

Polányi Mihály néhány eredménye a fizika oldaláról szemlélve



FÜSTÖSS LÁSZLÓ

*Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
Fizikai Intézet,
1111 Budapest, Budafoki út 8.
fustoss@phy.bme.hu*

Elkedvetlenítő hosszúságú cím, de vállalni kellett. Rövidebbet könnyű csinálni, pl. *Polányi fizikus szemmel*, de máris felmerül, hogy melyik Polányi; ha Mihály, akkor vajon tulajdonságairól vagy műveiről akarunk valamit mondani, és hát milyen az a fizikus szem? A fizika – az akkori és a mai is – jobban körvonalazható fogalom, ami pedig a szubjektivitást illeti, az a szerző nevével adott.

I.

Tangl Ferenc, a kórvegytan professzora keltette fel Polányi érdeklődését a kémia iránt. Tangl kutatási területei egyebek mellett az anyagcsere-folyamatok, az egyedfejlődés energetikája, energiaforgalmi kérdések voltak. Ezek után nem meglepő, hogy az absztrakcióra hajló Polányi a termodinamika felé fordult. A termodinamikai szemlélet adott számára lehetőséget,

hogy az élettani kérdésektől az egzaktabb természettudományok irányába hátráljon: 1913-ban a második főtétel az állati szervezet vizsgálatának eszköze, egy évvel később már a kapillaritásra és adszorpcióra alkalmazta ugyancsak a második főtételt. Ugyanebben az évben megvizsgálta az adszorpció és a harmadik főtétel kapcsolatát, majd sajátos szempontú elemzését adta az akkoriban Nernst-tételnek nevezett harmadik főtételnek. E dolgozatát Einstein is figyelemre méltónak tartotta, ami az autentikus fizikus elismerését jelentette.

A termodinamika, vegyészek és fizikusok tudásának közös része, az 1910-es években a látványos kibontakozás időszakát élte. A rohamosan fejlődő vegyipar sem nélkülözhetette, és ezért van, hogy a vegyészek általában biztosabbak a termodinamikai tudásukban, mint a fizikusok, akik nem kényszerülnek tanuló éveikben hőtani folyamatokat felelősséggel végigszámolni. Aki a termodinamikában érdemlegesen képes mondani, az mindkét szakterületen elismerésre számíthat.

Hasonlóan nem sorolhatóak az adszorpciós kutatások egyértelműen a kémiához vagy a fizikához. Mondhatnánk, hogy ilyen határterületek vizsgálatára jött létre a fizikai kémia, de ez nem változtat azon, hogy a kémiai nagyipar és a felületfizika közvetlenül tart igényt az adszorpciós jelenségek alkalmazására vagy értelmezésére. Végeredményben a klasszifikációs szempontok nem vezetnek közelebb Polányi teljesítményének értékeléséhez. Az, hogy ő mihez értett, kiderül tudományos hagyatékából. Hogy a Polányi munkásságát elemző szerzők mihez értenek, azt ők tudják a legjobban – a maradék elv alapján született a dolgozat címe, hogy „...a fizika oldaláról szemlélve”.

Időrendben Polányi természettudományos pályája az orvosi tanulmányokból, majd közleményekből kiágazó termodinamikai és kapilláris-adszorpciós vizsgálatokkal kezdődik, amelyek egy oldalhajtása váltja ki Einstein elismerését. Adszorpciós témából doktorál Budapesten, majd a berlini Szálasanyagkémiai Intézetben új feladatot kap: a cellulóz rostszerkezetével kell foglalkoznia. Innen erednek röntgenkrisztallográfiai eredményei, majd a szilárd testek rugalmas tulajdonságaira vonatkozó felismerései. Közben a publikációk és konferenciák lehetőségeit kihasználva, illetve kényszerüknek engedve tovább folytatja adszorpciós vizsgálatait, amelyek elágazásaként jelenik meg a reakciókinetika, és bontakoznak ki a Manchesterben is folytatódó vizsgálatok.

Az események felsorolásából következni látszik valamilyen logikai kapcsolatrendszer, ami azonban nem jelent feltétlenül kauzális viszonyt. Az egymásból következések bonyolult láncolatában olyan történelmi és

személyes okok szerepelnek meghatározó súllyal, mint az első világháború, majd Hitler uralomra jutása. Mindez „...a fizika oldaláról szemlélve” sem hagyható figyelmen kívül.

Polányi eredményei ha nem is a legjelentősebbek, de talán a legtanulságosabbak az adszorpció területén. Tanulságosak, mert kutatói magatartások és történelmi kényszerűség is belejátszott Polányi szerepének felismerésébe és elismerésébe.

Az 1910-es évek elején az adszorpció tudománya a rácsodálkozás fázisában volt; a kutatók mind több anyaggásra vettek fel adszorpciós izotermákat, ezekből izobárokat és izosztereket számoltak Táblázatok és grafikonok mutatták, hogy különböző gázokból mennyit köt meg felületén a faszén, a habkő, az üvegpórá vagy az acél egy-egy gyakorlati szempontból érdekes hőmérséklettartományban. Az első elméletek nem a lejátszódó fizikai folyamatot modellezték, hanem az adszorpciós izotermákat próbálták viszonylag egyszerű függvényekkel leírni, pl. parabolával vagy hiperbolával. A hiperbolához már modell is tartozott. Langmuir 1914-ben monomolekulárisnál kisebb borítottságot tételezett fel, és az időegység alatt a felületre érkező és onnan távozó atomok számának egyezéséből kapott egy formulát az adszorpciós izotermára, amely hiperbolikus függést adott a nyomás és az adszorbeált térfogat között.

Polányi abból indult ki, hogy a felület vonzóerőt fejt ki az adszorbeálható atomokra, amely vonzóerő nem függ a hőmérséklettől. A közelebből nem jellemzett erő hatását a potenciális energia felület közeli változásával lehet jellemezni: az adszorpció leírható azzal, hogy megadjuk a potenciális energiát, mint az adszorbeált gáztérfogat függvényét. Egy kísérletileg felvett adszorpciós izotermából megszerkeszthető ez a függvény, aminek ismeretében a vizsgált felület-gáz rendszer adszorpciós izotermái egyéb hőmérsékleten kiszámíthatók. Polányi alkalmazta is módszerét a rendelkezésére álló kísérleti izotermákra, és igen jó egyezést tapasztalt.

Azt gondolnánk, hogy egy kellőképpen általános és megfelelően eredményes modell sikeres lesz. A valóságban a szakmai közvélemény elutasító volt. Míg elismeréssel fogadta azokat a próbálkozásokat, amelyek során a kísérleti görbéknek valamilyen egyszerű függvényt feleltettek meg, a többréteges adszorpció feltételezését elvetették. Nem fogadták el a közelebből nem jellemzett erő felvételének jogosságát, mondván, hogy az erő vagy kémiai, vagy elektromos természetű. Az első esetben telítődés, a másodikban az elektrosztatikus árnyékolás akadályozza meg további atomok vagy molekulák adszorpcióját. Wigner visszaemlékezése szerint „...ez a hit annyira erősen élt, hogy még Polányira is hatással volt. E sorok

írója még emlékszik arra, hogy amikor olyan kísérleti adatokra hívta fel a figyelmet, amelyek az adszorpció többrétegűségét támasztották alá, Polányi egészen meg volt lepve”

Az első szakmai kifogások korlátozott nyilvánosságnak feleltek meg, hiszen Polányi idevágó eredményei az első világháború éveiben születtek. Így történhetett, hogy az Egyesült Államokban időközben széleskörű elismertséget szerzett Langmuir modell ismeretlen maradt Polányi számára. (Ami többek véleménye szerint szerencse, mert Langmuir kikezdehetlen magabiztossága könnyen visszatarthatta volna Polányit adszorpciósi modellje kidolgozásától.) Mint minden elfogulatlan szemléelő, Polányi számára is nyilvánvaló volt Langmuir formulájának előnye és hátránya; a benne szereplő két paraméter szemléletes jelentése a nyilvánvalóság érzetét keltette, miközben a gyakorlatban a kísérleti görbékhez történő illesztést szolgálják, számértékük pedig izotermáról izotermára változik.

1920-ban Polányi felfogása széleskörű igazolást nyert Berényi mérési eredményeiben. Ugyanakkor kísérlete az adszorpció során ható erő azonosítására sikertelen maradt. Az érvényben lévő Bohr-féle atommodell minden közvetlen elektromos természetű kölcsönhatást kizárt, hiszen az atomot kitöltő mozgékony elektronok minden vonzást és taszítást pillanatszerűen leárnyékoltak. Egyetlen lehetőségként az indukált dipól-dipól kölcsönhatás kínálkozott, ám a kezdeti dipólnyomaték fellépése a Bohr modellben nem volt indokolható. Így történt, hogy Einstein és Nernst elvetették a dipólus kölcsönhatáson alapuló magyarázatot, mint alapfeltevésében nem indokolhatót. A mindennapi adszorpciósi gyakorlatban a kutatókat ez a szigorú ítélet nem gátolta Polányi módszerének alkalmazásában, hiszen ez tette lehetővé a legmegbízhatóbban az adszorbeált anyag mennyiségének kiszámítását különböző hőmérsékleteken. Polányinak azonban szüksége volt a röntgensugaras szerkezetvizsgálat terén elért szakmai sikerekre ahhoz, hogy szakmai reputációját megőrizze.

Polányi a húszas évek végén tért vissza az adszorpció kérdésére, most már saját laboratóriumában végzett kísérleti munkára támaszkodva, elméletét is jelentősen kibővítve. A kibővített elmélet az egyréteges adszorpciót megelőző felületi atomszigetek kialakulásától a tetszőlegesen sok adszorbeált réteget megengedő állapotig írja le az adszorpció jelenségét, valamelyest közeledve Langmuir felfogásához. A potenciállal történő jellemzésről azonban nem mondott le. Annál kevésbé, mert ekkor váltak ismertté London számításai, amelyek a kvantummechanikában találták meg az indukált dipól-dipól kölcsönhatás magyarázatát, számításal határozva meg a diszperziós erőket jellemző potenciálnak a távolság harmadik hatványával fordítva arányos távolságfüggését.

Mindezek ellenére a szakirodalom nem sok figyelmet fordított Polányi eredményeire az adszorpció területén. Munkái jelentőségének megítéléséhez kellett az a húsz év távlat, ami Brunauer rendelkezésére állt, amikor összefoglalta az adszorpció addigi történetét. Polányi elméletét úgy jellemezte, mint amelyik „...kiemelkedő sikerességgel ad számot a fizikai adszorpció hőmérsékletfüggéséről...az egyetlen elmélet, amely kvantitatív módon képes kezelni az adszorpciót erősen heterogén felületeken.”

Manapság a molekulásugaras technika vizsgálja közvetlenül az atomok és a felület kölcsönhatását. A kutatások célja a felületi potenciál kimérése, illetve kiszámítása kvantummechanikai eszközökkel. Senki nem vitatja, hogy az adszorpció jelenségek megértésének ez a kulcsa, azaz Polányi több mint nyolcvan éves elképzelése az illető tudományág alapjának bizonyult.

II.

1920 őszén Polányi Berlinbe került, a Szálasanyagkémiai Intézetbe, a cellulóz szerkezetének megfejtésén dolgozó csoporthoz. A legtöbb reményt a röntgendiffrakciós kísérletekhez fűzték, de a szokásos Debye–Scherrer-féle por-módszer eredménye nem adott lényeges ötletet. Viszont Polányi érkezésekor volt egy talányos eredmény; a töretlen, szálas anyagon végzett diffrakciós felvételen a már ismert vonalak mellett egymásra merőlegesen négy ismeretlen eredetű folt jelent meg. Ennek a magyarázatához kérték Polányi segítségét.

Polányi két héten belül elkészült a megoldással, és aki ezt egyszerűen tudomásul veszi, annak feltehetően fogalma sincs a feladat összetettségéről. Háromdimenziós kristályrácson szóródó röntgensugarak intenzitás-maximumaiból a kristályszerkezetre következtetni külön szakma, leginkább egyfajta alkalmazott matematika. Kiváló térszemlélettel rendelkező fizikusok is megfelelnek, és ebben az esetben Polányi ezt a szerepet játszotta – a négy, kilencven fokkal elforgatott intenzitásmaximum alapján a cellulóz felépítésére tudott következtetni. Egy mérés alapján még csak bizonyos szimmetriatulajdonságokat számolt ki, de a későbbi vizsgálatok megfejtéséből valóban kibontakozott a cellulózláncok struktúrája.

A módszer a tengelyszimmetria felismerésén alapult, következésképp bármilyen, adott tengely körül forgatott egykristály vizsgálható a felvázolt matematika alkalmazásával. Ez azután akkor lett konkrét módszer, amikor a csoporthoz matematikus érkezett. Weissenberg Polányi elképze-

léséből kiindulva eszközt és módszert fejlesztett ki – a Weissenberg kamera a modern anyagvizsgálati technika egyik alapműszere ma is; különösen előszeretettel alkalmazzák a szerves kémiában. Nem kisebb kémikus fejlesztette tovább a Weissenberg kamerát, mint E.G. Cox, aki ugyanabban az évben kapta a Nobel-díjat, mint Szent-Györgyi, csak ő a C-vitamin szerkezetének röntgendiffrakciós felderítéséért.

Polányit nem annyira matematikai jártassága segítette a röntgendiffrakciós vizsgálatok kiértékelésében, majd tervezésében, mint térszemlélete és módszeressége. Ehhez jött hamarosan személyiségének teljes vonzereje, aminek révén egy éven belül hat tudományos munkatársból, egy asszisztensből és öt, PhD témáján dolgozó doktoranduszról álló csoport együttműködésére számíthatott. A továbbiakban mindig számos munkatárs vette körül, többnyire nem akármilyen kutatók – elég, ha arra hivatkozunk, hogy Polányinál készítette doktori értekezését Wigner Jenő is: „Legfőképpen a fizikai kutatásaimat támogató, szeretetteljes, bátorító szavai estek jól. Soha, azóta sem találkoztam senki mással, aki olyan remekül élt volna az inspiráció eszközével, mint ő” – emlékezett vissza a 86 éves Wigner. Bórgyári vegyészéséből Polányi hívta vissza Berlinbe Wignert, egyúttal Weissenberg révén olyan kristályfizikai feladattal látva el, amely életre szólóan a csoportelméleti módszerekhez vezette.

Az egyéni teljesítmények megítélésénél nem kerülhető ki a munkatársakkal való viszony kérdése. Manapság ez magától értetődő, hiszen nagy tudománnyal csak nagy csapatok foglalkozhatnak. A húszas években ez a kutatóintézetekben lett először törvény és napi gyakorlat. Polányi jól, mindenesetre önzetlenül használta érzékenységét; észrevette mások problémáját, foglalkozott velük, egyéni sérelmeivel viszont nem foglalkoztatott másokat. Prioritási kérdésekben nagyvonalú volt – nincs kizárva, hogy ez egyik magyarázata Nobel-díjtalanságának. Így biztosak lehetünk benne, hogy ahol neve szerepel, abban a munkában valóban részt vett, általában nem csupán ötletadóként, hanem legtöbbször megvalósítóként, legyen szó számítások vagy mérések végzéséről.

A röntgendiffrakciós vizsgálatokkal elsősorban kristályok atomi rendjét derítik fel; ahol ez az igényes kutatási módszer rendelkezésre áll, ott a szilárdtestfizika teret nyer, kutatási téma lesz. Így sodródtak bele Polányiék is rugalmassági kérdésekbe. Először a nyújtás közbeni keményedés mechanizmusát vizsgálták a Polányi-Weissenberg módszerrel. Miután kiderült, hogy minél tökéletesebbek a kristályok, annál nagyobb az eltérés az elméleti és a mért nyúlásértékek között, különféle egykristály húzási eljárásokkal próbálkoztak. Cink szálak egykristályos és polikristályos példányait vizsgálva rideg és képlékeny minták különböző fokoza-

taik tudták kristályszerkezetükben jellemezni. Erre a célra Polányi elképzeléseinek megfelelően kialakítottak egy nyúlásvizsgáló berendezést (*Dehnungapparat*), amellyel Polányi is számos kísérletsorozatot végzett, a rá jellemző pontossággal és lelkiismeretességgel.

Fémek rugalmas tulajdonságait régóta és sokan vizsgálták, azonban a kristályszerkezet változásaira a húszas évekig legfeljebb az optikai tulajdonságok viselkedése alapján lehetett következtetni. Nem csoda, ha az anyagvizsgálatnak ez a területe is felkapott lett, és kemény vitákra került sor konferenciákon és a szakfolyóiratok közleményeiben is. Polányi sem kerülhette el ezeket, de általában megtalálta az ellentmondások okát; az elsőbbségi kérdésekben pedig a szokásosnál nagyobb figyelmet tanúsított a vetélytársak érvei iránt. Elsimultak a forgókristályos módszerrel kapcsolatos prioritási viták, ahogy később a diszlokáció fogalom bevezetésének érdeme is harmadolódott.

Polányi előképzettségétől és tudományos érdeklődésétől is idegen feladatként kapta a cellulóz szálak röntgendiffrakciós vizsgálatát. Ennek ellenére rövid idő alatt jelentős eredményeket ért el a szálak szerkezetének felderítésében, majd az egykristályok előállítása, rugalmas tulajdonságainak kísérleti vizsgálata és elméleti értelmezése területén ugyancsak. Ennek ellenére a szilárdtestek rugalmas tulajdonságait tárgyaló újabb monográfiákban jellemzően nem találkozunk neve említésével. A sokoldalúság visszaüt. Aki egy jól körülhatárolt tudományterületen ér el eredményeket, az a szakterület minden konferenciáján ott van, nem lehet róla elfelejtkezni. Aki két területen érdekelt, annak esélyei legjobb esetben feleakkorák. A többfelé érdekelt Polányi neve így lassan lemaradt az elméletek, módszerek, eszközök megnevezésénél.

Szerencsére akadnak a tudománynak olyan nagyjai, akik generációváltásokat élnek túl, és egész korszakok teljesítménye raktározódik el emlékezetükben. A Nobel-díjas W. L. Bragg 1965-ben megjelent könyvében (*The Crystalline State*) a legjelentősebbek között említi Polányi érdemeit a fémkristályok deformációja terén végzett kutatásokban, amelyek magukban foglalták a hidegmegmunkálás során elszenvedett szerkezetváltozások vizsgálatát. Összefoglalásul megállapítja, hogy Polányi kutatásai „...jelentik az egykristály deformáció elméletének a megalapozását.”

III.

A kémikusok számára a molekulák keletkezése, átalakulása, szétbomlása a központi kérdés, aminek gyakorlatias oldala a *hogyan*, de gazdasági

szempontból sem érdektelen megközelítése a *miért*. Polányi ezzel a kérdéskörrel kapcsolatban érte el legnevezetesebb eredményeit.

1920-ban Karlsruheba már kész reakciókinetikai dolgozattal érkezett. A hidrogén és bróm reakcióját elemző munka szerzőjének meggyőző termodinamikai és statisztikus mechanikai jártasságát mutatja, és hogy képes olyan feltételezéssel élni, amely a feladatot megoldhatóvá egyszerűsíti. A további négy Karlsruheban írt cikk elsősorban a korszak fizikájának nehézségeit tükrözi. A *miért*ek még reménytelenek; ki érti a Bohr elmélet alapján, hogy miért jön létre egy H_2 molekula? A disszociációnál azonban már a *hogyan*nal is gond van: hogyan jut elegendő energiához egy H_2 molekula, hogy két H atommá essen szét? Polányi az éterre hivatkozik energiaforrásként, amely bizonyos ugró-gerjesztéses (*sprungerregend*) ütközés során vezet disszociációhoz. A mind gyakrabban fellépő kvantumszámok kezelésében sem könnyű eligazodni, hát még ha a kvantum szabályok mellett az energia megmaradásra is figyelemmel kell lenni. A későbbiek szempontjából figyelemreméltó, hogy a bróm és hidrogén ütközésénél merül fel a mozgó- (haladó-) állapot (*Fahrzustand*) fogalma.

Berlinbe kerülve is csak nehezen szabadult meg az ütközéskori mágikus ugrásként jellemzett energia-felvétel hipotézisétől. Jellemző módon a korszak legnagyobbjai – mint szóban és levélben Born – csak óvatosságot tudtak ajánlani, nem megoldást. Einstein ebben az esetben is a lényegget ragadta meg Bornhoz írt levelében: „Polányi elképzelése elborzaszt. Azonban olyan nehézségekre bukkant, amelyekre még nem ismerek orvosságot.”

Polányi megoldatlan gondjai számára egy vegyész-mérnök hallgató hozott enyhülést, aki diplomamunkáját Polányi közeli munkatársánál, H. Marknál, doktori dolgozatát pedig Polányi közreműködésével készítette el. Wigner Jenőről van szó, akivel

...közösen kidolgozott elmélete tulajdonképpen olyan feltevéseket vezetett be, amelyek akkor meglepőnek tündek, később azonban helyesnek bizonyultak. Az elmélet azt posztulálta, hogy a molekula asszociáció miatti gerjesztett állapotai véges energia kiterjedésűek, és ez a $\Delta\varepsilon$ energia kiterjedés a $\Delta\varepsilon\Delta\tau \geq h$ kapcsolatban áll a molekula $\Delta\tau$ átlagos élettartamával, ahol h a Planck állandó. ... A két szerző elképzelése szerint a disszociáció akkor következik be, ha a molekula különféle rezgési módjai között elegendő számban lesznek olyanok, amelyek ugyanabban az időpontban elégséges mértékben feszítik meg törésig a kötést. Napjainkban ez az elképzelés teljesen elfogadottá vált, és konkrét esetekben is gyakran alkalmazzák.

Wigner Jenő idézett összefoglalása 1977-ből származik. Ötven év távlatából Wigner szabadkozni kényszerült, hogy a formai megfelelés ellenére nem ők írták fel először a határozatlansági relációt. Valóban nem, de a

kvantummechanika szemléletmódja hatja át a dolgot, annak megfogalmazása előtt. Rezgésekről van szó, amelyekről a fizika régen tudja, hogy a frekvencia tartomány szélessége és az előfordulás, az élettartam, fordítva arányos egymással; ezt az összefüggést csak meg kell szorozni a Planck-állandóval, és előttünk a fenti felismerés. Ilyen egyszerű ez, és épp mert egyszerű, azért jelentős. Kellott ehhez a szemlélethez a nagyon fizikus Wigner, de kellott a problémát felvető és a szemléletet elfogadó Polányi is. Ez akkor, 1925 elején fizikus gondolkodásra vallott, de néhány év múlva már magukénak vallották az elmélet iránt érdeklődő kémikusok is.

Az együttműködés Wignerrel három évvel később is jelentős eredményre vezetett. Ekkor is jellemzően fizikusi szemlélet érvényesült: a többatomos molekulát mint csatolt rezgésekkel jellemezhető rendszert kezelték. A normál módusokra és a statisztikus módszerekkel vizsgált fáziseloszlásra alapozott elmélet elvezetett a molekulák disszociációját leíró Arrhenius-típusú formulához. Az elmélet gyümölcsözőnek bizonyult; harminc évvel később ezt írta Slater monográfiájában: „a következő fejezetekben leírt elmélet lényegében Polányi és Wigner elgondolásának egy pontos és általánosított kidolgozása.”

Időközben kialakultak a kvantummechanikai módszerek, éppen csak a számolások bizonyultak kivihetetlenül nehéznek. A hidrogénmolekula magtávolságát és kötési energiáját még sikerült közelítő módszerekkel megbecsülni, de ennél sokkal tovább egzaktszámításokkal nem lehetett jutni. Polányi az $A + BC \rightarrow AB + C$ típusú reakciók vizsgálatánál használta London energia kifejezését, közelítő számításokat végzett a Morse-potenciál alkalmazásával, és sikerült is az elkerülhetetlen illesztések segítségével a jellemző kémiai adatokra – reakcióhőre, aktivációs energiára – elfogadható értékeket kapnia. Fontosabb azonban, hogy a koherens modellhez tartozó energiatartományok segítségével a későbbiekben az aktivációs energián kívül a reakciósebességek is kiszámíthatók voltak.

Az energiatartományok ismerete kulcsfontosságú volt, de mint említettük, a megoldást jelentő kvantummechanika a hidrogénmolekulán kívül csak meglehetősen pontatlan közelítő számításokra volt képes. Még az ötvenes években is arról panaszkodott a fizikusok konferenciáján vendégeskedett Szent-Györgyi Albert, hogy „...amikor megmondtam nekik, hogy az élő anyagban kettőnél több elektron van, többé nem álltak szóba velem.” Így Polányi különböző egyszerűsítő feltevésekre, a potenciálmenetet gyakran megfelelően közelítő formulákra (Morse potenciál) kényszerült, aminek következtében az illesztések fokozatos pontosítása érdekében igen sok numerikus munkát kellett elvégezni. Fáradhatatlanságának egyik titka az

volt, hogy nem csak számolt, hanem kísérleteket is tervezett és végzett. Berendezései tökéletesedésével erre a legutóbbira ugyan mind kevesebb lehetősége volt, mert munkatársai joggal tartottak tőle, hogy a nem megfelelő szelep nyitásával vagy zárásával napok, hetek munkája mehet tönkre.

Ez vegyészeknél is, fizikusoknál is így volt; valaki, még gyakrabban valakik megterveznek egy kísérletet, a hozzá szükséges eszközt üvegtechnikusok, műszerészek megvalósítják, az elérendő vákuumot különösen megbecsült munkatársak előállítják és fenntartják, a méréseket pedig gyakorlott és türelmes munkatársak végzik heteken keresztül.

A huszadik század első felében a természettudományos kísérletek nagy hányadának lehetőségeit a vákuumtechnika szabta meg. Ez az időszak volt az, amikor a *horror vacui* elvont filozófiai tanításából mindennapi gyakorlat lett; vákuumot csak korlátozott mértékben, korlátozott terjedelemben és bizonytalan, de jellemzően rövid ideig lehetett fenntartani. Ehhez jött még a vákuum előtti egyenlőség elve, amely szerint fizikusnak, vegyésznek, mérnöknek egyaránt szüksége volt vákuumra, ennek megfelelően valamennyi készségre a vákuumrendszer kezelésében, de aki túl sokat foglalkozott vákuumtechnikai kérdésekkel, az egy idő után már csak ahhoz értett. A hetvenes évek vákuumtechnikai lehetőségeinek birtokában Polányi is képes lett volna molekulásugarai sebességeloszlását megmérni különböző irányokban. A húszas évek közepén méteres csővében elég volt az 1 Pa körüli nyomás, hogy a nátrium sárga lángjának megjelenéséből következtetni tudjon a gázfázisú folyamat reakciósebességére. Ez a kemilumineszcenciás méréstechnika az évek során sok reakciósebességi adat megmérésében segítette. Az eszköz idővel mind összetettebb lett – a vívógázos változatban nem az alacsony nyomás volt a fontos, hanem a beengedett anyagmennyiségek pontos ismerete, ami végül mégis megbízhatóan működő vákuumrendszert igényelt.

A manchesteri évek sem nélkülözhatték a vákuumtechnikát és a kiváló üvegtechnikusokat. A katalízis mechanizmusára vonatkozó izotópos kísérletek precíziós eszköze egy vízsűrűséget meghatározó piknométer volt, de vákuumba helyezettsége nehezen engedte felismerni a bevezető laboratóriumi gyakorlatok mérőeszközét. O^{18} izotóppal szerves reakciókat vizsgáltak egy érzékeny berendezésben, amely 48 sorba kapcsolt olajdiffúziós szivattyúval dolgozott.

A manchesteri évek elméleti munkájának eredménye a szigonyozás (harpooning) fogalmának bevezetése arra az esetre, amikor olyan atomok vagy molekulák között történik elektron átadás, amelyeknél a megfelelő ionos állapot energetikailag kedvező. Ilyenkor a pillanatszerűen kialakuló

ellentétes töltésű ionok között erős elektrosztatikus vonzás megy végbe. A folyamat energia-térképének elemzése a megfelelő termodinamikai számításokkal egybevetve a reakcióhőt és az aktivációs energiát is szolgáltathatja. Egyúttal a reakció lefolyására szemléletes modell adódik; szélsőérték az energiatérképen, ahonnan a reagensek és a végtermékek felé is irányulhat a folyamat – találó elnevezése ennek a helyzetnek az átmeneti állapotot.

Polányi működésének reakciókinetikai vonulata kétségtelenül a kémiaiához tartozik. Egy fizikus legfeljebb a nélkülözhetetlen vákuumtechnikában és/vagy az energetikai gondolatmenetekben érzi otthon magát. Valamint az elkerülhetetlen közelítések nagyvonalú alkalmazásában, vagyis a matematikailag felírható, de technikailag elvégezhetetlen feladatok okozta frusztráltság élménye közös ezekben az években.

Szintén közösek a tudományon kívüli kihívások – részvétel egy ipari probléma megoldásában, vagy a háború különleges határidős feladatai. Polányinak a fizikus Bródy Imrével közös műve, a kriptongyártás technológiájának kidolgozása az Egyesült Izzó presztizsét jelentette. A háborús feladat, az izobután polimerizációja révén előállítandó műgumi kemény diónak bizonyult. Sok tudományos felismerésre vezetett, pl. a segédkatalizátor szükségességére, de a háború befejeződött, és a technológia kidolgozása feleslegessé vált.

IV.

A nem túl részletes felsorolásból is látszik, hogy Polányi Mihály munkássága számos fogódzót kínál annak, aki a fizika oldaláról közelíti. A korabeli fizikusok véleményéről nehéz beszélni, mert a huszadik század első felében csak nagyon híres fizikusok voltak, amúgy meg alig. Tanárok, mérnökök foglalkoztak fizikai problémákkal, így fizikusként csak jelentős eredmények esetén hivatkoztak rájuk. Divatos szakmát a fizikusságból az atombomba csinált. Még mostanában is úgy van, hogy a fizikus foglalkozással sokan nem tudnak mit kezdeni – ilyenkor jobb, ha atomfizikusnak mondjuk magunkat – a nehezen érthető fogalmak sokszor egymást magyarázzák.

Termodinamika, adszorpció, röntgen diffrakciós szerkezetvizsgálat, egykristályok, diszlokációk, molekulásugarak – mindezek fontos részét alkották a korabeli fizikának, és alkotják a jelenleginek is. A kutatás tárgya meghatározza a módszerek körét, és ezen belül vannak a fizikusi szemlé-

lethez közel állóak, a fizikusok között respektussal rendelkezők. Ilyenek az alapelvekre hivatkozó modellek, a célnak megfelelően összerakott, áttekinthető kísérletek és mindenekelőtt a szellemes megoldások, az intuíción nyilvánvaló jelenléte.

Mindez megtalálható Polányinál munkássága majd minden területén. Munkatársai ámulattal és értetlenül figyelték ötleteinek születését. Ebből a szempontból is erős a hasonlóság a klasszikus fizikán mindenkinél jobban tudó és eredményesen alkalmazó Gábor Dénessel.

Képes volt zsonglörködni a lehetséges megoldásokkal, úgy hajlítva a szabályokat, amint előzetes elképzelései kívánták, majd utólag rendbe rakta a matematikát is. Látszólag módszertelenül, bármilyen kivehető logika nélkül, de valamiképp ismerte a választ, és néhány lázas perc alatt kimunkálta a kérdés lényegét. Egy ízben, észrevéve módszere feletti megrökönyödésemet, nevetésben tört ki; *Valóban azt gondolja, hogy lenne valami, amit más módon találtak ki? Az embernek először ismernie kell a választ, csak azután jön a logika.*

Egy közeli munkatársa Gábor Dénes felfedezői stílusát jellemezte ezekkel a sorokkal, de hasonló mondanivalójú beszámolók születtek Polányi ötlettechnikájáról. Amit azután Polányi igen széleskörűen elemzett, pl. a *Személyes tudásban*:

a felfedezés nem szigorúan logikai eljárás, így azt az akadályt, amelyen egy probléma megoldásakor át kell rágnunk magunkat, „logikai szakadéknak” nevezhetjük, ennek szélességét pedig a probléma megoldásához szükséges találékonyság mértékének tekinthetjük. Vagyis a megvilágosodás azaz ugrás, amellyel át lehet kerülni a logikai szakadék túoldalára

Azon túl, hogy az intuíción működési mechanizmusa nem írható le egyszerű képlettel, más hasonlóság is fellelhető Polányi és a Nobel-díjas fizikus-feltaláló Gábor Dénes között: a klasszikus ismeretek makacs, eredményes alkalmazása. Gábor a mechanika, elektrodinamika és optika 19. századvégi tudásanyagának ismeretében alkotott; a fizika forradalmának nagy eszméit az értő szemlélő csodálatával fogadta, de mindennapi munkájára mindez kevés hatással volt. Polányi az atomi folyamatok közvetlen érintettsége miatt felhasználta a kvantummechanika eredményeit, de igyekezett elkerülni azt a bénító hatást, ami a módszer nagyszerűsége és a konkrét esetekre történő alkalmazás szegényes lehetőségei miatt gyakran létrejött. Az eredményesség igénye, hogy figyelemkeltő közlemény, szabadalom, technológia szülessen meg; ez az igény a végrehajtható feladatokat kereste, és az életművek ismeretében nyugodtan állíthatjuk, meg is találta. Egyúttal még a szaktudományon kívüli fontos kérdések megvizsgálására is maradt idő, ez vezette Gábor Dénest a jövőkutatáshoz és a Római Klubhoz, Polányi Mihályt pedig hihetetlenül sokoldalú társadalomtudóssá avatta.