

Kozmológiai és részecskefizikai vonatkozások Krasznahorkai László: Herscht 07769 c. elbeszélésében

Ne várjatok túl sokat a világ végétől.

Stanisław J. Lec: Aforyzmy. Fraszki
Wydawnictwo Literackie, Kraków (1977)

Közhely, hogy régebbi korok egyszerű és egységes világképét a XX-XXI. sz-i ember bonyolult és bizonytalan posztmodern világérzése váltotta fel, amely a klasszikus szellemtudományok és művészetek eszközeivel már megközelíthetetlen. A nyugati ember görög-keresztény világszemléletben lassan megformálódott pszichikumát a XVII. sz. vége óta egyre mélyebben a tudományos világlátás és egy ezzel párosuló, ismeretlen erőktől hajtott, ismeretlen dimenziók felé száguldó technológiai haladás elkerülhetetlenségének érzése bolygatja meg. A XVIII. sz. végének, a XIX. elejének szellemi-kulturális légkörét sajátos, ennek a nyugtalanságnak első észleléséből fakadó, feszült de még kiegyensúlyozott kettősség jellemezte: az egyre inkább kiteljesedő és nyilvánvaló empirikus sikereket felmutató természettudomány redukcionista-materialista törekvéseivel szemben az erősen idealista filozófiai és a romantika hatása alatt álló művészeti légkör még határozott ellenállást fejtett ki. A tudomány egyre inkább megkérdőjelezte a nagy átfogó filozófiai rendszerek lehetőségét, az ember kitüntetett helyzetét a világban, a filozófia komoly módszertani önkritikára,¹ a romantika pedig „lelkiismereti reflexióra”² kényszerítette a tudományt. Viszont a XIX-XX. sz. fordulójától kezdődően egészen napjainkig, az új természettudomány további gyors és nagyarányú lépései a kritikai egyensúlyt fölborították és megnyílt az út egy nagyrészen reflektálatlan világképi absztrahálódás és széttöredezés felé (mely magába foglalja mind a matematika, mind a fizika saját alapjait megkérdőjelező váratlan, nagy belső válságait is); a klasszikus szellemtudományok és művészetek számunkra pedig már vagy csak egy követő-védekező pozíció, vagy csak a teljes elzárkózás lehetőségét tudják nyújtani (szintén ide értve e területek sajátos belső nivellálódási, kiüresedési jelenségeit is).

A hasadás természetesen egyik félnek sem tett jót és a szerteágazó következmények az idő múlásával egyre láthatóbbá válnak. Az egyik legfontosabb, hogy éppen a legproblematisabb történelmi időkben, vagyis a XX. sz.-tól kezdve, nem tudott kialakulni egy olyan párbeszéd, mely pl. a művészetek esetleg még működőképes csatornáin keresztül hitelesen tudta volna közvetíteni a „modern tudós” újdonsült, ámde történelmi eseményeket, társadalmi jelenségeket egyre inkább befolyásoló alakját, intellektuális tevékenységét, lelki vívódásait, ill. általában magának a természettudományos törekvésnek a módszereit, etikáját, céljait a nyugati társadalom szélesebb rétegei felé. És fordítva: a társadalom sem tudott etikai kontrollt kifejteni, befolyással lenni a technológiai fejlődés irányaira, mert nem értette azokat.

¹L. pl. I. Kant: *A tiszta ész kritikája*, Ictus, Budapest (1995).

²Gondoljunk pl. *Mary Shelley* 1818-ban megjelent *Frankenstein* c. regényére (Kozmosz Fantasztikus Könyvek, Budapest (1977)).

Kapcsolatfelvételi kísérletre példa lehet a XX. sz-i zene³, ill. a festészet⁴ alakulása, jólismert következményével: az egyre nehezebb befogadhatósággal, ritkuló közönség előtt. Míg az elfordulás és így egy szélesebb társadalmi kontaktus megőrzése pedig *nagyjából* megfigyelhető az irodalomban és a filmművészetben világviszonylatban⁵ és így persze nálunk is.⁶ De csak nagyjából, mert a kortárs magyar irodalomban éppenhogy van egy határozott, sőt immár Nobel-díjas ellenpéldánk: *Krasznahorkai László*.

Természetesen e sorok (fizikus) írója nem vállalkozhat arra, hogy *Krasznahorkai* írói munkásságát irodalomkritikai áttekintésben itt megvizsgálja.⁷ Mi itt mindössze arra – az eddig kifejtettek fényében nagyon is figyelemfelkeltő – ténymegállapításra szorítkozunk, hogy korai írói korszakának lezárulásával, tehát kb. Kiotó-regényének (*Északról hegy, Délről tó, Nyugatról utak, Keletről folyó*, 2003) megjelenésétől kezdődően, *Krasznahorkai* műveiben egyre gyakrabban fedezhető fel természettudományos figurák szerepeltetése, ilyen jellegű kérdések szépirodalmi körüljárása. A gyakoriság olyan mértékű, hogy már valamiféle írói szándékra kell gyanakodnunk. Néhány bevezető példa: az említett Kiotó-regényben egyszer csak megjelenik a beszédes nevű *Grothendieck*, aki a matematikai végtelen természetén monologizál; a *Távoli felhatalmazás* c. novellában (in: *Seiobo járt odalent*, 2008) az Alhambra beltéri ornamentikája az euklideszi sík *Roger Penrose* brit matematikus-fizikus által fölfedezett kváziperiodikus csempézéseivel kerül összefüggésbe, sőt azt is megtudjuk a kozmológus körökben is jól ismert *Paul J. Steinhardt* amerikai fizikus és *Peter J. Lu* dolgozatának megemlítésével, hogy ezt a matematikai struktúrát mint díszítési technikát már az iszfaháni Darb-i Imam mecset ismeretlen XV. sz-i építőmesterei is alkalmazták; a végtelenről megkezdett, de be nem fejezhető monológot a *Tanár úr* folytatja tovább (*Báró Wenckheim hazatér*, 2017); *Dr. Papp András* rovarkutató pedig az élet mibenlétén töpreng (*A magyar nemzet biztonsága*, 2025).

A *Herscht 07769* c. 2021-ben megjelent elbeszéléssel külön foglalkozunk, mert kivételesen gazdag fizikai vonatkozásokban annak ellenére, hogy mindössze egyetlen mondatból áll. A történet három, egymással nem nagyon kapcsolódó de a kicsit félkegyelmű ám roppant testi erejű főszereplő: *Florian Herscht* fejében mégis egyre jobban összekuszálódó, motívum szövedékéből épül fel. Az első: *Bach* zenei univerzuma, a második: az ismert Világegyetem anyag-antianyag aszim-

³Pl. nemklasszikus hangrendszerek: *Bartók*, *Schönberg*; új zenei megoldások: *Sosztakovics*, *R. Strauss*, *Sztravinszkij*, *Ligeti*, *Kurtág*, stb.

⁴Pl. geometrikus absztrakció: *Kandinszkij*, *Malevics*, *Miró* stb.; akciófestészet: *Pollock*, stb.; op-art: *Vasarely*, stb.

⁵Elszórt példák persze akadnak: pl. *Robert Musil* egyik esszéje (*Der mathematische Mensch*), megmutatja a kibontakozó új természettudományos világkép idegenszerűségét elsőként megtapasztaló tudós magányosságát; vagy *Thomas Mann* több nagyszerű regényében (pl. *A varázshegy*, *Doktor Faustus*, *Egy szélhámos vallomása*) mini-esszék bukkannak föl, melyek modern természettudományos elképzeléseket fejtenek ki mai szemmel is kifogástalan tudományos színvonalon és persze a legmagasabb szintű irodalmisággal; itt említhető meg *Michel Houellebecq* egyik regénye is, az *Elemi részecskék*; ide kell sorolni *Jorge Luis Borges* sok művét (pl. *Az Alef*, stb.) is; ill. *Arthur Koestler* munkásságának egy részét (pl. *Alvajárók*, *Teremtés*); *Friedrich Dürrenmatt* drámája (*A fizikusok*) szinte már klasszikus; ámde *Michael Frayn* 1998-as feszült drámája, a *Koppenhága*, kevésbé ismert; *Christopher Nolan* filmje, az *Oppenheimer* viszont valamiért igen népszerű. Mindezek ellenére egy elfogadható társadalmi képtől még igen távol állunk, l. a továbbra is hemzseggő és még mindig legnépszerűbb démonikus-infantilis, Hollywood-szerű tudósfigurákat a mai popkultúrában, pl. *Stanley Kubrick* zseniális és hírhedt *Doctor Strangelove* c. filmjében, amely állítólag *Neumann Jánost* (is) parodizálja.

⁶Bár talán elmondható, hogy *Juhász Ferenc* modern-kozmikus költészete ebbe az irányba mutat. Ebben a kontextusban meglepő, hogy a magyar irodalom több jeles képviselője, *Ottlik Géza*, *Esterházy Péter*, matematika-fizika tanár, ill. matematikus diplomát szerzett.

⁷Szabó G.: *Kilátás az utolsó hajóról*. *Krasznahorkai László prózavilága*, Magvető, Budapest (2024).

metriájának eredete és jellege, a harmadik: mindenféle kelet-német neonáci csoportok életének zavaros és lehangoló mindennapjai. Hogyan kerülhet egymás mellé ez a három dolog? Talán a már a bevezetőben is említett „bonyolult és bizonytalan világérzés” gyökérrendszerének olvasó elé tárására tett kísérlet ez olyan éles szerszámokkal, amelyek elől nincs menekvés: kapaszkodás egy már végleg elmúlt kultúrába és esztétikába (*Bach* zenéje); korábbi generációk számára ismeretlen, újszerű szorongások az új természettudományok által feltárt nem-antropomorf kozmosz idegenszerűsége, barátságtalansága, közömbössége, végső soron magunkra-hagyottságunk miatt (anyag-antianyag aszimmetria körüli bizonytalanságok); és végül: élet egy túlnépesedéssel és véget nem érő háborúzással és menekültekkel, világjárványokkal, éghajlatváltozással és környezetpusztulással, rothadó szemétdombokkal és graffitykkal, tiktokozástól otthon szorongó tinikkel és legfrissebb szintetikus drogoktól köztereken imbolygó homelesssekkal stb. teli túlélérett, értéket teremteni már képtelen, hanyatló civilizáció szürke céltalan hétköznapijaiban (neonáci vonal).⁸

Florian egy kelet-német kisvárosban tevékenykedő, falfirka-eltávolítással foglalkozó vállalkozás alkalmazottja, amelynek tulajdonosa, a *Boss*, dilettáns *Bach*-rajongó és ugyanakkor egy helyi neonáci csoport aktív tagja. A *Boss* állandó primitív zenei oktatásban és kemény náci ideológiai kiképzésben részesíti a jámbor *Florian*t, aki ráadásul kevés szabadidejében még az öregedő fizikus és műkedvelő meteorológus *Köhler úr* tudománynépszerűsítő előadásait is hallgatja. Itt találkozunk az anyag-antianyag problémájával, mely hamarosan a *Boss* folyamatos hülyeségeivel összekeveredve egyre robbanásveszélyesebb elegyet képező rögeszméjévé válik és *Florian* világméretű óvintézkedések meghozatalát látja szükségesnek. A következő nyugtalanító dolgokat hallja:

- (i) a belátható Világegyetemben közönséges anyag nyilván nagy mennyiségben található, ellenben antianyag (hosszabb időn keresztül, nagyobb mennyiségben) a megfigyelések szerint nem;
- (ii) jelenleg a természeti folyamatokban (pl. kozmikus sugárzás, vákuum-ingadozás) is és a laboratóriumi kísérletekben (pl. CERN) is, mind az anyag-antianyag keletkezés (párkeltés) mind az eltűnés (annihiláció) szigorúan és teljesen szimmetrikus, továbbá ez utóbbi folyamat során végül tiszta elektromágneses sugárzás keletkezik;
- (iii) a belátható Világegyetemet egy ismeretlen eredetű, tiszta elektromágneses sugárzás is kitölti úgy, hogy e sugárzást adó fotonok és az (i) szerint a csillagokban fénylő közönséges anyagot adó nukleonok aránya pontos csillagászati mérések alapján $10^9 : 1$ körül van; jogos feltételezés, hogy ez a *kozmosz mikrohullámú háttérsugárzás* egy régen lezajlott grandiózus anyag-antianyag annihiláció maradványa.

Az (i)-(iii) észrevételek azonban egymással nem összeegyeztethetők: hiszen ha a (iii)-beli megsemmisülés el is tüntette az antianyagot, (ii) alapján ez teljesen szimmetrikusan kellett történjen, ámde ez ellentmond (i)-nek. Kézenfekvő ötlet, hogy habár jelenleg a párkeltési-annihilációs folyamatok teljesen szimmetrikusak, az Ősrobbanás környékén (*Krasznahorkai* megfogalmazásában) valami *hiba* történt: az anyag-antianyag keletkezés mégsem teljesen szimmetrikusan zajlott az idők kezdetén – tehát éppen a legdöntőbb pillanatokban, amikor legjobban kellett volna odafigyelni és vigyázni – és valahogyan kb. $10^9 + 1$ nukleonra csak kb. 10^9 antinukleon jutott: egy „nagyon kicsivel” több anyag keletkezett, mint antianyag. Ez a többlet élte túl a (iii)-beli

⁸Tudni kell, hogy *Krasznahorkai* írói munkásságában és kommunikációjában kezdetektől fogva és folyamatosan jelen van a kulturális hanyatlás, egy elsötétülő kor motívuma.

annihilációt és alkotja az ismert Világegyetem anyagi struktúráit (i) szerint. De ha ez így van – tépelődik tovább magában *Florian* – akkor ez a *hiba* bármikor fordítva is megismétlődhet, pl. a (ii)-beli vákuum-ingadozás váratlanul aszimmetrikussá válhat, és ezúttal az anyagot, vagyis minket semmisíthet meg. *Florian* aggodalma érthető, hiszen a feltételezett *hiba* mechanizmusa, szinte de mégsem elhanyagolható jellege a kortárs kozmológia, részecskefizika egyik legsúlyosabb, régóta megoldatlan problémája, amelyre még *Andrej Szaharov* szovjet fizikus hívta föl a figyelmet 1967-ben,⁹ nem sokkal a mikrohullámú háttérsugárzás felfedezése (1964) után. Tehát az igazat megvallva az elméleti fizika *Floriannak* jelenleg semmi megnyugtatót nem tud mondani.¹⁰ Ámde a közben titokzatos módon eltűnő, majd egyszer csak újra fölbukkanó *Köhler úr* előáll egy javaslattal. Szerinte a *hiba* nem következett be, tehát nem is fog megismétlődni, mert a fénylő (tehát nem a sötét) anyaggal mindig is pontosan egyező mennyiségű antianyag fordított termodinamikai tulajdonságai miatt egy picit hajlamosabb a térbeli tömörülésre mint a közönséges anyag; ennél fogva a (ii) szerint szimmetrikus (iii)-beli annihiláció után, mely egy táguló-híguló Világegyetemben nem is lehetett teljes, az antianyag maradékai már jóval a mi megjelenésünk előtt eltűntek pl. a mai galaxisok centrumában is megtalálható óriás fekete lyukak mélyén (míg ez a folyamat az anyag (i) szerinti maradékai esetében most is zajlik). Ezt az elképzelést (mely pl. egészen jól reprodukálja a (iii)-beli $1/\eta \approx 1,67 \times 10^9$ foton-nukleon arányt) e sorok szerzője vetette fel először 2017-ben.¹¹ De *Köhler úr* már késve érkezik, mert végül aztán a *hiba* elbeszélésbeli elhárítása egészen más természetű lesz, hiszen *Bach* még nem is nagyon került elő eddig és *Florian* roppant testi erejének következményeit is figyelmen kívül hagytuk.

Essék néhány szó az elbeszélés keletkezéséről is. *Krasznahorkai Lászlót* véletlenül, Kiotó egyik nagy könyvruházában, egy fölfelé haladó liftben ismertem meg személyesen 2000 tavaszán. Onnantól kezdve időnként találkoztunk. A beszélgetések gyakori témái különféle modern matematikai, fizikai kérdések is voltak, melyek *Lacit* folyamatosan és szenvedélyesen foglalkoztatták, az én legnagyobb örömömre. Megállapítottuk, hogy ezek a kérdések még az olvasottabb kultúra-fogyasztó nagyközönség előtt is, fontosságuk ellenére, nagyrészt ismeretlenek. Ha jól emlékszem, 2016 nyárutóján került szóba először az anyag-antianyag aszimmetria problémaköre, melyhez valahogyan ő jutott el. Hosszas beszélgetésekben, melyek a koronajárvány idején, tehát a *Herscht* megjelenését megelőző időszakban már telefonon zajlottak, tisztáztuk ennek természetét, végül pedig figyelmébe ajánlottam egy általam fölvetett és fentebb említett mechanizmust, mely a termodinamika Második Főtételének nagy antianyag-rendszerekre vonatkozó megfordításán alapszik. Ez a fölvetés fogalmilag igen egyszerű és így kibontásához nem kell sok *terminus technicus*, ezért kerülhetett be a készülő elbeszélésbe, ami számomra természetesen nagy megtiszteltetés.

Tekintsük át az elbeszélésben csak megemlített modellt, az Olvasót pedig a részletek kritikus továbbgondolására buzdítjuk. „Indítsuk a filmet” a táguló Világegyetem egy korainak tűnő de valójában olyan pillanatától, amikor a lényeges események már lezajlottak: legyen ez

⁹Sakharov, A.D.: *Violation of CP invariance, C asymmetry, and baryon asymmetry of the universe*, Pisma Zh. Eksp. Teor. Fiz. **5**, 32-35 (1967), [English trans.: Usp. Fiz. Nauk. **161** 61-64 (1991)].

¹⁰Hacsak azt nem, hogy azért ez a *hiba* az elmúlt 13.000.000.000 év során csak nem ismétlődött meg!

¹¹Etesi, G.: *Antimatter and the second law of thermodynamics*, Found. Sci. **26**, 217-224 (2021); Etesi, G.: *Primordial black holes from collapsing antimatter*, Found. Sci. **27**, 1381-1400 (2022); egy kicsit frissített, pontosabb változat: math.bme.hu/~etesi/antimatter2.pdf

a $t_0 \approx 10$ sec amikor is $T_0 \approx 10^9$ K (tehát kb. 10 másodperccel vagyunk az Ősrobbanás után amikor az átlagos hőmérséklet kb. 1 milliárd fok). Ekkorra már az összes párkeltési folyamat nagyrészt leállt, megszülettek az ismert elemi részecskék és az ifjú Világegyetem termodinamikai egyensúlyban levő (itt most szigorúan szimmetrikus, tehát *hibamentes*, klasszikus, tehát kvantummechanikai effektusoktól mentes) anyag-sugárzás-antianyag plazmának tekinthető. Ebben a plazmában inentől kezdve hosszú ideig csak a tágulás-hűlés-hígulás ill. az annihiláció adják a vezető fizikai folyamatokat. A most következőkben feltételezzük, hogy a korai Világegyetem nagy idő- és térátlagban mindig is elektromosan semleges volt és az egyszerűség kedvéért azt is, hogy a neutrínókkal (és további részecske-generációkkal, sötét anyaggal, energiával stb. stb.) kapcsolatos jelenségek nem játszottak lényeges szerepet. A két föltevés lehetővé teszi, hogy a korai Világegyetemben zajló különféle és esetleg nagyon bonyolult annihilációs folyamatokat és az ezek által indukált megfelelő részecskeszám-változásokat az egyik legegyszerűbbel: az $e^-e^+ \rightarrow 2\gamma$ elektron-pozitron szétsugárzással és az általa indukált pl. elektronszám-változással kövessük nyomon.

Az elektron-pozitron szétsugárzás időbeli aszimptotikája. Tekintsünk ebben a korai plazmaszerű Világegyetemben egy $V_0 \gg \lambda_D^3$, vagyis a plazma Debye-térfogatánál lényegesen nagyobb, térfogatot. Tehát V_0 -ban már a vezető termodinamikai folyamat csak a tágulás-hűlés valamint a vezető részecskefizikai folyamat csak az annihiláció, amelyeket mi egységesen az $e^-e^+ \rightarrow 2\gamma$ folyamattal követünk nyomon. Az elektron-pozitron szétsugárzás hatáskeresztmetszetét először az antianyag elméleti fölfedezője, *Paul Dirac* számolta ki még az 1930-as években és arra az elsőre meglepő eredményre jutott, hogy ultrarelativisztikus vagy akár csak relativisztikus (tehát nagyon forró) elektron-pozitron plazmában ez nullához közelít, vagyis az annihiláció elhanyagolhatóvá válik. Ezért tegyük fel, hogy olyan $t \gtrsim t_0$ időket tekintünk, amikor nemrelativisztikus közelítések már alkalmazhatók. Legyen $V(t)$ a kezdeti V_0 térfogat növekedését, $v(t)$ a nyugvó $V(t)$ tartományban az elektron-pozitronok átlagsebességének nagyságát, valamint $\sigma(t)$ a hatáskeresztmetszet változását leíró függvény a táguló-hűlő Világegyetemben. Megmutatható, hogy a $V(t)$ -beli $N(t)$ elektron-(vagy pozitron-)szám függvény szétsugárzás miatti változását klasszikusan és nemrelativisztikusan a

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\frac{v(t)\sigma(t)}{V(t)}N^2(t)$$

egyenlet írja le. Nemrelativisztikus közelítésben $\sigma(t) \approx 3\pi r_0^2 c/4v(t)$ ahol is r_0 a klasszikus elektronsugár és c a fénysebesség. Legyen továbbá az eredeti t_0 -beli V_0 tértartomány térfogata a sugárzási korszak végi $t_1 \approx 70.000$ év pillanatban V_1 . Ily módon egységesen $V(t) \approx V_i \cdot (t/t_i)^{\alpha_i}$ ahol $\alpha_0 = 3/2$ a tágulás sugárzás által dominált korszakában valamint $\alpha_1 = 2$ az anyag által dominált korszakban. Hasonlóan, legyen az eredeti t_0 -beli részecskeszám V_0 -ban N_0 , mely aztán t_1 -ben és V_1 -ben N_1 -re csökken. Ezeket behelyettesítve, az egyes korszakokhoz tartozó annihilációs egyenleteket egységesen

$$\begin{cases} \dot{N}(t) &= -\frac{3\pi r_0^2 c t_i^{\alpha_i}}{4V_i} t^{-\alpha_i} N^2(t) \\ N(t_i) &= N_i \end{cases}$$

($i = 0$ majd utána $i = 1$) alakban írhatjuk. Az egyenleteket természetesen egymás után kell megoldani, de mi most csakis az egyszerűség kedvéért a korábbi t_0 -beli N_0 -lal indított későbbi $i = 1$ egyenletet vizsgáljuk. A megoldás $N(t) = (1/N_0 + (3\pi r_0^2 c t_0^2/4V_0)(1/t_0 - 1/t))^{-1}$ és ami

igen meglepő, az az aszimptotikája:

$$N_\infty := \lim_{t \rightarrow +\infty} N(t) = \left(\frac{1}{N_0} + \frac{3\pi r_0^2 c t_0}{4V_0} \right)^{-1}$$

amely tehát nem triviális a tágulás miatt (amennyiben $V(t) = \text{const.}$, akkor $N_\infty = 0$).

Nyilvánvalóan az aszimptotika a megmaradt elektron- ill. pozitron-számot jellemzi, ezért ha bevezetjük az $1/\eta_1 := (N_0 - N_\infty)/N_\infty$ aszimptotikus hányadost, akkor ez az elektron-pozitron szétsugárzásban a „keletkezett-fotonok/megmaradt-elektronok ill. -pozitronok” arányt jellemzi úgy, hogy minden elektron-pozitron eltűnéshez pontosan 1 fotont számolunk (ami persze nem igaz). Ez az elméleti hányados kifejezhető a Világegyetem kezdeti adataival is:

$$\frac{1}{\eta_1} = \frac{N_0}{N_\infty} - 1 = 1 + \frac{3\pi r_0^2 c t_0 N_0}{4V_0} - 1 = \frac{3\pi r_0^2 c t_0 \rho_0}{13k_B T_0}$$

ahol k_B a Boltzmann-állandó és tehát $t_0 \approx 10$ sec és $T_0 \approx 10^9$ K mint fentebb, valamint csillagászati mérések alapján $\rho_0 \approx 0,13(T_0/2,71\text{K})^3 \text{ GeV/m}^3$ a Világegyetem barionikus energiasűrűsége a „film” kezdetekor. Mindent behelyettesítve erre az elméleti foton-elektron arányra $1/\eta_1 \approx 1,36 \times 10^9$ adódik. Fontos megjegyezni, hogy $1/\eta_1$ értéke nem függ a „film” elindításának fentebbi önkényes megválasztásától.

Eddig csak az $e^-e^+ \rightarrow 2\gamma$ referencia-folyamat hipotetikus egyfotons formájával foglalkoztunk, azonban ha tényleg szeretnénk meghatározni a foton-nukleon arányt, akkor egyrészt tudnunk kell, hogy pontosan mely további részecskék: itt most csak nukleonok, és milyen számban annihilálódtak; másrészt, hogy ezek a folyamatok egyenként kb. hány fotont keltenek (tehát pl. az $e^-e^+ \rightarrow 2\gamma$ két fotont, stb.). Ezekkel a fontos ám technikai részletekkel itt nem foglalkozunk hanem csupán megjegyezzük, hogy a foton-nukleon arányra végül is félempirikus korrekciók után

$$\frac{1}{\eta} \approx 1,43 \cdot \frac{13/6}{15/7} \cdot \frac{1}{\eta_1} \approx 1,96 \times 10^9$$

adódik, ami a pontos kísérleti értékkel ($1/\eta \approx 1,67 \times 10^9$) összehasonlítva és meggondolásaink egyszerűségét figyelembe véve jó egyezésnek mondható. Megjegyezzük, hogy szinte további erőfeszítés nélkül, kicsit pontosabban számolva, az egyezés tovább növelhető.¹²

Egyszerű számolásaink azt sugallják, hogy az annihiláció nem volt teljes, a megfelelően gyorsan táguló Világegyetemben annihilációs horizontok jöhettek létre. Ha most az elméleti $t \rightarrow +\infty$ helyett azt a $t_2 \approx 380.000$ év pillanatot tekintjük, amikor már a fentebbi folyamatok mellett újabbak is szerepet kezdenek játszani, vagyis az egyszerűbb atomok születésének idejét, akkor a kb. $T_2 \approx 10^4$ K hőmérsékletű Világegyetem egymással lényegében nem kölcsönható, a térben elkülönülten lebegő nagyrészt hidrogén-héliumból, ill. antihidrogén-antihéliumból álló gázfelhők rendszereként jelenik meg (lelki szemeink előtt). E gázgolyók méretét leginkább a gravitációs fragmentálódás határozza meg, nagyjából 10^5 - $10^6 M_\odot$ Jeans-tömeggel. Hová tűnhettek a nagy antianyag-gázgolyók?

Egy nagy antianyag-rendszerek termodinamikájára vonatkozó hipotézis. Az eddigiektől függetlenül is megkérdézheti valaki: hogyan nézhet ki a nagy antianyag-rendszerek termodinamikája?

¹²Pl. egészen biztosan foton-túlszámlálás történt az $e^-e^+ \rightarrow \nu_x \bar{\nu}_x$ ($x = e, \mu, \tau$) folyamatok elhanyagolása miatt.

A kérdés nem nyilvánvaló, ui. habár egyedi antirészecskék, sőt néhány egyszerűbb antiatom, létezéséről kétségtelen kísérleti bizonyítékaink vannak, egyrészt még senki nem látott nagyobb mennyiségű antianyagot, másrészt a termodinamika a statisztikus mechanikából (egyelőre) nem teljesen levezethető.

Javaslat. Legyen $\mathcal{S}_{\text{antianyag}}$ egy zárt fizikai rendszer, mely tiszta antianyagot tartalmaz (az alacsony energiájú termodinamikai limeszben). Ekkor a rendszer S entrópiája sohasem növekszik az időben, vagyis $\Delta S(\mathcal{S}_{\text{antianyag}}) \leq 0$.

Először is, a **Javaslat** Lorentz-invariáns, tehát van értelme; másodszor, a **Javaslat** elméletileg nagyon nehezen cáfolható, ui. ez logikailag egyenértékű lenne a termodinamika Második Főtételének indirekt bizonyításával, ami viszont már *Boltzmann* óta az elméleti fizika egyik legnagyobb megoldatlan problémája; harmadszor, a **Javaslat** jelen pillanatban kísérletileg sem tűnik megközelíthetőnek, mert megfelelően nagy mennyiségű pl. antihidrogén-gáz előállítása és megfelelően hosszú ideig való egybentartása az ezirányú komoly erőfeszítések dacára is egyelőre túl van a lehetőségeinken. De egy esetleg a közeljövőben elvégezhető kísérlet dönthet a **Javaslat** helyességéről.

Ennélfogva a **Javaslat** mellett vagy ellen, egyelőre csak különböző erejű érveket lehet felhozni. Az egyik legegyszerűbb támogató érv a relativisztikus kvantummező-elméletek egyik pillérén, a *CTP*-tételen, valamint a Második Főtétel empirikus evidenciáján alapul. Tekintsünk egy tiszta közönséges anyagot tartalmazó $\mathcal{S}_{\text{anyag}}$ zárt fizikai rendszert az alacsony energiájú termodinamikai limeszben, mely az időben előre fejlődik. Ekkor mint *elméleti következmény*, a *CTP*-tétel azt mondja ki, hogy az $\mathcal{S}_{\text{anyag}}$ rendszeren elvégzett teljes *CTP*-transzformáció annak egy szimmetriája, vagyis

$$CTP(\mathcal{S}_{\text{anyag}}) = \mathcal{S}_{\text{anyag}} \quad .$$

Ugyanakkor $\mathcal{S}_{\text{anyag}}$ esetén *empirikus evidencia* a Második Főtétel érvényessége is:

$$\Delta S(\mathcal{S}_{\text{anyag}}) \geq 0 \quad .$$

Ezekből

$$\Delta S(CTP(\mathcal{S}_{\text{anyag}})) \geq 0 \quad .$$

A fentebbi *CTP*-transzformációt most részeire bontva és így alkalmazva, $\mathcal{S}_{\text{anyag}}$ egy zárt, antianyagot tartalmazó és időben visszafelé fejlődő rendszerbe is transzformálódik:¹³

$$CTP(\mathcal{S}_{\text{anyag}}) = CT(\mathcal{S}_{\text{anyag}}) = C(\mathcal{S}_{\text{anyag, fordított időben}}) = \mathcal{S}_{\text{antianyag, fordított időben}} \quad .$$

Mindezt összerakva

$$\Delta S(\mathcal{S}_{\text{antianyag, fordított időben}}) \geq 0$$

adódik, vagyis egy antianyag-rendszer entrópiája sosem csökken fordított időben, így előre haladó időben végül is

$$\Delta S(\mathcal{S}_{\text{antianyag}}) \leq 0$$

kell teljesülnön és ez nem más, mint a **Javaslat**.

¹³Kritikus lépések következnek: tudjuk, hogy P általánosan nem szimmetria egyedi részecskék esetén, tehát P a teljes és megfelelően makroszkopikus és alacsony energiájú $\mathcal{S}_{\text{anyag}}$ rendszerre kell hasson, esetleg T is, viszont C már határozottan az $\mathcal{S}_{\text{anyag}}$ egyes részecskéin elvégzett operáció.

Megint csak a statisztikus mechanikai technikai részletek mellőzésével a következőket mondhatjuk. Egy közönséges ideális gázt tartalmazó fizikai rendszerben a Második Főtétel leggyakrabban úgy nyilvánul meg, hogy a gáz időbeli fejlődése során egyre inkább kitölti a rendelkezésére álló teret. Ennek alapján meggondolható, hogy amennyiben a **Javaslat** igaz, tehát antianyagra a Második Főtétel fordítva teljesül, akkor egy nagy ideális antigáz-rendszer időbeli fejlődése során ellenkezőleg viselkedik, összehúzódni igyekszik. Anyag esetén a rendszer strukturális (vagyis térbeli, gravitációs eredetű) összehúzódási-hajlandóságát gyengíti funkcionális (vagyis időbeli, termodinamikai eredetű) tágulási-hajlandósága; míg antianyag esetén a strukturális összehúzódási-hajlandóságot éppenhogy erősíti egy funkcionális összehúzódási-hajlandóság is. Így annak ellenére, hogy elemi részecskék szintjén teljes a szimmetria, a nagy anyagrendszerek dinamikája *élesen különbözhet* a nagy antianyag-rendszerekétől, ez utóbbiak erősebb kontrahálódási hajlama és ezáltal fokozottabb gravitációs instabilitása miatt. Tehát elképzelhető az is, hogy az említett korai Világegyetemben létrejött nagy antihidrogén-felhők fordított termodinamikájuk következtében hajlamosabbak voltak fekete lyuk képződésre, mint közönséges társaik. Be kell vallani, hogy ezek a makroszkopikus skálájú elképzelések a részecskefizikai skálájú feloldási javaslatokkal egybevetve újszerűek és a konkrét és minden bizonnyal nagyon bonyolult fizikai részletei még kidolgozásra várnak.

Záró megjegyzések: miért olyan zavaró az itt megfogalmazott **Javaslat** és következményei annak ellenére, hogy tételesen semminek nem mondanak ellent? Sokan (mi most elsősorban *Carl F. von Weizsäcker* fizikai és filozófiai munkásságára gondolunk) vélik úgy, hogy a XX. sz-i fizika több, látszólag független pontján jelentkező váratlan nehézség (úgy mint a Második Főtétel és a statisztikus mechanika viszonya, az Ősrobbanás alacsony entrópiája és az idő iránya, a kvantummechanikában a méréselmélet problematikája, a hellyel ellentétben az idő nem-operátor mivolta, stb.) közös gyökere az idő igen komplex problémakörének évszázadok óta tapasztalható elhanyagolása,¹⁴ és ennek következtében az idő fogalmi kidolgozatlansága a mai elméleti fizikában. Az időt magát egységesen egy $t \in \mathbb{R}$ változóval azonosítjuk, holott ez mindössze az idő egy igen egyszerű geometriai reprezentációjának, a térben mozgó tömegpont pályájának leírásában használt paraméter. Az idő problémájáról való gondolkodás elsorvadása már tk. *Platónnal* kezdetét vette és a newton-maxwell-einsteini fizikában érte el egyik csúcspontját. Úgy véljük, hogy a bevezetésben is említett XX-XXI. sz-i világképi töredezettség analízise szempontjából is fontos lenne egy, az idő körüli (tehát a keletkezést, folyást, egyirányúságot, mozgást, változást, megszűnést stb. is magában foglaló) fogalmi talajlazítás megkezdése és ezáltal az idő mint olyan fokozatos hozzáférhetővé tétele egy mélyebb megértés számára.¹⁵

Köszönetnyilvánítás. Végül köszönettel tartozom Patkós Andrásnak a megtisztelő megkeresésért, hogy mindezt írjam meg a Fizikai Szemle olvasói számára.

Etesi Gábor
Budapest, 2026 augusztus

¹⁴Pl.: „Mi tehát az idő? Ha senki sem kérdezi tőlem, akkor tudom. Ha megkérdezik, s meg akarom magyarázni, akkor nem tudom.” (*Szent Ágoston vallomásai* XI. könyv, 14. fejezet).

¹⁵Persze sok ígéretes lépés már itt is történt: pl. *Thomas Mann* mini-tanulmánya *A varázshegy* hatodik fejezete *Változások* c. szakaszának legelején; l. még H. Bergson: *Teremtő fejlődés*, Magyar Tud. Akad., Budapest (1930); Husserl, E.: *Späte Texte über Zeitkonstitution, Die C-Manuscripte*, *Hua Materialien* Band VIII, hsgb. D. Lohmar, Dordrecht, Springer (2001); Libet, B.: *Mind time*, Harvard Univ. Press, Cambridge MA (2004); Callender, C.: *What makes time special?*, Oxford Univ. Press, Oxford (2017).