

A hőhalál-fogalom szerepe a standard kozmológiai paradigmában

Szemináriumi dolgozat a *Bevezetés a tudománytörténetbe* c. órához

1999-2000. tanév, őszi félév. Előadó: Dr. Fehér Márta

A dolgozat készítője: Kutrovácz Gábor

Bevezetés a probléma történetébe

E rövid esettanulmányban egy konkrét fizikai problémának, a hőhalál problémájának vázlatos vizsgálatát tűztem ki feladatul. A vizsgálat célja annak a kérdésnek a körüljárása, hogy a fent nevezett probléma mennyiben alkalmas arra, hogy történetét egy kuhniánus történeti kutatás tárgyává tegye. Úgy találtam, hogy néhány érdekes probléma vethető fel a hőhalál fogalmának a fizikában betöltött szerepével kapcsolatban, amennyiben ezt a szerepet paradigma-elmélet szemüvegén keresztül nézzük, méghozzá érdekesek ezek a problémák mind a fizikatörténet, mind a tudományfilozófia, mind pedig a kuhni elmélet és annak alkalmazhatósága szempontjából. A felvetődő problémák alaposabb vizsgálatát azonban e tanulmány keretei között nem vállalom.

A hőhalál fogalma olyan kérdésekkel áll kapcsolatban, melyek legalább azoktól az időktől fogva foglalkoztatják az embert, amikor a mitológiák többsége született. A háttérben húzódó alapkérdés a világegyetem állandóságát firtatja. Egyfelől elmondható, hogy a természeti folyamatok egyirányúsága, megfordíthatatlansága legősibb és legtermészetesebb tapasztalataink közé tartozik. Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy a világ egészének állandó (vagy ciklikusan állandó), megváltoztathatatlan rendjébe vetett hit a legtöbb kultúra kozmológiájának alapját képezi. A lokális egyirányúság azonban nehezen egyeztethető össze a globális változatlansággal, és ez az ellentét a természetre irányuló gondolkodás kezdetei óta magyarázatot követel. A sokáig uralkodó arisztotelianus világkép a „mozdulatlan mozzogót” tette felelőssé a globális természeti világrend beállítását szüntelen megakadályozó természeti folyamatokért, és ezt a természetfeletti lényt később azonosították Istennel. A modern fizika születésénél is fellángolt a vita a newtoniánus és a leibniziánus fizikusok között: szüksége van-e Istennek arra, hogy időről időre beavatkozzon a világ rendjébe, fenntartva annak állandóságát, avagy az egyirányú folyamatok láncá körkörösé zárul az univerzum egészében, és így a világ önmagában zárt és örökmozgó?

A vitának alapot szolgáltató mechanikai világkép, mely az energia-megmaradás tételén keresztül a változatlanságot sugallja, elvesztette egyeduralmát a fizikában a 19. század folyamán. Új jelenségekhez új eszközökkel nyúltak, és így a század közepén, a termodinamika megerősödésével, ez a probléma is új köntösbe bújt. *Clausius* bevezette a fizikai nyelvbe az entrópia fogalmát, és ennek segítségével megfogalmazta a termodinamika második főtételét: egy fizikai rendszer entrópiája spontán folyamatokban sosem csökken, hanem vagy állandó marad (néhány speciális esetben), vagy pedig (általában) nő. Amikor a világegyetemet mint a legnagyobb termodinamikai rendszert vizsgálta meg új eredményei fényében, a következő tételeket mondta ki:

- „1. Az univerzum energiája állandó.
2. Az univerzum entrópiája egy maximumhoz tart.”

Clausius tehát a lokális folyamatokra vonatkozó tapasztalatát részesítette előnyben a világegyetem egészére vonatkozó spekulációkkal szemben, és feladta az univerzum statikusságába vetett hitet: Ha a világegyetem részei egy adott irányban változnak, akkor a világegyetem maga is adott irányban fejlődik, és előbb vagy utóbb eléri azt a maximális entrópiájú állapotát, melyet később már nem hagyhat el. Ezzel pedig bekövetkezik az, amit a kortársak hőhalálnak neveztek el: a termodinamikai szempontból homogén, eseményektől teljesen mentes világállapot.

Mindebből viszont az következik, hogy a világegyetem kora véges. Ha ugyanis öröktől fogva létezne, akkor már a hőhalál állapotában kellene lennie, ám mivel mindenütt heves folyamatokat látunk magunk körül, nyilvánvalóan távol vagyunk az egyensúlyi állapottól. Ez a következtetés, azaz a világegyetem véges korának tételezése, ellentétben áll azzal a nézettel, melyet a mechanisztikus fizikai világkép sugall, vagyis azzal, hogy az

univerzum egy változatlan és örök építmény. Íme a 19. századi fizika egyik leghíresebb paradoxonja, az úgynevezett hőhalál-paradoxon. Logikai értelemben véve természetesen nem valódi paradoxonnal állunk szemben, hiszen a newtoni mechanikából nem feltétlenül következik a világegyetem állandóságának tételezése. Amennyiben azonban – a kuhni nézeteket figyelembe véve – a tudományos elméleteket nem azonosítjuk saját pozitív állításaik összességével, hanem egy világszemléletet is kapcsolunk hozzájuk, úgy elmondható, hogy konceptuálisan mégis egy olyan ellentmondással van dolgunk, melyet ebben az értelemben (és a hagyománnyal összhangban) paradoxonnak nevezhetünk.

Ha így áll a helyzet, akkor ezt a paradoxont nyugodtan a klasszikus fizika „anomáliái” közé sorolhatjuk: azok közé a problémák közé, melyek a 19. század végén a klasszikus fizika válságát okozták. Eddigre már számtalan hasonló anomália mélyítette a válságot, például a kozmológia hírhedt paradoxonjai: a gravitációs paradoxon, az Olbers-paradoxon, stb. Ezekhez a tisztán elméleti problémákhoz csatlakoztak a kísérleti kudarcok is, mint például (leghíresebbként) a Michelson-Morley kísérlet negatív eredménye. A klasszikus fizika épülete alapjaiban rázkódott, és amint azt a példákban is látjuk, egyik legmegbízhatatlanabb tartóoszlopának a fizikai kozmológia bizonyult.

A válságra adott válasz az 1930-as évekig váratott magára, amikor csillagászati megfigyelés (Hubble-törvény) és fizikai elmélet (általános relativitáselmélet) ötvözésének eredményeként megszületett az úgynevezett standard kozmológiai paradigma. Az új kozmológiai paradigma persze ahhoz a globális paradigmaváltáshoz kapcsolódott, amely a relativitáselmélet fellépésével a fizikai diszciplínák némelyikét új alapokra helyezte, hatást gyakorolva a fizika szinte minden ágára. Ez a hatás tehát a kozmológiában (lévén a korábbi anomáliák hatékony forrása) igen erősen jelentkezett. Az új paradigma szerint a világegyetem igenis egy bizonyos irányban fejlődik: története az ősrobbanásnak nevezett eseménnyel vette kezdetét, és azóta az univerzum folyamatosan tágul.

Ha ez az elképzelés sikeres volt abban, hogy az említett paradoxonok és problémák mindegyikére megnyugtató választ tudjon adni, akkor a hőhalál-paradoxont is eredményesen oldotta fel. Amikor ugyanis a világegyetem korát végesnek képzeljük el, akkor természetesen nem szükségszerű azt gondolnunk, hogy a kozmosz valamikor a múltban elérte a hőhalál állapotát, hiszen lehetséges, hogy mindez majd csak a távoli jövőben fog bekövetkezni. De vajon a paradoxon feloldása feleslegessé tette a fizikában a hőhalál fogalmát? Úgy tűnik, hogy egyáltalán nem! Azzal a kérdéssel, hogy vajon a hőhaláltól kell-e tartania a távoli jövő lehetséges fizikusainak, mind a mai napig találkozhatunk a tudománnyal kapcsolatos olvasmányainkban. Egy kuhniánus történetíró azonban gyanakvással közeledik az ilyen „transzparadigmatikus” fogalom-jelöltek felé, ezért mi is így fogunk tenni: megvizsgáljuk, hogy vajon itt is a jelentésbeli összemérhetetlenség esetéről van-e szó, azaz mást jelent-e a hőhalál fogalma egy 19. századi és mást-e egy mai fizikus számára.

Egy régi fogalom új köntösben

Először is képzeljük magunkat a modern fizika művelőjének helyzetébe, és próbáljuk internális összefüggéseiben megérteni a jelentkező nehézségeket. Ekkor rögtön szembetűnik, hogy nem kell túl messzire mennünk azon okok felkutatásában, amelyeknek köszönhetően a vizsgált problematika ilyen makacsnak bizonyul. Akkor ugyanis, amikor a világegyetemet mint termodinamikai rendszert akarjuk figyelembe venni, számos olyan nehézséggel találjuk szemközt magunkat, amilyenekbe a szokásos tudományos gyakorlat során nemigen botlunk bele. Csak hogy néhányat említsek ezek közül: A termodinamika mindig a környezetükkel való kölcsönhatásukban vizsgálja a fizikai rendszereket, ám a világegyetemnek nem

értelmezzük a környezetét, hiszen (valószínűleg definíció szerint) tartalmazza a fizikai nyelven leírható létezők összességét. Ennek ellenére számolnunk kell azzal a feltételezéssel, hogy az univerzum tágul, és ezzel például az energia-megmaradás klasszikus alakja érvénytelenné válik (a belső energia csökken, méghozzá az ún. gravitációs energia rovására). Végül pedig, és ami számunkra a legfontosabb, az univerzum maximális entrópiája nem egy mindenkorra rögzített állandó érték, hanem a tágulással maga is változik.

Ez utóbbi következmény továbbá ahhoz vezet, hogy a fent idézett clausiusi kitétel (a 2. számú) érvényességét veszti, ugyanis a világegyetem entrópiájának állandó növekedése nem jelent egy adott értékhez való konvergenciát. Márpedig amennyiben a hőhalál fogalmának eredeti jelentése egy ilyen értéken való megállapodást tartalmaz, akkor a vizsgált fogalom valóban elveszti ezt a jelentését, és ebben az esetben a jelentésbeli inkommensurabilitás tétele példánkban igazolásra talál. Látszólag az a helyzet, hogy az új kozmológiai paradigmában a hőhalál fogalma egy olyan állapotot jelöl, amelyet a globális termikus egyensúly uralkodása jellemez, de – eltérően az eredeti jelentéstől – (1) ezen állapot bekövetkezése egyáltalán nem szükségszerű, és (2) egy ilyen állapot nem szükségszerűen végleges. Érdemes tehát nyomozásunkat most annak megállapítására fordítanunk, hogy vajon miért köti le a tudósok figyelmét továbbra is ez a (paradoxon-jellegétől megszabadított) probléma.

Ha a világegyetemet egy többkomponensű anyaggal kitöltött térstruktúrával modellezzük (ahogyan azt a standard kozmológiai paradigmában tesszük), akkor el kell különítenünk a nyílt, tágulását örökké folytató világegyetem esetét attól az esettől, melyet egy zárt, a tágulási fázis után összehúzódásba forduló univerzum jelöl ki. Minthogy a mai csillagászati ismereteink alapján még nem mondható meg kellő biztonsággal, hogy a fizikai világ a két eset közül melyiket valósítja meg, a kozmológiai vizsgálatok számára általában mindkét eset egyaránt érdekes. A mi szempontunkból azonban nyilvánvaló, hogy csak a nyílt univerzum esete érdemes a vizsgálatra, ugyanis egy zárt, tehát a jövőben véges élettartamú világegyetemben a hőhalál bekövetkezése teljesen esetleges, és amennyiben bekövetkezik, akkor is csak egy véges ideig fennálló állapot lehet.

A zárt univerzum esetére azonban más, a tudományos érdekeken túlra mutató szempontokból sem nehezedik a hőhalál-probléma súlya, holott ezek a szempontok is számottevő szerepet játszanak. Ugyanis amennyiben a véges jövőben a világegyetem egy végtelen kis pontba roppan össze, úgy a termikus folyamatok esetleges korábbi befagyása nem jelent olyan *fenyegetést*, melyet érdemes lenne komolyan vizsgálni. A hőhalál kérdésének tehát csupán akkor van kikerülhetetlen jelentősége, ha ismereteink azt a hipotézist támasztják alá, mely szerint a tágulás örökké folytatódni fog. Egyrészt azért, mert ebben az esetben *vég-telen* ideig uralkodna a hőhalál állapota, és ennek a képnek drámai hatása van, melyet a képzelőerő nem tud megragadni. Másrészt pedig azért, mert egy vég nélkül táguló világban az emberi faj előtt az örökkévalóság reménye csillan fel – egy olyan remény, melyet a hőhalál fenyegetése veszélyeztetni látszik.

Érdekes tehát megfigyelni, hogy míg a céljai szerint értéksemleges tudománytól azt várnánk, hogy egy ilyen, az antropomorfizmus jegyeit felmutató nézet ne jelenjen meg benne, addig a hőhalállal kapcsolatos írások világában ez a kiválasztási szempont egyértelműen jelentkezik. Ez annál is inkább meglepő, hogy a hőhalál kérdése az új (és alapelveiben máig változatlan) paradigma számára nem jelent súlyos anomáliát, nem akasztja meg a gyakorló tudósok rejtvényfejtő tevékenységét. Ahogy látni fogjuk, az az állítás, hogy „A hőhalál előbb-utóbb be fog következni”, a kozmológiai modellek többségében „sajnos” továbbra is érvényes marad. Mégis, lépten-nyomon találkozhatunk olyan elképzelésekkel, amelyek mentőövet dobnak a kedvezőbbnek tűnő lehetőség számára, vagyis biztosítani látszanak a rendelkezésünkre álló idő elvi végtelenségét. A következőekben a „pesszimisták” (elmélet-abszolutizálók) és az optimisták (kibúvó-keresők) közti vita egy racionális rekonstrukciójával szeretnék közelebb kerülni a probléma megértéséhez.

Képzelt vita egy termodinamikai fogalomról

P: Ha a termodinamika második főtétele a kozmosz egészére is érvényes (márpedig miért ne lenne az), akkor a világegyetem előbb vagy utóbb el fogja érni maximális entrópiájú állapotát, melyet semmi módon nem hagyhat el.

O: Te abba a hibába esel, hogy az univerzum maximális entrópiájú állapotát egy abszolút állapotnak képezed el, holott egy globálisan dinamikus univerzumban a termikus egyensúly állapotát olyan extenzív paraméterek határozzák meg, melyek maguk is változnak. Ha pedig a „maximális” entrópia értéke változik, akkor nem szükségszerű, hogy az aktuális entrópia értéke valamikor végérvényesen egyenlővé váljon vele.

P: Igazad van, számoljunk egy kicsit utána. (...) Most már te is láthatod, hogy egy olyan világegyetemben, ahol különböző mértékben hűlő anyagkomponensek kölcsönhatása termeli az entrópiát, a maximális és aktuális entrópiák különbségét ábrázoló görbe a kezdeti emelkedés után végül a nullához tart. A hőhalál egy örökké táguló világegyetemben is fellép.

O: A modelled túl egyszerű, ugyanis az anyagkomponenseket homogénnek tételezted fel, és nem vetted figyelembe, hogy egyszerű hőáramlás mellett például hőtermelési folyamatok is végbemennek. Ezek megmenthetnek bennünket a végső kihűléstől.

P: Ha egy pillanatra belegondolsz, akkor rögtön látni fogod, hogy semmilyen hőtermelési folyamat sem tarthat örökké, hiszen a világegyetem anyagkészlete véges. Például ha minden atommag addig bomlik vagy fuzionál, amíg el nem éri a vas állapotát, akkor onnantól fogva többé nem szabadulhat fel energia az atomos anyagból. Ugyanígy, minden inhomogén rendszer idővel homogénné válik, ahogy azt a statisztikus fizika tanítja nekünk.

O: Semmi sem garantálja, hogy csupán a jól ismert energiatermelő folyamatok hatékonyak az univerzumban. Új fizikai elméletek bekapcsolása új eredményekkel szolgálhat. Gondolj csak a kvantumkozmológiára, és vele kapcsolatban a fekete lyukak sugárzására. Nem tudhatjuk, hogy az ehhez hasonló folyamatok milyen szerepet játszanak az univerzumban.

P: Ám azt tudhatjuk, hogy a fekete lyukak sugárzása, és minden ehhez hasonló folyamat, csakis véges forrásból táplálkozhat. Ugye te sem hiszed, hogy létezik korlátlan, kimeríthetetlen termikus forrás a világegyetemben? Akármilyen új elméletet vezetünk is be, örökkévaló folyamatokat egyik sem szolgáltathat a számunkra, vagy ha igen, akkor le kell mondanunk a vitánknak alapot szolgáltatató második főtételről.

O: Igazad van, hagyjuk végre az energiatermelő folyamatokat. Ám mi a véleményed a kozmikus lecsatolódások szerepéről? Ha van öt perced, könnyen beláttatom veled, hogy bármely olyan esetben, amikor az n anyagkomponenst tartalmazó világegyetem m ($> n$) komponensűvé alakul át (ahogy az többször megtörtént az univerzum korai története során), a rendszerre jellemző maximális entrópia értéke nagyobb mértékben növekszik, mint az aktuális entrópia. Vagyis minden ilyen fázisátalakulás során az univerzum ugrásszerűen eltávolodik a hőhaláltól.

P: Ezzel jómagam is tisztában vagyok, csak hogy a világegyetemben jelenleg már nincs olyan komponens, amelynek lecsatolódása a jövőben következne be. Az univerzum fejlődésének e változatos korszaka már régen lezárult.

O: A részecskefizikai kutatások során szinte lépten-nyomon bukkanunk eddig ismeretlen anyagfajtákra. Miért lenne elképzelhetetlen egy annyira kis nyugalmi tömegű részecske létezése, mely az univerzum jelenlegi hőmérséklete mellett még mindig relativisztikus állapotban van, és csak később fogja elhagyni azt? Gondolj például a neutrínókra mint lehetséges jelöltekre!

P: Igen, ebben neked van igazad. Ám akármennyi lehetséges jelöltet képzelek is el, számuk mindenképpen véges. Tehát van közöttük egy legkisebb tömegű, melynek lecsatolódása legutoljára fog bekövetkezni. Utána azonban elkerülhetetlenül beköszönt a hőhalál korszaka. Vagy feltételeznéd, hogy egy véges univerzum végtelen sok anyagfajta tartalmazhat?

O: Nem, ezt nem hiszem. Azonban rengeteg lehetséges jelenséget tudok elképzelni, melyet nem vettünk még figyelembe! Például a vákuumtér jövőbeli potenciál-ugrásait és az ezekkel járó felfűvódási fázisokat (hiszen a múltban erre is volt példa), vagy az egyre divatosabb „kvantuméter” bomlását, vagy akár egyéb univerzumok energiatranszportját féreglyukakon keresztül... Az emberi ismeretek mennyisége és minősége mindig véges, és sohasem leszünk képesek örökkévaló érvényességre igényt tartó kijelentéseket bizonyítani, mint amilyen a hőhalál-hipotézis megfogalmazása!

P: A tudomány azonban arra való, hogy biztos ismereteink egyre növekvő sugarú koncentrikus köreit szolgáltassa. Lehet, hogy ismereteink ezen köre sosem fogja lefedni a teljes valóságot, ám a tudományos tudás mezejét el kell tudnunk határolni az olyan *ad hoc* fantazmagóriáktól, amelyekhez te olyannyira vonzódsz...

Néhány következtetés

A vita természetesen elviekben akármennyig folytatható lenne, de mi kénytelenek vagyunk megválni tőle azon a ponton, amely mögé korunk tudományos elméletei és hipotézisei még nem hatoltak be. Azonban ennyi is bőven elég ahhoz, hogy megkíséreljük elhelyezni képzelt vitatkozóinkat a tudomány működéséről alkotott kuhn-i kép kontextusában.

Úgy tűnik, *P* helye könnyen meghatározható. Ő a normáltudományos tevékenységben résztvevő kutató, aki hallgatólagosan elfogad egy paradigmát (most talán nem annyira a példázat, mint inkább a diszciplináris mátrix értelmében), és ragaszkodik tudományágának azon módszereihez és megoldásaihoz, melyek a tudományos gyakorlatot meghatározzák. A fenti rekonstrukció persze kissé csal, hiszen azt a látszatot kelti, hogy *P* egy bizonyos *válaszhoz* ragaszkodik, vagyis a rejtvényt a megoldáshoz igazítja. Valójában azonban nem ez a helyzet: viselkedését elsősorban az az igyekezet határozza meg, amellyel az általa elfogadott elméletek érvényességét akarja *kiterjeszteni* a jelenségek minden lehetséges körére. Más szóval, paradigmátikus látásmódja metodológiailag homogénné teszi számára a világot, aminek következtében elméletét és annak kontextusát *abszolútizálja*. A *P* névvel fémjelzett tudománytörténeti mozzanatok tehát jól magyarázhatók a paradigma-elmélet terminusaiban.

Mi a helyzet azonban *O* támadásaival? *O* mindig *kibúvót* keres *P* abszolút kijelentései alól. Szeret olyan jelenségekre hivatkozni, melyeket még nem teljesen hódított meg az uralkodó paradigma magyarázó sémái segítségével. A paradigmátikus elmélet érvényességi körét *szűkíteni* akarja, vagy legalábbis elvitatja *P*-től az abszolút bizonyosság jogát, mégpedig nem az elmélet igazságának megkérdőjelezésével, hanem lehetséges kivételek felmutatásával. *O* a paradigmátikus szabályokat *relativizálja*. Valóban létezik ilyen magyarázás a tudományos gyakorlatban?

Kuhnianus szemmel nézve természetesen nem létezik ilyen magyarázás. Az *O* által hangsúlyozott mozzanatok csupán pillanatnyi anomáliák, melyek a paradigmátikus elmélet térhódítása során lépnek fel. Az említett kétségek azonban egytől egyig olyan természetűek, melyeket a tudományos rejtvényfejtés meg tudott oldani, illetve tudni remél megoldani a közeljövőben. A gyakorló tudós magyarázása valójában – ebből a szempontból – nem tér el Kuhn által jellemzettől, és egy *O*-hoz hasonlóan viselkedő kutató egyhamar kizárná magát a

tudományos közösségből. Minek köszönhető tehát, hogy a rekonstrukcióban mégis képesek voltunk körvonalazni a kivételkereső, relativizáló magatartást?

A válasz a témaválasztásban, a vitapartnereket megosztó *hőhalál* fogalmában keresendő. Míg a korábbi paradigmában ezt a fogalmat egy paradoxon szülte, addig vegyük észre, hogy az új paradigmában igazából nincs semmiféle szerepe. A hőhalál feltételezett állapota mindig csak az elmélet által jellemzett világegyetem „határértékeként”, az elmélet minden határon túli kiterjesztésével jelentkezik. Természetesen korántsem érdektelen annak vizsgálata, hogy az univerzum fejlődésének mely fázisaiban léphet fel a globális termodinamikai egyensúly állapota, bár ebben az esetben semmi szükség nincsen a „hőhalál” drámai konnotációkat vonzó fogalmának használatára. Amikor azonban visszanyúlunk az előző paradigma látásmódjához, és az egyensúly fogalmát a végtelenség képzetével kapcsoljuk össze, akkor azzal nem jelzünk mást, mint hogy túlléptük az elmélet lehetséges általánosítási határát. A hőhalál fogalma, ha az eredeti jelentését tulajdonítjuk neki, valójában nem is a fizika nyelvének mindennapi szókészletéhez tartozó teoretikus terminus, hanem a tudományos ismeretterjesztés kedvelt fogalma, melyet nem annyira a szakmai gondolkodás, mint inkább a laikus képzelőerő tud és akar mozgásba hozni.

Végeredményben tehát a „hőhalál” egy olyan fogalomnak bizonyul, amely a tudományos elméletek határát jelzi, és csupán akkor figyelünk fel rá, amikor ezeket a határokat bolygatjuk. Még számos ehhez hasonló fogalmat találhatnánk (pl. „atom” mint oszthatatlan anyagi összetevő, „az idő kezdete”, „szingularitás” egy fekete lyuk belsejében, stb.), de az ilyen fogalmak szerepének és eredetének általános vizsgálata meghaladja a tanulmány kereteit. Ha azonban hajlandóak vagyunk elfogadni azt, hogy a hőhalál fogalma az előző paradigmában is ilyen pozícióban, pontosabban a paradigma külső határán született, akkor felvetődik a kérdés, hogy vajon szükségképpen el kellett-e szenvednie egy radikális jelentésváltozást, melyet látszólag mégsem szenvedett el. Ugyanis ha differenciálunk a paradigma központi, illetve perifériális régiói között, akkor megszűnik a paradigmák közötti „kvantum” szakadás, és feladhatjuk az oly gyakran támadott összemérhetetlenségi tézisünket. Igaz, ekkor kilépünk a kuhni elmélet keretei közül, de ezen kilépés iránya a Kuhn utáni tudományfilozófiák fényében talán igazoltnak tűnik.