

## A Maxwell-démon mint szinkronisztikus jelenség

### 1.

*George Berkeley* (1685-1753) ír-angol filozófus majd püspök filozófiai nézetei annyira különösek, ellentmondásosak voltak, hogy angol kortársai szerint azt már csakis ír származásával lehetett megmagyarázni. Szerteágazó vitákkal teli, társadalmi problémákra nyitott, nagy utazásokban bővelkedő életén visszatükröződik a barokk kor szellemi-kulturális és ugyanakkor nagyon is evilági lendülete, mozgalmassága. Korának, az egyre kibontakozó de még képlékeny természettudományos gondolkodás évtizedeinek majdnem mindegyik jelentős képviselőjével vitázott: többek közt kritizálta kortársa, *Newton* abszolút térrel és idővel kapcsolatos elképzeléseit, előkészítve *Mach* és *Einstein* majdani föllépését; szintén nem fogadta el *Locke* érzékeléssel kapcsolatos népszerű elméletét sem, elsőként nyitva utat a mai pszicho-fiziológiai megközelítések felé.

Ez utóbbi terület kritikai vizsgálata során fogalmazódik meg benne először az elképzelés, a hírhedt *esse est percipi* („létezni annyi mint megfigyelve lenni”) elv, miszerint nem csupán az érzékletek, hanem az azokat kiváltó dolgok létezését is csak egy a dolgokat megfigyelő elme teszi lehetővé. Akkortájt teljesen abszurd kijelentésével a mi korunkban már majdhogynem a kvantummechanika koppenhágai értelmezése körüli viták elindítóját kell tisztelnünk benne; végül ő maga kényszerül nézetei tisztázására *Three dialogues between Hylas and Philonous* (Hülasz és Philonusz három párbeszéde) című 1713-ban írt esszéjében:

*Hülasz*: Lassan a testtel, *Philonusz*. Azt állítod, felfoghatatlan számodra, hogyan létezhetnek érzéki dolgok az elmén kívül. Nem így van?

*Philonusz*: De igen.

*Hülasz*: Tegyük fel, hogy megsemmisültél: nem gondolod lehetségesnek, hogy az érzékszervekkel észlelhető dolgok továbbra is léteznek?

*Philonusz*: Dehogynem, csakhogy akkor más elmében kell létezniök. Amikor megtagadom az érzéki dolgoktól az elmén kívüli létezését, nem sajátosan a magam elméjére gondolok, hanem az összes elmékre. Mármost világos, hogy a dolgoknak az én elmémen kívüli létezésük van; mert a tapasztalat azt diktálja, hogy függetlenek tőle. Van tehát valamilyen más Elme, ahol azokban az időközökben léteznek, amikor én nem észlelem őket; mint ahogy léteztek a születésem előtt, és létezni fognak az én feltételezett megsemmisülésem után is. És mivel ugyanaz érvényes minden véges teremtett szellemre, ebből következik, hogy kell lennie egy *mindenütt jelenlévő, örökkévaló Elmének*, amely minden dolgot ismer és magába foglal [...].<sup>1</sup>

Ezzel az érveléssel *Berkeley* nem csak a szolipszizmus zsákutcáját kerüli el, de megszületik a teológia és a filozófia történetének minden bizonnyal legkülönösebb és egyben legmodernebb istenérve is, a *kontinuitási argumentum*: a világbeli dolgok folytonos és konzisztens fennállását Isten univerzális *megfigyelői jelenléte* teszi lehetővé.

<sup>1</sup>in: *George Berkeley: Tanulmány az emberi megismerés alapelveiről és más írások*, 366-367, Gondolat, Budapest (1985).

*Pierre-Simon Laplace* (1749-1827) korának, a filozófusok évszázadának, a felvilágosodás végének intellektuálisan kimagasló és habitusát tekintve tipikus képviselője volt. Egy hírhedt anekdota szerint, amikor a *Traité de mécanique céleste* (Égi mechanika) c. ötkötetes főműve – csupán egyike számos matematikai, fizikai, politika-filozófiai főműveinek – példányait tudományos és politikai karrierje fontos állomásaként 1802 körül átnyújtotta *Napóleonnak*, a tábornok-hadvezér ezt kérdezte: „M. Laplace, azt beszélnek, hogy Ön megírta ezt a hatalmas művet az univerzum szerkezetéről, de egyszer sem említi benne annak Teremtőjét.” Mire *Laplace* habozás nélkül így válaszolt: „Nem volt szükségem erre a hipotézisre.”

Habár az újkori fizika mint *természettudományos elmélet* megszületését a mintegy évszázaddal korábban élt *Newton* nevével és tevékenységével kapcsoljuk össze – aki a még korábban élt *Kepler* és *Galilei* égi és földi felismeréseit egyesítette matematikai alapokon nyugvó nagy erejű elméletté – az ő világgépe még keresztény ill. középkori-archaikus jegyeket viselt; ui. *Newton* máig is nagyrészt még feldolgozatlan életművének jelentős hányadát teológiai spekulációk ill. alkímiai tárgyú értekezések teszik ki.<sup>2</sup> Ellenben a newtoni elméletből kibontakozó újkori *fizikai világgép* megszületését, de legalábbis megszilárdulását biztosan, *Laplace* főntebbi büszke kijelentésétől datálhatjuk.<sup>3</sup> Látszólag ez az a pillanat, amikortól kezdve egy természettudományos gondolatmenetben többé nem lehetett érvként arra az Istenre hivatkozni, aki nemcsak a világ dolgainak nagy elrendezője és fenntartója (l. *Berkeley*), hanem szenvedéseiben az ember támasza, lelki üdvösségének és halhatatlanságának megingathatatlan biztosítója is.

A görög mitológia egyik melankolikus epizódja elmeséli, hogy az istenek és az emberek még utoljára összetalálkoztak Mekóné (Mákföld) mellett és megállapodtak, hogy az istenek a Földről végleg elköltöznek. De időnként, álmatlan éjszakákon mintha hallani lehetne távoli éneküket, és ez mintha megzavarná az újkori fizika személytelen erők, közömbös mechanizmusok uralta kozmoszának csendjét. A XIX. sz. első felének szellemi-kulturális légkörét éles kettősség jellemzi: az egyre inkább kiteljesedő és gyors empirikus sikereket felmutató természettudomány redukcionista-materialista törekvései egy erősen idealista filozófiai és a romantika hatása alatt álló művészeti légkörben jelentkeznek. A tudomány egyre inkább megkérdőjelezi a nagy átfogó filozófiai rendszerek lehetőségét, az ember központi helyzetét a világban, míg a filozófia módszertani önkritikára, a romantika pedig „lelkiismereti reflexióra” kényszeríti a tudományt.<sup>4</sup> Ez a kezdeti feszült szembenállás indokolhatja részben, hogy a fogalmi zártásra és a logikai konzisztenciára való szüntelen és hangsúlyozott törekvések ellenére a fizikai leírásban azóta is föl-fölüti a fejét valamiféle rendszeren kívüli szellemi aspektusra: „értelemre”, „szubjektív tényezőre” történő utalás, mely aztán a fizika épületén üt hézagokat kínzó gondolati paradoxonok formájában.

Ennek a rendszerellenes zavarnak a színre lépése már magával *Laplace*-szal elkezdődik. Ui. szintén ő az aki először megadja a lehetőségét annak, hogy egy értelmes entitásra mégiscsak lehessen hivatkozni egy szigorú tudományos érvelés kereteiben is. Egyik híres kijelentésével szó szerint újra kiengedi a szellemet a palackból és rászabadítja az erősödő és terjedő tudományos gondolkodásra *Essai philosophique sur les probabilités* (Filozófiai esszé a valószínűségről) c. 1812-ben megjelent tanulmányának mindjárt az elején:

<sup>2</sup>Pl. komolyan hitt az aranycsinálásban; ami arra legalábbis jó volt, hogy fémekkel kapcsolatos így nyert tapasztalataival az angol Királyi Pénzverde főfelügyelőjeként rengeteg pénzhamisítót buktatott le.

<sup>3</sup>Ha másképp nem szimbolikusan, ui. a főntebbi anekdota állítólag nem is igaz.

<sup>4</sup>Gondoljunk pl. *Mary Shelley* 1818-ban megjelent *Frankenstein* c. regényére.

Az univerzum jelenét felfoghatjuk mint múltjának következményét illetve mint jövőjének okát. Egy értelem, amely ismerné a világot mozgásban tartó összes erőt és a világot alkotó összes részecske helyzetét egy adott pillanatban, és amely képes lenne ezeket az adatokat elemezni, egyetlen képletbe tudná egyesíteni az univerzum legnagyobb testeinek és legkisebb atomjainak mozgását; egy ilyen értelem számára semmi sem lenne bizonytalan és a jövő, úgy mint a múlt, jelen lenne számára.

A világ elvben precízen leírható, csupán egy fejlett értelem kell hozzá: a csodák ideje elmúlt. És a klasszikus mechanika első kidolgozott alakjában pontosan egy elvileg ilyen képességekkel rendelkező ún. *megfigyelő* szempontjából adja meg a fizikai világ matematikailag precíz és tapasztalati szempontból rendkívül sikeres leírását. Vajon mi készítette egy efféle entitásra történő hivatkozásra? Esetleg *Berkeley* nézetei, „Isten mint univerzális megfigyelő”, tették számára elkerülhetetlené a bevezetését? Nem lehetetlen, ui. mind a newtoni elképzelések, mind az angolszász filozófia eredményei éppen *Laplace* idejében kezdtek szélesebb körben ismertté válni francia akadémikus körökben. *Laplace* katolikus neveltetésben részesült bár kortársai visszaemlékezései szerint egész életében inkább deista, ateista, agnosztikus, sőt materialista nézeteket vallott. Halálos ágyán utolsó szavai mégis ezek voltak: „Lidérceket [chiméres] kergetünk.” (idézi egyik tanítványa, *S.D. Poisson*).

*James Clerk Maxwell* (1831-1879) skót fizikus a fizikatörténet legnagyobb alakjai között foglal helyet. Visszahúzó, szerény, költői hajlamú és mélyen vallásos személyisége a *Laplace*-inak éppen ellentéte lehetett. Nem maradtak fenn vele kapcsolatos csattanós történetek sem. Nem sokkal korai halála előtt, mindössze 48 évesen, ezt mondta egyik ismerősének: „Azon gondolkodtam, hogy mennyire szelíd bánásmódban is volt mindig részem. Nem ért semmilyen csapás életem során. Egyetlen vágyam, hogy Isten akaratából Dávidként szolgáljam nemzedékemet és aztán nyugovóra térjek.” Neki köszönhetjük, többek közt, az optikai, elektromos és mágneses jelenségek egységes fogalmi és matematikai keretbe: az elektrodinamika elméletébe illesztését s ezzel egy modern elektronikai csúcstechnológián alapuló társadalom létrejöttének a lehetőségét.

Ő látott hozzá egy azidőtájt szintén zavaros terület: a fenomenologikus termodinamika elméleti tisztázásához is. Abból a *Laplace*-i tehát klasszikus mechanikai világszemlélethez illeszkedő akkor még csak *feltételezésből* indult ki, hogy a gázokat rendkívül nagy számú, a térben gyorsan mozgó és egymással gyakran ütköző parányi atomok alkotják. Ebből az egyszerű és egységes, az ún. kinetikus gázelmélet alapját adó feltevésből kiindulva a szobahőmérsékletű gázok legtöbb tulajdonsága (térfogat, nyomás, hőmérséklet, energia, fajhő közötti tapasztalati összefüggések stb.) magyarázatot nyert – egyetlen ám annál lényegesebb kivétellel. Szinte bizonyos, hogy *Maxwell* az elmélet fogalmi és matematikai kiépítése során találkozott *Laplace* főntebb megidézett „értelmes lényének” elképzelésével is. Ha egy ilyen megfigyelő elvben képes áttekinteni és elemezni a világ összes részecskéjének mozgását, akkor nyilván ugyanezt meg tudja tenni egy tartálynyi gázatommal is. De *Maxwell* egy lépéssel tovább ment. Mivel úgy tűnt, hogy *a priori* érveléssel nem lehet kizárni egy efféle végsőig fokozott megfigyelési képességekkel rendelkező és ugyanakkor aktív ágens ellentmondásmentes elgondolhatóságát, feltette a kérdést: elvben mire lehet képes egy ennyire fejlett és ráadáásul *tevékeny* megfigyelő?

*Maxwell* egy nyugtalanító gondolat kísérlettel állt elő 1867 körül. Képzeljünk el egy  $R$  zárt tartályt benne termodinamikai egyensúlyban lévő szobahőmérsékletű valamilyen gázzal. A tartályt egy elválasztó fal két egyenlő  $R'$  és  $R''$  részre osztja és ennek a falnak a közepén egy szelepszűrő, apró csapóajtó található amelyet egy ágens tud működtetni, vagyis nyitni-zárni. Továbbá az ágens rendelkezik azzal a kifinomult képességgel is, hogy mindkét térfélben minden egyes gázatomot külön-külön nyomon tud követni és ezáltal mozgását nagyon gyorsan elemezni. Az így elgondolt tevékeny megfigyelő pl. a következő *elv szerint járhat el*: amint egy atom az  $R'$  féltartályból átrepülne az  $R''$  féltartályba, ezt megakadályozza a csapóajtó bezárásával; ha viszont  $R''$ -ből repülne át egy gázatom  $R'$ -be, ezt megengedi a csapóajtó kinyitásával. Ily módon csupán a csapóajtó ügyes mozgatásával a gáz teljes  $R$ -beli mennyiségét át tudja terelni az  $R'$  féltartályba (nyilván kezdetben a két féltérben a gázmennyiség egyenlő). Vagy *alkalmazhatja azt az elvet*, hogy  $R'$ -ből  $R''$ -be csakis a nagy sebességű gázatomokat, míg fordítva csakis a kis sebességűeket engedi átrepülni. Ily módon megint mindössze a csapóajtó ügyes mozgatásával, tehát elvben elhanyagolható munkavégzéssel az  $R''$  féltartályban összegyűlő gáz forróbb lesz, mint az  $R'$ -ben gyülekező (nyilván kezdetben az egyes féltérbeli gázok hőmérsékletei megegyeznek).

Mindkét esetben az aktív megfigyelő ügködése fizikai sőt hétköznapi tapasztalatainkkal is éles ellentétben álló eredményre vezet. Emiatt is a *Maxwell* által kigondolt ágenst a fizikai irodalom *Maxwell-démon* néven kezdte el emlegetni. Pontosabban fogalmazva, mivel úgy tűnik, hogy a klasszikus mechanika törvényeinek egyike sem sérül a Maxwell-démon tevékenysége során, az általa megvalósított helyzet fizikailag nem lehetetlen, „mindössze” *rendkívül valószínűtlen*: tevékenységével durván megsérti a termodinamika *második főtételét*. Nagyon általánosan fogalmazva ez a mindennapi életünket tk. leginkább befolyásoló mély észrevétel, tapasztalati elv azt mondja ki, hogy egy zárt rendszer „belső rendezetlensége”: un. *entrópiája* nem csökken az idő múlásával. Márpedig a Maxwell-démon tevékenységével *rendet teremt* a gáztartályban, pl. fel tudja melegíteni a gáz egyik felét és lehűteni a másikat stb. (ha tevékenységét felfüggeszti, akkor a hőmérsékletek hamarosan újra kiegyenlítődnek stb.). Éppenséggel a második főtétel a fenomenológikus termodinamika egyetlen – ugyanakkor legmélyebbnek tűnő – törvénye, amelyet mindmáig nem sikerült bizonyítani a kinetikus gázelméletből, sőt bármilyen ismert fizikai elvből kiindulva sem. Másképpen fogalmazva: minden bizonnyal annak okát, hogy egy nagyméretű fizikai rendszer miért fejlődik az időben mindig éppen úgy, hogy entrópiája nem csökken – és ami általában makroszkopikus tulajdonságainak egyetemes időbeli leromlását: öregedését eredményezi – nem kereshetjük a rendszer viselkedésének részleteiben. A második főtételben valamiféle holisztikus, csakis nagy rendszerek egészére jellemző de ugyanakkor mégis elemi, irreducibilis, primordiális természettörvény nyilatkozik meg: a világ történései egyöntetűen mindig az egyre rendezetlenebb, vagyis egyre tipikusabb, egyre valószínűbb helyzetek felé vezetnek. E történések sorozata konstituálja magát az időt mely tehát olyan szerkezetű, hogy a jelen felől tekintve a múlt rendkívül valószínűtlen helyzetek sorából áll míg a jövőt nagyon valószínű, tipikus lehetőségek népesítik be.<sup>5</sup> A második főtétel tanulmányozása azért is kifejezetten nehéz, mert valahogyan kapcsolatban áll az idő természetével, annak mibenlétével is és ez legalább *Szent Ágoston* óta elismerten a legbonyolultabb kérdések egyike.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> A modern információelmélet szerint a valószínűtlen események információ tartalma nagy, míg a valószínűké kicsi; ezért *Carl F. von Weizsäcker* felveti, hogy a második főtétellel megmagyarázható miért lehet emlékezni a múltra, míg a jövőre nem lehet.

<sup>6</sup> „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).

Mondhatnánk, hogy egy olyanféle szélsőséges gondolat kísérlettel, beteges gondolkodási anomáliával, száraz akadémikus paradoxonnal, mint a Maxwell-démon nem kell foglalkozni. Viszont mind az élettelen, mind az élővilágban sok olyan múltbeli tény, jelenleg is zajló folyamatot stb. ismerünk, melyek teljesen valószínűtlenek a „józanész” szempontjából, így fennállásukra a Maxwell-démon árnyéka vetül. Rendkívül valószínűtlen múltbeli eseményekre példa lehet az Ősrobbanás vagy a földi élet keletkezése ill. a döntő jelentőségű sikeres mutációk az élet története során; nagyon valószínűtlen de ugyanakkor hétköznapi folyamatokra pedig az enzimek működése az élő szervezetekben: ezek a „célszerszám-jellegű” molekulák szokatlan térbeli szerkezetükkel olyan életfontosságú kémiai reakciók sokaságának lezajlását teszik lehetővé, amelyek bekövetkezése általános kémiai-reakciókinetikai, termodinamikai szempontból teljesen irreális. Viszont az enzimek éppen ezen katalizációs tevékenységük folytán fokozatosan tönkremennek: talán mindössze időleges Maxwell-démonok, vagyis a második főtételt bizonyos időtartamokon túl nem tudják megsérteni. Mindenesetre az biztos, hogy viselkedésük eléggé „gyanús”.

Tehát a Maxwell-démon föntebb megfogalmazott legszikárabb, legkiélezettebb gondolkísérleti alakjában is tevékenységével „mindössze” az ismert fizika egyetlen, ám központi jelentőségű tapasztalati elvét, a második főtételt sérti meg akár tetszőlegesen hosszú időtartamokon keresztül is. Ez nagyon zavaró, hiszen működése során tk. semmi egetrengető dolgot nem csinál, tevékenysége egyszerűen csak valamilyen nagyon általános értelemben következetes, „értelemszerű”. Éppen ezért az elmúlt másfél évszázad során sok fizikus (pl. *Szilárd Leó*, *Léon Brillouin* stb.) kísérlete meg a legváltozatosabb megfontolásokkal feloldani a Maxwell-démon és a második főtétel közti feszültséget. Az egyik legérdekesebb megoldási javaslattal az IBM kutató-mérnök, az amerikai *Charles Bennett* állt elő 1982-ben. Mivel elképzelése a problémát egy egészen váratlan területtel, a mai nagyteljesítményű számítógépek működésének mély elvi kérdéseivel hozza kapcsolatba, itt röviden összefoglaljuk. Megoldási javaslata dolgozatunk szempontjából azért is tanulságos, mert remekül szemlélteti korunk egyre átfogóbb tendenciáját, miszerint bármilyen „értelmes” sőt akár a legtágabb értelemben vett szellemi tevékenységet is, egyre magától értetődőbben számítógépekkel modellezhetőnek kezdünk tekinteni.

*Bennett* legelső lépésként azt tisztázza, hogy pontosan mit is fog érteni „Maxwell-démon” alatt, vagyis megadja annak egy racionális-fizikai modelljét. Feltevése alapján a Maxwell-démon három egységből tevődik össze: (i) áll egy gyors mérőberendezésből, amely képes rendkívül sok, nagyságrendileg  $10^{23} \sim 10^{26}$  számú gázatom helyzeteit és sebességeit megfelelő pontossággal valahogyan megmérni; (ii) áll egy nagyteljesítményű de azért véges sebességgel operáló és véges kapacitású memóriával rendelkező számítógépes egységből, mely ezeket a mérési adatokat eltárolja, majd velük valós idejű műveleteket végez; (iii) végül áll egy gyors végrehajtó egységből, mely a démontól megkövetelt és a számítógépbe *algoritmusként beprogramozható* cselekvési elvet követve az eltárolt mérési adatok alapján a csapóajtó nyitás-zárását végzi a föntebbiek szerint. Irányítsuk figyelmünket a számítógépes egységre. Mivel a számítógépnek egészen elképesztő méretű adatsort kell kezelnie és ugyanakkor a memóriája véges, rendszeres időközönként elkerülhetetlenül meg kell szabadulnia a már fölösleges mérési adatoktól, vagyis *rendszeresen ki kell ürítenie a memóriáját*. Szintén az IBM-nél végezte számítógépek működésével kapcsolatos kutatásait egy másik mérnök, *Rolf Landauer* is 1961-ben, amikor *Neumann János* számítógépek energia felhasználásával kapcsolatos 1940-es évekbeli megfontolásait finomítva megfogalmazott egy sejtést, miszerint ha bármely számítógép memóriájából információt törölünk ki, akkor ez a művelet a számítógép ill. környezetének bizonyos mennyiségű entrópiánövekedését eredményezi. Ez a *Landauer-elv* néven ismert és azóta kísérletileg is igazolt jelenség független a számítógép felépítésének részleteitől és

fundamentális termodinamikai okokra vezethető vissza.<sup>7</sup> (A gyakorlatban ez az entrópiánövekedés hőenergia kibocsátásával történik meg és jelentős mértékben hozzájárul a számítógépek mindannyiunk által ismert melegedéséhez, ill. nagy energia fogyasztásához.<sup>8</sup>) Mindezek után *Bennett* érvelése egyszerűen az, hogy megmutatja: ha az entrópia változásának figyelembe vételét a gázzal kiterjesztjük a gázzal szoros kapcsolatban lévő Maxwell-démonra, pontosabban annak memóriájára is, akkor a második főtétel már nem sérül mert a memória kiürítéséből származó entrópiánövekedés mindig meghaladja a gáz entrópiájának csökkenését.

Kezdetben *Bennett* magyarázatát széles körben elfogadták és azt gondolták, ezzel véget értek a Maxwell-démon okozta álmatlan éjszakák. Ámde az 1990-es évek végén két ismert tudományfilozófus, *John Earman* és *John D. Norton* felhívták a figyelmet arra, hogy *Bennett* érvelése ördögi kört tartalmaz: ui. részleteit is tekintve már eléggé összetett gondolatmenetében egy ponton *felteszi*, hogy a démonra is érvényes kell legyen a második főtétel és csakis így tudja belátni, hogy a Landauer-elvvel kiegészített össz-entrópia-változások már eleget tesznek a második főtételnek. (A kritikát *Bennett* elismerte de továbbra is azt állítja, hogy mindössze a Landauer-elv bevonásával a paradoxon feloldható. )

Elgondolkodhatunk azon is függetlenül attól, hogy *Bennett* vázlatosan ismertetett feloldását elfogadjuk vagy sem: figyelembe véve a Maxwell-démon laplace-i előtörténetét, a kultúrtörténeti szituációt, de különösen *Maxwell* vallásos személyiségét, vajon modellezhető-e így az a tevékeny megfigyelő, amire-akire *Maxwell* eredetileg gondolhatott? Világosabban fogalmazva: *Bennett* gondolatmenetében az a további rejtett feltevés is szerepel, hogy a Maxwell-démon *cselekvési terve algoritmizálható*, vagyis hogy a Maxwell-démon mint *ami*, egy *Turing-géppel* modellezhető. Ez a démon főntebb ismertetett legegyszerűbb megfogalmazásainak cselekvési tervei esetében tényleg így is van viszont az algoritmizálhatósági feltevés csakis akkor evidens, ha elfogadjuk, hogy minden természeti folyamat algoritmikusan leírható. Ez egyáltalán nem nyilvánvaló pl. tudván, hogy az algoritmusok serege egy mindössze megszámlálhatóan végtelen halmazt alkot (tehát viszonylag kevesen vannak). Példaként ismét az enzimeket említhetjük, ezek működéséről annyit már biztosan tudunk, hogy ez bizonyos esetekben rendkívül nehezen, ha egyáltalán, algoritmizálható. Sőt ha megkockáztatjuk azt is, hogy a Maxwell-démon mint *aki*, eredetileg valamiféle laplace-i „értelmet”, vagy kifejezetten valamilyen szellemi entitást is megjeleníthetett, akkor az algoritmizálhatósági feltevés még problematikusabbá válik. Lehetséges-e, hogy a démon nem tipikus szempontok, felismerések stb. figyelembe vételével valamilyen egészen más módon „intuitív” cselekvési mód szerint, csupán cselekvésének *sajátos jellegével* mégis létre tud hozni rendkívül valószínűtlen helyzeteket? Amelyek esetleg megsértik a második főtételt is?

---

<sup>7</sup>És nagyon egyszerűen levezethető. Legyen adott egy  $N$  bit tárolására alkalmas memória. Egy ilyen tárolóegységnek  $2^N$  lehetséges  $\underbrace{0110\dots1}_N$  típusú állapota van és ezekből pontosan  $2^0 = 1$  vagyis egyetlen, a  $\underbrace{000\dots0}_N$  állapot felel meg az üres memóriának. Tehát ha a tárolóegységet kitöröljük, akkor ez a lépés annak entrópiáját  $k_B(\log 2^0 - \log 2^N) = -k_B N \log 2 < 0$  értékkel változtatja meg, vagyis *csökkenti* (itt  $k_B$  a Boltzmann-állandó). Ennélfogva a második főtétel szerint a tárolóegység környezetében az entrópia legalább  $k_B N \log 2$  értékkel kell *növekedjen*. Ha a memória hőmérséklete  $T$ , akkor ez az entrópiánövekedés általában  $k_B T N \log 2$  nagyságú hőenergia felszabadulását eredményezi. Innen  $N = 1$  esetén a *Landauer-elv* azt mondja ki, hogy 1 bit információ törlése legalább  $k_B \log 2$  J/K entrópiánövekedéssel jár ill. ezt  $T$  hőmérsékleten végre hajtva legalább  $k_B T \log 2$  J hőenergia szabadul föl. Ez utóbbi pl. szobahőmérsékleten kb.  $2,9 \times 10^{-21}$  J.

<sup>8</sup>A mai legfejlettebb architektúrájú mikroprocesszorokban is sajnos ez a hőfelszabadulás minden egyes elemi logikai lépésnél az elméleti minimumnak még kb.  $10^{12}$ -szerese. Éppen emiatt ezeket úgy fejlesztik, hogy működésük során a lehető legkevesebbszer töröljék saját hipergyors elérési ún. cash-memóriájukat.



Hadd folytassam egy személyes élmény fölidézésével. 2021 tavaszának egyik napján unalomból betekertem biciklivel az egyetemre. Éppen tombolt a korona-járvány, de az ürességtől kongó egyetemi kampuszon nagy meglepetésemre egyedül bolyongó tanszéki kollégámmal találkoztam össze. Mivel a lényegében szünetelő oktatás miatt felszabadult tengernyi idővel hirtelen nem tudtunk mit kezdeni, ezen a friss-ropogós, szeles-napsütéses-felhőátvonulásos de valahogyan indiszponált áprilisi késő délelőttön az egyik épület előtt álldogálva hosszasan beszélgetni kezdtünk erről-arról. Érdeklődési-kutatási területeinket ismerve számítottam rá, és hamarosan be is következett, hogy a magasabb dimenziós gömbök ún. egzotikus differenciálható struktúrái (jelen dolgozat szempontjából nem lényeges, hogy ez mit takar) is szóba kerültek. Éppen ekkor hirtelen arra lettem figyelmes, hogy a kollégám háta mögötti úton egy autó halad el, amelynek a rendszámában a 992-es szám szerepel, majd nyomban utána egy másik is feltűnt, rendszámán a 991-gyel.<sup>9</sup> Azonnal meg is jegyeztem: milyen érdekes pillanat ez, ui. a 992 éppen megegyezik az egzotikus differenciálható struktúrák számával a 10 dimenziós gömbön.

Van-e ebben a történetben bármi érdekes? Valószínűleg mindenki fel tudna idézni egy, vagy akár több hasonló furcsa történetet is, ami *személyesen éppen vele* esett meg: a mindennapok szokványos működését tekintve látszólag nem összekapcsolódó, de az adott pillanatnyi szubjektív szituációt tekintve *értelmesen összetartozó* események természetes, mindenféle erőlködéstől mentes *villanásszerű összeállását*. A történeteket szokatlan, meghökkentő, vagyis *valószínűtlen* jellegük kiváltotta fejcsóválással tudomásul vesszük (majd általában el is felejtjük). A dologra sokan felfigyeltek már korábban is az idők során tehát nem lehet túl ritka; pl. *Arthur Schopenhauer* így fogalmaz *Transzendente Spekulation über die anscheinende Absichtlichkeit in Schicksale des Einzelnen* (Transzcendens elmélkedés az egyén sorsának látszólagos szándékoltságáról) című 1851-ben megjelent értekezésében:

Eszerint az ember életének minden eseménye kétféle, egymástól gyökeresen különböző összefüggéstípusban áll: először is a természet folyásának objektív, kauzális összefüggésében; másodsor pedig olyan szubjektív összefüggésben, amely csak az azt megélt individuum vonatkozásában adott, és olyan szubjektív, mint annak saját álmai [...]. Az, hogy az összefüggés e két fajtája fennáll, és a nevezett esemény két egészen különböző láncolat tagjaként mindkettőbe mégis pontosan illeszkedik, és mindenki a saját drámájának hőse, ugyanakkor az idegen drámában is szerepet kap – mindez természetesen olyasmi, ami a felfogásunkat meghaladja, és csak a legcsodálatosabb *harmonia praestabilita* révén gondolható lehetségességnek.<sup>10</sup>

*Schopenhauer* fölismerte, hogy itt egy elsőrangú elvi problémáról van szó amelyet ő csak úgy képzelt megoldhatónak, hogy *Leibniz* felfogására utalt, miszerint a világ dolgai egy előre rögzített rend, *harmonia praestabilita* szerint rendeződnek el és csakis ez a merev statikus struktúra teszi lehetővé, hogy történeteink külső és belső folyamatai időnként összetalálkozzanak.

<sup>9</sup>Kb. 1990-2025 között a magyar autók ABC-123 típusú rendszámot viseltek.

<sup>10</sup>Idézi C.G. Jung in: *A szinkronicitás mint az akauzális összefüggések elve*, C.G. Jung Összegyűjtött Munkái 8, 445, Scolar, Budapest (2023).

*Carl Gustav Jung* (1875-1961) ismert svájci orvos, pszichológus az elsők között kezdte szisztematikusan tanulmányozni a jelenséget praxisának köszönhetően nagy tapasztalati esetanyagra támaszkodva. Hogy megkülönböztesse a mindössze kauzális, tehát szokványos ok-okozati láncolatokba illeszkedő történésektől, ezekre az eseményekre a *szinkronicitás*, vagyis (időbeli) egybeesés elnevezést javasolta. Finomít *Schopenhauer* merev felfogásán, tapasztalata szerint ui. ezek az események gyakrabban – de mint a fentebbi eset is mutatja messze nem mindig – következnek be lelki szempontból felfokozott, érzelmileg telített, kritikus szituációkban (ilyen lehet egy jelentős élethelyzet, egy rokon vagy ismerős halálesete stb.). Tehát nem lehetnek pusztán statikusak, kiváltásukhoz pl. „feszült lelki állapot” is szükséges lehet. Emiatt is kezdetben a szinkronicitást az un. paranormális lelki jelenségekkel hozták kapcsolatba. Következzék itt egy másik érdekes eset *Jungtól* amelyet *Über die Synchronizität* (A szinkronicitásról) c. 1951-es előadásában is megemlíti:

A példám egy fiatal hölgypáciens esete, aki minden kölcsönös igyekezetünk dacára pszichológiailag megközelíthetetlennek bizonyult. A nehézség abban volt, hogy a hölgy mindig mindent jobban tudott. Kiváló neveltetése ehhez alkalmas fegyvert is adott a kezébe: konkrétan egyfajta geometrikusan kifogástalan valóságfogalommal párosuló, pengeéles karteziánus racionalizmust. Tettünk ugyan néhány eredménytelen kísérletet, hogy végletes racionalizmusát kissé humánusabb szellemben enyhítsük, de végül már csak az a reményem maradt, hogy valami váratlan és irracionális dolog történik vele, olyasmi, ami megrepesztene azt az intellektuális üvegbúrát, amelybe a hölgy önmagát zárta be. Így egy napon ismét ott ültem vele szemben, háttal az ablaknak, hogy hallgassam szónoki tehetségét. Arról számolt be, hogy előző éjszaka olyan álmot látott, amely igen nagy hatást tett rá: *valaki egy arany szkarabeusszal (egy értékes ékszerrel) ajándékozta meg*. Amint ezt az álmát elmesélte, hallottam, ahogy mögöttem valami halkán koppan az ablakon. Megfordultam, és azt láttam, hogy egy meglehetősen méretes repülő rovar volt az, amely kívülről az ablaktáblának ütközött, nyilvánvalóan abbéli igyekezetében, hogy bejusson a sötét helyiségbe. Ezt különösnek találtam. Azonnal kinyitottam az ablakot, és még a levegőben megfogtam a beröppenő rovarot. Egy *scarabaeida* (*Cetonia aurata*), azaz közönséges rózsabogár volt, amelynek zöldarany színe a legközelebb áll az arany szkarabeuszéhoz. „Itt van a szkarabeusza” – mondtam páciensemnek, amikor átnyújtottam neki a bogarat. Ez az esemény éket vert a hölgy racionalizmusába és megtörte intellektuális ellenállását, így végül sikerrel folytathattuk a kezelését.<sup>11</sup>

Mindkét példában egy belső állapottal szinkronizálódik egy külső helyzet, azonban a fordított eset is lehetséges. Ez a szintén meglehetősen gyakori *dejà vu* („ezt már láttam”) különös érzése, amikor is egy megtapasztalt külső szituáció hirtelen azzal a pillanatszerű érzelmi benyomással jár, hogy a jelen helyzet egy már átélt esemény pontos megisméltődése. A benyomás éber állapotban, vagy egy álom során is kialakulhat (ez utóbbi esetben az álombeli benyomást egy álombeli helyzet váltja ki). Arról nem minden esetben vagyunk meggyőződve, hogy az esemény ténylegesen meg is történt, viszont a *dejà vu* egységes jellemzője, hogy a kérdéses eseményt határozottan múltbelinek érezzük (tehát egy *emlék* benyomását kelti és sosem azt, hogy meg *fog* történni). Egy *dejà vu* tapasztalat – a szinkronicitás effajta „fordított” megnyilvánulása – azért zavaró mert ellentmond egy fontos fizikai tapasztalatnak: a termodinamika második főtétele szerint múltbeli események pontos megisméltődése rendkívül valószínűtlen.

<sup>11</sup>in: C.G. Jung *Összegyűjtött Munkái* 8, 531-532, Sclar, Budapest (2023).



Wolfgang Ernst Pauli (1900-1958) Nobel-díjas osztrák-svájci fizikus, a kvantummechanika egyik atyja, először csak mint súlyos idegösszeroppanáson átesett páciens találkozott *Junggal* később viszont mint munkatársa be is kapcsolódott ezekbe a vizsgálódásokba. Habár *Jung* orvosi diplomával rendelkezett és magát legszigorúbban a természettudományos paradigma képviselőjének tekintette, karizmatikus, intuitív személyiségéből eredően több olyan esetleg kritikailag nem kelően végiggondolt vagy nem bizonyított ám rendkívül inspiráló és mély elgondolást fogalmazott meg pályafutása során, melyek bizonyos értelemben elszigeteltté tették őt az akadémiai világban. Ellenben *Pauli*, a befutott fizikus, hiperkritikus, feszült, szinte elviselhetetlen, depresszióra hajló „éjszakai” személyiségéről volt hírhedt; pl. tőle származik a megsemmisítő erejű *not even wrong* (német eredetiben *nicht einmal falsch*)<sup>12</sup> felkiáltás, amivel nem túl ritkán kollégái elméleteire mért csapást pillanatok alatt.<sup>13</sup> Ezért is nagyon meglepő *Pauli* felbukkanása *Jung* körül majd kitartó együttműködésük. Több mint két évtizeden át tartó levelezésük – amely általánosságban a jungi mélylélektan és a kvantumelmélet váratlan fogalmi párhuzamait járta körül – az egyre inkább szakterületek szervezetlen tömegévé szétforgácsoló XX. sz-i tudományos élet egyik legizgalmasabb szellemi párbeszéde volt két teljesen különböző tudományterület két teljesen különböző temperamentumú ám egyaránt nagyformátumú képviselője között.

Részben *Pauli* kitartó kritikájának köszönhetően a szinkronicitás fogalma a kezdeti paranormális területről eltolódott egy átfogóbb és neutrálisabb jelentés felé és ezáltal összehasonlíthatatlanul mélyebb, érdekesebb lett. Szintén sikerült elválasztani azoktól a pusztán fizikai ritka jelenségektől is, amelyeket a valószínűségszámítás pl. halmozódás (vagy csoportosulás, Poisson-klaszterizáció) néven ismer és a maga precíz módszereivel tanulmányoz. Így tehát a szinkronicitás meghatározása szerint *értelemszerű egybeesés*, vagyis egy bizonyos *belső* tehát pszichés állapot egy vagy több olyan *külső* tehát fizikai eseménnyel való egyidejűségét jelenti, amelyek a pillanatnyi szubjektív állapot értelemszerű párhuzamaiként jelennek meg és ami – adott esetben – fordítva is igaz. Ezt a főntebbi két példa ill. a fordított lehetőséget a *dejà vu* jelenség szemlélteti.

Közös jellemzőjük az, hogy egy kialakuló szubjektív helyzet mintegy *ráirányítja a figyelmet* a környező fizikai térben zajló egy vagy több eseményre – esetleg éppen azokra, amelyek a szubjektív állapot kialakulásában is szerepet játszanak; ezek az események amúgy jelentéktelenségük folytán esetleg messze elkerülnék, hogy észre vegyék őket. Minél hétköznapibb pszichés állapotban vagyunk, annál hétköznapibb fizikai eseményeket veszünk észre magunk körül, „semmi különös nem történik”. De mihelyst a lelkiállapot specializálódik, valamilyen erős hangulat nyomása alá kerülünk, miáltal a lelki tényező egyre nagyobb súllyal van jelen az adott szituációban és a psziché mintegy a „saját maga figyelmébe tolakszik”, az ennek megfelelő megfigyelési állapot is térben-időben kitágulhat: egyre szokatlanabb, ritkább eseményeket vehetünk észre a világból; ezek amúgy továbbra is tőlünk függetlenül is megtörténnének, csak elkerülnék hétköznapi figyelmünket. Az érzékelési kör kitágulása olyan mértékű lehet, hogy – habár a bemutatott két példában a fizikai párhuzam a közvetlen észlelési tartományban zajlott, ill. egy tipikus *dejà vu* jelenség által felidézett emlék dátuma elmosódott – ritkábban, de előfordulnak olyan szinkronisztikus események is, melyeknek pszichés ill. fizikai faktorai nagy térbeli vagy akár időbeli

<sup>12</sup>Magyarra úgy lehetne fordítani, hogy „még rossznak se jó”; vagyis egy gondolatmenet olyan szinten zavaros, hogy még oda sem jut el, hogy legalább hamis legyen.

<sup>13</sup>Ezzel a lelki alkattal lehet kapcsolatban a hírhedt *Pauli-effektus* is: ha belépett egy laboratóriumba, akkor az előzőleg fáradságosan beállított érzékeny mérőműszerek gyakran elhangolódtak, meghibásodtak, tönkrementek. *Pauli*t végül biztonsági okokból több laboratóriumból kitiltották. A második világáború éveit Princetonban, tehát az USA-ban töltötte de a Manhattan-tervben nem vett részt.

távolságban vannak egymástól és így határozottan akauzális ill. második főtételt sértő jelenségekként mutatkoznak meg (az ilyen esetek hitelessége persze több okból kifolyólag is egyre nehezebben ellenőrizhető). Ez felveti a tér és az idő pszichés relativizálásának lehetőségét. *Jung* így fogalmaz *Synchronizität als ein Prinzip akausaler Zusammenhänge* (A szinkronicitás mint az akauzális összefüggések elve) c. 1952-es dolgozatában:

A tér és az idő eredeti felfogás szerint (vagyis a primitíveknél) igencsak határozatlan dolgok. Csak a szellemi fejlődés során – mégpedig a mérés bevezetése révén – váltak „szilárd” fogalmakká. A tér és az idő önmagában *semmiből* áll. Hiposztazált fogalmakként csak a tudat diszkrimináló tevékenységéből jönnek létre és képezik a mozgó testek viselkedésének leírásához nélkülözhetetlen koordinátákat. *Ennélfogva lényegileg pszichés eredetűek*, és alighanem *Kant* is ezen okból érzett késztetést arra, hogy apriorikus kategóriákként fogja fel őket. Azonban ha a tér és az idő a testeknek a megfigyelő elme szükségszerűségei által létrehozott, látszólagos tulajdonságai, akkor az, hogy valamilyen pszichés feltétel relativálja őket, a legkevésbé sem csoda, hanem nagyon is lehetséges. Ez a lehetőség azonban csak akkor áll fenn, ha a psziché nem külső testeket, hanem *saját magát* figyeli meg.<sup>14</sup>

*Jung* kijelentéseit némileg árnyalja, hogy habár a tér és az idő valóban hosszú fogalmi fejlődés eredményei és szokásosan tapasztalt megjelenésükben biztosan tartalmaznak pszichés gyökereket (erről ma már számtalan pszichofiziológiai kísérlet szolgáltat meggyőző bizonyítékot), a modern fizika szerint a térnek és az időnek igenis létezhetnek objektív aspektusai is; pl. a már többször megemlített termodinamika második főtétele erre utal az idővel kapcsolatban.<sup>15</sup>

A szinkronicitás problémája tehát rendkívül összetett és a jelenségkör, mivel nem jól illeszkedik a laplace-i kauzális világgépbe, máig is keresi a helyét a hivatalos természettudomány palettáján.

### 3.

A tudományos világgépből a XVIII-XIX. sz-tól kezdve fokozatosan kiszoruló szellemi dimenzió a Maxwell-démonban, ill. a szinkronicitási jelenségekben olyan *megfigyelőként* tér vissza, amely fogalmi szempontból két nem könnyen leválasztható jellemzőjével: fizikailag megengedett de egyébként szabad *aktivitásával*, ill. *szubjektivitásával* okoz feszültségeket ebben a világgépben. Eddigi észrevételeinkkel arra teszünk kísérletet, hogy a Maxwell-démont, pontosabban annak legkevésbé megragadható de a maxwelli fölvetés mélyén azért jól kivehetően megbúvó „szellemibb” alakját, szinkronisztikus jelenségként közelítsük meg – ily módon mintegy kiegészítve, kikerekítve a korszellem sugallta mechanisztikusabb tárgyalásmódokat (l. pl. *Bennett*, főntebb).

<sup>14</sup>in: C.G. Jung *Összegyűjtött Munkái* 8, 453, Scolar, Budapest (2023).

<sup>15</sup>És az általános relativitáselmélet téridőre vonatkozó elgondolása is, miszerint ennek objektív megnyilvánulása geometriai görbülete amely gravitációs erőként jelentkezik. Viszont azon modern fizikai-matematikai törekvésekben amelyek éppen az általános relativitáselmélet összeegyeztetését kísérik meg a kvantummechanikával, mind gyakrabban vetődik fel annak a lehetősége, hogy a relativisztikus téridő mint struktúra mégsem fundamentális és a fizikai világ szövetét valójában valami egészen más, kvantumelméleti jellegű összefonódásrendszer alkotja.

Az első szinkronisztikus példában a fizikai oldalon valójában két dolog történt: a 992-es rendszámú autó után azonnal a 991-es rendszámú elhaladása. Éppen ilyen rendszámú járművek egymás utáni elhaladásának valószínűsége  $10^{-6}$  (vagyis 0,001%) tehát meglehetősen valószínűtlen volt, de semmiképpen sem csoda vagy lehetetlen; „szóbeszéd tárgya” is mindössze amiatt lett, mert egy megfigyelő észrevette. Ez pedig egy sajátos pszichés hangoltság, diszpozíció, szubjektív tényező fennállása, vagy úgy is mondhatnánk: a megfigyelő *pszichológiai síkon is adott jelenléte* következtében volt lehetséges (szinkronicitás). Könnyű átfogalmazni a történeteket a Maxwell-démon nyelvére: a városban (tartály) cirkáló autók halmazát (gáz) egy személy kíséri figyelemmel (démon), *akinek* „cselekvési terve” abból áll, hogy feljegyzi: elhalad-e egy 992-es után közvetlenül egy 991-es rendszámú autó. (Azt nem állítjuk, hogy ez egy „értelmes” cselekvési terv lenne).

Természetesen vetődik hát fel az alábbi lehetőség. Egyrészt a mai elméleti fizika egyik központi doktrínája, az *ergodikus hipotézis* azon várakozásunk precíz megfogalmazása, miszerint a természetben előbb-utóbb minden olyan esemény bekövetkezik, amely bekövetkezhet. E szerint a fizikai világ, a természet normális működése során megfelelően hosszú idő alatt rengeteg szokatlan de fizikailag megengedett történés is megvalósul, sőt a világ megtapasztalt arculatának kialakításában ezek esetleg kritikus szerepet is játszanak – effajta eseményeken keresztül nyilvánulhat meg a világban az a princípium, amelyet *Bergson* teremtő fejlődésnek nevez.<sup>16</sup> Másrészt ilyen események fölött az átlagos megfigyelő átlagos hangoltsága folytán általában elsiklik mert egyszerűen nem veszi észre azokat sajátos jellegük miatt – éppen emiatt tekinti ezeket esetleges rengetegségük ellenére is szokatlannak tehát valószínűtlennek.<sup>17</sup> De ha a megfigyelő szinkronisztikus hangoltsága következtében mégis észreveszi sőt megfelelő értelemben „össze is gyűjti” ezeket az eseményeket, akkor – visszautalva az első szakasz végén felvetett kérdésekre – ez a megfigyelő a démon egyfajta megnyilvánulásaként valószínűtlen helyzeteket „hozhat létre”. És ezen tevékenysége során semmi mást nem aknáz ki, mint sajátos világra-irányultságát mely sajátos belső hangoltságából ered és amelyet végül is szubjektivitása tesz lehetővé. Egy ilyen entitás tevékenysége annál inkább „érdekes”, „teremtő”, figyelme minél inkább állandó és mindenre kiterjedő, mindent-magába-foglaló, semmit-el-nem-kerülő; mondhatnánk minél univerzálisabb a szubjektivitása.

Összegzésképpen: ebben a dolgozatban a Maxwell-démon egy keletkezéstörténetét tekintve nem kizárható ám jelenleg elfedett szellemibb alakjára hívtuk fel a figyelmet. Felvetettük annak lehetőségét, hogy a világ normális működése is atipikus de nem lehetetlen helyzetek seregét állíthatja elő és a démon egyfajta – először *Berkely* által megfogalmazott – *esse est percipi* („létezni annyi mint megfigyelve lenni”) elv mintájára szinkronisztikus világra-hangoltságából eredő világra-figyelésével „erősítheti fel” és „szilárdíthatja meg” ezeket az új helyzeteket.

Etesi Gábor  
Budapest, 2024 január-november

<sup>16</sup>A princípium ill. általában az ergodikus hipotézis mindennapos megnyilvánulása lehet az alapja „az ördög nem alszik” szólásnak is; vö. pl. hogyan jellemzi *Goethe* Mefisztót a *Faustban*: „Az erő része vagyok, mely örökké rosszra tör, de örökké jót cselekszik.” stb.

<sup>17</sup>Fontos hangsúlyozni, hogy a valószínűségszámítás *Kolmogorov* óta fennálló matematikai jólmegalapozottsága nem jelenti azt, hogy rendelkezésünkre állna egy *a priori* módszer valemely konkrét empirikusan is kielégítő modell kiválasztására. Másként fogalmazva azt, hogy mi legyen maga a  $p$  valószínűségi mérték (vagyis mi legyen egy adott  $A$  esemény  $p(A) \in [0, 1]$  valószínűsége), végül is mi döntjük el a világra vonatkozó tapasztalatok, elvárások, kulturális konvenciók stb. stb. alapján. Nyilván azt nevezzük „jó” modellnek, amelyben a valószínűségek kielégítően előre jelzik az ismert tehát a *világból már észrevett* történés-osztályok egyes történéseinek relatív gyakoriságait.