

Guido Tonelli: *Idő – Khronosz megölésének álma*. Corvina Kiadó, 2023; ISBN 9789631369137

„Az energiával bújócskázó idő nélkül nem lennénk itt, hogy elmeséljük ezt a történetet.”
(Forrásmegadás nélküli idézetek a könyvből, kiemelések a recenzió szerzőjétől.)

Fura dolog az idő. „Van egy híres mondás, amelyet a The New York Times Albert Einsteinnek tulajdonított, bár arra nincs közvetlen bizonyíték, hogy az valaha is valóban elhangzott volna az ő szájából. ’Úlj két órán át egy gyönyörű lány társaságában, és úgy fog tűnni, mintha egy perc telt volna el. De ha akár csak egy percig is a forró kályha tetején ülsz, az olyan lesz, mintha két óra telt volna el. Ez a relativitás.’ Valójában persze mindennek semmi köze sincs az időszemléletünket gyökeresen megváltoztató elmélethez.”

Sokszor vannak ilyen-olyan érzéseink az idő múlásával kapcsolatban, ám a fizika tanításai nélkül az ember valahogy úgy érzi, az idő nem objektív létező: végül is a léte önmagában nem mutatkozik meg, csak valamiféle változásban. Igazából mintha erre utalna az is, hogy az adott körülményektől függően milyen különféleképp érzékeljük az idő múlását, ahogy a fenti példában is. Talán elmondható, hogy a tér létét születésünk után így-úgy megtapasztaljuk, és lassacskán felfogjuk, az időét viszont sokkal inkább különböző forrásokból tanuljuk meg, mintsem felfedoznánk magunknak. Ha viszont jól átgondoljuk, rájövünk, hogy hiszen önmagában a teret sem érzékeljük jobban, csak ha abban látható dolgok segítenek ebben. A különbséget talán az teszi, hogy életünket olyan terekben éljük, amelyekben állandóan közvetlenül érzékeljük azok kiterjedését, amit automatikusan a tér létevel azonosítunk.

Az egésznek van egy furcsasága. A szubatomi részecskék létét sem érzékeljük, mégsem kételkedünk abban, hogy objektív létezők. A magyarázat minden bizonnyal, hogy tudjuk, róluk nem is lehet saját közvetlen tapasztalatunk – létezésüket egyszerűen megtanultuk, elfogadtuk, és ezért nem is hiányoljuk annak bizonyítékát.

A *Corvina ajánlójából*: „Megölhetjük-e Khronoszt, azaz megállíthatjuk-e valaha is az idő feltartóztathatatlan sodrását? Khronosz, a megszemélyesített Idő nem csak a fizikusok számára rejtély. Az volt már elődeink számára is, és nincs ez másként napjainkban sem. Az idő nem elvont fogalom, hanem anyagi szubsztancia: elfoglalja az egész világegyetemet, deformálódik, rezeg, hullámzik. *Viharos volt a születése*, nem szokványos a fejlődése. [’Születése’? Ez kardinális kérdés! Tonelli ’a téridő születéséről’ beszél Az idő kezdete c. alfejezetében, s az emberben rögvest felmerül a kérdés, akkor mi volt annak előtte? A materialista tanok szerint az anyag öröktől fogva létezik, bár ennek mikéntjében a modern tudomány is küszködik némi bizonytalansággal. Böven ad ehhez gondolkodnivalót Katie Mack elméleti kozmológus *A mindenség vége* (mármint asztrofizikai szempontból) c. könyve (Typotex, 2022., I. Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle, 2023/1. sz.) S idetolakszik Aurelius Augustinus elegáns ríposztja Vallomások c. művéből: ’Mit cselekedett Isten, mielőtt alkotta az eget és a

földet? ... Valaki tréfásan felelt, és így bújt ki e fogas kérdés elől: poklot csinált a mélységes titkait vájkáló embereknek” – Osman P.)

De akkor most halad előre vagy áll? Létezik vagy sem? Hogyan mérhető? Hogyan lasítja le a gravitáció? Hogyan állítják meg a fekete lyukak? És mi, emberek, megvagyunk-e nélküle? Az idő kiváló eszköz a környezetünkben való túléléshez, de amint megpróbáljuk megérteni, hogyan működik a mi bolygónkon kívüli világ, máris a feje tetejére áll minden. Ott a mi időnk szabályos ritmusa átadja helyét a turbulenciának, a kaotikus jelenségeknek és a felfoghatatlan méretű katasztrófáknak. *Ha a távolságok nagyok, vagy ha a végtelenül kis léptékek világában járunk, a kronológia fogalma, az idő egymásutánisága értelmét veszti. Ezekre az örök és sokszor felfoghatatlanul rejtélyes kérdésekre keresi a választ Guido Tonelli olasz fizikus a tudomány mai állásával alátámasztott, ugyanakkor rendkívül szórakoztatóan megírt könyvében.*

Guido Tonelli részecskefizikus, a Pisai Egyetem fizikaprofesszora. Olaszországban magas állami kitüntetések birtokosa. Olaszul és más nyelveken számos, nagy sikert aratott tudományos ismeretterjesztő könyve jelent meg. Magyarul ez a második kötete. Előtte a *Genesis – A világegyetem születése hét napban elbeszélve c. műve jelent meg a Corvina Kiadónál (2021).*

A *Corvina* idézi: „A szerző nem csupán teoretikus, hanem kísérleti fizikus is, aki hozzájárult a Higgs-bozon felfedezéséhez. Ennek köszönhetően új kötetének minden sorát áthatja az empirikus és az elméleti felkészültség” – Riccardo Manzotti, a milánói IULM University elméleti filozófia professzora, a bostoni MIT Fullbright vendég tudósa, eredeti szakosodása a robotika, jelenleg a mesterséges intelligencia, véleménye tehát mértékadó. *S szintén a Corvina ajánlójából:*

„Tonelli, mint igazi kísérleti fizikus, eredményesen megbirkózik az egyik legbonyolultabb és legmegoldatlanabb kérdéssel, amellyel nekünk, sapienseknek valaha is szembe kellett néznünk: mi az idő? Világosan és – nemcsak a tudományból, hanem a mítoszokból, a művészetből, az irodalomból is példákat merítve – meggyőzően megkérdőjelezi azt, amit mi ’normálisan’ időként érzékelünk.” (Bruno Arpaia)

A *Società Italiana di Fisica* hosszú recenziót közöl a könyvről: (<https://www.sif.it/riviste/sif/sag/recensioni/tonelli2>). *Tonellit a kísérleti részecskefizika nemzetközi hírű kutatójának, s nagyon értékes tudományos ismeretterjesztőnek nevezi, kiemelve, hogy e műve is ezt tanúsítja. Vázolja, milyen megbabonázó utazásokra visz a könyve, melyek során közelebb kerülünk az idő különös természetéhez, és sokarcú megjelenéséhez az emberi gondolkodásban, s a művészeti alkotásokban. Az írás szerzője ezzel zárja mondandóját: „E megragadó, hosszú kaland végén az időben, amelyen lebilincselő és tiszteletet parancsoló módon kísér végig Tonelli, felmerül elmémben Szent Ágoston őszinte megjegyzése: ’Mi tehát az idő? Ha senki sem kérdez erről, tudom, ám ha el kellene magyaráznom a kérdezőnek, mégsem tudom.’”*

A *Goodreads* így zárja a könyv témaköreit vázoló recenzióját: „Ahhoz, hogy vállalkozzunk erre a rendkívüli élményre [bekalandozni mindezt Tonellivel – Osman P.), szükségünk lesz a logikára, szintúgy a fantáziára, valamint a tudományra és a filozófiára, hogy lássuk a bizarr viszonyt, amely az időt az energiához köti, a tömeghez és a gravitációhoz. *Tonelli végigvezet a kacskaringós úton a világok megértéséhez*, amelyeket a relativitás hatásai uralnak, ahol létezik egy jövő, amely a múlt előtt érkezik, sőt azt létrehozza. Egy utazás, amelyen az ember megtanulja meghallani a saját belső időnk ritmusát, hogy érezzük a sebességet és a bizonytalanságot, a várakozást és a gyorsulást, amelyek megváltoztatják az idő dimenzióit az emlékeink és a várakozásaink mentén.”

Szóljon innen Tonelli: Hamlet híres mondását idézi (mi itt Arany János fordításával: „Kizökkent az idő; – ó kárhozat! Hogy én születtem helyre tolni azt” majd így folytatja: „És lám, itt vagyunk most négy évszázaddal később egy olyan korszakban, amikor számunkra is úgy tűnik, hogy kifordult sarkaiból a világ, és egy, az emberiséget évezredek óta foglalkoztató rejtélyen töprengünk: mi az idő? Képesek leszünk-e valaha is legyőzni könyörtelen előrehaladását? Visszafordítható-e az időnyíl? Valós létező-e, vagy csak hatalmas érzékszalódásról van szó?

Ahhoz, hogy elmélyedjünk ebben a kérdésben, meg kell értenünk, hogyan jött létre idő-érzékelésünk, és mikor jelent meg először távoli őseinknél a múlta, jelenre és jövőre történő tagolás. *Mindenekelőtt azonban fontos kiderítenünk, mit is jelent az idő a bennünket körülvevő anyagi világ számára.*

A modern tudomány lehetővé teszi, hogy felfedezzük a világegyetem legeldugottabb szegleteit is, és amikor szubnukleáris dimenziókban lejátszódó jelenségeket elemzünk, az idő egészen más jellemzőket vesz fel, mint amilyeneket megszoktunk. Ugyanez történik a kozmoszt nagy távolságokra benépesítő óriási objektumok, galaxisok vagy galaxishalmazok megfigyelésekor is. *Ebben a két, egymástól oly távol eső világban az idő bennünket évezredek óta elvarázsoló, kiegyensúlyozott és állandó sodrása megcsavarodik, cseppfolyóssá válik, széttöredezik. Tér és idő elszakíthatatlan párosnak tűnik számunkra. Mindez már nem elméleti absztrakció, hanem az egész világegyetemet elfoglaló, anyagi szubsztancia, amely rezeg, hullámzik és deformálódik.* (Vérmérséklet kérdése, vajon az izgatott várakozásba, hogy mi mindent ismerünk majd meg ebből utazásunk során, vegyül-e némi félelem is attól, vajon miként és mennyire leszünk képesek ezt felfogni. Tonelli igazán jó magyarázataival tényleg közelebb kerülhetünk ehhez a valós(nak mondott), ám rejtelmes létezőhöz, és az akrobatikához, amelyet a mikro- és makrovilágainkban ez az egész világegyetemet elfoglaló anyagi szubsztancia művel – Osman P.)

Együtt fogjuk megismerni az idő hosszú történetét, örületes születését és különös fejlődését. Képzletben olyan rémisztő helyekre fogunk utazni, ahol megáll az idő, és álmélkodva fogjuk felfedezni, mennyire szoros a kapcsolat az idő és az energia között. Olyannyira különleges ez a kapcsolat, hogy a vákuumból képes volt egy csodás anyagi világ megszületését

előidézni.” A vákuumból? A teljes ürességből – magyarán a semmiből – valamit? Ez érdekes lesz!

Tekintsük át jó előre a kalandok szövevényét, amelyre Tonelli e könyve hív!

Első rész: A pörgettyűk varázsa

1. *Az idő feletti uralom vágya* – Benne: Amikor megtörik a varázs / Az élet ideje / Edények és sírok: a jelen, a múlt és a jövő születése
2. *A mi időnk* – Az idő érzékelése / Amikor Khronosz vadul és szabadon grasszállhatott / Az idő kelepcebe csalása / Khronosz diadala

Második rész: Ahol megáll az idő

3. *Furcsa pár* – A cseppfolyóssá váló és összetöredező idő / A lány órák / Elképesztő pontosság / Pénzcsinálás a relativitással / A nagy filozófusok és Piroška
4. *Az idő hosszú története* – Az idő kezdete / Az idő vége / Az idő a nagy kozmikus távolságok világában / Csodás illúziók és fantasztikus kimérák / Amikor három Nap energiája könnyedén utazik a téridő hullámain
5. *Amikor megáll az idő* – A párizsi kommün órái / Pokoli helyek, ahol az időnek nyoma vész / A Betelgeuse látványos vége / A megfélemlítés bajnokai / Fizika az idő üres pontjaiban

Harmadik rész: A mulandó létezés és az öröklét között

6. *Az élet részecskeként* – Egy furcsaságokkal teli világ / Felrobbanó tömegek és aránytalanul hosszúra nyúló idők / Kozmikus szupergyorsítók / A kis piros-fehér téglaház
7. *A végtelen kis méretek ideje* – Egy maroknyi kiválasztott / Az efemer jelenségek szeretefoszló birodalmában / A müonok vakmerő élete / A kvarkok szépsége, bája és szégyenlőssége
8. *Egy nagyon különleges kapcsolat* – A Dioszkuroszok élete / Kairosz megragadása az üstökénél fogva / Az idő mérése energiával / A hírnökök, Hermész pártfogoltjainak portyázásai / Tökéletes páros
9. *Megfordítható-e az időnyíl?* – Egy egyenlet olyan világot tár elénk, amelynek létezését nem sejtette senki / A szimmetria Szent Grálja / Egy vers vagy egy jó bor titka / Entropia és az idő visszafordíthatatlansága
10. *Khronosz megölésének álma* – Ősi sugalmazás: állítsuk meg az időt! / Időgyilkosok / Nosferatu

Epilógus: A rövid idő

Nos, szépen eljutunk az ógörög mitológiától a „sosem halott” Drakula gróf (Nosferatu) sokszor újjáélesztett rémtörténetéig. Szerepeltetését Tonelli így magyarázza: „A ’sosem halott’ legendájához hasonlóan az idő is mintha szakadatlanul feltámadna. Újra meg újra előbukkan a koporsóból, és továbbra is itt csavarog közöttünk, szétzúz minden illúziót, és megghiúsít minden arra irányuló kísérletet, hogy megöljék és egyszer s mindenkorra eltemessék.” Ha pedig végigtekintünk a fenti címek – a kaland állomásai – sokszínűségén,

látjuk, hogy szédítően fordulatossá, multikulturális és interdiszciplináris elbeszélés várt ránk. Izgalmas? Felettébb! Könnyen érthető? Helyenként talán nem annyira. „Fusson, akinek nincs bora!” Jóllehet Ady Endre ezt az életet jelképező fekete zongorára mondja, de boron a merész képzelőerőt értve jól ideillik.

S hogy érzékeltessük, milyen fordulatossá, kemény harc folyik az idő mivoltát felfedő tudásért, mielőtt rátérnénk Khronosz születésének valós történetére, ugorjunk e hosszú kaland végére, az Időgyilkosokhoz: „Az a tény, hogy a hurok-quantumgravitációban a világot leíró alapvető egyenletek nem tartalmazzák az időváltozót, nagy port vert fel. Az alapvető alkotóelemek szintjén az idő – az elmélet szerint – haszontalan fogalomná vált. A hurok-quantumgravitáció hívei szerint jobban megértenénk, hogyan működik a világegyetem a maga finomszerkezetében, ha ettől a felesleges ballaszttól egyszer s mindenkorra megszabadulnánk. Ellentmondást nem tűrő kijelentések ezek, amelyeket a média gyakran felfúj, így a lapokba ilyen hangzatos vezércímek kerültek: 'Az idő nem létezik'; 'A fizika jól megvan idő nélkül'; 'Az idő csak illúzió'. Így adódhatott, hogy valaki Smolint és Rovellit 'időgyilkosoknak' nevezte.”

A tudás hatalom – az idő is! Khronosz születése: „Végtelenül hosszú időszakon át minden, állattenyésztésből vagy földművelésből élő népesség számára a legszörnyűbb rémálom az volt, hogy a Nap nem bukkan fel újra, és a nappalok véget nem érő sötétségbe zuhannak. E veszély elhárítása érdekében pazar templomokat építettek, és jelentőségteljes szertartásokat végeztek. A rítusok, az áldozathozatal, az istenségeknek való engedelmesség kimutatása mind e ciklusok stabilitásának fenntartását szolgálta, és egész civilizációk életének ritmusát határozta meg.” – Ahogy Tonelli is mondja, okos emberek pedig rátelepedtek azzal, hogy közvetítőként az emberek és az istenek között segítenek elnyerni azok jóindulatát, segítségét. Különösen hatékony segédeszközük volt ebben, amikor már képesekké váltak előre tudni bizonyos fontos természeti jelenségek bekövetkeztét, s ezzel manipulálni az embereket.

„Időérzékünk, az emberiség hajnala óta szabályos ritmusban ismétlődő események soraként, ebben az évezredek történelemben gyökerezik. Bármilyen, ami fenyegette ezt a tökéletes mechanizmust, veszélyt jelentett az emberi faj túlélése szempontjából. *Nem véletlenül ruházták át a hatalmat a papságra és a csillagászokra, hiszen leginkább nekik volt meg a tudásuk* ahhoz, hogy összeállítsanak egy naptárt, és hogy megfejtsék ezt a szabályos áramlást mozgató, rejtett titkokat. *Aki megérti az idő múlásának törvényeit, az uralja a világot*, és aki képes helyreigazítani a napok és az évszakok egymásutánját szabálytalanná tevő, bár alig érzékelhető kis eltolódást, irdatlan hatalomra tehet szert az emberek felett.” – A „helyreigazítás” a naptárkorrekciókat jelenti, amelyekről Tonelli is szól a továbbiakban.

Az ember időképe: „Időnk szabályos ritmusa, szinte tökéletes periodicitása a forgómozgásoknak ebből a csodálatos, bonyolult és összetett rendszeréből ered (Tonelli a kozmikus mozgásokról beszél – Osman P.) A kozmikus folyamatokhoz képest elenyészően kis

időskálán szemlélve, a világegyetemnek ez a parányi, általunk elfoglalt szeglete békésnek és nyugodtnak tűnik számunkra. Mindössze néhány millió éve lakjuk, *a legkorábbi, bizonyítékokkal alátámasztott megfigyelések pedig néhány ezer évre nyúlnak vissza. Tudatlanságunk és bizonyos fokú elbizakodottságunk táplálta bennünk azt a meggyőződést, hogy az ebben a parányi szegletben megfigyelt körülményeket kiterjeszthetjük a világegyetem egészére. Ezért képzeltük azt, hogy az idő egyenletes és szabályos, számunkra oly megnyugtató periodikus jelenségekkel tagolt folyása jellemző az univerzumra a maga egészében is. Valójában azonban ez távolról sincs így. Az örvénylő zónák, a kaotikus jelenségek által uralt vagy rettentő katasztrófák által jellemzett térségek, a sötét helyek ... igencsak kérdésessé teszik az időről, mint folyamatos, megszakítatlan, szabályos áramlásról kialakított elgondolásunkat.* S az ijesztő folytatás: „Ma már azt is tudjuk, hogy még *Naprendszerünkben is nagyon kevés kell ahhoz, hogy ez a kényes egyensúly felboruljon.*” Vajon ez hozná el számunkra az *idők végezetét?* Tonelli egy Giotto-kép kapcsán így beszél róla:

„A Scrovegni-kápolna freskóival Giotto lett az első modern festő. Ami engem különösen megragadott, két angyal zárja le a csillagboltozatot; úgy tekerik fel, mintha függöny lenne. Giotto az idők végezetét ábrázolja, egyértelmű utalással János apokalipszisére, a földre hulló csillagokról és felgöngyölt égboltról szóló Jelenések könyvére.” „Az idők végezete, amelyet Giotto oly lenyűgözően ábrázolt, bennünket, modern embereket sem kímél meg a kérdésektől: Ha az időnek volt kezdete, lehet vége is? Mit jelentene az idők végezete anyagi természetű univerzumunk számára? A kérdés tudományos szempontból is feltehető, ha megvizsgáljuk a világegyetem végével kapcsolatos feltételezéseket.” – Itt rendkívül érdekes kérdés az ok-okozati összefüggés iránya! Az idők végezete az univerzumunk számára, vagy épp fordítva: az univerzum vége az idő számára?

„Vége lehet az időnek például akkor, ha a téridőnek a korlátlan tágulás felé tartó, eszeveszett száguldása egyszer csak nyugalmi helyzetbe kerülne.” – Hogyhogy? Ha elfogadjuk a téridő időt és teret egységbe foglaló voltát, a nyugalmi helyzet a tér létét nem érinti. Egyébként is, ha az idő objektív létező, léte miként függhet a tágulás meglététől?

Másik eshetőségeként Tonelli a Nagy Reccset hozza fel: „Bekövetkezne valamennyi anyag egyetlen pontban történő kollapszusa. *A téridő újbóli pontszerűvé válásával az idő szétbomlana, jelezve saját végét.* Amint egy ciklus befejeződött, egy újabb kezdődhetne. Újabb ősrobbanással, új téridővel, amely az előző hamvaiból születne újjá.” – Itt már a „credo quia absurdum est” határán járunk. Az idő újjászületik, és nem azonos régi önmagával? Tonelli ugyan megnyugtató, hogy semmit sem ismerünk, ami a Nagy Reccs eshetőségére utal, cserébe viszont az Univerzum sorsának nem kevésbé gyászos alakulásait vázolja fel, az idő mivoltának ezekhez illő alakulásával.

Következik „*Az idő a nagy kozmikus távolságok világában*”, majd „*Csodás illúziók és fantasztikus kimerák*” egyebek közt arról, hogy „[a] téridő által kozmikus léptékben létrehozott szemfényvesztések igencsak sokfélék. *Némelyektől még a csillagászoknak is elállt a lélegze-*

tük.” S Tonelli még fokozni tudja: „*Amikor három Nap energiája könnyedén utazik a téridő hullámain*”, s az új fejezetben, „Amikor megáll az idő”, az „overkill”: „*Pokoli helyek, ahol az időnek nyoma vész*”, igen, a fekete lyukak. „Az anyag ilyen összetömörülése a téridő olyan mértékű görbületét eredményezi, hogy az a végtelen felé közelít. Ez viszont azt jelenti, hogy a tér és az idő ezen a területen elveszti értelmét. (Vajon ahogy a görbület konvergál a végtelenhez, mi lehet az átmenet a téridő léte és 'nemléte' között? S ezúttal is: ha az idő objektív létező, miért és miként veszti értelmét a tér zsugorodásával? – Osman P.) Ami még nyugtalanítóbbá teszi az egészet, az az, hogy ez a pontszerű koncentráció sérti a kvantummechanika egyik alapelvét, a bizonytalansági relációt. Az eseményhorizont által védett régiók középpontjában ott található azok a *titokzatos zónák, ahol eltűnik az idő, és megínognak a modern fizika legszilárdabb alapelvei.*”

„Most következnek a *félelemkeltés igazi bajnokai. A szupermasszív fekete lyukak* valódi szörnyetegek. *Megnyilvánulásaik mellett a sztelláris fekete lyukak által okozott katasztrófák gyerekjátéknak tűnnek.* Míg ez utóbbiak kis kompakt gömbök, amelyeknek az átmérője mindössze néhányszor tíz kilométer, addig a szupermasszív fekete lyukak mérete elérheti a sok milliárd kilométert is. *A teljes univerzum messze leggigantikusabb méretű égitestei ezek, és némelyikük bőven magában foglalhatná akár az egész Naprendszerünket is.*” – Amit pedig Tonelli elmond a fizikai jellemzőikről, az sokban ellentmond annak, amit eddig a fekete lyukakról megtudhattunk.

E második rész záróakkordja pedig: „*Fizika az idő üres pontjaiban.*”

Új szellemi akadálypálya: „*Az élet részecskéként*”: „Épp most, amikor már lassan hozzászoktunk az irdatlan méretű kozmikus tereket betöltő idő különös viselkedéséhez, kell egy vakmerő hátraszaltót végrehajtanunk. És ezzel nagy hirtelen *az emberi elme által egyáltalán még felfogható legnagyobb tárgyak óriási méreteitől az anyag legelemibb alkotóelemeinek végtelenül kicsi méreteiig fogunk visszazuhanni.* Az elrugaszkodás azért lélegzetelállító, mert egyetlen pillanat alatt ötven nagyságrendet ugrunk: a zuhanás szédítő, és az embernek a torokában dobog a szíve.” Igen, az elemi részecskék világába érkeztünk, és – szemléltetésül – „[e]gy kvark és egy vírus között a méretkülönbség akkora, mint egy gyereklabda és a földgolyó között”. Ami pedig nekünk itt meghatározó: „Amint belépünk a végtelenül kis távolságok világába, máris a kvantummechanika és a speciális relativitáselmélet birodalmában találjuk magunkat, és ez összekuszálja még azt a keveset is, ami az időről alkotott hagyományos elképzelésünkéből még megmaradt. Az ilyen parányi és könnyű tárgyak esetében a végtelenül kis méreteket irányító fizikai törvények az általunk megszokottól annyira eltérő viselkedést idéznek elő, hogy az számunkra bizarrnak tűnik. *A rendszerállapot, a tér és az idő, a tömeg és az energia az elemi részecskék világában mind-mind nagyon különös módokon nyilvánul meg.*” Tonelli a modern részecskegyorsítók világába visz, ahol – egyebek közt – „[a]z ütközések során az energia visszaalakul tömeggé, és a másodperc törtrészére a közvetlenül az ősrobbanás után eltűnt anyagformák újra életre kelnek. Ennélfogva a nagy kutatási infrastruktúrák kihalt részecskék előállítására szakosodnak, valóságos időgépekké válnak,

amelyek évmilliárdokkal repítenek vissza bennünket a múltba, lehetővé téve, hogy reprodukáljuk és tanulmányozzuk az univerzum keletkezésének idejére jellemző jelenségeket.”

S következnek a „*Kozmikus szupergyorsítók*”. „*Ultrarelativisztikus részecskék* (amelyek sebessége annyira megközelíti a fényét, hogy a tömegük óriásira duzzad”) hatalmas mennyiségben termelődnek nagy csillagok vagy óriási fekete lyukak körüli turbulens jelenségek következtében is. Ők a bajnokai annak az extrém sportnak, amelynek során fényéhez közeli sebességgel száguldó lövedékeket lőnek ki az űrbe: ezek tömege a relativisztikus hatások következtében mértéktelenül megnő, de az idő aránytalanul lelassul számukra.”

Bonyolult öröklét! Ahogyan olvashatjuk, „[a]z elemi részecskék túlnyomó többségének léte efemer, vagyis a másodpercnek szinte észrevehetetlen törtrésze alatt felemésződnek. Az anyag ezen alapvető összetevői közül néhánynak az élettartama a másodperc milliárdodrészének ezredrészét éri csak el. Mások esetében ez az időtartam olyan rövid, hogy még megfelelő kifejezésekkel sem rendelkezünk ahhoz, hogy leírjuk. A *legfontosabb kivételek az ilyen mulandó létezés alól az elektronok és a protonok* – gyakorlatilag örök életűek. Az elektronok a legkönnyebbek a leptonok közül, és töltéssel rendelkeznek. Ez a két tulajdonságuk védi meg őket az elmúlástól. Egyszerűen nincsenek olyan részecskék, amelyekre szét tudnának bomlani anélkül, hogy megsértenék valamely megmaradási elvet. Még meglepőbb a *protonok örök élete*. Legfeljebb kénytelen-kelletlen összeolvadnak, hogy nehezebb atommagokat alkossanak, de még ezek a félelmetes energiák sem elegendők ahhoz, hogy előidézzék a bomlásukat. Ezt az a hatalmas energiafal akadályozza meg, amely egyben tartja alkotóelemeit; a torlasz valósággal leküzdhetetlen. Amennyire tudjuk, a *proton az anyag gyakorlatilag örökkévaló állapota*, stabil részecske; átlagos élettartama meghaladja a 10^{33} évet.” – Ezek az öröklétek persze viszonylagosak. Ahogy azt a 20. században szinte mindenről megtanulhattuk, megvan a maguk értelmezési tartománya. Az elektroné a fizika alaptörvényeinek működése, amelyek, ahogy olvashatjuk, bizonyos szélsőséges körülmények között felmondhatják a szolgálatot. Egy proton bomlását óriási energiák kényszerítetik ki: „nagy energiájú kozmikus sugarak, modern részecskegyorsítók, esetleg relativisztikus anyagsugarak, amilyeneket szupermasszív fekete lyukak bocsátanak ki, vagy más, hasonló erejű kozmikus katasztrófák révén lökődnek ki a világuűrbe.”

Nagyon tonellis: A következő alfejezet „az anyag stabil összetevőinek ünnepléséből az instabil részecskék pokoli körébe taszít minket. Az *anyag olyan formái ezek, amelyeknek a létezéséről egészen a közelmúltig halvány sejtésünk sem volt*: a másodperc törtrészére jelennek csak meg, és azon nyomban megváltoztatják az alakjukat. A mulandó jelenségek világa ez: létük szinte a semmibe vész.” „Az efemer jelenségek szertefoszló birodalmában” járunk, Tonelli pedig mindezt zenetörténettel vezeti fel: Európa egyik legrégebbi rendházának, a Fonte Avellana-kolostor 11. században élt priorjával, Guido d’Arezzoval, aki elsőként foglalta rendszerbe a modern zenei nyelvet. Mellesleg azt is megtudjuk, mi a tritónusz, „*az örődög hangköze*”, s hangzása miért taszít szorongásba bennünket. „A tritónusz riadalmat kelt, megrémít, mert valami szörnyűség előhírnöke (a zenében – Osman P.). És most rajtunk a

sor, nekünk is gyorsan hangnemet kell váltanunk: a stabil anyag biztonságérzetet nyújtó és dicső birodalmából lesüllyedünk a legmulandóbb formák nyugtalan és szorongást keltő világába. A váltás durva.”

A tudomány csúcspontjai: Tonelli rendre visszatér a görög mitológiához, így stílszerű mondanunk, hogy a modern tudomány olyan mesterfogásairól is beszámol, amelyek túltesznek még magán a furfangos Odüsszeuszon is. Ilyenről szól a „*Kairosz megragadása az üstökénél fogva*” alfejezet is. Így indul: „Ugyanaz az elv, amely – úgy tűnik – korlátozza megismerőképességünket (itt a Heisenberg-féle határozatlansági relációra utal – Osman P.), felhasználható akár annak bővítésére is.” Mellesleg elmondja, ki is volt Kairosz, és miként jelenik meg a középkori vándordíákénekekben, majd Carl Orff *Carmina Burana* című oratorikus művében, majd így zárja a gondolatmenetet: „A Heisenberg-féle határozatlansági reláció, amely úgy tűnt, hogy korlátozza mérési képességeinket, igazi hadicsellé válik (persze nem a törvény, hanem mesteri kiaknázása – Osman P.). Ennek segítségével megragadhatjuk akár a legnehezebb elemi részecskék végtelenül rövid élettartamát is.” És következik „*Az idő mérése energiával*”. Az indításból: „Amikor a határozatlansági relációt használjuk a részecskék átlagos élettartamának megbecslésére, felmerül egy másik paradoxon is. A mérni kívánt bomló részecske tömegének bizonytalansága fordítottan arányos az átlagos élettartamával. Hirtelen minden a visszájára fordul. Eddig gond nélkül meg tudtuk mérni a hosszabb átlagos élettartamokat, míg a rövidebbekkel nehézségeink adódtak. *Most ennek épp az ellenkezője történik.*” Természetesen el is magyarázza. Az idő pedig itt nem a múlt időt jelenti, hanem a legnagyobb tömegű részecskék átlagos élettartamának a mérését. Azt is elmondja, ez miért fontos.

„*Khronosz megölésének álma*”: „Az entrópia elkerülhetetlen növekedése arra kényszerít bennünket, hogy tudomásul vegyük, az idő nyila nem tudja megváltoztatni az irányát.” Sokszor találkozunk a tétellel, hogy az entrópia törvénye kizárja az idő megfordításának lehetőségét. Az előző idézetet a *Megfordítható-e az időnyíl?* c. fejezet vezeti fel igen alapos, és – szokás szerint – kulturálisan is vonzóan színes okfejtéssel. Egy apró példa:

„Bruno Touschek, zseniális bécsi fizikus Olaszországban végezte kutatásait. 1960-ban ő javasolta az 'Anello di Accumulazione' megépítését – ez volt az első gyorsító a világon, amely az elektronokat és pozitronokat ugyanabban a mágneses körben helyezte el. Sikeresen működött, és Touschek ötlete megnyitotta az utat a modern részecskegyorsítók előtt. Touschek hosszasan foglalkozott az időmegfordítás szimmetriáját látszólag megsértő, ritka folyamatokkal. Ebben az időszakban szenvedett autóbalesetet. A kórház sürgősségi osztályán a protokoll szerint az orvos kérdéseket tesz fel a sérültnek, hogy megbizonyosodjék, megfelelően reagál-e, és így kizárja az agykárosodást vagy a pszichés traumát. Megkérdezte Touscheket, mivel foglalkozik, és mi érdekl pillanatnyilag. Ő ezt válaszolta: 'Fizikus vagyok, és az idő megfordításával foglalkozom.' Az orvos egy másodpercig sem habozott, súlyos koponyasérülést állapított meg, és elrendelte az azonnali kórházi felvételt.”

Az „Egy egyenlet olyan világot tár elénk, amelynek létezését nem sejtette senki” c. alfejezet az ifjú Paul Dirac-kal indul, aki „megpróbálja kibékíteni egymással a speciális relativitás-elméletet és a kvantummechanikát, azt a két, forradalmian új tudományt, amellyel az új század elkezdődött. A képben megjelenik a pozitron felfedezése, és „[a]z antianyag felbukkanásával az elemi részecskék mikroszkopikus világában újra előtérbe került az idő megfordíthatóságának kérdése. Sokáig tartotta magát az a hiedelem, hogy az elemi részecskék világában a folyamatok ideje minden korlát nélkül megfordítható; mindenki számára ez tűnt a legegyszerűbb, szinte magától értetődő megoldásnak.

Valójában azonban a dolgok sokkal bonyolultabbnak bizonyultak. Amikor bizonyos bomlási folyamatokban kifinomult kísérletekkel kezdték vizsgálni az idő és a töltés megfordulását, a teljes szimmetria kezdeti hipotézisének ellentmondó hatások jelentkeztek. Még az elemi részecskefizika sem mutatott szimmetriát az idő megfordítása révén. Ebben a különös világban is volt különbség múlt és jövő között: nem elég megfordítani az időt ahhoz, hogy tökéletesen szimmetrikus folyamatok jöjjenek létre.” A további gondolatmenet pedig elvisz odáig, hogy „[a] fizika törvényei csak az egyidejű CPT-transzformációk révén nem tesznek különbséget múlt és jövő között: részecskék és antirészecskék kölcsönös cseréje + a térbeli koordináták felcserélése + az idő visszafordítása valamennyi részecske mozgásának megfordításával. Minden jel szerint egyetlen fizikai folyamat sem sérti az átalakulások e kombinált halmazát. A CPT-szimmetria tűnik a fizikusok által világszerte régóta keresett Szent Grálnak. A három transzformációnak ez az együttese tömör és szilárd csoportot alkot, és ezt szemmel láthatóan egyetlen folyamat sem képes felmorzsolni. A CPT által védelt szimmetriát kivétel nélkül minden alapvető kölcsönhatás tiszteletben tartja. Újabb jele ez annak, hogy valami nagyon mélyen hozzáköti az időt a térhez, és mindkettőt kapcsolatba hozza az anyaggal és az antianyaggal. Olyan kapcsolat ez, amely alapvető szinten hat, és a legkisebb távolságok világában is kiemelten fontos szerepet biztosít az időnek.”

Újabb fordulat: bekerül a képbe egy gyakran hallott, mégis a legtöbbeknek titokzatos fogalom, amelyre itt a csúf intrikus szerepe hárul: az entrópia. „Szerencsére az összetett testek dinamikáját meghatározó törvények – amelyekre klasszikus fizikaként, kémiaként, biológiként és így tovább hivatkozunk – elég pontosan érvényesülnek ahhoz, hogy meglehetősen jól meg tudjuk szervezni mindennapi életünket. Nagyszerűen megvagyunk úgy is, ha figyelmen kívül hagyjuk mindazt, ami a végtelenül kis dolgok világában zajlik, és ami a nap mint nap használt anyagi objektumok látszólagos stabilitása és állandósága mögött rejlik. Mégis vannak olyan, ebben a mikroszkopikus világban gyökerező, általános elvek, amelyek látszólag nincsenek hatással a mi életünkre, de befolyásolják a makroszkopikus anyagi testek fejlődését és dinamikáját. Ha ezekkel nem törődnénk, zavarbaejtően nagy számban nem találnánk magyarázatot mindennapi tapasztalásunk részét képező természeti jelenségekre. Az egyik ilyen alapelv az entrópia növekedése: ez a jelenség döntő szerepet játszik az idő visszafordíthatatlanságának általános értelmezésében.” Tonelli alaposan és remekül magyaráz, s eljutunk egy világos, jól érthető meghatározáshoz: egy kávécsészét vesz példának, amely

„számtalan, nyüzsgő atomból áll, amelyek különféle tevékenységeket végeznek, és végtelen számú, egymástól kismértékben különböző mikroszkopikus állapoton mennek keresztül. Ugyanannak a makroszkopikus állapotnak nagyon sok különböző állapot felel meg. Egy állapot entrópiájának azt a mennyiséget nevezzük, amely ugyanannak a makroszkopikus állapotnak megfelelő mikroszkopikus állapotok számát méri.” Illusztrációként ezúttal Giacomo Leopardi A végtelen c. híres versét és Johann Sebastian Bach Máté-passióját hozza. És mindezekre támaszkodva következők:

„*Entrópia és az idő visszafordíthatatlansága*”. „Ha egyetlen mondatban akarnánk összefoglalni az egész világegyetem dinamikáját, azt mondhatnánk, hogy az egy zárt rendszer, amelyben az egyes összetevők úgy fejlődnek és lépnek kölcsönhatásba egymással, hogy a rendszer teljes energiája állandó maradjon, miközben a teljes entrópia szüntelenül növekszik” – írta az előzőekben. Itt így folytatja: „Az összetett rendszerek vagy a makroszkopikus testek esetében nincs menekvés a rájuk váró, elkerülhetetlen sors elől. *Az idő kitüntetett irányának bizonyítékai túl sok területen igazolódnak ahhoz, mintsem hogy bármiféle illúzióban ringathatnánk magunkat.* A múlt és a jövő között annyira éles különbséget tevő időérzékünk egy olyan nyílra utal, amely ugyanazt az irányt követi, mint a növekvő entrópia és a világegyetem kozmológiai fejlődése által uralt termodinamikai folyamatok: pontos születési dátuma van, és az idők során folyamatosan tágul. Nincs menekvés!”

Zárszava itteni zárszóként: „Igazság szerint még ma sem tudjuk, mi az idő. De láttuk, hogy alapvető szerepet játszik a fizika által eddig feltárt minden szegmensben – és nem árt emlékeztetni arra, hogy mintegy negyven nagyságrendről van szó. Bizonyára hosszú időbe fog telni, mire eljutunk a bennünket körülvevő világnak egy olyan leírásához, amelyben nem kell ehhez a fogalomhoz folyamodnunk. Pillanatnyilag azonban *senki sem tudja megmondani, eljön-e valaha is az az idő, amikor a tudománynak már nem lesz szüksége az időre.*”

Dr. Osman Péter