

# I



**IN MEMORIAM EUGENE P. WIGNER**

## Eugene P. Wigner

(b.: Budapest, Nov 17, 1902 – d.: Princeton, N. J. Jan 4, 1995)

One of the greatest Hungarian physicists, *Nobel Prize winner for physics*.

He attended the famous Budapest Lutheran Grammar School where John von Neumann was his school-mate and friend.

He studied chemistry at the University of Berlin. His doctoral thesis, written in consultation with Michael Polányi became one of the pioneer studies of quantum chemistry.

Between 1928 and 1930, while studying the symmetry properties of crystals, he realised that space-time *symmetries*, or rather the group-theoretical method describing them, had a central role in quantum mechanics. In 1963, when he obtained the *Nobel Prize* for these results, the following was stated in the justification: *for his contribution to the theory of the atomic nucleus and elementary particles, first of all for the discovery and application of the fundamental symmetry principles*.

He worked in Princeton for nearly six decades, from 1938 he was professor of theoretical physics.

After the discovery of nuclear fission (Berlin, 1939) he and Leo Szilárd soon elaborated its theoretical bases, and in the next two decades he researched the practical application of the uranium fission.

The first atomic reactor was Szilárd's idea and the work was led by the Italian Fermi. After piling up each layer of the uranium-graphite pile it was Wigner, *the first reactor engineer of the world*, who calculated it from the measured neutron radiation data by when chain-reaction could be expected to become self-maintaining. He also had a fundamental role in the construction of numerous other reactors, like the so-called *pressurised water reactor* of nuclear-powered submarines.

László Füstöss

# Polányi Mihály élete<sup>1</sup>

## 1891. március 12. – 1976. február 22.

### A Royal Society tagja (1944)

WIGNER JENŐ,  
A ROYAL SOCIETY TAGJA ÉS  
R.A. HODGKIN

#### 1. KORAI ÉVEK

Polányi Mihály 1891-ben született Budapesten. Felnőtt éveiben gyakran beszélt apjával kapcsolatos gyermekkori emlékeiről, aki mérnök-vállalkozóként vasutak tervezésével és építésével foglalkozott, s németországi és nyugat-európai utazásairól hazatérve alagutakról és töltésekről, valamint új tudományos és oktatási eszmékről mesélt fiának. 1899-ben azonban, Mihály nyolc éves korában, az apa egy szerencsétlen fordulat következtében minden vagyonát elveszítette. Ez komoly anyagi terhet rótt az egész családra, helyzetük tovább súlyosbodott, amikor a családfő 1905-ben elhunyt. Mihály, vagy – ahogy gyerekkori barátai egész életén át nevezték – Misi, ezt követően gimnáziumi tanulótársai korrepetálásával kereste meg a család megélhetéséhez szükséges pénz egy részét. Özvegyen maradt édesanyja a megélhetési források megcsappanása ellenére is a társadalmi és a szellemi élet középpontja tudott maradni egy olyan körben, melyhez a kor Magyarországnak számos költője, festője és tudósa tartozott. Anyja kitartó érdeklődése a társadalmi problémák, a művészetek, s különösen a költészet iránt nagy hatással volt Polányi érzelmi fejlődésére. Két bátyja és két nővére, ki-ki a maga egyéni módján, szintén kiemelkedő egyéniség volt.

Ignotus Pál 1961-ben így jellemezte a korabeli Budapest szellemi életét: „[Budapest] hangulatában a tiltakozás eleme vegyült egyfajta művészeti és

---

<sup>1</sup> A szerkesztők ezúton is szeretnének köszönetet mondani a Royal Societynak, valamint Martha Wigner Uptonnak, Wigner Jenő leányának és R. A. Hodgkinnak, mivel engedélyezték a *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* tanulmányának közlését. Az eredeti cikk: E. P. Wigner, Former Mem. R. S. and R. A. Hodgkin 'Michael Polanyi 1891-1976, Elected F. R. S. 1944.' *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, Volume 23, December 1977.

tudományos kíváncsisággal”. Ezen a termékeny talajon olyan szellemi kiválóságok sarjadtak, mint Neumann János vagy Szilárd Leó, akik Polányihoz hasonlóan szintén ismertekké váltak. Polányi Mihály egyik alapító tagja volt a Galilei Körnek, melyben testvére, Károly elnökölt. Mihály már ekkor nevezetes volt a személyéből áradó csendes tekintélyről és a szocialista ideológiákkal kapcsolatos szkepticizmusáról, mely bátyjával ellentétben jellemezte. „A fekete bárányok között – írja róla Ignotus – sokakat megbotránkoztatott azzal, ahogyan szinte fehérnek tűnt. S míg a többiek magasztalták a tudományt, ő gyakorolta azt. E szellemi háttér alakította ki nála a gondolkodás határtalan szabadságát, a szakmai és emberi érdeklődést, valamint azt a képességet, hogy érdeklődésének e két szempontját viselkedésében és filozófiájában egyesítse. A környezetében élőktől az különböztette meg leginkább, hogy tisztelettel közelített mindenhez és mindenkihez.” Talán ezekből a korai évekből eredeztethető egy másik jellemvonása is: az a képessége, hogy teste és szelleme működését is megfigyelje, hogy saját cselekedeteit és élete történéseit megértse.

Polányi 1909-ben fejezte be középiskolai tanulmányait, és iratkozott be az Orvostudományi Egyetemre. Nagyjából ez idő tájt fordult érdeklődése egyre inkább a tudományos kutatás felé, s 19 éves korában meg is jelent első, orvosi kérdésekkel foglalkozó írása, melyet további két, hasonló témájú tanulmány követett. Ezzel párhuzamosan más tudományágak is foglalkoztatták. 1912 nyarán a Karlsruhei Technische Hochschulén felkereste Bredig professzort. Bredig arra biztatta, vesse papírra gondolatait a termodinamika harmadik főtételéről. Polányi vonzalma az elméleti tudomány iránt egyre jobban felülkerekedett, s 1913-ban, orvosi tanulmányai befejeztével beiratkozott szeretett tanárához, Bredig professzorhoz a karlsruhei intézet kémiai tanszakára. Bredig, nem érezvén magát kompetensnek arra, hogy Polányi tanulmányát megítélje, elküldte azt Einsteinnek, akire nagy hatást gyakorolt a mű. A cikk, melyben e gondolatait Polányi kifejtette, valójában már azelőtt megjelent, hogy a Technische Hochschulében megkezdte tanulmányait. Ennek következtében az első világháború alatt és az után Polányi és Einstein szívélyes hangnemű levelezést folytatattak a termodinamika harmadik főtételéről és más témákról.

Az első világháború kitörésekor Polányi visszatért a Monarchiába. Katonaorvosként szolgált a hadseregben, de ezekben az években is élénken érdeklődött fizikai és kémiai kérdések iránt, s számos tanulmányt írt. Közülük három a termodinamika harmadik főtételének, a Nernst-tételnek a deriválásával foglalkozott. Ennél jelentősebb volt az a négy írása, amely a gázok szilárd testek felületén való megkötődésével – adszorpciójával – foglalkozott. Erről a témáról tulajdonképpen már Karslruhében

megjelentetett egy cikket a háború előtt. A négy cikk közül az utolsót doktori disszertációként benyújtotta a Budapesti Egyetem kémiai tanszékére. Korabeli munkásságának természetét, az adszorpció elméletét, valamint egész tudományos tevékenységét írásom második részében fejtem ki részletesebben.

A háború a központi hatalmak vereségével és az Osztrák-Magyar Monarchia feldarabolásával ért véget. Kémiai doktori címének elnyeréséig Polányi Budapesten maradt, a zavaros politikai helyzet és az új hatalom diktatórikus jellege azonban arra kényszerítette, hogy visszatérjen Karlsruheba. Ekkor kezdte el érdekelni a kémiai reakciók sebességének kérdésköre. Itt ismerte meg későbbi feleségét, Kemény Magdát, aki szintén kémikus volt, s akit 1921-ben Berlinben vett feleségül.

Polányi 1920 végén Berlinbe költözött, s a Kaiser Wilhelm Institut für Faserstoffchemie-nél helyezkedett el. Ez alapvető változást hozott munkájában, mind annak témakörét, mind módját illetően. Érdeklődése, ha csak időlegesen is, a rostszerkezetek, ezen belül is elsősorban a cellulóz, valamint a fémek röntgensugaras vizsgálata felé fordult, de általában véve a röntgenanalízis új módszerei is foglalkoztatták. Ezek a kutatások a kristályok, mindenek előtt a fémek strukturális tulajdonságai felé terelték érdeklődését. Tevékenységének jellege is nagymértékben megváltozott, részben annak köszönhetően, hogy immár tartósabb jelleggel egy meghatározott intézményhez kapcsolódott, részben mivel az intézetben többekkel barátságot kötött, és élvezte a velük való együttműködést. Berlinbe költözése előtt legtöbb munkáját egyedül írta, a rostszerkezetekről írott első tanulmányát azonban harmadmagával, társszerzői közül az egyik R. O. Herzog, az intézet igazgatója volt.

Ettől kezdve a tanítványokkal és a kollégákkal való együttműködés és a velük fenntartott szoros személyes kapcsolat végigkísérte természet-tudományos munkásságát. Fizikai és kémiai tárgyú tanulmányainak jóval több mint felét munkatársakkal együttműködésben alkotta. Majdnem hatvan emberrel működött együtt ilyen módon, s a velük fenntartott kapcsolata sem rövid életű nem volt, sem nem korlátozódott egyetlen tanulmány megírására. A munkatársakkal folytatott beszélgetések a fizikai kémia éppen kutatott problémájánál jóval több témát érintettek, az emberi kapcsolatok bonyolultságától kezdve politikai kérdéseken át egészen a gazdasági elméletekig. Polányi és munkatársainak többsége csaknem családi hangulatú, szorosan összetartó közösséget alkottak. Itt és ekkor ismerte meg a bizalommal teli, mégis kritikus csapatban folytatott munka élményét, melyet később a szellemi munka 'konvivialitásá'-nak nevezett, és amely később lényegi részévé vált a felfedezés folyamatáról alkotott elképzelésének. A csoportban kialakult széleskörű érdeklődésnek

köszönhetően egyetlen tudományos munkatársa sem lepődött meg később, amikor Polányi elsődleges érdeklődése ismételten új irányt véve gazdasági és társadalmi kérdések felé fordult, majd újfent az emberi értelem és a tudományos megismerés általános problémáit célozta meg.

Polányi három évet töltött el a Szálasanyagkémiai Intézetnél az ottani kollégákkal való szoros együttműködésben, amikor az Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie igazgatója, F. Haber felkérte egyik tanszékének vezetésére. Az ammónia-szintézis felfedezéséért Habert nemcsak közvetlen munkatársai, de kormánykörök is elismerték és nagyra tartották. Intézetét némileg a háttérből irányította, ritkán járt be, s tudományos konferenciákon is csak ritkán vett részt. Így a tanszékvezetőknek maguknak kellett döntéseik nagy részét meghozniuk. Ez a körülmény jól jött Polányinak, akinek ily módon lehetősége nyílt arra, hogy hosszú éveken keresztül szoros kapcsolatban maradjon volt intézeti kollégáival, és tovább folytassa a krisztallográfia és a kristály-szerkezetek terén folytatott kutatásait. Számos, az utóbbi témával foglalkozó tanulmány megírásában működött közre egészen 1925-ig. Érdeklődése azonban egyre inkább korábbi kedvelt területe, a kémiai reakciók sebessége felé fordult. Ennek révén újabb munkatársakkal került kapcsolatba, elméleti és kísérletező beállítottságúakkal egyaránt. A kémiai reakciók sebessége a korban a fizikai kémia érdeklődésének homlokterében állt, s az ezzel kapcsolatos munkája és elképzelései Polányi számára is sok örömet és számottevő külső elismerést hoztak. 1923-ban a Berlieni Egyetem magántanáráként (ún. *Privatdozent*ként) habilitáltak, ami első sorban a kristályok tulajdonságai és szerkezete témában folytatott munkásságának volt köszönhető. 1926-ban odaítélt professzori címét, majd a Kaiser Wilhelm Gesellschaft (ma Max-Planck Gesellschaft) örökös tagságát azonban már a kinetikus reakciók terén végzett kutatásaiért és munkatársaira tett inspiráló hatásáért kapta. E téren végzett munkájára is írásom későbbi részében térek vissza.

Polányi életének következő momentuma egy igencsak fontos, bár meglehetősen szomorú eseményhez kapcsolódik. A náci párt már Hitler 1933 januári kancellárrá választása előtt nagy befolyásra tett szert Németországban. Ennek a megnövekedett befolyásnak egyik következményeképpen számos zsidó tudóst bocsátottak el állásából. Ezek a fejlemények rendkívül felkavarták Polányit, s ezért 1932 novemberében tíz vezető tudóst hívott meg magánjellegű beszélgetésre – köztük Planckot és Schrödingert –, ahol is azt javasolta, lépjenek föl közösen az elbocsátások ellen. Bár az összejövétel minden résztvevője, így Planck és Schrödinger is egyetértett Polányival, a kezdeményezés alig járt valamiféle hatással. Ezért Polányi lemondott a Kaiser Wilhelm Társaság örökös tagságáról, majd hamarosan intézeti állását is feladta. Nem sokkal később egyébként

Schrödinger is lemondott. Polányi özvegyének visszaemlékezése szerint röviddel a lemondás után egy náluk rendezett vacsorán az ebédlőasztal mellett Schrödinger az alábbiakat mondta: „Gyönyörű ez a fehér asztalterítő, de vajon milyen lenne, ha egy üveg tintát öntenék rá? Szerintem valami hasonlót művelt Hitler Németországgal.”

Polányi számára nem volt könnyű döntés lemondani a Fizikai Kémiai és Elektrokémiai Intézetben viselt tisztségeiről, mivel ez a barátoktól és munkatársaktól való kényszerű elválást jelentette. Némi töprengés után elfogadta a Manchesteri Egyetem Fizikai Kémia Tanszékének meghívását, s 1933 őszén el is kezdte ottani munkáját.

## 2. TUDOMÁNYOS KUTATÁS

Polányi első tudományos írása 1910-ben jelent meg „Az agyvíz kémiai összetétele vízfejűség esetén” címmel (1). A szerző ekkor nem sokkal múlt 19 éves. Annak ellenére, hogy az írás megjelenését követően még két művet publikált ebben a témakörben, érdeklődése hamarosan a fizikai kémia felé fordult, ezen belül is elsősorban a termodinamika, különösen annak harmadik fő tétele foglalkoztatta (8, 9, 10, 11).

A termodinamika Nernst tételeként is ismert harmadik főtétele szerint csökkenő hőmérséklet mellett minden test entrópiája a zérus pont elérésére törekszik. Ennek az a magyarázata, hogy egy  $\nu$  frekvenciájú rezgés gerjesztésének valószínűsége  $e^{-h\nu/kT}$ , mely az abszolút hőmérséklet nullához közelítésével  $T \rightarrow 0$  nullához tart. A gerjesztés legtöbb más módja még a rezgések  $h\nu$  gerjesztési energiájánál is többet követel meg, úgyhogy gerjesztésük valószínűsége csökkenő  $T$  mellett még gyorsabban csökken. Ezért az anyagok tulajdonságai csökkenő hőmérséklet mellett a legalacsonyabb energiájú állapot tulajdonságát, vagyis a zéró entrópia állapotát közelítik meg. Polányi legérdekesebb mondanivalója a termodinamika harmadik főtételével kapcsolatban az volt, hogy a térfogatcsökkenést eredményező nyomásnövekedés hasonló következménnyel jár, mint a hőmérséklet csökkenése, mivel növeli a rezgés frekvenciáját. Érdekes módon ez a kitétel nem szerepel a termodinamikai szakkönyvekben, ami valószínűleg azzal magyarázható, hogy a laboratóriumi körülmények között előállítható legmagasabb nyomás is kisebb hatással van az entrópiára, mint a hőmérséklet mégoly kismértékű csökkenése. Einstein válasza Polányi észrevételére mindenesetre azt mutatja, hogy a kérdés érdekes és figyelemreméltó. Hasonlóan érdekes Polányi és Einstein levélváltása erről a témáról. Ma, 60 év elteltével könnyen belátható, hogy Einstein inkább egy gyakorlatias, megvalósítható

helyzet, míg Polányi egyfajta idealizált szituáció szempontjából közelítette meg a problémát.

A termodinamika harmadik főtételének kérdése azonban csupán kicsiny és korai hozzájárulás ahhoz képest, amit Polányi a fizikai kémia fejlődéséhez kutatásaival hoztatott. Ezek a kutatások szerteágazóak voltak, mégis lényegében három téma köré összpontosultak, úgymint: a gázok adszorpciója szilárd felületen, a szilárd anyagok tulajdonságainak röntgensugaras vizsgálata, valamint a kémiai reakciók sebessége.

A gázok szilárd anyagok felületén történő adszorpciójának magyarázatára Polányi először 1914-ben, majd részletesebben 1916-ban a legtermészetesebb feltevést hívta segítségül: azt, hogy a szilárd testek felülete és a gázok molekulái vagy atomjai között vonzó erő működik. A vonzó erő természetét és nagyságát azonban ebben az időben nem lehetett az alapelvekből levezetni. Le lehetett azonban írni úgy, hogy kapcsolatot posztulálunk az adszorpciós potenciál  $\varepsilon$  nagysága és azon  $\varphi$  térfogat között, amelyben a potenciál jelen van, vagyis a két mennyiséget összekapcsoló  $\varepsilon=f(\varphi)$  függvényként. Fogalmilag persze természetesebb lenne  $f(\varphi)$ -t, vagyis azt a térfogatot, amelyben az adszorpciós potenciál  $\varepsilon$ , az utóbbi függvényének tekinteni, de a számítás eredménye könnyebben kifejezhető, ha az  $\varepsilon$  potenciált úgy tekintjük, mint ami azon térfogat nagyságának a függvénye, amelyben fennáll. Polányi feltételezte továbbá, hogy a potenciál független az adszorpciós fal hőmérsékletétől, és hogy az adszorbeált anyagnak a környezetre gyakorolt nyomása azonos azzal a hatással, amelyet az anyag, a szóban forgó sűrűség és hőmérséklet mellett, szabadon, vagyis nem megkötött állapotban kifejtene. A külső adszorbeált rétegekre ható erő természetesen közelebb hozza a rétegeket a nyomás alatt lévő adszorbens felületéhez. Ha a gáz nyomását mint a sűrűség és a hőmérséklet függvényét ismerjük, a  $f(\varphi)$  függvény meghatározza a teljes megkötött mennyiséget. Polányi, bár kissé mesterkélten, de levezette a  $f(\varphi)$  és ezen mennyiség közötti kapcsolatot, mely természetesen függ az adszorbenst körülvevő gáz sűrűségétől és a rendszer hőmérsékletétől. Kimutatta, hogy miként az  $f(\varphi)$  függvény meghatározza a megkötött mennyiség nyomásfüggését, úgy annak a nyomásfüggése lehetővé teszi, hogy megkapjuk  $f(\varphi)$ -t. Ez azután meghatározható a megkötött mennyiség egy bizonyos hőmérsékleten megfigyelt nyomásfüggésből. Ezt követően,  $f(\varphi)$  ismeretében, a megkötött mennyiség nyomásfüggése minden más hőmérsékletre kiszámítható és összehasonlítható a kísérleti adatokkal. Ezt az összefüggést írta le Polányi 1916-os cikkében, felhasználva Titoff adatait, melyeket a CO<sub>2</sub> faszénen végbemenő adszorpciójára vonatkozóan három különböző hőmérsékleten figyelt meg. Az egyezés Titoff elméletével kielégítőnek volt mondható.



Ennek ellenére Polányi adszorpció-elméletét a korabeli szakma többsége elutasította. A kor tudósai számára nehezen volt értelmezhető az adszorbens és a gáz közötti egyszerű vonzás elgondolása. Akkoriban az atomokra ható erők közül csak kétfélét ismertek el: az elektromos- és a vegyértékhatást. A vegyértékerőket egyetlen megkötött réteg telíti, az elektromos erők pedig a töltéstől függenek. Az elképzelés szerint a két erő egyike sem vonzott több gágréteget, és úgy hitték, hogy csak egyetlen molekula- vagy gágréteg kötődhet meg az adszorbens felületén. 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. Ugyanakkor az is igaz, hogy az adszorpció igencsak komplex jelenség, ugyanis az adszorpció erőknek több különböző típusa van. Az egyszerű potenciál Polányi által kifejtett gondolata azonban igazolásra lélt a diszperziós erők Wang–London féle elméletében (1927 és 1930), s a Polányi és London által közösen írt, szintén 1930-ban megjelent tanulmány pedig rendkívül világosan kifejezésre is juttatta ezt a kapcsolatot (115). Érdekes ezzel kapcsolatban Polányi 1963-ban megjelent írása az elmélet történeti vonatkozásairól (326). Ebben azt a véleményét fejtette ki, mi szerint az uralkodó felfogáshoz való túlzott ragaszkodás bizonyos körülmények között megakadályozhatja helytálló új nézetek elfogadását. Polányi nem neheztelt azokra, akik kritizálták nézeteit, bár megjegyezte, „csak egy hajszálon múlt, hogy szakmailag túléltem ezeket a támadásokat”. Rájött, hogy mindazok a támadások, amelyeket elméletére zúdítottak, az uralkodó felfogás megkérdőjelezhetlenségébe vetett hit egyenes következményei, s ez a hit elengedhetetlenül szükséges a tudomány folyamatos fejlődésének fenntartása érdekében. Talán nem árt megjegyezni, hogy Polányi már 1930 előtt felismerte, hogy az adszorpciót többféle erő idézheti elő, s ezek közül több nem illik bele az általa felvázolt képbe. A diszperziós erők azonban nagyon jó megközelítéssel eleget tesznek feltevéseinek.

Polányi érdeklődése a röntgensugár-krisztallográfia iránt akkor kezdődött, amikor 1920-ban a Kaiser Wilhelm Institut für Faserstoffchemie munkatársa lett. Az intézetben számos, a téma iránt szenvedélyesen érdeklődő kutatóval találkozott, és kísérleteihez is rendelkezésre álltak eszközök, még ha szerény mértékben is. Mint fentebb már említettük, az első körülmény mélyrehatóan meghatározta tudományos munkamódszerét, de nem kevésbé hatott rá a második sem. Ettől kezdve már nemcsak elméleti oldalról közelítette meg a tudományos kérdéseket, hanem maga is részt vett kísérleti vizsgálódások megtervezésében és végrehajtásában. Nem sokan vannak mai kollégáink között, akik hasonló mértékben vennének részt mind elméleti, mind kísérleti kutatásokban, de a kutatás

mindkét módozata iránti együttes érdeklődés akkoriban sem volt általánosnak mondható.

Polányi előtt R. O. Herzog a Rostanyagok Kémiájának Intézete igazgatója és W. Janckle foglalkozott a röntgensugarak tanulmányozásával, és kimutatták, hogy a cellulóz kristályos szerkezettel rendelkezik. Ezt P. Scherrer is kimutatta. Ha a röntgensugár függőlegesen esik a rost irányára, a visszaverődő sugarak meghatározott irányúak lesznek és ezek az irányok azonosak maradnak akkor is, ha a szálát tengelye mentén elforgatjuk. Ha a beeső röntgensugár párhuzamos a száliránnyal, akkor a visszaverődött sugarak kúp-alakzatban rendeződnek, és a sugárra merőlegesen elhelyezett fényérzékeny lemezen nem pontokat, hanem egész köröket sötétítenek el. Az általuk létrehozott mintázat a Debye-Scherrer-féle diagramra emlékeztet. Mindez nemcsak azt mutatta, hogy maga a rost egész tengelye körüli rotációs szimmetriával rendelkezik, hanem a szálstruktúrát érintő messzemenő következtetések levonását is lehetővé tette. Ennek megértéséhez Polányi jelentősen hozzájárult.

Egy eredetileg  $i$  beesési irányban haladó röntgensugár minden, útjába eső atomon szóródni fog. A különböző atomok által szórt hullámok között azonban interferencia jön létre. Ha a szóró atomok kristályt alkotnak, az interferencia minden irányban kioltást fog eredményezni, kivéve azokat, amelyekben két olyan sugár útkülönbsége, amelyek két egymástól transzlációs vektornyi távolságban lévő atomról szóródnak, a röntgensugár hullámhosszának egész számú többszöröse. Azonban ha ez egy  $e$  irányt alapul véve igaz három primitív transzlációs vektorra, akkor minden transzlációs vektorra igaz lesz. Mindez természetesen már a kristályszerkezet röntgensugaras elemzésének von Laue általi felfedezése óta közismert volt. Világos továbbá, hogy mivel egy kristálynak három primitív transzlációs vektora van, három egyenlet kapcsolja össze a beeső sugár  $i$  irányát a szórt sugár  $e$  irányával. Mivel  $e$  két számmal jellemezhető, a három egyenletnek egy meghatározott  $i$ -re általában nincs megoldása – egy ideális kristály, a legtöbb  $i$  beeső sugárirányra nem ad szórt sugarat. Ha viszont  $i$  minden irányba kiterjed, mint egy minden lehetséges irányú mikrokristály-keverék esetében, a szórt sugarak irányai egydimenziós sokaságot alkotnak. Mivel a rendszer a forgatást illetően a beeső sugár irányára nézve szimmetrikus, az  $e$  irányok olyan körkúpok mentén rendeződnek, ahol  $i$  ezek tengelye. Ez nem más, mint a Debye-Scherrer-diagram. Ha a beeső sugár kristályra vonatkozó irányai egydimenziós sokaságot alkotnak, ami megvalósul, ha az egyik kristályirány meghatározott szöget zár be egy adott iránnyal, akkor annyi egyenlet lesz, ahány ismeretlen, és a szóródott hullámok  $e$  irányai diszkrét sokaságot alkotnak. Irányok, vagyis két paraméteres mennyiségek ilyen diszkrét sokasága sokkal több információt tartalmaz, mint a

Debye–Scherrer-küpfelületek nyílásszögeinek sokasága – a nyílásszögek egy számhalmazt, az előbb említett irányok viszont számpárok halmazát adják. A Debye–Scherrer-diagram tulajdonképpen megkapható a faserből vagy „forgókristály-diagramból” úgy, hogy a faser diagram minden pontján át kört rajzolunk, ahol is a kör középpontja a beeső sugáron helyezkedik el. Megfordítva, a faser diagram pontjainak helyzete nem kapható meg, amennyiben csak a kört ismerjük, amelyen elhelyezkednek.

Ezeket a körülményeket, a forgó kristálydiagramok előnyeit, amelyek a szálas anyagokban szerkezetileg benne rejlenek, és amelyek kristály esetében krisztallografikus irány körüli forgatás révén megkaphatók, valószínűleg mások is ismerték. Implicit módon benne rejlettek Scherrer egyik cikkében, melyet Polányi is idéz, világos kifejtésük és hasznosításuk azonban a Rostanyagok Kémiaja Intézete tagjainak, vagyis Polányinak és munkatársainak, köztük E. Ettisch-nek, R. O. Herzognak, W. Janckenek, H. Marknak, E. Schmidnek és K. Weissenbergnek tulajdonítható. Az ilyen diagramok előnyeire a cellulózsálak röntgenelemzésével kapcsolatos, az intézetben korábban folytatott kutatások hívták fel figyelmüket. E cellulózsálak atomszerkezetét szinte teljesen meghatározták, s a forgó kristályok módszerének alkalmazása nagymértékben előmozdította számos kristály szerkezetének elemzését.

A kristály szerkezetének elemzése azonban korántsem volt az egyetlen olyan terület, amelyhez Polányi az Intézethez történt csatlakozásával hozzájárult. Munkatársaival együtt kristályokat, elsősorban fémes kristályokat növesztett, és nyomás alatt elemezte tulajdonságait. Ennek során sok érdekes jelenségre derített fényt. Ezek közül az egyik a vízbe merített kősó fokozott plaszticitása volt. Erre először Ewald és Polányi (59) hívta föl a figyelmet. Polányi érdeklődését tulajdonképpen leginkább és legtartósabban a nyírás jelensége és a kristályok törésszilárdságának kérdése ragadta meg. Ez utóbbi érték kevesebb, mint százada annak, amit egy egyszerű elmélet jósolna – az az elmélet, amely szerint például a törés akkor történik, amikor a kívülről jövő erő meghaladja azt a maximális erőt, amellyel a törésszilárdság nagyságú erő által elkülönített két krisztallográfiai felület vonzani képes egymást. Polányi elmélete szerint – és hasonló elméleteket mások is felállítottak – a jóval korábbi törést azon rácshibák okozzák, amelyek körül a feszültségvonalak koncentrálnak, oly módon, hogy fokozatosan mélyülő ék keletkezik. Hasonló a helyzet a nyírással kapcsolatban, melyet még alaposabban tanulmányoztak a Rostanyagok Kémiajában Intézetében. Polányi szerint fel kellett tételezni, hogy kb. minden ezredik atom körül rácshiba van, és hogy ezeknek a rácshibáknak a száma nem csökkenthető a hőmérséklet emelésével.

A növekvő terhelésnek kitett kristályok és kristályegyüttesek viselkedésének további tanulmányozása céljából H. Mark és B. Rosebaud közreműködésével Polányi speciális berendezést fejlesztett ki, melyet gyakran Polányi-féle Dehungsapparatként [sic!] említenek, és amely a későbbiekben nagyon hasznosnak bizonyult. Polányi érdeklődése a Rostanyagok Kémiájának Intézetében kutatott problémák iránt akkor sem hagyott alább, amikor már átment a Fizikai Kémiai Intézethez, és egészen 1930/31-ig jelentetett meg ilyen témájú tanulmányokat. A fémek és más szilárd anyagok struktúrájával kapcsolatos munkáját igen találóan értékelte egyik korai munkatársa, az Osztrák Tudományos Akadémia későbbi elnöke, E. Schmid, a Polányi tiszteletére megjelentetett *Logic of personal knowledge* (Ignotus et al. 1961) című tanulmánykötetbe írt cikkében. A szóban forgó tanulmány záró mondata így hangzik: „Munkatársai számára Polányi nemcsak a problémák végső magyarázatát kereső tudós megtestesítője volt, hanem bájos feleségével együtt arra is tanította őket, hogy humorral viseljék, vagy egész egyszerűen figyelembe se vegyék a történelmi korszak okozta nehézségeket és korlátozásokat.” És ezek a korlátozások a húszas évek elején, a Rostanyagok Kémiájának Intézetében töltött évei alatt valóban komolyak is voltak.

Miután Polányi 1923-ban a Haber-féle Fizikai és Elektrokémiai Intézet tanszékvezetője lett, hamarosan visszatért korábbi kutatási témájához, a kémiai reakciók sebességének kérdéséhez. Első ezzel kapcsolatos írása még 1920-ban jelent meg, még azelőtt, hogy a Rostanyagok Kémiája Intézetének munkatársa lett (20, 24). Miként ez utóbbi intézménynél, úgy a Haber vezette intézetben is érdeklődő és odaadó kollégákra talált, akik közül sokan, így például H. Beutler, S. V. Bogdandy, H. Eyring és e sorok íróinak egyike, Wigner Jenő, még hosszú ideig nem veszítették el érdeklődésüket a téma iránt. Polányi ebben a környezetben is mind az elméleti, mind a kísérleti megközelítések terén igen aktív volt.

A kísérleti munka túlnyomó részt nagyszámú reakciósebesség mérését jelentette. Polányi eredeti ötlete az volt, hogy az anyagokból, amelyek között a reakciót vizsgálni kellett, atom-, illetve molekulásugarakat alakít ki. A sugarakat úgy kellett volna elrendezni, hogy egymást keresztezve a lezajló reakciók száma közvetlenül kiadja a reakció hatáskeresztmetszetét, amelyből azután a sebesség könnyedén kiszámítható. A kísérleti módszerek azonban akkoriban még nem voltak eléggé fejlettek ahhoz, hogy ez a technika alkalmazható legyen, ezért végül más módszerhez kellett folyamodni. Polányiban mindig megmaradt a remény, hogy valamikor használhatja majd az ütköző sugarak technikáját, mely több információt nyújt a folyamatról. Ez a technika ma már valóban alkalmazható a gyakorlatban.

A Beutlerrel és von Bogdandyval közösen használt eredeti módszer abban állt, hogy az egymással reakcióba lépő gázok egy körülbelül egy méter hosszú és három centiméter átmérőjű cső két végén léptek be, igen alacsony nyomás mellett. A gázok körülbelül a cső közepén léptek egymással reakcióba, így meghatározható volt a reakció lezajlásának ideje. A reakciók egy részét kemilumineszcencia kísérte, míg más részüknél a reakció szilárd lerakódásokat hozott létre a cső falán. A reakciózóna hosszából a diffúzióelmélet segítségével, valamint a gázkinetikai hatáskeresztmetszet ismeretében meg lehetett becsülni, hány szóródáshoz vezető ütközést szenvedtek el a belépő atomok, mielőtt reakcióba léptek volna egymással, vagyis ki lehetett számolni a szóródás és a reakció hatáskeresztmetszetének arányát (76). Ez a módszer a későbbiekben számos módosuláson ment keresztül, s különböző változatait összesen mintegy száz reakció hatáskeresztmetszet mérésére használták, többségükben egy lúg és egy halogéntartalmú vegyület – ez utóbbiakhoz értendő maga a halogénmolekula is – közötti reakciók hatáskeresztmetszetének mérésére.

E mérések alapvető fontosságát széles körben elismerték. A mért reakciósebességek némelyike milliószorosa volt másoknak. A mérési módszereket más kutatók is átvették és nagyon hasznosnak találták.

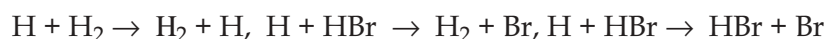
Polányi már korán felismerte, hogy szükség van a kémiai reakciósebesség adekvát elméletére. Már karlsruhei időszakában, a húszas években belátta, hogy a rendelkezésre álló sebességelméletek nem lehetnek érvényesek, mivel a két irányban lejátszódó reakciók sebességei nem adják ki azt az egyensúlyt, amelyet a termodinamika törvényei posztulálnak. Egy későbbi írásában azt is megkérdőjelezte, hogy felállítható-e egyáltalán olyan reakcióelmélet, amely összeegyeztethető a fizika akkor ismert törvényeivel.

Az asszociációs és disszociációs reakciók sebességének első, Wigner Jenővel közösen kidolgozott elmélete tulajdonképpen olyan feltevéseket vezetett be, amelyek akkor meglepőnek tűntek, később azonban helyesnek bizonyultak (70). Az elmélet azt posztulálta, hogy a molekula asszociáció miatti gerjesztett állapotai véges energiakiterjedésűek, és ez a  $\Delta\varepsilon$  energiakiterjedés a  $\Delta\varepsilon\Delta\tau=h$  kapcsolatban áll a molekula  $\Delta\tau$  átlagos élettartamával, ahol  $h$  a Planck-állandó. Posztulálta továbbá, hogy az  $nh/2\pi$  perdületű molekula akkor alakítható ki az összeütköző részecskékből, ha relatív perdületük  $(n-1)h/2\pi$  és  $nh/2\pi$  között van, vagyis vagy a perdület megmaradásának törvénye nem igaz, vagy minden perdület szögimpulzus  $h/2\pi$  egész számú többszöröse. Az utóbbi feltevés, mint ma már tudjuk, jobban megfelel a kvantummechanika elméletének. Tudjuk azt is, hogy a  $(n-1)h/2\pi$  és  $nh/2\pi$  értékek  $nh/2\pi$ -vel és  $(n+1)h/2\pi$ -vel helyettesítendőek – 1925-ben, amikor a szóban forgó cikk íródott, nem hittek a nulla perdületű rendszerek létezésében. Jellemző Polányi szerénységére, hogy csak jelentős

rábeszélésre volt hajlandó nevét adni ehhez a tanulmányhoz. Érdekes talán megjegyezni azt is, hogy a szóban forgó cikkben posztulált reakciósebességek nem csak kémiai, hanem nukleáris asszociációs reakciókra is igazak. Ezek a reakciósebességek adták a lökést azoknak a vizsgálódásoknak, melyek az atommag általi neutron-adszorpció hatáskeresztmetszetének formulájához elvezettek.

Az imént összefoglalt cikk azért adta meg az asszociációs és disszociációs reakciósebességek helyes arányát, hogy meghatározza a termikus egyensúlyban lévő asszociált és disszociált molekulák sűrűségi arányának a termodinamikában posztulált kapcsolatát. A két reakciósebesség aránya független az energiaszintek szélességeitől: mind az asszociációs, mind a disszociációs sebességek arányosak vele. Ahhoz azonban, hogy a reakciósebességek számértékét megkapjuk, a két sebesség legalább egyikének, és ezért az  $\varepsilon$ -nak az értékét számszerűen meg kell határozni. 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. Napjainkra ez az elképzelés teljesen elfogadottá vált, és konkrét esetekre is gyakran alkalmazzák.

Az imént ismertetett két tanulmány az asszociáció-disszociáció reakciókkal foglalkozott. A közönségesebb  $A+BC \rightarrow AB+C$  reakciókra Polányi London elméletét alkalmazta (melyet Bohr–Oppenheimer approximációnak is neveznek), amely szerint az atommagok lényegében a klasszikus mechanika törvényeinek megfelelően mozognak, a kvantummechanika által a magok egy adott konfigurációjához rendelt potenciál szerint. H. Eyringgel együttműködve (114, 118)



reakciók ilyen energiafelületeinek első elfogadhatóan pontos meghatározását adta.

A számítás, mely ezeknek a reakcióknak az aktivációs energiáját megadta, nem volt teljesen elméleti jellegű, hanem kísérleti adatokra is támaszkodott. A kapott felületeket később részben Polányi és Eyring, részben, a laboratóriumukban kifejlesztett átmeneti állapot módszer alapján, H. Pelzer és Wigner Jenő, nemcsak az aktivációs energia, hanem a reakciósebesség teljes kiszámítására is sikerrel alkalmazták.

Az itt elmondottak csupán az alapelemeit adják vissza annak a kiterjedt kutatómunkának, melyet Polányi a kémiai reakciósebességek témájában folytatott. A téma iránti érdeklődése 1920-ban kezdődött, és egészen 1948-ig

tartott, amikor is Manchesterben a társadalomtudomány professzora lett. 1949-ben jelent meg utolsó, ezzel foglalkozó írása „A kémiai reakciók mechanizmusa” címmel (217). Polányi kémiai reakciósebességek terén végzett kutatásai jelentőségükben semmivel nem maradnak alatta kortársai hasonló munkáinak.

### 3. A MANCHESTERI EGYETEMEN

Polányi és családja 1933-ban költözött Manchesterbe, ahol gyorsan alkalmazkodtak új környezetükhöz. Mihály rövid időn belül tökéletesen elsajátította az angol nyelvet, s 1933-tól kezdve minden tanulmányát angolul írta. Gyermekei is hamar megtalálták a helyüket, idősebbik fia, George (1922-1975) közgazdász lett, míg a fiatalabb John (1929-) apja nyomdokaiba lépett és fizikai kémiát tanult.

Mihályról mint szülőről azt mondhatjuk, olyan apa volt, aki erőteljes hatást fejtett ki fiaira, arra nevelve őket, hogy tiszteljék az igazságot, és minden körülmények között őrizzék meg vállalkozó kedvüket. Mindez az alaposság hangsúlyozásával párosult. Gyakran nyaraltak Cumberlandban, Bretagne-ban vagy ezúttal épp egy jugoszláviai tó mellett. Mihály épp most úszta át a tavat George-dzsal, majd Johnon a sor: gyakorol, teleszívja a tüdejét, valósággal lebeg a sekély vízben. De Mihály gyakran volt kénytelen távol lenni a családjától, dolgozószobájában vagy a nyári lakban írt, vagy Amerikába, Indiába utazott. Magda és a fiúk ilyenkor a parton vagy a városban barangoltak, vagy a manchesteri gimnáziumba való visszatérésre készülődtek – mindannyian igyekeztek megtalálni helyüket az új társadalmi és szellemi közegben.

John Polányi professzor, a Royal Society tagja egy levelében felidézi a „hosszan tartó szívélyes fogadtatást”, amelyben Manchesterbe érkezésükkor részesültek és „az élénk társadalmi-szellemi életet, mely nemcsak a különböző szakterületeken dolgozó egyetemi professzorok nyújtotta légkörben vette körül őket, de egy olyan figyelemre méltó társaság részéről is, melyhez orvosok, jogászok, gyár- és üzemtulajdonosok, a művészeti galériákkal, a BBC Északi Szolgálatával és a *Manchester Guardian*-nal kapcsolatban álló személyek és a külön (valóban meglehetősen külön) arisztokraták tartoztak. Figyelemre méltó 'faluközösség' volt ez, melyet a szellem élénksége tartott össze, melynek révén felülkerekedtek környezetük alantasságán.”

John Polányi a következőképpen egészíti ki az apja manchesteri éveit alatt folytatott tudományos munkájáról alkotott képet:

„Talán a két legfőbb fogalmi újítás, mely Polányi laboratóriumában a manchesteri években született, egyrészt a kémiai reakciók rokon családjában megfigyelt reakcióhő és reakciósebesség közötti párhuzamosság levezetése (és magyarázata), másrészt pedig a kémiai reakciók »átmenetiállapot-elméletének« kidolgozása. Negyven évvel megszületése után mindkét elmélet még mindig termékeny gondolatokra és vitákra ösztönzi a tudósokat, és valószínű, hogy ez a hatása még jó pár évig fennmarad. Az első újítás a Richard Ogg-gal való együttműködés eredménye, aki Amerikából látogatott Polányi manchesteri laboratóriumába 1934-ben. Az ötlet később az M. G. Evansszal folytatott együttműködés nyomán átgondoltabban és kiterjesztett formában fogalmazódott újra.” (167, 168, 190)

„Az átmenetiállapot-elmélete Pelzer és Wigner tanulmányából (1932) indult ki, melyben a szerzők első ízben számították ki egy »aktivált komplexum« vagy »átmeneti állapot« tulajdonságait, Eyring és Polányi akkoriban frissen publikált potenciális energiafelületét (118) felhasználva. 1935-ben Evans és Polányi sikeresen általánosították Pelzer és Wigner megközelítését. Ezt velük párhuzamosan ugyanabban az évben az Amerikában tevékenykedő Eyring is megtette, részben Wynne-Jonesszal együttműködve” (169).

„Az angol olvasó figyelmét aligha kerülhette el, hogy e második dráma mindkét főszereplőjének, az »átmeneti állapot elméletével« előálló Polányinak és az »aktivált komplexum elméletét« kidolgozó Eyringnek is volt egy walesi szürke eminenciása. Polányi Mihály együttműködése Meredith Evansszal hosszú és termékeny volt, és mindkét részről a másik kivételes szellemi kvalitásai iránti szeretetteljes tisztelet jellemezte. Mindkettejüknek nagy öröme szolgált, hogy miután Polányi lemondott a fizikai kémiai tanszék vezetéséről, a tisztelet Meredith vette át (aki addig ugyanezt a tisztséget töltötte be a Leeds-i Egyetemen). Meredith ismét gyakori látogató lett a Polányi családnál, és ámulattal követte Mihály filozófiai érdeklődésének erősödését. Negyvenes éveiben tragikus körülmények között elhunyt rákban, így az Evans-Polányi-féle kémiai iskola, mely ma virágkorát élhetné Nagy-Britanniában, mára már nagyrészt csak emlék maradt.”

A Polányi keze alól kikerülő írások nagy mennyisége – kémiai tanulmányok, valamint új írásai közgazdasági, politikai, szabadalmi jogi és filozófiai témákról – egyáltalán nem jelentették azt, hogy visszavonult volna az egyetemi ügyektől. A Manchesteri Egyetem kémia karának egyik erőssége ebben az időben a vezetés kvalitásában rejlett, különösen Colin Campbell docens személyes kiválóságában, aki lehetővé tette, hogy a tanszék tündöklő tehetségek egész sorát bocsássa útjára, akik ily módon



kibontakozhattak, megcsillogtathatták képességeiket, majd újukra indulhattak. Heilbronn, Hirst, Todd és E. R. H. Jones néhány év eltéréssel követték egymást, de a változás okozta feszültség ellenére folyamatosság és stabilitás jellemezte a tanszéki környezetet. Az ösztönzés és a kölcsönös bizalom eme légköre Polányi számára többféle értelemben is nagyon kedvező volt. A várakozásoknak megfelelően virágzó tudományos iskolát épített ki maga körül, ugyanakkor az egyetemi oktatásban is rendkívül sikeres volt. Sir William Mansfield Cooper (1976), aki később rektorhelyettes lett, ezt írja: „Nem kétséges, hogy a jó tanuló sokat kapott tőle. Ami azonban igazán figyelemreméltó, az az, hogy a gyengébbeket is ösztönözni tudta.” Ez annak volt köszönhető, hogy Polányi szisztematikusan feltárta a részleteket, maga készítette írásos összefoglalókat, vázlatokat osztott ki, segített a szövegértelmezésben, s mindezt az előadásokon a főbb problematikus témák mélyreható bemutatásával kapcsolta össze.

1933 és 1936 között 37 tanulmányt írt a reakciókinetikáról, közülük 29-et másokkal együtt. Ez a tudományos termés azonban a fizikai kémia terén végzett munkájának betetőződése volt, ahonnan már nem lépett tovább ezen a területen. A náci Németországgal vívott háború kitörésének közeledte, melyet világosan látott előre, lefékezte kutató munkáját. Amikor az atombomba kifejlesztésére irányuló munka lehetőségének híre először eljutott hozzá, szkeptikus volt a terv kivitelezhetőségével kapcsolatban, s ez valószínűleg visszatartotta attól, hogy egy új és izgalmas kutatási területbe bekapcsolódjon. A háború előrehaladtával mind kevesebbet publikált fizikai témákban, egyre több közgazdasági és filozófiai tárgyú írást jelentetve meg.

1939-ben, pályafutása során nem először, gazdasági problémákkal kezdett el foglalkozni. Egy kis csoport élén úttörő jelentőségű oktatófilmet készített a gazdaságról és a munkanélküliségről (223). 1944-ben a szabadalmi jog reformjának szükségességéről jelentetett meg eredeti tanulmányt, melyben amellet érvelt, hogy kedvezőbb feltételeket kell teremteni a találmányosság ösztönzéséhez (236). „Minden közgazdasági tárgyú írásában – írja egykori kollégája, John Jewkes (1976) – érezhetően egy központi motívum munkál: mi lenne a legjobb módja annak, hogy összeegyeztessük az egyéni szabadság biztosítását az egyén fölötti ellenőrzés ama formáival, amelyek elkerülhetetlenül együtt járnak egy bonyolult és szervezett társadalom létezésével, vagy ahogy Polányi tömören megfogalmazta, milyennek kell lennie a spontán rend és a társadalmi rend közötti viszonyoknak. Az általa adott elemzés nemcsak a totalitarizmus embertelenségeire mutatott rá, hanem arra a rendtelenségre és sodródásra is, amely a szabadabb társadalmakban folytatott túlságosan magabiztos tervezés eredménye.” Érdekes kontrasztot

alkotott az akkori Manchesterben P. M. S. Blackett, a tervezés változatlanul lelkes prófétája és a csendes, spekulatív Polányi, aki megkérdőjelezte a népszerű trendet. Mansfield Cooper (1976) ezt írja: „A nagy elméleti tervező Blackettnek nem mindennapi tehetsége volt az improvizációhoz és a dolgok elintézéséhez. A szabadságot képviselő és a tervezést bíráló Polányi ezzel szemben aprólékos és óvatos volt a cselekvést illetően... Ennyire ellentétes nézetekkel... elkerülhetetlen volt az összeütközés, ez azonban soha nem vezetett háborúskodáshoz, ... mindig az ész és a szinte szeretetteljes, de legalábbis tisztelettel teli hozzáállás mondta ki az utolsó szót.” Meglehetősen elkerülhetetlen volt, hogy Polányi új érdeklődése gyanút és csodálkozást váltson ki bizonyos kollégákban, legtöbbször hozzáállását azonban – legalábbis ami a természettudósokat illeti – kétségkívül a tiszteletteljes érdeklődés, esetenként a csodálkozás jellemezte, soha nem az ellenségeskedés. A negyvenes évek során egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy Polányi minden energiáját új és szerteágazó érdeklődése közös filozófiai alapzatának átgondolására szeretné fordítani, és amennyiben lehetséges, olyan egyetemi tanszékhez szeretne jutni, amely lehetőséget teremtene számára ilyen irányú vizsgálódásai folytatására. Az egyetem rektorhelyettesének, Sir John Stopfordnak tetszett az elgondolás, ugyanakkor azonban számos problémát vetett föl, leginkább más filozófusokkal kapcsolatban, akik érthető módon azt kérdezték, vajon tudatában van-e Polányi annak, hogy mennyire más, szigorúbb megítélés alá esik mindaz, amit csinál, amint a filozofáló szaktudós védettebb helyzetéből kilépve 'profí'-ként ítélnék meg tevékenységét. Sir William Cooper elmondja, hogyan oldódott meg a probléma:

„Stopford, az egyetem rektorhelyettese tisztában volt azzal, hogy az adott helyzetben egy új filozófiai professzori állás létrehozásának esélye egyenlő a nullával, s egy sor más állás létesítése fontosabb ennél. De azt is tudta, hogy Polányit szívesen fogadnák Amerikában, s minden áron szerette volna, ha Manchesterben marad. Nem hagyta magát eltéríteni sokak gyanakvásától, hogy Polányi soha nem lesz több amatőr filozófusnál. Megítélésem szerint Stopford egyszerűen túllépett ezen az érven. Hisz nem volt-e Polányi a szigorúan vett akadémiai értelemben, eredeti orvosi végzettségét leszámítva minden téren amatőr? Ugyanakkor vitába szállhatott-e bárki is az eredményeivel? Nem volt-e elég egyszerűen csak előítéletek nélkül látni őt ahhoz, hogy az ember beláthassa: erasmusi kaliberű emberrel, a próteuszi tudóssal áll szemben? Úgyhogy Stopford, mindenféle egyetemi felhatalmazás nélkül, áthelyezte Polányit a kémia tanszékről egy nem létező új professzori állásba, és ehhez az egész egyetemet megnyerte. Ezért a lépésért kétségkívül az új állás nevével kellett fizetni, a »társadalomelmélet« azonban nem volt igazán ellentétes Polányi érdeklődésének alakulásával (1976).”

Így hát Polányi 1948-ban elfoglalta a személy szerint neki kialakított társadalomelméleti professzori állást. A váltást felgyorsította az a körülmény, hogy felkérést kapott a Gifford-előadások megtartására, s ezek előkészítéséhez hosszas elmélyülésre és olvasásra volt szüksége. Az összességében 18 előadás megtartására 1951-52 folyamán került sor Aberdeenben. Ezekből alkotta meg később legjelentősebb filozófiai írását, a *Személyes tudást* (301).

Polányit már hosszú ideje foglalkoztatta a tudomány és általában a megismerés elembertelenedésének kérdése, melynek szélsőséges megnyilvánulását Európa totalitárius berendezkedésű államaiban vélte megpillantani. A kommunizmust azonban ennél is jóval mélyrehatóbb baj legszembeszökőbb tünetének látta. „A marxizmus – írta 1940-ben – az elnyomás sokkal kifinomultabb és átfogóbb filozófiai rendszerét képviseli, mint akár a német, akár az olasz fasizmus.” (226) A liberálisok képviselte intellektuális ellenállás viszont véleménye szerint sekélyes és megosztott volt. Ezért olyan új világszemlélet kialakítására törekedett, amely felelet tud adni a fejlett országokat érintő válságra. Az írásaiból kibontakozó új nézőpontot néhány természettudós barátja inspirálónak és mélyenszántónak találta, mások viszont úgy vélték, érdeklődési irányának megváltozása veszteség a tudomány számára és visszalépés a racionális gondolkodás terén. Maga Polányi azonban teljes mértékben tisztában volt a váltás jelentőségével, s az 1946-os évet úgy tartotta számon, mint azt az időpontot, amikor „megtaláltam igazi hivatásomat” – filozófusként.

#### 4. KÉMIKUSBÓL FILOZÓFUS

Polányi természettudományos és társadalomtudományi műveinek jelentőségéről az utókor fog ítéletet mondani. 1946-ra tudósként már megalapozta pályáját, azt pedig nincs értelme találgatni, mennyit veszített távozásával a fizikai kémia. A 70-es évek viszonylag közeli távlatából azonban érdekes visszatekinteni a végrehajtott fordulat természetére. Ehhez érinteni kell Polányi főbb elgondolásait a tudományról és a technikáról, a felfedezés folyamatáról és arról, ahogyan mindezek egy közös tradícióban gyökereznek. Elméleti elemzéseinek mélyén ugyanis a készségen alapuló cselekvés mély megértése és az iránta érzett hasonlóan mélységes tisztelet munkál.

Polányi első, szaktudományos területétől távol eső publikációja a Szovjetunió tervgazdálkodásáról készült pamfletje volt (219). Ebben leírja, mennyire megdöbbsent, amikor 1936-os moszkvai utazása során Buharin egy beszédében azt fejtegette, hogy véget kell vetni a tudomány önmagáért való művelésének, és alá kell rendelni azt az ötéves terv célkitűzéseinek

(332)<sup>2</sup>. A harmincas évek vége felé Nagy-Britanniában J. D. Bernal, Lancelot Hogben és mások (Bernal 1938) erélyesen kiálltak a hasonló utilitarista érvelések mellett. 1939-ben aztán J.R. Baker a *The New Statesman* hasábjain megjelentette „Ellencsapás a bernalizmusra” (A counter-blast to Bernalism) című írását, aminek nyomán baráti kapcsolat szövődött közte és Polányi között, aki hasonló bírálatot fogalmazott meg a szovjet tudomány-felfogással kapcsolatban, mely később *A szabadság semmibevétele* címen jelent meg (226).

Részben ennek a találkozásnak a hatására Baker 1949-ben levelet írt 49 angol tudósnak, melyben javasolta, hozzanak létre egy társaságot a tudományos kutatás szabadságának védelme érdekében. Ebből a kezdeményezésből született meg a 'Társaság a tudomány szabadságáért', mely egészen 1961-ig működött. A társaság munkájában Polányi aktívan részt vett. Egy eddig kiadatlan levelében, mellyel Baker körlevelére válaszol, kirajzolódnak azok a gondolati irányok, amelyek mentén a későbbiekben munkálkodott. „Csak akkor menthetjük meg a tudomány szabadságát – írja – ha a kollektivizmust támadjuk.” Majd így folytatja:

„Ha az állam hatalmán keresztül cselekvő közösség az egyedüli bírása annak, hogy mi rossz a társadalomban élő embereknek, akkor abban a tekintetben is egyeduralmat kell követelnie, hogy mi igaz, és mi hamis. A tudomány soha nem lehet szabad egy olyan társadalomban, ahol az állam főhatalmú ura a közösség sorsának. A tudomány szabadsága csak egy olyan államban valósulhat meg, amely elkötelezte magát a jog, a szokások és a társadalmi örökség őrzése mellett, melyeknek előbbre vitelét – a nekik alapul szolgáló univerzális eszmék mentén – a közösség kívánja és odaadással szolgálja.

Nemrégiben olvastam Rauschnigg *Hitler beszédei* című könyvét, s nagy hatással volt rám a felfedezés, hogy Hitler és Himmler pontosan azokat a kifejezéseket használja a tudomány alárendelt szerepével kapcsolatban, mint a bolsevikok.

Kritikusaink – szerintem – helyesen állították, hogy a despotizmus és a demokrácia között csupán felszíni a különbség, ha a demokráciát úgy fogjuk fel, mint az emberek jogát arra, hogy meghatározzák saját sorsukat. Kritikus gondolkodóink rámutatnak, milyen csekély mértékben képesek csak a demokratikus eljárások – a választások és a szavazások –

---

<sup>2</sup> Ez a találkozás és Polányi későbbi, a gépekkel kapcsolatos elképzelései alkotják a kiindulópontját Joseph Weizenbaum: *Computer power and human reason* c. művének (1975).

változtatni az ilyen dolgok kialakult rendjén, mennyire rá vannak utalva az ilyen műveletek a közösséget átható intellektuális és morális tradíciókra. Ezt nem szabadna letagadnunk, ellenkezőleg, ki kell jelentenünk, hogy a demokrácia a közélet olyan formája, amelynek révén a bizonyos univerzális eszmék mellett elkötelezett közösség ... ápolja ezeket az eszméket és intézményeit ezektől vezetettve alakítja ki.

A tudományos kutatás kalandja, melyre attól függetlenül vállalkozunk, hogy milyen lehetőségekhez vezethet, csak *egy* azon eszmék közül, amelyek szolgálatára civilizációnk elkötelezte magát, és nem tarthatja fenn azt az igényt, amellyel a társadalommal szemben fellép, ha elszigeteli magát az egyéb eszméktől, melyeket az abszolút állam hasonlóképpen veszélyeztet.

A közelmúlt történései megkérdőjelezik a defenzív liberalizmus létjogosultságát. Békés államok, amelyek csak akkor mozdulnak meg, ha támadás éri őket, a megalázó leromboltatás sorsára jutottak. Az egész bolygót érte kihívás: vagy egyesül az önkényuralommal szemben, vagy elfogadja, hogy annak uralma alatt megsemmisül. Mi tudósok képviseljük azon eszmék egyikét, amelyekért ez az egész bolygónkra kiterjedő harc folyik. Nem menthetjük fel magunkat egy ilyen felelősség alól. Szokásos kívülállásunk és annak védelméhez való szerzett jogunk több évszázados ádáz harc eredménye, melynek során számos mártír szenvedett meg értük. Korábban ezt a kívülállást sokféle fenyegetés ellenében kellett megőrizniük a tudósoknak, kisebb illetéktelen behatolásoktól kezdve a szenzációhajhászás csábításán át egészen a tudósok politikai állásfoglalásaival való visszaélésig. Ez az adott korban helyes magatartás volt. Ma azonban éppen a tudósok kívülállása az, ami képtelenné teszi őket arra, hogy meglássák a tudományban rejlő veszélyt. A kívülállás hagyományának ápolása a betörő ellenséggel szemben a legbiztosabb út a szolgáshoz.”

Egyfelől a demokrácia mint a közösségi lét olyan formája, amelyhez igazodva egy bizonyos eszmék mellett elkötelezett közösség él, másfelől pedig a tudomány kalandja, kockázata és felelőssége, a tudományé, mely nem tarthatja fenn álláspontját a hasonlóan veszélyeztetett eszményektől és elköteleződésektől elszigetelten – ezek voltak azok a gondolatok, amelyek Polányi tudományról és társadalomról alkotott radikális, mégis liberális eszméit táplálták. Levele végén egy jóval vitathatóbb gondolat merül föl, mely nemcsak akkor állt szöges ellentétben a tudományról alkotott konvencionális felfogással, hanem bizonyos fokig ma is ellentétes vele, ezért Polányi kénytelen volt alaposan körüljárni, nehogy futó megjegyzésként a feledés sorsára jusson. Eszerint „a tudósok kívülállása ...képtelenné teszi őket arra, hogy meglássák a tudományban rejlő veszélyt... Márpedig ha a kívülállás (detachment) megkérdőjelezendő, és nem illeti meg olyan előkelő

hely, mint a bizonyos értékek iránti elköteleződést, akkor a tudósok álláspontja filozófiailag nehezen védhető.” (301, 308)

Polányi már jóval korábban tisztában volt azzal, mennyi minden áll vagy bukik az objektivitás kérdésén, s ez a belátás vezette arra, hogy a *Személyes tudás* című könyvének az *Útban egy poszt-kritikai filozófiához* alcímet adja. Ezen olyan tudományfilozófiát értett, amely képes áthidalni a nyugati gondolkodásban a „megismerő” és a „megismert” között tátongó szakadékot. Ez az elkülönítés, mely Descartes *Értekezés a módszerről* című művében nyerte el legtisztább megfogalmazását, elválaszthatatlan a szisztematikusan kételkedés központi jelentőségének gondolatától, és Polányi pontosan a szkepticizmus központi jelentőségét kérdőjelezi meg. Úgy vélte, a fizikában Einstein és követői már megdöntöttek számos, a tudomány mibenlétére vonatkozó naív elképzelést. Mivel korábban maga is szoros kapcsolatban volt ezen tudósok többségével, tudta, hogy bármiféle szisztematikus kételkedésnél jóval pozitívabb értékek és elköteleződések szolgálták alapul teljesítményüknek. Bár ebben az időben Polányi nem állt kifejezetten az egzisztencialisták hatása alatt, hozzájuk hasonlóan szintén a Descartes-i *cogito* megfordításán fáradozott, egy olyan felfogás felé törekedve, amely szerint egy adott személy létének egésze és minden tapasztalata az az alap, amelyre a kifinomult és racionális gondolkodás épül. Polányi nem tagadja a világos eszmék, a pontosság, a szkepticizmus és az objektivitás értékét, csak azt állítja, hogy a tudomány művelésének előfeltétele, hogy a tudós, aki hasonlóan elkötelezett tudósok csoportjában tevékenykedik elkötelezze magát az igazság felfedezése mellett, mint ahogy az igazságszolgáltatásban tevékenykedő bíró elkötelezettsége az igazságosság eszméje mellett előfeltétele egy ügy igazságos eldöntésének.<sup>3</sup> De Polányi azt is állítja, hogy az efféle értékek mentén való elköteleződések nem mindig explicitek, hanem kimondatlanul az egyének tapasztalataiban és a közösségek hagyományaiban gyökereznek. Ebből a benne gyökerzettségéből meríti erejét nemcsak a tudomány tényleges autoritása, hanem mindenféle élő hagyomány is.

„Kialakulásának évszázadai során a modern tudomány a tekintély elutasításának jegyében vívta harcát; ezt a jelszót hangoztatták Bacon, Descartes és a Royal Society alapítói... E nagyszerű férfiak nyilvánvalóan valami mélységesen igaz és fontos dolgot képviseltek, csak hogy ... olyan ellenfelekkel szemben, akik azóta már vereséget szenvedtek. Minél

---

<sup>3</sup> Az igazság igényével tett állításokkal kapcsolatos problémákat érdekesen tárgyalja Polányi *Személyes tudás* című művében (301, 255-256 old.) a magyar kiadás (Polányi 1994). II:23-25..

nagyobb mértékben terjed el a Földön a tudomány köztársasága, ... annál világosabban rajzolódik ki az igény egy olyan erős és hatékony autoritás iránt, mely e köztársaság uralkodója lehetne” (343, 347).

Polányi egyértelművé teszi, hogy csak a tudomány nem dogmatikus autoritása az, amit megértenünk és ápolnunk kell, mivel a hatalomtól támogatott tudománytalan ideológiák és befolyások illetéktelen behatolása csak így vonható ellenőrzés alá. A *Személyes tudás* egyik központi témája éppen az, hogy a közös megértés közös értékeket előfeltételez:

„A tudománynak többé nincs reménye arra, hogy fennmaradjon a pozitív tények szigetén, amely körül az ember intellektuális örökségének többi része a szubjektív emocionalizmus állapotába süllyed. Ki kell jelentenie, hogy bizonyos érzelmek helyesek, és ha egy ilyen kijelentés érvényessé tehető, akkor nemcsak magát menti meg, hanem példájával alátámasztja a kulturális élet egész rendszerét, amelynek részét képezi”. (301, 134. o., magyarul 1994, I:232)<sup>4</sup>

Felmerül a kérdés, hogyan tartható fenn a szabad világ kultúrája, s milyen módon tudatosíthatók az azt fenyegető veszélyek? Az 1940-es években Polányi aktívan részt vett az úgynevezett Moot csoport tevékenységében. A horshami csoport összejöveteleire a St Julian's College-ban került sor. Ezeken az összejöveteleken Polányi közelebbi kapcsolatba került Mannheim Károllyal, Walter Moberleyvel, J. H. Oldhammel és másokkal, s a velük folytatott beszélgetések segítségével voltak metafizikai és teológiai nézeteinek megfogalmazásában. 1952-ben azután régi barátja, Arthur Koestler, valamint Alexander Weissberg-Cybulski, akit még a háború előtt ismert meg Berlinben – akik mindketten szervezői voltak a Nyugat-Berlinben rendezett Congress for Cultural Freedom elnevezésű találkozóknak – felkérték Polányit, segédkezzen nekik egy nemzetközi konferencia megszervezésében, amelyen a totalitárius ellenőrzés minden formájával szemben álló tudósok vennének részt. Polányi lelkesedéssel fogadta ötletüket, és 1953-ban meg is tartották Hamburgban a „Tudomány és szabadság” (*Science and Freedom*) című konferenciát. Később Polányi tagja lett a Congress for Cultural

---

<sup>4</sup> Polányi és Popper felfogása a tiszta gondolatok és a módszertani kétely tekintetében lényegesen eltér egymástól. Mindketten egyetértettek abban, hogy a tudomány csak egy nyitott kritikus társadalomban virágozhat, a tudásnak ellenőrizhetőnek, cáfolhatónak és közérthetőnek kell lennie. Popperral ellentétben Polányit azonban jobban foglalkoztatta az a kérdés, hogyan, milyen módokon lehet tiszta tudáshoz jutni. Kétségbe vonta, hogy a tudósok valóban a megcáfolhatóságra törekednének, céljuk sokkal inkább az igazság feltárása, amivel egyben vállalják elméleteik megcáfolásának kockázatát.

Freedom végrehajtó bizottságának, egészen a kongresszus 1968-as átszervezéséig. Polányi nem volt pártpolitikus alkat, mindazonáltal minden tapasztalata és gondolata ebben az időszakban megerősítette azon hitét, miszerint fontos politikai kérdésekben a semlegesség illuzórikus önámítás, mely végső soron nihilizmushoz vagy szolgasághoz vezet. Az 50-es és a 60-as években ezért rendíthetetlen támogatója volt a kongresszusnak. Ebben az időszakban írt tudományos és kulturális témájú tanulmányainak nagy része az *Encounter*-ben jelent meg. 1955-ben hamburgi tanulmányait idősebbik fia, George *Science and Freedom* címen rendezte sajtó alá, s Mihály maga írt hozzá előszót (Josselson, 1977).

A „spontán szerveződés”-ről<sup>5</sup> alkotott elképzeléseit Polányi a tervezés problémájával összefüggésben alakította ki, melyet kezdetben a tudomány, majd később már a gazdaság és a politika vonatkozásában is vizsgált. „Spontán szerveződés”-en azt a folyamatot értette, amelynek révén individuumok (mondjuk sejtek vagy emberi lények) adott összessége többet képes tenni, mint az elszigetelt individuum, sőt az ilyen csoport részét alkotó individuum több is tud *lenni*, mint a csoporttól elszigetelten. A gondolat és mindaz, ami burkoltan benne rejlik – egységek formális, hierarchikus viszonya –, nem volt új. H. Driesch munkáinak Paul Weiss, C. H. Waddington és mások általi értelmezésében Polányi szemléletes példákat talált arra, hogyan alakítja egy morfogenetikus mező az élő szövet fejlődését, aholis a végeredményt két tényező is meghatározza: a genetikai információ és a kontextus. Ebben Polányi szemléletes modelljét látta a spontán szerveződéssel kapcsolatos elképzeléseinek, „az eredetiség ősi formáját”, ahogy ő maga nevezte, mely magasabb evolúciós és kulturális szinteken várhatóan még gazdagabban nyilvánul meg.

A második világháborút követő évtizedben Polányit egyre jobban érdekelték a készségek elsajátításának folyamatai, amelyek révén az ember fokozatosan elsajátít egy készséget. A *Gestalt* pszichológusok bizonyos elgondolásaiból merítve arra a meggyőződésre jutott, hogy az észlelés, sőt mindenféle tudás nem más, mint „a megismert dolgok aktív megértése, olyan cselekvés, mely készséget előfeltételez”. Ennek folytán különösen azok a magas szintű készségek kezdtek érdekelni, amelyek a kiváló mesterségbeli tudás és a műértés hagyományait jellemzik, és az ilyen kiemelkedő teljesítmények átadásának és elterjesztésének módjai. E két

---

<sup>5</sup> Polányi a *Szabadság logikája* (276) c. művében a fogalom első előfordulásakor egyértelművé teszi, hogy személy szerint a komplex kapcsolatrendszer természetes rendjére gondol, nem pedig valami vitalisztikus folyamatra. A *Személyes tudás* megírásakor már került a „spontán szerveződés” kifejezést, mivel ez könnyen asszociálható volt a „spontán keletkezés”-sel.



gondolatnak – a gondolkodás hierarchikus, organizmusszerű természetének és másokkal közös voltának – egyesítéséből alakította ki a hallgatólagos tudásról alkotott felfogását. Eszerint mindig többet tudunk annál, amit explicit módon közölni tudunk, a hallgatólagos tudás minősége egyéneként és csoportonként változik, és bizonyos fokig még akkor is vezérli gondolkodásunkat és cselekvéseinket, amikor csak tapogatózunk. Polányit gyakran bírálták ennek az elgondolásnak az állítólagos homályossága miatt. Mivel azonban egész későbbi gondolkodásának központi elemével van dolgunk, helyénvaló lesz némi értelmező magyarázatot fűzni a fogalomhoz és az általa felvetett problémákat körüljárni<sup>6</sup>.

## 5. A FELFEDEZÉS FILOZÓFIÁJA

A *Személyes tudás* első fejezetében Polányi Einstein speciális relativitáselméletét úgy tárgyalja, mint olyan alapvető tudományos felfedezést, amelyet minden jel szerint „nem abból az okból tettek, amelyből kellett volna”. Csekély empirikus bázisa, sőt az időnkénti ellentétes bizonyíték ellenére az elmélet „önmagából fakadó racionális kiválósága” (301), „a benne kifejtett gondolatok nagysága, merészsége és közvetlensége” (Born 1924) volt az, amitől az emberek komolyan vették, és ami mind a mai napig empirikus alapjának kiszélesítésére törekszik. Polányi persze nem az első volt, aki észrevette a bizonyíték és az elmélet viszonyáról alkotott konvencionális elképzelésnek ezt a megfordítását, az azonban vitathatatlan, hogy felfogta és makacsul végigvitte azokat az ismeretelméleti kérdéseket, amelyek ebben benne rejlettek: milyen természetű tudásnak vagyunk birtokában, amikor a felfedezés korai stádiumaiban vagyunk? Ezzel párhuzamos, de mélyebb kérdés, hogy milyen módokon befolyásolja az általunk keresett rejtett valóság a megértésére irányuló próbálkozásunkat.

---

<sup>6</sup> Nem Polányi volt az egyetlen, akit érdekelt a tiszta tudást körülvevő félmények problémája. Műveiben elismerését fejezi ki William James, A. N. Whitehead és mások hasonló fejtegetései iránt. A fenomenológus M. Merleau-Ponty nagyjából ugyanarra a megállapításra jut, mint Polányi, bár merőben más kiindulópontból (ld. *Az észlelés fenomenológiája* című művét, 1962). Semmi jel sem mutat arra, hogy olvasták volna egymás korai munkáit. Marjorie Grene ehhez az alábbi megjegyzést fűzi: „Polányi annyira más kontextusban alakította ki nézeteit, mint Merleau-Ponty a magáét, hogy a két mű nyugodtan nevezhető a hasonló következtetésekre jutó, de eltérő filozofálás két nagyszabású dokumentumának.” Későbbi műveiben a hallgatólagos tudás (tacit knowing) terminust részesíti előnyben, mivel ez jobban kihangsúlyozza a tudás megszerzésének, birtoklásának és megosztásának dinamikus folyamat jellegét.

A *Személyes tudás* az elsőként feltett kérdésre keresi a választ, de a könyv vége felé, akár csak a későbbi írásokban, Polányi egyre inkább a másodikat gondolja végig. Fő gondolatmenetét a készség természetének általános tárgyalásával kezdi, s arra az általános megállapításra jut, miszerint „egy készségről tanúskodó művelet végrehajtása közben egy sor olyan szabály érvényesül, amelyekről az őket követő személynek nincsen tudomása”, s ezt az észleleti és motorikus készségek számtalan példájával támasztja alá. Ezután a szerszámhasználatot veszi szemügyre, és hangsúlyozza, hogy a tudás bizonyos aspektusai nemcsak hogy a tudatküszöb alatt vannak, de a cselekvés pillanatában összeegyeztethetetlen annak is tudatában lenni, mit csinálunk, és annak is, hogy csináljuk. A tudatosságnak ezért két fajtáját kell megkülönböztetnünk.

„Amikor szögbeverésre használunk egy kalapácsot, a szögre is, a kalapácsra is figyelünk, *de másképp*. A szögre mért ütéseink hatását figyeljük, és megpróbáljuk úgy forgatni a kalapácsot, hogy a lehető leghatékonyabban üsse a szöget. Ugyanakkor kétségkívül figyelünk bizonyos értelemben a kalapácsot tartó tenyerünk és ujjaink érzetére is. Ezek irányítanak bennünket a kalapács hatékony kezelésében... Nem önmagukban figyeljük őket: valami mást figyelünk, de közben állandóan tudatában vagyunk ezeknek. *Járulékos tudatossággal* rendelkezem a tenyeremben lévő érzetokről, amely beolvad a szögbe irányuló *fokális tudatosságomba*.

A kalapács helyett gondolhatunk egy szondára [eredetiben pálca], amellyel egy rejtett üreg belsejét akarjuk kikutatni. Képzeld el, hogyan érzi [tapogatja] egy vak ember az utat a botjával. A botot tartó kezébe és izmaiba érkező lökéseknek a bot végével megérintett dolgok tudatává kell átalakulniuk benne. A »tudni a *hogyanról*« a »tudni a *mit*«-re való átmenet ez.

A járulékos és a fokális tudatosság kölcsönösen kizárják egymást. Ha egy zongorista a darabról, melyet játszik, arra fordítja figyelmét, hogy mit csinál az ujjával, miközben játszik, megzavarodik, esetleg meg is kell állnia.” (301,56. o., magyarul 1994 I:105-6. old.)

Az idézet jól illusztrálja Polányi módszerét: önmagának és másoknak az észleléssel és a készséget alkalmazó cselekvéssel kapcsolatos, gondosan megfigyelt tapasztalatából indul ki, ezt pszichológiailag elemzi, majd új fogalmat – a járulékos/fokális megkülönböztetést – dolgoz ki, s ezt végül egy filozófiai gubanc kibogozására használja. A pszichológiának, a tudományos és technikai ismeretnek az ismeretelmélettel való effajta elegyítése miatt Polányi népszerűtlen volt a kortárs filozófusok körében, akik akkoriban nagyon sokat adtak a fogalmi és a nyelvi tisztaságra.

Itt érhető tetten Polányi érdeklődése a szonda iránt, melyet heurisztikus eszköznek és általában az elmélet egyfajta lehetséges paradigmájának tekintett. Ezt a modellt nemcsak Polányi, hanem Niels Bohr is előszeretettel alkalmazta, s mivel Polányi alapvetően monisztikus gondolkodásának mindkét oldalát megvilágítja, hamarosan visszatérünk rá.

Előbb azonban tegyük föl a kérdést: milyen jelentés-mezőt tulajdonít Polányi a hallgatólagos tudásnak? Bármilyen testi vagy szellemi készség esetén, a gyakorlati szakember vagy az elméleti gondolkodó elméjében a potenciálisan explicit tudás mezője található, melyet tudatosan figyelemmel kísérhet, és amelyből felszínre hozhatja és szavakba öntheti a cselekvését irányító szabályok némelyikét. Ennek a hallgatólagos területnek egy része nyitva áll az introspekció előtt, minden készségben vagy művészetben van azonban egy jelentős rész, amely nem explicit és a tapasztalat adott szintjén nem is explikálható. Polányi a „hallgatólagos tudás” terminussal a közvetlen tudatosság számára nem elérhető pszicho-motoros élmények egész tömegét kívánja lefedni, amelyekből egy feladat kivitelezésekor merítünk, és amelyeknek elemeit a feladat elvégzésekor integráljuk. „Minden tudás – írja – *vagy hallgatólagos, vagy hallgatólagos tudásban gyökerezik*. Teljesen explicit tudás elképzelhetetlen.” (343, 144. o.) A küszöb azonban elmozdítható: amikor anélkül cselekszünk, hogy figyeljünk önmagunkra, minden fontos képességünk integrálódik és időlegesen hozzáférhetetlen a tudatos gondolkodás számára. Amikor azonban megállunk, és figyelemmel követjük cselekvésünket, vagy még inkább amikor megvitatjuk – például amikor egy készséget tanítunk –, akkor tudatos erőfeszítést teszünk arra, hogy lejjebb hozzuk a küszöböt, hogy a korábban hallgatólagos működési elvek *egy része* közölhető szabályok és maximák formájában explicitté válhasson.

Polányi hangsúlyozza, hogy a hallgatólagos terület jóval több, mint összefüggéstelen anyagok tárolóhelye. Inkább Piaget-hez, mint Freudhoz hasonlóan rendezett hierarchiának tekinti a hallgatólagos területet, amelynek felső szintjeiről elvonatkoztatva a strukturált nyelvhez eljutunk. Mivel azonban ez a meghatározatlan tudás már eleve szervezett, átható befolyással van ránk: a tapasztalt mesterembernek, művésznek vagy tudósnek ugyanis megérzésekkel, valószínűségérzetekkel vagy egyfajta kezdeti orientációval szolgál feladatához, jóval az előtt, hogy az készen érezné magát arra, hogy művét nyilvánosságra hozza. Polányi idézi Whewellt, Poincarét és másokat, akik a felfedezésnek és az alkotásnak e kérdéseit hasonló elvek mentén próbálták magyarázni.

„Whewell leírása a matematikai fizikai felfedezésről (az elliptikus pályák Kepler-féle felfedezésének példája kapcsán) a hallgatólagos integráció működésének tipikus példáját kínálja. A felfedezés lépésekben történik, s a

tudósnak kezdetben csak homályos előérzetei vannak a felfedezés kilátásairól. Ezek a magányos elméjét felébresztő anticipációk azonban...a dolgok természetének mély megértését foglalják magukban, csakúgy mint azon tények tudatát, amelyek a természet sejtett koherenciájának jelei lehetnek.” (301, 143.o., magyarul 1994 I:246, a hivatkozás W. Whewell, *Philosophy of Discovery* című művének 254. oldalára vonatkozik.)

Előttünk állnak tehát a tudományos felfedezésről alkotott Polányi-féle kép főbb elemei: a hallgatólagos tudásban gyökerező homályos, de erős előérzetek; az elméleti modellbe beépítendő empirikus nyomravezető jelek; a szóban forgó modell lehet, hogy megfelel a természetben feltételezett koherenciának, de lehet, hogy nem, ugyanis a folyamat minden részében benne rejlik a tévedés lehetősége.

Mind Polányi, mind Bohr használta a pálcájával tapogatózó vak ember analógiáját annak kapcsán, ahogyan egy tudományos elmélet a még kétértelmű vagy ismeretlen jelenségek kivizsgálására használható. „Amikor a botot lazán tartjuk – írja Bohr (1934) –, a tapintásérzék számára tárgyként jelenik meg. Amikor azonban szilárdan tartjuk, tovatűnik az az érzet, hogy a bot idegen test, és a tapintási érzet azonnal oda összpontosul, ahol a bot a vizsgált testet érinti.” Íme, Bohr a járulékos és fokális tudatosság Polányi-féle fogalmát használja. Mindketten tisztában voltak azzal, hogy egyfajta komplementaritás van abban a tudásban, amelyre a szondát vagy bármiféle mérőeszközt vagy fogalmi modellt használó ember szert tesz. Mindketten más úton érkeztek el azonban ehhez a komplementaritásfelfogáshoz. Mindkettejük Einstein hatását érezte magán, aki rámutatott, hogy mind az elméletről, mind a mérőeszközökről alkotott felfogásunkat relativizálni kell. Torrance professzor a közelmúltban megjelent tanulmányában részletesen tárgyalja Bohr és Polányi gondolkodásának ezt a konvergenciáját, csakúgy mint az ilyen heurisztikus szondázás természetéről alkotott felfogásuk közötti különbséget, egyértelműen kijelentvén, hogy a Polányi-féle „személyes tudás” messze nem volt pusztán szubjektívizmus.

„Mivel a valóság belső szerkezete konzisztens és univerzális és független a mi megismerésünktől, a tudomány jegyében elkötelezzük magunkat a világ vizsgálata mellett, alárendelve neki elménket, ez együtt jár azzal, amit Polányi »univerzális intenció«-nak nevez (301, 65.o.). Mivel azonban a valóság uralma alatt megfogalmazott állítások ugyanezen valóság ítélete alá esnek, és általa relativizálódnak, nincsen önmagukban véve abszolút vagy végleges státusuk, és nem szabad, hogy maguk számára bitorolják a valóság törvényhozói autoritását. Ezért van kizárva mindenféle dogmatizmus.” (Torrance, 1974)

Miben áll akkor annak a döntési folyamatnak a természete, mely arra kényszerítheti a tudósokat, hogy az egyik elméleti szondát elvessék, és másikat keressenek helyette? Polányi amellet érvel, hogy a perdöntő ítéletet nem a tudomány bevett autoritása hozza meg, bár ez is fontos lehet, vagy az államé, noha a felőle érkező nyomás elől nehéz lehet kitérni, sem az, hogy az új hipotézis mennyire elegánsan simul bele a világszerte elterjedt „objektív tudás” mátrixába, de még csak az alapfogalmak terén lezajlott forradalmat (a Thomas Kuhn-féle paradigmaváltásokat) követő *post hoc* ítéletben sem pillanthatjuk meg, jóllehet ilyenek valóban lezajlanak olykor. Polányi tovább megy ezeknél és hangsúlyozza, hogy maga a valóság a szondázó aktus bírója, vagy inkább a valóságnak az az újonnan felmerülő aspektusa, amelybe a “szonda” beleütközött. A mechanikus szerkezetekhez hasonlóan azonban mivel a szonda egy alacsonyabb szinthez tartozó anyagokból vagy fogalmakból készül, jelentését és érvényességét egy magasabb szint terminusaiban nyeri el.<sup>7</sup> Polányi ismeretelmélete és tulajdonképpen a társadalmat és a kultúrát is magában foglaló tágabb filozófiája erősen ellentétes volt tehát mindenféle olyan redukcionista világképpel, mely az elmét lényegében egy gép, vagy a kémiát lényegében a fizika terminusaiban kívánja megjeleníteni.

## 6. AZ OXFORDI ÉVEK

1958-ban Polányi a Merton College Senior Research Fellow-jaként Oxfordba költözött át. Az elkövetkező 15 évben sokat utazott, s a legkülönbözőbb – tudományos, politikai és esztétikai – témakörökben jelentek meg írásai. 1962-ben a Yale Egyetemen megtartotta a Terry Lectures előadássorozatot, mely *A hallgatóságos dimenzió* (332) címen jelent meg könyv formában és ismeretelmélete legtömörebb összefoglalásának számít. *A Knowing and Being* (347) további, az előzőnél változatosabb gyűjteményes kötet, melyben tanulmányt olvashatunk az 56-os magyar forradalomról csakúgy, mint a saját adszorpció-elmélete által megtett útról, melynek során makacsul követte saját elképzeléseit. A könyv végén két erősen antiredukcionista tanulmány áll, s ezek egyikében, „Az élet redukálhatatlan szerkezete” című

---

<sup>7</sup> Ezeket a gondolatokat Polányi a zárt logikai rendszerek formalizációját korlátozó Gödel-tétellel támasztja alá. Ezt írja erről: „A tétel a deduktív tudományokban végrehajtott fogalmi újítás modelljével szolgál, mely elvben a matematikai heurisztika elvi kimeríthetlenségét, valamint az ezen lehetőségekből merítő felfedezési aktusok személyes és visszafordíthatatlan jellegét illusztrálja...Soha nem tudjuk teljesen, mit is jelentenek az axiómáink. ...Ez a bizonytalanság azonban kiküszöbölhető konkrét deduktív rendszerekkel kapcsolatban úgy, hogy áthelyezzük azt egy tágabb axiómarendszerbe, amelyen belül képessé válhatunk az eredeti rendszer konzisztenciájának bizonyítására.” (301, 259. o., magyarul 1994 II:30)

írásában fejti ki, saját fizikai ismereteire támaszkodva, a határfeltételekről alkotott felfogását.

Polányi itt amellettt érvel, hogy csak akkor érthetünk meg megfelelően egy mechanizmust vagy folyamatot, amikor felismerjük azokat a határfeltételeket, amelyek a mechanizmust, illetve folyamatot körülírják és definiálják. „A gép – írja – két eltérő elv ellenőrzése alatt működik. A magasabb elv a gép tervének az elve, és ez saját céljaira fordítja az alacsonyabbik elvet, mely azokat a fizikai és kémiai folyamatokat foglalja magában, amelyekre a gép hagyatkozik.” Polányi a szinteknek ezt az elemzését azért dolgozza ki, hogy az élő organizmusokban ható gépszerű és kódszerű rendszereket vizsgálja. Hasonló hierarchikus struktúrákat elemez a művészetben és a nyelvben is: „A szótár meghatározza az emberi hang határait, a nyelvtan pedig mondattá formálja a szavakat.” (347) Ugyanitt és más műveiben továbbá azt mutatja ki, hogy a *jelentés* egymástól teljesen eltérő elemek integrációs folyamataként értelmezhető a beszéd vagy az észlelés aktusaiban. „A járulékos jeleknek nincs benső jelentőségük a tranzakció szempontjából. A fokális figyelem tárgya az, ami önmagában is érdekes. A vak ember figyelmét nem az köti le, amit tenyerében érez, hanem ami a bot végén van. Egy szóbeli közlésben nem maguk a szavak ... kötik le érdeklődésünket, hanem a szóbeli közlés értelme.” (356). Polányi tovább viszi ezt az integratív megközelítést, és F. S. Rotschild-ot követve, az elmét a test értelmeként vagy jelentéseként fogja föl. Vagyis „jelentés mint csinálás” – jóllehet Polányi soha nem ébredt tudatára, hogy a *Filozófiai vizsgálódások* Wittgensteinjében szövetségesre lelt ezen a ponton.<sup>8</sup> Filozófusként Polányi kétségkívül elszigetelt volt, és azzal, hogy saját vizsgálódásait olyan nagy vehemenciával folytatta, akaratlanul is bíráló és gyanakvó pletykáknak tette ki magát.

Bár számos nézetének amerikai fogadtatásával elégedett volt, oxfordi beszélgetéseiben gyakorta volt érezhető egyfajta csalódott alaphang. Ha otthonában látogatta meg az ember vagy a Merton College körül sétálgatott vele, mindig kedvesen figyelt, megjegyzést vagy bírálatot fűzött a hallottakhoz, saját érveléseiről és szellemi viaskodásairól pedig csendes humorral nyilatkozott. Ennek ellenére némi frusztráció is kicsendült hangjából. Mi lehetett a magyarázata, hogy az emberek nem figyelnek oda jobban a gondolataira? És különösen Oxfordban, miért nem adják a pozitívizmus és a nyelvfilozófia vezéralakjai láthatóbb jelét annak, hogy

---

<sup>8</sup> Erről a kérdéstről lásd C. B. Daly írásait, amiben rámutat e hasonlóságra. és azt is kifejti., hogy Polányi nem értette meg a késői Wittgensteint. Erről lásd bővebben: *Polányi and Wittgenstein*. Longford T. A. & Poteat W. H. (1968) 136-168 oldal.

meghajolnak érvei előtt, amikor ő és kontinentális szövetségesei, mint például Merleau-Ponty, megtisztelték őket azzal, hogy feltárták filozófiájuk néhány gyengeségét?

Maga a kérdés is összetett, a válasz még inkább az. Egy része magában Polányiban rejlik. Egy rendkívül sikeresnek mondható tudományos karrier után nemcsak hogy átváltott a filozófiára, de ezt még tudománnyal és esztétikával is keverte, sőt olykor prófétikus hangú szentbeszédekkel is. A *Személyes tudás* leghatásosabb passzusainak némelyike Szent Ágoston vagy Newman kardinális stílusára emlékeztet. A sikeres tudósoknak olykor tíz vagy húsz évet kell várniuk a lovaggá ütésre, a prófétáknak pedig általában ennél is jóval többet. Másrészt mivel Polányi olyan kivételesen gyengéd lelkületű ember volt, a bírálat vagy a félreértés nyilait nagyon fájdalmasan érezte, bár a vitára mindig készen állt. Ez adott meg neki egy kicsit azokból a vadabb élvezetekből, amelyek a harciasabb lovagok jutalmát jelentik.

Az is igaz, hogy gondolatainak kifejtése koránt sem volt kikezdhetetlen. Bizonyos bírálói szerint például nem definiálta elég pontosan a hallgatolagos tudás fogalmát. Az, ahogyan a viták során az észleleti folyamatokról a kognitívakra váltott át, ezekről pedig átfogó filozófiai és etikai általánosításokra, olyan veszélyeket rejtett magában, amelyeknek nem volt kellően tudatában. A filozófiai ellentábor mellett tudósok részéről is érték bírálatok – olyanok részéről, mint például Jacques Monod, akit Polányi bírált, és aki aztán az enyhe vitalizmus és a misztifikáció gyanúját fogalmazta meg vele kapcsolatban, valamint azt, hogy a hátsó ajtón visszacsempészi Istent és a teleológiát. Polányi valójában rendkívül óvatosan fogalmaz ilyen kérdésekben, és a *Személyes tudás* erőssége részben abban áll, hogy a bizonyítékok és a példák hatalmas tárházából merít, így építve fel egy nyitott, de nem dualisztikus világnézetet. Ugyanakkor igaz, hogy ez a világnézet nagyon határozottan nem-mechanisztikus is volt, és ez némi ellenkezést váltott ki tudományos részről.

Azt is el kell ismerni, hogy a Polányi által bíralt filozófiai álláspontok némelyikének szellemi otthona éppen Oxford volt. Az 1960-as években az egyetemi diákság kezdett már valami tartalmasabb filozófiai táplálékra vágyani, mint amit A. J. Ayer logikájából vagy Gilbert Ryle fogalmi világosságától kaphatott, eme igényre adott válasz azonban csak lassan alakult. Amikor Polányi erre a szellemi színtérre érkezett, már kidolgozott egy olyan radikálisan új fogalmi rendszert, amelynek értelmében számos közismert filozófiai probléma elveszíti korábbi érdekességét, és újak lépnek helyükbe. Az oxfordi filozófusok egy filozófiai „képesítés nélküli”, csendes polihisztorral találták szemben magukat, aki azt állította, hogy a tény és az érték, a gondolkodás és a cselekvés dichotómiáit meg kell szüntetni, és metaforák, tudományos példák és retorikai szövegek áradatával kívánta

bemutatni, hogyan is lehet mindezt elérni. Megkérdőjelezte a szkepticizmus és a tudományos objektivitás központi helyét, és visszaállította az elköteleződést, sőt ennél fogva a hit bizonyos fajtáit is mint a hatékony cselekvés és megértés előfeltételeit. Ezt az egészet pedig egyfajta csendes magabiztosság hatotta át, mely bizonyára nyugtalanította bírálóit, akik sem érdeklődésének kiterjedésében, sem meggyőződésében nem osztoztak.

Polányi tudatában volt a saját gondolkodásában rejlő személyes dimenzióknak. *Személyes tudás* című művében jóformán ő maga hívja ki a támadást, amikor azt állítja, hogy „E könyv legfontosabb célja egy olyan szellemi állapot megfogalmazása, amelyben szilárdan ragaszkodhatom ahhoz, amit igaznak hiszek, jóllehet tudom, hogy lehet téves” (301, 214.o., magyarul 1994 I:363) Tudta, hogy egy elmélet, különösen egy új elmélet, sokkal több, mint olyasmi, amit megvitatunk, ellenőrzünk és másokkal megosztunk. Tudta, hogy olyasvalami, amivel kutatunk – önmagunk kiterjesztése, és ezért sem nem személytelen, sem nem csálhatatlan. Minden kutatásban benne rejlik a tévedés vagy a balgaság, a félreértés vagy a hanyagság kockázata, és Polányi vállalta ezt a kockázatot, mert azt is tudta, hogy „a szubjektív ember szabadságát, hogy azt tegye, ami neki tetszik, legyőzi a felelősségteli személy szabadsága, hogy azt tegye, amit tennie kell” (301, 309.o., magyarul 1994, II:110). Ennek ellenére olykor mégis csalódottnak érezte magát Oxfordban.

Polányi Mihály utolsó éveit beárnyékolta enyhe memóriazavara, de élete végéig megőrizte lényéből fakadó jókedélyét, amit azok, akik szerették őt, oly nagyra értékelték és szerettek. Raymond Aron (1968) úgy jellemezte Polányit, mint „az összeegyeztetés emberét”. Számára az ellentmondás vagy a konfliktus arra való, hogy megvizsgálja, nem arra, hogy befoltozza. „Polányinál a tudomány – írja Aron – zökkenő nélkül vezet el a hithez.” A „zökkenő nélkül” fordulat híven fejezi ki összeegyeztető gondolkodásának lényegét, mert bár mintázata bonyolult, sok színből, kontrasztból, sőt olykor csomóból van fonva, varrás mégsincs benne. Polányi világképe nem hivatkozik privilegizált szellemi területekre, és nem idéz meg nem e világból való dimenziókat. Ugyanakkor minden élő(lény) számára értéket biztosít, és azt sugalmazza számukra, hogy határtalan a remény.

Fordította: Bánki Dezső

A fordítást szakmailag ellenőrizte: Fehér Márta és Füstöss László

Az eredetivel egybevetette: Gervain Judit

Kontrollszerkesztette: Zemplén Gábor



## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to express gratitude to Mrs Magda Polanyi and to Professor John Polanyi, F.R.S., for their indispensable and imaginative help in the preparation of this memoir. Many other friends, colleagues and students of Michael Polanyi have been generous in their assistance. The following have drawn on their recollections given time for discussion or have offered valuable suggestions and criticisms: Dr J. R. Baker, F.R.S., Professor C. E. H. Bawn, F.R.S., Dr J. Brennan, Dr Richard Gelwick, Professor M. Grene, Mr R. Harré, Sir Alan Hodgkin, O.M., K.B.E., F.R.S., Mr M. Josselson, Mr Arthur Koestler, Mr J. Lucas, Sir William Mansfield Cooper, Professor H. Mark, Professor H. O’Neil, Dr G. Price, Professor H. Prosch, Professor E. Shils, Lord Todd, P.R.S., The Rev. Professor T. Torrance, M.B.E., D.D.

## REFERENCES

- Aron, R. 1968 Max Weber and Michael Polanyi, in Langford, T. A. & Poteat, W. H. (eds) (see below).
- Baker, J. R. 29 July 1939 A counterblast to Bernalism. *New Statesman & Nation*.
- Bernal, J. D. 1938 *The social function of science*. London: Routledge.
- Bohr, N. 1934 *Atomic theory and the description of nature*. Cambridge University Press.
- Born, Max 1924 *Einstein’s theory of relativity*. London: Methuen.
- Cooper, W. Mansfield 1976 Private communication.
- Grene, M. ed. 1969 *The anatomy of knowledge*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Grene, M. 1977 ‘Tacit knowing: grounds for a revolution in philosophy’. *J. Brit. Soc. for Phenomenology*, October 1977.
- Ignotus, P. 1961 *The Hungary of Michael Polanyi*. In Ignotus P. et al., *The Logic of personal knowledge: essays presented to Michael Polanyi on his seventieth birthday*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Jewkes, J. 26 May 1976 Obituary notice in *Nature*, Lond. 261, 6 May 1976.
- Josselson M. 1977 Private communication.
- Kaiser, C. B. 1974 *The logic of complementarity in science and theology*. Unpublished thesis, Edinburgh University.
- Kuhn T. S. 1961 *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.
- Langford, T. A. & Poteat, W. H. 1968 *Intellect and hope: essays in the thought of Michael Polanyi*. Durham, N. C.: Duke University Press.
- Merleau-Ponty, M. 1962 *Phenomenology of perception*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Popper, K. R. 1971 *Objective knowledge*. Oxford University Press.
- Torrance, T. 1974 *The place of Michael Polanyi in the modern philosophy of science*. (Mimeographed.)
- Whewell, W. 1860 *Philosophy of discovery*. London: J. W. Parker.
- Weiss, P. A. 1939 *Principles of development*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Weizenbaum, J. 1976 *Computer power and human reason*. San Francisco: John Freeman.
- Wittgenstein, L. 1953 *Philosophical investigations*. Oxford: Blackwell.

## ***HONORARY DEGREES, SPECIAL LECTURES AND FELLOWSHIPS OF MICHAEL POLANYI***

Hon. D.Sc: Princeton 1946; Leeds 1947; Manchester 1966; Cambridge 1969. Hon. LL.D.: Aberdeen 1959; Notre Dame 1915; Wesleyan 1965; Toronto 1967; elected Life Member of the Kaiser Wilhelm Gesellschaft, Berlin, which after World War II was renamed Max-Planck-Gesellschaft 1929. Foreign Member of the Society Science, Letters and Arts, Naples, 1933. Ridell Lecturer, University of London, 1945. Lloyd Roberts Lecturer, University of Manchester, 1946. Made Foreign Life Member of the Max-Planck-Gesellschaft, 1949. Alexander White Visiting Professor at the University of Chicago, 1950. Gifford Lecturer, University of Aberdeen, 1951-52. Visiting Professor, University of Chicago, 1954. Lindsay Lecturer, First Lindsay Memorial Lecture, Keele University, 1958. Appointed Senior Research Fellow, Merton College, Oxford, 1959. Eddington Lecturer, Cambridge University, 1960. Gunning Lecturer, University of Edinburgh, 1960. J. C. Bose Lecturer, Calcutta, 1960. Distinguished Research Fellow, University of Virginia, 1961. McEnnery Lecturer, Berkeley, California, 1961. Foreign Honorary Member of the American Academy of Arts and Science, 1962. Terry Lecturer, Yale, 1962. Member of the International Academy of Philosophy of Science, 1962. Fellow of the Center for Advanced Studies on Behavioral Science, Stanford University, 1962-3. James Duke Visiting Professor at Duke University, North Carolina, 1964. Senior Fellow at the Center for Advanced Studies, Wesleyan University, 1965. Visiting Professor, University of Chicago, 1967. Nuffield Gold Medal, Royal Society of Medicine, 1970. Visiting Professor, Austin University, Texas, 1971.

## ***A BIBLIOGRAPHY OF MICHAEL POLANYI'S WORK***

### *I. SCIENTIFIC PAPERS BY MICHAEL POLANYI*

This list was prepared by Professor John Polanyi, F.R.S., for the Festschrift presented to Michael Polanyi on his seventieth birthday, (Ignotus. P. et. al. 1961).

- (1) 1910 Chemistry of the hydrocephalic liquid. Magyar ord. Archiv., N.F. 11, 116.
- (2) 1911 Investigation of the physical and chemical changes of the blood serum during starvation. Biochem. Z. 34, 192.
- (3) Contribution to the chemistry of the hydrocephalic liquid. Biochem. Z. 34, 205.
- (4) 1913 (With J. Baron) On the application of the second law of thermodynamics to processes in the animal organism. Biochem. Z. 53, 1.
- (5) A new thermodynamic consequence of the quantum hypothesis. Verh. deut. phys. Ges. 15, 156.
- (6) New thermodynamic consequences of the quantum hypothesis. Z. phys. Chem. 83, 339.
- (7) 1914 Adsorption and capillarity from the standpoint of the second law of thermodynamics. Z. phys. Chem. 88, 622.
- (8) Adsorption, swelling and osmotic pressure of colloids. Biochem. Z. 66, 258.
- (9) On the derivation of Nernst's theorem. Verh. deut. phys. Ges. 16, 333.
- (10) On adsorption from the standpoint of the third law of thermodynamics. Verh. deut. phys. Ges. 16, 1012.

- (11) 1915 On the derivation of Nernst's theorem. *Verh. deut. phys. Ges.* 17, 350.
- (12) 1916 Adsorption of gases by a solid non-volatile adsorbent. *Verh. deut. phys. Ges.* 18, 55.
- (13) New procedure to save washing materials. *Vegyész lapok* 12.
- (14) 1917 Adsorption of gases by a solid non-volatile adsorbent. Ph.D. Thesis, Budapest.
- (15) On the theory of adsorption. *Magyar Chem. Folyoirat* 23, 3.
- (16) 1919 (With L. Mandoki) On the causes of the conductivity of casein solutions. *Magyar Chem. Folyoirat* 25, 33.
- (17) Conductivity-lowering and adsorption in lyophilic colloids. *Magyar Chem. Folyoirat* 25, 77.
- (18) 1920 Reaction isochore and reaction velocity from the standpoint of statistics. *Z. Elektrochem.* 26, 49.
- (19) On the absolute saturation of attractive forces acting between atoms and molecules. *Z. Elektrochem.* 26, 261.
- (20) On the problem of reaction velocity. *Z. Elektrochem.* 26, 228.
- (21) Correction to the paper 'Reaction isochore and reaction velocity from the standpoint of statistics'. *Z. Elektrochem.* 26, 231.
- (22) On adsorption and the origin of adsorption forces. *Z. Elektrochem.* 26, 370.
- (23) On the nonmechanical nature of chemical processes. *Z. Physik* 1, 337.
- (24) On the theory of reaction velocity. *Z. Physik* 2, 90.
- (25) Adsorption from solutions of substances of limited solubility. *Z. Physik* 2, 111.
- (26) On the origin of chemical energy. *Z. Physik* 3, 31.
- (27) (With R. O. Herzog & W. Jancke) X-ray spectroscopic investigations on cellulose, II. *Z. Physik* 3, 343.
- (28) Studies on conductivity-lowering and adsorption in lyophilic colloids. *Biochem. Z.* 104, 237.
- (29) (With L. Mandoki) The origins of conductivity in Casein solutions. *Biochem. Z.* 104, 257.
- (30) Advances in the theoretical explanation of adsorption. *Chem. Ztg* 44, 340.
- (31) 1921 On the adsorption of gases on solid substances. *Festschr. Kaiser Wilhelm Ges. Zehnjähr. Jub.* p. 171.
- (32) Fibrous structure by X-ray diffraction. *Naturwiss.* 9, 337.
- (33) On the current resulting from the compression of a soldered joint. *Z. phys. Chem.* 97, 459.
- (34) On adsorption catalysis. *Z. Elektrochem.* 27, 142.
- (35) (With E. Ettisch & K. Weissenberg) Fibrous structure of harddrawn metal wires. *Z. phys. Chem.* 99, 332.
- (36) (With K. Becker, R. O. Herzog & W. Jancke) On methods for the arrangement of crystal elements. *Z. Physik* 5, 61.
- (37) The X-ray fibre diagram. *Z. Physik* 7, 149.
- (38) (With M. Ettisch & K. Weissenberg) On fibrous structure in metals. *Z. Physik* 7, 181.
- (39) On the nature of the tearing process. *Z. Physik* 7, 323.
- (40) (With E. Ettisch & K. Weissenberg) X-ray investigation of metals *Physik. Z.* 22, 646.
- (41) 1922 The reinforcement of monocrystals by mechanical treatment. *Z. Elektrochem.* 28, 16.

- (42) Reflection on Mr A. Eucken's work: On the theory of adsorption processes. *Z. Elektrochem.* 28, 110.
- (43) Determination of crystal arrangement by X-ray diffraction. *Naturwiss.* 10, 411.
- (44) (With K. Weissenberg) The X-ray fibre diagram. *Z. Physik* 9, 123.
- (45) (With K. Weissenberg) The X-ray fibre diagram. *Z. Physik* 10, 44.
- (46) (With H. Mark & E. Schmid) Processes in the stretching of zinc crystals. I. General description of the phenomena and research methods. *Z. Physik* 12, 58.
- (47) (With H. Mark & E. Schmid) Processes in the stretching of zinc crystals. II. Quantitative consideration of the stretching mechanism. *Z. Physik* 12, 78.
- (48) (With H. Mark & E. Schmid) Processes in the stretching of zinc crystals. III. Relationship between the fibre structure and reinforcement. *Z. Physik* 12, 111.
- (49) 1923 (With K. Weissenberg) Röntgenographic investigations on worked metals. *Z. Tech. Physik* 4, 199.
- (50) (With E. Schmid) Discussion of the sliding friction dependence on pressure normal to the sliding plane. *Z. Physik* 16, 336.
- (51) On structural changes in metals through cold working. *Z. Physik* 17, 42.
- (52) (With H. Mark) Lattice structure, sliding directions and sliding planes of white tin. *Z. Physik* 18, 75.
- (53) (With R. O. Herzog & W. Jancke) On the structure of the cellulose and silk fibre. *Z. Physik* 20, 413.
- (54) (With G. Masing) Cold working and reinforcement. *Erg. exakt. Naturw.* 2, 177.
- (55) Structural analysis by means of X-rays. *Physik. Z.* 24, 407.
- (56) (With H. Mark & E. Schmid) Investigations of monocrystalline wires of tin. *Naturwiss.* 11, 256.
- (57) 1924 (With H. Mark) Correction to the paper Lattice structure, sliding directions and sliding planes of white tin. *Z. Physik* 22, 200
- (58) (With E. Schiebold & K. Weissenberg) On the development of the rotating crystal method. *Z. Physik.* 23, 337.  
28, 29.
- (59) (With E. Ewald) Plasticity and strength of rock salt under water. *Z. Physik*
- (60) (With G. Masing) On the increase of tensile strength of zinc by coldworking. *Z. Physik* 28, 169.
- (61) Osmotic pressure, pressure of swelling, and adsorption. *Z. phys. Chem.* 114, 387.
- (62) (With E. Schmid) On the structure of worked metals. *Z. tech. Physik.* 5, 580.
- (63) (With A. Schob) Stretching experiments with soft vulcanized rubber at the temperature of liquid air. *Mitt. Materialprüfungsamt* 42, 22.
- (64) 1925 Deformation of monocrystals. *Z. Krist.* 61, 49.
- (65) Moulding of solid bodies from the standpoint of crystal structure. *Vortr. Dresden. Tag. Ges. angew. Math. Mech.* 5, 125
- (66) An elongating apparatus for threads and wires. *Z. tech. Physik* 6, 121.
- (67) (With E. Ewald) On the form strengthening of rock salt in bending experiments. *Z. Physik* 31, 139.

- (68) (With E. Ewald) Remarks on the work of A. Joffe and M. Levitzky on the limits of strength and elasticity of natural rock salt. *Z. Physik* 31, 746.
- (69) (With E. Schmid) Strengthening and weakening of Sn Crystals. *Z. Physik* 32, 684.
- (70) 1925 (With E. Wigner) Formation and decomposition of molecules. *Z. Physik* 33, 429.
- (71) (With G. Sachs) On elastic hysteresis and internal strains in bent rock- salt crystals. *Z. Physik* 33, 692.
- (72) (With M. Fischenich) The origins of conductivity in casein solutions. *Kolloid-Z.* 36, 275.
- (73) (With H. Beutler) Chemiluminescence and reaction velocity. *Naturwiss.* 13, 711.
- (74) Crystal deformation and strengthening. *Z. Metallkunde* 17, 94.
- (75) (With G. Sachs) On the release of internal strains by annealing. *Z. Metallkunde* 17, 227.
- (76) 1926 (With H. Beutler & S. von Bogdandy) On luminescence of highly dilute flames. *Naturwiss.* 14, 164.
- (77) (With S. von Bogdandy) Ejection of atoms from solids by chemical attack on the surface. *Naturwiss.* 14, 1205.
- (78) Moulding of metal crystals, and the moulded state. *Werkstoff ausschuss Bericht* no. 85, p. 1.
- (79) (With S. von Bogdandy & J. Boehm) On a method of producing molecular mixtures. *Z. Physik* 40, 211.
- (80) Behaviour of neutral sodium caseinogate in membrane hydrolysis. *Biochem. Z.* 171, 473.
- (81) (With G. Sachs) Elastic hysteresis in rock salt. *Nature, Lond.* 116, 692.
- (82) 1927 (With R L. Hasche & E. Vogt) Spectral intensity distribution in the D-line of the chemiluminescence of sodium vapour. *Z. Physik* 41, 583.
- (83) The structure of matter and X-ray diffraction. *Z. Ver. deut. Ing.* 71, 565.
- (84) (With S. von Bogdandy) Rapid analysis of brass. *Z. Metallkunde* 19, 164.
- (85) (With S. von Bogdandy) Chemically-induced chain reaction in detonating gas. *Naturwiss.* 15, 410.
- (86) Theory of wall reactions. *Chem. Rund. Mitteleuropa Balkan* 4, 160.
- (87) (With S. von Bogdandy) Rapid brass analysis. *Metal Ind. Lond.* 30, 195.
- (88) (With S. von Bogdandy) Chemically induced chain reactions in mixtures of halogens, hydrogen and methane. *Z. Elektrochem.* 33, 554.
- (89) 1928 Reply to the letter of O. L. Sponster, Erroneous determination of the cellulose space lattice. *Naturwiss.* 16, 263.
- (90) Deformation, rupture and hardening of crystals. *Naturwiss.* 16, 285.
- (91) Theoretical and experimental strength. *Naturwiss.* 16, 1043.
- (92) (With F. Goldmann) Adsorption of vapours on carbon and the thermal dilation of the interface. *Z. phys. Chem.* 132, 321.
- (93) (With K. Welke) Adsorption, heat of adsorption and character of attachment between small amounts of sulphur dioxide and carbon. *Z. phys. Chem.* 132, 371.
- (94) (With W. Heyne) Adsorption from solutions. *Z. phys. Chem.* 132, 384.
- (95) (With L. Frommer) On heterogeneous elementary reactions. I. Action of chlorine on copper. *Z. phys. Chem.* 137, 201.
- (96) Application of Langmuir's theory to the adsorption of gases on charcoal. *Z. phys. Chem. A* 138, 459.

- (97) (With E. Wigner) On the interference of characteristic vibrations as the cause of energy fluctuations and chemical changes. *Z. phys. Chem. A* 139, 439.
- (98) (With H. Beutler) On highly dilute flames. I. *Z. phys. Chem. B* 1, 3.
- (99) (With S. von Bogdandy) On highly dilute flames. II. Nozzle flames. Increase of light emission with increasing partial pressure of sodium vapour. *Z. phys. Chem. B* 1, 21.
- (100) 1928 (With G. Schay) On highly dilute flames. III. Sodium-chlorine flame. Evidence for and analysis of the reaction and luminescence mechanism. Both reaction types. Survey of the whole work. *Z. phys. Chem. B* 1, 30.
- (101) (With G. Schay) Correction to the work. On highly dilute flames. III. *Z. phys. Chem. B* 1, 384.
- (102) On the simplest chemical reactions. *Réunion Intern. Chim. Phys.* 198.
- (103) (With H. Beutler) On highly dilute flames, I. *Z. Physik* 47, 379.
- (104) (With G. Schay) Chemiluminescence between alkali metal vapours and tin halides. *Z. Physik* 47, 814.
- (105) Deformation, rupture and hardening of crystals. *Trans. Faraday Soc.* 24, 72.
- (106) The inhibition of chain reactions by bromine. *Trans. Faraday Soc.* 24, 606.
- (107) 1929 Principles of the potential theory of adsorption. *Z. Elektrochem.* 35, 431.
- (108) Consideration of activation processes at surfaces. *Z. Elektrochem.* 35, 561.
- (109) (With E. Schmid) Problems of plasticity. Deformation at low temperatures. *Naturwiss.* 17, 301.
- (110) 1930 On the nature of the solid state. *Metallwirt.* 9, 553.
- (111) (With L. Frommer) On gas phase luminescence in a Heterogeneous reaction. *Z. phys. Chem. B* 6, 371.
- (112) (With H. von Hartel) On atomic reactions processing inertia. *Z. phys. Chem. B* 11, 97.
- (113) (With W. Meissner & E. Schmid) Measurements with the aid of liquid helium. XII. Plasticity of metal crystals at low temperatures. *Z. Physik* 66, 477.
- (114) (With H. Eyring) On the calculation of the energy of activation. *Naturwiss.* 18, 914.
- (115) (With F. London) The theoretical interpretation of adsorption forces. *Naturwiss.* 18, 1099.
- (116) (With E. Schmid) Problems of plasticity. Deformation at low temperatures. *Mitt. deut. Materialprüfungs Anst. Sonderheft* 10, 101.
- (117) The nature of the solid state. *Umschau* 34, 1001. *Mitt. deut. Materialprüfungs Anst. Sonderheft* 13, 113.
- (118) 1931 (With H. Eyring) On simple gas reactions. *Z. phys. Chem. B* 12, 279.
- (119) (With E. Cremer) Estimation of molecular lattice dimensions from resonance forces. *Z. phys. Chem. B* 14, 435.
- (120) (With E. Cremer) Decrease of fundamental frequency as the first stage of chemical reaction. *Z. phys. Chem. Bodenstein Festband*, 720.
- (121) (With P. Beck) Recovery of recrystallising ability by reformation. *Z. Elektrochem.* 37, 521.
- (122) (With P. Beck) Recovery of recrystallising power by reformation. *Naturwiss.* 19, 505.
- (123) Atomic reactions. *Z. angew. Chem.* 44, 597.

- (124)1932 (With H. Ekstein) Note on the mechanism of the reaction  $H_2 + I_2 \rightarrow 2 HI$  and of similar reactions at surfaces. *Z. phys. Chem. B* 15, 334.
- (125) (With E. Horn & H. Sattler) On highly dilute flames of sodium vapour with cadmium halides and zinc chloride. *Z. phys. Chem. B* 17, 220.
- (126) (With H. von Hartel & N. Meer) Investigation of the reaction velocity between sodium vapour and alkyl chlorides. *Z. phys. Chem. B* 19, 139.
- (127) (With N. Meer) Comparison of the reactions of sodium vapour with other organic processes. *Z. phys. Chem. B* 19, 164.
- (128) (With E. Cremer) Test of the 'tunnel' theory of heterogeneous catalysis; the hydrogenation of styrene. *Z. phys. Chem. B* 19, 443.
- (129) Developments in the theory of chemical reactions. *Naturwiss.* 20, 289.
- (130) (With D. W. G. Style) On an active product of the reaction between sodium vapour and alkyl halides. *Naturwiss.* 20, 401.
- (131)1932 Atomic reactions. London: William & Norgate.
- (132) Theories of the adsorption of gases. A general survey and some general remarks. *Trans. Faraday Soc.* 28, 316.
- (133) The theory of chemical reactions. *Uspekhi Khim.* 1, 345.
- (134)1933 (With S. von Bogdandy & G. Veszi) On a method for the preparation of colloids and for hydrogenation with atomic hydrogen. *Angew. Chem.* 46, 15. *Chem. Fabrik*, 6, 1.
- (135) (With E. S. Gilfillan) Micropycnometer for the determination of displacements of isotopic ratio in water. *Z. phys. Chem. A* 166, 254.
- (136) (With E. Bergmann & A. Szabo) The mechanism of simple substitution reactions and the Walden inversion. *Z. phys. Chem. B* 20, 161.
- (137) (With J. Curry) On the reaction between sodium vapour and cyanogen halides. *Z. phys. Chem. B* 20, 276.
- (138) (With E. Cremer) The conversion of o- into p-hydrogen in the solid state. *Z. phys. Chem. B* 21, 459.
- (139) (With E. Horn & D. W. G. Style) On the isolation of free methyl and ethyl by the reaction between sodium vapour and methyl and ethyl bromides. *Z. phys. Chem. B* 23, 291.
- (140) (With E. Cremer & J. Curry) On a method for the determination of the velocity of gaseous reactions of atomic hydrogen. *Z. phys. Chem. B* 23, 445.
- (141) A note on the electrolytic separation of heavy hydrogen by the method of G. N. Lewis. *Naturwiss.* 21, 316.
- (142) (With E. Bergmann) Autoracemization, and velocity of electrolytic dissociation. *Naturwiss.* 21, 378.
- (143) Adsorption and capillary condensation. *Phys. Z. Sowjetunion* 4, 144.
- (144) A method for the measurement of gaseous reactions. *Nature Lond.* 132, 747.
- (145) (With J. Horiuti) A catalysed reaction of hydrogen with water. *Nature, Lond.* 132, 819.
- (146) (With J. Horiuti) Catalyzed reaction of hydrogen with water, and the nature of over-voltage. *Nature, Lond.* 132, 931.
- (147) Atomic reactions. *Uspekhi Khim.* 2, 412.
- (148)1934 (With E. Horn) On the isolation of free phenyl radicals by the reaction of sodium vapour with bromobenzene. *Z. phys. Chem. B* 25, 151.
- (149) (With E. Horn & D. W. G. Style) The isolation of free methyl and ethyl by the reaction between sodium vapour and methyl and ethyl bromides. *Trans. Faraday Soc.* 30, 189.

- (150) (With A. L. Szabo) On the mechanism of hydrolysis. The alkaline saponification of amyl acetate. *Trans. Faraday Soc.* 30, 508.
- (151) (With L. Frommer) A new method for measuring the rate of high velocity gas reactions. *Trans. Faraday Soc.* 30, 519.
- (152) (With J. Horiuti & G. Ogden) Catalytic replacement of hydrogen by diplogen in benzene. *Trans. Faraday Soc.* 30, 663.
- (153) (With J. Horiuti) Exchange reaction of hydrogen on metal catalysts. *Trans. Faraday Soc.* 30, 1164.
- (154) (With R. A. Ogg, Jr) The mechanism of ionogenic reactions. *Mem. Proc. Manch. Lit. Philos. Soc.* 78, 41.
- (155) (With J. Horiuti) On the mechanism of ionisation of hydrogen at a platinum electrode. *Mem. Proc. Manch. Lit. Philos. Soc.* 78, 47.
- (156) On a form of lattice distortion that may render a crystal plastic. *Z. Physik* 89, 660.
- (157) Reaction rates of the hydrogen isotopes. *Nature, Lond.* 133, 26.
- (158) (With J. Horiuti) Catalytic hydrogen replacement, and the nature of over-voltage. *Nature, Lond.* 133, 142.
- (159) 1934 (With B. Cavanagh & J. Horiuti) Enzyme catalysis of the ionisation of hydrogen. *Nature, Lond.* 133, 797.
- (160) (With J. Horiuti) Catalytic interchange of hydrogen between water and ethylene and between water and benzene. *Nature, Lond.* 134, 377.
- (161) (With J. Horiuti) Direct introduction of deuterium into benzene. *Nature, Lond.* 134, 847.
- (162) (With R. A. Ogg Jr & L. Werner) Optical inversion by negative substitution. *Chem. Ind.* 53, 614.
- (163) Discussion on heavy hydrogen. *Proc. R. Soc. Lond. A* 144, 14.
- (164) Discussion on energy distribution in molecules. *Proc. R. Soc. Lond. A* 146, 253.
- (165) (With W. Heller) Quantitative studies of atomic reactions. *Compt. rend.* 199, 118.
- (166) Discussion of methods of measuring and factors determining the speed of chemical reaction. *Proc. R. Soc. Lond. B* 116, 202.
- (167) 1935 (With R. A. Ogg, Jr) Substitution of free atoms and Walden inversion. The decomposition and racemisation of optically active sec-butyl iodide in the gaseous state. *Trans. Faraday Soc.* 31, 482.
- (168) (With R. A. Ogg, Jr) Mechanism of ionic reactions. *Trans. Faraday Soc.* 31, 604.
- (169) (With M. G. Evans) Some applications of the transition state method to the calculation of reaction velocities, especially in solution. *Trans. Faraday Soc.* 31, 875.
- (170) (With R. A. Ogg, Jr) Diabatic reactions and primary chemi-luminescence. *Trans. Faraday Soc.* 31, 1375.
- (171) Heavy water in chemistry. *Nature, Lond.* 135, 19.
- (172) (With J. Kenner & P. Szego) Aluminium chloride as a catalyst of hydrogen interchange. *Nature, Lond.* 135, 267.
- (173) (With G. H. Bottomley & B. Cavanagh) Enzyme catalysis of the exchange of deuterium with water. *Nature, Lond.* 136, 103.
- (174) Adsorption and catalysis. *J. Soc. Chem. Ind.* 54, 123.
- (175) Heavy water. *J. Soc. Dyers Colour* 51, 90.
- (176) (With J. Horiuti) Principles of a theory of proton transfer. *Acta phys. chim. U.S.S.R.* 2, 505.



- (177)1936 (With W. Heller) Reactions between sodium vapour and volatile polyhalides, velocities and luminescence. *Trans. Faraday Soc.* 32, 663.
- (178) (With E. Bergmann & A. L. Szabo) Substitution and inversion of configuration. *Trans. Faraday Soc.* 32, 843.
- (179) (With M. G. Evans) Further considerations on the thermodynamics of chemical equilibria and reaction rates. *Trans. Faraday Soc.* 32, 1333.
- (180) (With D. D. Eley) Catalytic interchange of hydrogen with water and alcohol. *Trans. Faraday Soc.* 32, 1388.
- (181) (With M. Calvin & E. G. Cockbain) Activation of hydrogen by phthalocyanine and copper phthalocyanine. I. *Trans. Faraday Soc.* 32, 1436.
- (182) (With M. Calvin & D. D. Eley) Activation of hydrogen by phthalocyanine and copper phthalocyanine. II. *Trans. Faraday Soc.* 32, 1443.
- (183) (With M. G. Evans) Equilibrium constants and velocity constants. *Nature, Lond.* 157, 530.
- (184) (With C. Horrex) Atomic interchange between water and saturated hydrocarbons. *Mem. Proc. Manchester Lit. Phil. Soc.* 80, 33.
- (185)1937 (With M. G. Evans) On the introduction of thermodynamical variables into reaction kinetics. *Trans. Faraday Soc.* 33, 448.
- (186) The transition state in chemical reactions. *J. chem. Soc.* 629.
- (187) The transition state in chemical kinetics. *Nature, Lond.* 139, 575.
- (188)1937 Catalytic activation of hydrogen. *Sci., J. Roy. Coll. Sci.* 7, 21.
- (189) Colours as catalysts., *J. Oil Col. Chem. Assoc. Buxton Conf.* no. 3.
- (190)1938 (With M. G. Evans) Inertia and driving force of chemical reactions. *Trans. Faraday Soc.* 34, 11.
- (191) On the catalytic properties of phthalocyanine crystals. *Trans. Faraday Soc.* 34, 1191.
- (192) The deformation of solids. *Report Reunion Int. Phys. Chim. Biol.*
- (193) (With P. Debye, F. Simon, M. Wiersma, C. V. Raman & B. van der Pol) General physics. Paris: Hermann & Cie.
- (194)1939 (With M. G. Evans) Notes on the luminescence of sodium vapour in highly dilute flames. *Trans. Faraday Soc.* 35, 178.
- (195) (With C. Horrex & R. K. Greenhalgh) Catalytic exchange of hydrogen. *Trans. Faraday Soc.* 35, 511.
- (196) (With R. K. Greenhalgh) Hydrogenation and atomic exchange of benzene. *Trans. Faraday Soc.* 35, 520.
- (197)1940 (With A. R. Bennett) Influence of acidity on catalytic exchange of hydrogen and water. *Trans. Faraday Soc.* 36, 377.
- (198) (With E. T. Butler) Influence of substitution on organic bond strength. *Nature, Lond.* 146, 129.
- (199) (With E. C. Baughan) Energy of aliphatic carbon linking. *Nature, Lond.* 146, 685.
- (200)1941 (With E. C. Baughan & M. G. Evans) Covalency, ionisation and resonance in carbon bonds. *Trans. Faraday Soc.* 37, 377.
- (201) (With E. C. Baughan) Activation energy of ionic substitution. *Trans. Faraday Soc.* 37, 648.
- (202) (With M. G. Evans) Effect of negative groups on reactivity. *Nature, Lond.* 148, 436.
- (203)1942 (With A. G. Evans) Calculation of steric hindrance. *Nature, Lond.* 149, 608.
- (204)1943 (With E. T. Butler) Rates of pyrolysis and bond energies of substituted organic iodides, I. *Trans. Faraday Soc.* 39, 19.

- (205) Resonance and chemical reactivity. *Nature*, Lond. 151, 96.
- (206) (With A. G. Evans) Steric hindrance and heats of formation. *Nature*, Lond. 152, 738.
- (207) 1945 (With E. T. Butler & E. Mandel) Rates of pyrolysis and bond energies of substituted organic iodides. II. *Trans. Faraday Soc.* 41, 298.
- (208) 1946 (With A. G. Evans, D. Holden, P. H. Plesch, H. A. Skinner & M. A. Weinberger) Friedel-Crafts catalysts and polymerization. *Nature*, Lond. 157, 102.
- (209) Activation of catalysts in olefine reactions. *Nature*, Lond. 157, 520.
- (210) (With A. G. Evans & G. W. Meadows) Friedel-Crafts catalysts and polymerization. *Nature*, Lond. 158, 94.
- (211) 1947 (With A. G. Evans) Polymerization of iso-butene by Friedel-Crafts catalysts. *J. chem. Soc.* 252.
- (212) (With P. H. Plesch & H. A. Skinner) The low temperature polymerization of iso-butene by Friedel-Crafts catalysts. *J. chem. Soc.* 257.
- (213) (With A. G. Evans & M. G. Evans) Mechanism of substitution at a saturated carbon atom. *J. chem. Soc.* 558.
- (214) (With A. G. Evans & G. W. Meadows) Friedel-Crafts catalysts and polymerization. *Rubb. Chem. Technol.* 20, 375.
- (215) (With A. G. Evans & G. W. Meadows) Polymerization of olefines by Friedel-Crafts catalysts. *Nature*, Lond. 160, 869.
- (216) 1948 Polymerization at low temperatures. *Angew. Chem. A* 60, 76.
- (217) 1949 Mechanism of chemical reactions. *Endeavour* 8, 3.
- (218) Experimental proofs of hyperconjugation. *J. Chim. phys.* 46, 235.

## *II. A selected list of Michael Polanyi's social and philosophical writings*

This is based on Richard L. Gelwick's bibliography published in *Intellect and hope* (eds T. L. Langford and W. H. Poteat). Most reviews and newspaper articles have been omitted.

- (219) 1935 *USSR Economics*. Manchester University Press.
- (220) 1936 The struggle between truth and propaganda. *Manchester School of Economic and Social Studies*, 7.
- (221) The value of the inexact. *Philos. Sci.* 3 (April). 1936. Letter to the editor.
- (222) 1937 Congrès du Palais de la Découverte. *Nature*, Lond. 140 (October 23).
- (223) 1938 Handbook to the film 'Unemployment and money'. Supplement to a film by Michael Polanyi prepared with the assistance of Mary Field, R. Jeffries, and J. Jewkes.
- (224) The 'settling down' of capital and the trade cycle. *Manchester School of Economic Studies*, 8.
- (225) 1939 Rights and duties of science. *Manchester School of Economic and Social Studies*, 10.
- (226) 1940 *The contempt of freedom*. London: Watts & Co.
- (227) Economics on the screen. *Documentary News Letter*.
- (228) Science in U.S.S.R. *New Statesman and Nation* 19 (10 Feb.).
- (229) 1941 Cultural significance of science. *Nature*, Lond. 147 (25 Jan.).

- (230) Extract from a letter of 27 June 1941, first statement in 1941 on the principle of deficit spending – a reply to a memorandum circulated by the cabinet officers (Jewkes-Robbins).
- (231) The growth of thought in society. *Economica* 8 (Nov.).
- (232) 1943 The autonomy of science. *Mem. Proc. Manchr Lit. Philos. Soc.*, 85 (Feb.).
- (233) The English and the Continent. *Political Quarterly*, 14 (Oct.-Dec.).
- (234) The Hungarian opposition. *New Statesman and Nation*, 26 (25 Sept.).
- (235) Research and planning. *Nature*, Lond. 152 (21 Aug.).
- (236) 1944 Patent reform. *Review Econ. Studies*, 11 (Summer).
- (237) Science and the decline of freedom. *The Listener* (1 June).
- (238) Science – its reality and freedom. *Nineteenth Century* 135 (Feb.).
- (239) 1945 Full employment and free trade. Cambridge University Press.
- (241) Reform of the patent law in Britain. *Nature*, Lond. 156 (14, July).
- (242) Science and the modern crisis. Science, the universities and the modern crisis. *Mem. Proc. Manchr Lit. Philos. Soc.* 86.
- (243) 1946 Science, faith and society. University of Chicago Press; Oxford University Press. (The Riddell Memorial Lectures, University of Durham, 1945.)
- (244) The planning of science. Society for Freedom in Science, Occasional Pamphlet no. 4.
- (248) Re-dedication of science in Germany. *Nature*, Lond. 158 (13 July).
- (259) Science: academic and industrial. *Universities Quarterly*.
- (260) Why profits. *The Plain View*, no. 8.
- (261) 1947 The foundations of freedom in science. In: *Physical science and human values* (ed. E. P. Wigner). Princeton University Press.
- (264) Science: observation and belief. *Humanitas*, 1 (Feb.).
- (265) What kind of crisis? *Time and Tide* (4 Oct.).
- (266) 1948 Profits and private enterprise. In *Economic problems in a free society*. London: Central Joint Advisory Committee on Tutorial Classes.
- (268) The place of universities in the community. *Adv. Sci.*, 5 (April).
- (269) Planning and spontaneous order. *The Manchester School* 16 (Sept.).
- (270) 1948 The universities today. *Adelphi*, 24 (Jan. - March).
- (271) 1949 The authority of the free society. *Nineteenth Century*, 146 (Dec.).
- (272) The nature of scientific convictions. *Nineteenth Century*, 146 (July).
- (273) 1950 Economic and intellectual liberties. *Zeit. gesamte Staatswiss.*, 106 (3 Heft).
- (274) Scientific beliefs. *Ethics*, 41 (Oct.).
- (275) Der Glaube an die Wissenschaft. *Physikal. Blätter* 6 (Heft 8).
- (276) 1951 The logic of liberty. University of Chicago Press; London: Routledge & Kegan Paul.
- (277) Autorität und Freiheit in der Wissenschaft. *Physikal. Blätter* 7 (Heft 3).
- (278) Die Freiheit der Wissenschaft. *Physikal. Blätter* 7, (Heft 2).
- (279) The hypothesis of cybernetics. *British Journal for the Philosophy of Science* 2 (Feb.).
- (280) 1952 John Dalton's theory. L. Farkas Memorial Volume (eds. Adalbert Farkas & E. P. Wigner). Jerusalem: Research Council of Israel.
- (281) The stability of beliefs. *British Journal for the Philosophy of Science* 3 (Nov.).
- (282) Science and faith. *Question*, 5 (Winter).

- (283) 1953 Pure and applied science and their appropriate forms of organization. Society for Freedom in Science, Occasional Pamphlet no. 14.
- (289) 1954 On the introduction of science into moral subjects. Cambridge, Journal, 7 (Jan.).
- (290) 1955 Preface to Science and freedom: Proceedings of a conference convened by the Congress for Cultural Freedom, Hamburg, 1953 (ed. G. Polanyi). London: Martin Secker & Warburg.
- (292) Words, conceptions and science. Twentieth Century, 158 (Sept.).
- (293) 1956 Ethics and the scientist. Bull. Inst. Phys., (July).
- (294) The magic of Marxism. Bull. Atomic Scientists 12 (June).
- (295) Passion and controversy in science. Lancet, 270 (16 June).
- (296) This age of discovery. Twentieth Century, 159 (March).
- (297) 1957 Beauty, elegance and reality in science. Symposium on Observation and Interpretation, Bristol, (1, April).
- (298) The foolishness of history: November 1917 - November 1957. Encounter, 9 (Nov.).
- (299) Problem solving. British Journal for the Philosophy of Science, 8 (Aug.).
- (300) Scientific outlook: its sickness and its cure. Science 125 (March).
- (301) 1958 Personal knowledge. University of Chicago Press; London: Routledge & Kegan Paul, 1958; New York. (Contains, with additions and revisions, the Gifford Lectures, 1951-52.)
- (303) On biased coins and related problems. Z. Phys. Chem. N.F., Frankfurter Ausgabe, 15 (April).
- (304) Tyranny and freedom, ancient and modern. Calcutta: Quest.
- (305) 1959 The study of man. University of Chicago Press; London: Routledge & Kegan Paul; Chicago: (The Lindsay Memorial Lectures, University College of North Staffordshire, 1958.)
- (307) The two cultures. Encounter, 13 (Sept.).
- (308) 1960 Beyond nihilism. Cambridge University Press, (The Eddington Lecture, Cambridge University, 1960.)
- (310) Le Comte du Noüy Foundation award to Michael Polanyi, acceptance speech. Christian Scholar, 43 (March).
- (311) Freedom and responsibility. Science and Freedom, no. 11 (12 April).
- (312) Morals – a product of evolution. Review of C. H. Waddington's The ethical animal (George Allen & Unwin). New Scientist (22 Dec.).
- (313) Towards a theory of conspicuous production. Soviet Survey 34 (Oct. - Dec.).
- (314) 1961 Commentary on 'The genesis of the special theory of relativity', by Adolph Grunbaum. In: Current issues in the philosophy of science (eds. Herbert Feigl & Grover Maxwell). New York: Holt, Rinehart & Winston.
- (317) Science: academic and industrial. J. Inst. Metals 87.
- (318) 1962 Clues to an understanding of mind and body. In: The scientist speculates (ed. I. J. Good). London: Heinemann.
- (319) Commentary on 'The uses of dogmatism in science', by Thomas Kuhn. In The structure of scientific change (ed. A. C. Crombie). London: Heinemann.
- (320) My time with X-rays and crystals. In: Fifty years of X-ray diffraction (ed. P. P. Ewald). Utrecht: N. V. A. Oosthoek's Uitgeversmaatschappij.
- (324) The unaccountable element in science. Philosophy 37 (Jan.).

- (325)1963 Points from a conversation with Paul Tillich on 21 February 1963. (Typewritten.)
- (326) The potential theory of adsorption: authority in science has its uses and dangers. *Science* 141.
- (327) Science and religion: separate dimensions or common ground? *Philosophy Today* 7 (Spring).
- (328)1964 Science and man's place in the universe. In: *Science as a cultural force* (ed. Harry Woolf). Baltimore: Johns Hopkins Press.
- (329) The feelings of machines. *Encounter* 22 (Jan.).
- (330)1965 On the modern mind. *Encounter* 24.
- (332)1966 The tacit dimension. Garden City, New York: Doubleday. (The Terry Lectures, Yale University, 1962.)
- (333) The creative imagination. *Chemical and Engineering News* 44.
- (334) The logic of tacit inference. *Philosophy* 41.
- (335) The message of the Hungarian revolution. *Christianity and Crisis* 26 (Oct.).
- (336)1967 The growth of science in society. *Minerva* 5, no. 4.
- (337) Life transcending physics and chemistry. *Chemical and Engineering News* 45.
- (338) Science and reality. *British Journal for the Philosophy of Science*, 18.
- (339) Sense-giving and sense-reading. *Philosophy*, 42 (Oct.).
- (340)1968 Logic and psychology. *American Psychologist* 12 (Jan.).
- (341) Wider die Skepsis des modernen Denkens. *Gehört Gelesen* (Jan.).
- (342) Logic and psychology. *American Psychologist* 23 (Jan.).
- (343) Life's irreducible structure. *Science* 160 (21 June).
- (344)1969 On body and mind. *New Scholasticism* 93, 2 (Spring).
- (345) The determinants of social action. In: *Roads to freedom, essays in honour of Friederich von Hayek* (ed. E. Streissler). New York: Augustus M. Kelly.
- (346) Toward a unity of knowledge (ed. M. Grene). *Psychological Issues*, 6, no. 2, Monograph 22.
- (347) *Knowing and being, essays by Michael Polanyi*, edited by Marjorie Grene. London: Routledge & Kegan Paul.
- (348)1970 Why did we destroy Europe? *Studium Generale*, 23.
- (349) What is a painting? *British Journal of Aesthetics*, 10 (July).
- (350) Science and man. *Proc. R. Soc. Med.* 63 (Sept.).
- (351) Transcendence and self-transcendence. *Soundings* 53 (Spring).
- (352) Foreword to: *Optics, painting and photography*, by M. H. Pirenne.
- (353)1971 Transcendence and self transcendence. In: *Science et conscience de la société* (ed. J.-C. Casanova), vol. 1. France: Calmann-Levy.
- (354)1972 Genius in science, *Encounter*, 38 (Jan.).
- (355)1974 Scientific thought and social reality: *Essays by Michael Polanyi* (ed. F. Schwartz). *Psychological issues*, 8, no. 4, monograph 32.
- (356)1975 (With H. Prosch) *Meaning*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- (357) (With H. Prosch) *Truth in myths*. *Cross Currents* 25, 2, 149-163. New York.

*Addendum*

- 1919      Calculation of the reaction rates in gases based on probability theory.  
            Magyar Chem. Folyoirat, 25, 136.