

**Carlo Rovelli: Fehér lyukak. A horizonton belül. Park Könyvkiadó, 2024;  
ISBN 9789636330484**

„Mit látok, ha elképzelem, hogy egy fekete lyuk életét filmezem le, majd a filmet visszafelé vetítem le? Egy fehér lyukat. / Ha egy fekete lyuk az útja legmélyére érve visszapattan, és visszafelé halad az időben, mint egy visszapattanó labda, akkor... fehér lyukká változott...”

„A legszebb, amit megérhetünk, az élet titkának keresése. Ez az alapérzés van jelen az igazi művészet és tudomány bölcsőjénél. Aki ezt nem ismeri, aki nem tud csodálkozni, elámulni, az – mondhatni – halott, és szeme kialudt. – Albert Einstein”

*Mission impossible*: Elménk erejével, e félreeső bolygóról, minden fejlesztő igyekezetünk mellett is fogyatékos eszközeinkkel feltörni a kozmosz mérhetetlen gazdagságának trezorját, megismerni annak titkait – „Álmodni a lehetetlen álmot, megküzdeni a legyőzhetetlen ellennel, rohanni oda, ahová a bátor nem merészel, javítani a javíthatatlan tévedést, tovább próbálkozni, midőn karjaink már túl fáradtak, elérni az elérhetetlen csillagot – Ez a küldetésem, követni azt a csillagot, bármily reménytelen is, bármily távoli, készséggel pokolra szállni a szent ügyért...” – szól a La Mancha lovagja ikonikus dala, a megérteni akarástól hajtott ember pedig ősidők óta máig hozzáfűzheti: *Felfogni a felfoghatatlant!*

Az igazi lehetetlen küldetés feltárni, kiismerni, megérteni a majdhogynem végtelenül nagy és a végtelenül kicsi világát, a mind több különleges képződménnyel szolgáló kozmoszt, másrészt az elemi részecskékéét. Maradjunk most az előbbinél: a helyszíni felderítésre képes űrszondák még csak nemrég indult kutatási ágától eltekintve ez a kutatás szélsőségesen különleges módon folyik: nem tudjuk ténylegesen megtapasztalni tárgyait, csupán igyekezhetünk a távolból megfigyelni és kiértékelni-értelmezni a tőlük vagy róluk érkező jeleket. Jönnek hozzá még a kozmoszból érkező anyagi részecskék, némelyik gyakorlatilag szinte megragadhatatlan, mindehhez egyelőre csak sejtjük, hogy az érzékelhető anyagi világ csupán kis töredéke a sötét anyaggal és sötét energiával teljesnek – és ennyiből rakjunk össze egy valóban helytálló képet a világról, s annak törvényeiről, a tudomány igényességének megfelelő modern kozmológiát!

Hogy tovább bonyolódjék a helyzetkép, tudományos nézetek szerint az univerzum egyes részei a fénysebességnél nagyobb sebességgel tágulnak, ezért azokról már semmilyen jel sem érkehet hozzánk. (Köznapi ésszel felfogni is nehéz, de e tágulás nem „mozgás”, tehát nem érvényes rá a relativitáselméletből következő sebességkorlát, amely szerint semmi sem mozoghat gyorsabban a fénynél. Ez tökéletesen felfogható a matematikai modelltől adódó következtetésként, attól eltekintve viszont önmagában is egy hatalmas „miért”-et képez: miért szab gátat a természet a lehetséges sebességnek, s hogy még kacifántosabb legyen e probléma, miért tesz ebben kivételt pl. a kvantumösszefonódás „kísérteties távolhatással”?) Ilyen akadályokon át küzdünk a kozmosz számtalan sajátosságának megismeréséért.

Ha pedig sikerül kihüvelyezni az érzékelt dolgok tartalmát, gyakran szembekerülünk a lehetetlen feladattal: megérteni a felfoghatatlant!

Rovellit már jól ismerjük, számos könyvről szóltunk, amelyek a Park Könyvkiadónál jelentek meg: Hét rövid fizikalecke (Park 2016 – Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle 2016. 4. sz.); A valóság nem olyan, amilyennek látjuk (Park 2019– Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle 2020. 2. sz.), Helgoland – Hogyan változtatta meg világképünket a kvantumelmélet (Park 2022 – Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle 2023. 1. sz.).

*A LIBRI ajánlójából:* „[Rovelli] lenyűgöző utazásra hív a fehér lyukak világába. 'Kutatásaim néhány éve a fehér lyukakra, a fekete lyukak megfoghatatlan kistestvéire összpontosulnak. Ez a könyvem most a fehér lyukakról szól. [Kiindulásul] megpróbálom elmagyarázni, hogyan épülnek fel az égbolton százával látható fekete lyukak. Mi történik e különös csillagok peremén, a horizonton, ahol az idő már olyannyira lassulni látszik, hogy szinte megáll, a tér pedig mintha szétszakadozna. Aztán megyünk még lejjebb, még beljebb, a legbelsőbb régiókba, egészen odáig, ahol szétolvad az idő és a tér. Odáig, ahol mintha visszapatannánk az időben. Odáig, ahol a fehér lyukak megszületnek.” (Kiemelések a recenzió szerzőjétől.)

*Rovelliről a LIBRI:* „(1956) olasz elméleti fizikus. Jelenleg a marseille-i egyetemen működő Elméleti Fizikai Központ kvantumgravitációs kutatócsoportjának vezetője. 2019-ben a Foreign Policy beválasztotta a 100 legmeghatározóbb globális gondolkodó sorába.”

*A The Spectator kritikájából:*

„*Mi egy fehér lyuk?* Rovelli legújabb könyve arra bátorít, hogy más szemszögből nézzük a világot.

Az univerzumból szóló tudásunk talán legnagyobb helyesbítését Einstein felfedezése hozta el, hogy az idő épp oly relatív, mint bármi más, s hogy létezniük kell a világűrben pontoknak, amelyek terjedelme nulla és sűrűsége végtelen, ahol az idő megfagy, a tér a végtelenségig kitágul – fekete lyukak. Ma már tapasztalati bizonyítékaink vannak ezekre a csodákra, ám a tudományos módszer e megnyugtató bizonyossága ellenére a rejtély továbbra is megmarad. A bizonyítékok létezése azt jelenti, hogy a fizika elemzése, amelyet reprezentálnak, korrekt, ám továbbra is a jövő feladata elvégezni az ugrást a képzetben, amely szükséges, hogy magyarázni is tudjuk ezeket. Az ihlet e szükséges felvillanása a témája Rovelli e könyvének, amely felkínálja, hogy elvezet bennünket 'hasonlóképp, mint Vergilius vezette Dantét... a fekete lyuk horizontjának peremére, le annak legaljáiig, majd tovább, keresztül és felbukkanva egy fehér lyukban, ahol az idő megfordult, s innen felfelé, amíg ismét látjuk a csillagokat.' Ez mintegy összegzése jelenlegi munkájának azon az egyszerű hipotézisen, hogy 'egy fekete lyuk átalakulhat fehérre'. Rovelli ezt osztja meg velünk, már ha feladjuk 'vak bizalmunkat a megszokott eszmékben.. mert a világ különösebb és változatosabb, mint ahogy elképzeljük'.”

*A Goodreads ismertetőjéből:* „Egy megbabonázó utazás a fehér lyukak világába. Rovelli a karrierjét annak szentelte, hogy egyesítse az általános relativitáselmélet időtorzító eszméit a kvantummechanika zavarba ejtő bizonytalanságaival. A Fehér lyukakban betekintést ad a

tudós munka közbeni gondolkodásába. Nyomon követi a saját élvonalbeli kutatásának folytonos kalandját, kutatva, vajon minden fekete lyuk végül is fehér lyukká válik-e, ugyanolyan tömör objektumokká, amelyekben az idő iránya megfordul. Épp oly lenyűgözően ír a tudós munkájáról, mint az univerzum csodáiról. Megosztja velünk a félelmet, a bizonytalanságot, gyakran a csalódásokat, amelyek a feltevések és az ismeretlen világok kutatásával járnak, s a gyönyört, amelyet az ád, ha új eszméket váratlan következtetésekig üldözünk. *Vezetve minket a horizonton túlra, meghív, hogy tapasztaljuk meg a tudomány lázát és nyugtalanságát – és egy fehér lyuk különös, meghökkentő életét.*

*A könyv nyitányából:* „Kutatásaim néhány éve a fehér lyukakra, a fekete lyukak megfoghatatlan kistestvéreire összpontosulnak. Ez a könyvem most a fehér lyukakról szól. *Megpróbálok elmagyarázni, hogyan épülnek fel az égbolton százával látható fekete lyukak. Mi történik e különös csillagok peremén, a horizonton, ahol az idő már olyannyira lassulni látszik, hogy szinte megáll, a tér pedig mintha szétszakadozna. Aztán megyünk még lejjebb, még beljebb, a legbelsőbb régiókba, egészen odáig, ahol szétolvad az idő és a tér. Odáig, ahol mintha visszapattannánk az időben. Odáig, ahol a fehér lyukak megszületnek.*

ez a történet egy kaland története, amelynek még nincs vége. mint minden utazás kezdetén, most sem tudom biztosan, hová fog vezetni, ahogyan az első mosoly után sem kérdezhetem meg, hogy hol fogunk együtt élni... egy repülési terv van a fejemben: a horizont pereméhez érünk. belépünk. haladunk lefelé egészen a legaljáig. áthatolunk rajta – mint alicé a tükrön –, újra felbukkanunk a fehér lyukban. feltesszük magunkban a kérdést: vajon mi történik, ha az idő visszafelé halad? ... végre kiérünk, és meglátjuk a csillagokat. azok a mi csillagjaink. néhány pillanat telt csak el, együttvéve azonban mégiscsak sok millió év. vagy az az idő, amennyi alatt végigolvassuk ezt a nem túl vastag könyvet.

*tudsz követni?*” Igen, Rovelli e könyvében stilisztikailag és tördelésben is meglehetősen formabontó – talán ezzel is érzékelteti, milyen különös, bizonytalan világba viszi az Olvasót.

„Amikor Padovában a doktori cím megszerzésére készültem, Mario Tonin tanított nekünk elméleti fizikát: elmondása szerint a Jóisten minden héten olvassa a Physical Review D-t, a híres fizikai folyóiratot. Ha talál egy neki tetsző gondolatot, akkor ripsz-ropsz, máris átülteti a gyakorlatba, átrendezve az egyetemes törvényeket.

*Ha ez így van, édes Istenem, de jó is lenne, ha ezt tennéd: a fekete lyukakat változtasd végül fehérre...*” – Vagyis váljék valósággá az e könyv mondandója lényegét jelentő feltevés a fehér lyukak létéről és születéséről! Vallomás lehet ez arról, hogy e feltevés még távolabb áll a bizonyosságtól.

Rovelli rögvest az elején belecsap a minden bizonnyal legnehezebb kérdéskörbe: „*Mit jelent az idő visszafordítása* (nem túl bonyolult), és *mit jelent az, hogy az időnek iránya van* (ez már rázós kérdés).

„ha jössz velem, eljutunk egy fekete lyuk horizontjának a peremére, belépünk, leszállunk a mélyébe, *oda, ahol a tér és az idő feloldódik, ahol az idő visszafordul, s onnan kijutunk a jövőbe.*

induljunk hát el a fehér lyukak felé.” – Az idő iránya: az eddigié során, az elméleti fizikában nem igazán járatosak úgy tanultuk, hogy az idő iránya csak egy lehet, s ez a termodinamika törvényeiből, közelebről az entrópiából következik. Rovelli erről, Az idő rendje c. könyvében: „A téridő maga a gravitációs mező (és viszont). Olyasvalami, ami – ahogyan azt Newton megsejtette – önmagában létezik, anyag nélkül is. ... Az 'idő' változó az egyik a világot leíró számos változóból. A gravitációs mező egyik változója... a magunk léptékében nem érzékeljük a kvantumhullámszárait.. emiatt merev táblának gondolhatjuk el. Ennek a táblának vannak irányai: azt nevezzük térnek; *időnek meg azt, ami mentén nő az entrópia.*” Utóbbiról pedig azt tanultuk, hogy a zárt rendszer entrópiája külső ráhatás nélkül nem csökkenhet – az értők számára így következik az idő kötött iránya. Mindehhez egy eretnek megjegyzés: az idő mibenlétének kutatása, ahogy Rovelli is írja, az első filozófusok megjelenésétől végigkíséri a tudomány fejlődését: „Az idő misztériuma régtől fogva nyugtalanít bennünket, mély érzelmeket korbácsol fel. Olyannyira mélyeket, hogy filozófiák és vallások is táplálkoznak belőle.”

*A közelítés útja:* „Jöjjenek előbb a fekete lyukak: ha meg akarjuk érteni, mik a fehér lyukak, először tisztában kell lennünk azzal, hogy mik a fekete lyukak. Mi tehát egy fekete lyuk?” – És következik felfedezésük története, amelyet „egy valódi, közvetlenül róla készült kép” koronáz meg. „A fent látható képen a tényleges fekete lyuk, vagy pontosabban a *horizont – az a különös felszín, amely a lyukat körülveszi* –, a kis sötét korong a központi területen, a körülötte kavargó, izzó anyag közepén [táruel élénk].

A horizont lesz a kapu: azon lépünk be.”

Ami itt következik, voltaképp könnyen felfogható: ha az „utazó” belép egy fekete lyuk horizontján, a külső szemlélő számára térben és időben eltűnik, ő maga azonban ebből semmit sem tapasztal. Rovelli természetesen ehhez magyarázattal is szolgál. A lényeg összefoglalása, tőle: „*Az időtorzulások valóságosak.* Ha megközelítjük a horizontot, elidőzünk körülötte, majd visszafordulunk, akkor az az időtartam, amennyi eltelt aközt, hogy apánkat legutóbb láttuk, és aközt, hogy újra átöleljük, nekünk rövidebb lesz, mint neki. Ő többet fog öregedni, mint mi. *Ez az idő valóságos, a gravitáció miatti torzulása:* ahol a tömegvonzás erősebb, ott lassabban telik az idő, mint ott, ahol gyengébb. Ezt értjük azon a megállapításon, hogy a téridő 'görbül'. Az idő különböző helyeken tényleg másképpen telik.” (Amit persze már megtanultunk az einsteini relativitáselméletből, bár belegondolni így is szédítő.)

„Összegezve tehát, a horizont közelében az idő lelassul: ez úgy értendő, hogy akik messziről néznek bennünket, azok mintha lassított felvételt látnának. De az idő lelassul egy másik szempontból is: ha visszatérünk, akkor annak, aki távol maradt tőlünk, több idő telik el, mint nekünk. Abban a tekintetben viszont nem lassul, hogy ahol vagyunk, ott nem észlelünk semmiféle lassulást. A mi szemünkben az idő a megszokott módon telik.

Kedves olvasóm! Talán szívesen megkérdeznéd: Melyik az 'igazi' idő: az, amelyik a horizonton van, vagy az, amelyiket a távolból figyelő észleli? A válasz: egyik sem. *Einstein forradalma épp abban állt, hogy rájött: ennek a kérdésnek nincs értelme.* Mintha csak azt kérdeznénk, ki van 'fent' és ki 'lent' a Föld térségei közül. A Föld minden helye más-más 'felült' és más-más 'alult' határoz meg... Ezek különböző perspektívák. A világegyetem minden helyének éppígy megvan a maga ideje. A különböző helyek küldhetnek jeleket egymásnak – ilyen a galaxisunk központi fekete lyukából jött sípolás is –, csak hogy *az idő eltérő módon telik a különböző helyeken, és egyik idő sem valóságosabb a másíknál.* – Ha a mai felfogás szerint úgy vesszük, hogy a gravitáció jelensége voltaképp a téridő tömegek okozta helyi alakulásából keletkezik, már csak egy szellemi szaltó felfogni, hogy ebben a komplexumban a gravitáció viszont visszahat az idő folyására (még ha talán nehezen rakjuk is ezt össze azzal, hogy 'a téridő maga a gravitációs mező [és viszont]'. A felszínen ez felfogható – csak ne akarjuk érteni a hogyanját, mert az alighanem csak a matematikai egyenletekben fedi fel magát.

Az tehát, hogy az idő a horizont közelében lelassul, az idő különböző helyeken való folyása közötti kapcsolat természetéről mond valamit. Az idő csak egy távoli megfigyelő idejéhez képest áll meg a horizonton.

Ezek az idők közötti viszonyok alkotják a világ szövedékét. *Egyetemes idő nem létezik: a valóság az a hálózat, amelyet a jelek cseréjének lehetősége szőtt a sok helyi idő között. Közelről szemlélve a horizont normális hely. Messziről nézve azonban ott megáll az idő. Ezt értette meg David Finkelstein.*"

Itt egy érdekes művészettörténeti kitérő következik arról, hogy „[a] perspektíva felfedezése a reneszánsz korban egyszersmind a valóság perspektivikus mivoltának általános felfedezése is volt. Ha mindaz perspektivikus, amihez hozzáférünk, akkor képtelenek vagyunk egyetemes és abszolút igazsághoz jutni...” és „[a]ligha véletlen, hogy az első ember, aki megértette a fekete lyukak horizontját, nem egy kiváló, nagy technikai tudású matematikus volt, hanem olyasvalaki, akinek volt mondandója Albrecht Dürerről és a reneszánsz perspektíváról.”

*David Finkelstein*ről: „A Schwarzschild-megoldást adó egyenletrendszerrel azt is kiszámíthatjuk, mi történik, ha a horizont közelébe érünk. A számítás még csak nem is túlságosan nehéz. Az viszont némi időbe telik, amíg valaki elgondolkodik a megoldáson, és megérti, mit jelent. Elsőként David Finkelstein tette meg ezt a lépést, 1958-ban. Finkelstein hatalmas műveltségű tudós volt, érdeklődése kiterjedt a politikára, a művészetre, a zenére és a tudományra. Mély és merész gondolkodású volt. Azon ritka tudósok közé tartozott, akik új utakat nyitnak a gondolkodás előtt.”

*Felfogni a felfoghatatlant* – egy újabb szellemi kaland: „Hamarosan átlépjük a horizontot, és megfigyeljük a fekete lyukat belülről. Mielőtt azonban belépnénk, hadd tegyek egy kitérőt (ha akarjátok, nyugodtan átugorhatjátok).

Még csak megközelítettük, de nem léptünk be, és máris *találkoztunk valami zavarba ejtő dologgal: az idő relativitásával. Ez már beigazolódott tény, maga a gondolat azonban továbbra is nehezen fogható fel, talán ezt a legnehezebb megemészteni az előttünk álló egész úton.*

Danténak is, mielőtt átlépné a végzetes küszöböt, szembe kell néznie a legnagyobb nehézséggel, a három fenevaddal. Mint bármelyik vándor, ő is tudja, hogy az első lépést nehéz megtenni: letérni a megszokott ösvényről.”

*Hogyan születnek és válnak hihetővé olyan különös elképzelések, mint az idő relativitása? A magyarázat így indul: „Az ehhez hasonló, ugrásszerű fogalmi változásokkal nem a modern tudományokban találkozunk először. Egyáltalán nem. Mély áramlatot alkotnak, s az mindig is elősegítette a világról szerzett tudásunk gyarapodását. Valójában csakis így tanulhatunk: időről időre változtatnunk kell néhány, korábban magától értetődőnek tűnő alapfogadatlunkon. Nem a tanulás nehéz tehát, hanem túllépni a tanultakon.” –* Valamint azon, teszi hozzá, amit ösztönösen helytállóan tartunk. Itt Galilei úttörő könyvét hozza példának.

„Hogy eljussunk az idő relativitásának gondolatához, huszonhat évszázadnak kellett eltelnie, hasonló ugrásszerű váltásokkal. Villámgyorsan összefoglalom a gondolkodásnak ezt a két és fél évezredét...” – Érdekes, és igazán jól érthető. Ám „végen csattan az ostor”, ahogy itt is az ezt követőkben. „A Föld tömege lelassítja az időt a Föld közelében. A lassulás kicsi, de nagyon pontos órákkal megmérhető. Legszembetűnőbb hatása a jól ismert gravitáció, a nehéz tárgyak esése lefelé. Ez az idő lassulásának közvetlen következménye: némi matematikára van szükség ennek részletes bemutatásához, de *egy kő azért esik le, mert egyenes, az idő lassulása által torzított pályát követ a téridőben.*

Ez a döbbenetes gondolat – mármint az, hogy a gravitáció a tér és az idő torzulásának hatása – Einstein általános relativitáselmélete. Végtelenül egyszerű gondolat (akárcsak Anaximandroszé) (őt idézi az idáig vezetőkben – Osman P.), és meghökkentő is (akárcsak Anaximandroszé), és *kérdéssé tesz valamit, amit oly nyilvánvalónak véltünk:* azt ugyanis, hogy a fizikai tér geometriájának az iskolában tanult euklideszi geometriának kell lennie, és hogy az idő mindenütt egyformán telik.” – Végtelenül egyszerű? Megfogalmazásban igen, ám tartalomban, vagyis a miértben már korántsem. Érzékeltessük ezt egy formailag még egyszerűbb gondolattal, ugyancsak Einsteintől:  $e = mc^2$  – mindössze öt írásjel, hát nem egyszerű? Csak épp megérteni...

„Bent vagyunk a fekete lyukban, körülöttünk minden csupa rejtély. Némi odafigyeléssel rájöhethetünk, hogy egy fekete lyukban vagyunk, még pusztá körültekintéssel is. Itt a tér éppúgy gömb alakú, mint kívül, a horizont körül, de odakint megfelelő erősségű rakétákkal tágasabb szférákban mozoghatunk (még hozzá felfelé). Itt belül azonban, bármit teszünk is, egyre kisebb és kisebb gömbökben találjuk magunkat. A gravitáció olyan erővel húz bennünket lefelé, hogy semmit sem tehetünk: nem állíthatjuk meg a zuhanást. Így hát, mint Dante és Vergilius a Pokol köreiből, egyre csak ereszkedünk lefelé.

A tér geometriája a fekete lyuk belsejében, odalent, a vak világban, valóban hasonlít Dante Poklához. Gondolatok egy nagyon hosszú tölcsérré. *A fekete lyuk belseje minden pilla-*

*natban ilyen tölcsernek képzelhető el. Minél öregebb a fekete lyuk, annál hosszabb a belseje.* Egy nagyon öreg fekete lyuk belseje akár több millió fényév hosszúságú is lehet. (Ábrák illusztrálják a szavait – Osman P.)

Ha roppant nagy is, a tölcser hossza mégsem végtelen: *az alján még mindig ott van a csillag, amely magába zuhanva létrehozta a lyukat.*

*Honnan tudhatjuk mindezt, ha egyszer még senki sem ment oda megnézni, és jött vissza, hogy elmesélje nekünk? Onnan tudjuk, hogy Einstein egyenletei leírják a fekete lyuk belsejét. Amíg nem történik olyasvalami, ami miatt kételkednünk kellene bennük, megbízhatunk ezekben az egyenletekben: látványos és meglepő előrejelzéseik eddig mind beigazolódtak. (Ez a legkorrektebb tudományos álláspont: addig igaz a tétel, amíg hitelt érdemlően meg nem cáfolják. A matematika tudományának egyik szépsége, hogy tételei érvényességét az új felfedezések többnyire nem buktatják meg, csak szűkítik az értelmezési tartományukat. Ugyanez történt a kvantummechanika esetében is: tételei a makróvilágot csak George Gamow Mr Tompkins-könyveiben érintik, a köznapi valóságban ezt még nem tapasztaltuk, és elméletileg sem igazolták – Osman P.) Ezek az egyenletek a mi jó kalauzaink: mint az 'édes Vergilius – légy vezetőm, uram és mesterem' –, jelzik az utat lefelé, egyre lejjebb és lejjebb, a vakvilágba."*

Ilyentájt szoktuk megmutatni a tartalomjegyzék címei és alcímei segítségével a mondanó ívét – azonban Rovelli itt ebben is rendhagyó: a könyv három részében fejezetcímként pusztán számok szerepelnek, mindegyikben 1-től 7-ig. A szöveg is többnyire meglehetősen folytonos, fejezeteken át, e kis könyv – mindössze 156 oldal – egy folyamatos előadás. Az iménti idézet is egy fejezet végén áll, és a következőben folytatódik:

„Előbb vagy utóbb azonban még a legjobb kalauzok is megbízhatatlanná válnak; előbb vagy utóbb történik valami, ami kételyt ébreszt irántuk.

Odalent a mélyben, ahová zuhanunk, vannak olyan tartományok, amelyekben a téridő torzulása roppant erőssé válik. *Itt kvantumhatások megjelenésével számolhatunk, mint mindig, ha rendkívüliek a körülmények.* Einstein egyenletei nem bajlódnak az ilyen jelenségekkel: figyelmen kívül hagyják őket. Ezekben a tartományokban már nem bízhatunk meg bennük. Megválnak tehát tőlük.

Einstein egyenletei egy bizonyos ponton túl már valóban nem alkalmazhatók, mert ha továbbra is használjuk őket, működésképtelenné válnak. Elmélete, a mi biztos útmutatónk, cserben hagy bennünket. Ezeket a területeket – pontokat, csúcsokat, hajlatokat – *'szingularitásoknak'* nevezzük."

*Kapaszkodni tessék,* rázós rész következik (mintha az egész nem lenne az...)! „Természetesnek tűnhet az a gondolat, hogy a furcsa dolgok a tölcser legalján történnek, odalent, a fekete lyuk középpontjában (sajnos a szemléltető ábrákat nem tudjuk idehozni – Osman P.). Csakhogy nem ez a helyzet. A tölcser alján, a középpontban csak a zuhanó csillag van, nincsenek különálló, szinguláris tartományok. Ott az egyenletek még mindig érvényesek.

Hogyhogy? Mire belépünk egy nagyon öreg fekete lyukba, addigra a csillag nem fejezte be már jó régen a zuhanást? Egy magába omló csillag rendkívül rövid idő alatt egyetlen pontba tömörül össze. Miként lehetséges az, hogy még mindig ott van, a zuhanás állapotában, ennyi idő után?

*Az idő... az idő... – továbbra is ez a dolog lényege... A 'sok idő', egyvalaki számára nem jelent sok időt másvalaki számára. Ami nekünk 'sok idő', az nem 'sok idő' a csillagnak. Odalent, a lyuk legmélyén, az idő szélsőségesen lelassul. Odakint évmilliók telhetnek el, de odalent mindössze a másodperc töredéke... Nem, a csillag még mindig zuhan a hosszú tölcser alján, s az egyre csak nyúlik és keskenyedik, mert az ő ideje szerint még csak a másodperc törtrésze telt el. Nem ez az érdekes övezet; nem itt válnak végtelenné a torzulások; nem ezen a területen vesztek érvényüket Einstein egyenletei!*

*Az érdekes övezet a jövőben van. Apránként, ahogy a tölcser átmérője szűkül, a henger egyre jobban meggörbül, mint egy egyre szorosabban feltekert göngyöleg. Minél szűkebb a tölcser, annál erősebb a téridő torzulása. Mihelyt a torzulás eléri a végzetes 'Planck-skálát', azt a skálát tehát, ahol a tér és az idő már feltehetően kvantumos jelenségeknek van alávetve, már belépünk abba a régióba, ahol a kvantumos jelenségek megsértik Einstein egyenleteit.*

Ha figyelmen kívül hagyjuk ezeket a jelenségeket, és továbbra is Einstein elméletére hagyatkozunk, akkor az egyenletek azt jelzik előre, hogy a tér összelapulása a katasztrófaig folytatódni fog: a hosszú, vékony tölcser egyre hosszabb és vékonyabb lesz, mígnem végül egyetlen vonallá préselődik össze (és vele együtt mi is szétzúzódunk).

És azután? Ennyi volt, nem több. A tér összenyomódott, az idő véget ér. Falba ütköztünk. Ha pusztán Einstein elméletét tekintjük érvényesnek, akkor az időnek itt vége.

*A szinguláris tartomány, a kvantumos régió tehát a jövőben van, ott, ahol a tölcser egyetlen vonallá préselődik össze, és végtelen hosszú lesz. Nem a golyó középpontjában van, ahogy azt sajnos sokan továbbra is gondolják; az a fekete lyuk, ahol továbbra is csak a zuhanó csillagot találjuk.*

Másképpen fogalmazva, ha meg akarjuk érteni, mi történik egy fekete lyukkal, nem mozdatlan kúpként kell elgondolnunk, szingularitással a középpontjában. Úgy kell elképzelnünk, mint egy hosszú csövet, a fekete lyukat létrehozó csillaggal az alján: a cső hosszabbodik és összeszűkül, a jövőben pedig egyetlen vonallá nyomódik össze. *A szingularitás nem a középpontjában van, hanem utána. Ez a történet kulcsa. A fekete lyukba zuhanva ott végezzük.*

*„Egy fekete lyuk mélyét sem elérni, sem megfigyelni nem tudjuk, ha egyszer a fény nem tud kilépni belőle...*

Ám ha nem tudunk testileg utazni, akkor utazzunk az elménkkel. Képzeljük el, hogy nézőpontot váltunk, így másképpen szemlélhetjük majd a dolgokat.” Tudománytörténeti példák és módszertani fejtegetések következnek, természetesen az ókori görögökkel kezdve. Érdekes, tanulságos olvasmány.



„Hogyan ragadhatjuk meg fogalmilag másképpen a valóságot, hogy átlépünk az Einstein-egyenleték jósolta szingularitáson? Mi van a szingularitás túloldalán? Mi van Alice tükrén túl?

Mit kell otthon hagynunk, és mit kell magunkkal vinnünk, hogy elég könnyű legyen átlépünk a tükrön, az általános relativitáselmélet által megjósolt idők végezetén túlra?” – ezzel zárul az első rész. Szinte már otthon vagyunk a fekete lyukakban... Tehát jönnek a fehérek!

„Szóval mi is a fehér lyuk?

Ma már sok fekete lyukat látunk az égbolton, de – mint korábban szó volt róla – *már azelőtt is ismertük őket, hogy egyet is láttunk volna: Einstein egyenletei jóvoltából tudtuk, milyenek.* Sokan kételkedtek tényleges létezésükben, túl egzotikusnak tündek számukra, ugyanakkor olyan objektumok voltak, amelyeket az elméleti fizikusok – egy egyenlet megoldása révén – már ismertek.

*A fehér lyuk ugyanez: Einstein egyenleteinek megoldása. Ezért ismerjük jól őket is.*

Mi több, még csak nem is Einstein egyenleteinek egy másik megoldása: *ez pontosan a fekete lyukat leíró megoldás, csak éppen az idő ellenkező előjellel szerepel benne.* Ugyanaz a megoldás, de mintha visszafelé lenne vetítve az időben. A fehér lyuk úgy jelenik meg, ahogyan egy fekete lyuk festene, ha le tudnánk filmezni, és a filmet visszafelé néznénk meg.

Einstein egyenletei, mint a fundamentális fizika összes egyenlete, *nem jelölik ki az idő irányát, nem különböztetik meg a múltat a jövőtől:* azt jelentik ki, hogy ha egy folyamat lezajlik, akkor ugyanez a folyamat végbemehet az időben visszafelé is. (Rovelli végjegyzete ehhez: „Kétségeitek támadtak ezzel kapcsolatban? Várjátok ki a könyv harmadik részét. Ott fogjuk ezt tárgyalni” – Osman P.)

*Ha egy fekete lyuk az útja legmélyére érve visszapattan, és visszafelé halad az időben, mint egy visszapattanó labda, akkor... fehér lyukká változott.*

Amint belép a kvantum (vörös) tartományba, a cső megnyúlása és összeszűkülése abamarad, és visszapattan: rövidülni és szélesedni kezd.

A fekete lyukakba be lehet lépni, de nem lehet kijutni belőlük. A fehér lyukakból viszont csak kijutni lehet, belépni nem. Ami belépett a fekete lyukba, az mind áthaladhat a vörös tartományon, keresztül mehethet a fehér lyukon, majd onnan újból kiléphet.

Ugye egyszerű?

De vajon lehetséges, hogy ez megtörténjék? Ahhoz, hogy feketéről fehérre váltsunk, a térnek és az időnek át kell haladnia az ábra vörös tartományán. (Ábra: „Kép arról, hogyan alakul tovább a tér a fekete lyuk belsejében” – Osman P.) Ott mindenképpen meg kell sérteniük Einstein egyenleteit. Talán csak egy rövid pillanatra, a visszapattanás pillanatában, de meg kell sérteniük őket.

Hogy Einstein egyenletei sérülnek, az várható: azzal számolunk, hogy a kvantumos hatások már a szingularitás elérése előtt működésbe lépnek. De vajon lehetővé tesznek egy ilyesfajta visszapattanást?

A fizikusok jól ismerik az atomok, az elektronok, a fény, a lézerek kvantumfizikáját... de *itt a tér és az idő kvantumfizikájáról van szó.* (A tér és az idő kvantumfizikája végképp kiüti a szegény laikus felfogóképességét – Osman P.)

És épp emiatt érdekelnek olyan nagyon a fekete és a fehér lyukak. Egész életem azzal telt, hogy megpróbáltam alaposabban megérteni épp a tér és az idő kvantumos vonatkozásait. Törekedtem annak a fogalmi struktúrának a megragadására, amelyre szükségünk van a tájékozódáshoz, ha egyszer a tér és az idő kvantumos szerkezetű. Ez az én nagy szerelmem.”

Rovelli szól az alagúthatásról, amely ugyan önmagában is hihetetlennek tűnik, ám számomra félvezetőeszközünk épp annak alapján működik. Majd így folytatja:

„A tér és az idő kvantumos tulajdonságai révén a fekete lyuk belseje tehát a szingularitáson túlrá ’ugorhat’, holott a klasszikus egyenletek szerint az idő megállna. Itt nem egy részecske ugrik, hanem maga a téridő. A téridő ugrása nem térben és időben történik. Ez a jelenség nem térbeli és nem is időbeli: kvantumos átmenet a tér egyik konfigurációjából egy másikba. A hurok-kvantumgravitáció elmélete ilyen típusú kvantumos átmeneteket ír le: az ugrást a tér egyik konfigurációjából a másikba.”

*A zárófejezetből:* „Ha a kezdeti univerzumban vagy a világegyetemnek az ősrobbanás előtti szakaszában sok fekete lyuk keletkezett, és azok mára elpárologtak, akkor lehetséges, hogy ebben a pillanatban is milliósámra lebegnek az égbolton ezek a gramm törtészét nyomó, láthatatlan szemcsék. (A fehér lyukakról beszél – Osman P.)

vajon valóban léteznek?

ki tudja? a történet, amelynek megírásához nekigyürköztem, és e sorokban igyekeztem elbeszélni, majd átírásukkal többször nekiduráltam magam, még korántsem ért véget. felgöngyölítése még tart. szembenézünk a rejtéllyel. a sötétben próbálunk meg tájékozódni, és értékelni a jelzéseket.

ahogy évtizedekkel ezelőtt történt a tejútrendszer középpontjában levő fekete lyukkal, amelynek sípoló hangját amerikaiak milliói hallották 1933. május 15-én este, bár senki sem tudta, mi az, *talán ezek az apró fehér lyukak az égbolton már rég megmutatkoztak nekünk, csak nem ismertük fel őket:* a csillagászok már régóta megfigyelték, hogy a világegyetemben titokzatos, láthatatlan por nyüzsög, s csak a gravitációja révén mutatkozik meg. „sötét anyagnak’ nevezték el.

a sötét anyag egy része talán milliárd és milliárd ilyen kicsiny, könnyű fehér lyukból állhat; ezek megfordítják a fekete lyukak idejét, de nem túlságosan, és könnyedén lebegnek a világegyetemben, mint a szitakötők...”

*Dr. Osman Péter*