelméletei alapján. A specialisták nem ezeket használták munkájuk során.<sup>2</sup>

Irving Langmuir, a specialista szakértők egyike azonban nem volt jelen a szemináriumon. Ő az Egyesült Államokban élt, a General Electric laboratóriumában dolgozott a New York állambeli Schenectadyben. Langmuir saját kutatásait végezte anélkül, hogy reagált volna Polányi elgondolásaira. Kétségkívül a legfelső körhöz tartozott, amely Collins szerint szövetségesekből és ellenfelekből áll. Langmuir az ellenfelek közé tartozott.

Collins általános leírásai olyan jól illenek Polányi esetére, hogy akár azt is gondolhatnánk, ez szolgált modelljével. „A szövetségesek és ellenfelek csoportja valamely vita belső körében nem szükségképpen kötődik egymáshoz egyéb társadalmi köteléssel, mint amit az adott vita teremt, még az sem kell, hogy közös intézmény tagjai legyenek. Az ellenfelek és szövetségesek némely tagja a vitában hajlandó lerombolni az univerzum ama értelmezését is, amelyre mások egész pályafutásukat építették, amelyre akadémiai hitelességüket, sőt társadalmi identitásukat alapozták.” [5] Polányi bizony mindezt kockáztatta, és alig úszta meg a dolgot ellehetetlenülés nélkül. Mivel Haber méltányolta azt a munkát, amelyet Polányi a kristályszerkezetek terén végzett, 1923-ban áthívta saját intézetébe, és megbízta az újonnan létrejött osztály, a fizikai kémiai osztály vezetésével. Polányi kapott laboratóriumi területet, aszisztenseket és műszervásárlási lehetőségeket. Feladta a kémiai reakciók sebességének kutatása volt.

<sup>2</sup> *Beck Mihály* fizikokémikus egyik Polányiról szóló cikkében felidéri az adszorpciós vitát, és megjegyzi, hogy Polányi ellenfelei teljesen figyelmen kívül hagyták a van der Waals-erőket, amelyek egyrészt lehetővé tették a többrétegű adszorpciót, másrészt nélkülük az egyrétegű adszorpciót se lehetett volna értelmezni. Lásd Beck Mihály: A kémikus Polányi indulása és a tudományfilozófus Polányi gyökere. *Polanyiana* 2003/1–2, 49–54.

Mégis frusztrált maradt, mert adszorpciós elméletét elutasították. Makacsul meg volt győződve elmélete helyességéről, és megpróbálta meggyőzni a legbelső kört arról, hogy elmélete fölötté áll Langmuirénak.

## Érvelés

Einstein és Haber azért utasította el az adszorpció potenciálméletét, mert az elmélet többrétegű adszorpciót tételezett fel. Ellenvetésük ésszerű volt.

Először: Polányinak nem volt meggyőző elmélete az adszorbens felületéről kiinduló erő természetére vonatkozóan. Termodinamikai érvelését ómódinak tartották, amely figyelmen kívül hagyta a fizika legújabb eredményeit az intra- és intermolekuláris erőkre vonatkozóan. Hiányolták *Bohr* atommodelljét, *Kossel* kémiai kötéselméletét és *Debye* kutatásait, amelyek a molekulák közötti vonzóerőket a dipólok és indukált dipólok vonzásával hozták összefüggésbe. Az ellenvetés lényege az volt, hogy az elektrosztatikus erők túlságosan gyengék ahhoz, hogy az adszorbeálódó gázokat összenyomják és több réteg vastagságban együtt tartsák az adszorbens felületén. Úgy gondolták továbbá, hogy a felület és az adszorbeált molekulák közötti dipól-dipól kölcsönhatást leárnyékolja az adszorbeált anyag első rétege, ezért ez nem vonzhat a felületre újabb réteget. Azaz a bírálók nem hittek abban, hogy létezhetne bármiféle erő, amely újabb adszorbeált réteget tarthat a már adszorbeált első rétegen. Ahogy Polányi írta: „Az 1912–1930 között működött fizikusok minden ésszerű kétely fölött állónak tartották azt, hogy csak elektromos jellegű erők felelősek a molekulák közötti vonzásért. Az olyan érveket, amelyek ezen feltevés elégtelen voltára hivatkoztak, elutasították mint tudománytalant, mert nem láttak elgondolhatóan semmilyen más alapvetet, amely a molekulák közötti kölcsönhatást megmagyarázhatta volna.” [1]

Másodszor: Polányi figyelmen kívül hagyta Langmuir 1916-ban publikált elméletét, amely fokozatosan elfogadott nézetté vált. Langmuir elmélete összhangban állt mind a termodinamikával, mind az intermolekuláris erőkre vonatkozó, akkor modern elméletekkel. Langmuir feltételezte, hogy elektrosztatikus erők erednek az adszorbensek felületén, és ezek összefüggésben állnak az adszorbens felületére tapadt molekulák kémiai természetével. A vegyérték-elektron elméletéhez éppen ebben az időben tettek fontos lépéseket, közöttük volt a Lewis–Langmuir-elmélet, amely Lewis és Langmuir egymástól függetlenül végzett kutatásain alapult. Ez azt mutatta, hogy a kémiai kötőerők hatótávolsága igen kicsiny, ezért a gázmolekulák csak monomolekulás réteget tudnak képezni az adszorbens felületén. Ráadásul Langmuir izotermá egyenletet is megadott, amelyet meggyőző kísérletekkel támasztott alá.

Polányit tehát azzal vádolták, hogy figyelmen kívül hagyta ezt a két szempontot. Ebben a helyzetben csaknem minden ifjú kutató azt gondolná, hogy nem tud eleget, nem elég felkészült, hibás elméletet állított

fel, jobb lesz feladni az egésztest. Polányi azonban nem ezt gondolta. Einstein és Haber heves bírálata és Langmuir sikere ellenére Polányi meg volt győződve elmélete értékéről. Több mint tíz évig dolgozott azért, hogy elfogadtassa az adszorpciós potenciál elméletét.

Egy olyan fellegekben járó vitában, amilyen az adszorpció értelmezésével kapcsolatban folyt, aránylag kevés retorikai eszköz áll a vitapartnerek rendelkezésre a siker kiharcolásához, azaz a mértékadó vélemények megnyeréséhez. A „retorika” kifejezést abban az értelemben használok, ahogy a filozófus *Marcello Pera* használta, amikor rekonstruálta *Arisztotelész* distinkcióját a logikai, demonstratív érvelés és a dialektikai, retorikai érvelés között. Az előbbi, azaz a logikai, demonstratív érvelés igaz és univerzális premisszákból indul ki, míg az utóbbi, a retorikai, dialektikai érvelés a széles körben elfogadott véleményeket tekinti premisszáknak. A retorikai érvelésben az állítás érvényessége nem dönthető el tisztán formális eszközökkel. Közben, mint *Pera* megjegyzi, a kísérleti tények és elméletek lényegi szerepet töltenek be a tudományos viták alapvető tényezői között, olykor nem elegendők a meggyőzésre. Ezekben az esetekben ontológiai nézeteket, diszciplináris és ismeretelméleti értékeket, alapelveket és preferenciákat vesznek figyelembe, esetenként esztétikai vagy pragmatikai eszközöket.

Polányi szubsztantív eszközöket használt meggyőzési stratégiájában. Elméletét alátámasztó kísérleti tényeket igyekezett felmutatni, és finomította elméletét az atomi és molekuláris erőkre vonatkozó korszerű nézetek figyelembe vételével. De eredményei nem voltak eléggé meggyőzőek. Haber intézeti munkatárjaival, főleg *F. Goldmannal* műszert készített az adszorpció pontos kísérleti tanulmányozására. Azt remélte, hogy sikerül megerősítenie az adszorpciós potenciál-elméletet kiváló igen magas hőmérsékleten. Ám a kapott kép nem bizonyult tökéletesen tisztának. Ráadásul néhány újabb cikk megvédte Langmuir elméletét.

Az áttörés előreláthatatlan irányból érkezett, a kvantummechanikából, több mint tíz évvel a kínos szemináriumi előadás után. *Fritz London*, a kvantumkémia egyik megalapítója Berlinbe költözött az 1920-as évek végén és rendszeresen eljárt a Haber-intézet szemináriumaira. Itt rendszeresen találkozott Polányival, az intézet egyik vezető kutatójával. 1930-ban London kvantummechanikai számítását közölte a nem-poláris részecskék, például nemesgázatomok között működő gyenge erőről, amelyet diszperziós erőnek nevezett el. Ebben az erőben Polányi felismerte az adszorpciós potenciál-elmélet megmentőjét. Londont szövetségesének tekintette, és együttműködésre kérte a szükséges számítások elvégzésében.

Polányi ugyanis észrevette, hogy a diszperziós erő az adszorpciós potenciál forrása lehet, mégpedig ennek két fontos tulajdonsága miatt. Először is a diszperziós erő nagyságát nem befolyásolja a többi adszorbeált gázmolekula jelenléte, ezért nem fordulhat elő árnyékoló hatás. Másodszer, a diszperziós erő

hatótávolsága elegendőnek mutatkozott ahhoz, hogy egynél több réteg keletkezzen az adszorbens felületén. Polányi tehát úgy gondolta, hogy a diszperziós erő segítségével meg lehet magyarázni, hogy az adszorpció pontosan úgy működik, ahogy 1914-ben és 1916-ban feltételezte [6]. Úgy érezte, hogy együttműködése *Fritz Londonnal* elvezetett a végső győzelemhez a hosszú tudományos vitában: „megnyertem a háborút, melyet 15 éven keresztül vívtam.” [1]

Ebben a tudományon belül zajló vitában szubsztantív problémák, elméletek és tények körül zajlott a csata, ám a demonstratív és a kísérleti érvek nem bizonyultak elegendőnek a belső kör meggyőzéshez. A meggyőző érveléshez Polányinak új ontológiára, új világmépre volt szüksége. Ellenfelei (*Einstein*, *Haber* és *Langmuir*) az intermolekuláris erők természetére vonatkozó modern nézetekre támaszkodtak a maguk érvelésében. Elítélték Polányit amiért a klasszikus elgondolásokhoz ragaszkodott és figyelmen kívül hagyta a modern nézeteket. Most viszont megfordult a helyzet. Polányi érvelhetett saját elmélete mellett a még modernebb ontológia alapján, amely a kvantumfizikán nyugodott, ő mondhatta, hogy a monomolekulás adszorpció modelljét az 1920-as évek régi világképére alapozták, a kvantummechanika előtti időszak elavult termékére.

## A vita vége

Meg tudta-e győzni Polányi ellenfeleit arról, hogy ő nyert a vitában? Nincs meggyőző válasz erre a kérdésre. *William Scott*, Polányi életrajzírója szerint Polányi nagy meglepetést érzett a 30-as évek elején, mert azt hitte, beigazolódott eredeti adszorpciós elmélete. A kémiai történész *Mary Jo Nye* az esetről szóló kiváló tanulmányában hozzátette, hogy 1932-ben *Herbert Freundlich*, Polányi már említett kollégája publikált egy cikket, amelyben a két rivális elmélet között kompromisszumot igyekezett teremteni. Polányi ezzel szemben úgy gondolta, hogy *Langmuir* formulája egyszerűsítő idealizáció, amelyet speciális esetként le lehet vezetni saját általánosabb elméletéből. Ez volt Polányi végső álláspontja az ügyben.

Mire azonban Polányi megtalálta azt az érvelést, amelyet meggyőzőnek gondolt, a gázadszorpció egész problémaköre kikerült a tudományos érdeklődés frontvonalából. Csak a specialista szakértők érdeklődtek iránta, az általános szakértők elfordultak az egész témától. Időközben *Langmuir* megközelítése mély gyökeret eresztett a fizikai kémiában. Ez maradt a standard elmélet a legbelső kör számára. A tudósközösség *Langmuir* sikerét a lehető leglátványosabb módon ismerte el: odaítélte számára az 1932-es kémiai Nobel-díjat a felületi kémiában elért eredményeiért. Nobel-előadásában *Langmuir* nem is említette Polányi nevét, viszont érvelt a többrétegű adszorpció lehetőségé ellen [7].

Polányi tisztában volt azzal, hogy adszorpciós elmélete nem kapott széleskörű elismerést annak elle-

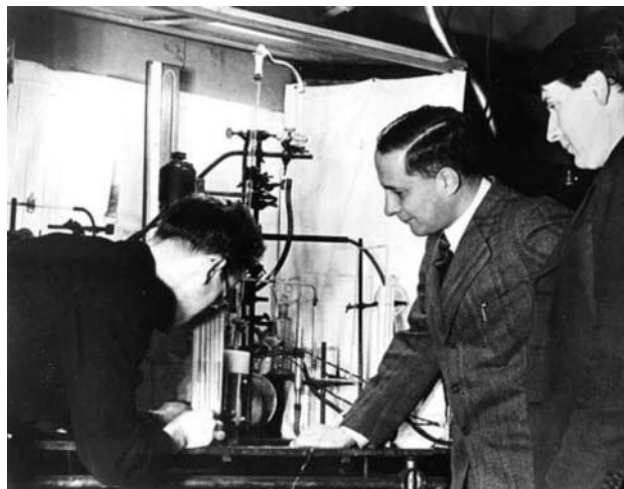
nére, hogy meg volt győződve arról, hogy elmélete szilárd alapokon nyugszik.<sup>3</sup> Scott és Molesky idéz egy levelet, amelyet Polányi egyik barátjának írt: „Kinek a sorsa jobb, az enyém vagy Langmuiré? Az én elméletem tökéletesen igaz, de nincs elfogadva. Langmuir elmélete téves, de nagyon híres... Langmuir jobban járt.” [8]

A későbbi időkben a gázadszorpció egész ügyét bonyolultabbnak tartották. A gáz és az adszorbens tulajdonságaitól függően különböző mechanizmusokat és izotermákat használtak az adszorpció különböző fajtáinak magyarázatára. Bizonyos típusúakat nem tudtak értelmezni a többrétegű adszorbeált gáz feltételezése nélkül. Az adszorpcióspotenciál-elmélet tehát életben maradt. Mind Mary Jo Nye, mind William Scott példákat sorol arra, hogyan talált utat az elmélet az amerikai tankönyvirodalomba [9]. Az 1950-es, 1960-as évek magyar tankönyvirodalma szintén ismertette Polányi elméletét, sőt ennek modernizált változatait is, például *M. Dubinyinét*. A többrétegű adszorpció feltételezést több számítási módszer is felhasználja, közöttük a nagyon sikeres Brunauer–Emmett–Teller-egyenlet (BET-egyenlet), ami szintén azt mutatja, hogy Polányi elméletét így vagy amúgy végül csak befogadta a fősodor is. Az adszorpció két alapvető fajtájának egyikévé vált, amelyet fiziszorpciónak (fizikai adszorpció) neveznek. Itt a kötési energia kisebb, mint 10 kcal/mol. A másik adszorpciófajtát kemiszorpciónak (kémiai adszorpció) nevezik; ez a Langmuir-féle adszorpció, amelyben a kötési energia 10 kcal/mol-nál nagyobb.

## Filozófiai motivációk

Polányi meglepően ragaszkodott az egyik fiatakkori elgondolásához. Évtizedekkel a vita után, a késői 1940-es évektől kezdve áttért a fizikai kémiáról a filozófiára, mégpedig Angliában, ahova átköltözött a náci Németországból. Filozófiai műveiben elmagyarázta bátor ragaszkodását az olyan tudományos elméletekhez, amelyek közül némelyeket elfogadtak, némelyeket nem. 1958-ban jelent meg legfontosabb filozófiai műve, a *Personal Knowledge (Személyes tudás)*. Az igen nagy hatású tudományfilozófiai munka középpontjában a kulturális, morális és tudományos elköte-

<sup>3</sup> Egy nem természettudós (közgazdász) diák, *Paul Craig* találkozott Polányival a 60-as évek elején, és egészen Polányi haláláig, 1976-ig szoros kapcsolatban maradt vele. Scott és Molesky Polányi-életrajzára reflektálva azt írja Craig: „az egyetlen, amit elmondhatok Scott beszámolójáról Michael tudományos életéről, az az, hogy a adszorpcióspotenciál-elmélete nagyobb szerepet töltött be Michael gondolkodásában, mint amit az életrajz mutat. Scott részletesen bemutatja Michael elméleti munkáját és ennek előrehaladását, de Scott simábbnak és kevésbé vitatható tapasztalatnak ábrázolja, mint ahogy én emlékszem Michael elmondása alapján. Azt a benyomást szereztem Michaeltól, hogy ez az elmélet fenyegette tudományos karrierjét, és nem tudta meggyőzni kollégáit még akkor sem, amikor elméletét tökéletesen igazolta, és nem engedték meg, hogy tanítsa az elméletet Manchesterben.” Paul Craig Roberts: *Michael Polanyi: A Man for All Times. Tradition & Discovery. The Polanyi Society Periodical 32/3 (2005–2006) 15–18.*



Polányi Mihály laboratóriumában, Manchesterben 1940 táján.

lezettség áll. Az elkötelezettség (commitment) Polányi egyik központi fogalma a hallgatólagos tudás, a fokális és járulékos tudatosság stb. mellett. Terminusai fogalmi eszközök a felfedezés elemzéséhez, amivel már önmagában is szembement a tudományfilozófia fősodrával, amely az igazolást vizsgálja, figyelmen kívül hagyva „a felfedezés kontextusát”. A logikai pozitivizmus a felfedezést esetlegesnek, pszichológiai és szociológiai természetűnek tartotta, alkalmatlannak filozófiai vizsgálatra. Polányi úgy gondolta, hogy a tudományos gondolatok a szisztematikus kutatás előtt születnek, valamiféle előzetes tudásként vagy hitként, és a kutatás szerepe a már megszületett gondolatok artikulálása és igazolása, nem pedig előállítás. Ezért a jó kutatómunka előfeltétele a hit valamilyen gondolatban, amely a tudományos munka során merül fel a kutatásban. Egész filozófiája a hitről és elkötelezettségről szól és ezeken is alapszik akkor is, amikor tudományról, ismeretelméletéről beszél, és akkor is, amikor erkölcsről, vallásról vagy éppen esztétikáról. Számára a hit istenben, az igazságban vagy a szépségben egy és ugyanazt jelentette.

Polányi évtizedekkel az adszorpciók modelljét illető súlyos bírálat után dolgozta ki filozófiai elméletét. Mégis nehéz szabadulni attól a gondolattól, hogy a vita során tanúsított makacs ragaszkodása saját elgondolásához összefügghetett valamiféle ismeretelméleti meggyőződéssel, mély hittel a többrétegű adszorpció lehetőségében, elkötelezettséggel modellje iránt. Különösen erős hit és elkötelezettség nélkül nem képviselhette volna ilyen kitartóan elgondolását, e nélkül földalta volna és elmenekült volna a tudomány környékéről is. Ez a különös makacsság ad alapot arra, hogy elfogadjuk Polányi rekonstrukcióját az adszorpció elmélet történetére vonatkozóan, hogy ne tekintsük elbeszélését fabrikációnak, amely csupán későbbi filozófiáját hivatott alátámasztani vagy illusztrálni. A makacs kitartáshoz az új ontológiai elkötelezettség mellett sajátos ismeretelméleti elkötelezettségre is szükség volt, azaz a meggyőzés még egy nem-szubsztantív eszközére is, hogy Pera fogalmát alkalmazzuk ismét.

1963-ban, visszaemlékezve kalandjaira az adszorpciós potenciál-elmélettel, Polányi azt írta a *Science*-ben, hogy a szigorú elutasító bíráló után „hitem az elméletben érintetlen maradt”. És így folytatta: „immunis maradtam az ellenvetésekre, de fegyvertelen maradtam a cáfolatokkal szemben” [1]. *Wigner Jenő*, Polányi tanítványa és barátja azonban így emlékezett vissza: „E sorok írója [Wigner] emlékszik, hogy amikor bizonyos kísérleti eredményeket mutatott Polányinak, amelyek erősen támogatták az adszorpció többrétegű jellegét, Polányi megdöbben.” [10]

## A periféria heurisztikus szerepe

Polányi fiatal korában született hite a többrétegű adszorpcióban Budapesten látott napvilágot. Ebben az időben két szempontból is periférikus helyzetben volt. Először, orvosként nem tartozott a hazai kémikus közösséghez, másodsorban pedig maga a magyar kémikus közösség is a német központú tudományos világ perifériáján működött, a „periféria” kifejezést leíró és nem értékelő értelemben használva, azaz nem azt állítva, hogy itt nem születhettek fontos eredmények és nem dolgozhattak kiváló elmék. Polányi diákévei alatt Tangl Ferenc fiziológiai laboratóriumában dolgozott, tehát nem vegyészek között. Tangl nyitott elméjű professzor volt, aki méltányolta Polányi ébredő érdeklődését az elméletek iránt a fizika, fizikai kémia és a termodinamika területén. Ez az érdeklődés még az egyetemi évek előtti időszakból származott, amikor elkezdte olvasni Walter Nernst elméleti fizikai kémia tankönyvét. A Tanglnál végzett laboratóriumi munka során sikerült mélyebben megértenie a könyv tartalmát. Ugyanitt olyasféle vizsgálatokat folytatott, mint a termodinamika második főtételének alkalmazhatósága állati szervezetekre, vagy a kolloid anyagok bizonyos tulajdonságai, például duzzadás, ozmózisnyomás és adszorpció. Munkájához Nernst könyve adta az elméleti alapokat.

Az I. Világháborúban Polányi az Osztrák–Magyar Monarchia hadseregében segédorvosként, majd főorvosként teljesített szolgálatot. 1914-ben diftériát kapott, majd vesebántalmakban szenvedett. A kórházban olvashatta el a Német Fizikai Társaság folyóiratát, benne a már említett saját cikke Nernst törvényéről, amelyet részben Einstein inspirált, és amelyet Polányi tudományos pályája kezdőpontjának tekintett. Az övé után következő cikket történetesen *Arnold Eucken* írta, mégpedig a gázadszorpcióról. Eucken feltételezte, hogy az adszorbeált anyagot az adszorbens felületén komprimálja egy erő, amely az adszorbens felületéről indul. Néhány feltevessel élt, azonban elmélete homályos maradt a kompressziót előidéző erő természetét illetően.

Ez a cikk volt Polányi elméletének közvetlen forrása. Eucken, a későbbi vitában Polányi szövetségese, használta az „adszorpciós potenciál” kifejezést is, ezért némelykor Polányi–Eucken-elméletéről beszél az utókor. Kórházi magányában Polányi elgondolkodott Eucken

megközelítésén, és támadt néhány újszerű ötlete. A többrétegű adszorpció lehetősége Polányi bibliájából származott, Nernst említett tankönyvéből. Nernst említette a svéd *Lagergren*t, aki 19. század utolsó éveiben föltételezte, hogy az adszorbeált gázok komprimált állapotban vannak, és több rétegben helyezkednek el az adszorbens felületén. Polányi ezeket az elméleteket kombinálta össze saját ötleteivel, amelyek klasszikus termodinamikai tanulmányaiából eredtek.<sup>4</sup>

Periférikus izoláltságában Polányihoz nem jutottak el azok az elméletek, amelyek éppen a legdivatosabbak voltak a centrumban. Elolvastott néhány olyan írást, amelyek nem tartoztak tananyagához, és amelyek nem tartoztak az orvosegyetemi közösség helyi kultúrájához sem (amely közösséget nem túlságosan érdekelte az adszorpció). Orvostudományi diplomája után, 1917-ben doktori fokozatot szerzett kémiából is, mégpedig az adszorpcióról írt dolgozatával. Tudós akart lenni, és úgy gondolta, könnyebb lesz az útja a kémikus fokozattal, mint az egyszerű orvosi diplomával. Fizikai kémikus bírálója, *Buchböck Gusztáv* nem kifogásolta a többrétegű adszorpciós modellt. „Szerencsém volt, hogy az elméleti fizika professzor a budapesti egyetemen teljesen tudatlan volt, elfogadta elméletemet PhD disszertációként 1917-ben.” – emlékezett Polányi [1]. Minden esetre Polányi indokoltan gondolta, hogy eredményei meggyőzőek.

Azt lehet tehát mondani, hogy Polányi adszorpciós-potenciál-elmélete azért jött létre, mert a magyar periférián még nem ismerték a legújabb elméleteket. „Sohasem alkottam volna meg elméletemet,” – írta Polányi – „még kevésbé tettem volna annyi erőfeszítést igazolásáért, ha jobban ismertem volna a fizika akkori fejleményeit. Mi több, az, hogy kezdetben nem ismertem az erőteljes, de hamis ellenvetéseket, melyeket gondolataimmal szembeszegeztek, megóvta elgondolásaimat attól, hogy hamvukba haljanak.” Ez a perifériáról származó rosszul értesültség heurisztikus értékéről szóló tömör és pontos leírás [1].

Budapesten a 20. század második évtizedében is uralkodott még a klasszikus termodinamika mechanikán alapuló ontológiája. Megjelent ugyan a szakirodalomban az akkor modern ontológia is, de nem járta át a tudóstársadalmat, nem befolyásolta a tudomány gyakorlatát. Egy ambiciózus és érdeklődő fiatal elolvashatta a centrumban dívó nézeteket, mert az irodalom német nyelven hozzáférhető volt, ám ezeket nem közvetítette magyarul a tudósközösség. Az ilyen érdeklődést az intézményesült tevékenységen kívüli magánügynek lehetett tekinteni. A helyi közösség németközponturn volt, de mindig egy lépéssel a köz-

<sup>4</sup> Polányi fia, *John C. Polányi*, Nobel-díjas fizikai kémikus az adszorpció sztorit így értelmezte: „Michael a háború utolsó éveit (1916–1917) adszorpciós elméletének kidolgozásával töltötte. Az elmélet a termodinamikán alapult. Ez azt jelenti, hogy alapjában statisztikai jellegű volt, azaz a molekulákat mint sokaságot tekintette. De fontos és éleslátó elmélet volt a maga korában. Mivel azonban figyelmen kívül hagyta a korabeli gondolkodást, az volt a sorsa, hogy évtizedekig elutasítsák. Ez az amatőrizmus ára.” John Polányi: Michael Polanyi, *The Scientist. Polanyiana. 12/1–2* (2003) 117–121.

pont mögött. A tudomány szervezeti rendszere, a személyes kapcsolatok, az alapvető ismeretek Németországból érkeztek ottani tanulmányok, olvasmányok vagy éppen személyes konzultációk révén. Németországban bírálták el, hogy helyesen sajátították-e el az elgondolásokat, technikákat, normákat, és olyasmik alapján ítélték meg, mint az ottani publikációk, meghívások, állásajánlatok és hasonlók.

A budapesti vezető személyiségek többsége – köztük *Eötvös Loránd* – nem érdeklődött még a Maxwell-féle elektrodinamika iránt sem, nem is beszélve az anyagszerkezet elektromos szemléletéről, az egész elektromágneses világképről, amely egyébként rövid életűnek bizonyult. Mindez persze nem maradt teljesen ismeretlen, csak nagy kételkedés övezte ezeket, és semmiképpen sem kerültek a legbefolyásosabb professzorok kutatásainak fókuszába. Persze Németországban sem a legújabb eredmények irányították az egész természettudományos kutatást. Például Freundlich és csoportja nem sokat törődött velük, mivel eredményeik és sok más kutató eredményei is értelmezhetők voltak az új elméletek nélkül is. A magyar periférián a 19. századi fogalmakkal való gondolkodás azonban csaknem kizárólagos volt. 1914-ben, amikor Polányi kidolgozta az adszorpció potenciálméletét, még nem állt kapcsolatban *Hevesy Györggyel*, aki 1919-ben lett Polányi főnöke, és aki már 1913-ban tartott előadásokat Budapesten a radioaktivitásról, elektronelméletről, *Rutherford* és Bohr atommodelljéről és hasonlókról.

Az érdeklődők mindezekről olvashattak idegen nyelven, sőt a magyar ismeretterjesztő irodalomban is, vagy elmehettek tanulni a centrumba. Hazatérésük után elmondhatták kollégáiknak és diákjainak, mit tanultak ott. Ezeken a csatornákon diffundált a tudományos ismeret. A magyar tudósok közösség nem működött távol a centrumtól, és nem is különbözött nagyon a némettől, ezért nem volt szükség a legújabb gondolatok bonyolult értelmezésére, hogy megfeleljenek a helyi szellemének. Az akadémiai tudomány Magyarországon inkább a vidéki német vagy osztrák tudósok közösséghez hasonlított, helyi színekkel, de nem szakadékszerű különbségekkel a centrumhoz képest. Ezért a tudományos gondolatok befogadása és méltányolása nem okozott elvi nehézséget, legfeljebb némi késelelem keletkezett.

Összefoglalva tehát az mondható, hogy Polányi adszorpció elméletét azért alapozta a 19. századi klasszikus termodinamikára, mert nem ismerte az elektromos kölcsönhatásokon alapuló intermolekuláris erőket, amelyek 1920 körül meghatározták a centrum vezető köreinek gondolkodását. Ámde régi vágású, elmaradott modelljének volt még heurisztikus értéke. *Lakatos Imre* terminusaiban azt mondhatjuk, a klasszikus termodinamikai modell, mint kutatási program még rendelkezett progresszív elemekkel. Polányi a progresszív elemekre támaszkodott, de a centrum belső köréhez tartozó bírálói elutasították elgondolását, mondván, hogy az adszorpció potenciál modellje idejétmúlt, elmaradott, szemben a mo-

dern elméletre támaszkodó Langmuir-féle modellel. Polányi hitt saját megközelítésének értékben azután is, hogy megismerte Langmuirét, amely a vezető tekintélyek szerint fejlettebb volt. Polányi nem tudta meggyőzni bírálóját olyan érvekkel, amelyek az elektromágneses ontológián alapultak, mert Langmuir modellje plauzibilisebbnek látszott ebben a fogalmi keretben. A kvantummechanikai ontológia azonban meggyőző érveket szolgáltatott az adszorpcióspotenciál-elmélete mellett, és Polányi már az elektromágneses érvelést látta idejétmúltnak, sőt hibásnak. Így tehát a periférikus rosszul informáltság helyzete előnyösnek bizonyult Polányi számára, aki egyfelől úgy gondolta, hogy a tudományos gondolatok a beléjük vetett hitben gyökereznek, másfelől úgy, hogy még egy kívülről is meggyőzheti a nagy tekintélyeket saját elgondolásainak igazáról, hogyha megfelelő érveket talál elgondolása alátámasztásához. Polányinak sikerült megtalálnia ezeket az érveket, de csak akkor, amikor már maga is a centrumban dolgozott, sőt maga is a centrum részévé vált Németországban. Itt csakugyan értesülhetett a legújabb nézetekről, amelyek hozzásegítették ahhoz, hogy Fritz Londonnal igazán erős érvet dolgozzon ki. Originális ötlete számára a periféria szolgáltatva a stimuláló intellektuális kontextust, de a centrum nélkülözhetetlennek bizonyult ahhoz, hogy az ötletet védhetővé is tegye. Polányi a centrumba költözött, de frusztráltságát egész életében megőrizte, mert úgy érezte, hogy erős érve túlságosan későn érkezett.

## Irodalom

1. M. Polanyi: The Potential Theory of Adsorption. *Science* 141 (1963) 1010–1013.
2. Polányi korai cikkei az adszorpcióra vonatkozóan: M. Polanyi: Adsorption, Quellung und osmotischen Druck von Kolloiden. *Biochemische Zeitschrift* 66 (1914) 258–268; M. Polanyi: Über Adsorption und Kapillarität vom Standpunkte des II. Hauptsatzes. *Zeitschrift für Physikalische Chemie* 88 (1914) 622–631; M. Polanyi: Über die Adsorption vom Standpunkte des dritten Wärmesatzes. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 16 (1914) 55–80; M. Polanyi: Adsorption von Gasen (Dampfen) durch ein festes nichtflüssiges Adsorbens. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 18 (1916) 1012–1016.
3. I. Langmuir: The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society* 40 (1918) 1361–1403.
4. H. M. Collins, Robert Evans: The Third Wave of Science Studies: Studies of Expertise and Experience. *Social Studies of Science* 32/2 (2002) 242.
5. H. M. Collins: *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*. London, Beverly Hills, New Delhi 1985, 142.
6. F. London, M. Polanyi: Über die atomtheoretische Deutung der Adsorptionskräfte. *Die Naturwissenschaften* 18 (1930) 1099–1100.
7. I. Langmuir: *Surface Chemistry*. Nobel Lecture, 14 December 1932. Megtalálható: <http://nobelprize.org/nobelprizes/chemistry/laureates/1932/langmuir-lecture.html>
8. W. T. Scott, M. X. Moleski, S.J.: *Michael Polanyi: Scientist and Philosopher*. Oxford University Press, Oxford, 2005, p. 112.
9. Mary Jo Nye: At the Boundaries: Michael Polanyi's Work on Surfaces and the Solid State. in *Chemical Sciences in the 20th Century*, ed. C. Reinhardt (Weinheim: Wiley-VCH, 2001), 249.
10. E. P. Wigner, R. A. Hodgkin: Michael Polanyi, 12 March 1891–22 February, 1976. *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 23 (1977) 412–448.