

Tanulmányok

AZ INTERDISZCIPLINARITÁS FEJLŐDÉSTÖRTÉNETE

THE PHYLOGENY OF INTERDISCIPLINARITY

Maksay Gábor

a biológiai tudomány doktora
maksayg@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS

A középkorban, a természettudományos diszciplínák szétválása alatt, jellemzően hobbi tudósok, polihisztorok értek el multidiszciplináris felfedezéseket, de főképp matematikusok és fizikusok jó néhány interdiszciplináris jellegűt is. Az első ipari forradalom és a második (távközlési és közlekedési) forradalom társadalmi szükségletei a 18–19. században megalapozták az együttműködéses alkalmazott kutatásokat, interdiszciplináris feltalálások láncolatát eredményezték. A 20. század óta tudományágak keletkeznek, önállósulnak vagy összeolvadnak. A szponzorált, célra orientált, együttműködéses kutatómunka fokozódó, rétegezett interdiszciplinaritással zajlik. A 21. század fenyegető globális veszélyeinek elhárítása csak a nemzetek feletti együttműködéstől és interdiszciplináris gigaprojektoktól várható. A hazai tudomány interdiszciplinaritásának jövője az oktatásban gyökerezik.

ABSTRACT

In the Middle Ages, during the separation of science disciplines multidisciplinary discoveries were achieved predominantly by hobby scientists or polymaths, while a number of interdisciplinary ones were made mostly by mathematicians and physicists. In the 18th and 19th centuries, the economic necessities of the first industrial revolution and the second (transport and communication) revolution laid down the basis of collaborative applied research and resulted in the chains of interdisciplinary contrivances. Since the 20th century disciplines have arisen, became independent or merged. Target-oriented, sponsored, collaborative research proceeds with increasing hierarchic interdisciplinarity. The prevention of imminent global dangers of the 21st century can be expected only from multinational cooperation and interdisciplinary giga projects. The future of the scientific interdisciplinarity in Hungary is rooted in education.

Kulcsszavak: multidiszciplinaritás, feltalálás, együttműködés, gigaprojekt, interdiszciplinaritási index

Keywords: multidisciplinary, contrivance, collaboration, giga project, interdisciplinarity index

A tudományágak szétválását követően a diszciplínák egyre jobban specializálódnak. A köztük felépülő falakon az egyes kutató egyre kevésbé képes átlátni vagy áthatolni. A tudományos megismerés egyre összetettebb kihívásainak a különböző diszciplínák művelőinek együttműködése tud csak megfelelni. Az interdiszciplinaritás növekvő jelentőségét nem lehet eléggé hangsúlyozni a természet és anyagszerkezet hierarchikus felépítésében, valamint a tudományok oktatásában (Chettiparamb, 2007). Számos tanulmány foglalkozik az interdiszciplinaritással ismeretelméleti szinten (Moran, 2002; Veress, 2015), de tudománytörténeti példák nélkül. Ez az írás elsősorban a természettudományok történetéből vett példákkal kívánja szemléltetni az interdiszciplinaritás fejlődéstörténetét.

A multidiszciplinaritásban több diszciplína adódik össze. Az interdiszciplinaritás úgy határozható meg, mint több diszciplína ismereteinek értéktöbbletet teremtő összekapcsolása, a való élet egy összetett, központi témájának problémaközpontú, stratégiai megközelítése. A fogalmat a 20. században vezették be, de az gyakorlatilag már az ókorban megjelent Mezopotámiában, Egyiptomban és a görögöknél. Az interdiszciplinaritás során kölcsönösen előnyös, szimbiotikus értéktöbblet keletkezik az alap és alkalmazott tudományágak eredményeiben. Az értéktöbblet erősen aszimmetrikus megoszlású, jellemzően az összetettebb rétegződésű tudományág profitál többet.

Az ókori természetfilozófia és metafizika a természet egészét egységesen kezelte. *Arisztotelész* korában (i. e. 384–322) kezdtek önállósulni a szaktudományok: a matematika, a csillagászat, a fizika és az orvoslás. Ahogy a tudományos kutatás egyre mélyebb ismereteket tárt fel az egyes területeken, az egyes diszciplínák elhatárolódtak. A középkor sok (ál)tudományos kísérletezője nem vett tudomást az egyes diszciplínák határaitól, autonómiájáról. Az alkimisták például aranycsinálással (elemátalakítás), bölcsek kövével (ásványtan) és biogenezissel próbálkoztak. A tudománytörténet számos természettudományos felfedezést jegyez, amelyek egyes diszciplínák keretein belül maradtak. Régen többségük magányos tudósoknak volt tulajdonítható, kevés olyan tudós ismert, aki több szaktudományban alkotott maradandót. Ők több területen mozogtak otthonosan, szerteágazó érdeklődésük miatt multidiszciplináris felfedezők, feltalálók voltak, esetleg polihistorok, mint például *al-Hvázmi*, *Avicenna*, *Paracelsus*, *Leonardo da Vinci*, *Gottfried Wilhelm Leibniz*, *Roger Bacon*, *Benjamin Franklin* és *Mihail Vasziljevics Lomonoszov*. Még kevesebben vannak, akik a diszciplínákat övező falakat mintegy áttörve, összefüggéseket tártak fel. *Dmitrij Mengyelejev* periódusos rendszere (1869) az elemek atomsúlya, egy fizikai jellemző, és kémiai tulajdonságuk közötti összefüggés, ami az atomszerkezet periodicitásának bizonyult. A naturalista természetfilozófus, *Charles Darwin* geológiai, őslénytani, növény- és állattani, rendszertani, morfológiai, ökológiai, biogeográfiai megfigyeléseit ötvözve a természetes és szexuális kiválasztódással mint hajtóerővel, és megalkotta a biológiai evolúció elméletét.

A fajok eredete (1859) az interdiszciplinaritás csúcsteljesítménye. Ezek a felfedezések azt támasztják alá, hogy az élő és élettelen természet egyetemes törvények összefüggésében működik.

A matematika tekinthető az első önálló elméleti diszciplínának. *Püthagorasz* az i. e. 6. században fogalmazta meg tételét, amelyet Keleten jóval előbb ismertek fel. Több kiváló matematikus más diszciplínák törvényszerűségeit öntötte matematikai formába. *Arkhimédész* az i. e. 3. században igazi interdiszciplináris tudós volt: matematikai, fizikai, csillagászati és mérnöki eredményei a legkiemelkedőbbek. A lengyel *Kopernikusz* (1473–1543) matematikával és az euklideszi geometriával támasztotta alá heliocentrikus világképét.

A 17. századra a fizikai jelenségek tanulmányozása lehetővé tette több fizikai tudományág elkülönítését. Mégis, egyes fizikusok egységesen kezelték a fizika rész tudományait. A polihisztor fizikus, *Edmund Halley* (1656–1742) csillagász, geofizikus, matematikus és meteorológus volt. Az optikai ismeretek, a lencsék továbbfejlesztése nagyobb teljesítményű távcsöveket és mikroszkópokat eredményezett. A polihisztor *Robert Hooke* (1635–1703) fedezte fel a sejteket és a rugalmasságtan alaptörvényét. *Galileo Galilei* (1564–1642) távcsövével csillagászati felfedezéseket tett, de a dinamika, hidrosztatika és akusztika területén is maradandót alkotott. *Johannes Kepler* a bolygók mozgását a nap fizikai hatásának tulajdonította, és matematikai összefüggésekbe foglalta. A szem működését *Dioptrice* című művében írta le 1611-ben. Ugyanakkor felfedezte a hópelyhek hatos forgási szimmetriáját is. Ez indította el a kutatást az anyag szimmetriája iránt, amely igencsak interdiszciplináris téma. Az elsősorban matematikus, rövidlátó Kepler és a jó megfigyelő csillagász, *Tycho Brahe* kiválóan egészítették ki egymást.

Isaac Newton (1643–1727) *A természetfilozófia matematikai alapjai* (1686) című művében matematikai alapokra helyezte Kepler bolygómozgási törvényeit, és leírta az egyetemes tömegvonzás törvényét. Három mozgástörvénye megalapozta a klasszikus mechanikát. Optikai kutatásai szintén maradandók. *Leonhard Euler* (1707–1783) matematikus, a trigonometria és gráfelmélet megalapozója, leírta a mechanika tanulmányozásának matematikai módszereit, de foglalkozott hidraulikával, hajótervezéssel és csillagászzal is. A „matematika fejedelme”, *Carl Friedrich Gauss* (1777–1855) munkássága hozzájárult a számelmélet, differenciálgéometria, geodézia és asztronómia fejlődéséhez. Matematikai eredményei lefektették az elektrodinamika elméleti alapjait. A polihisztor *Alexander von Humboldt* (1769–1859) volt a modern geográfia megalapozója. *Kosmos* (1845–1862) című munkája a globális földtudomány interdiszciplináris szintézise, amelyben összefüggéseket tárt fel az őslénytan, ásványtan, vulkanológia, botanika és klíma között.

Robert Boyle (1627–1691) és *Joseph Priestley* (1733–1804) gázokkal végzett fizikai és alkímiai kísérletei, majd *Antoine Lavoisier* (1743–1794) égésemélete

nyomán vált a kémia igazán tudománnyá, jött létre a fizikai kémia. Lavoisier az égés, az oxidáció és biológiai oxidáció egységes értelmezésével három tudományágot ötvözött interdiszciplinárisan. Az égő anyag tömege és a levegő térfogata, tehát fizikai mennyiségek változásait kémiai reakcióval tudta értelmezni. A levegő és oxigén mennyisége pedig arányosságot mutatott a légterükbe zárt rágcshálók élettartamával.

Az első ipari forradalomtól, a feltalálások korától kezdve a megszerzett fizikai ismeretek összekapcsolása vezetett el például a vitorlás, a gőzgép, az autó, a repülőgép, az űrhajó és a számítógép fokozatos feltalálásához. Számos többlépcsős feltalálás/innováció bontható diszciplináris elemeire, és rekonstruálható az evolúciójuk. Talán a legfontosabb, több elágazással, a tűz – fáklya, kályha, tűzhely, mécses, gázlámpa, gyufa, mikrosütő stb. Nem részletezném a bunkósbót evolúcióját harcászati eszközökké.

Sok interdiszciplináris felfedezés/feltalálás eredete az ókorba nyúlik vissza, és egy fizikai jelenség megfigyelésén alapul. Így kapcsolódik össze *Arkhimédész*, a sűrűség és a felhajtóerő a hajóépítéssel; a légáramlás és a *Bernoulli-törvény* (1738) a repülőgép szárnya és a vitorla hajtóerejével; a gurulás, a kerék, szekér, a kerék-pár, a kormány és a belső égésű motor az autóval és motorral; *Alessandro Volta* és a félvezető (1782) a tranzisztorral és a rádióval. A légkör, a légnyomásmérő, a műholdak, a számítógépes adatfeldolgozás az időjárás előrejelzésével függ össze; a digitális zene, a memória, az internet és az akkumulátor pedig az okostelefonnal. Felfedezése után a lágy röntgensugárzást a test átvilágítására használták, aztán a fókuszált, nagy energiájú sugárzást pedig a gyógyításra. A röntgendiffrakció, a sugárnyaláb rendezett kristályrácsponatokon való elhajlása a 20. század közepén még csak kis molekulák térszerkezetének meghatározására volt alkalmas, ma viszont kristályosított nagymolekulákra is, számítógépes adatfeldolgozás segítségével. A mesterséges intelligencia felhasználása egyre több területen ér el átütő fejlődést: önjáró autók, stratégiai játékok, betegségek diagnosztikája és a fehérjék térszerkezetének meghatározása (metagenomika).

A feltalálás és a fizikai és biológiai szerkezetek mélyebb megismerése során a 19. század vége óta egyre jobban előtérbe kerül az együttműködés és interdiszciplinaritás, aminek kiemelkedő példáit Nobel-díjak fémjelzik. Miután a fiziko-kémikus *Henri Becquerel* 1896-ban felfedezte a radioaktivitást, *Pierre Curie* (1859–1906) és *Marie Curie* (1867–1934) vette át az uránérc vizsgálatát. Házastársi együttműködésben, interdiszciplinárisan, kémiai módszerekkel izoláltak belőle polóniumot és rádiumot. *Becquerellel*, hármasan 1903-ban megkapták érte a fizika Nobel-díját.

A zoológus végzettségű *James Watson* (sz. 1928) és a fizikus *Francis Crick* (1916–2004) a kémikus-krisztallográfus *Rosalind Franklin* (1920–1958) DNS röntgendiffrakciós felvételeinek felhasználásával fejtette meg a DNS szerkezetét. Élettani és orvostudományi Nobel-díjat kaptak érte 1962-ben, a közben elhunyt

Franklin nélkül. A mikrobiológus *Salvador Luria* (1912–1991) együttműködött a biofizikus és molekuláris biológus *Max Delbrückkel* (1906–1981) a baktériumokat fertőző vírusok, azaz bakteriofágok vizsgálatában. A vírusok génszerkezete és replikációs mechanizmusa feltárásáért ők is élettani és orvostudományi Nobel-díjat kaptak 1969-ben.

A vasöntőmesterből lett gyártulajdonos, Ganz Ábrahám már a Mechwart András vezette gyárában került össze a vízépítő mérnök Déri Miksa, a gépészmérnök Bláthy Ottó Titusz és a gyógyszerészből lett elektromérnök Zipernovszky Károly. A triász 1885-ben jelentette be a transzformátor szabadalmát. A transzformátor a váltakozó árammal szállított villamos teljesítmény feszültségét alakítja át. A porlasztót ugyanott szabadalmaztatta Bánki Donát gépészmérnök és Csonka János feltaláló 1893-ban. A karburátor homogén levegő-üzemanyag keveréket előállító szerkezet. *Thomas Edisonnak* (1847–1931) tulajdonítják a fonográf, mikrofon, izzólámpa, kinezóskóp, fluoroszkóp és sok más feltalálását, de munkatársai is részt vettek bennük, szigorú elvek alapján működő csoportokban. Volt közöttük villamosmérnök (*William Joseph Hammer*), matematikus (*Frank J. Sparague*) és vegyész is.

Bizonyos diszciplínák összefonódva önállósultak: például fizikai kémia, biokémia, biofizika (azon belül biomechanika), asztrobiológia, molekuláris biológia és őslénytán. A bioinformatika a molekuláris biológia és számítógép-tudomány összeolvadása. Az immunológia a mikrobiológiából és patológiából jött létre. A translációs medicina az alap- és klinikai kutatásokat köti össze a laborasztaltól a betegágyig és vissza. A kolloidkémia a fizika bevonásával lényegében átalakult nanokémiává. A nanobiotechnológia ötvözi a biológiát, fizikát, kémiát és a mérnöki tudományokat.

A gyógyszerkutatás korunkban széles körű interdiszciplináris tevékenység lett. A 20. század elején, 1906-ban, azonban *Paul Ehrlich* (1854–1915) még egyedül bizonyította munkahipotézisét, hogy egy mágikus lövedék (magic bullet) szelektív kölcsönhatása jelfogó receptorával képes megsemmisíteni a kórokozókat. A *Salvarsan* valóban elpusztította a vérbajt okozó baktériumokat. Munkahipotézise mára a gyógyszerkutatás vezérelve lett. A kutatás egyre inkább multinacionális gyógyszergyárakban zajlik az óriási költségigény és szabadalmi okok miatt. Szerves kémikusok százával állítanak elő vegyületeket, amelyeket biokémikusok *in vitro* tesztelnek. Későbbi fázisokban megvizsgálják az ígéretes vegyületek toxicitását és átalakulását az élő szervezetben. Mindegyik fázis szerkezetmódosító javaslatot eredményezhet a szerves kémikusok számára. A klinikai vizsgálatok ezután kezdődnek, de ezek is részei az interdiszciplinaritásnak. A külvilág csak a gyógyszergyár nevét ismeri meg. Van egy ellentétes irányzat is, amikor néhány együttműködő kutató a felfedezését szabadalmaztatja, és gyógyszerfejlesztő céget alapítanak. A koronavírus pandémia kapcsán lett világhírű *Karikó Katalin* és *Drew Weissman*. Karikó a hírvívő mRNS-ek szintézisével foglalkozó biokémi-

kus, *Weissman* pedig immunológus. Az uracil mesterséges származéka, beépítve az mRNS-be, megakadályozza az mRNS lebomlását, és így az mRNS-alapú vakcinák megfelelő immunválaszt váltanak ki.

A társadalomtudományokban is egyre jelentősebb az interdiszciplinaritás. A régészet és közgazdaságtan igénybe vesz természettudományos (anyagtudományi és genetikai) módszereket és matematikát. A régészet az 1950-es évek óta használ radiokarbon kormeghatározást. A régészeti geofizika a lézeralapú távérzékelés (LIDAR) módszerével őserdők alatt is fel tudja tártani az ősi települések nyomait, és digitális terepmodellel, földradarral segíti a kutatást. Az archeometria a leletek anyagának, összetételének spektroszkópiai vizsgálatát végzi, származási helyét és készítési technológiáját határozza meg. Az archeogenetika pedig a növényi, állati és emberi leletekből kinyert DNS-t vizsgálja molekuláris biológiai módszerekkel. *Svante Pääbo* megalapozta a paleogenomikát az ősemberek teljes genomjának szekvenálásával, és élettani Nobel-díjat kapott érte 2022-ben. Az antropológia, szociológia és pszichológia az embert tanulmányozó interdiszciplináris tudományok. Transzdiszciplínák jönnek létre, mint az urbanisztika vagy a humánökológia, amely a természet és társadalom összefüggéseit tanulmányozza.

A matematikai közgazdaságtan a gazdaság elemzéséhez a statisztika, matematikai analízis, valószínűségszámítás és a lineáris algebra módszereit használja. A *John Nash* matematikusról elnevezett játékelméleti Nash-egyensúlyt gazdasági szereplők döntéseinél alkalmazzák (1994-es közgazdasági Nobel-díj, Harsányi Jánossal is megosztva). A vegyészmérnök végzettségű Neumann János (1903–1957) bevezette hasznosságfüggvényét, megírta a *Kvantummechanika matematikai alapjait* és számítógépet is tervezett.

A 21. században széles körű együttműködésben valósulnak meg óriási költségigényű projektek. Ilyen volt a Humán Genom Projekt. Számos génszekvenáló csoport nemzetközi együttműködésben határozta meg az emberi DNS egy-egy szakaszának szekvenciáját, és ezekből számítógépen rekonstruálták a teljes genomot. A Nagy Hadronütköztető is egy nemzetközi gigaprojekt eredménye, amellyel a körpályán felgyorsított elemi részecskék nagy erejű ütközési kölcsönhatásait vizsgálják. A nemrég felbocsátott James Webb Űrteleszkóp pedig csillagászok, fizikusok és mérnökök együttműködésének eredménye; a világegyetem és (naprendszerünkön kívüli) exobolygók infravörös spektroszkópiai vizsgálatát végzi.

Korunkban tudományos közlemények és konferenciák segítik elő együttműködések létrejöttét. A tudomány kommunikációja szerepet játszik az interdiszciplinaritás fejlődésében. Egyirányú, virtuális interdiszciplinaritásnak is felfogható, ha egy tudományos közlemény olvasása egy másik diszciplína kutatójára gondolatébresztő hatást gyakorol. Megvizsgálták a természettudományos diszciplínák affinitását egymás iránt és az interdiszciplinaritás fokozódását a 21. században

(Okamura, 2019). Az interdiszciplinaritási index segítségével kimutatható, hogy minél nagyobb a kölcsönható diszciplínák száma egy tanulmányban, annál nagyobb a hatástényező (impakt) mértéke. Ezért is részesíti előnyben a tudomány-politika az interdiszciplínaris és a nemzetközi kutatási pályázatok támogatását. Mivel az interdiszciplínaris alkalmazott kutatások, fejlesztések hamarabb hasznosulnak, a társadalom elvárja, hogy ilyen kutatások igyekezzenek elhárítani az emberiséget és a glóbuszt fenyegető veszélyeket, mint a járványok, tumorok, globális felmelegedés és környezetszennyezés.

*

A bevezetőben szerepelt, hogy a tudományok oktatásában, de a tudományos ismeretterjesztésben is egyre nagyobb az interdiszciplinaritás jelentősége a 21. században. Másrészt, a *Magyar Tudományban* helyénvaló szót ejteni a hazai tudomány interdiszciplinaritásáról is.

A gyerekek nevelését az individualista versenyszellem helyett a kommunikációra és együttműködésre már az óvodában kell elkezdni. A középiskolák évtizedek óta meg-megpróbálják a természettudományok interdiszciplínaris oktatásának bevezetését. A tanári pálya megbecsültségének, vonzerejének csökkenése a tanárutánpótlás hanyatlását eredményezi. Aligha várható az öregedő tanári állománytól, hogy átálljon a gyorsulva fejlődő és átrendeződő tudományok interdiszciplínaris oktatására. A tehetséges, kreatív fiatalok inkább választanak más hivatást, mint a tudományos kutatást. Ha pedig hazai egyetemekre kerülnek, jellemzően „monodiszciplínaris” képzésben részesülnek. Aztán kutatóintézetben esetleg megismerhetik az interdiszciplínaris kutatást egy kutatócsoportban. De amikor disszertációt írnak, szembesülhetnek az egyetemek és az MTA minősítési eljárásainak bürokráciájával és ellentmondásaival. A disszertációkat multidiszciplinaritásuk alapján sorolják be, és a jelöltet egyéni eredményei alapján bírálják el. Helytelenül besorolt disszertáció „monodiszciplínaris” bírálója kezében elsikkadhat az interdiszciplínaris értéktöbblet. Hasonló okokból, egy interdiszciplínaris kutatási pályázat is hátrányt szenvedhet a diszciplínán belüliekkel szemben. Az MTA osztályai kikristályosított bizottsági szerkezetén alig látszik interdiszciplinaritás. Bár rendeznek interdiszciplínaris konferenciákat, az előadások inkább multidiszciplínarisak. A hazai tudományos kutatás interdiszciplinaritásának jövője az oktatásban gyökerezik.

Biztos vagyok benne, hogy más tudományterületeken járatos olvasók más példákkal szemléltethetnék az interdiszciplinaritás fejlődéstörténetét. Hiányoznak itt a társadalomtudományok közti interdiszciplinaritás példái, de eltérő jellegük miatt, talán inkább a multidiszciplinaritás jellemző rájuk. Megtisztelőnek tartanám, ha írásomat vitaindítóknak tekintnék, és más területekről hozzászólnának, kiegészítenék.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm Rockenbauer Antal (a fizikai tudomány doktora), dr. Entz Géza és Falus András (az MTA rendes tagja) értékes megjegyzéseit.

IRODALOM

- Chettiparamb, A. (2007): *Interdisciplinarity: A Literature Review*. Southampton: The Interdisciplinary Teaching and Learning Group, Subject Centre for Languages, Linguistics and Area Studies, School of Humanities, University of Southampton, https://oakland.edu/Assets/upload/docs/AIS/interdisciplinarity_literature_review.pdf
- Moran, J. (2002): *Interdisciplinarity*. Routledge
- Okamura, K. (2019): Interdisciplinarity Revisited: Evidence for Research Impact and Dynamism. *Palgrave Communications*, 5, Article number: 141. 1–9. DOI: 10.1057/s41599-019-0352-4, <https://www.nature.com/articles/s41599-019-0352-4>
- Veress K. (2015): Az interdiszciplinaritás problémája. *Erdélyi Múzeum*, 77, 1, 198–206. <https://api.eda.eme.ro/server/api/core/bitstreams/af8b7451-5203-40f5-8a8b-729fce0936b3/content>