

A NAGY TERV



A NAGY TERV

STEPHEN HAWKING
ÉS LEONARD MLODINOW

AKKORD KIADÓ
Budapest, 2011

Az eredeti mű címe:
Stephen Hawking – Leonard Mlodinow
The Grand Design
Bantam Books, New York, 2010

Fordította: Both Előd

Lektorálta: Szabados László

Szerkesztette: Oláh Judit

Copyright © 2010 by Stephen W. Hawking and Leonard Mlodinow
Original art copyright © 2010 by Peter Bollinger
Cartoons by Sidney Harris, copyright © Sciencecartoonsplus.com, 2010
Hungarian translation © Dr. Both Előd, 2011
Hungarian edition © Akkord Könyvkiadó, 2011

Minden jog fenntartva! A könyv egészének vagy részeinek bármilyen elektronikus vagy mechanikai eljárással történő másolása, beleértve a fénymásolást is, kizárólag a jogtulajdonos előzetes beleegyezésével lehetséges.

ISBN 978-963-252-055-1

Kiadja az Akkord Kiadó Kft.
Felelős kiadó: Földes Tamás
Felelős szerkesztő: Várlaki Tibor
Tördelés, borítóterv: Malum Stúdió
Nyomta és kötötte az Alföldi Nyomda Zrt., Debrecen
Felelős vezető: György Géza vezérigazgató

A könyv kizárólagos terjesztője a Talentum Kft.
Cím: Törökbálint, DEPO II
Telefon: 06-23-332-105
Fax: 06-23-232-336
E-mail: talentum.nagyker@t-online.hu

 **magyar**
nyomdaipari termék
NYOMDA ÉS PAPÍRIPARI SZAKSZÉK

TARTALOM

1 • A létezés rejtélye
8

2 • A törvény uralma
17

3 • Mi a valóság?
43

4 • Alternatív történelmek
68

5 • A mindenség elmélete
94

6 • Kiválasztjuk a mi Világegyetemünket
135

7 • Szinte már csoda
162

8 • A nagy terv
185

Kislexikon
199

Köszönetnyilvánítás
205

Mutató
207

STEPHEN HAWKING TOVÁBBI KÖNYVEI

Az idő rövid története (A Brief History of Time)

Az idő még rövidebb története (A Briefer History of Time)

Einstein álma (Black Holes and Baby Universes and Other Essays)

A Világegyetem dióhéjban (The Universe in a Nutshell)

GYEREKEKNEK

George kulcsa a rejtélyes univerzumhoz (George's Secret Key to the Universe)

(társszerző: Lucy Hawking)

George kozmikus kincsvadászata (George's Cosmic Treasure Hunt)

(társszerző: Lucy Hawking)

LEONARD MLODINOW TOVÁBBI KÖNYVEI

Az idő még rövidebb története (A Briefer History of Time)

Részeg bolyongás (The Drunkard's Walk)

Eukleidész ablaka: a geometria története a párhuzamosoktól a hipertérig (Euclid's Window:

The Story of Geometry from Parallel Lines to Hyperspace)

Feynman szivárványa: szépség a fizikában és az életben

(Feynman's Rainbow: A Search for Beauty in Physics and in Life)

GYEREKEKNEK

The Last Dinosaur (társszerző: Matt Costello)

Titanic Cat (társszerző: Matt Costello)



1

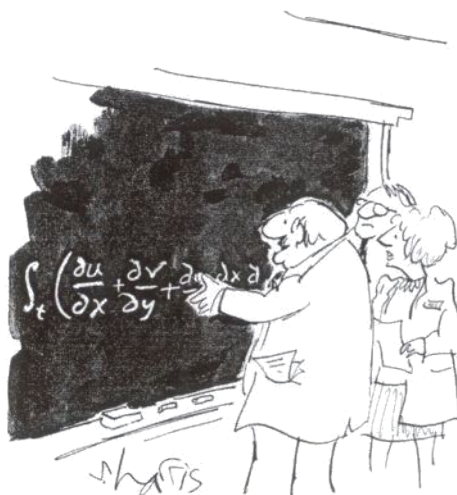
A LÉTEZÉS REJTÉLYE

M

I, EMBEREK, MINDANNYIAN CSAK RÖVID IDEJE létezőnk, és ez idő alatt az Univerzum egészének csak kis részét tudjuk megismerni. Az ember azonban különös faj. Kíváncsiak vagyunk, válaszokat keresünk. Az emberek, akik ebben a hol szelíd, hol durva világban élve a fejük fölé boruló égboltra szegeznek tekintetüket, egy sor kérdést tesznek fel maguknak. Miként érthetjük meg azt a világot, amelynek részei vagyunk? Hogyan viselkedik az Univerzum? Milyen a valóság természete? Honnan ered mindaz, amit látunk? Szükség volt-e a Világegyetemben teremtőre? Legtöbbünk nem sokat tépelődik ezeken a kérdéseken, de néha szinte mindenkiben felmerülnek.

Hagyományosan ezek a filozófia körébe tartozó kérdések, *de a filozófia halott*.¹ A filozófia nem tartott lépést a modern természettudomány fejlődésével, legfőbbképpen a fizikával szemben. Ezért aztán a természettudósok váltak a felfedezés fáklyavivőivé a tudás megszerzéséért folyó küzdelemben. Könyvünk célja, hogy a fenti kérdésekre olyan válaszokat adjunk, amelyek összhangban vannak a legújabb felfedezésekkel és az elméleti fejlődéssel. Ezek a válaszok új képet vázolnak fel a Világegyeterről és a benne elfoglalt helyünkről. Ez a kép nagyon eltér a hagyományostól, de még attól is, amelyet egy vagy két évtizeddel ezelőtt rajzoltunk fel. Ennek ellenére a világról alkotott új képünk első ecsetvonásai csaknem egy évszázaddal ezelőtt kerültek a vászonra.

¹ Vettem a bátorságot, és visszaírtam a magyar fordításból szándékosan kihagyott részmondatot. Angol eredeti: *Traditionally these are questions for philosophy, but philosophy is dead.* (E)



„... És ez az én filozófiám.”

A Világegyetemről alkotott hagyományos felfogás értelmében a testek pontosan meghatározott pályákon mozognak, és egyértelműen leírható történelmük (történetük) van. Bármely pillanatban megadhatjuk pontos helyüket. Ez az eljárás a hétköznapi élet céljaira elegendően sikeres, az 1920-as években azonban megállapították, hogy ez a „klasszikus” kép nem képes számot adni az atomi és szubatomi méretek világában megfigyelhető, látszólag bizarr viselkedésről. Éppen ezért egy új, *kvantumfizikának* nevezett fogalmi rendszert kellett felállítani. A kvantumelmélet figyelemre méltóan pontosnak bizonyult, amikor az említett mérettartományokban lezajló események leírására használták, ugyanakkor a mindennapi életünk makroszkopikus világára alkalmazva pontosan visszaadta a régi, klasszikus elmélet előrejelzéseit. Mindamellet, a kvantumfizika és a klasszikus fizika a fizikai valóság egymástól merőben eltérő felfogásán alapulnak.

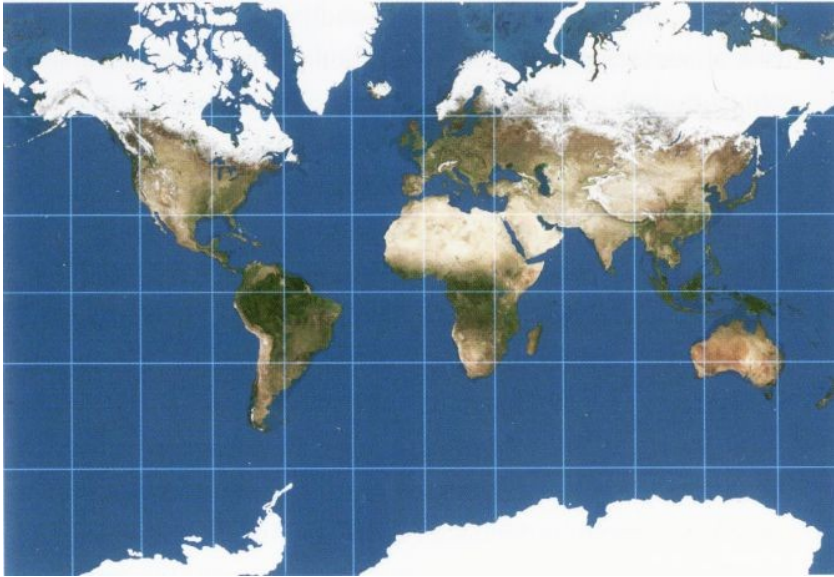
A kvantumelmélet több különböző módon is megfogalmazható, ám a legötletesebb leírást minden bizonnyal Richard (Dick) Feynman adta. Ez a színes egyéniség a Kaliforniai Műszaki Egyetemen dolgozott, de éjjelenként az utca végén működő éjszakai bárban bongón (bongódobon) játszott. Feynman szerint valamely rendszernek nemcsak egyetlen történelme van, hanem minden lehetséges történelme is. Amikor majd választ keresünk a feltett kérdéseinkre, részletesen elmagyarázzuk Feynman tárgyalásmódját, sőt, alkalmazni is fogjuk annak az elképzelésnek a vizsgálatára, amely szerint Világegyetemünk történelme sem egyetlen történelem, ráadásul a Világegyetem még csak nem is létezik mindentől függetlenül. Ez még sok fizikus számára is merész elgondolásnak tűnik. Valójában, napjaink természettudományának sok fogalmához hasonlóan ez is ellentmondani látszik a józan észnek. A józan ész azonban a mindennapi tapasztalatokon alapul, nem pedig azon a képen, amit az Univerzumról a technika csodái segítségével kapunk, amelyekkel mélyen behatolhatunk az atomok belsejébe vagy a Világegyetem távoli múltjába.

A modern fizika kialakulása előtt uralkodó általános felfogás értelmében a világra vonatkozó minden tudásunkra közvetlen megfigyelések útján tehetünk szert, a dolgok pedig olyanok, amilyeneknek látszanak, vagyis amilyeneknek érzékszerveinkkel felfogjuk őket. A modern fizikának a Feynmanéhoz hasonló, a hétköznapi tapasztalatokkal összeütközésben álló elgondolásokon alapuló látványos sikerei azonban megmutatták, hogy nem ez a helyzet. A valóságról alkotott naiv kép nem egyeztethető össze a modern fizikával. Ezen paradox helyzetek kezelhetősége érdekében elfogadunk egy olyan megközelítést, amelyet *modellfüggő realizmusnak* nevezünk. Ez azon az elképzelésen alapul, mely szerint az agyunk úgy értelmezi az érzékszerveinkből jövő jelzéseket, hogy azok felhasználásával modellt alkot a világról. Ha egy ilyen modell sikeresen magyarázza a

történeteket, akkor hajlunk arra, hogy ezt a modellt, illetve annak elemeit és a modellt alkotó fogalmakat tekintsük a valóságnak vagy az abszolút igazságnak. Ugyanazt a fizikai helyzetet azonban többféleképpen is modellezhetjük, és e modellek mindegyike eltérő alapelemeket tartalmaz, és különböző fogalmakból indul ki. Ha két ilyen fizikai elmélet vagy modell pontosan ugyanazokat az eseményeket jelzi előre, akkor egyiket sem tekinthetjük valóságosabbnak a másiknál, sőt, tetszésünk szerint választhatunk a modellek között, és azt használhatjuk, amelyik számunkra kényelmesebb.

A tudomány történetében nyomon követhetjük az Univerzumot egyre jobban leíró elméletek és modellek sorozatát, Platóntól Newton klasszikus elméletén keresztül a modern kvantumelméletig. Magától értetődő a kérdés: elérkezik-e ez a sorozat egyszer valamilyen végpontig, a Világegyetem valamiféle végső elméletéig, amely minden erőt és kölcsönhatást tartalmaz, megjósolja minden általunk elvégezhető megfigyelés eredményét, vagy pedig minduntalan új és egyre jobb elméleteket fedezünk fel, de olyant soha, amelyiket ne lehetne tökéletesíteni? Erre a kérdésre egyelőre nem tudunk határozott választ adni, van azonban egy jelöltünk a mindenség végső elméletére, ha egyáltalán létezik ilyen: ez az úgynevezett *M-elmélet*. (Az elnevezés Edward Witten-től származik. *A szerkesztő megjegyzése.*) Az M-elmélet az egyetlen olyan modell, amelynek mindazon tulajdonságai megvannak, amelyek véleményünk szerint a végső elméletre jellemzőek. Ez az az elmélet, amelyen további fejtegetéseink legnagyobbbrészt alapulnak.

Az M-elmélet nem a szokásos értelemben vett elmélet. Valójában különböző elméletek egész családjáról van szó, amely elméletek mindegyike a megfigyelések jó leírását adja, de mindegyik csak a fizikai állapotok bizonyos tartományában.



1. Világtérkép – Talán a Világegyetem leírásához ugyanúgy több, egymást átfedő elméletre van szükség, mint ahogy a Földet is csak több, egymást átfedő térképen tudjuk ábrázolni.

Kicsit olyan a helyzet, mint a térképek esetében. Mint tudjuk, nem ábrázolhatjuk a Föld teljes felszínét egyetlen térképen. A világtérképek esetén legelterjedtebb Mercator-vetület az Egyenlítőtől távol eső északi és déli területeket a valóságosnál nagyobbak mutatja, az Északi- és a Déli-sarkot pedig egyáltalán nem ábrázolja. Ha az egész Földet valósághűen szeretnénk ábrázolni, akkor különböző típusú térképeket kell használnunk, amelyek mindegyike meghatározott területet ábrázol. Az egyes térképek átfedik egymást, és ezeken a helyeken ugyanazt a tájat ábrázolják. Hasonló a helyzet az M-elmélettel. Az M-elméletcsaládot alkotó különböző elméletek nagyon eltérő megjelenésűek lehetnek, mégis mindegyiket úgy tekinthetjük, mint amelyik ugyanannak az alapvető elméletnek egyik vagy másik aspektusa. Ezek az elmélet olyan változatai, amelyek csak korlátozott körben

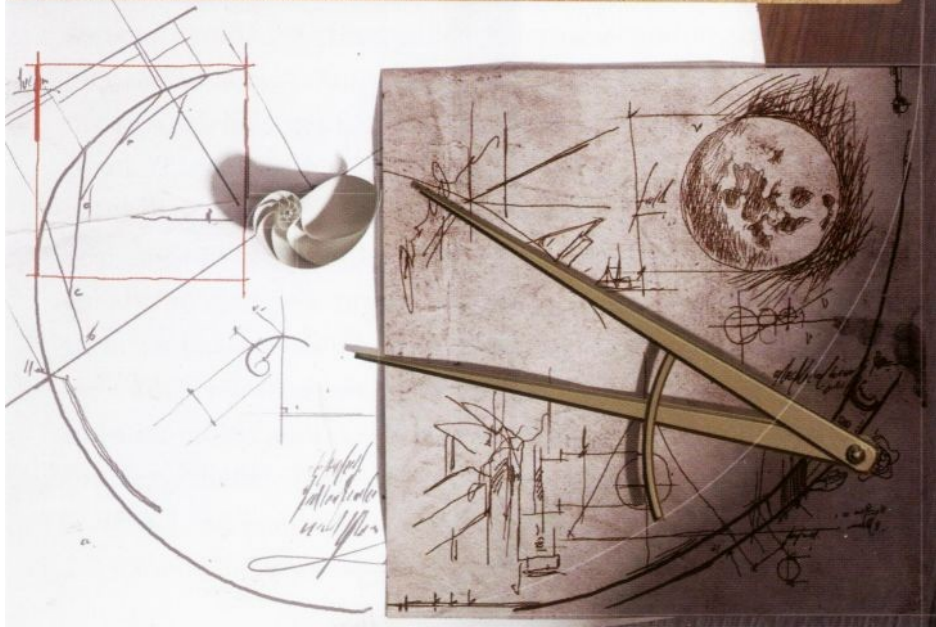
alkalmazhatók – például amikor valamely fizikai mennyiség, mondjuk az energia értéke kicsi. Akárcsak a Mercator-féle vetület egymást átfedő térképei esetében, ahol a különböző változatok megfelelő részei átfedik egymást, ott mindkét elmélet ugyanazokat a jelenségeket jósolja meg. Éppúgy, ahogy nincs olyan sík térkép, amelyik megfelelően ábrázolná a Föld egész felszínét, ugyanúgy, nincs egyetlen olyan elmélet sem, amelyik minden helyzetben megfelelően írná le a megfigyelések eredményét.

Elmondjuk, miként ad válaszokat az M-elmélet a teremtés kérdésére. Az M-elmélet szerint a mi Világegyetemünk nem az egyetlen univerzum. Sőt, az M-elmélet előrejelzése szerint rendkívül sok univerzum létezik, amelyek a semmiből teremtek. Teremtésükhöz nincs szükség semmiféle természetfölötti lény vagy Isten közbeavatkozására. Éppen ellenkezőleg, ezeknek a sokszoros univerzumoknak a létezése a fizikai törvények természetes folyománya. Létezésüket a természettudomány jósolja meg. Minden egyes univerzumnak számos lehetséges történelme és sok lehetséges későbbi állapota van, ahol a későbbi állapotok közé tartozónak tekintjük a jelenlegi, sokkal a teremtődés utáni állapotot. Ezeknek az állapotoknak a legtöbbször cseppet sem hasonlít az általunk megfigyelt Világegyetemre, és teljességgel alkalmatlan arra, hogy kialakuljon benne az élet bármilyen formája. Csak néhány közülük engedi meg a hozzánk hasonló teremtmények létezését. Saját jelenlétünk tehát csak azokat az univerzumokat jelöli ki ebből a hatalmas rendszerből, amelyek összeegyeztethetők saját létezésünk tényével. Bár kozmikus léptékkel mérve aprók és jelentéktelenek vagyunk, ez bizonyos értelemben mégis az Univerzum uraivá tesz bennünket.

Ha a lehető legmélyebben meg akarjuk érteni a mi Univerzumunkat, akkor nemcsak azt kell tudnunk, *hogyan* viselkedik, hanem azt is, hogy *miért* éppen úgy.

*Miért van ott valami a semmi helyett?
Miért létezünk?
Miért éppen ezek a törvények érvényesek,
miért nem mások?*

Ez az Élet, a Világegyetem és a Mindenség Végő Kérdése. Erre próbálunk meg válaszolni ebben a könyvben. Ellentétben a *Galaxis útikalauz stopposoknak* (*The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*) című könyvben adott felelettel, a mi válaszunk nem egyszerűen „42” lesz.



2

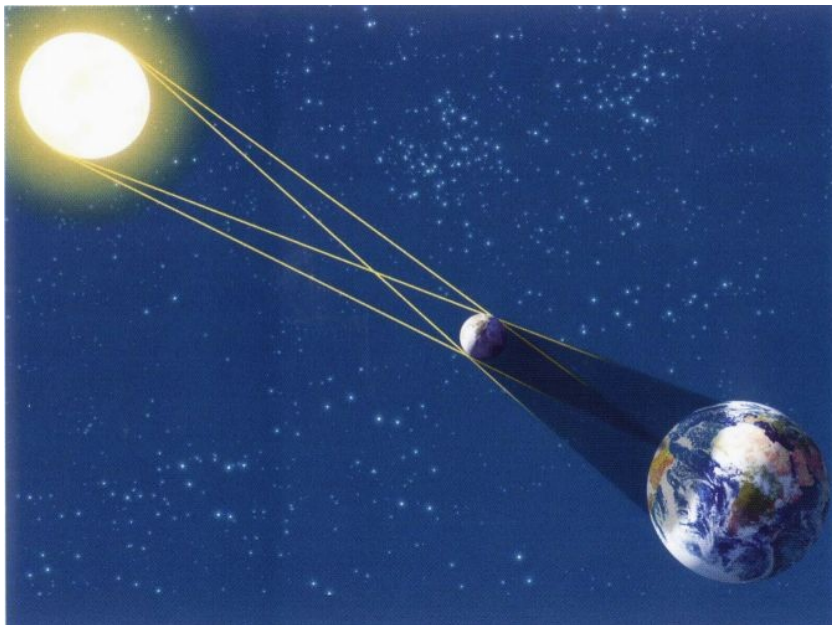
A TÖRVÉNY URALMA

*Szökkenő, ez a farkas,
kíséri a fényes istennőt
erős erdei menedékig;
a másik, Hati,
Hródvitnir fia, a fényes
égi ara előtt fut.*

– „GRÍMNISMÁL (Grímnir-ének)” Edda-dalok
(Tandori Dezső fordítása)

A

VIKING MITOLÓGIA SZERINT Skoll és Hati a Napra és a Holdra vadászott. Amikor a farkasoknak sikerült elkapniuk valamelyik égitestet, akkor fogyatkozás következett be. Ilyenkor az emberek igyekeztek minél nagyobb zajt csapni, hogy ezzel elijesszék a farkasokat, és megmentsek a Napot vagy a Holdat. Más kultúrákban is találhatunk hasonló mítoszokat. Egy idő után azonban az emberek bizonyára észrevették, hogy a fogyatkozás után a Nap és a Hold mindenképpen előbukkant, függetlenül attól, mekkora zajt csaptak kiabálásukkal és dobolásukkal. Később azt is észre kellett venniük, hogy a fogyatkozások nem véletlenszerűen következnek be. Szabályszerű ismétlődést követve fordultak elő a jelenségek. Ez a rendszeresség a holdfogyatkozások esetén különösen szembeötlő volt, aminek köszönhetően az ókori babiloniak meglehetősen pontosan előre tudták jelezni a holdfogyatkozásokat, bár arra nem jöttek rá, hogy a jelenség azért következik be, mert a Föld a Nap fényének útjába áll.



2. Fogatkozás – Az ókoriak nem tudták, mi okozza a fogyatkozásokat, de felismerték a jelenség bekövetkezésében mutatkozó szabályszerűséget.

A napfogyatkozásokat nehezebb volt előre jelezni, mert ezek csak a Föld felszínének egy körülbelül 50 kilométer széles sávjából figyelhetők meg. Amikor aztán felismerték a szabályszerűséget, akkor az is világossá vált, hogy a jelenség nem természetfölötti lények kénye-kedve szerint, hanem törvényszerűségeknek engedelmeskedve következnek be.

Az égitestek mozgásának előrejelzésében elért némely korai siker ellenére a legtöbb természeti jelenség előrejelzése őseink számára lehetetlennek tűnt. A tűzhányók kitörése, a földrengések, a viharok, a pusztító járványok vagy akár a lábujj körmének fájdalmas benövése bármiféle ok vagy rendszer nélkül látszott bekövetkezni. Az ókorban természetesnek tűnt a heves természeti jelenségeket gonosz

vagy rosszindulatú istenségek közbeavatkozásának tulajdonítani. Az elemi csapásokat gyakran annak tudták be, hogy az emberek valamilyen módon megbántották az isteneket. A mai Oregon állam területén fekvő Mazama vulkán például Kr. e. 5600 körül kitört, és éveken keresztül hullott belőle a kő és az izzó hamu. Később az esővíz sok-sok év alatt megtöltötte a vulkáni krátert, és kialakult a ma Kráter-tónak nevezett képződmény. Az oregoni klamath indiánok egyik legendája pontosan megfelel az esemény minden geológiai részletének, ám a helyzetet azáltal teszi drámaivá, hogy az embert tünteti fel a katasztrófa okozójaként. Az emberek olyannyira hajlamosak a bűnre, hogy mindig megtalálják a módját önmaguk vádolásának. A legenda folytatása szerint Llao, az Alvilág ura beleszeret egy emberi lénybe, az egyik klamath törzsfőnök gyönyörű lányába. A lány azonban durván visszautasítja őt, ezért Llao bosszúból tüzesővel próbálja elpusztítani a klamathokat. Szerencsére – legalábbis a legenda szerint – Skell, a Felső világ ura megszanja az embereket és felveszi a harcot az alvilági vezérrel. Végül Llao megsebesül, visszazuhan a Mazama belsejébe, hatalmas lyukat hagyva maga mögött – azt a krátert, amelyik később vízzel telt meg.

Minthogy az ókori ember nem ismerte a természet működését, ezért különféle isteneket gondoltak ki, akik az emberi élet minden részlete fölött örködtek és uralkodtak. Volt istene a szerelemnek éppúgy, mint a háborúnak, a Napnak, a Földnek és az égboltnak, az óceánoknak és a folyóknak, az esőnek és a zivatarnak, de még a földrengésnek és a tűzhányóknak is. Amikor az istenek elégedettek voltak, akkor az embereknek jól ment a sora, kellemes volt az időjárás, békében éltek, és nem fenyegették őket természeti csapások vagy járványok. Amikor azonban az istenek elégedetlenek voltak, akkor aszály, háborúk, természeti csapások és járványok sújtották az embereket. Minthogy az ok és az okozat közötti kapcsolat a természetben rejtve

maradt az emberi szemek elől, ezért ezek az istenek kiismerhetetlennek tűntek, az emberek pedig ki voltak szolgáltatva a szeszélyeiknek. Ez a helyzet azonban mintegy 2600 évvel ezelőtt, a milétoszi Thalész (kb. Kr. e. 624 – kb. Kr. e. 546) munkásságának köszönhetően változni kezdett. Benne merült fel először az a gondolat, hogy a természet talán következetes alapelveknek megfelelően működik, amely alapelvek megfejthetők. Ezzel kezdetét vette az a hosszú folyamat, amelynek során az istenek uralmának képét fokozatosan egy olyan univerzum képe vette át, amelyet a természet törvényei irányítanak, és amely olyan tervrajz alapján készült, amelyen egyszer majd kiigazodunk.

Az emberi történelem időtávlátában szemlélve a tudományos kíváncsiskodás kifejezetten új keletűnek mondható. Fajunk, a *Homo sapiens* Afrika Szaharától délre eső területein, mintegy 200 000 évvel ezelőtt alakult ki. A legrégebbi írásos emlékek Kr. e. 7000 körül, a földművelő, gabonatermesztő társadalom igényeinek kielégítésére keletkeztek. (A legrégebbi feliratok némelyike arról szól, hogy mennyi sör az egyes emberek napi fejadagja.) Az ókori Görögország nagy civilizációjának legkorábbi feljegyzései a Kr. e. IX. századból származnak, de a civilizáció csak több száz évvel később, valamivel Kr. e. 500 előtt kezdődően érte el csúcspontját, az úgynevezett „klasszikus kort”. Arisztotelész (Kr. e. 384 – Kr. e. 322) szerint ez akkor történt, amikor Thalész először gondolt arra, hogy a világ megismerhető, a minket körülvevő bonyolult történések egyszerű alapelvekre vezethetők vissza, továbbá mitológiai vagy teológiai magyarázatok nélkül is értelmezhetőek.

Thalész érdeme, hogy elsőként jósolta meg a Kr. e. 585-ben bekövetkezett napfogyatkozást, bár előrejelzésének rendkívüli pontossága valószínűleg csak a szerencsés véletlennek tudható be. Titokzatos alak volt, akinek egyetlen saját írása sem maradt az utókorra.



3. Iónia – Az ókori Iónia tudósai elsők között tudták a természeti jelenségeket mítoszok és teológia helyett törvényekkel magyarázni.

Háza az Ióniának nevezett tartomány egyik szellemi központja volt. A tartományt később a görögök gyarmatosították. Befolyása végül a mai Törökország területétől nyugat felé egészen a későbbi Itáliáig terjedt. Az ión természettudományt a természeti jelenségeket magyarázó alapvető törvények feltárása iránti erőteljes érdeklődés jellemezte, ami fontos mérföldkő volt az emberi eszmék fejlődésének történetében. Racionális megközelítést alkalmaztak, és sok esetben meglepően hasonló következtetésekre jutottak, mint mi, a sokkal bonyolultabb jelenlegi módszereinkkel. Mindez nagyszerű kezdetet jelentett. Ahogy azonban teltek-múltak az évszázadok, az ión tudomány lassanként feledésbe merült – eredményeit újra felfedezték vagy feltalálták, néha nem is csak egyszer.

A legenda szerint a ma természeti törvénynek nevezett összefüggés első matematikai megfogalmazása egy másik ión tudós, Püthagorasz (kb. Kr. e. 580 – kb. Kr. e. 490) nevéhez fűződik. A róla elnevezett híres tételről van szó, amely szerint a derékszögű háromszög átfogójának (leghosszabb oldalának) a négyzete egyenlő a másik két oldal négyzetének az összegével. Állítólag Püthagorasz a hangszerekben használt húrok hossza és a hangok harmonikus kombinációi közötti matematikai összefüggést is felfedezte. Mai szóhasználattal ezt az összefüggést úgy fogalmazhatjuk meg, hogy az állandó mechanikai feszültség hatásának kitett húr rezgésének frekvenciája – a másodpercenkénti rezgések száma – fordítva arányos a húr hosszával. A hangszerkészítés gyakorlatát tekintve ez ad magyarázatot arra, miért hosszabbak a basszusgitárok húrai a közönséges gitárhúroknál. Püthagorasz valószínűleg valójában nem fedezte fel ezt az összefüggést – mint ahogy a nevét viselő tételt sem –, arra azonban bizonyítékaink vannak, hogy Püthagorasz korában már tudták, hogy valamilyen összefüggés áll fenn a húr hossza és a hang magassága között. Ha ez így van, akkor az ezt leíró egyszerű matematikai összefüggés felállítását tekinthetjük a ma elméleti fizikának nevezett tudomány kezdetének.

Eltekintve a húrok Püthagorasz-féle törvényétől, az ókorban csak azt a három fizikai törvényt ismerték, amelyeket az ókor messze legkiemelkedőbb tudósa, Arkhimédész (kb. Kr. e. 287 – kb. Kr. e. 212) fogalmazott meg részletesen. Mai szóhasználattal, az emelők törvénye megmagyarázza, hogy kis erővel is fel lehet emelni nagy súlyokat, mert az emelő az alátámasztási pontjától mért távolságok arányában felerősíti az erőket. Az úszás törvénye kimondja, hogy bármely folyadékba merülő testre felhajtóerő hat, amelynek nagysága egyenlő a kiszorított folyadék súlyával. A tükröződés törvénye pedig azt állítja, hogy a beeső fénysugár és a tükrözött közötti szög egyenlő a tükrözött és a kilépő, visszatükrözött

fénysugár közti szöggel. Arkhimédész azonban ezeket a kijelentéseket nem nevezte törvényeknek, és nem is adott azokra megfigyelésekre vagy mérésekre vonatkozó magyarázatot. Ehelyett pusztán matematikai tételeknek tekintette azokat, amelyek hasonló rendszert alkotnak, mint amilyent Eukleidész a geometriában felépített.

Ahogy szétterjedt az ión befolyás, úgy bukkantak fel mások, akik úgy vélték, hogy a Világegyetemben belső rend uralkodik, amely megfigyelésekkel és józan ésszel megérthető. Anaximandrosz (kb. Kr. e. 610 – kb. Kr. e. 546), aki Thalész barátja és valószínűleg tanítványa is volt, úgy érvelt, hogy mivel az emberi csecsemők születésükkor magatehetetlenek, ezért ha az első ember csecsemőként jelent volna meg a Földön, akkor nem maradt volna életben. Anaximandrosz gondolatmenete szerint következésképpen az embereknek más állatokból kellett kifejlődniük, amelyek kicsinyei szívósabbak – ezzel az emberiség történetében talán először sejtett meg valamit az evolúcióról. Szicíliában Empedoklész (kb. Kr. e. 490 – kb. Kr. e. 430) a klepszidrának (vízóra) nevezett eszköz használatát figyelte meg. A néha lopóként használt, gömb alakú eszköz alján kis lyuk volt, a gömb pedig felfelé nyitott nyakban folytatódott. Ha vízbe merítették, megtelt. Ha úgy emelték ki a vízből, hogy közben a felső nyílását befogták, akkor az alsó lyukon nem folyt ki a víz a klepszidra belsejéből. Empedoklész azt is észrevette, hogy ha a felső lyukat befogjuk, és úgy merítjük vízbe, akkor a klepszidra nem telik meg vízzel. Ebből arra következtetett, hogy valamilyen láthatatlan dolog megakadályozza a vizet abban, hogy a lyukon keresztül behatoljon az edény belsejébe – vagyis felfedezte azt a közeget, amelyet levegőnek nevezünk.

Nagyjából ugyanebben az időszakban Démokritosz (kb. Kr. e. 460 – kb. Kr. e. 370), aki egy Görögország északi részén élő ión kolóniából származott, azon tűnődött, mi történik, ha egy tárgyat darabokra vágunk. Úgy okoskodott,

hogy valószínűleg nem lehetünk képesek ezt a végtelenségig folytatni. Ehelyett azt állította, hogy minden, az élőlényeket is beleértve, alapvető részecskékből épül fel, amelyek már nem bonthatók részekre. Ezeket a végső részecskéket atomoknak nevezte, e görög szó magyarul „oszthatatlant” jelent. Démokritosz úgy vélte, hogy az anyagi világ minden jelensége az atomok közötti ütközések következménye. Atomizmusnak nevezett felfogása értelmében az atomok a térben mozognak, és ha valami nem zavarja meg őket ebben, akkor mozgásuk a végtelenségig tart. Ma ezt az elgondolást a tehetetlenség törvényének nevezzük.

Elsőként Arisztarkhosz (kb. Kr. e. 310 – kb. Kr. e. 230), az utolsó ión tudósok egyike vallotta azt a forradalmi nézetet, amely szerint a Világegyetem egyszerű lakói vagyunk, nem pedig különleges lények, akiket az tesz kiváltságossá, hogy a rendszer középpontjában élnek. Számításai közül csak egyetlenegy maradt fenn, amelyben bonyolult geometriai elemzését adta gondos megfigyeléseinek, amelyek során egy holdfogyatkozáskor megállapította a Föld Holdra vetülő árnyékának a méretét. Adataiból arra a következtetésre jutott, hogy a Napnak sokkal nagyobbnak kell lennie a Földnél. Talán az a gondolat is hatással volt rá, hogy inkább a kisebb testeknek kell a hatalmasak körül keringeniük, mintsem fordítva, mindenesetre ő volt az első, aki azt állította, hogy a Föld nem a Naprendszer középpontja, hanem a többi bolygóval együtt a sokkal nagyobb Nap körül kering. Miután rájött, hogy a Föld csak egyike a bolygóknak, ezáltal már karnyújtásnyi közelségbe került az a felismerés, miszerint a Nap szerepe sem kitüntetett. Arisztarkhosz sejtette, hogy ez lehet a helyzet, és úgy gondolta, hogy az éjszakai égbolton látható csillagok valójában nem egyebek, mint távoli napok.

Az ión iskola csak egyike volt az ókori Görögország számos hasonló csoportosulásának, amelyek mindegyikének eltérő és gyakran egymásnak ellentmondó hagyományai voltak. Sajnos az iónok természetről alkotott képe –

nevezetesen az, hogy a jelenségek általános törvényszerűségeknek engedelmeskednek és egyszerű alapelvek rendszerére vezethetők vissza – csak néhány évszázadon keresztül volt jelentős hatással. Ennek részben az volt az oka, hogy úgy tűnt, mintha az ión felfogás nem engedne teret a szabad akaratnak vagy a célnak, továbbá annak a felfogásnak, amely szerint az istenek beavatkoznak a világ működésébe. Ezek megdöbbentő hiányosságok voltak, amelyek sok görög gondolkodót ugyanúgy zavarba hoztak, mint sok mai embert. A filozófus Epikurosz (Kr. e. 341 – Kr. e. 270) például azért helyezkedett szembe az atomizmussal, mert „jobb az istenekről szóló mítoszokat követni, mint a természetfilozófusok balvégzetének a ‘rabszolgaivá’ válni”. Arisztotelész is elutasította az atomok fogalmát, mert képtelen volt elfogadni azt a feltevést, hogy az emberi lények lélek nélküli és élettelen tárgyakból épülnek fel. Az iónok elképzelése, miszerint a Világegyetem nem emberközpontú, mérföldkő volt a mindenség megértésének történetében, ám ennek ellenére az elgondolás feledésbe merült, és csak húsz évszázaddal később, Galilei munkássága nyomán jöttek rá újra, és vált széles körben elterjedtté.

Bármilyen zseniálisak is voltak egyes gondolataik a természetről, az ókori görögök legtöbb elképzelése mégsem szolgálhat mintául modern korunk valódi természettudománya számára. Mindenekelőtt azért nem, mert a görögök nem fedezték fel a természettudományos módszert, vagyis elméleteiket nem azzal a céllal állították fel, hogy azokat kísérleti úton ellenőrizni lehessen. Ha tehát az egyik tudós azt állította, hogy egy atom mindaddig egyenes vonalban mozog, amíg nem ütközik neki egy másik atomnak, a másik tudós viszont úgy gondolta, hogy egyenes vonalú mozgása addig tart, amíg neki nem ütközik egy küklopsznak, akkor semmiféle objektív módszer nem létezett a vita eldöntésére. Ezenkívül nem húztak egyértelmű határvonalat az emberi és a fizikai törvények közé. A Kr. e. VI. században

például Anaximandrosz azt írta, hogy minden dolog egy eredendő őanyagból keletkezett, és ahhoz is tér vissza, hacsak nem „bűnhődnek és fizetnek büntetést a romlottságukért”. Hérakleitosz (kb. Kr. e. 535 – kb. Kr. e. 475) ión filozófus szerint a Nap azért viselkedik úgy, ahogyan, mert különben az igazság istennője levadászná az égről. Sok évszázaddal később a sztoikusoknak nevezett, a Kr. e. III. században kialakult görög filozófiai iskola követői már különbséget tettek az emberi és a természeti törvények között. Utóbbiak közé például besorolták az emberi viselkedés törvényeit is – például Isten imádását és a szülők tiszteletét –, amelyeket egyetemes érvényűeknek gondoltak. Ez megfordítva is működött, a fizikai folyamatokat néha jogi kifejezésekkel írták le, és úgy gondolták, hogy ezeket hatályba kell léptetni, noha a törvényeknek „engedelmeskedő” testek élettelen tárgyak. (Ha úgy gondolják, hogy nehezükre esik a közlekedési szabályok betartása, akkor képzeljék el, milyen nehéz lenne meggyőzni egy kisbolygót arról, hogy ellipszis alakú pályán mozogjon.)

Ez a hagyomány a továbbiakban évszázadokon át hatással volt a görögöket követő gondolkodókra. A XIII. században a korai keresztény gondolkodó, Aquinói Szent Tamás (kb. 1225-1274) magáévá tette ezt a felfogást, és Isten létezése melletti érvelésre használta fel, amikor így írt: „Nyilvánvaló, hogy [az élettelen testek létezése] nem véletlenül, hanem szándékosan ér véget. ... Következésképpen létezik egy intelligens személy, aki a természetben mindennek elrendeli a végzetét.” A híres német csillagász, Johannes Kepler (1571-1630) még a XVI. században is úgy vélte, hogy a bolygóknak van valamiféle érzékelő képessége, így tudatosan követik a mozgástörvényeket, amelyeket „értelmükkel” felfogtak.

Az elgondolás, mely szerint a természet törvényeinek szántsándékkal kell engedelmeskedni, az ókori emberek gondolkodásának egy sajátosságát tükrözi: elsősorban arra voltak kíváncsiak, *miért* viselkedik úgy a természet, ahogy,

nem pedig arra, *hogyan* viselkedik. A megközelítés egyik vezető szószólója Arisztotelész volt, aki elutasította azt a felfogást, hogy a tudomány művelésének alapvetően megfigyeléseken kell alapulnia. A pontos mérések és a matematikai számítások az ókorban amúgy is nehézségekbe ütköztek. A tízes számrendszer, amelyet az egyszerű számolási műveletekhez ma oly kényelmesnek találunk, csak Kr. u. 700 körül alakult ki, amikor a hinduk megtették az első jelentős lépéseket abba az irányba, hogy az aritmetika hatékony eszközzé váljék. A plusz és a mínusz jelek bevezetésére egészen a XV. századig kellett várni. A XVI. század előtt sem az egyenlőségjel, sem pedig az időt másodperc pontossággal mérő órák nem léteztek.

Arisztotelész azonban nem tekintette a méréssel és számolással kapcsolatos problémákat olyan akadálnak, ami miatt nem lehetne egy kvantitatív előrejelzéseket adó fizikát kidolgozni. Inkább úgy gondolta, hogy ilyen előrejelzésekre nincs is szükség. Ehelyett Arisztotelész számára intellektuálisan vonzó alapelvekre építette fel fizikáját. Elnyomta azokat a tényeket, amelyek nem nyerték meg a tetszését, és figyelmét legfőbbképpen a történések háttérében rejlő okokra irányította, miközben viszonylag kevés energiát szentelt annak részletes vizsgálatára, mi is történik pontosan. Arisztotelész csak akkor módosított a következtetésein, amikor azok olyan szembeütnő mértékben ellentmondtak a megfigyeléseknek, hogy azt már nem lehetett figyelmen kívül hagyni. Ezek az igazítások azonban gyakorta csak eseti magyarázatok voltak, amelyek alig tettek többet az ellentmondás elkendőzésénél. Ily módon nem számított, mennyire volt súlyos az elmélet és a valóságos helyzet közötti eltérés, mindig éppen annyit tudott változtatni az elméleten, amennyi a konfliktus elodázásához szükséges volt. Mozgáselmélete értelmében például a súlyos testek állandó sebességgel esnek, amely sebesség a súlyukkal arányos. Meg kellett azonban magyarázni azt a körülményt, hogy a testek

esés közben nyilvánvalóan egyre nagyobb sebességre tesznek szert, ezért bevezetett egy új alapelvet – eszerint a testek egyre élénkebben mozognak, vagyis gyorsulnak, amint természetes nyugalmi helyzetük felé közelednek. Ma úgy tűnik, hogy ez az elv sokkal inkább illik bizonyos emberekre, mint az élettelen testekre. Bár Arisztotelész elméletei gyakran csak kevésbé tették lehetségessé előrejelzések készítését, ennek ellenére a nyugati gondolkodásmódban csaknem két évezreden keresztül a tudomány arisztotelészi megközelítése volt uralkodó.

A görögök keresztény követői elvetették azt az elképzelést, miszerint a Világegyetemet pártatlan természeti törvények irányítják. Elvetették azt a gondolatot is, hogy az emberiségnek nincs kitüntetett szerepe ebben az univerzumban. Noha a teljes középkort nem jellemezhetjük egyetlen, összefüggő filozófiai rendszerrel, mégis a különböző nézetekben közös vonásként találjuk meg azt, hogy a Világegyetem Isten babaháza, a vallás pedig sokkal érdekesebb a tanulmányozásra, mint a természet jelenségei. Étienne Tempier, Párizs püspöke 1277-ben XXI. János pápa iránymutatása alapján közzétette annak a 219 tévelygésnek és eretnekségnek a listáját, amelyeket meg kellett bélyegezni. Az eretnenségek egyike éppen az az állítás volt, hogy a természet törvényszerűségeket követ, mert ez ellentmond Isten mindenhatóságának. Érdekes módon, János pápa néhány hónappal későbbi halálát éppen a gravitáció törvényének működése okozta, ugyanis ráomlott a palotájának teteje.

A természeti törvények korszerű fogalma a XVII. században jelent meg. Úgy tűnik, Kepler volt az első tudós, aki a mai, modern, természettudományos értelmében használta ezt a fogalmat. Mint már említettük, Kepler megőrizte a fizikai objektumok animista képét. Galilei (1564-1642) legtöbb tudományos művében egyáltalán nem használta a „törvény” szót (bár az írások néhány fordításában az mégiscsak felbukkan).



„Egy dolgot megtanultam a hosszú uralkodásom alatt, azt,
hogy az entrópia mindig növekszik.”

Akár használta azonban a kifejezést, akár nem, Galilei mindenesetre nagyon sok törvényszerűséget ismert fel, és szószólójává vált azoknak a fontos alapelveknek, melyek szerint a természettudomány alapja a megfigyelés, és a tudomány célja a fizikai jelenségek között fennálló, kvantitatív kapcsolatok kikutatása. Viszont az első, aki explicit módon és szigorú pontossággal kifejtette a természeti törvény mai értelemben vett fogalmát, René Descartes (1596-1650) volt.

Descartes nézete szerint minden fizikai jelenséget mozgó tömegek összeütközései alapján kell megmagyarázni, a tömegek mozgását pedig három törvény irányítja – ezek Newton híres mozgástörvényeinek az előfutárai voltak. Kijelentette, hogy ezek a természeti törvények mindenütt és mindenkor érvényesek, és egyértelműen kimondta, hogy az ezen törvényeknek való engedelmeskedésből nem következik az, hogy a mozgó testeknek értelmük lenne. Descartes annak a jelentőségét is megértette, amit ma „kezdeti feltételeknek” nevezünk. Ezek írják le a rendszer állapotát annak a tetszés szerinti időtartamnak a kezdetén, amelyre vonatkozóan előrejelzést akarunk készíteni. Ha ismerjük a kezdeti feltételeket, akkor a természeti törvények meghatározzák, miképpen fejlődik a rendszer az idő múlásával, ha viszont nem ismerjük a kezdeti feltételeket, akkor nem tudjuk megállapítani a várható fejlődési utat. Ha például a nulla időpontban egy galamb pontosan a fejünk fölött elpottyant valamit, akkor Newton törvényei segítségével pontosan kiszámítható a lehulló tárgy pályája. A számítás végeredménye szempontjából azonban egyáltalán nem mindegy, hogy a galamb egy telefonvezetéken üldögél vagy 30 kilométeres óránkénti sebességgel repül. A fizika törvényeinek alkalmazásához ismernünk kell, milyen állapotból indult ki a rendszer, vagy legalábbis egy bizonyos időpontbeli állapotát. (A számítást az időben visszafelé elvégezve a rendszer múltbeli viselkedését is megállapíthatjuk.)

A természet törvényeinek létezésébe vetett hit megújulásával együtt újra megpróbálták ezeket a törvényeket összeegyeztetni Isten fogalmával. Descartes szerint Isten tetszése szerint igazzá vagy hamissá teheti az erkölcsi kijelentéseket és a matematikai tételeket, de a természetet nem. Úgy gondolta, hogy a természet törvényeit Isten rendelte el, de ebben nem volt választási lehetősége, hanem egyszerűen azért választotta éppen az általunk tapasztalt

törvényeket, mert kizárólag ezek a törvények lehetségesek. Úgy tűnik, mintha ez a felfogás csorbítaná Isten tekintélyét, de Descartes ezt az ellenvetést azzal az érveléssel kerülte meg, miszerint a törvények azért megváltoztathatatlanok, mert azok Isten eredendő, belső természetének a tükröződései. Ha ez valóban így lenne, akkor azt gondolhatnánk, hogy Istennek még mindig lehetősége van számos különböző világ létrehozására, amelyek mindegyike különböző kezdeti feltételeknek felel meg, Descartes azonban ennek a lehetőségét is tagadta. Nem számít, miként rendeződött el az anyag a Világegyetem kezdetekor, érvelt Descartes, az idő múlásával bármely kezdeti állapotból a miénkhez hasonló világ fejlődött volna ki. Sőt, Descartes úgy érezte, hogy miután Isten mozgásba hozta a világot, magára hagyta.

Hasonló (legalábbis néhány kivételtől eltekintve hasonló) álláspontra helyezkedett Isaac Newton (1643-1727) is. Newton volt az, aki munkásságával széles körben elfogadottá tette a tudományos törvény fogalmát. Három mozgástörvénye a gravitációs törvényével együtt leírja a Föld, a Hold és a bolygók pályáját, emellett számos más jelenségre, például az árapályra is magyarázatot ad. Az általa felírt néhány egyenletet és az azokból származtatott bonyolult matematikai szerkezetet mind a mai napig tanítják, sőt, alkalmazzák is amikor például az építész megtervez egy házat, a mérnök egy autót, vagy a fizikus kiszámítja, merre kell elindítani egy rakétát, ha a Marsra akarunk jutni. A költő Alexander Pope ezt így fogalmazta meg:

*„Természeten s törvényein az éj sötétje ült.
Isten szólt: »Legyen Newton!« s mindenre fény
derült.”*

(Rakovszky Zsuzsa fordítása)

Napjainkban a legtöbb természettudós úgy fogalmazna, hogy a természeti törvény olyan állítás, amelyik valamilyen megfigyelt szabályszerűségeen alapul és segítségével az alapjául szolgáló, közvetlenül megfigyelt helyzeten túlmutató érvényű előrejelzés készíthető. Megfigyelhettük például, hogy a Nap életünk során minden reggel keleten kelt föl, ezért megfogalmazhatjuk a következő törvényt: „A Nap mindig keleten kel.” Ez az általánosítás túlmegy a napkelték általunk végzett, korlátozott hatókörű megfigyelésén, egyúttal ellenőrizhető előrejelzést tartalmaz a jövőre nézve. Ezzel szemben az „Ebben az irodában minden számítógép fekete” kijelentés nem tekinthető törvénynek, mert csak az irodában jelenleg megtalálható számítógépekre vonatkozik, de nem tartalmaz előrejelzést, azaz nem következik belőle az a kijelentés, hogy „Ha az iroda vásárol egy új számítógépet, az fekete lesz”.

A „természeti törvény” fogalmának modern értelmezéséről a filozófusok hosszasan vitatkoznak, a kérdés ugyanis sokkal bonyolultabb, mint azt az első ránézésre gondolnánk. A filozófus John W. Carroll például az alábbi két kijelentést hasonlította össze: „Minden aranygömb egy kilométernél kisebb átmérőjű”, illetve „Minden urán-235 gömb egy kilométernél kisebb átmérőjű”. A világra vonatkozó megfigyeléseink szerint nem léteznek egy kilométernél nagyobb átmérőjű aranygömbök, sőt, meglehetősen biztosak lehetünk abban, hogy nem is fognak készülni ilyenek. Ennek ellenére semmilyen okunk sincs feltételezni azt, hogy nem is készülhetnének ilyenek, ezért ezt a kijelentést nem tekintjük törvénynek. Ezzel szemben a „Minden urán-235 gömb egy kilométernél kisebb átmérőjű” állítás természeti törvénynek tekinthető, mert az atommagok fizikájára vonatkozó jelenlegi ismereteink szerint, ha egy urán-235 gömb átmérője körülbelül 15 centiméternél nagyobb, akkor atomrobbanás következik be és a gömb megsemmisül. Ennélfogva biztosak lehetünk abban, hogy ilyen gömbök nem léteznek. (Rádadásul

nem is lenne jó ötlet a létrehozásukkal kísérletezgetni!) Azért fontos a két állítás közötti különbségre rámutatni, mert ebből látható, hogy nem minden általunk megfigyelt jelenség általánosítása tekinthető természeti törvénynek, továbbá azt, hogy a legtöbb természeti törvény a törvények egy nagyobb, egymással kölcsönösen összefüggő rendszerének részeként létezik.

A modern természettudományban a törvényeket általában matematikai formában fejezzük ki. A törvények lehetnek közelítő jellegűek vagy pontosak, de kivétel nélkül minden korábbi megfigyeléssel összhangban kell állniuk – esetleg nem egyetemesen, de legalább pontosan körülhatárolható feltételek fennállása esetén. Ma már tudjuk például, hogy Newton törvényei korrekcióra szorulnak, ha a testek a fényéhez közeli sebességgel mozognak. Ennek ellenére Newton törvényeit változatlanul továbbra is természeti törvényeknek tekintjük, mert a mindennapi életben, ahol csak a fénysebességnél jóval kisebb sebességekkel találkozunk, a törvények változatlanul érvényesek, vagy legalábbis nagyon jó közelítésnek tekinthetők.

Ha a természetet törvények irányítják, akkor három kérdés merül fel:

1. Honnan erednek ezek a törvények?
2. Vannak-e kivételek a törvények érvényessége alól, azaz léteznek-e csodák?
3. A lehetséges törvényeknek csak egyetlen rendszere létezik?

Ezeket a fontos kérdéseket természettudósok, filozófusok és teológusok a legváltozatosabb formákban tették fel. Az első kérdésre a hagyományos válasz az volt, hogy a törvények Isten alkotásai – ezt a feleletet adta például Kepler, Galilei, Descartes és Newton. Ezzel azonban nem tettünk mást, mint Istent a természeti törvények megtestesüléseként definiáltuk. Ha viszont

Istent nem ruházzuk fel további tulajdonságokkal, például azzal, hogy az Ószövetségben leírt Istennek tekintjük, akkor ha az első kérdésre Istent tekintjük válasznak, csak az egyik rejtélyt egy másikkal helyettesítettük. (A nemleges válasz tárgyalására a későbbiekben visszatérünk.) Ha tehát az első kérdésre adott válaszunkban szerepet kap az Isten, akkor az igazi nehézséggel a második kérdésnél találjuk szembe magunkat: léteznek-e csodák, azaz kivételek a törvények érvényessége alól?

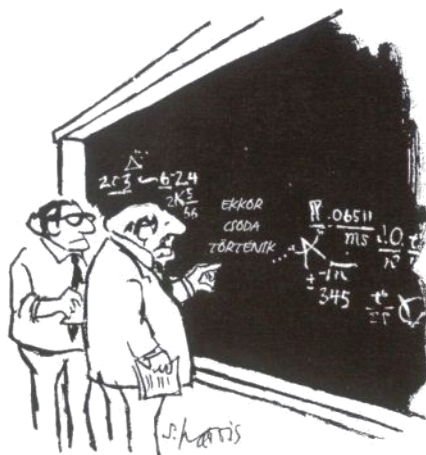
A második kérdésre adott választ illetően egymástól élesen különböző véleményekkel találkozunk. Platón és Arisztotelész, a legnagyobb hatású ókori görög szerzők, úgy tartották, hogy nem fordulhatnak elő kivételek a törvények alól. Ha azonban a Bibliában ábrázolt képet tekintjük, akkor azt látjuk, hogy Isten nemcsak megalkotta a törvényeket, hanem imádsággal lehet hozzá fordulni annak érdekében, hogy tegyen kivételt a törvények alól – gyógyítsa meg a halálos betegségben szenvedőt, vessen véget az aszálynak, vagy helyezze vissza a krokettet (croquet) az olimpiai sportágak közé. Descartes felfogásával ellentétben, csaknem minden keresztyén gondolkodó kitarzott amellett, hogy Istennek képesnek kell lennie a törvények érvényességének felfüggesztésére, vagyis csodák végrehajtására. A csodák bizonyos fajtájának létezésében még Newton is hitt. Ő úgy gondolta, hogy a bolygópályák instabilak lennének, mert a bolygók egymásra gyakorolt gravitációs vonzása zavarokat kelt, amelyek az idő múlásával egyre nagyobbakká válnak, így végül a bolygók belezuhanának a Napba, vagy kilendülnének a Naprendszerből. Úgy gondolta, hogy Istennek rendszeresen vissza kell állítania eredeti helyzetébe a pályát, vagy az ő szavaival „fel kell húznia az égi órát, még mielőtt az lejár”. Pierre-Simon Laplace márki (1749-1827), vagy közismertebb nevén egyszerűen Laplace viszont azzal érvelt, hogy a zavarok nem összegeződnek, hanem ciklikus jellegűek, azaz periodikusan ismétlődnek. Eszerint tehát a Naprendszer önmagát hozza vissza a kezdőállapotába, vagyis

nincs szükség isteni közbeavatkozással magyarázni, miért sikerült mind a mai napig fennmaradnia.

Általában Laplace-t tartják a természettudományos determinizmus első megfogalmazójának. Eszerint, ha ismerjük a Világegyetem állapotát egy bizonyos időpontban, akkor a törvények teljes rendszere a jövőt és a múltat egyaránt, teljes mértékben meghatározza. Ez kizárja a csodák lehetőségét és Isten aktív szerepét. A Laplace által megfogalmazott természettudományos determinizmus a modern természettudós válasza a második kérdésre. Valójában ez a korszerű természettudomány alapja, egy olyan alapelv, amelyik ebben az egész könyvben fontos szerepet játszik. Valamely törvény nem tekinthető természettudományos törvénynek, ha csak akkor érvényes, amikor a természetfölötti lény úgy dönt, hogy nem avatkozik bele a világ folyásába. Ezt felismerve, Napóleon állítólag megkérdezte Laplace-tól, miként illeszthető bele Isten ebbe a képbe, mire Laplace így válaszolt: „Felség! Nekem nincs szükségem erre a hipotézisre.”

Minthogy mi, emberek, a Világegyetemben élünk és kölcsönhatásban vagyunk annak objektumaival, ezért a természettudományos determinizmusnak az emberekre is érvényesnek kell lennie. Sokan vannak azonban, akik elfogadják ugyan, hogy a fizikai folyamatokat a természettudományos determinizmus irányítja, az emberi viselkedés esetében azonban kivételt tesznek ez alól, mert úgy gondolják, hogy nekünk szabad akaratunk van. Descartes például a szabad akarat eszméjének fenntartása érdekében kijelentette, hogy az emberi elme alapvetően különbözik a fizikai világtól, így nem is engedelmeskedik az azt irányító törvényeknek. Elképzelése szerint a személynek két összetevője van, a test és a lélek. A test nem más, mint egy közönséges gép, a lélekre azonban nem vonatkoznak a tudomány törvényei. Descartes, akit nagyon érdekelt az anatómia és a fiziológia, a lélek elsődleges székhelyének az

agy közepén lévő, kicsiny szervet, az úgynevezett tobozmirigyet tartotta.



„Azt hiszem itt, a második lépésben pontosabban kellene fogalmaznod.”

A tobozmirigy, gondolta, az a hely, ahol összes gondolatunk kialakul, így szabad akaratunk forrása.

Van-e az embereknek szabad akaratuk? Ha van, akkor mikor jelent meg az evolúció során? Van-e a kék és zöld algáknak vagy a baktériumoknak is szabad akaratuk, vagy ezeknek a lényeknek a viselkedése teljesen gépies, és ennek megfelelően arra érvényesek a természettudományos törvények? Csak a soksejtű szervezeteknek van szabad akaratuk, vagy csak az emlősöknek? Arra gondolhatunk, hogy a csimpánz a szabad akaratát gyakorolja, amikor elmajszol egy banánt, a macska pedig akkor, amikor felugrik a díványra, de mi a helyzet a *Caenorhabditis elegans* nevű kerekeshéreggel, amely egyszerű teremtmény mindössze 959 sejtből épül fel? Az utóbbi lény valószínűleg soha nem gondol arra, hogy „Csuda ízletes volt az előbb bekebelezett baktérium!”, mégis határozottan előnyben részesít bizonyos

táplálékokat, és közelmúltbeli tapasztalatai alapján eldönti, hogy megálljon egy kevésbé szimpatikus ételnél, vagy keresgéljen valami jobbat. Tekinthetjük ezt a cselekvést a szabad akarat megnyilvánulásának?

Bár úgy érezzük, szabadon eldönthetjük, mit cselekszünk, a biológia molekuláris alapjaira vonatkozó ismereteink szerint a biológiai folyamatokat a fizika és a kémia törvényei irányítják, ennek megfelelően éppoly pontosan meghatározottak, mint a bolygók pályái. A legújabb idegtudományi kísérletek is azt a nézetet támasztják alá, mely szerint a fizikai értelemben vett agyunk az, amelyik a természettudomány törvényeinek engedelmeskedve megszabja cselekvéseinket, nem pedig az azokon a törvényeken kívül létező valamiféle közreműködő. Így például ébrenléti állapotban agyműtétnek alávetett páciensekkel végzett kísérletekkel megállapították, hogy az agy megfelelő területeit elektromosan ingerelve elérhető, hogy a páciens mozgatni akarja a kezét, a karját vagy a lábát, vagy mozgassa az ajkait és beszéljen. Nehéz elképzelni, miként működhetne a szabad akarat, ha viselkedésünket a fizika törvényei szabják meg. Úgy tűnik tehát, hogy nem vagyunk egyebek biológiai gépeknél, a szabad akarat pedig csupán illúzió.

Miközben elfogadjuk, hogy az emberi viselkedést valóban a természet törvényei irányítják, az a következtetés is ésszerűnek látszik, hogy a folyamat kimenetelét oly sok változó olyan összetett módon határozza meg, hogy a gyakorlatban lehetetlen a cselekvéseket előrejelezni. Ehhez ugyanis az emberi testet alkotó ezerbilliószor billió molekula mindegyikének a kezdeti állapotát pontosan ismernünk kellene, majd meg kellene oldani körülbelül ugyanennyi egyenletet. Ez néhány milliárd évig tartana, ami kicsit hosszú időnek tűnik, ha félre akarjuk kapni a fejünket, amikor a velünk szemben álló ember ütésre emeli a kezét.

Minthogy az emberi viselkedés előrejelzésére eszerint a legkevésbé sem praktikus az alapvető fizikai törvények használata, elfogadunk egy úgynevezett effektív (közelítő pontosságú, ezért a gyakorlatban hatékonyan alkalmazható. *A fordító megjegyzése*) elméletet. A fizikában az *effektív elmélet* olyan keret, amelyet valamilyen megfigyelt jelenség modellezésére alkotnak meg, anélkül, hogy a háttérben működő folyamatokat teljes részletességgel leírnák. Nem tudjuk például pontosan megoldani az összes egyenletet, amely megszabja egy ember testét alkotó minden egyes atom és a Földet felépítő minden egyes atom közötti gravitációs kölcsönhatást. Az összes gyakorlati célra azonban egy személy és a Föld között fellépő gravitációs erő mindössze néhány számmal megadható, ezek egyike például az ember testének a tömege. Hasonlóképpen, az összetett atomok és molekulák viselkedését megszabó egyenleteket sem tudjuk megoldani, viszont kidolgoztuk a kémianak nevezett effektív elméletet, amely megfelelő magyarázatot ad arra, hogyan viselkednek az atomok és molekulák a kémiai reakciókban, anélkül, hogy a kölcsönhatás minden részletéről számot adna. Minthogy az emberek esetében nem tudjuk megoldani a viselkedésünket irányító egyenleteket, ezért egy effektív elméletet használunk, amelyet az emberek szabad akaratnak neveznek. Szabad akaratunkat és az ebből eredő viselkedésünket a pszichológia tudománya tanulmányozza. A közgazdaságtan ugyancsak effektív elmélet, amely a szabad akarat fogalmán kívül azon a feltételezésen alapul, hogy az emberek értékelik a különböző cselekvési lehetőségeiket, és ennek alapján a legjobbat választják közülük. Ez az effektív elmélet azonban csak mérsékelten sikeres a viselkedés előrejelzésében, mert, mint mindannyian tudjuk, a döntések gyakran nem racionálisak vagy a választás következményeinek hibás elemzésén alapulnak. Ezért van a világ mostanában ilyen szorult helyzetben.

A harmadik kérdés azt firtatja, vajon egyediek-e a Világegyetem és az ember viselkedését egyaránt meghatározó törvények. Ha az első kérdésre az a válaszunk, hogy a törvényeket Isten teremtette, akkor ez a kérdés úgy fordítható le, hogy volt-e Istennek bármekkora mozgásteret a megválasztásuknál? Arisztotelész és Platón, akárcsak Descartes, majd később Einstein, egyaránt úgy hitték, hogy a természet alapelvei „szükségszerűen” léteznek, vagyis azért, mert kizárólag ezek azok a szabályok, amelyeknek logikus értelmük van. Minthogy hitük szerint a természet törvényei a logikában gyökereznek, ezért Arisztotelész és követői úgy érezték, hogy ezek a törvények anélkül is „levezethetők”, hogy eközben különösebb figyelmet fordítanánk arra, mi is történik valójában a természetben. Részben emiatt, részben pedig azért, mert figyelmüket elsősorban arra összpontosították, *miért* követik a testek ezeket a törvényeket, nem pedig annak részleteire, *mik* is valójában ezek a törvények, az általuk felállított kvalitatív törvények általában hibásak voltak. Egyetlen esetben sem bizonyultak különösebben hasznosnak, még akkor sem, ha esetleg évszázadokon keresztül meghatározták a tudományos gondolkozást. Nagyon sok időbe telt, mire Galilei és mások kétségbe merték vonni Arisztotelész tekintélyét és megfigyelték, mi az, ami ténylegesen történik a természetben, ahelyett, hogy pusztán okoskodással azt próbálták volna megmondani, minek kellene történnie.

Könyvünk alapjául a természettudományos determinizmus szolgál, következésképpen a második kérdésre az a válaszunk, hogy csodák nem léteznek, vagyis nincsenek kivételek a természeti törvények érvényessége alól. Vissza fogunk viszont térni az első és a harmadik kérdés részletes tárgyalására, vagyis arra, miként keletkeztek ezek a törvények és arra, hogy vajon ezek-e az egyedül lehetséges törvények. Előbb azonban, a következő fejezetben, azt a kérdést járjuk körül, mi is az, amit a természeti törvények leírnak. A legtöbb

tudós erre a kérdésre azt válaszolná, hogy a természeti törvények az azt megfigyelő észlelőtől független, külső valóság matematikai leképeződései. Ha azonban eltűnődünk azon, milyen módon figyeljük meg környezetünket, és hogyan alkotunk fogalmakat arról, akkor belebotlunk abba a kérdésbe, hogy valóban van-e okunk hinni egy objektív valóság létezésében.



3

MI A VALÓSÁG?

N

ÉHÁNY ÉVVEL EZELŐTT az olaszországi Monza városi tanácsa megtiltotta a kisállatok tulajdonosainak, hogy aranyhalaikat gömbakváriumokban tartsák. (Azóta már az Európai Unió valamennyi országában betiltották a díszhalak gömbakváriumban tartását. *A lektor megjegyzése.*) A rendelkezés előterjesztője részben azzal magyarázta az intézkedés szükségességét, hogy kegyetlenség a halat a görbe oldalfalú edényben tartani, mert így a bentről kifelé bámuló hal torzított képet kap a világról. De biztosak lehetünk-e abban, hogy mi magunk valóságosan, torzítatlanul látjuk a valóságot? Nem fordulhat elő, hogy mi is valamilyen óriási gömbakvárium belsejében élünk, látásunkat pedig hatalmas lencsék torzítják? Az aranyhal világról alkotott képe vitathatatlanul különbözik a miénktől, de vajon biztosak lehetünk-e abban, hogy az ő képe kevésbé valóságos?

Az aranyhal világképe tehát nem azonos a miénkkel, de az aranyhal ettől függetlenül megfogalmazhatná az akváriumon kívüli világban általa megfigyelt tárgyak mozgását irányító tudományos törvényeket. A fellépő torzítás következtében az általunk megfigyelhető, magára hagyott, és ezért egyenes vonalú mozgást végző testet az aranyhal görbült pálya mentén látja mozogni. Mindamellett, az aranyhal meg tudja fogalmazni a torzult vonatkoztatási rendszeréből megfigyelt tudományos törvényeket, amelyek mindig igaznak bizonyulnak, és amelyek lehetővé tennék, hogy az aranyhal megjósolja az akváriumon kívüli tárgyak jövőbeli mozgását. Ezek a törvények bonyolultabbak lennének, mint a mi

vonatkoztatási rendszerünkben érvényes törvényszerűségek, noha az egyszerűség ízlés kérdése. Ha az aranyhal felállítana egy ilyen elméletet, akkor el kellene ismernünk, hogy az a kép a valóság érvényes leírását adja.

Híres példa a valóságról alkotott különböző képekre a Ptolemaiosz (kb. 85 – kb. 165) által Kr. u. 150 körül a bolygók mozgásának leírására bevezetett modell. Ptolemaiosz tizenhárom kötetes értekezésben tette közzé munkáját, amelyet általában arab nyelvű címét használva Almagesztnak nevezünk. Az Almageszt azzal kezdődik, hogy a szerző kifejti az érveit, amelyek értelmében a Föld a Világegyetem középpontjában elhelyezkedő, gömb alakú, mozdulatlan test, amely elhanyagolhatóan parányi méretű a mennyek méretéhez képest.



4. A ptolemaioszi világgép – Ptolemaiosz elképzelése szerint a Világegyetem középpontjában élünk.

Arisztarkhosz heliocentrikus modellje ellenére ez a felfogás legalább Arisztotelész kora óta még a legműveltebb görögök körében is fennmaradt, mert Arisztotelész valamilyen titokzatos ok miatt úgy hitte, hogy a Földnek a Világegyetem középpontjában kell lennie. Ptolemaiosz világképében a Föld továbbra is a középpontban állt, a bolygók és a csillagok pedig bonyolult pályákon keringtek körülötte, amely pályák leírásához úgynevezett epiciklusokat, azaz körökön gördülő köröket használt.

Ez a modell természetesnek tűnt, hiszen nem érezzük, hogy a Föld mozogná a lábunk alatt (kivéve a földrengéseket és a különösen mámoros pillanatokat). Később az európai tudás a továbbadott görög forrásokon alapult, így Arisztotelész és Ptolemaiosz eszméi váltak a nyugati gondolkodás alapjává. Ptolemaiosz világmodelljét a katolikus egyház is átvette, és tizennégy évszázadon keresztül ezt tekintette hivatalos tanításának. Csak 1543-ban bukkant fel egy másik modell, amikor Kopernikusz megjelentette *De revolutionibus orbium coelestium* (Az égi pályák forgásairól) című munkáját. A könyv halála évében jelent meg, jöllehet előtte már évtizedeken keresztül dolgozott elméletén. A mintegy tizenhét évszázaddal korábban élt Arisztarkhoszhoz hasonlóan, Kopernikusz is olyan világot írt le, amelyikben a Nap nyugalomban van, a bolygók pedig kör alakú pályáikon körülötte keringnek. Bár az elképzelés nem volt új, felelevenítése szenvedélyes ellenállásba ütközött. Azt tartották, hogy a kopernikuszi világkép ellentmondásban áll a Szentírással, amelyet úgy értelmeztek, hogy a bolygók a Föld körül mozognak, noha a Biblia ezt ilyen formában sehol sem állítja. Valójában a Biblia születése idején az emberek a Földet még síknak gondolták. A kopernikuszi világkép heves vitát váltott ki arról, hogy nyugalomban van-e a Föld. A vita 1633-ban, a Galilei elleni eretnekségi perrel érte el tetőpontját. Galilei a kopernikuszi világkép szószólója volt, és

úgy vélte, hogy „egy véleményt akkor is fenn kell tartani és valószínűként védelmezni kell, ha a Szentírással ellentétesnek nyilvánítják”. A perben bűnösnek találták, élete hátralévő részére házi őrizetre ítélték, és tanításai visszavonására kényszerítették. Ekkor a legenda szerint alig hallhatóan azt suttogta: „*Eppur si muove*”, azaz „És mégis mozog”. A római katolikus egyház végül 1992-ben elismerte, hogy tévedtek Galilei elítélésekor.

Akkor tehát melyik a valóságos, a ptolemaioszi vagy a kopernikuszi rendszer? Bár gyakran hallhatjuk azt a kijelentést, hogy Kopernikusz bebizonyította Ptolemaiosz tévedését, ez azonban nem igaz. Akárcsak az általunk és az aranyhal által látott kép esetében, itt is az a helyzet, hogy a két világvázlat bármelyikét elfogadhatjuk a Világegyetem modelljeként, mert az égi jelenségekre vonatkozó megfigyeléseink egyaránt értelmezhetők, akár a Földet, akár a Napot tekintjük nyugalomban lévőnek. A Világegyetem természetéről folytatott filozófiai vitákban játszott szerepén túl, a kopernikuszi rendszer tényleges előnye abban mutatkozik meg, hogy a mozgásegyenletek sokkal egyszerűbbek (az epiciklusok kiiktatódnak) abban a vonatkoztatási rendszerben, amelyikben a Nap van nyugalomban.

Az alternatív valóság más fajtája fordul elő a *Mátrix* (*The Matrix*) című tudományos-fantasztikus filmben, amelyikben az emberi faj, anélkül, hogy tudna róla, egy szimulált, virtuális valóságban él, amelyet intelligens számítógépek hoztak létre annak érdekében, hogy békében és elégedettségben tartsák az embereket, miközben a számítógépek kiszívják bioelektromos energiájukat (bármilyen is az). Talán ez a lehetőség nem is annyira a valóságtól elrugaszkodott, hiszen sokan vannak, akik szívesen töltik minden idejüket a szimulált valóság különböző weboldalain, például a Second Life-ban.



Honnan tudhatjuk, hogy nem csupán egy számítógéppel előállított szappanopera szereplői vagyunk? Ha egy mesterségesen előállított, képzelt világban élnénk, akkor az eseményeknek nem szükségszerűen kellene logikusaknak vagy egymással összhangban állóknak lenniük, és nem kellene semmilyen törvényeknek sem engedelmeskedniük. A rendszert irányító földönkívüliek talán érdekesebbnek és szórakoztatóbbnak találhatják, ha megfigyelhetik a reakcióinkat például olyankor, ha a telihold hirtelen kétfelé szakadna, vagy ha a világon minden diétázó egyszerre ellenállhatatlan vágyat érezne, hogy banánkrémes süteményt egyen. Ha viszont a földönkívüliek következetesen működő törvényeket kényszerítenek ránk, akkor sehogy sem tudnánk rájönni arra, hogy létezik egy igazi valóság a mi szimulált valóságunk hátterében. Egyszerű lenne a földönkívüliek világát „igazinak”, az általuk mesterségesen létrehozottat pedig „hamisnak” nevezni. Ha azonban a szimulált világban élő lényeknek – hozzánk hasonlóan – nincs lehetőségük arra, hogy kívülről szemléljék saját

univerzumukat, akkor nincs okuk arra, hogy kétségbe vonják a saját, valóságról alkotott képüket. Ez annak az elképzelésnek a modern változata, amely szerint mi mindannyian valaki más álmának a szereplői vagyunk.

Mindezen példák alapján olyan következtetésre juthatunk, amelyik fontos lesz könyvünkben: *nem létezik a valóság világképtől vagy elmélettől független fogalma*. Ezért inkább egy olyan képet fogadunk el, amelyet *modellfüggő realizmusnak* fogunk nevezni: eszerint egy fizikai elmélet vagy világkép mindig valamilyen (általában matematikai természetű) modellt jelent, amelyhez hozzá tartoznak a modell elemeit a megfigyelésekkel összekapcsoló szabályok is. Ez olyan keretet ad, amelyben értelmezni tudjuk a modern természettudományt.

A filozófusok Platóntól kezdve évszázadok hosszú során át vitatkoztak a valóság természetéről. A klasszikus természettudomány azon a felfogáson alapul, miszerint létezik egy valóságos, külső világ, amelynek meghatározott és az azokat felfogó megfigyelőtől független tulajdonságai vannak. A klasszikus természettudomány szerint különféle objektumok léteznek, és ezek fizikai tulajdonságai, például a sebességük és a tömegük pontosan meghatározható értéket vesz fel. E felfogás értelmében elméleteink ezen objektumok és tulajdonságaik leírására irányuló próbálkozások, aminek méréseink és érzékeléseink megfelelnek. A megfigyelő és a megfigyelt dolog egyaránt az objektíven létező világ része, ezért nincs értelme különbséget tenni közöttük. Más szavakkal, ha azt látjuk, hogy egy parkolóházban egy zebracsorda küzd egy parkolóhelyért, akkor ezt csak azért láthatjuk, mert a parkolóházban tényleg egy zebracsorda küzd egy parkolóhelyért. A jelenetet szemlélő minden más megfigyelő ugyanezeket a tulajdonságokat méri, továbbá a csordának ugyanezek a tulajdonságai, függetlenül attól, hogy valaki megfigyeli őket vagy nem. A filozófiában ezt a meggyőződést *realizmusnak* nevezik.

Bár a realizmus tetszetős felfogásnak tűnhet, amint később látni fogjuk, a modern fizikáról szerzett ismereteink alapján elég nehéz kitartani mellette. A természet pontos leírását adó kvantumfizika alapelvei értelmében például egy részecskének nincs sem meghatározott helye, sem pedig meghatározott sebessége, mindaddig, amíg egy megfigyelő meg nem méri ezeket a tulajdonságokat. *Nem helyes* tehát azt mondani, hogy a mérés azért ad bizonyos eredményt, mert a megmért fizikai mennyiségnek a mérés pillanatában ennyi volt az értéke. Valójában, bizonyos esetekben az egyes objektumoknak még csak független létezését sem tulajdoníthatunk, inkább csak a sokaság részeként léteznek. Ha pedig a holografikus elvnek nevezett elmélet helytállónak bizonyul, akkor mi a négydimenziós világunkkal együtt csak árnyékok vagyunk egy nagyobb, ötdimenziós téridő határán. Ebben az esetben az Univerzumban elfoglalt helyünk az aranyhaléhoz hasonló.

A szigorú értelemben vett realisták gyakran hangoztatott érvelése szerint éppen a tudományos elméletek sikeressége bizonyítja azt, hogy ezek az elméletek a valóságot ábrázolják. Ám ugyanazt a jelenséget különböző elméletek – eltérő fogalmi keretek között – egyformán sikeresen tudják leírni. Valójában sok, egykor sikeresnek bizonyult tudományos elméletet később más, éppannyira sikeres, de a valóság más felfogásán alapuló elméletekkel helyettesítettek.

Hagyományosan azokat, akik nem fogadták el a realizmus álláspontját, *antirealistáknak* nevezték. Az antirealisták különbséget tesznek a tapasztalati és az elméleti úton szerzett ismeretek között. Általában azt hangoztatják, hogy csak a megfigyelések és a kísérletek hordoznak értelmet, az elméletek viszont nem egyebek hasznos segédeszközöknél, amelyek azonban nem tartalmaznak semmiféle, a megfigyelt jelenség háttérében álló, mélyebb igazságot. Egyes antirealisták még azzal is megpróbálkoztak, hogy a tudomány hatáskörét kizárólag a megfigyelhető dolgokra korlátozzák. Éppen ebből kifolyólag a XIX. században sok, az atomokra

vonatkozó elméletet azért utasítottak el, mert azt tartották, hogy soha nem fogunk tudni megfigyelni egy atomot. George Berkeley (1685-1753) egészen annak kijelentéséig elment, hogy semmi sem létezik, csak az elme és a benne lakozó gondolatok. Amikor egy barátja arra figyelmeztette Dr. Samuel Johnson (1709-1784) angol író és szótárszerkesztőt, hogy Berkeley állítását valószínűleg nem lehet megcáfolni, akkor Johnson állítólag odasétált egy nagy kőhöz, belerúgott és kijelentette: „Én így cáfolum.” Természetesen a dr. Johnson által a lábában érzett fájdalom is csak az elméjében lakozó gondolat volt, így valójában nem cáfolta meg Berkeley nézetét. De ez az eset jól illusztrálja a filozófus David Hume (1711-1776) felfogását, aki azt írta, hogy bár nincs ésszerű okunk arra, hogy higgyünk egy objektív valóságban, nincs más választásunk, úgy kell tennünk, mintha igaz lenne.



„Van valami közös Önökben. Dr. Davis felfedezett egy elemi részecskét, amelyet senki sem látott, Higbe professzor pedig egy olyan galaxist fedezett fel, amelyet szintén nem látott senki.”

A modellfüggő realizmus rövidre zárja a realista és antirealista gondolkodók iskolái közötti összes érvelést és vitát. A modellfüggő realizmus szerint értelmetlen megkérdezni, hogy egy modell valóságos-e, csak arra lehetünk kíváncsiak, egyezik-e a megfigyelésekkel. Ha két modellünk van, és mindkettő egyezik a megfigyelésekkel, mint az aranyhal és a mi világképünk esetében, akkor nem jelenthetjük ki, hogy az egyik modell valóságosabb a másiknál. Ebben az esetben a kettő közül azt a modellt használhatjuk, amelyik a szóban forgó helyzet esetén kényelmesebb. Ha például valaki az akváriumban tartózkodik, akkor számára az aranyhal világképe hasznosabb lenne, az akváriumon kívül tartózkodók számára azonban célszerűtlen lenne egy távoli galaxisban lejátszódó eseményeket egy földi akvárium belsejéhez rögzített vonatkoztatási rendszerben leírni, annál is inkább, mert az akvárium együtt mozog a Földdel, követve annak Nap körüli keringését és tengely körüli forgását.

Nemcsak a természettudományban készítünk modelleket, hanem a mindennapi életben is. A modellfüggő realizmus nemcsak a természettudományos modellekre alkalmazható, hanem azokra a tudatos és tudat alatti gondolati modellekre is, amelyeket a mindennapi világ értelmezése és megértése céljából mindannyian készítünk. Nincs mód arra, hogy eltávolítsuk az észlelőt – saját magunkat – a világról érzékelt képünkből, amelyet az érzékelés folyamata révén, gondolkodással és következtetéssel alakítunk ki. Érzékelésünk – és ennél fogva az elméleteink alapjául szolgáló megfigyelés – nem közvetlen, hanem az emberi agy feldolgozó és értelmező rendszere alakítja ki, mintha valamiféle lencse hozná létre a képet.

A modellfüggő realizmus annak a módnak felel meg, ahogyan érzékeljük az objektumokat. A látás esetében a látóidegen keresztül jelek sorozata jut az agyba. Ezek a jelek

azonban nem alkotnak olyan képet, mint amilyen a televízió képernyőjén létrejön. A szemben van egy úgynevezett vakfolt, ahol a látóideg a retinához kapcsolódik, igazán éles, jó felbontású kép pedig a retinának csak a közepe környékén lévő, kicsiny, alig 1 fok látómezőnek megfelelő területén alakul ki, ez akkora terület, amekkorának karnyújtásnyi távolságból a hüvelykujjunkt látjuk. Az agyba érkező adatok tehát egy rossz felbontású képnek felelnek meg, amelyiknek ráadásul egy lyuk tátong a közepén. Szerencsére az emberi agy feldolgozza a beérkező adatokat, egyesíti a két szemből érkező jeleket, a szomszédos pontokból érkező jeleket hasonlóaknak feltételezve kitölti a hiányokat és interpolál. Ráadásul a retinából kiolvasott kétdimenziós adatokból a háromdimenziós tér érzetét keltő képet állít elő. Más szavakkal, az agy felépíti az elmében a képet vagy modellt.

Az agy olyan kiválóan alkalmas a modell felépítésére, hogy ha valakit fejjel lefelé álló képet alkotó szemüveggel látnak el, akkor az agy kis idő elteltével úgy változtatja meg a modellt, hogy az illető ismét egyenes állású képet lát. Ha ezután eltávolítják a szemüveget, akkor a páciens bizonyos ideig fejjel lefelé látja a világot, de azután az agy ismét alkalmazkodik a megváltozott helyzethez. Eszerint tehát, ha valaki azt mondja, hogy „látok egy széket”, akkor ez csupán azt jelenti, hogy a székről szóródó fénysugarak felhasználásával az elméjében felépítette a szék képét vagy modelljét. Ha a modell fejjel lefelé áll, akkor az agy kis szerencsével korrigálja a képet, még mielőtt az illető megpróbál leülni a székre.

Egy másik probléma, amelyet a modellfüggő realizmus megold, vagy legalábbis megkerül, a létezés jelentése. Honnan tudhatom, hogy létezik az asztal, ha kimegyek a szobából és nem látom? Mit jelent a létezés az olyan dolgok esetében, amelyeket nem látunk – ilyenek például az elektronok vagy az állítólag a protonokat és a neutronokat felépítő kvarkok. Felépíthetünk egy olyan modellt, amelyben

az asztal mindannyiszor eltűnik, amikor kimegyek a szobából, amikor pedig visszajövök, akkor mindannyiszor ugyanott ismét megjelenik, ahol korábban állt.

Ez azonban elég nehézkes modell lenne, sőt, azt sem tudnánk megmondani, mi a helyzet akkor, ha valami történik, mialatt nem vagyunk a szobában: például beomlik a mennyezet. Miként lehetne az „eltűnik az asztal, ha kimegyek a szobából” modell keretében magyarázatot adni arra, hogy amikor visszamegyek, az összetört asztalt ott találom a plafonról lezuhant törmelék alatt? Sokkal egyszerűbb és a megfigyelésekkel is egyező eredményt ad a másik modell, amely szerint az asztal mindvégig a helyén marad.

Az általunk láthatatlan szubatomi részecskék esetében az elektron hasznos modell, mert magyarázatot ad bizonyos megfigyelésekre, például ködkamrában megjelenő nyomokra vagy a televízió képernyőjén bekövetkező felvillanásokra és számos más jelenségre.



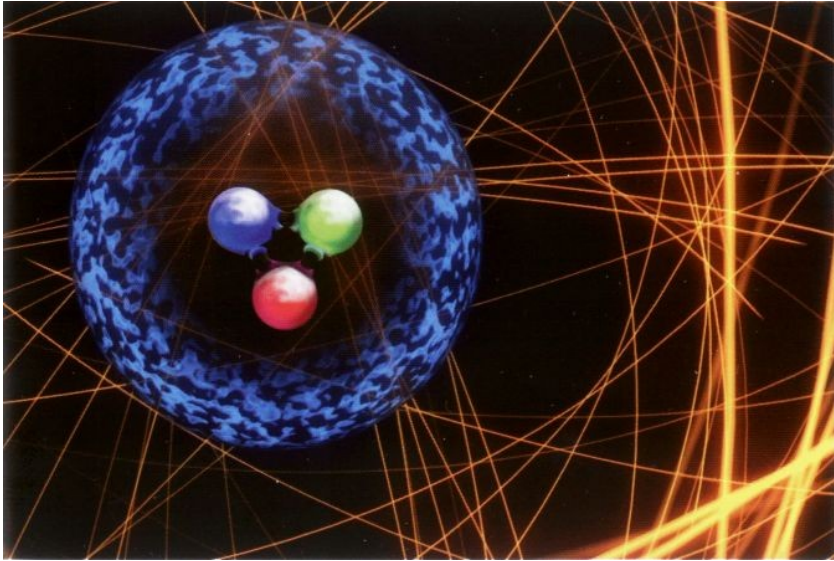
5. Katódsugarak – Nem látjuk az egyes elektronokat, az általuk létrehozott hatást viszont igen.

Azt szokták mondani, hogy az elektront J. J. Thomson brit fizikus fedezte fel 1897-ben a Cambridge-i Egyetem Cavendish Laboratóriumában. Üres üvegcsőekben folyó elektromos áramokkal, az úgynevezett katódsugarakkal kísérletezett. Kísérletei alapján arra a merész következtetésre jutott, hogy a titokzatos sugarak parányi „korpuszkulákból” álltak, amelyek az akkoriban még az anyag oszthatatlan, alapvető összetevőinek gondolt atomok anyagi összetevői lehettek. Thomson nem „látott” egyetlen elektront sem, de még a kísérletei sem bizonyították közvetlenül vagy egyértelműen feltételezése helyességét. A modell azonban döntő jelentőségűnek bizonyult az alapkutatásoktól a különféle műszaki alkalmazásokig. Éppen ezért ma már egyetlen fizikus sem kételkedik az elektronok létezésében, noha még soha, senki nem látott elektront.

Az ugyancsak nem látható kvarkokat olyan modelleknek tekinthetjük, amelyek az atom magjában található protonok és neutronok tulajdonságaira adnak magyarázatot. Bár a protonokról és a neutronokról azt tartják, hogy kvarkokból állnak, soha nem leszünk képesek megfigyelni egyetlen kvarkot, mert a kvarkokat összetartó erő annál nagyobb, minél jobban el akarjuk távolítani őket egymástól, ezért a természetben nem fordulhatnak elő izolált, szabad kvarkok. Ehelyett a kvarkok mindig vagy hármas csoportokban fordulnak elő (protonok és neutronok) vagy kvark-antikvark párokban (pi mezonok), és úgy viselkednek, mintha gumiszalagok kötnék őket össze egymással.

A kvarkmodell megalkotását követő években heves vita folyt arról, hogy van-e értelme azt mondani, hogy a kvarkok valóban léteznek, ha sohasem lehetünk képesek izolálni őket. Az elképzelés, amely szerint bizonyos részecskék néhány szubszubatomiai részecskéből épülnek fel, olyan rendező elvként szolgált, amelynek segítségével egyszerűen és megnyerően magyarázni lehetett tulajdonságaikat. Noha a

fizikusok számára megszokott dolog, hogy elfogadnak olyan részecskéket, amelyek létezésére csak más részecskék szóródásából kapott statisztikus képből következtetnek, mégis az az elgondolás sok fizikus számára is elfogadhatatlan volt, hogy valóságosnak tekintsenek olyan részecskéket, amelyek elvben megfigyelhetetlenek lehetnek.



6. Kvarkok – A kvarkok fogalma alapvető az elméleti fizikában, bár egyetlen, önálló kvarkot még soha nem sikerült megfigyelni.

Az évek múltával azonban a kvarkmodell egyre több és pontosabb előrejelzést adott, így az ellenkezés fokozatosan alábbhagyott. Természetesen lehetséges, hogy egyes földönkívüliek, akiknek tizenhét karjuk és infravörös szemük van, a fülükből pedig tejfölt lövellnek ki, ugyanazokat a kísérleti megfigyeléseket végzik el, mint mi, de ők az eredményeket kvarkok feltételezése nélkül írják le. Mindamelllett, a modellfüggő realizmus szerint a kvarkok olyan modellben léteznek, amelyik összhangban van a

szubnukleáris részecskék viselkedésére vonatkozó megfigyeléseinkkel.

A modellfüggő realizmus keretében olyan kérdéseket is meg lehet tárgyalni, mint például az, hogy ha a világ véges idővel ezelőtt keletkezett, akkor mi történt ezt megelőzően. Egy korai keresztény filozófus, Szent Ágoston (354-430) szerint a válasz erre a kérdésre nem az, hogy akkor készítette elő Isten a poklot az efféle kérdéseket feltevő emberek számára, hanem az, hogy az idő az Isten által teremtett világ egyik tulajdonsága, így a teremtés előtt az idő sem létezett. Ő egyébként a teremtést a nem túl régi múltra tette. Ez egy lehetséges modell, amelyet elsősorban azok kedvelnek, akik kitartanak amellett, hogy a Teremtés könyvében olvasható leírást szó szerint igaznak kell tekinteni, noha a világ a Földön található ősmaradványok (fossziliák) és egyéb bizonyítékok értelmében sokkal idősebbnek látszik. (Vagy esetleg csak a mi megtévesztésünkre kerültek oda?) Felállíthatunk egy másik modellt is, amelyikben az időt visszafelé követjük, 13,7 milliárd évvel ezelőttig, vagyis az Ősrobbanásig. Ez a modell ad magyarázatot a legtöbb mai megfigyelésünkre, beleértve a történelmi és geológiai bizonyítékokat is, tehát ez a múltról alkotott legjobb leírás. A második modell magyarázatot tud adni a fossziliák létezésére és a radioaktív kormeghatározások eredményeire is, valamint arra a tényre, hogy sok millió fényév távolságban lévő galaxisok fényét láthatjuk. Ennélfogva ez a modell – az Ősrobbanás-elmélet – hasznosabb az előző modellnél. Ennek ellenére egyik modellt sem nevezhetjük valóságosabbnak a másiknál.

Vannak, akik olyan modell mellett állnak ki, amelyben az idő még az Ősrobbanás előtt is értelmezhető. Egyelőre nem világos, jobban magyarázná-e a jelenlegi megfigyeléseinket egy olyan modell, amelyben az idő az Ősrobbanáson túli múltban is folytatódik, mert úgy tűnik, hogy az Univerzum fejlődését megszabó törvények érvényessége megtörik az

Ősrobbanáskor. Ha ez valóban így van, akkor nem lenne értelme olyan modellt alkotni, amelyik magában foglalja az Ősrobbanás előtti időt is, mert annak, ami akkor létezett, semmiféle megfigyelhető következménye nem lenne a jelenre nézve, ezért nyugodtan kitarthatunk azon elképzelés mellett, miszerint az Ősrobbanás jelentette a világunk teremtését.

Egy modell akkor jó, ha a következő tulajdonságai vannak:

1. Elegáns;
2. Kevés önkényes vagy változtatható elemet tartalmaz;
3. Összhangban áll a létező megfigyelésekkel és magyarázatot ad azokra;
4. Részletes előrejelzéseket szolgáltat a jövőben elvégzendő megfigyelések eredményeire, amelyek megcáfolják vagy megdöntik a modellt, ha nem támasztják alá.

Arisztotelész elmélete szerint például a világ négy elemből állt, földből, levegőből, tűzből és vízből, a testek pedig arra törekedtek, hogy beteljesítsék saját céljukat. A modell kétségtelenül elegáns volt, és nem tartalmazott változtatható elemeket. Sok esetben azonban nem adott határozott előrejelzést, és amikor adott, akkor az előrejelzései nem mindig egyeztek a megfigyelésekkel. Ezen előrejelzések egyike az volt, hogy a nehezebb testeknek gyorsabban kell esniük, mert a testeknek az a célja, hogy leessenek. Úgy tűnik azonban, egészen Galileiig senki sem gondolt arra, hogy ezt az állítást fontos lenne kísérletekkel ellenőrizni. Egy történet szerint Galilei a pisai ferde toronyból leejtett súlyokkal ellenőrizte a feltevést. A történet valószínűleg kétes hitelességű, azt viszont bizonyosan tudjuk, hogy különböző súlyokat gurított le lejtőkön, miközben megfigyelte, hogy Arisztotelész előrejelzésének ellentmondva, ugyanolyan ütemben nőtt a sebességük.

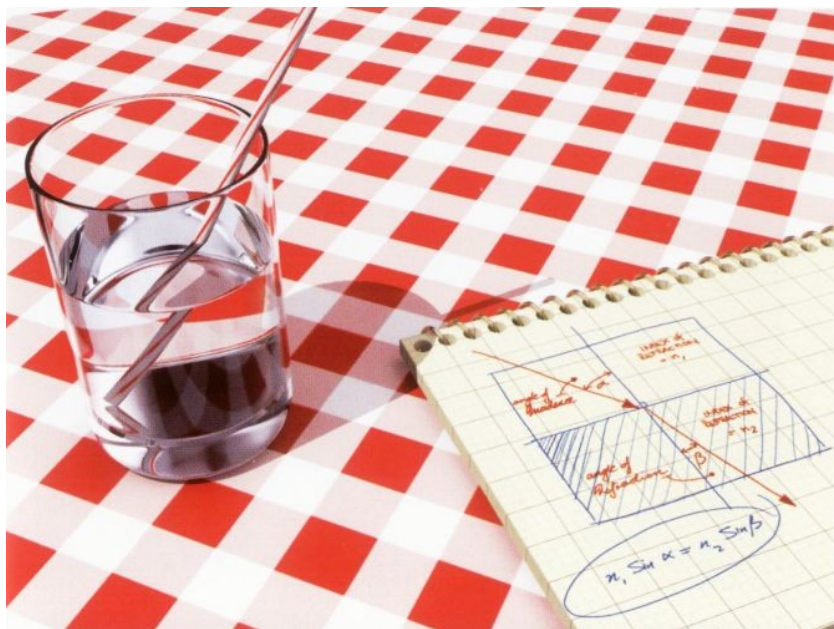
A megadott kritériumok nyilvánvalóan szubjektívek. Az elegancia például nem olyan tulajdonság, amelyet könnyen mérni lehetne, mégis a tudósok nagyra értékelik, mert a természeti törvényektől megkövetelik, hogy számos különböző esetet gazdaságosan egyetlen, egyszerű formulába tömörítsenek össze. Az elegancia az elmélet formájára vonatkozik, de szoros összefüggésben van a szabályozható tényezők hiányával, minthogy az alaptalanul kitalált paraméterek tömegét tartalmazó elmélet nem túl elegáns. Einstein nyomán azt mondhatjuk, hogy egy elméletnek a lehető legegyszerűbbnek kell lennie, de annál semmivel sem lehet egyszerűbb. Ptolemaiosz az égitestek körpályáit azért egészítette ki az epiciklusokkal, hogy modellje pontosan írja le a bolygók mozgását. A modellt még pontosabbá lehetett volna tenni, ha az epiciklusokat újabb epiciklusokkal egészíti ki, majd azokhoz esetleg még újabb epiciklusokat ad hozzá. Bár a bonyolultság fokozása talán egyre pontosabbá tenné a modellt, de a tudósok mégsem tartják kielégítőnek azt a modellt, amelyiket azért kell eltorzítani, hogy megfeleljen az adatok bizonyos csoportjának. Az ilyen modellt sokkal inkább adatokat tartalmazó katalógusnak tekintik, nem pedig valamilyen – valószínűleg hasznos – alapelvet megtestesítő elméletnek.

Az 5. fejezetben látni fogjuk, hogy sokak szerint az elemi részecskék kölcsönhatásait leíró „Standard Modell” nem elegáns. Ez a modell viszont sokkal több sikert mondhat magáénak, mint Ptolemaiosz epiciklusai. Számos új elemi részecske létezését jósolta ugyanis meg, még mielőtt azokat megfigyelték volna, ezenkívül több évtizeden keresztül nagy pontossággal előre megmondta számos kísérlet eredményét. Ám a modell sok szabad paramétert tartalmaz, amelyek értékét megfelelően be kell állítani ahhoz, hogy a modell előrejelzései megfeleljenek a megfigyeléseknek, ahelyett, hogy ezeknek a paramétereknek az értékét maga az elmélet határozná meg.

Ami a negyedik pontot illeti, a tudósokra mindig nagy hatással van, ha az új és meghökkentő előrejelzések helyesnek bizonyulnak. Másrészt viszont, ha egy modellt hiányosnak találnak, akkor a leggyakoribb reakció az, hogy a kísérlet hibás volt. Ha nem bizonyosodik be, hogy ez a helyzet, az emberek gyakran akkor sem vetik el a modellt, hanem megpróbálják módosítani, és így megmenteni. Bár a fizikusok tényleg kitartóan próbálkoznak az általuk csodált elmélet megmentésével, a módosítgatások csökkentik az elmélet értékét, méghozzá annál jobban, minél mesterkéltőbb és nehezekebb, vagyis minél „kevésbé elegáns”.

Ha az újabb megfigyelések befogadásához szükséges módosítások túlságosan bonyolultak és körülményesek, akkor ez azt jelzi, hogy itt az ideje egy új modell kidolgozásának. Az egyik példa arra, amikor a régi modell az új megfigyelések súlya alatt átadja a helyét egy újabbnak, a statikus univerzum elképzelése. Az 1920-as években a legtöbb fizikus statikusnak, vagyis változatlan méretűnek gondolta az Univerzumot. Azután 1929-ben Edwin Hubble publikálta megfigyelései eredményét, amelyek a Világegyetem tágulását mutatták. Hubble azonban nem figyelte meg közvetlenül az Univerzum tágulását, csak a galaxisok által kibocsátott fényt észlelte. A fény jellegzetes mintázatot hordoz, ez az egyes galaxisok kémiai összetételét tükröző színekép (spektrum), amely ismert mértékben változik meg, ha a fényt kibocsátó galaxis mozog hozzánk képest. Így tehát a távoli galaxisok színeképét elemezve Hubble következtetni tudott a sebességükre. Arra számított, hogy nagyjából ugyanannyi felénk közeledő, mint ahány tőlünk távolodó galaxist talál. Ehelyett azt állapította meg, hogy csaknem az összes galaxis távolodik tőlünk, méghozzá minél távolabb van, annál gyorsabban. Hubble arra a következtetésre jutott, hogy a Világegyetem tágul, mások azonban megpróbálták kitartani a régi modell mellett, és megkísérelték Hubble megfigyeléseit a statikus univerzum

képével összeegyeztetni. A Kaliforniai Műszaki Egyetem (CalTech) egyik fizikusa, Fritz Zwicky azt vetette fel, hogy talán a nagy távolságokat befutó fénysugár esetleg valamilyen, egyelőre ismeretlen ok miatt veszít az energiájából. Ez az energiavesztés megfelelne a fény színképében megfigyelhető változásnak, így előállna a Hubble által megfigyelt kép. Évtizedekkel Hubble felfedezése után sok tudós még mindig kitartott az állandó állapotú Világegyetem képe mellett. A legkézenfekvőbb magyarázat azonban mégis a Hubble-féle volt, vagyis a táguló Világegyetem képe, amely fokozatosan az egyetlen elfogadott elméletté vált.

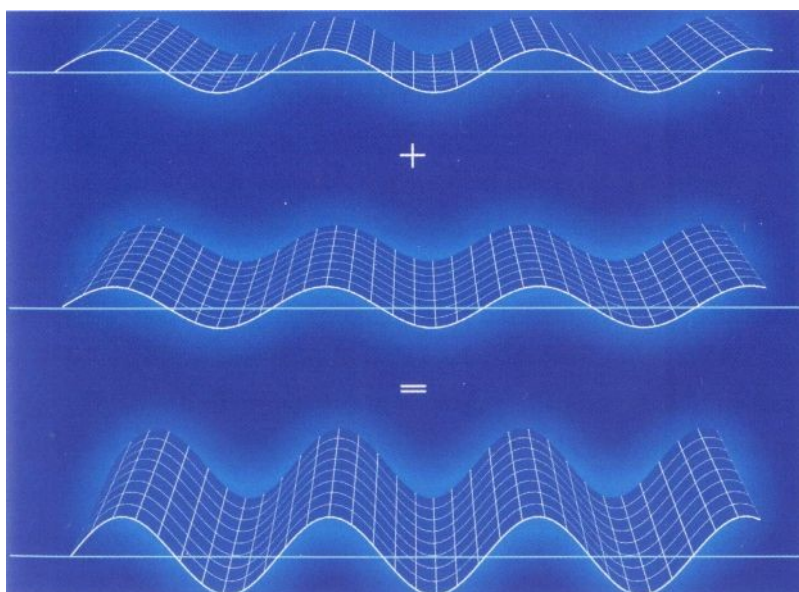
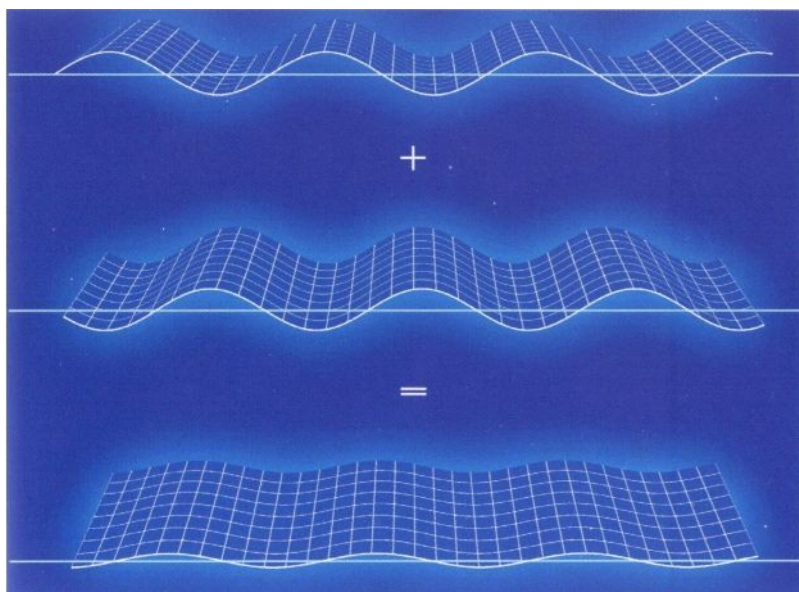


7. Fénytörés – Newton fényről alkotott modellje megmagyarázza, miért törik meg a fénysugár, ha egyik közegből átlép a másikba, nem tudja viszont megmagyarázni a Newton-gyűrűknek nevezett jelenséget.

Az Univerzum működését irányító törvények keresése során számos elméletet vagy modellt fogalmaztunk meg. Ilyen volt például a négy őselemre épülő modell, Ptolemaiosz világképe, a flogiszonelmélet, az Ősrobbanás-elmélet és így tovább. Minden egyes elmélettel vagy modellel változott a valóságról és a Világegyetem alapvető alkotóelemeiről alkotott felfogásunk. Nézzük például a fény elméletét! Newton úgy gondolta, hogy a fény parányi részecskékből, úgynevezett korpuszkulákból áll. Ez a felfogás megmagyarázná, miért terjed egyenes vonalban a fény, sőt, Newton ezt a képet használta fel annak magyarázatára is, miért hajlik el, vagyis törik meg a fénysugár, ha az egyik közegből átlép egy másikba, például levegőből üvegbe vagy levegőből vízbe.

A korpuszkuláris elmélet azonban nem tudott megmagyarázni egy olyan jelenséget, amelyet maga Newton is megfigyelt, az úgynevezett Newton-gyűrűk keletkezését. Helyezzünk lencsét egy sík, tükröző felületre, és világítsuk meg egyszínű fénnyel, például nátriumgőzlámpával. Felülről ránézve sötét és világos koncentrikus gyűrűk sorozatát pillantjuk meg, amelyek középpontja ott van, ahol a lencse érintkezik a felülettel. Ezt nehéz lenne a fény részecskeelméletével megmagyarázni, a hullámelmélet azonban könnyen számot ad róla.

A fény hullámelmélete szerint a világos és a sötét gyűrűket az interferenciának nevezett jelenség okozza. A hullám, mint például a vízhullám, hullámhegyek és hullámvölgyek sorozatából áll. Ha a hullámok összeütköznek egymással, és hullámhegy véletlenül éppen hullámheggyel, hullámvölgy pedig hullámvölgygel találkozik, akkor a hullámok erősítik egymást. Ezt a helyzetet *erősítő interferenciának* nevezzük. Ebben a helyzetben a hullámok úgymond „fázisban vannak egymással”. A másik szélső eset a hullámok találkozásakor akkor következik be, ha az egyik hullám hullámhegyei éppen a másik hullám hullámvölgyeivel találkoznak. Ebben az esetben a hullámok gyengítik, illetve teljesen kioltják egymást, vagyis „nincsenek fázisban egymással”. Ezt a helyzetet *kioltó interferenciának* nevezzük.



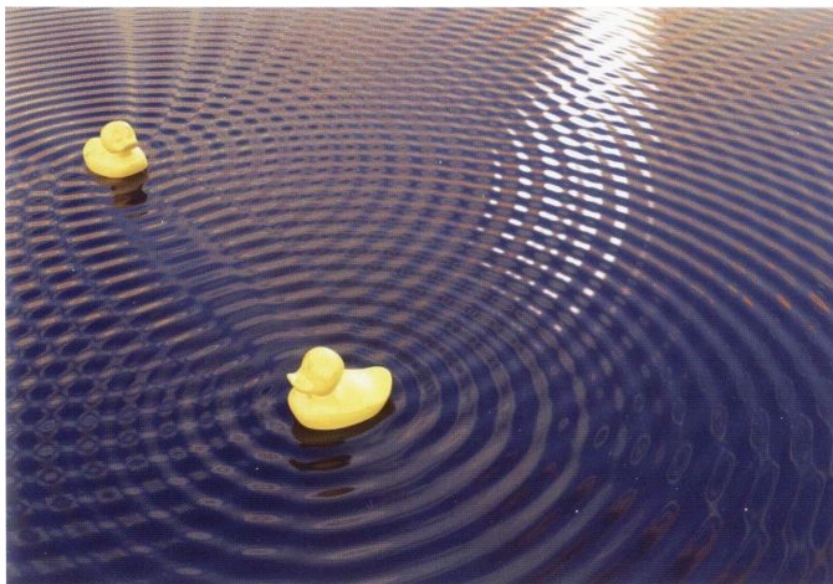
8. Interferencia – Akárcsak az emberek, a hullámok is kioltják vagy erősítik egymást, ha találkoznak.

A Newton-gyűrűk esetében a világos gyűrűk a középponttól olyan távolságra helyezkednek el, ahol a lencse és a tükröző felület távolsága akkora, hogy a lencséről és a lemezről visszaverődő fényhullámok által megtett út közötti különbség a hullámhossz egész számú (1, 2, 3, ...) többszöröse, így erősítő interferencia lép fel. (A hullámhossz a szomszédos hullámhegyek közötti távolság.) A sötét gyűrűk ezzel szemben a középponttól olyan távolságban jönnek létre, ahol a két visszaverődő hullám közötti útkülönbség fél hullámhosszal több a hullámhossz egész számú többszörösénél ($\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, ...), aminek következtében kioltó interferencia jön létre – a lencséről visszaverődő fényhullám kioltja a sík felületről visszaverődőt.

A XIX. században ezt a fény hullámelmélete bizonyítékának tekintették, ami egyúttal arra utal, hogy a részecskeelmélet hibás. A XX. század elején azonban Einstein bebizonyította, hogy a fényelektromos hatás (amelyet ma a televíziókban és a digitális kamerákban használunk) megmagyarázható azzal a feltevéssel, hogy a fény egy részecskéje, vagy más szóval kvantuma nekiütközik egy atomnak, és kilök egyet az atommag körüli elektronok közül. Eszerint tehát a fény részecskeként és hullámként egyaránt viselkedhet.

A hullámok fogalma valószínűleg azért jelent meg az emberi gondolkodásban, mert az emberek hosszasan szemléltek az óceánt vagy egy pocsolyát, amelybe kavicsot ejtettek. Tulajdonképpen, aki dobott már egyszerre két kavicsot a pocsolyába, az láthatta az interferencia működését. Megfigyelték, hogy más folyadékok is hasonlóan viselkednek, kivéve talán a bort, ha túl sokat iszunk belőle. A részecskék képe jól ismert volt a kövek, a kavicsok és a homokszemek világából. Ez a hullám/részecske kettősség – miszerint egy objektum viselkedése részecskeként és hullámként egyaránt

leírható – éppoly ismeretlen a hétköznapi gyakorlatban, mintha meg akarnánk inni egy darab mészkövet.

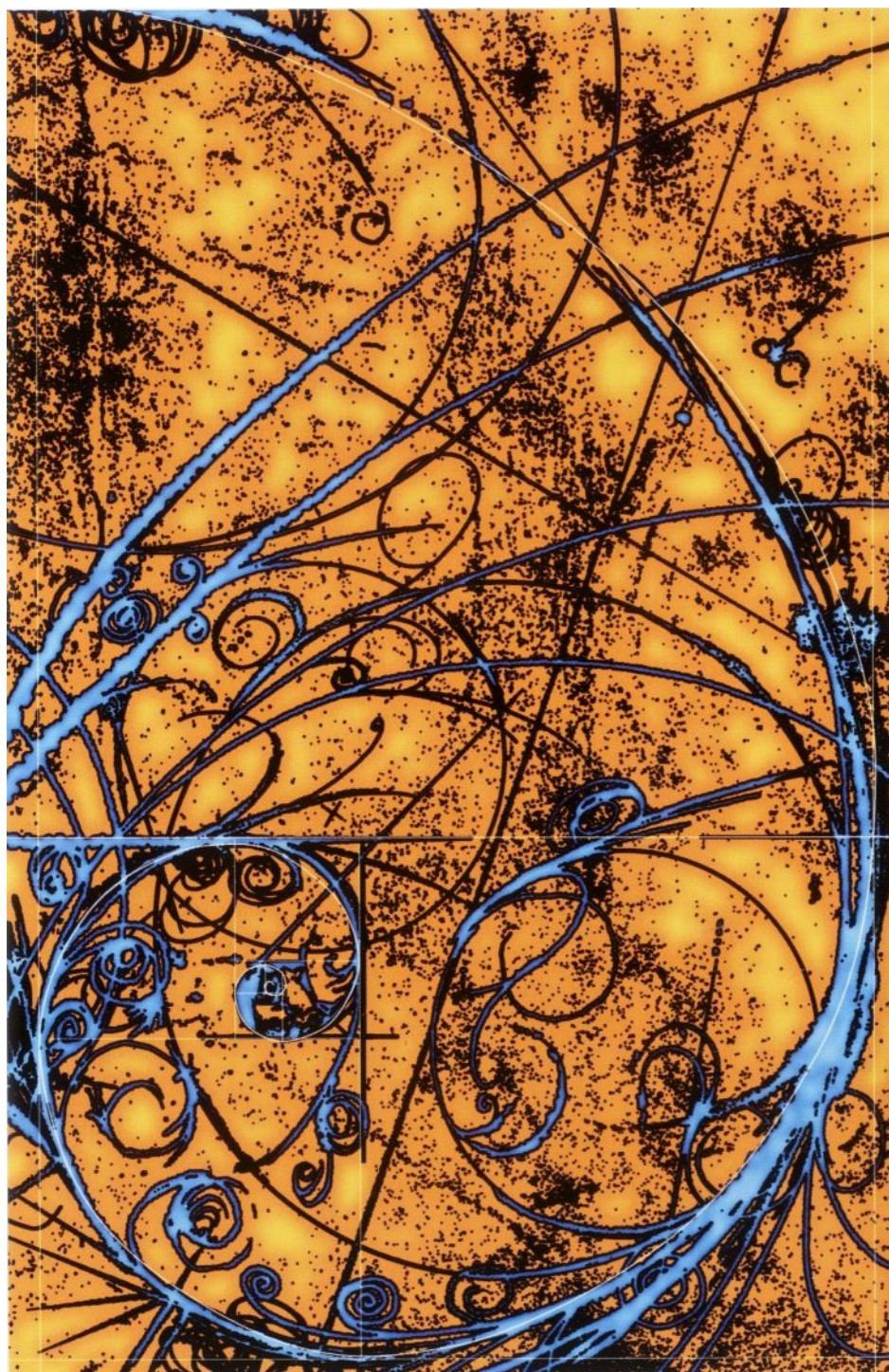


9. Interferencia tócsában – Az interferencia jelensége a hétköznapi életben is megfigyelhető a pocsolyától az óceánig a különböző vízfelületen kialakuló hullámok találkozásakor.

Az ehhez hasonló kettősségek – vagyis azok a helyzetek, amelyekben két különböző elmélet egyformán pontosan leírja ugyanazt a jelenséget – összhangban állnak a modellfüggő realizmussal. Minden elmélet képes bizonyos tulajdonságok magyarázatára, de egyik elméletet sem tekinthetjük jobbnak, avagy valóságosabbnak a másiknál. Az Univerzum működését irányító törvények tekintetében a következőt jelenthetjük ki. Úgy tűnik, nem létezik egyetlen matematikai modell vagy elmélet, amelyik minden vonatkozásában leírja a Világegyetemet inkább – amint azt a bevezető fejezetben már említettük – az elméletek M-elméletnek nevezett hálózata létezik. Az M-elmélethálózat minden egyes elmélete a

jelenségek bizonyos körének a leírására alkalmas. Ha ezek a tartományok átfedik egymást, akkor a hálózathoz tartozó különböző elméletek azonos eredményt adnak, ezért joggal tekinthetjük őket ugyanazon elmélet részeinek. Nincs azonban a hálózaton belül egyetlen olyan elmélet, amelyik a Világegyetemet minden szempontból le tudná írni – a természet összes kölcsönhatását, az ezeket az erőket érzékelő részecskéket, valamint a tér és az idő által alkotott keretet, amelyben mindezen jelenségek lejátszódnak. Bár ez a helyzet nem tesz eleget azoknak a várakozásoknak, amikor a hagyományos fizikusok egyetlen egyesített elméletről álmodnak, a modellfüggő realizmus keretein belül azonban elfogadható.

A kettősséget (dualitást) és az M-elméletet részletesebben tovább tárgyaljuk az 5. fejezetben, azonban előtte rövid kitérőt teszünk egy olyan alapvető elv megismerése irányába, amelyiken a természetről alkotott modern képünk teljes egészében nyugszik. A kvantumelméletről van szó, és azon belül is elsősorban a kvantumelmélet alternatív történelmeknek nevezett szemléletmódjáról. E kép értelmében az Univerzumnak nemcsak egyetlen létezése vagy történelme van, hanem minden lehetséges változata egyidejűleg, egymással párhuzamosan létezik, amit *kvantumok szuperpozíciónak* nevezünk. Ez legalább olyan különösnek hangzik, mint az az elmélet, amely szerint az asztal eltűnik, amikor kimegyek a szobából, ám ebben az esetben az a helyzet, hogy az elmélet az összes kísérleti ellenőrzés próbáját kiállta, amelynek csak alávették.

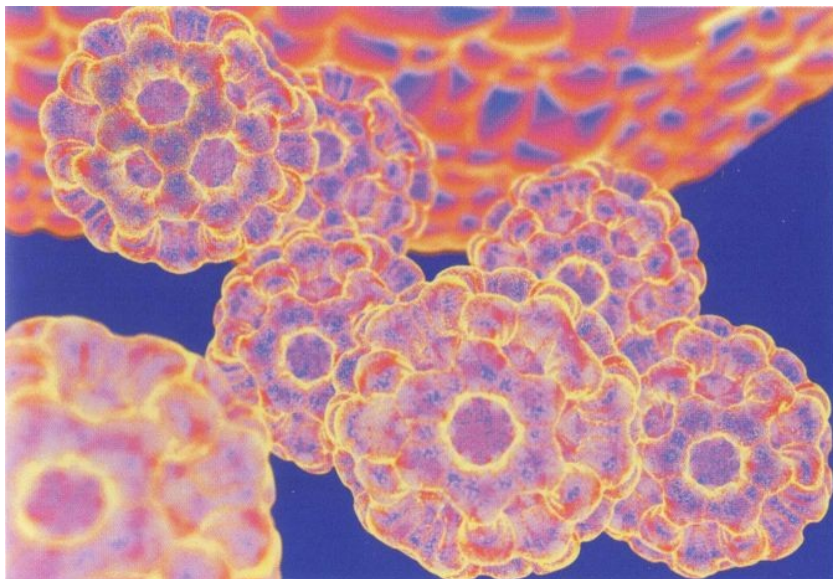


4

ALTERNATÍV TÖRTÉNELMEK

O

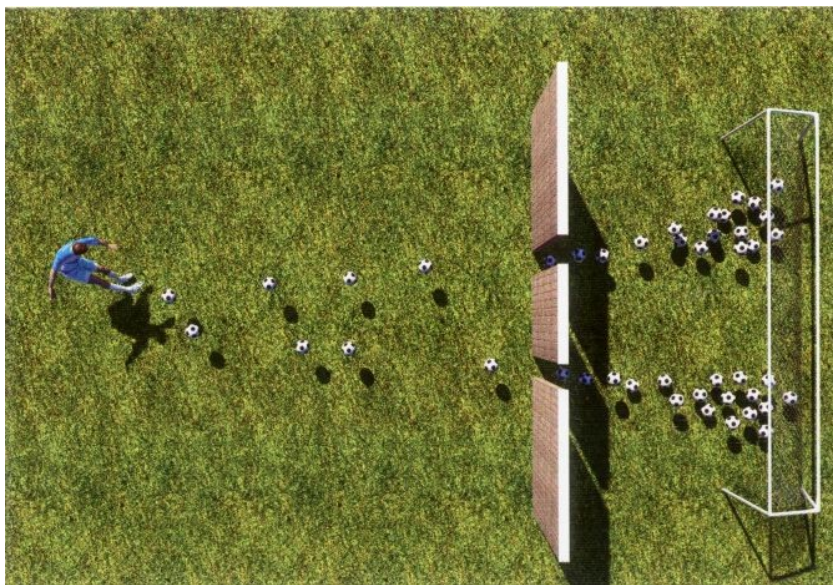
SZTRÁK FIZIKUSOK EGY CSOPORTJA 1999-BEN futball-labda alakú molekulák sorozatát lőtte bele egy akadályba. Ezeket a molekulákat, amelyek mindegyike 60 szénatomból állt, gyakran fulleréneknek nevezik, mert egy Buckminster Fuller nevű építész e molekulákéhoz hasonló szerkezetű épületeket tervezett. Fuller geodetikus kupolái talán a futball-labdára hasonlító legnagyobb építmények. A fullerénmolekulák viszont a legkisebbek. Az akadály, amely felé a kutatók kilőtték a molekulákat, valójában egy átjárhatatlan fal volt, amelybe két rést vágtak – ezeken



10. Fullerének – A fullerének szénatomokból álló, mikroszkopikus futball-labdák.

keresztül tudtak a molekulák áthatolni. A fal túlsó oldalán a fizikusok egy képernyőnek megfelelő detektort helyeztek el, amellyel észlelték és megszámlálták a beérkező molekulákat.

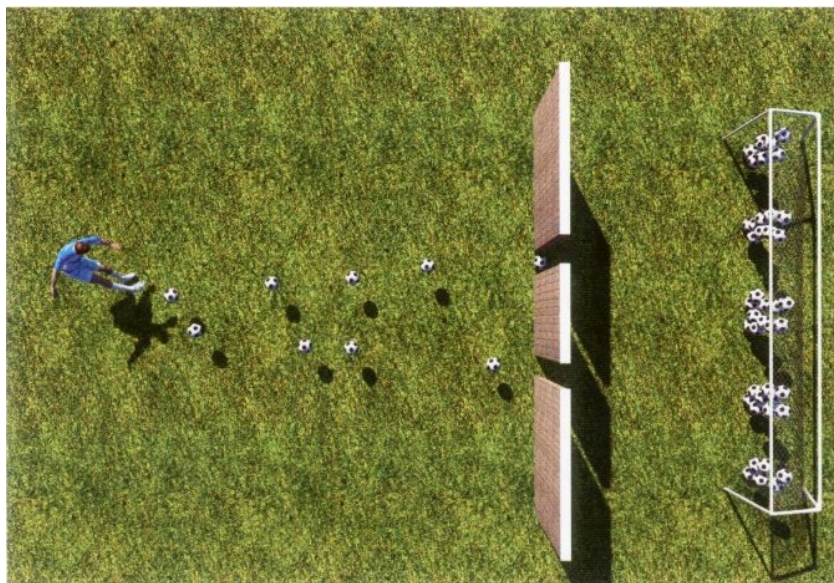
Ha valódi focilabdákkal szeretnénk elvégezni egy hasonló kísérletet, akkor olyan játékosra lenne szükségünk, aki a célzásban meglehetősen bizonytalan, viszont képes a labdát következetesen az általunk megjelölt sebességgel elrúgni. A játékost felállítanánk a fallal szemben, amelybe két rést vágunk. A fal túlsó oldalán, azzal párhuzamosan nagyon hosszú hálót feszítünk ki. A játékos legtöbb lövése a falat találja el, ahonnan visszapattan, néhány labda azonban átmegy valamelyik résen és beakad a hálóba. Ha a rések csak valamivel szélesebbek a labda átmérőjénél, akkor a fal túloldalán két, erősen fókuszált nyaláb jelenik meg.



11. Kétréses futball – Ha a focista a faiba vágott két rés felé rúgja a labdát, akkor a fal túlsó oldalán jellegzetes mintázat alakul ki.

Ha a rések valamivel szélesebbek, akkor a nyalábok legyezőszerűen kissé szétterülnek, amint az a 11. ábrán látható.

Figyeljük meg, hogy ha az egyik rést bezárjuk, akkor az ennek megfelelő nyaláb nem jelenik meg a fal másik oldalán, de ennek semmilyen hatása sincs a másik nyalábra. Ha újra kinyitjuk a második rést, akkor azt tapasztaljuk, hogy a labdák száma csak a túlsó oldalon lévő háló egy bizonyos pontjában kezd növekedni, így ott a mindvégig nyitva tartott résen keresztüljutó labdák mellett elkezdenek megjelenni az újonnan kinyitott részen átrepülő labdák is. Más szavakkal, ha mindkét rés nyitva van, akkor a hálónál kialakuló helyzet pontosan az összege lesz annak a két képnek, amelyeket akkor kapunk, ha csak az egyik, illetve csak a másik rést tartjuk nyitva.



12. Kétréses futball, molekulákkal – Ha a molekuláris futball-labdákat löjük ki az ernyőbe vágott két rés felé, akkor a túloldalon

a kvantummechanika törvényeinek engedelmeskedve, szokatlan mintázat alakul ki.

Ehhez szoktunk hozzá a mindennapokban. Az osztrák fizikusok azonban nem ezt tapasztalták, amikor kísérletükben fullerénmolekulákkal bombázták a falat.

Az osztrák kísérletben a második rés kinyitásakor az ernyő bizonyos pontjaiban valóban növekedni kezdett a beérkező molekulák száma – más pontokban azonban csökkent, amint az a 12. ábrán látható. Tulajdonképpen voltak olyan pontok, ahová egyetlen fullerénmolekula sem érkezett, noha mindkét rés nyitva volt, pedig amikor csak az egyik, vagy csak a másik rés volt nyitva, akkor ugyanazt a pontot eltalálták a molekulák. Ez nagyon különösnek tűnik. Miként okozhatja a második rés kinyitása bizonyos pontokban az odaérkező molekulák számának a csökkenését?

A részletek vizsgálata nyomra vezethet. A kísérletben a molekuláris labdák közül nagyon sok éppen abba a pontba érkezett, amelyik félúton fekszik azon két pont között, ahová akkor várnánk az érkezésüket, ha csak az egyik vagy csak a másik rés lenne nyitva. Az ettől a felezőponttól kicsit távolabbi pontba csak nagyon kevés molekula érkezett, de még jobban eltávolodva a középponttól ismét több molekula becsapódását figyelték meg. Ez a minta semmi esetre sem azonos a csak az egyik vagy csak a másik rés nyitva tartásával kapott minták összegével, sokkal inkább a hullámok 3. fejezetben látott interferenciaképeznek jellegzetességeit viseli magán. Azok a területek, ahová egyetlen molekula sem érkezik, azoknak a helyeknek felelnek meg, ahová a két résen áthaladó részecskesugarak éppen ellentétes fázisban érkeznek, ezért kioltó interferenciát hoznak létre. Azok a területek viszont, ahová sok molekula érkezik, azoknak a helyeknek felelnek meg, ahová a hullámok azonos fázisban érkeznek, ezért az interferencia révén erősítik egymást.

A tudományos gondolkodás első kétezer évében az elméleti magyarázatok alapjául a közönséges tapasztalatok és az intuíció szolgáltak. Ahogy fejlődött a technika, és ennek köszönhetően a jelenségek szélesebb körét tudtuk megvizsgálni, egyre többször vettük észre azt, hogy a természet egyre kevésbé viselkedik a mindennapi tapasztalatainkkal és a józan eszünkkel összhangban, amint azt a fullerénekkal végzett kísérlet is mutatja. Ennek a kísérletnek az eredménye tipikusan olyan, amit nem tudunk összeegyeztetni a klasszikus fizika képével, az úgynevezett kvantumfizika viszont pontosan leírja.

A kvantummechanika alapelveit a XX. század első évtizedeiben dolgozták ki, miután rájöttek arra, hogy Newton elmélete nem megfelelően írja le a természetet az atomok és az elemi részecskék szintjén. A fizika alapvető elméletei a természet erőit írják le, és azt, hogyan reagálnak ezekre a testek. A klasszikus elméletek, mint például Newtoné, a hétköznapi tapasztalatokra épülnek, ahol az anyagi objektumoknak egyedi létezésük van, meghatározott helyhez köthetők, meghatározott pályát követnek és így tovább. A kvantumfizika alapján viszont megérthető a természet működése az atomi és a szubatomi méretek világában, de, amint később részletesen látni fogjuk, ez az elmélet merőben eltérő fogalmi világot és gondolkodásmódot követel meg, ahol sem a testek helye, sem mozgásuk pályája, de még a múlt és a jövő sincs pontosan meghatározva. A kölcsönhatások, mint például a gravitáció vagy az elektromágnesség kvantumelmélete ezen az elméleti alapon nyugszik.

De vajon a hétköznapi tapasztalatoktól ennyire eltérő alapokon nyugvó elmélet magyarázatot adhat-e azokra a jól ismert jelenségekre, amelyeket a klasszikus fizika igencsak pontosan modellez? Nos, igen, magyarázatot adhat, mert mi magunk, akárcsak a környezetünk, összetett struktúrákból épülünk fel, amelyek elképzelhetetlenül nagy számú atomból

állnak, több atomból, mint ahány csillag a megfigyelhető Világegyetemet alkotja. Bár a testünket felépítő egyes atomok a kvantummechanika szabályainak engedelmeskednek, kimutatható, hogy az atomok sokasága – a labda, a marharépa, a jumbo jet és mi magunk – valójában úgy viselkedik, hogy a réseken történő áthaladásukkor nem lép fel az elhajlás jelensége. Habár a hétköznapi tárgyakat alkotó részecskék tehát a kvantumfizika szabályainak engedelmeskednek, Newton törvényei mégis hatékony szabályrendszert alkotnak, amelyek nagyon pontosan leírják a mindennapi életben minket körülvevő, összetett tárgyak viselkedését.

Talán különösen hangzik, de számos olyan eset fordul elő a fizikában, amikor egy sokaság – úgy tűnik – másként viselkedik, mint az egyes összetevői. Egyetlen idegsejt válaszreakcióiból például aligha következtethetünk az agy működésére, vagy hiába ismerjük a vízmolekula minden tulajdonságát, attól még szinte semmit sem tudunk a tó viselkedéséről. Ami a kvantumfizikát illeti, a fizikusok még mindig dolgoznak annak levezetésén, hogyan származtathatók Newton törvényei a kvantumvilágból. Azt azonban mindenestre tudjuk, hogy minden test összetevői a kvantumfizika törvényeinek engedelmeskednek, Newton törvényei pedig jó közelítéssel leírják a kvantumos viselkedésű összetevőkből felépülő makroszkopikus tárgyak viselkedését.

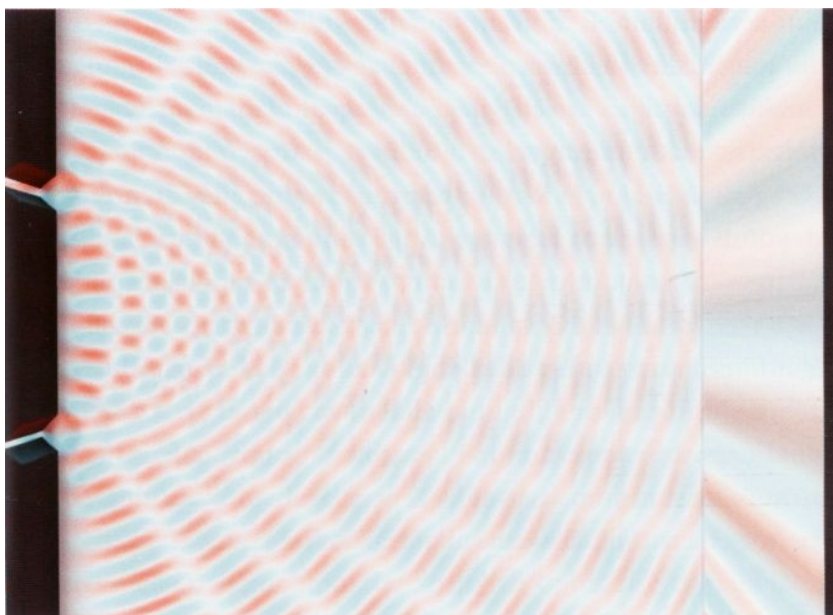
Newton elméletének előrejelzései tehát jól megfelelnek annak a valóságról alkotott képnek, amelyet mi mindannyian a bennünket körülvevő világban szerzett tapasztalataink alapján kialakítunk. Az egyes atomok és molekulák azonban a mindennapi tapasztalatainktól alapvetően eltérő viselkedést mutatnak. A kvantumfizika a valóság új modellje, amely képet rajzol fel az Univerzum egészéről. Ez a kép azonban olyan, hogy ott a valóság intuitív megértése során kialakított alapvető fogalmaink jó része értelmét veszíti.

A kétréses kísérletet először 1927-ben hajtotta végre Clinton Davisson és Lester Germer, a Bell Laboratóriumok kísérleti fizikusai, akik azt vizsgálták, milyen kölcsönhatás alakul ki elektronok nyalábja – vagyis a fulleréneknél jóval egyszerűbb részecskék – és a nikkelkristály között. Richard Feynman úgy fogalmazott, hogy a kétréses kísérlet valójában a „kvantummechanika összes rejtélyét tartalmazza”. Az a tény, hogy az anyag részecskéi, esetükben az elektronok, úgy viselkedtek, mint a víz hullámok, a kvantumfizika kidolgozásához ihletet adó, meghökkentő kísérleti eredmények egyike volt. Minthogy a makroszkopikus testek világában egyáltalán nem lehetett ilyen viselkedést megfigyelni, a tudósokat hosszú időn keresztül foglalkoztatta az a kérdés, hogy milyen nagy és mennyire bonyolult szerkezetű lehet egy objektum, amelyik még ilyen hullámszerű tulajdonságokat mutat. Egész fizikai világképünk a feje tetejére állna, ha valakinek sikerülne ugyanezt a jelenséget kimutatnia emberekkel vagy vízilovakkal végzett kísérletében. Amint már említettük, általánosságban igaz az, hogy minél nagyobb egy test, annál kevésbé nyilvánvalóak és határozottak a kvantumos hatások. Teljességgel valószínűtlen tehát, hogy bármelyik állatkerti állat hullámként áthatol a kerítés rácsai között. A kísérleti fizikusoknak mindamellett sikerült a hullámszerű viselkedést egyre nagyobb testek esetén megfigyelni. A kutatók remélik, hogy egyszer majd képesek lesznek a fullerénnel végrehajtott kísérletet vírusokkal is elvégezni, amelyek nemcsak sokkal nagyobbak a molekuláknál, hanem egyesek élő objektumoknak tekintik őket.

A kvantumfizika néhány sajátosságával kell csupán tisztában lennünk, hogy megértsük a fejezet hátralévő részében következő fejtegetéseket. Az egyik ilyen kulcsfontosságú sajátosság a hullám/részecske kettősség vagy dualitás. Mindenkit meglepett, hogy az anyag részecskéi hullámként viselkednek. Ezek után viszont senkit sem lep már

meg, hogy a fény is hullámként viselkedik. A fény hullámként való viselkedése számunkra természetesnek tűnik, és legalább két évszázadon keresztül elfogadott tényként kezelték. Ha a fenti kísérletben fénynyalábot ejtünk a két résre, akkor a két hullám egyesül és a képernyőn találkoznak. Bizonyos pontokban a hullámhegyek hullámhegyekkel, a hullámvölgyek pedig hullámvölgyekkel találkoznak, így ezeken a helyeken világos foltot látunk. Másutt az egyik hullám hullámhegyei a másik hullámvölgyeivel találkoznak, kioltják egymást, ott a képernyő sötét marad. Thomas Young angol fizikus a XIX. század elején végezte el ezt a kísérletet, amivel mindenkit meggyőzött arról, hogy a fény hullám, és nem részecskék árama, amint azt Newton gondolta.

Bár arra is következtethetnénk, hogy Newton tévedett, amikor a fényt nem hullámnak tartotta, valójában azonban igaza volt abban, hogy a fény úgy is tud viselkedni, mintha részecskékből állna. Ma ezeket a részecskéket fotonoknak nevezzük.



13. Young kísérlete – A fullerénmolekulákkal végrehajtott kísérlet eredménye jól ismert a fény elméletéből.

Éppúgy, ahogy a testünk rengeteg atomból épül fel, a mindennapi életben látott fény is bizonyos értelemben nagyszámú foton keveréke – még egy 1 wattos éjszakai jelzőlámpa is minden másodpercben fotonok milliárdjait és milliárdjait bocsátja ki. Az egyedi fotonok nem különösebben nyilvánvalóak, de laboratóriumban olyan halvány fénysugár is előállítható, amelyben a fotonok egyenként lépnek ki a fényforrásból, amelyeket ugyanúgy egyenként tudunk detektálni, mint az egyes elektronokat vagy fullerénmolekulákat. Meg tudjuk ismételni Young kísérletét olyan gyenge fénysugárral, amelyben a fotonok egyenként érik el az akadályt, két egymást követő foton beérkezése között néhány másodperc telik el. Ha így elvégezzük a kísérletet, majd összegezzük az akadály túlsó oldalára tett képernyő egyes pontjait érő becsapódásokat, akkor azt tapasztaljuk, hogy a fotonok együttesen ugyanazt az interferenciaképet rajzolják ki, mint amely akkor alakult volna ki, ha a Davisson-Germer-kísérletet hajtottuk volna végre, de az elektronokat (vagy fulleréneket) egyenként lőttük volna ki a képernyő felé. A fizikusok számára ez megrázó felismerés volt: ha az egyes részecskék önmagukkal interferálnak, akkor a fény hullámtermészete nemcsak a fotonok nyalábjára vagy sokaságára jellemző, hanem az egyes részecskékre is.

A kvantumfizika másik nagy rejtélye a Werner Heisenberg által 1926-ban megfogalmazott határozatlansági elv. A határozatlansági reláció kimondja, hogy bizonyos adatokat, például egy részecske helyét és sebességét, nem tudunk egyidejűleg tetszőleges pontossággal megmérni. A határozatlansági elv értelmében például, ha a részecske helyének bizonytalanságát megszorozzuk az impulzusának

bizonyosan *meghatározottak*. Ehelyett, ha adottnak tekintjük egy rendszer kezdeti állapotát, akkor a természet egy eredendően bizonytalan folyamaton keresztül határozza meg annak jövőbeni állapotát.



„Ha ez igaz, akkor minden, amit eddig hullámnak hittünk, valójában részecske, és minden, amit eddig részecskének gondoltunk, az valójában hullám.”

Más szavakkal, a természet még a legegyszerűbb esetekben sem írja elő pontosan bármely folyamat vagy kísérlet végkimenetelét. Ehelyett számos különböző lehetőséget enged meg, amelyek mindegyike bizonyos valószínűséggel valósul meg. Ez az elképzelés nyugtalanította Einsteint, és bár kezdetben ő volt a kvantumfizika egyik atyja, később az elmélet bírálójává vált.

Úgy tűnik, mintha a kvantummechanika megkérdőjelezné azt az elképzelést, amely szerint a természetet törvények irányítják, a valóságban azonban nem ez a helyzet. Inkább a determinizmus új formájának elfogadásához vezet: ha adott a rendszer állapota valamely időpontban, akkor a természet törvényei meghatározzák a különböző jövők és múltak

valószínűségét, ahelyett, hogy teljes bizonyossággal meghatároznák a jövőt és a múltat. Bár ez egyesek számára ellenszenvesnek tűnik, a tudósoknak azokat az elméleteket kell elfogadniuk, amelyek egyeznek a kísérletekkel, nem pedig a nekik szimpatikusakat.

A természettudomány csak az ellenőrizhetőséget követeli meg az elméletektől. Ha a kvantumfizika előrejelzéseinek valószínűségi jellege azt jelentené, hogy ezeket az előrejelzéseket lehetetlen ellenőrizni, akkor a kvantumelméletet nem tekinthetnénk megalapozott elméletnek. A kvantumelméletet azonban – előrejelzései valószínűségi természete ellenére – lehet ellenőrizni. Megismételhetünk például nagyon sokszor egy kísérletet, és megállapíthatjuk, hogy a különböző eredmények előfordulási gyakorisága alátámasztja-e az elmélet által jelzett valószínűségeket. Nézzük például a fullerénnel végzett kísérletet! A kvantumfizika szerint semmi sem lehet egy meghatározott pontba rögzítve, mert ha így lenne, akkor az impulzusa bizonytalanságának végtelenül nagyra kellene lennie. Valójában a kvantummechanika szerint minden egyes részecske bizonyos valószínűséggel az Univerzumban akárhol megtalálható. Bár meglehetősen nagy annak a valószínűsége, hogy egy adott elektront a kétréses kísérleti eszközünkben találunk, mindamellett van bizonyos valószínűsége annak, hogy ez az elektron az Alfa Centauri csillag túloldalán vagy az irodai étkezdében árult almáspitében található. Ha tehát a kísérletben kilövünk egy fullerénmolekulát, akkor nincs az a tudás, amelynek birtokában előre meg tudnánk mondani, pontosan hová fog érkezni. Ha azonban sokszor megismételjük a kísérletet, akkor a kapott adatok pontosan tükrözik azt, hogy az elmélet szerint milyen valószínűséggel találjuk meg a molekulát a különböző pontokban. A kísérleti fizikusok megállapították, hogy az ilyen és hasonló kísérletek eredményei pontosan megfelelnek az elmélet előrejelzéseinek.

Fontos észrevennünk, hogy a valószínűség fogalma a kvantumfizikában nem ugyanazt jelenti, mint a valószínűség a newtoni fizikában vagy a hétköznapi életben. Ezt megérthetjük, ha összehasonlítjuk a képernyőre irányított fullerének által kirajzolt mintázatot azzal a mintával, amelyet a dartstáblán rajzolnak ki a lyukak, amikor a játékosok mind a bullt (bull's eye) akarják eltalálni. Amíg a játékosok csak mérsékelt mennyiségű sört fogyasztottak, addig annak a legnagyobb a valószínűsége, hogy a nyíl a középpont közelében találja el a táblát, a középponttól távolodva pedig ez a valószínűség egyre csökken. Akárcsak a fullerénmolekulák esetében, minden egyes nyíl bárhová becsapódhat, de bizonyos idő elteltével a lyukak sokasága kezdi kirajzolni a folyamat mögötti valószínűségeket. Ezt a helyzetet a hétköznapi életben is leírhatjuk úgy, hogy a nyíl bizonyos valószínűséggel fúródik bele a céltábla különböző pontjaiba; ha azonban így fogalmazunk, akkor – a fullerénnel ellentétben – az csak azért van így, mert pontatlanul ismerjük a körülményeket. Pontosabbá tehetjük a folyamat leírását, ha például részletesebben ismernénk, miként dobja el a játékos a nyilat, tudnánk az elhajítás szögét, sebességét, a nyíl forgását és így tovább. Elvben tehát tetszés szerinti pontossággal kiszámíthatjuk, hová fog érkezni a nyíl. Amikor tehát a hétköznapi élet jelenségeinek leírására valószínűségi fogalmakat használunk, akkor ez nem a folyamatok eredendő természetét tükrözi, hanem csupán azt, hogy bizonyos körülményeket, részleteket elhanyagoltunk vagy figyelmen kívül hagytunk.

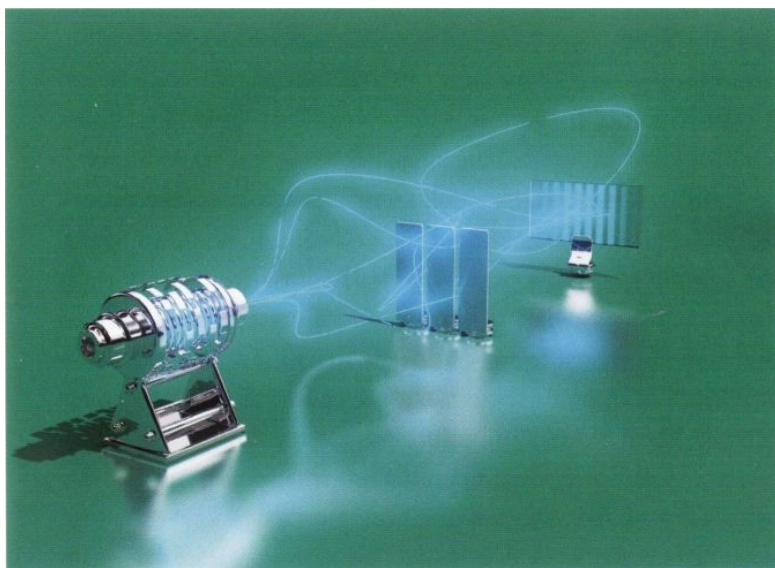
A valószínűség a kvantumelméletben egészen más természetű. Az a természet eredendően véletlenszerű jellegét tükrözi. A természet kvantumfizikai modellje olyan alapelveket tartalmaz, amelyek nemcsak a mindennapi tapasztalatainknak mondanak ellent, hanem a valóságról alkotott ösztönös fogalmainknak is. Akik ezeket az alapelveket bizarrnak vagy nehezen hihetőnek találják, jó társaságba keveredtek, olyan híres fizikusok közé, mint Einstein, sőt, Feynman, akinek a kvantumelméletéről adott leírására hamarosan visszatérünk.

Tulajdonképpen Feynman egy alkalommal így fogalmazott: „Azt hiszem, nyugodtan kijelenthetem, hogy senki sem érti a kvantummechanikát.” Mindamellett, a kvantumfizika eredményei egyeznek a megfigyelésekkel. Az elmélet minden kísérlet próbáját kiállta, jóllehet többször ellenőrizték, mint bármely más természettudományos elméletet.

Richard Feynman az 1940-es években meghökkentő észrevételt tett a newtoni és a kvantumvilág közötti különbséget illetően. Feynman arra volt kíváncsi, hogyan alakul ki az interferenciakép a kétréses kísérletben. Emlékeztetünk arra, hogy a két, egyidejűleg nyitott rés esetén kialakuló mintázat nem az összege annak, ami akkor alakul ki, ha kétszer egymás után végrehajtjuk a kísérletet, egyszer az egyik, utána a másik részt nyitva tartva. Ehelyett azt tapasztaljuk, hogy ha mindkét rés nyitva van, akkor világos és sötét vonalak sorozata jelenik meg, ahol az utóbbiak olyan tartományoknak felelnek meg, ahová gyakorlatilag egyetlen részecske sem érkezik. Ez azt jelenti, hogy azok a részecskék, amelyek egy nyitott rés esetén oda érkeznének, ahol két nyitott rés esetén sötét sáv alakul ki, mégsem mennek oda, ha a második rés is nyitva van. Úgy tűnik, mintha valahol útközben, a forrás és az ernyő között a részecske információt szerzett volna mindkét rés állapotáról. Ez a viselkedés alapvetően különbözik attól, amilyen viselkedést a hétköznapi testektől tapasztalunk, ahol az egyik résen áthaladó labda mozgására semmiféle hatást sem gyakorol az, hogy milyen állapotban van a másik rés.

A newtoni fizika szerint – és mindazon esetekben, amikor a kísérletet nem molekulákkal, hanem mondjuk football-labdákkal hajtjuk végre – minden egyes részecske egyetlen, pontosan meghatározott pályát követ a forrástól az ernyőig. Ebben a képben nincs helye semmiféle olyan kitérőnek, amelynek során a részecske útközben meglátogatja mindkét rés környezetét. A kvantumfizikai modell szerint azonban a részecskének úgymond nincs meghatározott helye azon idő alatt, amíg útja kezdőpontja és végpontja között halad. Feynman rájött, hogy ezt nem kell

úgy értelmezni, mintha a részecske semmilyen utat sem járna be a forrás és az ernyő között. A jelenség úgy is értelmezhető, hogy a részecske a két pontot összekötő *minden lehetséges* utat bejár. Feynman kijelentette, hogy ez az, ami a kvantumfizikát megkülönbözteti a newtoni fizikától. A két nyitott rés esetén azért érdekes a helyzet, mert a részecske, ahelyett, hogy egy meghatározott utat járna be, az összes lehetőséget végigjárja, ráadásul *egyidejűleg*! Ez a gondolat úgy hangzik, mintha valamilyen sci-fiben bukkant volna fel, de nem ez a helyzet. Feynman kidolgozta a megfelelő matematikai leírást – a történelmek Feynman-féle összegzését –, amelyik ezt az ötletet önti matematikai formába, ugyanakkor reprodukálni tudja a kvantumfizika összes törvényét. Feynman elméletében a matematikai leírás és a fizikai kép eltér a kvantumfizika eredeti formalizmusától, de a két tárgyalásmód által adott előrejelzések mégis azonosak.



14. Részecskék pályái – A kvantumelmélet Feynman-féle megfogalmazása szemléletessé teszi, miért hoznak létre a különböző részecskék, például az elektronok vagy a

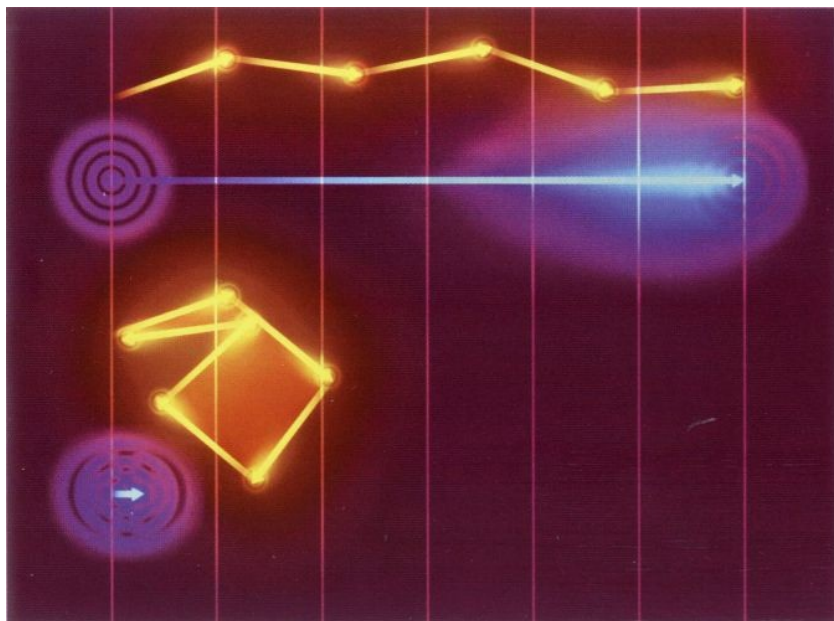
fullerénmolekulák interferenciaképet, ha egy ernyőbe vágott résen küldjük keresztül őket.

A kétréses kísérlet példájánál maradva, Feynman elképzelése azt jelenti, hogy egyes részecskék olyan pályán haladnak, amelyik csak az egyik résen halad át, vagy olyanon, amelyik csak a másikon; de akadnak olyanok is, amelyek átbújnak az egyik résen, visszajönnek a másikon, majd újra átmennek az elsőn; egyes útvonalak betérnek a közeli vendéglőbe, ahol kiválóan készítik a currys rákot, majd néhányszor megkerülik a Jupitert, és csak utána térnek hazafelé; de még olyan útvonalak is előfordulnak, amelyek oda-vissza bejárják az egész Univerzumot. Feynman felfogása szerint ez magyarázatot ad arra, miként gyűjti be a részecske az információt arról, melyik rés vagy részek van(nak) nyitva. Ha egy rés van nyitva, akkor a részecske azon megy át. Ha mindkettő nyitva van, akkor az egyik résen átvezető útvonalak kölcsönhatnak a másik résen átvezető útvonalakkal, ami az interferencia létrejöttét eredményezi. Talán örültségnek hangzik, de az elméleti fizikában ma előforduló feladatok legtöbbször – és könyvünk céljaira is – a Feynman-féle megfogalmazás hasznosabbnak bizonyult az eredetinel.

A kvantumvalóság Feynman-féle képe döntő jelentőségű a hamarosan bemutatandó elméletek megértése szempontjából, ezért érdemes rászánnunk egy kis időt arra, hogy megérezzük, miként működik az elmélet. Képzeljünk el egy nagyon egyszerű helyzetet, amelyben egy részecske az A pontból indulva szabadon mozog. A newtoni modell szerint a részecske egyenes vonalú mozgást végez. Pontosan meghatározott idő elteltével a részecskét ennek az egyenesnek a B pontjában találjuk. Feynman modellje szerint a kvantummechanika törvényeinek engedelmeskedő részecske az A -t B -vel összekötő összes lehetséges útvonalból mintát vesz, és minden egyes útvonalhoz begyűjt egy fázisnak nevezett számértéket. Ez a fázis a hullám vonulata mentén elfoglalt helyet jellemzi,

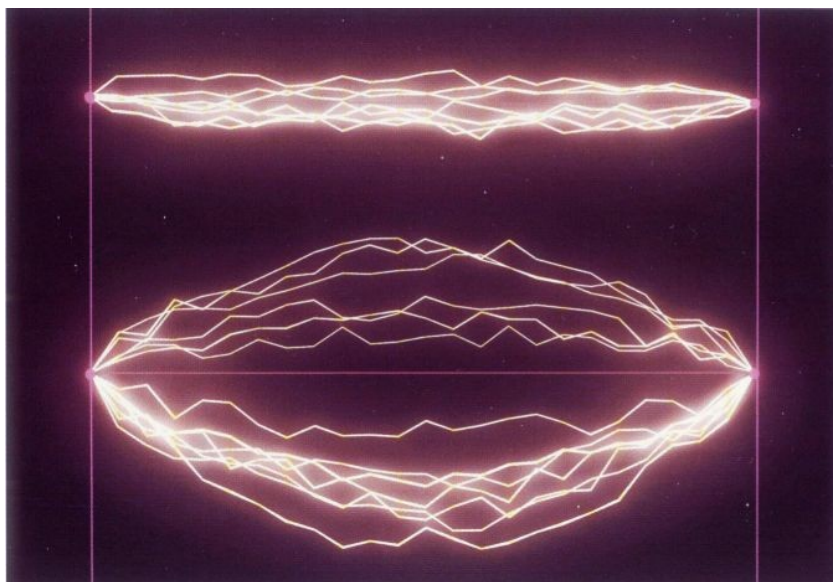
vagyis azt, hogy a hullám állapota éppen hullámhegynek, hullámvölgynek, vagy a köztes állapotok valamelyikének felel meg. Feynman matematikai előírása ennek a fázisnak a kiszámítására azt mutatta, hogy ha az összes útvonalhoz tartozó hullámot összegezzük, akkor eredményül annak a „valószínűségi amplitúdóját” kapjuk, hogy az A -ból induló részecske eléri a B pontba. Ennek a valószínűségi amplitúdónak a négyzete megadja annak az eseménynek a tényleges valószínűségét, hogy a részecske eléri a B pontot.

A fázis, amellyel minden egyes útvonal hozzájárul a Feynman-féle összeghez (és így az A -ból B -be történő eljutás valószínűségéhez) állandó hosszúságú, de tetszős szerinti irányba mutató nyíllal ábrázolható. Két fázist úgy összegezzük, hogy az egyik nyíl hegyét a másik végéhez illesztjük, majd az első végét összekötjük a második csúcsával.



15. A Feynman-pályák összegzése – A különböző Feynman-pályák hatása erősítheti vagy gyengítheti egymást, éppúgy, ahogyan a hullámok esetében láttuk. A sárga nyilak jelölik az

összeadandó fázisokat. A kék vonal az összegük, amelyik az első nyíl kezdetétől az utolsó csúcsáig tart. Az alsó ábrán a nyilak különböző irányokba mutatnak, ezért összegük, a kék vonal, meglehetősen rövidke.



16. Az A-ból B-be vezető útvonalak – A két pont közötti „klasszikus” útvonal az egyenes. A klasszikushoz közeli útvonalak fázisai erősítik egymást, míg a távolabb eső útvonalak fázisa olyan, hogy azok inkább hajlamosak kiejteni egymást.

Ha további fázisokat akarunk hozzáadni, akkor egyszerűen ugyanezt a folyamatot ismételgetjük. Vegyük észre, hogy ha a fázisok azonosak, akkor az összegnek megfelelő nyíl meglehetősen hosszú lehet. Ha viszont az egyes fázisok eltérő irányokba mutatnak, akkor az összegezéskor általában kiejtik egymást, esetenként akár olyan tökéletesen, hogy végeredményként semmiféle nyilat sem kapunk.

Ha Feynman előírását követve ki akarjuk számítani annak a valószínűségi amplitúdóját, hogy az A pontból induló részecske megérkezik a B pontba, akkor az A -t és a B -t

összekötő valamennyi lehetséges útvonalhoz tartozó fázist, vagyis nyilat összegeznünk kell. Végtelen számú ilyen útvonal létezik, ami a matematikai levezetést kissé bonyolulttá teszi, mindamellett, a dolog működik. Néhány lehetséges útvonalat a 16. ábrán láthatunk.

Feynman elmélete különösen világos képet rajzol arról, miként tűnik elő a világ newtoni képe a kvantumfizikai leírásból, holott a kettő nagyon különbözőnek látszik. E szerint az egyes útvonalakhoz tartozó fázisok a Planck-állandótól függnak. Minthogy a Planck-állandó értéke nagyon kicsi, az elméletből az következik, hogy ha egymáshoz nagyon közeli útvonalak fázisát akarjuk összegezni, akkor ezek általában egymástól nagyon eltérő értéket vesznek fel, aminek következtében, amint az a 15. ábra alsó képén látható, rendszerint kiejtik egymást. Az elmélet azonban azt is állítja, hogy vannak bizonyos útvonalak, amelyek esetében a fázisok azonos irányba törekszenek, aminek következtében ezek az útvonalak előnyben részesülnek másokkal szemben, azaz nagyobb hozzájárulást adnak a részecske megfigyelt viselkedéséhez. Az is kiderül, hogy nagyméretű testek esetén a Newton elmélete által megjósoltakhoz nagyon hasonló útvonalak fázisa hasonló egymáshoz, ezért ezek összegeződve messze a legjelentősebb járulékot adják az összeghez. Olyannyira, hogy a newtoni elmélet által megjósolt lesz az egyetlen olyan útvonal, amelyikhez nullánál érdemben nagyobb, nevezetesen egyhez nagyon közeli valószínűség tartozik. Ezért mozognak a nagy testek éppen úgy, ahogyan az a Newton-féle elméletből következik.

Az eddigiekben Feynman elgondolásait a kétréses kísérlet összefüggésében elemeztük. Ebben a kísérletben a részecskéket egy olyan fal felé lövik ki, amelybe két rést vágtak, a mérést pedig a fal túlsó oldalán elhelyezett képernyőn hajtják végre, ahová a részecskék beérkeznek. Általánosságban véve, Feynman elmélete lehetővé teszi, hogy ne csak egyetlen részecske sorsát kövessük, hanem előre

jelezzük egy egész „rendszer” állapotának lehetséges kimenetelét, ahol a rendszer lehet egyetlen részecske, részecskék egy csoportja, de akár az egész Univerzum is. A rendszer kezdeti állapota és a tulajdonságaira vonatkozó későbbi méréseink között ezek a tulajdonságok valamilyen módon változnak, amit a fizikusok a rendszer történetének (vagy történelmének) neveznek. A kétréses kísérletben a részecske története egyszerűen a pályája. A kétréses kísérletben láttuk, hogy a részecske adott pontba történő érkezésének valószínűsége az összes lehetséges útvonaltól függ, amelyeken a részecske eljuthatott volna az adott pontba. Ehhez hasonlóan Feynman azt is megmutatta, hogy egy általános értelemben vett rendszer esetében bármely megfigyelési eredmény valószínűsége az összes lehetséges történetből áll össze, amelyek az adott megfigyelést eredményezhették volna. Emiatt módszerét a „történetek (vagy történelmek) összegzésének” vagy az „alternatív történelmek” módszerének nevezik a kvantumfizikában.

Most, amikor már némi betekintést sikerült nyernünk a kvantumfizika Feynman-féle megközelítésébe, itt az ideje, hogy szemügyre vegyünk egy másik kvantumfizikai alapelvet, amelyet majd csak később fogunk felhasználni. Arról az elvről van szó, amelynek értelmében valamely rendszer megfigyelése beavatkozást jelent a rendszer történetébe, vagyis a megfigyelés hatására meg kell változni a rendszerben a dolgok menetének. Tehetünk-e úgy, mint amikor főnökünknek egy kis mustár csöppen az állára, hogy mi csak diszkréten néha odapislantunk, de nem szólunk? Nos, ezt nem tehetjük meg. A kvantumfizika szerint nem tehetjük meg, hogy valamit „csak” megfigyelünk. Vagyis a kvantumfizika felismeri, hogy a megfigyelés elvégzéséhez kölcsönhatásba kell lépünk a megfigyelt objektummal. Ha például a szó hagyományos értelmében akarunk megfigyelni egy tárgyat, akkor megvilágítjuk. Ha megfigyelésünk tárgya például egy sütőtök, akkor a megvilágítás aligha gyakorol rá

számottevő hatást. Ha azonban egy parányi kvantumrészecskét világítunk meg – vagyis fotonokkal bombázzuk –, akkor a lehető leghalványabb fénysugár is kimutatható hatást okoz, mi pedig azt tapasztaljuk, hogy a kísérlet eredménye ettől pontosan olyan mértékben változik meg, mint ahogyan azt a kvantumfizika leírja.

Tételezzük fel, mint korábban is, hogy a kétréses kísérletben részecskék áramát küldjük az akadály felé, és az első egymillió átjutó részecske adatait jegyezzük fel. Ha felrajzoljuk a különböző mérési pontokba érkező részecskék számát, akkor az adatok a 12. ábrán már megismert interferenciaképet rajzolják ki. Ha mellétezzük a részecske útjának A kezdőpontja és a B megfigyelési pont közötti összes lehetséges útvonalhoz tartozó fázist, akkor megállapíthatjuk, hogy a különböző pontokba történő érkezésre számított valószínűségek megegyeznek a mért adatokkal.

Most tételezzük fel, hogy megismételjük a kísérletet, de ezúttal a réseket úgy világítjuk meg, hogy ismerünk egy köztes C pontot, amelyiken a részecske keresztülhaladt. (C az egyik vagy a másik rés helyének felel meg.) Ezt a „melyik útvonal” információnak nevezzük, mert minden egyes részecskére megadja, hogy az 1. vagy a 2. számú résen keresztül jutott el A -ból B -be. Minthogy így már tudjuk, melyik részecske melyik résen ment át, az adott részecske esetében végzett összegzésünkben vagy csak azok az útvonalak fordulnak elő, amelyek az 1. résen, vagy pedig csak azok, amelyek a 2. résen vezetnek keresztül. Egyetlen részecske esetében sem vehetünk tehát figyelembe olyan útvonalakat, amelyek az 1. résen és a 2. résen is átmennek. Mivel Feynman az interferenciaképet úgy magyarázta, hogy azt az egyik résen áthaladó útvonalaknak a másik résen áthaladó útvonalakkal történő kölcsönhatása alakítja ki, ezért ha egy jelzőfény felkapcsolásával azonosítjuk, melyik résen ment át a részecske, akkor ezzel eltüntetjük az interferenciaképet. És valóban, ha a kísérlet végrehajtása

közben bekapcsoljuk a jelzőfények működését, akkor ennek következtében az ernyőn kapott kép a 12. ábrán látható helyett úgy fog kinézni, mint a 11. ábrán bemutatott! Sőt, a kísérletet úgy is átalakíthatjuk, hogy nagyon halvány fényforrást alkalmazunk, így nem minden részecske lép kölcsönhatásba a fénnel. Ebben az esetben a „melyik úton” információt csak a részecskék bizonyos csoportjára vonatkozóan kapjuk meg. Ha ezután a beérkező részecskékre vonatkozó adatokat szétválogatjuk aszerint, hogy megkaptuk-e a „melyik útvonal” információt, vagy nem, akkor azt tapasztaljuk, hogy az adatoknak az a részecs csoportja, amelyik azokra a részecskékre vonatkozik, amelyeknél nem ismerjük a „melyik útvonal” információt, interferenciamintát hoz létre. Ezzel szemben az adatok másik részecs csoportja, ahol tehát rendelkezünk a „melyik útvonal” információval, nem mutat interferenciát.

Ennek az elgondolásnak fontos következményei vannak „a múlt” fogalmára nézve. A newtoni elméletben a múltat az események meghatározott sorozata formájában létezőnek képzeljük el. Ha a tavaly Olaszországban vásárolt vázát darabokra törve a földön látjuk, kisgyermekünk pedig ártatlan szemekkel pislogva áll mellette, akkor gondolatban könnyen követni tudjuk a szerencsétlen esethez vezető eseményeket: az apró ujjacskák addig kotorásztak, míg végül a váza a padlóra esett, és az ütődéstől ezer darabra tört. Valójában, ha a jelenre vonatkozóan minden adatot ismerünk, akkor Newton törvényei lehetővé teszik a múlt teljes képének meghatározását. Ez összhangban van azzal a felfogásunkkal, amely szerint legyen az szenvedéssel vagy örömmel teli, mindenestre a világnak meghatározott múltja van. Lehet, hogy senki sem figyelte meg, de a múlt akkor is ugyanolyan sziklaszilárd bizonyossággal létezett, mintha pillanatfelvételek sorozatát készítettük volna róla. A kvantumos törvényeknek engedelmeskedő fullerénmolekuláról azonban nem mondhatjuk, meghatározott

pályája van a forrástól a felfogó ernyőig. Rögzíthetjük a fullerénmolekula helyét azáltal, hogy adott pillanatban megfigyeljük, a megfigyelések közötti időben azonban az összes lehetséges útvonalat bejárja. A kvantumfizika szerint nem számít, milyen alapos a jelenre vonatkozó megfigyelésünk, a (megfigyelhetetlen) múlt, akár csak a jövő, határozatlan és csak a lehetőségek spektrumaként létezik. A kvantumfizika szerint az Univerzumnak nem egyetlen múltja van, vagyis nincs egyetlen történelme.

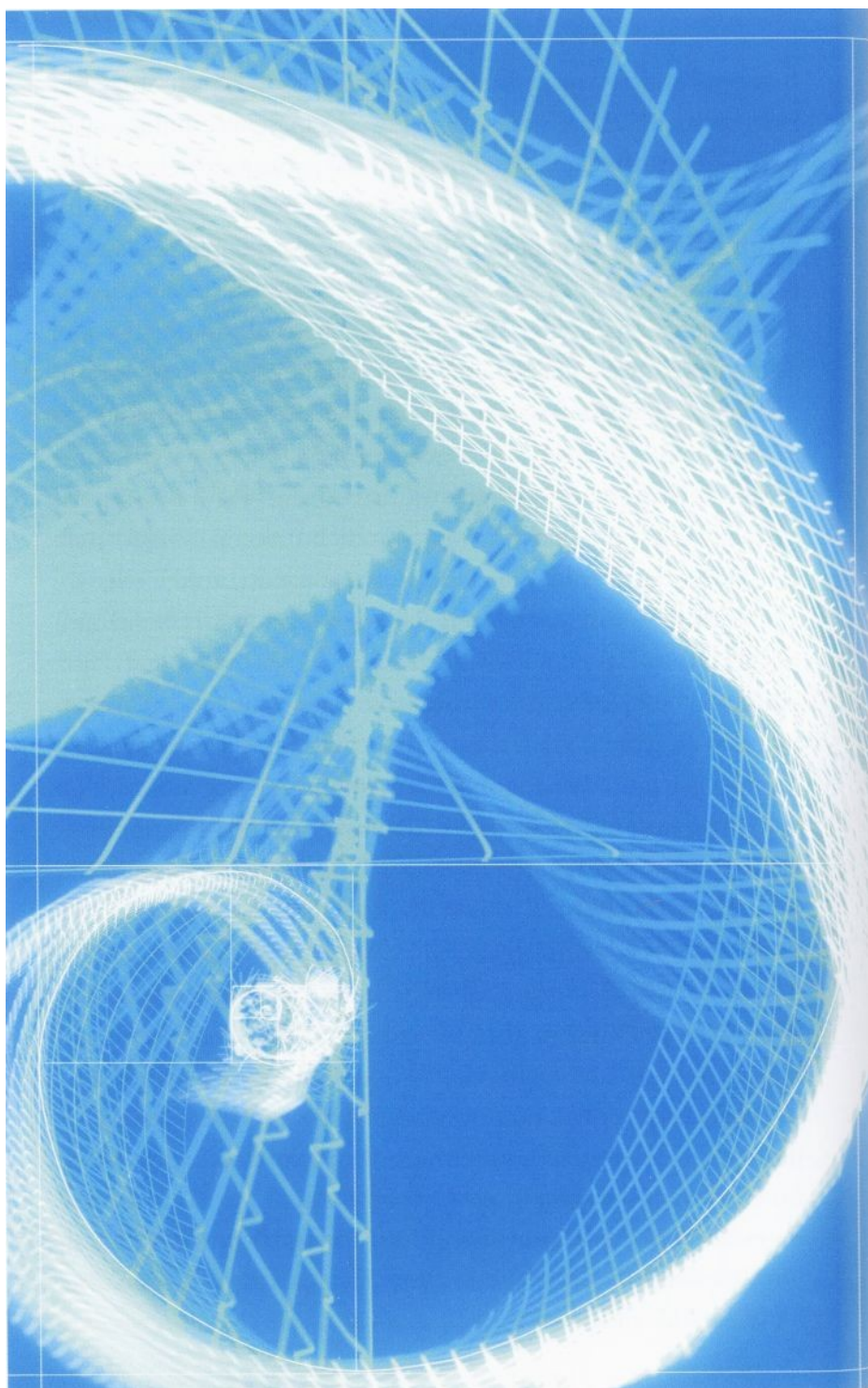
Az a körülmény, hogy a múlt nem ölt határozott formát, egyúttal azt is jelenti, hogy a jelenben valamely rendszeren végzett megfigyelés hatással van az adott rendszer múltjára is. Ezt a lehetőséget drámai módon világítja meg a fizikus John Wheeler által kigondolt kísérlet, az úgynevezett késleltetett választásos kísérlet. Elrendezését tekintve a késleltetett választásos kísérlet hasonló a kétréses kísérlet imént bemutatott változatához, amelyben lehetőségünk volt megfigyelni a részecske által bejárt útvonalat. A különbség csak annyi, hogy a késleltetett választásos kísérletben egészen az utolsó pillanatig – amíg a részecske már majdnem eléri a képernyőt – módunkban áll eldönteni, hogy meg akarjuk-e figyelni a részecske pályáját, vagy sem.

A késleltetett választásos kísérlet azonos eredményeket adott, mint amikor a „melyik útvonal” információt közvetlenül, maguknak a réseknek a megfigyelésével szereztük meg. Ebben az esetben azonban az egyes részecskék által bejárt útvonalat – vagyis az illető részecske saját múltját – jóval később határoztuk meg, mint ahogy a részecske áthaladt a réseken, és feltételezhetően „el kellett döntenie”, hogy csak az egyik résen halad át, és így módon nem jön létre interferencia, vagy mindkét résen, és így interferencia lép fel.

Wheeler a kísérletnek még egy kozmikus változatát is kigondolta, amelyben nagy teljesítményű kvazárok által sok milliárd évvel ezelőtt kibocsátott fotonok szerepelnek.

Előfordulhat, hogy ezt a fénysugarat egy, az útjába eső, közelebbi galaxis gravitációja az úgynevezett gravitációs-lencse-hatás révén két nyalábra bontja, amely nyalábok azután éppen a Földnél egyesülnek. Bár a kísérlet a jelenleg rendelkezésünkre álló technológiával nem végezhető el, ha ennek a fénynek elég sok fotonját tudnánk összegyűjteni, akkor azok interferencia-mintázatot hoznának létre. Ha ez mégis sikerülne, majd röviddel a fénynyaláb detektálása előtt egy „melyik útvonal” típusú információt szolgáltató eszközt helyeznénk a fény útjába, akkor az interferenciaképnek el kellene tűnnie. Ebben az esetben évmilliárdokkal ezelőtt kellett megtörténnie annak a döntésnek, hogy a foton csak az egyik, vagy mindkét útvonalat bejárja, vagyis talán még a Föld és a Nap keletkezése előtt, ennek ellenére a laboratóriumunkban végzett megfigyeléssel befolyásolni tudjuk ezt a döntést.

Ebben a fejezetben azt mutattuk meg, hogyan alkalmazhatjuk a kvantumfizikát a kétréses kísérletre. A következőkben viszont a kvantummechanika Feynman-féle tárgyalásmódját az Univerzum egészére fogjuk alkalmazni. Látni fogjuk, hogy akárcsak egyetlen részecskének, az Univerzumnak sincs egyetlen történelme, hanem minden lehetséges történelme megvan, mindegyik a hozzá tartozó valószínűséggel. A jelenlegi állapotára vonatkozó megfigyeléseink befolyással vannak a múltjára és meghatározzák az Univerzum különböző történelmeit, éppúgy, ahogy a kétréses kísérletben a részecskék megfigyelése befolyást gyakorol a múltjukra. Ez az elemzésünk meg fogja mutatni, hogy az Ősrobbanásból miként bukkantak elő a mi Univerzumunkban a természet törvényei. Mielőtt azonban megvizsgálánk, hogyan merülnek fel ezek a törvények, kicsit arról beszélünk, melyek ezek a törvények, és megemlítünk néhány, általuk előidézett rejtélyt.



5

A MINDENSÉG ELMÉLETE

*A Világegyetemet illetően az a legfelfoghatatlanabb,
hogy felfogható.*

– ALBERT EINSTEIN

A

VILÁGEGYETEM FELFOGHATÓ, mert a tudomány törvényei irányítják; amit úgy is fogalmazhatunk, hogy viselkedése modellezhető. De melyek ezek a törvények vagy modellek? A matematika nyelvén leírt első kölcsönhatás a gravitáció volt. Newton 1687-ben tette közzé gravitációs törvényét, amelynek értelmében az Univerzumban minden test a tömegével arányos nagyságú erővel vonz minden más testet. A felismerés mély benyomást tett a kor szellemi életére, mert először bizonyosodott be, hogy van a Világegyetemnek legalább egy olyan tulajdonsága, amelyik pontosan modellezhető, sőt, Newton az ehhez szükséges matematikai apparátust is felsorakoztatta. Az elgondolás, amely szerint léteznek törvények a természetben, hasonló kérdéseket vet fel, mint amilyenek kapcsán fél évszázaddal korábban Galileit eretnekségért elítélték. A Szentírás például elmondja Józsué történetét, aki azért imádkozott, hogy a Nap és a Hold álljanak meg pályáikon, így hosszabb ideig maradjon világos, és még napvilágnál be lehessen fejezni Kánaánban az emóriak elleni csatát. Józsué könyve szerint a Nap körülbelül egy teljes napra állt meg az égen. Ma már tudjuk, hogy ez azt jelentette volna, hogy megállt volna a Föld tengely körüli forgása. Ha viszont megáll a Föld forgása, akkor Newton

törvényei értelmében mindennek, ami nincs lerögzítve, a Föld eredeti kerületi sebességével (mintegy 1800 km/óra az Egyenlítőnél) tovább kellett volna mozognia – ami elég nagy ár egy késleltetett napnyugtáért. Mindez nem különösebben zavarta magát Newtont, mert mint már említettük, Newton hitt abban, hogy Isten nemcsak képes beavatkozni az Univerzum működésébe, hanem ezt esetenként meg is tette.

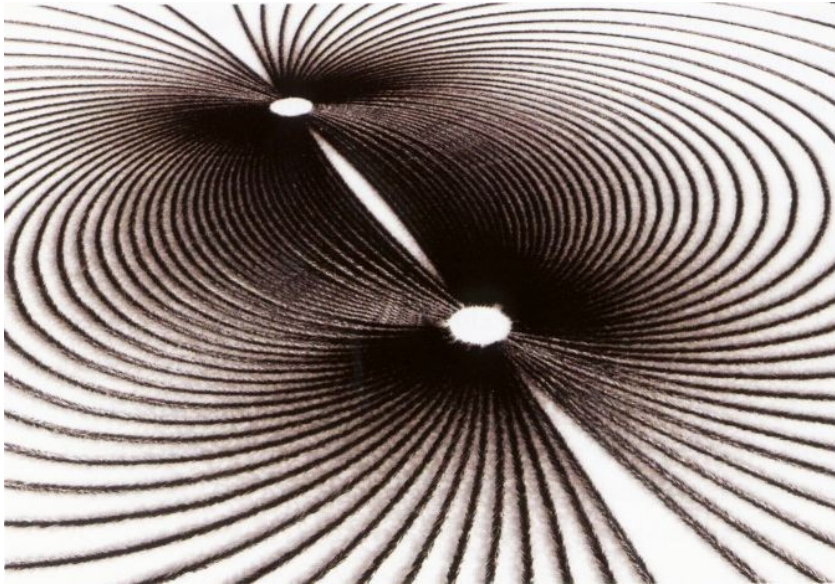
Az elektromos és a mágneses erők voltak az Univerzum következő jellegzetességei, amelyekről felfedeztek valamilyen törvényt vagy modellt. Ezek a gravitációhoz hasonlóan viselkednek, azzal a lényeges különbséggel, hogy két azonos nemű elektromos töltés vagy két azonos mágneses pólus taszítja egymást, az ellentétes töltések vagy mágneses pólusok között viszont vonzás lép fel. Az elektromos és mágneses kölcsönhatás sokkal erősebb, mint a gravitáció, de ezt a mindennapokban általában nem vesszük észre, mert a makroszkopikus testek csaknem ugyanannyi pozitív és negatív elektromos töltést tartalmaznak. Ez azt jelenti, hogy két makroszkopikus test között az elektromos, illetve a mágneses erők szinte teljesen kiegyenlítik egymást, szemben a gravitációval, amely összegződik.

Az elektromosságról és a mágnességről alkotott modern felfogásunk mintegy száz év leforgása alatt, a XVIII. század közepe és a XIX. század közepe között alakult ki, amikor a világ számos országában sok fizikus végzett különböző kísérleteket az elektromos és mágneses erők tanulmányozása céljából. Az egyik legfontosabb felfedezés szerint az elektromos és a mágneses kölcsönhatás szoros kapcsolatban áll egymással. A mozgó elektromos töltés hatást gyakorol a mágnesekre, a mozgó mágnes pedig erőt fejt ki az elektromos töltésekre. Elsőként Hans Christian Ørsted dán fizikus ismerte fel, hogy valamiféle kapcsolat lehet a két jelenség között. Miközben 1820-ban egyik egyetemi előadására készült, észrevette, hogy a kísérlethez használt telepből folyó áram eltéríti a közelben lévő iránytűt. Hamar felismerte, hogy az

áramló elektromos töltések keltettek mágneses erőt, ezért megalkotta az „elektromágnesség” fogalmát. Néhány évvel később Michael Faraday angol tudós úgy okoskodott, hogy – mai szóhasználattal élve – ha az elektromos áram mágneses teret kelthet, akkor a mágneses térnek is képesnek kell lennie elektromos áramot keltenie. A jelenséget 1831-ben tudta kimutatni. Tizennégy évvel később Faraday kapcsolatot talált az elektromágnesség és a fény között, amikor kimutatta, hogy az erős mágneses tér befolyásolhatja a polarizált fény természetét.

Faraday nem sok osztályt járt ki az iskolában. London közelében, egy szegény kovácsmester családjában született. Már tizenhárom éves korában otthagyta az iskolát, és egy könyvesboltban dolgozó könyvkötő mellett helyezkedett el kisínasként. A gondjaira bízott könyveket el is olvasta, így az évek során komoly jártasságra tett szert a természettudományokban. Szabadidejében egyszerű és olcsó kísérleteket is végzett. Végül a híres vegyész, Sir Humphry Davy laboratóriumában kapott asszisztensi munkát. Faraday élete hátralévő 45 éve alatt mindvégig itt dolgozott, sőt, Davy halála után annak utóda lett. Faraday-nek nehézségei voltak a matematikával, nem is tanulta sokáig, ezért komoly küzdelmet jelentett számára, hogy megértse a laboratóriumában megfigyelt elektromágneses jelenségek mögötti elméleti összefüggéseket. Végül azonban sikerült neki.

Faraday egyik legjelentősebb szellemi alkotása az erőterek fogalmának bevezetése volt. Napjainkban, a bogárszerű földönkívüliekről és csillaghajóikról szóló könyveknek és filmeknek köszönhetően a legtöbb ember jól ismeri a fogalmat, talán nem ártana jogdíjat fizetniük Faraday-nek.

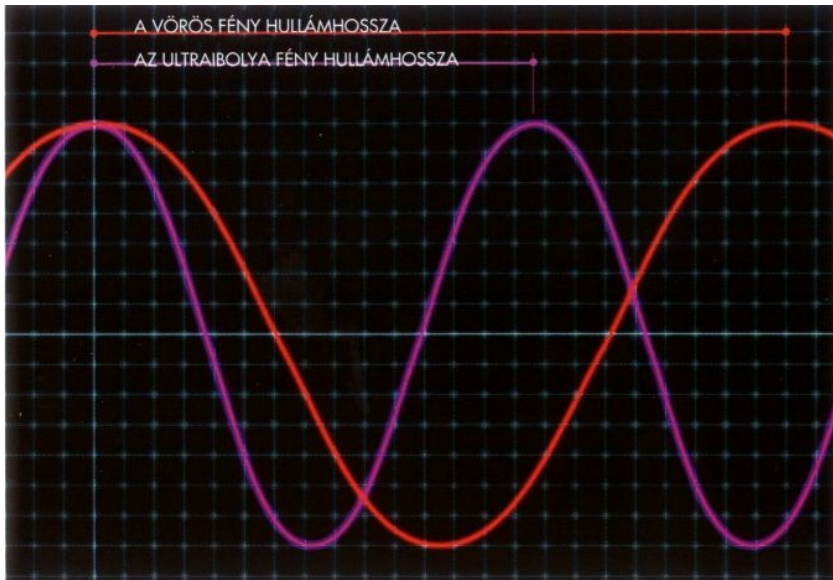


17. Erőterek – A mágnesrúd erőterét a vasreszelékre gyakorolt hatásán keresztül szemléltethetjük.

A Newton és Faraday között eltelt évszázadokban a fizika egyik legnagyobb rejtélye volt, hogy az erők látszólag az egymással kölcsönhatásban álló testek közötti üres téren keresztül hatnak. Faraday-nek azonban nem tetszett ez a kép. Azt gondolta, hogy egy test megmozgatásához valaminek közvetlen érintkezésbe kell lépnie a testtel. Ezért úgy képzelte, hogy az elektromos töltések és a mágnesek közötti teret láthatatlan csövek töltik ki, és ezek közvetítik a vonzó és taszító erőket. Faraday ezeket a csöveket erőtéreknek nevezte el. Az erőteret kényelmesen szemléltethető azzal az iskolai kísérlettel, amelyben egy rúd-mágnes fölé tett üveglapra vasreszeléket szórunk. Az üveg megkocogtatása segít legyőzni a súrlódást, a szemcsék pedig úgy mozognak el, mintha valamilyen láthatatlan erő rendezné el őket a mágnes egyik pólusától a másikig haladó ívek mentén. Ez a mintázat a teret átható, láthatatlan mágneses erő térképe. Ma úgy

gondoljuk, hogy minden erőt terek közvetítenek, így olyan fogalomról van szó, amelyik a modern fizikában is alapvető jelentőségű – nem csak a tudományos – fantasztikus irodalomban.

Ezután az elektromágnességre vonatkozó tudásunk gyarapodása évtizedekre megrekedt, ismereteink mindössze néhány tapasztalati (empirikus) törvényre szorítkoztak: sejtettük, hogy az elektromosság és a mágnesség között valamilyen rejtélyes kapcsolat áll fenn, valamilyen kapcsolatban vannak a fénnel, valamint embrionikus állapotban bár, de megjelent az erőterek fogalma. Az elektromágnesség leírására legalább tizenegy elmélet létezett, de mindegyik hibásnak bizonyult. Azután, az 1860-as években, néhány esztendő leforgása alatt James Clerk Maxwell skót fizikus továbbfejlesztette Faraday gondolatait, és olyan matematikai keretet dolgozott ki, amely magyarázatot adott az elektromosság, a mágnesség és a fény közötti szoros és rejtélyes kapcsolatra. Munkája eredménye egy olyan egyenletrendszer lett, amely az elektromos és a mágneses erőket ugyanazon fizikai létező, az elektromágneses tér (erőtér, mező) megnyilvánulásaiként írta le. Maxwell tehát az elektromosságot és a mágnességet egyetlen kölcsönhatássá egyesítette. Sőt, azt is kimutatta, hogy az elektromágneses mező hullámként képes terjedni a térben. Ennek a hullámnak a sebessége állandó tényezőként jelent meg az egyenleteiben. Néhány évvel korábban végzett kísérletei során gyűjtött adatokból kiszámította az állandó értékét. Legnagyobb megdöbbenésére az a fény sebességével egyenlőnek adódott, amelyet akkor már kísérleti úton 1 százalékos pontossággal ismertek. Felfedezte, hogy maga a fény is az elektromágneses hullámok egyik fajtája!



18. Hullámhossz – A mikrohullámok, a rádióhullámok, az infravörös és a röntgensugárzás – továbbá a különböző színű fények – csak hullámhosszukban különböznek egymástól.

Ma az elektromos és mágneses mezőket leíró egyenleteket Maxwell-egyenleteknek nevezzük. Csak kevesen hallottak róluk, bár üzleti szempontból valószínűleg ezek az általunk ismert összes egyenlet közül a legfontosabbak. Nemcsak a háztartási gépektől a számítógépig minden elektromos eszköz működését ezek szabják meg, hanem a fényen kívül sok másfajta hullámot is leírnak, például a mikrohullámokat, a rádióhullámokat, az infravörös sugárzást és a röntgensugarakat. Mindezek csak egyetlen tulajdonságukat tekintve különböznek a fénytől – más a hullámhosszuk. A rádióhullámok hullámhossza legalább egy méter, míg a látható fényé a méter néhány tízmilliomod része, a röntgensugárzásé pedig kevesebb a méter százmilliomod részénél. Napunk minden hullámhosszon bocsát ki sugárzást, de legerősebben az emberi szemmel látható tartományban. Valószínűleg nem véletlen, hogy szabad szemmel éppen

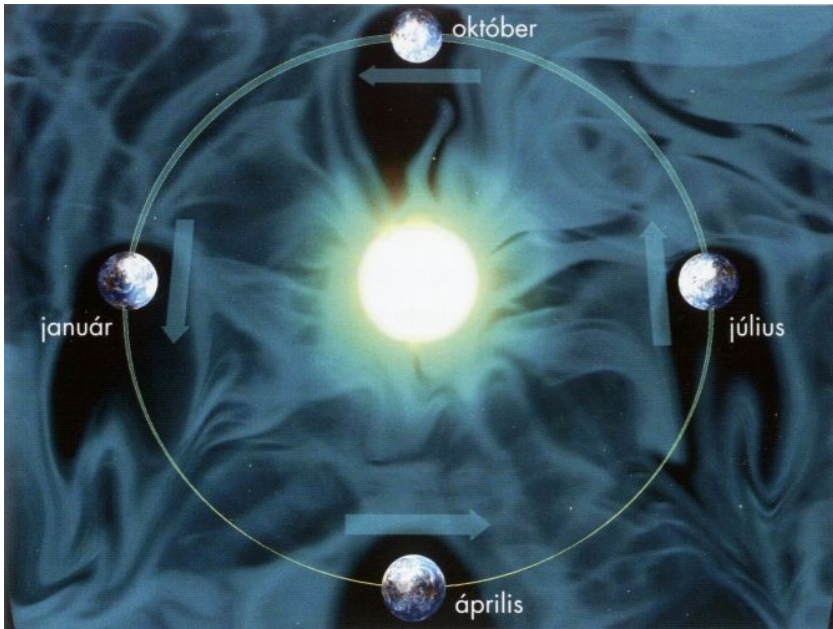
azokat a hullámhosszakat látjuk, amelyeken a Nap sugárzása a legerősebb: szemünk fejlődése során minden bizonnyal azért éppen ebben a tartományban alakult ki a legnagyobb érzékenysége, mert itt a legerősebb a sugárzás. Ha valaha ráakadnánk egy másik bolygóról származó lényekre, akkor valószínűleg azt fogjuk tapasztalni, hogy ők azt a sugárzást képesek „látni”, amelyet az ő csillaguk bocsát ki legnagyobb mennyiségben, figyelembe véve az ott uralkodó, a fényt gyengítő tényezőket, például a bolygójuk légkörében lévő por és gázok elnyelő hatását. A röntgensugárzó környezetben kifejlődött földönkívülieknek tehát jó állásuk lehetne a repülőterek biztonsági szolgálatánál.

Maxwell egyenletei szerint az elektromágneses hullámok másodpercenként körülbelül 300 000 kilométeres sebességgel terjednek, ami 1080 millió km/órának felel meg. A sebesség megadása azonban önmagában semmit sem jelent, ha nem mondjuk meg, milyen vonatkoztatási rendszerhez képest mérjük azt. Erre a hétköznapi életben általában nem kell túl sok figyelmet fordítanunk. Ha az autópályán a 90 km/óra sebességhatárt jelző táblát látjuk, akkor magától értetődő, hogy ez a sebesség az útpályához képest értendő, nem pedig a Tejútrendszer középpontjában található fekete lyukhoz képest. Előfordulhatnak azonban a hétköznapi életben is olyan esetek, amikor tekintettel kell lennünk a vonatkoztatási rendszerre. Ha például az utaskísérő egy csésze teát szolgál fel a repülőgép fedélzetén, akkor joggal állíthatja, hogy 3 km/óra sebességgel mozog a széksorok között. A Föld felszínén álló megfigyelő ezzel szemben azt látja, hogy a repülőgéppel együtt 915 km/óra sebességgel halad. Nehogy azt gondoljuk azonban, hogy akár az egyik, akár a másik megfigyelő több jogot formálhat arra, hogy a maga megfigyelését igaznak tartsa. Gondoljunk csak arra, hogy mivel a Föld a Nap körül kering, ezért ha a tüzes égítést felszínéről figyel valaki bennünket, akkor egyik megfigyelővel sem ért egyet, hanem azt mondja, hogy mind a

kettő körülbelül 30 km/másodperc sebességgel mozog a térben, miközben irigykedik a kellemes légkondicionálásunkra. Amikor Maxwell bejelentette, hogy egyenleteiben felbukkant a „fény sebessége”, akkor természetes módon adódott a kérdés, hogy mihez képest mérjük azt a fénysebességet, amelyik a Maxwell-egyenletekben megjelenik.

Semmi okunk sincs azt hinni, hogy a Maxwell-egyenletekben felbukkanó sebességparaméter a Földhöz mért sebességet jelentené. Végül is az egyenletek az egész Univerzumra vonatkoznak. Egy másik lehetséges, régebben komolyan fontolóra vett válasz szerint az egyenletek egy eddig még ki nem mutatott, az egész teret átható közeghez, az úgynevezett fényterjesztő éterhez, vagy röviden csak éterhez képest adja meg a fénysebességet. Arisztotelész annak idején ezt a kifejezést használta annak a közegnek a megnevezésére, amelyik felfogása szerint az Univerzumnak a Föld szféráján kívül eső részét kitöltötte. Ez a hipotetikus éter lenne az a közeg, amelyben az elektromágneses hullámok terjednek, éppúgy, ahogyan a hanghullámok a levegőben. Ha az éter létezne, akkor létezne az abszolút nyugalom (vagyis nyugalom az éterhez képest), következésképpen abszolút értelemben definiálni lehetne a mozgást. Az éter kitüntetett vonatkoztatási rendszert jelentene az egész Univerzumban, amihez bármely objektum sebességét viszonyítani lehetne. Az éter létezését tehát elméleti alapon jelentették ki, arra ösztönözve ezzel egy sor tudóst, hogy próbálják megtalálni a tanulmányozásának a módját, vagy legalább bizonyítsák be a létezését. Ezeknek a tudósoknak az egyike maga Maxwell volt.

Ha a levegőben szembe haladunk egy hanghullámmal, akkor a hullám gyorsabban közeledik felénk, ha viszont elszaladunk előle, akkor a hullám lassabban közeledik.



19. Mozgás az éterben – Ha az éterben mozognánk, akkor a fénysebesség évszakos ingadozásából rá tudnánk jönni saját mozgásunk tényére.

Hasonlóképpen, ha létezne az éter, akkor a fény sebessége attól függően változna, milyen mozgást végzünk az éterhez képest. Valójában, ha a fény ugyanúgy viselkedne, mint a hanghullámok, akkor ugyanúgy, ahogy a szuperszonikus repülőgép pilótája sem hallja gépének zaját, az éterben elég gyorsan száguldó utazó képes lenne megelőzni a fénysugarat. Ezen megfontolások alapján Maxwell egy kísérletet is javasolt. Ha létezne éter, akkor a Földnek Nap körüli keringése során az éterben kell mozognia. Minthogy a Föld más irányban mozog januárban, mint mondjuk áprilisban vagy júliusban, meg kellene tudni figyelni az év során a parányi változásokat a sebességében. Maxwellt azonban a *Proceedings of the Royal Society* főszerkesztője lebeszélte elképzelése publikálásáról, mert úgy gondolta, hogy a kísérlet

nem működne. Azonban 1879-ben, röviddel azelőtt, hogy 48 éves korában egy fájdalmas gyomorrákban elhunyt, Maxwell levelet írt a kérdésről egy barátjának. A levél halála után megjelent a *Nature*-ben, ahol többek között egy Albert Michelson nevű amerikai fizikus is elolvasta. Maxwell gondolatmenetén felbuzdulva Michelson és Edward Morley 1887-ben végrehajtottak egy nagyon érzékeny mérést, amelyet a Föld éterbeli mozgásának kimutatására agyaltak ki. Ötletük lényege az volt, hogy két, egymásra merőleges irányban haladó fénysugár sebességét hasonlították össze. Ha a fény sebessége állandó az éterhez képest, akkor a mérés során a nyaláb haladási irányától függően ki kellett volna tudniuk mutatni a sebesség változását. Michelson és Morley azonban nem talált ilyen különbséget.

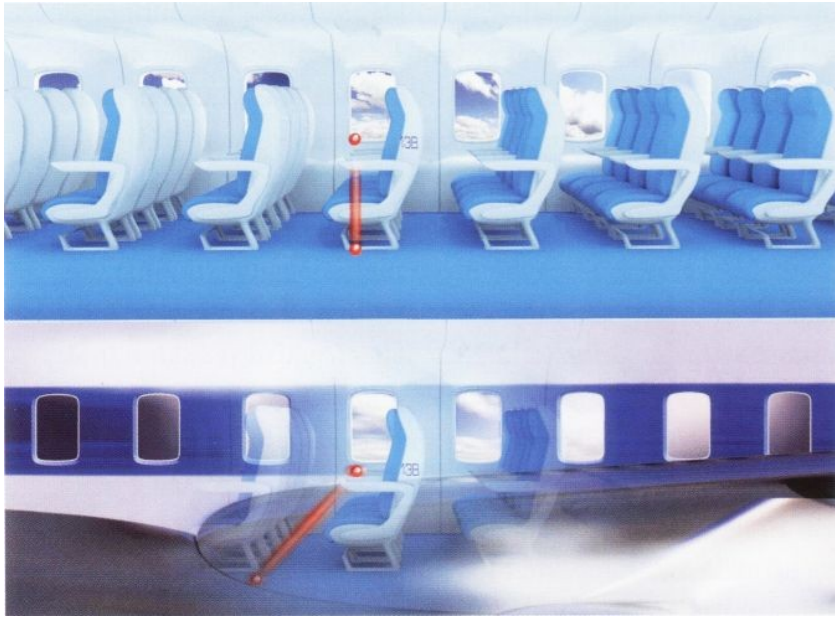
Michelson és Morley kísérletének eredménye nyilvánvalóan ellentmondásban áll az éterben terjedő elektromágneses hullámok modelljével, ezért a kísérletet követően az étermodellt el kellett vetni. Michelson azonban nem az éterhipotézist akarta bizonyítani vagy cáfolni, hanem a Föld mozgási sebességét akarta az éterhez képest megmérni, ezért kísérletük eredményéből ő nem arra következtetett, hogy nem létezik az éter. Sőt, senki más sem jutott erre a következtetésre. Valójában a híres fizikus, Sir William Thomson (Lord Kelvin) 1884-ben kijelentette, hogy „az éter az egyetlen közeg, amelynek a létezéséről a dinamikában bizonyosak vagyunk. Az egyetlen, amiben biztosak vagyunk: ez a fényterjesztő éter valóságossága és alapvető volta.”

Hogyan hihetünk az éter létezésében a Michelson-Morley-kísérlet eredménye ellenére? Amint már említettük, a kutatók gyakran erre a célra kitalált, eseti kiegészítések hozzátoldásával próbálják megmenteni az elméleteiket. Egyesek azt állították, hogy a Föld keringése során magával vonszolja az étert, ezért lényegében nem mozgunk hozzá képest. Hendrik Antoon Lorentz holland és George Francis FitzGerald ír fizikus azt vetette fel, hogy az éterhez képest

mozgó vonatkoztatási rendszerben – valószínűleg valamilyen még ismeretlen mechanikai hatás következtében – az órák lelassulnak, a távolságok pedig összezsugorodnak, ezért a fény sebességét ugyanakkorának mérnénk. Az éter fogalmának megmentésére irányuló efféle próbálkozások csaknem húsz éven keresztül folytak, mindaddig, amíg meg nem jelent egy Albert Einstein nevű, addig teljesen ismeretlen berni szabadalmi hivatali tisztviselő figyelemre méltó cikke.

Einstein 26 éves volt 1905-ben, amikor megjelentette „A mozgó testek elektrodinamikájáról” (*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*) című cikkét. Dolgozatában abból az egyszerű feltevésből indult ki, miszerint a fizika törvényeinek, különösen pedig a fény sebességének minden, egyenes vonalú, egyenletes mozgást végző megfigyelő számára azonosnak kell látszania. Ez az elgondolás, mint kiderült, forradalmat váltott ki a térről és az időről alkotott felfogásunkban. Ha be akarjuk látni, miért, akkor képzeljünk el két eseményt, amelyek ugyanott következnek be egy repülőgép fedélzetén, de különböző időpontokban. A repülőgépen utazó megfigyelő számára a két esemény helye közötti távolság nulla. A másik, a Földön álló megfigyelő szempontjából a két esemény helye között akkora a távolság, amekkora utat a repülőgép a két esemény bekövetkezése közötti időben megtett. A példa alapján nyilvánvaló, hogy az egymáshoz képest mozgó megfigyelők nem ugyanakkorának találják két esemény távolságát.

Tételezzük most fel, hogy a két megfigyelő olyan fényimpulzust figyel meg, amelyiket a repülőgép farkától az orra felé bocsátottak ki. Akárcsak az előző példában, ezúttal is különbözőnek találják a fénysugár által a gép hátuljában történt kibocsátása és a gép orrában történt felfogása között megtett utat.



20. A repülőgép fedélzetén – Ha a mozgó repülőgép fedélzetén leejtünk egy labdát, akkor a gép fedélzetén utazó megfigyelő azt tapasztalja, hogy a labda minden egyes visszapattanásakor ugyanabban a pontban találkozik az utastér padlójával, a Földön álló megfigyelő viszont ezeket a pontokat egymástól nagy távolságra lévőnek érzékeli.

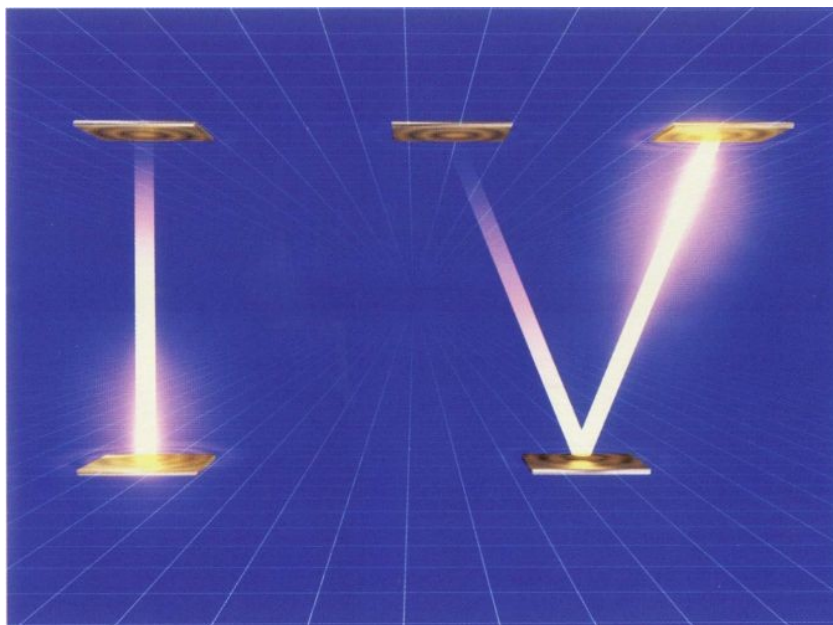
Minthogy a sebesség a megtett út és a megtételéhez szükséges időtartam hányadosa, ez azt jelenti, hogy ha a két megfigyelő azonosnak találja a jel terjedési sebességét – a fénysebességet –, akkor különbözőnek találják a jel kibocsátása és felfogása között eltelt időtartamot.

Még különösebbé teszi a helyzetet, hogy bár a két megfigyelő különböző időtartamokat mért, mégis mindketten *ugyanazt a fizikai folyamatot* figyelték meg. Einstein nem próbált meg valamilyen mesterkélt magyarázatot találni a helyzetre. Inkább azt a logikus, de meghökkentő következtetést vonta le, hogy az időtartam hosszának mérése – akárcsak a megtett távolságé – a mérést végző megfigyelőtől függ. Ez a

jelenség kulcsszerepet kapott Einstein 1905-ös cikkében kifejtett elméletében, amely később a speciális relativitáselmélet nevet kapta.

Nézzük meg, miként alkalmazható ez az elemzés az időmérő eszközökre! Tételezzük fel, hogy két megfigyelő ugyanazt az órát nézi. A speciális relativitáselmélet értelmében az órához képest mozgó megfigyelők számára az óra lassabban jár, mint az órához képest nyugalomban levő megfigyelők számára. Ha a repülőgép farkától az orráig haladó fényimpulzust egy óra ketyegésének feleltetjük meg, akkor azt tapasztaljuk, hogy a Földön álló megfigyelő szempontjából az óra lassabban jár, mert abban a vonatkoztatási rendszerben a fénysugárnak nagyobb távolságot kell megtennie. A hatás fellépése azonban nem függ az óra szerkezetétől, minden fajta órára érvényes, még a szervezetünk biológiai órájára is.

Einstein munkája megmutatta, hogy akárcsak a nyugalom fogalma, az idő sem tekinthető olyan értelemben abszolútnak, ahogyan azt Newton gondolta. Más szavakkal, nem lehetséges minden eseményhez hozzárendelni egy bizonyos időpontot, amellyel minden megfigyelő egyetért. Ehelyett minden megfigyelő a maga módján végzi el az idő mérését, és ha két megfigyelő mozog egymáshoz képest, akkor az általuk mért idő nem lesz egyenlő egymással. Einstein elképzelése ellentmond a józan észnek, mert következményei nem érzékelhetők a hétköznapi életben megfigyelhető sebességek esetén. Kísérletekkel viszont már számtalanszor igazolták az állítások helyességét. Képzeljünk el például egy referenciaórát, amelyik nyugalomban van a Föld középpontjában, egy másik a Föld felszínén helyezkedik el, a harmadikat pedig egy repülőgép fedélzetére tesszük, amelyik gép vagy a Föld forgásával megegyező, vagy pedig azzal ellentétes irányban repül. A kelet felé – tehát a Föld forgásával egyező irányban – szálló repülőgépen lévő óra a Föld középpontjában lévő órához képest gyorsabban mozog, mint a Föld felszínén lévő, ugyancsak a középpontban lévőhöz viszonyítva.



21. Idődilatáció – A mozgó órák lassabban látszanak járni. Minthogy ez a belső, biológiai óránkra is érvényes, a mozgó emberek lassabban látszanak öregedni, mint az egy helyben maradók. De korai az öröm – a hétköznapi életben elérhető sebességek esetén nincs az a pontos óra, amelyikkel ezt a különbséget ki lehetne mutatni.

Ennek megfelelően a repülőgépen lévő órának lassabban kell járnia a felszínen lévőnél. Ha a repülőgép nyugat felé halad – vagyis a Föld forgásával szemben –, akkor a gépen lévő óra lassabban mozog a Föld középpontjában lévőhöz képest, mint a felszínen lévő, ami azt jelenti, hogy a repülőgépen lévő órának gyorsabban kell járnia a felszínen lévőnél. Pontosan ez az, amit abban az 1971 októberében végrehajtott kísérletben sikerült megfigyelni, amelyben nagyon pontos atomórákkal körberepülték a Földet. Aki tehát meg akarja hosszabbítani az életét, az mindig kelet felé repülje körbe a Földet, míg csak meg nem unja a fedélzeten vetített filmeket. A hatás azonban

nagyon csekély: egyszer körberepülve a Földet 180 milliárdod másodperccel hosszabbodik meg az életünk (sőt, a kisebb gravitáció miatt a hatás még ennél is valamivel kisebb, de ezzel itt és most nem kell foglalkoznunk).

Einstein munkássága nyomán a fizikusok rájöttek, hogy ha megköveteljük a fény sebességének állandóságát minden vonatkoztatási rendszerben, akkor az elektromosság és mágnesség Maxwell-féle elméletéből az következik, hogy az idő nem választható külön a tér három dimenziójától. Az idő és a tér elválaszthatatlanul összefonódik egymással. Olyan ez, mintha a jobbra/balra, előre/hátra és a fel/le három dimenziójához negyedik irányként a múlt/jövő társulna. A fizikusok a térnek és az időnek ezt a kötelékét *téridőnek* nevezik, és mivel a téridő egy negyedik irányt is tartalmaz, a téridő négydimenziós. A téridőben az idő többé nem független a tér három dimenziójától, és bár nem túl pontosan, de úgy fogalmazhatnánk, hogy éppúgy, mint ahogyan a balra/jobbra, az előre/hátra és a fel/ le iránya a megfigyelő elhelyezkedésétől függ, hasonlóképpen az idő iránya is változhat a megfigyelő sebességétől függően. A különböző sebességgel mozgó megfigyelők különböző irányokat választanak az idő számára a téridőben. Einstein speciális relativitáselmélete tehát új modell volt, amelyik megszabadult az abszolút idő és az abszolút nyugalom (vagyis a rögzített helyzetű éterhez képesti nyugalom) fogalmától.

Einstein hamarosan rájött, hogy ha a gravitációt is összhangba akarja hozni a relativitáselmélettel, akkor még egy változtatást végre kell hajtania. Newton gravitációelmélete szerint a testek bármely időpontban akkora erővel vonzzák egymást, amely erő a testek között az adott pillanatban mért távolságtól függ. A relativitáselmélet azonban megszüntette az abszolút idő fogalmát, ezért nem lehetett meghatározni, mikor kell a testek közötti távolságot megmérni. Eszerint tehát Newton gravitációelmélete nem állt összhangban a speciális relativitáselmélettel, vagyis

módosításra szorult. Az ellentmondás pusztán technikai természetűnek tűnhet, olyan apró részletnek, amely az elmélet jelentősebb átalakítása nélkül korrigálható. Amint azonban kiderült, semmi sem áll távolabb az igazságnál, mint ez a sejtés.

A következő tizenegy évben Einstein kidolgozta a gravitáció új elméletét, amelyet általános relativitáselméletnek nevezett. A gravitáció fogalma az általános relativitáselméletben cseppet sem hasonlít a Newton-féle gravitációra. Ehelyett azon a forradalmi ötleten alapul, miszerint a téridő – a korábban feltételezettell ellentétben – nem síkgeometriai szerkezetű, hanem görbült, és amelynek szerkezetét a benne található tömeg és energia torzítja.

Könnyen elképzelhetjük a tér görbületét, ha a Föld felszínére gondolunk. Bár a Föld felszíne csak kétdimenziós (mert csak két irány határozható meg rajta, mondjuk az észak/dél és a kelet/nyugat), mégis ezt használjuk példaként, mert a görbült kétdimenziós teret könnyebb ábrázolni, mint a görbült négydimenziósat. A görbült terek (mint például a Föld felszíne) geometriája nem a mindannyiunk által jól ismert euklideszi geometria. A Föld felszínén például a két pont közötti legrövidebb út – az, ami az euklideszi geometriában az egyenes – az az ív, amelyik egy úgynevezett főkör mentén köti össze a két pontot. (A főkör olyan kör a Föld felszínén, amelynek a középpontja egybeesik a Föld középpontjával. Főkör például az Egyenlítő, de minden olyan kör is, amelyet úgy kapunk, hogy az Egyenlítőt tetszés szerinti átmérője körül elfordítjuk.)

Képzeljük el, mondjuk, hogy New Yorkból Madridba akarunk utazni – a két város közelítőleg ugyanazon a szélességi körön fekszik. Ha a Föld sík (lapos) lenne, akkor a legrövidebb út nyílegyenesen kelet felé vezetne. Ha mindvégig tartjuk az irányt, akkor 5966 km megtétele után megérkeznénk Madridba.



22. Geodetikus görbék – A Föld felszínén bármely két pont közötti legrövidebb távolság görbültnek látszik, ha sík térképen ábrázoljuk – ezt még akkor sem szabad elfelejteni, ha kétségek merülnek fel józanságunkat illetően.

A földfelszín görbülete miatt azonban létezik egy útvonal, amelyik a sík térképen görbültnek, ezért hosszabbnak látszik, a valóságban azonban rövidebb. Ha a főkör mentén utazunk, akkor északkelet felé kell elindulnunk, majd fokozatosan kelet felé kanyarodunk, végül délkelet felé fordulva megérkezünk – és eközben mindössze 5802 km-t kellett megtennünk. A két útvonal hosszának különbözőségét a földfelszín görbülete okozza, ez a nemeuklideszi geometria csalhatatlan jele. A légitársaságok pontosan tisztában vannak ezzel, és amikor csak gyakorlati lehetőség van rá, a pilóták a főkörök által kijelölt útvonalakat követik.

Newton mozgástörvényei szerint a különböző tárgyak, például az ágyúgolyók, a vajas kiflik és a bolygók egyenes vonalú, egyenletes mozgást végeznek, hacsak nem hat rájuk valamilyen erő, például a gravitáció. A gravitáció azonban Einstein elméletében nem olyan erő, mint a többi kölcsönhatás, hanem azért lép fel, mert a tömegek torzítják a téridőt, vagyis görbületet hoznak létre. Einstein elmélete szerint a testek úgynevezett geodetikus görbék mentén mozognak, amelyek a görbült térben az egyenessel

legközelebbi rokonságban álló dolgok. A síkon az egyenes vonalak jelentik a geodetikus vonalakat, a Föld felszínén pedig a főkörök. Ha nincs jelen anyag, akkor a négydimenziós tér geodetikus vonalai a háromdimenziós tér egyeneseinek felelnek meg. Amikor azonban anyag van jelen, vagyis torzul a téridő szerkezete, akkor az ennek megfelelő háromdimenziós térben oly módon görbül meg a testek pályája, mint amilyen pályára a newtoni elméletben a gravitációs vonzás ad magyarázatot. Amikor a téridő nem sík, akkor a testek pályája görbült, ami azt az érzést kelti, mintha valamilyen erő hatna rájuk.

Einstein általános relativitáselmélete gravitáció hiányában visszaadja a speciális relativitáselméletet, és a Naprendszer gyenge gravitációjú környezetében szinte pontosan ugyanazt az előrejelzést adja, mint Newton gravitációelmélete – de csak szinte ugyanazt. Valójában, ha az általános relativitáselmélet hatását nem vennék figyelembe a navigációs mesterséges holdak esetében, akkor a helymeghatározás hibája naponta körülbelül tíz kilométerrel nőne. Az általános relativitáselmélet igazi jelentőségét azonban nem azok az aprócska eszközök jelentik, amelyekkel könnyebben megtalálunk egy új éttermet, hanem az, hogy a korábbtól merőben eltérő képet rajzol fel az Univerzumról, és olyan új jelenségek létezését jósolja meg, mint a gravitációs hullámok és a fekete lyukak. Ennek megfelelően az általános relativitáselmélet geometriává alakította át a fizikát. A modern technológia elég kifinomult ahhoz, hogy lehetővé tegye az általános relativitáselmélet sokféle, érzékeny ellenőrzését. Az elmélet az összes ilyen próbát sikerrel kiállta.

Bár az elektromágnesség Maxwell-féle elmélete és Einstein gravitációelmélete – az általános relativitáselmélet – egyaránt forradalmasította a fizikát, mindkét elméletet klasszikus elméletnek kell tekintenünk, akárcsak Newton fizikáját. Ez azt jelenti, hogy ezekben a modellekben az

Univerzumnak egyetlen története van. Amint az előző fejezetben láttuk, az atomi és a szubatomi szinteken ezek a modellek nem egyeznek a megfigyelésekkel. Ezért célszerűbb a kvantumelméletet használnunk, amelyben az Univerzumnak tetszés szerinti történelme lehet, amelyek mindegyikének megvan a saját intenzitása vagy valószínűségi amplitúdója. A mindennapjaink világában lejátszódó eseményekre vonatkozó gyakorlati számítások céljaira továbbra is használhatjuk a klasszikus elméleteket, de ha meg akarjuk érteni az atomok és a molekulák viselkedését, akkor az elektromágnesség Maxwell-féle elméletének kvantumos változatára van szükségünk, ha pedig az Univerzum korai történetét szeretnénk megérteni, akkor az általános relativitáselmélet kvantumos változatára van szükségünk. Azért is szükségünk van ezekre az elméletekre, mert ha a természet alapvető folyamatait és működését akarjuk megérteni, akkor nem kaphatunk következetes és összefüggő képet, amíg egyes törvények kvantumosak, mások meg klasszikus típusúak. Éppen ezért meg kell találnunk az összes természeti törvény kvantumos változatát. Ezeket az elméleteket *kvantumtérelméleteknek* nevezzük.

A természet ismert kölcsönhatásait négy csoportba sorolhatjuk:

1. *Gravitáció.* Ez a négy kölcsönhatás közül a leggyengébb, de nagy hatótávolságú, a Világegyetemben mindenre hat és mindig vonzásként jelentkezik. Ez azt jelenti, hogy nagy testek esetében alkotóelemeik gravitációs hatása összegeződik és minden más kölcsönhatáshoz képest uralkodóvá válik.

2. *Elektromágnesség.* Ez is nagy hatótávolságú és a gravitációnál sokkal erősebb kölcsönhatás, de csak elektromos töltésű részecskékre hat, az azonos töltések között taszító, az ellentétes töltések között vonzó kölcsönhatásként működik. Ez azt jelenti, hogy a nagy testek között ható

elektromos erők kioltják egymást, az atomok és a molekulák szintjén azonban uralkodók. A kémia és a biológia minden folyamataért és jelenségeért az elektromágneses erők felelősek.

3. *Gyenge magerő.* Ez idézi elő a radioaktivitás jelenségét, emellett létfontosságú szerepet játszott a korai Univerzumban és játszik ma is a csillagok belsejében az elemek kialakulásakor. A hétköznapi életben azonban nem találkozunk ezzel a kölcsönhatással.

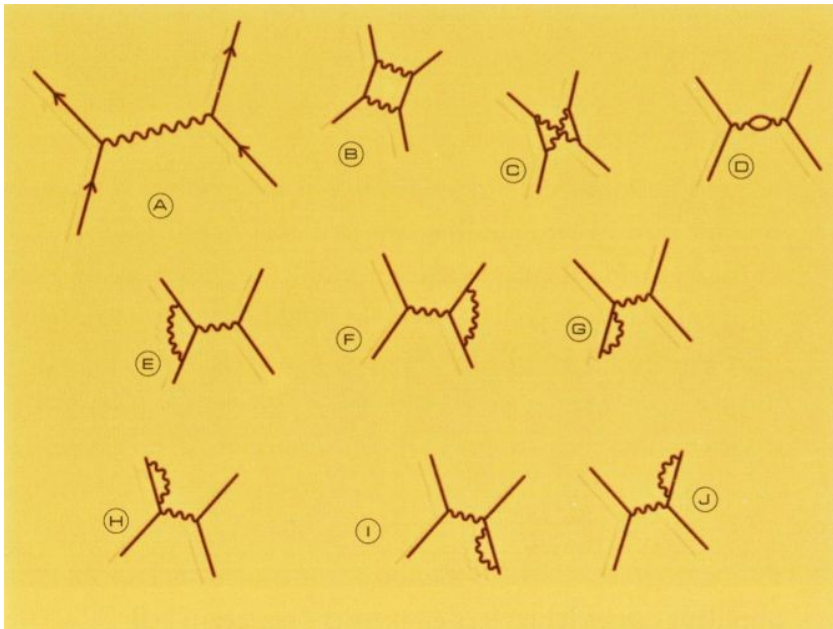
4. *Erős kölcsönhatás.* Ez az erő tartja össze a protonokat és a neutronokat az atommagban. Sőt, ez tartja össze magukat a protonokat és a neutronokat is, amelyek még apróbb részecskékből, a 3. fejezetben már említett kvarkokból épülnek fel. Az erős kölcsönhatás a Nap és az atomenergia energiaforrása, de akárcsak a gyenge magerők esetében, erről is elmondható, hogy a mindennapi életben nem találkozunk vele.

Az elektromágnesség volt az első kölcsönhatás, amelyiknek megszületett a kvantumos változata. Az elektromágnesség kvantumelméletét, az úgynevezett *kvantum-elektrodinamikát*, vagy röviden QED-t az 1940-es években Richard Feynman dolgozta ki. Később ez az elmélet szolgált mintául az összes kvantumtérelmélethez. Amint már említettük, a klasszikus elméletek szerint az erőket az erőterek vagy más néven mezők közvetítik. A kvantumtérelméletekben azonban az erőtereket úgy ábrázoljuk, mint amelyek a *bozonoknak* nevezett, különböző elemi részecskékből állnak. A bozonok az erőket közvetítő részecskék, amelyek ide-oda röpdösnek az anyag részecskéi között, és ezáltal közvetítik a kölcsönhatást. Az anyag részecskéit *fermionoknak* nevezzük. A fermionok családjába tartozik például az elektron és a kvarkok. A foton, vagyis a

fény részecskéje viszont a bozonra példa. Ez az a bozon, amelyik az elektromágneses kölcsönhatást közvetíti. A kölcsönhatás létrejöttékor az anyagi részecske, például az elektron, kibocsát egy bozont, vagyis a kölcsönhatást közvetítő részecskét, és eközben visszalökődik, pontosan úgy, ahogyan az ágyú is visszalökődik az elsütésekor. Az erőt közvetítő részecske ezután összetalálkozik egy másik anyagi részecskével, amelyik elnyeli, miáltal az elnyelő részecske mozgásállapota megváltozik. A kvantumelektrodinamika szerint a töltött részecskék – vagyis az elektromágneses erőt érzékelő részecskék – közötti kölcsönhatások fotonok cseréjeként írhatók le.

A kvantum-elektrodinamika előrejelzéseit ellenőrizték, és megállapították, hogy azok igen nagy pontossággal egyeznek a kísérleti eredményekkel. A kvantum-elektrodinamika által megkövetelt számítások végrehajtása azonban bonyolult lehet. Amint később látni fogjuk, az a probléma, hogy ha a részecskék kicserélődésén alapuló, fentebb ismertetett képhez hozzáadjuk azt a kvantumfizikai követelményt, mely szerint a modellben meg kell jelennie az összes történelemnek, amelyek eredményeképpen egy adott kölcsönhatás előfordulhat – például az összes lehetőséget, ahogyan az erőket közvetítő részecskék kicserélődhetnek –, akkor a matematikai leírás rendkívül bonyolulttá válik. Szerencsére a kvantumelméletre vonatkozó új szemléletmód, vagyis az alternatív történelmek előző fejezetben bemutatott fogalmának bevezetésével párhuzamosan, Feynman elegáns grafikus módszert dolgozott ki, amely számot ad a különböző történelmekről. Ezt a módszert ma már nemcsak a kvantum-elektrodinamikában, hanem az összes kvantum-térelméletben alkalmazzák.

Feynman grafikus módszere lehetővé teszi a történelmek összegzése kapcsán felmerülő összes fogalom szemléltetését. Ezek a képek, az úgynevezett Feynman-diagramok, a modern fizika egyik legfontosabb segédeszközét alkotják.



23. Feynman-diagramok – Ezek a diagramok azt a folyamatot ábrázolják, amikor két elektron szóródik egymáson.

A kvantum-elektrodinamikában az összes lehetséges történelem Feynman-diagramok összegzéseként ábrázolható, és a 23. ábrán látható diagramok néhány példát mutatnak arra, miként képes két elektron a közöttük kialakuló elektromágneses erő hatására egymáson szóródni. Ezeken a diagramokon a folytonos (egyenes) vonalak az elektronokat jelölik, a hullámos vonalak pedig a fotonokat. Az idő múlását alulról felfelé értelmezzük, a vonalak találkozási pontja pedig annak felel meg, amikor egy elektron kibocsát vagy elnyel egy foton. Az (A) rajzon két elektron megközelíti egymást, fotonot cserélnek, majd folytatják az útjukat. Ez két elektron elektromágneses kölcsönhatásának a legegyszerűbb változata, nekünk azonban az összes többi lehetőséget is figyelembe kell vennünk. Nézzük meg például a (B) diagramot. Ezen a

diagramon is két vonal érkezik – az egymást megközelítő két elektron – és két vonal távozik a kölcsönhatás helyszínéről – az egymáson szóródott elektronok –, de ezen a diagramon az elektronok között két foton cserélődik ki, mielőtt eltávolodnának egymástól. A 23. ábrán látható diagramok csak néhány lehetőséget mutatnak be, valójában végtelenül sok hasonló diagram képzelhető el, amelyeket megfelelő matematikai módszerekkel egytől egyig figyelembe kell venni. A Feynman-diagram azonban nem csak a kölcsönhatások lefolyását ábrázoló és a folyamatokat kategorizáló elegáns eszköz. A Feynman-diagramok olyan szabályokkal járnak együtt, amelyek lehetővé teszik, hogy az egyes diagramokon megjelenő vonalakból és csúcsokból valamilyen matematikai kifejezést olvassunk ki. Ezek szerint annak a valószínűségét például, hogy az adott kezdeti impulzussal beérkező elektron a kölcsönhatás után adott impulzussal repül tovább, úgy kaphatjuk meg, hogy minden egyes Feynman-diagram járulékát figyelembe vesszük és összegezzük. Ez meglehetősen munkaigényes feladat, mert, mint említettük, végtelen számú Feynman-diagramot kell figyelembe vennünk. Sőt, bár a beérkező és a távozó elektronoknak meghatározott nagyságú energiát és impulzust tulajdonítunk, a diagramok belsejében megjelenő zárt hurkoknak megfelelő részecskék energiája és impulzusa tetszőleges lehet. Ez fontos körülmény, mert a Feynman-féle összeg képzésekor nemcsak az összes diagramot kell figyelembe venni, hanem az energia és az impulzus összes lehetséges értékére is összegezni kell.

A Feynman-diagramok óriási segítséget nyújtottak a fizikusoknak a kvantum-elektrodinamika által leírt folyamatok szemléltetésében és a folyamatokhoz tartozó valószínűségek kiszámításában. Az elméletnek van azonban egy gyenge pontja, amelyre a Feynman-diagramok sem nyújtanak gyógyírt. Ha végtelen számú különböző történelmet összegezzünk, akkor végtelenül nagy eredményt

kapunk. (Ha egy végtelen sorozatban az egymás után következő tagok elég gyorsan csökkennek, akkor előfordulhat, hogy a végtelen sorozat összege véges szám lesz, ebben az esetben azonban sajnos nincs ilyen szerencsénk.) Különösen problematikus, hogy a Feynman-diagramok összegzésekor úgy tűnik, mintha az eredményből az elektron végtelenül nagy tömege és töltése következne. Ez képtelenség, hiszen az elektron tömegét és töltését meg tudjuk mérni, és az végesnek adódik. Az előbukkanó végtelenek kezelésére (természetes fizikai követelmények mellett) a *renormálásnak* nevezett eljárást vezették be.

A renormálás folyamata során a diagramot reprezentáló matematikai kifejezésből végtelennek és negatívnak definiált mennyiségeket vonunk ki pontos matematikai megfontolások alapján oly módon, hogy a negatív végtelen mennyiségek és a felbukkanó pozitív végtelen mennyiségek csaknem pontosan kiegyenlítsék egymást, összegzésükkor csak kicsiny maradvány maradjon vissza, amely éppen a tömeg és a töltés megfigyelt véges értékével egyenlő. Ezek a manipulációk olyan trükkökre emlékeztetnek, amilyenekért könnyen meg lehet bukni egy iskolai matekvizsgán – ami nem csoda, mert a renormálás, ahogy hangzik, matematikailag valóban kétes értékű művelet. Az eljárás alkalmazásának egyik következménye az, hogy az elektron töltésére és tömegére kapott érték bármely véges szám lehet. Ennek megvan az az előnye, hogy a fizikusok úgy választhatják meg a negatív végteleneket, hogy végül a helyes választ kapják eredményül, ám a módszer hátránya, hogy eszerint az elektron tömege és töltése nem vezethető le az elméletből. Ha viszont egyszer már ily módon rögzítettük az elektron töltését és tömegét, akkor a kvantum-elektrodinamika segítségével számos további, nagyon pontos előrejelzést tudunk készíteni, amelyek viszont rendkívül jó egyezést mutatnak a kísérleti eredményekkel. Ennek értelmében tehát a renormálás a

kvantum-elektrodinamika egyik alapvető fontosságú alkotóeleme.



24. Feynman autója – Richard Feynmannak volt egy híres furgonja, amelynek az oldalára Feynman-diagramok voltak festve. A művészi ábrázolás a korábban tárgyalt diagramok szemléltetésére készült. Bár Feynman 1988-ban meghalt, a furgon még ma is megvan – Dél-Kaliforniában, a CalTech közelében, egy garázsban őrzik.

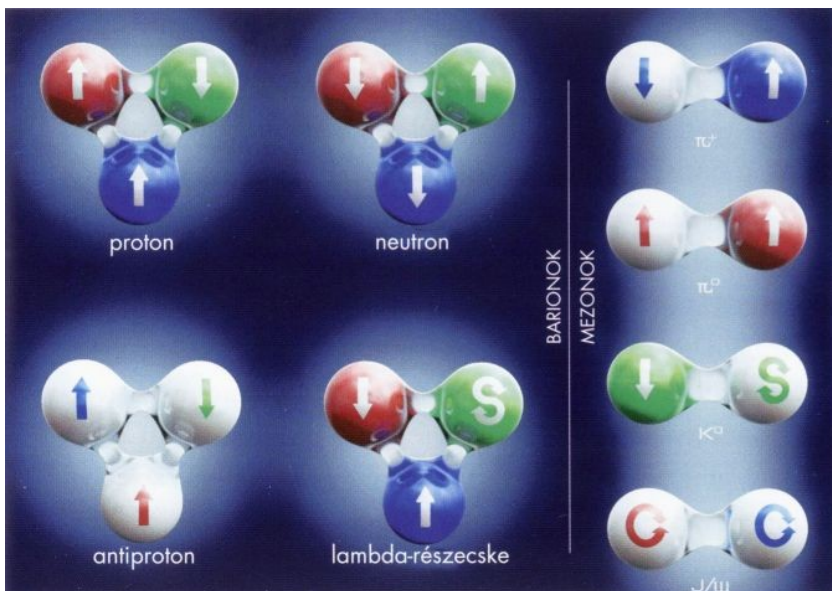
A kvantum-elektrodinamika egyik első sikere például az úgynevezett Lamb-eltolódás értékének pontos előrejelzése volt (a Lamb-eltolódás a hidrogénatom egyik energiaállapotában fellépő, 1947-ben felfedezett, kis változás).

A renormálás sikere a kvantum-elektrodinamikában felbátorította és arra ösztönözte a fizikusokat, hogy próbálják megkeresni a természet másik három kölcsönhatását leíró kvantumtérelméleteket is. Ám a természet erőinek négy osztályba sorolása valószínűleg mesterkelt, és csak

ismereteink hiányának a következménye. Ezért a kutatók elkezdtek keresni az úgynevezett mindenség elméletét, amelyik a kölcsönhatások négy osztályát egyetlen, a kvantumelmélettel összhangban álló törvénnyé egyesítené. Ez lenne a fizika Szent Grálja.

A gyenge kölcsönhatás elmélete adta az egyik jelzést arra nézve, hogy az egyesítés lehet a helyes megközelítés. A gyenge kölcsönhatást önmagában leíró kvantumtérelméletet nem lehet renormálni, vagyis olyan végtelenek fordulnak elő benne, amelyeket nem lehet véges számú mennyiség, például a tömeg és a töltés kivonásával eltüntetni. 1967-ben azonban Abdus Salam és Steven Weinberg egymástól függetlenül olyan elméletet javasoltak, amelyben az elektromágnességet egyesítik a gyenge kölcsönhatással. Megállapították, hogy az egyesítés eredményeképpen megszabadulnak az idegesítő végtelenektől. Az egyesített kölcsönhatást elektrogyenge kölcsönhatásnak nevezték el. Az elmélet renormálható, emellett megjósolta három új részecske, az úgynevezett W^+ , W^- és Z^0 bozonok létezését. A Z^0 létezése mellett szóló közvetett bizonyítékot 1973-ban, a Genf melletti CERN-ben, (a nukleáris kutatások európai szervezetében) találták meg. Salam és Weinberg 1979-ben megkapták a Nobel-díjat, bár magukat a W és a Z részecskéket csak 1983-ban sikerült megfigyelni. Az erős kölcsönhatás önmagában is renormálható a kvantum-színdinamikának nevezett elmélet keretein belül. A kvantum-színdinamika szerint a proton, a neutron és az anyagot felépítő sok más elemi részecske kvarkokból épül fel, amelyeknek van egy figyelemre méltó, a fizikusok által „színek” nevezett tulajdonsága (mindamellet a kvarkok színe csak a munkát megkönnyítő jelző – annak semmi köze sincs a látható színekhez). A kvarkok három, úgynevezett színben jelennek meg, vörösek, zöldek és kékek lehetnek. Ezenkívül minden egyes kvarknak van egy antirészecske párja, amelyeket antivörösnek, antizöldnek és antikéknek neveznek. Az elképzelés szerint szabad

részecskeként csak azok az objektumok létezhetnek, amelyeknek nincs nettó színük. Ezeket a semleges kvarkkombinációkat kétféleképpen lehet elérni. Egy szín és az antiszíne semlegesítik egymást, ezért egy kvark és egy antikvark színtelen párt alkot: ez egy instabil, mezonnak nevezett részecske. Hasonlóképpen, amikor mind a három szín (vagy antiszín) keveredik egymással, akkor az eredő ugyancsak színtelen. Három különböző színű kvark együtt a *barionnak* nevezett, stabil részecskéket alkotja, ilyenek például a protonok és a neutronok (a három antikvark együtt pedig a barionok antirészecskéit alkotja). A protonok és a neutronok azok a barionok, amelyek az atommagot építik fel, így ezek jelentik az Univerzumban található összes közönséges anyag alapját.



25. Barionok és mezonok – A barionokat és a mezonokat az erős kölcsönhatás által összetartott kvarkok alkotják. Ha az ilyen típusú részecskék összeütköznek, kvarkot cserélhetnek, de az egyes kvarkokat nem lehet megfigyelni.

A kvantum-színdinamikának van még egy tulajdonsága, az úgynevezett aszimptotikus szabadság, amelyre már a 3. fejezetben is utaltunk, bár anélkül, hogy nevén neveztük volna. Az aszimptotikus szabadság azt jelenti, hogy a kvarkok közötti erős kölcsönhatás gyenge, amikor a kvarkok közel vannak egymáshoz, de ha eltávolodnak egymástól, akkor egyre erősebbé válik, mintha csak gumiszalagok kapcsolnák össze őket. Az aszimptotikus szabadság megmagyarázza, miért nem látunk szabad kvarkokat a természetben, és miért nem tudtuk mindeddig előállítani őket a laboratóriumainkban. Bár nem tudjuk a különálló kvarkokat megfigyelni, mégis elfogadjuk a modellt, mert nagyon jól megmagyarázza a protonok, a neutronok és az anyag többi részecskéinek a viselkedését.

Miután egyesítették a gyenge és az elektromágneses kölcsönhatást, a fizikusok az 1970-es években elkezdték keresni, miként lehetne az erős kölcsönhatást is beépíteni ebbe az elméletbe. Számos, úgynevezett nagy egyesített elmélet (GUT, grand unified theory) létezik, amelyek egyesítik az erős és a gyenge kölcsönhatást az elektromágnességgel, de ezekből általában az következik, hogy testünk legnagyobb részét alkotó protonoknak körülbelül 10^{32} év alatt el kellene bomlaniuk. Ez nagyon hosszú élettartam, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy az Univerzum kora csak körülbelül 10^{10} év. A kvantumfizikában azonban, amikor azt mondjuk, hogy egy részecske átlagos élettartama 10^{32} év, akkor ezt nem úgy kell érteni, hogy a legtöbb részecske körülbelül 10^{32} évig él, esetleg néhány ennél valamivel rövidebb vagy hosszabb ideig. Nos, nem erről van szó, hanem arról, hogy $1:10^{32}$ -hez annak a valószínűsége, hogy egy adott évben egy részecske elbomlik. Következésképpen, ha néhány éven keresztül megfigyelünk egy 10^{32} protont tartalmazó tartályt, akkor észre kellene vennünk néhány proton elbomlását. Márpedig nem túl nehéz

egy ekkora tartályt építeni, hiszen 10^{32} protont körülbelül ezer tonna víz tartalmaz. A kutatók végrehajtottak ilyen kísérleteket. Kiderült azonban, hogy nem túl egyszerű a bomlások kimutatása, különösen nehéz megkülönböztetni azoktól az eseményektől, amelyeket a világűrben folyamatosan záporozó kozmikus sugárzás okoz. A zavarás (zaj) minimálisra szorítása érdekében a kísérleteket mélyen a föld alatt próbálták elvégezni, például Japánban a Kamioka Bányászati és Kohászati Üzem 1000 méter mélyen, egy hegy gyomrában lévő bányájában, ahol a hegy némileg leárnyékolja a kozmikus sugárzást. A 2009-ben végzett megfigyelések eredményeképpen a kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy ha egyáltalán létezik a protonbomlás, a proton élettartamának akkor is legalább 10^{34} évnek kell lennie, ami igencsak rossz hír a nagy egyesített elméletek hívei számára.



„Attól tartok, a keret önmagában nem elég ahhoz,
hogy ebből egyesített elmélet legyen.”

Minthogy a korábbi megfigyelésekből származó tények sem támasztották alá a nagy egyesített elméleteket, a legtöbb fizikus elfogadott egy *ad hoc* elméletet, az úgynevezett *standard modellt*, amely magában foglalja az elektromgyenge kölcsönhatás egyesített elméletét és az erős kölcsönhatást leíró kvantum-színdinamikát. A standard modellben azonban az elektromgyenge és az erős kölcsönhatás egymástól függetlenül működik, vagyis nincsenek igazán egyesítve. A standard modell nagyon sikeres, jóslatai minden megfigyeléssel összhangban vannak, de végső soron mégsem kielégítő, hiszen egyrészt nem igazán egyesíti az elektromgyenge és az erős kölcsönhatást, másrészt nem tartalmazza a gravitációt.

Bár meglehetősen nehéznek bizonyul az erős kölcsönhatás egyesítése az elektromágneses és a gyenge kölcsönhatással,

de ez a probléma semmiség ahhoz képest, ha a gravitációt szeretnénk egyesíteni a másik hárommal, vagy akár csak a gravitáció önálló kvantumelméletét akarnánk megalkotni. Az, hogy a gravitáció kvantumelmélete ilyen kemény diónak bizonyul, Heisenberg határozatlansági relációjával függ össze, amelyet a 4. fejezetben már tárgyaltunk. Nem nyilvánvaló ugyan, de mégis kiderült, hogy ez az elv éppúgy alkalmazandó valamely mezőre és annak változási sebességére, mint ahogy egy részecske helyére és sebességére. Ez azt jelenti, hogy minél pontosabban ismerjük az egyiket, annál pontatlanabbul ismerhetjük csak meg a másikat. Ennek fontos következménye az, hogy az üres tér, mint olyan, nem létezik. Ez azért van így, mert az üres tér azt jelenti, hogy mind a tér, mind pedig változásának üteme egyaránt pontosan nulla. (Ha a tér változásának üteme nem nulla lenne, akkor a tér nem maradna üres.) Minthogy a határozatlansági elv nem engedi meg, hogy a tér és annak változási ütemét egyidejűleg pontosan ismerjük, ezért a tér soha nem üres. Kell lennie egy minimális energiaállapotnak, az úgynevezett vákuumállapotnak, de ebben az állapotban megjelennek a kvantumozott szintű ingadozások, az úgynevezett vákuumfluktuációk – eszerint részecskék és terek bukkannak fel és tűnnek el.

A vákuumfluktuációkat úgy képzelhetjük el, mint együtt, egyidejűleg megjelenő részecskepárokat, amely részecskék eltávolodnak egymástól, majd megközelítik egymást és annihilálódnak. A Feynman-diagramokon ez a folyamat zárt huroknak felel meg. Az így megjelenő részecskéket virtuális részecskéknek nevezzük. Ellentétben a valóságos részecskékkel, a virtuális részecskéket nem lehet közvetlenül, részecskedetektorral megfigyelni. Vannak azonban közvetett hatásaik, mint például az elektronok pályáinak az energiájában fellépő apró változások, amelyek mérhetőek és figyelemre méltó pontossággal egyeznek az elmélet előrejelzéseivel. A probléma az, hogy a virtuális

részecskéknek van energiájuk, és minthogy a virtuális párokból végtelenül sok van, ezért összességében végtelenül nagy mennyiségű energiát képviselnének. Az általános relativitáselmélet szerint ez azt jelenti, hogy végtelenül kicsiny méretűre görbíténék meg a teret az Univerzumban, márpedig nyilvánvaló, hogy nem ez a helyzet!

Ezekkel a bajkeverő végtelenekkel kapcsolatban hasonló a helyzet ahhoz, amit az erős, a gyenge és az elektromágneses kölcsönhatás elméleteinél láttunk, azzal a különbséggel, hogy ott a renormálással sikerült eltüntetni a végteleneket. A gravitáció Feynman-diagramjában előforduló zárt hurkok azonban olyan végteleneket keltenek, amelyeket nem lehet renormálással eltüntetni, mert az általános relativitáselméletben nincs elegendő számú renormálható paraméter (mint amilyen az előző esetekben a tömeg és a töltés nagysága volt), amelyek segítségével az összes kvantummechanikai végtelent száműzni lehetne az elméletből. Olyan gravitációelméletünk marad tehát, amelynek előrejelzése szerint bizonyos mennyiségek, mint például a téridő görbülete, végtelenül nagyok, ami nem alkalmas egy lakható univerzum fenntartásához. Ez azt jelenti, hogy csak egyféleképpen juthatunk hozzá egy értelmes elmülethez, nevezetesen, ha valahogyan az összes végtelent sikerülne kiiktatni a renormálás igénybevétele nélkül.

A problémára 1976-ban sikerült egy lehetséges megoldást találni. Ez az úgynevezett szupergravitáció. Ebben az esetben a „szuper” előtagot nem azért illesztették hozzá a fizikusok, mert nagyszerűnek találták, hogy a kvantumgravitációnak ez az elmélete talán valóban működőképes lehet. A „szuper” jelző sokkal inkább az elméletben jelen lévő szimmetria típusára, az úgynevezett szuperszimmetriára utal.

A fizikában valamely rendszerre akkor jellemző valamilyen szimmetria, ha tulajdonságai nem változnak meg bizonyos transzformációk végrehajtása esetén, például ha a

rendszeret elforgatjuk a térben vagy a tükörképét vesszük. Ha egy (gyűrű alakú) fánkot megfordítunk, akkor pontosan ugyanúgy fog kinézni, mint annak előtte (kivéve, ha csokimáz volt a tetején, akkor azonban nem kell forgatni, hanem be kell kapni). A szuperszimmetria a szimmetria kifinomultabb fajtája, amely nem hozható kapcsolatba a közönséges térben végrehajtható transzformációkkal. A szuperszimmetria egyik fontos alkalmazása értelmében az erőket közvetítő részecskék és az anyagi részecskék, illetve ennél fogva az erők és az anyag valójában ugyanannak az éremnek a két oldalát jelentik. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy minden anyagi részecskének, például kvarknak, kell lennie egy partner részecskéjének, amelyik erőt közvetítő részecske, és minden erőt közvetítő részecskének, például a fotonnak, kell lennie egy anyagi részecske partnerének. Ezzel a feltevéssel megoldható a végtelenek problémája, mert kiderül, hogy az erőket közvetítő részecskék zárt hurkaiból eredő végtelenek pozitív járulékot adnak, míg az anyagi részecskékkel kapcsolatos zárt hurkok végtelenjeinek járuléka negatív, így a kölcsönhatásokat közvetítő és az anyagi részecskék végtelenjei az elméletben arra törekszenek, hogy megsemmisítsék egymást. Sajnos az arra vonatkozó számítások, hogy maradnak-e a szupergravitációban bármilyen kiegyenlítettlen végtelenek, olyan hosszadalmasak és bonyolultak, ráadásul olyan nagy a hibázás lehetősége, hogy eddig senki sem vállalkozott ezen számítások végrehajtására. A legtöbb fizikus mégis úgy gondolja, hogy valószínűleg a szupergravitáció lehet a helyes megoldás a gravitáció és a másik három kölcsönhatás egyesítésének problémájára.

Azt gondolhatnánk, hogy a szuperszimmetria helyességét egyszerű lenne ellenőrizni – ehhez mindössze meg kell vizsgálni a létező részecskék tulajdonságait, és el kell dönten, hogy párokat alkotnak-e. Eddig azonban még nem sikerült ilyen partnerrészecskéket megfigyelni. A fizikusok által

elvégzett különböző számítások azonban arra engednek következtetni, hogy az általunk megfigyelt részecskék partnerrészecskéinek legalább ezerszer akkora tömegűnek kell lenniük, mint egy proton, ha nem még nehezebbeknek. Ez túlságosan nagy tömeg ahhoz, hogy bármely eddig elvégzett kísérletben látni lehetett volna ilyen részecskéket, de a fizikusok reménykednek abban, hogy a Genf melletti Nagy Hadronütköztetőben (LHC, Large Hadron Collider) végül sikerül majd létrehozni ilyen részecskéket.

A szuperszimmetria elgondolása kulcsfontosságú volt a szupergravitáció megalkotása szempontjából, de a fogalom valójában már évekkel korábban felbukkant azoknak az elméleti fizikusoknak a körében, akik az akkor még csak szárnyait bontogató húrelméleten dolgoztak. A *húrelmélet* szerint a részecskék nem pontok, hanem olyan rezgési módusok, amelyeknek hosszuk van, magasságuk és szélességük viszont nincs – mintha végtelenül vékony húrdarabkák lennének. A húrelméletek is végtelenek felbukkanásához vezettek, de a fizikusok úgy gondolják, hogy az elmélet helyes változatában ezek mind ki fogják ejteni egymást. Ezeknek az elméleteknek van még egy szokatlan tulajdonságuk: csak akkor alkotnak következetes és összefüggő elméletet, ha a téridőnek a megszokott négy helyett tíz dimenziója van. A tíz dimenzió talán izgalmasan hangzik, de komoly problémákat okozhat, ha például elfelejtjük, hol parkoltuk le az autónkat. Ha jelen vannak, miért nem vesszük észre az extra dimenziókat? A húrelmélet szerint ezek egy nagyon kis kiterjedésű térré vannak felcsavarodva. A helyzet szemléltetéséhez képzeljünk el egy kétdimenziós síkot. A síkot azért nevezzük kétdimenziósnak, mert két számra (például a vízszintes és a függőleges koordinátára) van szükségünk ahhoz, hogy bármely pont helyét megadjuk. Másik kétdimenziós tér például egy szívószál felszíne. Ha ebben a térben akarjuk megadni egy pont helyét, akkor ugyancsak két koordinátára van

szükségünk, például tudnunk kell, hol van a pont a szívószál hossza mentén, a másik koordináta pedig megadhatja, hol helyezkedik el az ott a kerületre rajzolt körvonalon.



26. Szívószálak és vonalak – A szívószál kétdimenziós, de ha az átmérője elég kicsi – vagy elég messziről nézzük –, akkor egydimenziósnek tűnik, mintha egyszerű vonal lenne.

Ha azonban a szívószál nagyon vékony, akkor nagyon jó közelítéssel meghatározhatjuk a pont helyét úgy is, hogy csak az első koordinátát használjuk, vagyis csak a szál hossza mentén adjuk meg a helyét, a szál vastagságát pedig elhanyagoljuk. Ha pedig a szívószál átmérője csupán a milliméter milliomod-milliomod-milliomod-milliomod-milliomod része lenne, akkor a vastagságát egyáltalán nem is érzékelnénk. Ezt a képet alkották a húrelmélet hívei az extra dimenziókról is – azok nagyon erősen görbültek, vagy felcsavarodottak, mégpedig olyan kis léptékben, hogy nem is érzékeljük őket. A húrelméletben az extra dimenziók nem a mindennapokban észlelt háromdimenziós térben találhatók, hanem az úgynevezett belső térbe csavarodnak fel. Amint látni fogjuk, ezek a belső állapotok nem egyszerűen csak a szőnyeg alá söpört rejtett dimenziók – ezeknek egyébként is fontos szerepük van.

A dimenziók kérdése mellett a húrelméletnek volt még egy kényelmetlen tulajdonsága: úgy tűnt, hogy legalább öt különböző elmélet létezik, emellett az extra dimenziók sokmillióféleképpen csavarodhatnak fel, ami meglehetősen zavarba ejtő lehetőség azok számára, akik azt hangoztatták, hogy a húrelmélet az *egyetlen* lehetséges mindenségelmélet. Azután 1994 körül a fizikusok kezdték felfedezni a különféle dualitásokat – vagyis azt, hogy a különböző húrelméletek és az extra dimenziók különböző felcsavarodási módjai egyszerűen csak ugyanannak a jelenségnek a különböző leírásai négy dimenzióban. Sőt, azt is megállapították, hogy ilyen módon a szupergravitáció is kapcsolatban áll a többi elmélettel. A húrelmélet hívei ma meg vannak győződve arról, hogy az öt különböző húrelmélet és a szupergravitáció csupán különböző közelítései egy még alapvetőbb elméletnek, és mindegyikük különböző helyzetekben érvényes.

Ezt a még alapvetőbb elméletet M-elméletnek nevezik, amint korábban már említettük. Úgy tűnik, senki sem tudja, miért éppen „M”, ez a mester, a csoda, a rejtély vagy a membrán szavak angol megfelelője bármelyikének lehet a kezdőbetűje. Vagy éppen mind a háromból származik. (Az elnevezést annak „keresztapja”, Edward Witten sem indokolta.) A fizikusok még most is próbálkoznak az M-elmélet természetének megfejtésével, ez azonban talán nem is lehetséges. Előfordulhat, hogy tarthatatlannak bizonyul a fizikusok hagyományos várakozása, miszerint létezik a természet egyetlen elmélete, és valójában nem is létezik ez az egyetlen megfogalmazás. Előfordulhat, hogy az Univerzum leírásához különböző helyzetekben különböző elméleteket kell alkalmaznunk. Talán minden elméletnek megvan a maga változata a valóságra, de a modellfüggő realizmus szerint ez mindaddig elfogadható, ameddig az elméletek előrejelzései megegyeznek azokon a területeken, ahol az elméletek átfednek

egymást, vagyis ott, ahol kettő közülük egyforma joggal alkalmazható.

Nem tudjuk, hogy az M-elmélet végső soron egyetlen formulát jelent-e, vagy pedig csak a formulák valamilyen hálózatát, ennek ellenére ismerjük az M-elmélet néhány tulajdonságát. Először is, az M-elmélet nem tíz, hanem tizenegy térbeli dimenziót tartalmaz. A húrelmélet hívei már régóta gyanították, hogy a tíz dimenzióra vonatkozó előrejelzést esetleg ki kell igazítani, és az újabb kutatások valóban azt támasztották alá, hogy korábban egy dimenziót figyelmen kívül hagytak. Az M-elmélet nemcsak rezgő húrokat tartalmaz, hanem pontszerű részecskéket, kétdimenziós membránokat, háromdimenziós foltokat és egyéb objektumokat is, amelyeket még nehezebb ábrázolni, és amelyek a tér még több dimenzióját foglalják el, egészen kilenc dimenzióig. Ezeket az objektumokat nevezzük *p-bránoknak* (ahol p értéke nulla és kilenc között lehet).

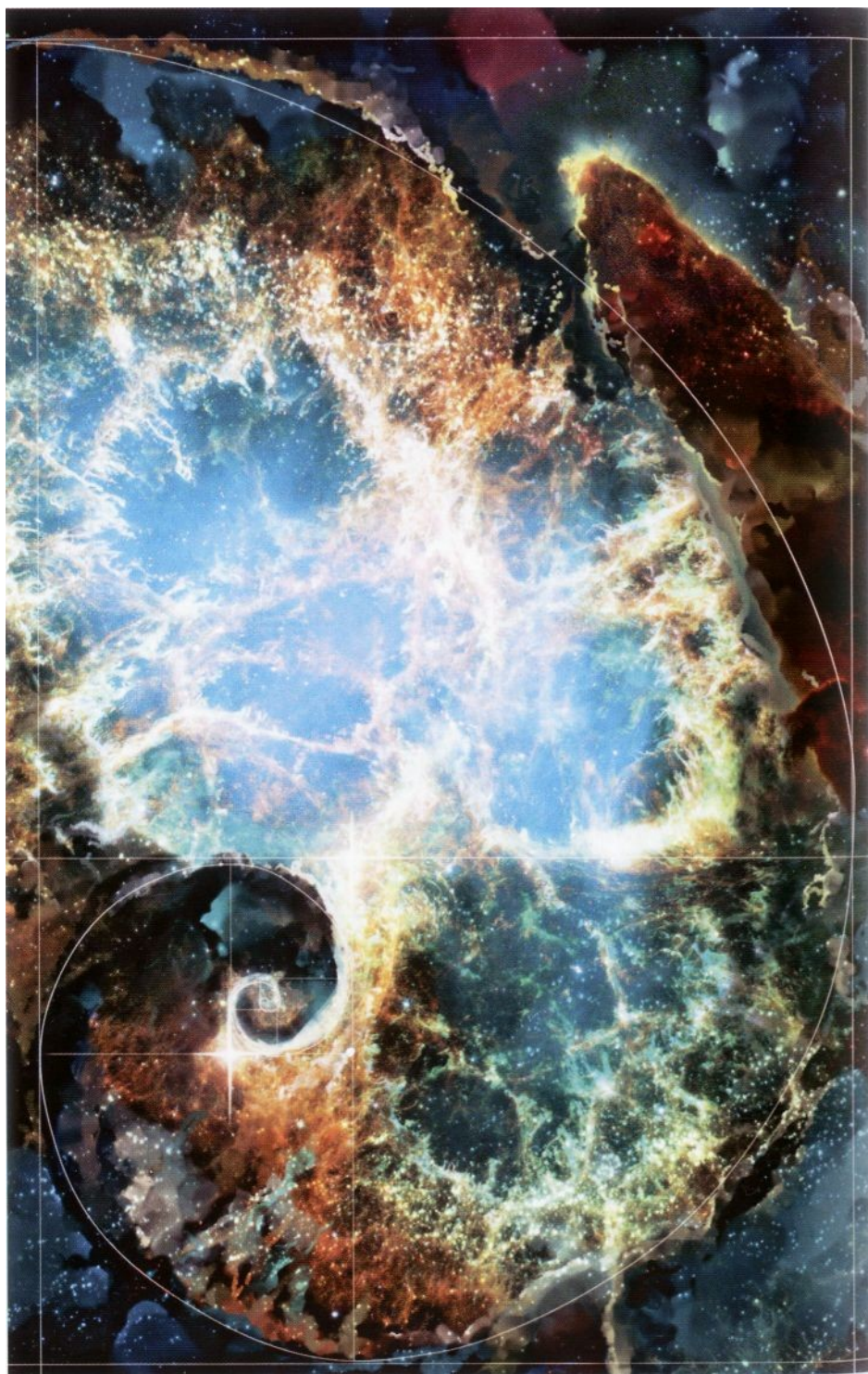
Mi a helyzet azzal a rengeteg móddal, ahogyan a parányi dimenziók felcsavarodhatnak? Az M-elméletben ezeknek az extra térbeli dimenzióknak egyáltalán nem kell összetekeredniük. Az elmélet matematikája korlátozza azt a módot, ahogyan a belső tér dimenziói meggörbülhetnek. A belső tér pontos alakja a fizikai állandók értékét, mint például az elektron töltését, valamint az elemi részecskék közötti kölcsönhatások természetét egyaránt meghatározza. Más szavakkal, meghatározza a természet szemmel látható (megfigyelhető) törvényeit. Azért nevezzük ezeket a törvényeket „szemmel láthatóaknak”, mert azokra a törvényekre gondolunk, amelyeket a mi Világegyetemünkben meg tudunk figyelni – a négy kölcsönhatást leíró törvényekre és az elemi részecskéket jellemző paraméterekre, például a tömegükre és a töltésükre. Az alapvetőbb törvények azonban az M-elmélet által leírt törvények.

Az M-elmélet törvényei ennek megfelelően *különböző univerzumokat* engednek meg, amelyekben különbözőek a

„szemmel látható” törvények, attól függően, hogyan csavarodott fel a belső tér. Az M-elmélet megoldásai számos különböző belső teret engednek meg, ezek száma talán 10^{500} is lehet, ami azt jelenti, hogy akár 10^{500} különböző univerzum is lehetséges, amelyek mindegyikében különböző törvények uralkodnak. Ha némi fogalmat akarunk alkotni magunknak arról, mekkora is ez a szám, gondoljunk a következőre. Ha valamilyen különleges lény minden ezred másodpercben megtudná vizsgálni egy újabb és újabb univerzumra jellemző törvényt, és a munkát az Ősrobbanásakor kezdte volna, akkor mostanáig még csak 10^{20} lehetséges univerzumot vizsgált volna át. Ráadásul úgy, hogy még csak kávészünetet sem tartott volna közben.

Évszázadokkal ezelőtt Newton megmutatta, hogy a matematikai egyenletek a testek kölcsönhatásának meglepően pontos leírását adják, mind a földi, mind az égi testekre vonatkozóan. A tudósok egyre inkább kezdték azt hinni, hogy az egész Világegyetem jövője kiszámítható, ehhez csak a megfelelő elméletre és elegendő számítási kapacitásra van szükség. Azután felismerték a kvantummechanikai határozatlanságot, a görbült teret, a kvarkokat, a húrokat és az extra dimenziókat, így munkájuk eredményeképpen a lehetséges univerzumok száma 10^{500} -ra nőtt, amelyek mindegyikében különböző törvények uralkodnak, és amelyek közül csak egyetlenegy felel meg annak a Világegyetemnek, amelyben mi élünk. A fizikusok eredetileg abban reménykedtek, hogy néhány egyszerű előfeltevés kizárólagosan lehetséges következményeképpen egyetlen elmélet magyarázatot ad a Világegyetemünk szemmel látható törvényeire, ettől az ábrándjuktól azonban mindörökre búcsút kell venniük. Hová jutunk ily módon? Ha az M-elmélet a szemmel látható (megfigyelhető) törvények 10^{500} különböző összességét engedi meg, akkor hogyan jutunk végül el eddig a Világegyetemig, amelyben éppen az általunk megfigyelt

törvények uralkodnak? És vajon mi a helyzet a többi lehetséges világgal?



6

KIVÁLASZTJUK A MI
VILÁGEGYETEMÜNKET

A

KÖZÉP-AFRIKAI BUSONGOK (BUSHONGOK) SZERINT kezdetben csak a sötétség, a víz és a nagy Bumba isten létezett. Egy napon, amikor Bumbának fájt a gyomra, kiokádta a Napot. Idővel a Nap felszárította a vizet, előtűnt a szárazföld. De Bumbának még mindig fájdalmai voltak, ezért újra hányt. Előkerült a Hold, a csillagok és néhány állat: a leopárd, a krokodil, a teknős és végül az ember. A Mexikóban és Közép-Amerikában élő maják egy hasonló, a teremtés előtti időszakról mesélnek, amikor a tengeren, az égen és az Alkotón kívül semmi más nem létezett. A maják legendája szerint az Alkotó boldogtalan volt, mert nem volt senki, aki dicsőítette volna őt, ezért megteremtette a földet, a hegyeket, a fákat és a legtöbb állatot. Az állatok azonban nem tudtak beszélni, ezért elhatározta, hogy megteremti az embert is. Először csak sárból és földből készített embereket, de azok csak értelmetlen dolgokat tudtak beszélni. Ezért eltűntette őket, és újra próbálkozott, ezúttal fából faragta ki az embert. Ezek az emberek azonban némák voltak. Elhatározta, hogy elpusztítja őket, de azok az erdőbe menekültek, útközben különböző megpróbáltatásokat szenvedtek el, amelyek hatására kissé megváltoztak, így jöttek létre azok a lények, amelyeket ma majmokként ismerünk. Az újabb kudarc után az Alkotó végül olyan receptet talált, amely működött: fehér és sárga kukoricából megalkotta az első embereket. Ma a kukoricából alkoholt tudunk készíteni, csak az Alkotónak sikerült azonban a kukoricából létrehozni az embert, aki ezt meg is issza.

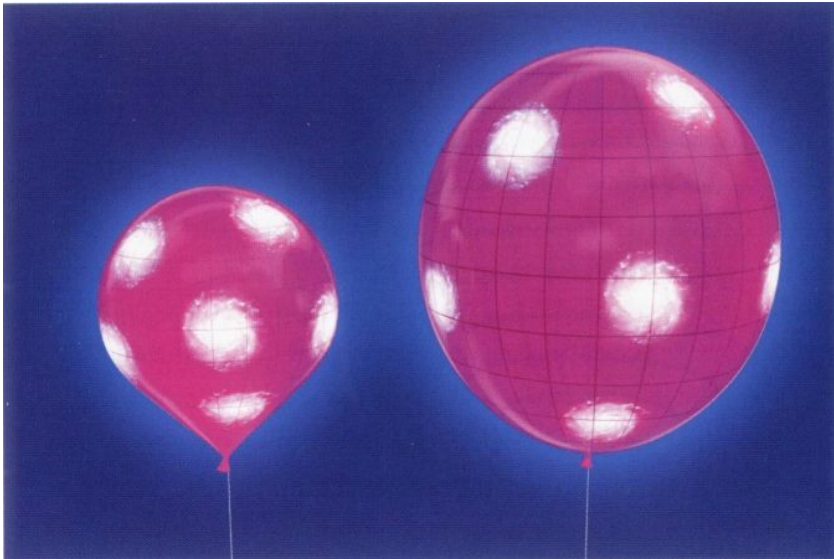
Az ilyen és ehhez hasonló teremtmésmítoszok pontosan ugyanazokra a kérdésekre keresik a választ, mint mi ebben a könyvben. Miért létezik az Univerzum és miért éppen olyan, amilyen? Képességünk, hogy ilyen kérdéseket tudunk megfogalmazni, az ókori görögök évszázadai óta egyre tökéletesedett, leginkább az elmúlt évszázadban. Az előző fejezetek tartalmával felfegyverkezve immár készen állunk arra, hogy felkínáljunk egy lehetséges választ ezekre a kérdésekre.

Az már a kezdet kezdetén nyilvánvalónak tűnt, hogy az egész Univerzum vagy nagyon fiatal, vagy pedig az emberiség csak a kozmikus történelem parányi töredéke óta létezik. Azért van ez így, mert az emberi faj tudományos és technikai ismeretei viharos sebességgel gyarapodnak, márpedig ha ez a folyamat évmilliók óta tartana, akkor az emberi faj mesterségbeli tudásának messze a mai szint előtt kellene járnia.

Az Ószövetség szerint Isten a teremtés hatodik napján alkotta meg Ádámot és Évát. Ussher püspök, aki 1625 és 1656 között egész Írország primása volt, sokkal pontosabban határozta meg a világ eredetét: szerinte a teremtés Kr. e. 4004. október 27-én délelőtt 9 órakor történt. Nekünk ettől eltérő a véleményünk: szerintünk az ember valóban csak a „közelmúlt” teremtménye, magának az Univerzumnak a története azonban 13,7 milliárd évvel ezelőtt kezdődött.

Az 1920-as években bukkant fel az első valódi tudományos érv amellett, hogy a Világegyetem történetének volt kezdete. Amint a 3. fejezetben láttuk, abban az időben a legtöbb tudós a statikus, öröktől fogva létező Univerzum híve volt. Az ezzel ellentétes bizonyítékok közvetettek voltak, és azokon a megfigyeléseken alapultak, amelyeket Edwin Hubble Kaliforniában, a Pasadena fölötti hegyekben, a Mount Wilson csúcson működő, 100 hüvelykes távcsővel végzett. A galaxisok által kibocsátott fény elemzéséből Hubble megállapította, hogy csaknem az összes galaxis távolodik

tőlünk, mégpedig minél messzebb vannak, annál nagyobb sebességgel. 1929-ben publikálta a távolodás üteme és a tőlünk mért távolság közötti kapcsolatot megadó törvényszerűséget. Ebből az összefüggésből arra a következtetésre jutott, hogy a Világegyetem tágul. Márpedig ha ez igaz, akkor a Világegyetemnek a múltban kisebbnek kellett lennie. Valójában, ha a folyamatot a nagyon távoli múltba extrapoláljuk, akkor az derül ki, hogy a Világegyetemet alkotó összes anyag és energia egy nagyon apró tartományba volt összezsúfolva, ahol ennek megfelelően elképzelhetetlenül magas volt a sűrűség és a hőmérséklet. Ha elég messzire megyünk vissza a múltba, akkor elérkezünk addig a pontig, ahol minden kezdetét vette – ezt az eseményt nevezzük ma Ősrobbanásnak. Az elgondolás, miszerint a Világegyetem tágul, nem olyan egyszerű, mint ahogy első pillanatban hangzik. Ha a Világegyetem tágulásáról beszélünk, akkor ezt nem úgy kell elképzelni, mint amikor valaki meg akarja nagyobbítani a házát, ezért kiüti az egyik falat, és egy új fürdőszobát helyez el ott, ahol eddig egy méltóságteljes tölgyfa állt. A tér nem önmagát *terjeszti ki*, hanem a Világegyetemen *belül* bármely két pont távolsága az, ami folyamatosan nő. Az elképzelés az 1930-as években merült fel, sok ellentmondás közepette, de a helyzet szemléltetésére mindmáig a legjobb hasonlat az, amelyet Arthur Eddington, a Cambridge Egyetem csillagásza 1931-ben tett közzé. Eddington egy felfújódó léggömb felületéhez hasonlította a Világegyetemet, amelynek felületén az egyes galaxisok egy-egy pöttynek felelnek meg. Ez a kép jól szemlélteti, miért távolodnak a távoli galaxisok gyorsabban, mint a közelebbiek. Ha például a léggömb sugara óránként a kétszeresére nő, akkor a léggömb felületére rajzolt bármely két galaxis távolsága is óránként megkétszereződik.



27. Léggömb-univerzum – A távoli galaxisok úgy távolodnak tőlünk, mintha az egész kozmosz egy óriási léggömb felületén helyezkedne el.

Ha egy adott pillanatban két galaxis 1 cm-re van egymástól, akkor egy óra múlva 2 cm-re lesznek egymástól, tehát úgy tűnik, mintha 1 cm/óra sebességgel mozognának egymáshoz képest. Ha viszont a kezdő pillanatban 2 cm a távolságuk, akkor egy órával később ez már 4 cm lesz, vagyis úgy tűnik, mintha 2 cm/óra sebességgel távolodnának egymástól. Pontosan ez az, amit Hubble felfedezett: minél távolabb van egy galaxis, annál gyorsabban távolodik tőlünk.

Fontos észrevennünk, hogy a tér tágulása nem befolyásolja a benne található anyagi objektumok, például galaxisok, csillagok, almák, atomok vagy más tárgyak méretét, amelyeket más típusú erők tartanak össze. Ha például körülkerítenénk a léggömbön egy galaxishalmazt, akkor a kör nem növekedne a léggömb tágulásával együtt. Minthogy a galaxisokat a gravitáció tartja össze, a kör és az azon belül található galaxisok a léggömb növekedése közben is

megtartják méretüket és konfigurációjukat. Ez azért fontos, mert a tágulást csak akkor tudjuk kimutatni, ha mérőeszközeink változatlan méretűek. Ha minden szabadon tágulna, akkor mi magunk, méterrúdjaink és laboratóriumaink is a Világegyetem tágulásával arányosan növekednének, így a tágulásból semmit sem vennénk észre.

A Világegyetem tágulása újdonság volt Einstein számára. Ám évekkel Hubble cikkének megjelenése előtt, éppen Einstein egyenletei alapján, elméleti alapon merült fel annak a lehetősége, hogy a galaxisok esetleg távolodhatnak egymástól. 1922-ben Alekszandr Fridman orosz fizikus és matematikus megvizsgálta, mi történne egy olyan modelluniverzumban, amelyet két, a matematikai leírást jelentősen egyszerűsítő feltevésből kiindulva alkot meg: ahol az univerzum minden irányban és bármely pontból nézve ugyanolyannak látszik. Tudjuk, hogy Fridman első feltevése nem pontosan igaz – a Világegyetem szerencsére nem mindenütt teljesen homogén! Ha az egyik irányban nézünk fel az égre, akkor a Napot látjuk, másfelé a Holdat vagy éppen vándorló vámpír-denevérek csapatát. Ha azonban ennél sokkal nagyobb léptékben nézzük, akkor a Világegyetem minden irányban tényleg nagyjából ugyanolyannak látszik – de ehhez a választott léptékünknek meg kell haladnia a galaxisok közötti távolságot. Olyan ez, mintha egy erdőt szemlélnénk. Ha elég közel vagyunk, akkor megkülönböztethetjük az egyes leveleket, vagy legalábbis a fákat, és látjuk a közöttük lévő távolságot. Ha viszont elég magasra emelkedünk ahhoz, hogy kinyújtott kezünk hüvelykujjával egy négyzetkilométer erdőt el tudunk takarni, akkor onnan az erdő összefüggő, homogén zöld felületnek látszik. Azt mondhatjuk, hogy ilyen lépték mellett az erdő homogén.

Saját feltevéseiből kiindulva Fridman felfedezte Einstein egyenleteinek egy olyan megoldását, amely szerint az Univerzum pontosan úgy tágult, ahogyan azt néhány évvel

később Hubble felfedezte. Nevezetesen, a Fridman-féle modelluniverzum nulla kiterjedésüként kezdődik, majd addig tágul, amíg a gravitációs vonzás le nem fékezi a kiterjedését, majd végül a gravitáció hatására az univerzum önmagába roskad. (Kiderült az is, hogy az Einstein-egyenleteknek van két, további típusú megoldása is, amelyek ugyancsak kielégítik a Fridman-modell előfeltevéseit. Az egyik olyan univerzumnak felel meg, amelyikben a tágulás a végtelenségig folytatódik, bár üteme kissé lassul. A másik egy olyan univerzum, amelyikben a tágulás üteme egyre jobban megközelíti a nullát, de azt soha nem éri el.) Fridman műve megalkotása után néhány évvel meghalt, így felismeréséről egészen Hubble felfedezéséig szinte senki sem hallott. 1927-ben azonban egy Georges Lemaître nevű fizikus és római katolikus pap hasonló elképzelést vetett fel: ha időben visszafelé követjük az Univerzum történetét, akkor az egyre kisebbé és kisebbé válik, míg végül elérkezünk a teremtés pillanatáig – ez az, amit ma Ősrobbanásnak nevezünk.

Nem mindenki szimpatizált azonban az Ősrobbanás képével. Valójában az Ősrobbanás kifejezés angol eredetijét, a „big bang”-et („nagy bum”) 1949-ben alkotta meg Fred Hoyle cambridge-i asztrofizikus, aki a gúnyosnak szánt megnevezéssel az egész elképzelést akarta nevetség tárgyává tenni. Az elgondolást alátámasztó első közvetlen megfigyelésekre egészen 1965-ig kellett várni, ugyanis akkor fedezték fel, hogy az egész teret gyenge mikrohullámú háttérsugárzás tölti ki. Ezt a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzást pontosan ugyanolyan mikrohullámok alkotják, mint amilyeneket a konyhai mikrohullámú sütőben használunk, csak éppen az előbbieket teljesítménye sokkal kisebb. A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzást bárki otthon is megfigyelheti, elég, ha a tévékészülékünket egy olyan csatornára hangoljuk, amelyiken nincs adás – a képernyőn látható „havazás” néhány százalékát a háttérsugárzás okozza. A sugárzást a Bell Laboratóriumok két

kutatója véletlenül fedezte fel, amikor megpróbálták mikrohullámú antennájuk háttérzaját csökkenteni. Először azt gondolták, hogy a zörejeket a berendezésben éjszakára meghúzódo galambok ürüléke okozza, azonban hamarosan kiderült, hogy a jelenség eredete sokkal izgalmasabb – a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás a korai univerzum nagyon forró és sűrű, nem sokkal az Ősrobbanás utáni állapotának a maradványa. Ahogy a Világegyetem tágult, úgy hűlt a sugárzás, míg végül elérte a ma megfigyelhető halvány maradványsugárzás állapotát. Jelenleg a kozmikus mikrohullámok hőmérséklete csak körülbelül -270 Celsius-fok.

A csillagászok további nyomokra is bukkantak, amelyek az Ősrobbanás-képet, vagyis a forró és kicsiny korai Univerzumot támasztják alá. Története első körülbelül egy percében például a Világegyetemnek forróbbnak kellett volna lennie, mint egy átlagos csillag belsejének a hőmérséklete. Abban az időben az egész Világegyetemnek egyetlen, óriási fúziós reaktorként kellett volna működnie. A magreakciók akkor szűntek volna meg, amikor tágulása következtében a Világegyetem kellőképpen lehűlt. Az elméleti számítások szerint ekkor olyan Világegyetemnek kellett volna visszamaradnia, amelyik főként hidrogénből állt, de emellett 23% héliumot is tartalmazott, valamint nyomokban lítiumot (az összes többi, nehezebb elem később, a csillagok belsejében keletkezett). A számítások eredménye jó összhangban van a hidrogén, a hélium és a lítium Világegyetemben megfigyelt mennyiségével.

A hélium gyakoriságára és a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzásra vonatkozó mérések meggyőző bizonyítékot szolgáltatottak a nagyon korai Világegyetem Ősrobbanással leírt képe mellett. Bár az Ősrobbanás-képre a korai történet hiteles leírásaként tekinthetünk, mégis helytelen lenne az Ősrobbanást szó szerint értelmezni, mintha Einstein elmélete a Világegyetem *eredetét* megfelelően írná le. A leírás azért

vonatkozásait is figyelembe veszik. Minthogy nem ismerjük a gravitáció teljes kvantumelméletét, ezért a részleteken még mindig dolgoznak a fizikusok, és azt sem tudják egészen pontosan, hogyan is történhetett a felfűvódás. Az elmélet szerint a felfűvódás által okozott tágulás nem volt *teljesen* homogén, mint ahogyan azt a hagyományos Ősrobbanás-kép megjósolta. A fellépő irregularitások parányi ingadozásokat okoztak a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás különböző irányokban mért hőmérsékletében. Ezek az egyenetlenségek túlságosan kicsik ahhoz, hogy az 1960-as években ki lehetett volna őket mutatni, azokat csak 1992-ben fedezte fel a NASA COBE mesterséges holdja, majd utóda, a 2001-ben indított WMAP részletes méréseket végzett. Ezek eredményeképpen ma már teljesen bizonyosak vagyunk abban, hogy a felfűvódás valóban megtörtént.

Furcsa módon, bár a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás parányi ingadozásai fontos bizonyítékot jelentenek a felfűvódás mellett, mégis éppen a háttérsugárzás hőmérsékletének csaknem tökéletesen homogén volta az egyik ok, amely fontossá teszi a felfűvódás fogalmát. Ha egy objektumnak valamely részét felmelegítjük a környezetéhez képest, majd várunk, akkor a forró folt fokozatosan kihűl, környezete pedig felmelegszi, míg végül az egész test azonos hőmérsékletűvé válik. Hasonlóképpen, arra számíthatunk, hogy végül az Univerzum is mindenütt azonos hőmérsékletű lesz. Ez a folyamat azonban időbe telik, és ha a felfűvódás nem következett volna be, akkor nem lett volna elég idő a Világegyetem történetében ahhoz, hogy az egymástól távol eső területek között végbemenjen a hőmérséklet kiegyenlítődése, feltételezve, hogy a hő nem terjedhet a fénysebességnél gyorsabban. Egy nagyon gyors (a fénysebességnél sokkal gyorsabb) tágulás azonban orvosolja ezt a problémát, mert a korai Univerzum felfűvódás előtti korszakában, a Világegyetem nagyon parányi állapotában

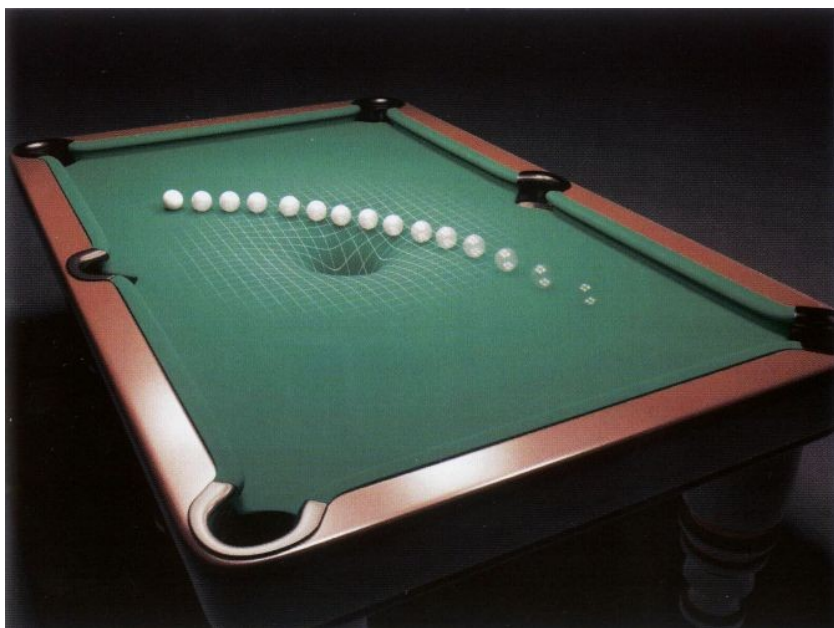
elegendő idő állt volna rendelkezésre ahhoz, hogy a kiegyenlítődés megtörténjék.

A felfúvódás magyarázatot ad az Ősrobbanás robbanás részére, legalábbis abban az értelemben, hogy az általa a felfúvódás időszakában képviselt tágulás sokkal szélsőségesebb tempójú, mint az általános relativitáselmélet hagyományos Ősrobbanás-elmélete által megjósolt tágulás. A problémát az okozza, hogy a felfúvódás elméleti modelljének működéséhez a Világegyetem kezdeti állapotát nagyon speciális és rendkívül valószínűtlen módon kell beállítani. Így tehát a felfúvódás hagyományos elmélete megold egy csokorra való problémát, ugyanakkor egy sor újabbat is felvet – nevezetesen a speciális kezdeti állapot igényét. A nulla időpontnak ezt a problémáját sikerült kiiktatni a Világegyetem születésének abban az elméletében, amelyet a következőkben ismertetünk.

Minthogy a teremtdést nem tudjuk Einstein általános relativitáselmélete segítségével leírni, ezért a Világegyetem eredetének leírásához az általános relativitáselméletet egy átfogóbb elmélettel kell helyettesíteni. Úgy gondolhatjuk, hogy akkor is szükség van egy teljesebb elméletre, ha az általános relativitáselmélet még nem veszíti érvényét, mert az általános relativitáselmélet nem veszi figyelembe az anyag kis léptékű, a kvantumelmélet által irányított szerkezetét. A 4. fejezetben már említettük, hogy a legtöbb gyakorlati feladat esetében a kvantumelméletnek nincs sok köze a Világegyetem nagy léptékű szerkezetének kutatásához, mert a kvantumelmélet a természet mikroszkopikus léptékű leírására szolgál. Ha azonban elég messzire megyünk vissza az időben, akkor elérkezhetünk az olyan távoli múltba, amikor a Világegyetem csupán Planck-méretű volt, vagyis kiterjedése a centiméter billiomod része billiomod részének a milliárdod részét érte csak el. Márpedig ebben a mérettartományban semmiképpen sem hagyható figyelmen kívül a kvantumelmélet. Bár egyelőre még nem áll rendelkezésünkre a gravitáció teljes

kvantumelmélete, azt azért tudjuk, hogy a Világegyetem keletkezése kvantumfizikai esemény volt. Következésképpen, ha még messzebb akarunk visszamenni az időben a Világegyetem kezdetének a megértése érdekében, akkor ugyanúgy egyesíteni kell az általános relativitáselméletre és a kvantumelméletre vonatkozó ismereteinket, mint ahogyan ezt – legalább ideiglenesen – akkor megtettük, amikor le akartuk vezetni a felfűvódás elméletét.

Ha látni akarjuk, hogyan működik ez, akkor meg kell értenünk azt az alapelvet, amely szerint a gravitáció torzítja a teret és az időt. A tér torzulását könnyebb szemléltetni, mint az időét. Képzeljük el, hogy az univerzum egy sík biliárdasztal felülete. Az asztal felülete sík tér, legalábbis két dimenzióban. Ha meglökönk egy golyót az asztalon, az egyenes vonal mentén gurul. Ha azonban az asztal felülete valahol felgyűrődik vagy behorpad, akkor a golyó pályája elgörbül.

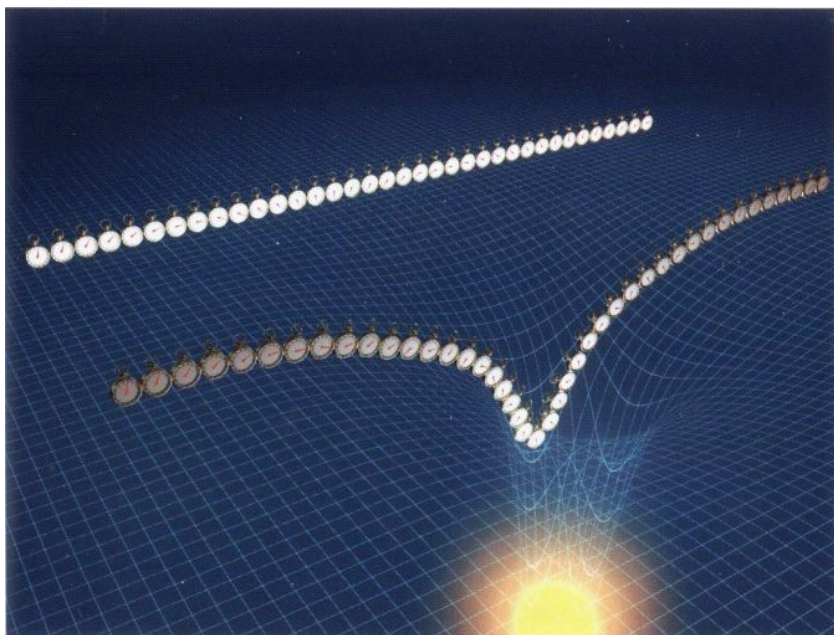


28. A tér gyűrődései – Az anyag és az energia meggörbíti a teret, ami a testek pályájának megváltozását eredményezi.

Példánkban könnyű észrevenni a biliárdasztal görbültségét, mert a görbület egy olyan (a harmadik) dimenzióban lép fel, amelyet látunk. Minthogy a saját téridőnkben nem tudunk kilépni és onnan szemlélni a görbületét, ezért nehezebb elképzelni a téridő görbültségét a Világegyetemünkben. A görbület azonban akkor is érzékelhető, ha nem tudunk kilépni és egy tágabb (beágyazó) tér távlatából szemlélni a négydimenziós téridőnket. A görbület magán a téren belül is kimutatható. Képzeljünk el egy mikrohangyát az iménti biliárdasztal felületén. Bár a hangya nem képes elhagyni az asztal felületét, a távolságok gondos feltérképezésével mégis ki tudja mutatni a görbületet. A síkon például egy kör kerülete mindig valamivel több mint háromszor olyan hosszú, mint a kör átmérője (a pontos arányszám π). Ha viszont a hangya a biliárdasztalon olyan kört jelöl ki, amelyik körülfogja a mélyedést, akkor azt állapíthatja meg, hogy a kör átmérője nagyobb a vártnál, vagyis nagyobb a kör kerületének harmadánál.

Valójában, ha a gödör elég mély, akkor a hangya azt állapíthatja meg, hogy a kör kerülete kisebb az átmérőjénél. Ugyanez igaz a Világegyetemünk görbületére is – a görbület a tér két pontja közötti távolságot megnyújtja vagy összenyomja, vagyis megváltoztatja a geometriát, azaz a tér alakját, méghozzá oly módon, hogy az a Világegyetemen belül is mérhetővé válik. Az idő görbülete ehhez hasonló módon megnyújtja vagy lerövidíti az időtartamokat.

Ezen elgondolások birtokában térjünk vissza a Világegyetem kezdetének a problémájához! Ha kicsiny sebességekről és gyenge gravitációról van szó, akkor külön-külön beszélhetünk a térről és az időről, amint azt korábban is tettük. Általánosságban azonban az idő és a tér egymásba fonódik, ezért megnyúlásuk és összenyomódásuk ugyancsak bizonyos mértékű keveredést tartalmaz.



29. A téridő gyűrődései – Az anyag és az energia az időt is torzítja, aminek következtében az idődimenzió „összekeveredik” a térdimenziókkal.

Ez a keveredés nagyon fontos volt a Világegyetem korai szakaszában és kulcsfontosságú az idő kezdetének megértése szempontjából.

Az idő kezdetének kérdése kicsit a világ peremének problémájához hasonló. Amikor az emberek úgy hitték, hogy a Föld sík, akkor azt gondolhatták, hogy el lehet utazni odáig, ahol a tenger vize lefolyik a peremén. Az elgondolást kísérleti úton ellenőrizni lehet. Körül lehet hajózni a Földet, mégsem esünk le sehol. A „mi történik a Föld peremén?” problémája megoldódott azáltal, hogy rájöttek, a Föld nem sík lap, hanem görbült felület. Az idő azonban olyannak látszott, mint a modellvasút pályája. Ha az időnek volt kezdete, akkor léteznie kellett valakinek (azaz Istennek), aki elindította a vonatokat. Bár Einstein általános relativitáselmélete téridővé

egyesítette a teret és az időt, létrehozva a tér és az idő bizonyos mértékű keveredését, az idő továbbra is különbözött a tértől, mert vagy van kezdete és vége, vagy pedig örökké folyik. Ha azonban beépítjük a kvantumelméleti hatásokat a relativitáselméletbe, akkor szélsőséges esetekben a görbület olyan méreteket ölthet, hogy az idő a tér egy újabb dimenziójaként viselkedik.

A korai Világegyetemben – amikor az Univerzum még elegendően kicsi volt ahhoz, hogy az általános relativitáselmélet és a kvantumelmélet törvényeinek egyaránt engedelmeskedjék – lényegében négy térbeli dimenzió létezett, idődimenzió viszont egyáltalán nem volt. Ez azt jelenti, hogy amikor a Világegyetem „kezdetéről” beszélünk, akkor azt a bonyolult kérdést érintjük, hogy amikor visszanézünk az időben a Világegyetem nagyon korai állapotáig, akkor az idő az általunk ismert formájában még nem létezik! El kell fogadnunk, hogy a térről és az időről alkotott szokásos képünk nem alkalmazható a nagyon korai Világegyetemre. Ez túl van minden tapasztalatunkon, de a képzelőerőnk és a matematikánk számára elérhető. Ha a korai Világegyetemben mind a négy dimenzió térszerűként viselkedik, akkor mi történik az idő kezdetén?

A felismerés, miszerint az idő úgy viselkedhet, mint a tér egy további iránya, azt jelenti, hogy ugyanúgy szabadulhatunk meg az idő kezdetének a problémájától, mint ahogy a Föld peremétől. Tételezzük fel, hogy a Világegyetem kezdete ugyanolyan volt, mint a Déli-sark a Földön, ahol a szélességi körök játsszák az idő szerepét. Ahogy haladunk észak felé, úgy lesznek egyre nagyobbak az állandó földrajzi szélességnek megfelelő körök, illetve hasonlatunkban ennek megfelelően távol a Világegyetem. A Világegyetem története a Déli-sarknak megfelelő egyetlen pontban kezdődik, ennek ellenére a Déli-sark ugyanolyan pontja a földfelszínnek, mint bármely másik. Ezáltal értelmetlenné válik az a kérdés, hogy mi történt a Világegyetem kezdete előtt, hiszen a Földön

semmi sincs a Déli-sarktól délre. E kép értelmében a téridőnek nincs határa – ugyanazok a természeti törvények érvényesek a Déli-sarkon is, mint bárhol másutt. Hasonlóképpen, amikor kombináljuk az általános relativitáselméletet a kvantumelmélettel, akkor értelmetlenné válik a kérdés, hogy mi történt a Világegyetem kezdete előtt. Azt az elképzelést, mely szerint a történelmeknek határ nélküli, zárt felületeknek kell lenniük, *határ nélküli feltételnek* nevezzük.

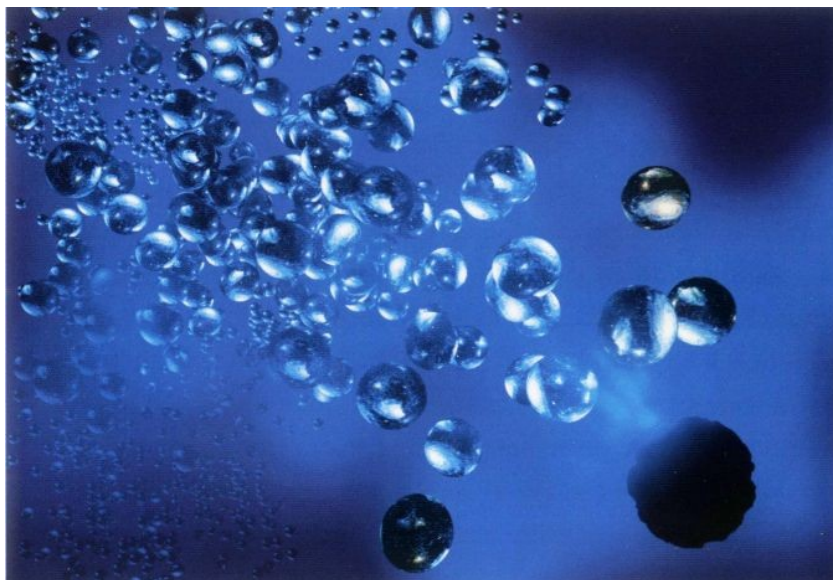
Az elmúlt évszázadokban sokan, köztük Arisztotelész is, azt hitték, hogy a Világegyetemnek öröktől fogva léteznie kellett, és így elkerülhetjük a „hogyan keletkezett” kérdését. Mások viszont úgy gondolták, hogy a Világegyetemnek volt kezdete, és ezt Isten létezése mellett szóló érvként használták. Az a felismerés, melynek értelmében az idő térként viselkedhet, új alternatívát jelent. Ezzel értelmetlenné válik az ősrégi ellenkezés a Világegyetem kezdetével szemben, de ez egyúttal azt is jelenti, hogy a Világegyetem kezdetét a természet törvényei irányították, a Világegyetem mozgásba hozásához nincs szükség semmiféle Isten közbeavatkozására.

Ha a Világegyetem eredete kvantumos esemény volt, akkor azt a Feynman-féle történelmek összegzésének pontosan le kell írnia. A kvantumelmélet alkalmazása a Világegyetem egészére – ahol a megfigyelők részei a megfigyelt rendszernek – azonban nem egyszerű dolog. A 4. fejezetben láttuk, hogy ha két résen keresztül anyagi részecskéket lövünk egy ernyő felé, akkor a részecskék az ernyőn pontosan olyan interferenciaképet hoznak létre, mint amilyent a vízhullámoknál figyelhetünk meg. Feynman megmutatta, hogy ez azért történik meg, mert a részecskéknek nincs egyedi történelmük. Vagyis amikor a részecske az A kezdőponttól a B végpontig mozog, akkor nem egy meghatározott pályát jár be, hanem egyidejűleg a két pontot összekötő összes pályát. Ilyen szempontból az interferencia fellépése egyáltalán nem meglepő, mert például a részecske

átmehet egyszerre mindkét résen, és ezáltal önmagával interferálhat. A részecske mozgására alkalmazva, Feynman módszere azt állítja, hogy bármely meghatározott végponthoz tartozó valószínűség kiszámításához az összes lehetséges történelmet figyelembe kell vennünk, amelyet a részecske a kiindulópontja és a végpontja között követhet. Feynman módszereivel kiszámíthatjuk a Világegyetemre vonatkozó észleléseink kvantumos valószínűségét. Ha ezeket a módszereket a Világegyetem egészére alkalmazzuk, akkor nem létezik A pont, ezért az összes olyan, a határ nélküli feltételt kielégítő történelmet összegeznünk kell, amelyek végállapota az általunk ma megfigyelt Világegyetem.

E kép értelmében az Univerzum spontán módon jelent meg, és minden lehetséges módon vette kezdetét. Ezen lehetséges útvonalak legtöbbje más univerzumoknak felel meg. Miközben ezen univerzumok közül némelyek hasonlóak a miénkhez, legtöbbjük nagyon más. Nemcsak olyan apró részletkérdésekben különböznek, hogy mondjuk Elvis azokban is fiatalon halt-e meg és a káposztafélék ott is finom csemegének számítanak-e, hanem maguk a szemmel látható természeti törvények is mások. Valójában nagyon sok univerzum létezik, a fizikai törvények sok különböző csoportjával. Egyesek nagy feneket kerítenek ennek a misztifikált ügynek, és néha a multiverzum fogalmáról beszélnek, de tulajdonképpen ezek csak a történelmek Feynman-féle összegzésének különböző kifejeződései.

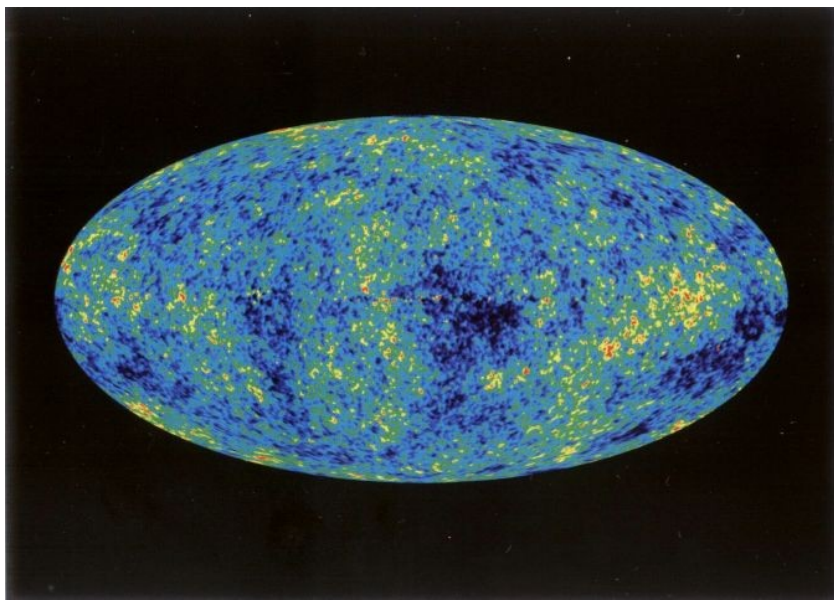
Ha ezt el akarjuk képzelni, akkor módosítsuk kissé Eddington léggömb hasonlatát, és képzeljük a táguló Univerzumot egy buborék felszínének. Az Univerzum spontán módon lezajló, kvantumos keletkezését ebben az esetben a forrásban lévő vízben a gőzbuborékok keletkezéséhez hasonlíthatjuk. Sok apró buborék jelenik meg, amelyek azután általában eltűnnek. Ezek olyan miniuniverzumoknak felelnek meg, amelyek elkezdenek tágulni, de még mikroszkopikus állapotukban összeomlanak.



30. Multiverzum – A kvantumfluktuációk következtében parányi univerzumok bukkannak elő a semmiből. Ezek közül néhány elér egy kritikus méretet, majd felfúvódásszerű tágulásba kezd. Ezután galaxisok és csillagok, legvégül pedig hozzánk hasonló lények jöhetnek létre bennük.

Ezek lehetséges alternatív univerzumoknak felelnek meg, amelyek azonban nem különösebben érdekesek a számunkra, hiszen nem maradnak fenn elég hosszú ideig ahhoz, hogy bennük csillagok és galaxisok alakulhassanak ki, nem is beszélve az intelligens életről. A kis buborékok közül néhány azonban elegendően nagyra nő ahhoz, hogy elkerülhesse az összeomlást. Ezek egyre gyorsuló ütemben tovább tágulnak, és szabad szemmel látható méretű gőzbuborékokat alkotnak. Ezek a buborékok olyan univerzumoknak felelnek meg, amelyekben megindul az egyre gyorsuló ütemű tágulás – vagyis más szavakkal kifejezve, ezek a felfúvódás állapotában lévő univerzumok.

Amint említettük, a felfúvódás okozta tágulás nem teljesen homogén. A történelmek összegzésekor csak egyetlenegy tökéletesen homogén és szabályos történelem létezik, és ennek a legnagyobb a valószínűsége. Emellett azonban sok olyan történelem létezik, amelyek csak enyhén irregulárisak, és ennek megfelelően valószínűségük is csaknem ugyanakkora, mint a tökéletes változaté. Ezért állítja azt a felfúvódó elmélet, hogy a korai Univerzum valószínűleg enyhén inhomogén, amely inhomogenitások azoknak a kicsiny hőmérséklet-ingadozásoknak felelnek meg, amelyeket a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzásban sikerült megfigyelnünk.



31. Mikrohullámú háttérsugárzás – Az égboltnak ezt a képét a WMAP műhold hét éven keresztül gyűjtött adatai alapján 2010-ben készítették. A különböző színek formájában előtűnnek rajta a hőmérséklet 13,7 milliárd évvel ezelőtti fluktuációi. Az ábrázolt fluktuációk egy ezred Celsius-foknál kisebb hőmérséklet-különbségeknek felelnek meg. Mindamellet, ezek az apró ingadozások voltak azok a csírák, amelyek idővel galaxisokká nőttek. *Forrás:* NASA/WMAP Science Team.

A korai Univerzum irregularitásai nagy szerencsét jelentenek a számunkra. Miért? A homogenitás előnyös, ha nem akarjuk a tejszínt különválasztani a tejtől, egy homogén univerzum azonban kifejezetten unalmas hely lenne. A korai Univerzum irregularitásai azért fontosak, mert ha egyes tartományokban valamivel nagyobb a sűrűség, mint másutt, akkor a nagyobb sűrűségű anyag erősebb gravitációja abban a tartományban a környezetéhez képest lelassítja a tágulást. A gravitáció lassan együvé kezdi vonzani az anyagot, ami végső soron galaxisok és csillagok összetömörülését eredményezi, ami azután elvezethet a bolygók, és legalább egyetlen esetben az emberek kifejlődéséig. Vegyük tehát nagyon alaposan szemügyre a mikrohullámú égboltot! Ez a Világegyetem szerkezetének a tervrajza. Mi magunk is a nagyon korai Univerzum kvantumfluktuációinak a szüleményei vagyunk. Aki vallásos, az – Einsteinnel ellentétben – nyugodtan fogalmazhat úgy is, hogy Isten mégiscsak kockajátékos.

Ez az elképzelés a Világegyetem olyan képéhez vezet, amelyik alapvetően különbözik a hagyományos felfogástól, ennek megfelelően át kell alakítanunk magunkban, amit az Univerzum történetéről gondolunk. Ha a kozmológiában előrejelzéseket akarunk tenni, akkor ki kell számítanunk az egész Világegyetem jelenbeli különböző állapotainak a valószínűségét. A fizikában általában egy rendszer kezdeti állapotát feltételezve, a megfelelő matematikai egyenletek alkalmazásával megnézzük, miként fejlődik a rendszer. Adottnak tekintve a rendszer állapotát egy bizonyos időpontban, megpróbálhatjuk kiszámítani annak a valószínűségét, hogy a rendszer egy későbbi időpontban valamilyen eltérő állapotban lesz. A kozmológiában az a szokásos feltevés, hogy a Világegyetemnek egyetlen, meghatározott történelme volt. A fizika törvényeit felhasználva kiszámíthatjuk, miként alakul ez a történelem az idő múlásával. Ezt a kozmológia „*alulról felfelé*” (vagyis a

múlttól a jelen felé haladó) *megközelítésének* nevezzük. Ám, minthogy figyelembe kell vennünk az Univerzum kvantumos természetét, amint az a történelmek Feynman-féle összegzésében kifejeződik, annak a valószínűségi amplitúdója, hogy az Univerzum most egy adott állapotban van, úgy kapható meg, ha mindazon történelmek hozzájárulását összegezzük, amely történelmek kielégítik a határ nélküli feltételt, és a kérdéses végállapotot eredményezik. Más szavakkal, a kozmológiában nem követhetjük az elejétől a vége (a múlttól a jelen) felé („alulról felfelé”) az Univerzum történetét, mert ezáltal egyetlen történelmet tételeznénk fel, pontosan meghatározott kezdőponttal és fejlődési útvonallal. Ehelyett hátulról előre, azaz a jelenből a múlt felé haladva kell követnünk a történelmeket. Egyes történelmek valószínűbbnek bizonyulnak másoknál, és az összegben általában egyetlen történelem fog dominálni, amelyik az Univerzum teremtődésével kezdődik, és a vizsgált állapotban éri el fejlődése csúcspontját. Emellett előfordulnak azonban más történelmek is, amelyek az Univerzumnak az előzőtől eltérő, jelenlegi állapotát eredményezik. Ez a kozmológia, illetve az ok és okozat viszonyának a korábbtól gyökeresen eltérő szemléletéhez vezet. A Feynman-féle összeghez hozzájáruló történelmeknek nincs önálló létezésük, ezek csak attól függnek, mit mérünk. Megfigyelésünkkel mi magunk hozzuk létre a történelmet, nem pedig a történelem hoz létre bennünket.

Úgy tűnhet, mintha az a felfogás, mely szerint az Univerzumnak nincs egyetlen, a megfigyelőtől független történelme, ellentmondásban állna bizonyos, általunk ismert tényekkel. Létezhetne például egy olyan történelem, amelyikben sajtból van a Hold. Megfigyeltük azonban, hogy a Hold nem sajtból van – az egerek legnagyobb bánatára. Ennélfogva azok a történelmek, amelyekben a Hold sajtból van, nem járulnak hozzá a Világegyetemünk jelenlegi

állapotához, bár lehetnek olyan állapotok, amelyekhez igen. Ez talán sci-finek hangzik, de nem az.

A felülről lefelé megközelítés fontos következménye, hogy a természet megfigyelhető törvényei az Univerzum történelmétől függnék. Sok tudós úgy gondolja, hogy létezik egyetlen elmélet, amelyik ezekre a törvényekre éppúgy magyarázatot ad, mint a természet fizikai állandóira, például az elektron tömegére vagy a téridő dimenzióinak a számára. A kozmológia felülről lefelé történő megközelítése azonban azt állítja, hogy a természetnek ezek a megfigyelhető törvényei különbözőek a különböző történelmek esetén.

Tekintsük például a Világegyetem látható kiterjedését. Az M-elmélet szerint a téridőnek tíz térbeli és egy időbeli dimenziója van. Az elgondolás szerint a térbeli dimenziók közül hét olyan szorosan felcsavarodik, hogy észre sem vesszük őket, ami azt az illúziót kelti bennünk, mintha minden ami létezne, az általunk jól ismert három dimenzióban létezne. Az M-elmélet egyik legfontosabb nyitott kérdése a következő: miért nincs a mi Világegyetemünkben több nagy kiterjedésű dimenzió, és egyáltalán, miért vannak felcsavarodott dimenziók?

Sokan szeretnék azt hinni, hogy létezik valamilyen mechanizmus, amelynek hatására a térbeli dimenziók három kivételével spontán módon felcsavarodnak. Egy másik lehetőség az, hogy talán az összes dimenzió kicsiként kezdődött, de valamilyen érthetetlen ok miatt három térbeli dimenzió kitágult, a többi viszont nem. Úgy tűnik azonban, hogy nincs semmiféle dinamikai oka annak, hogy a Világegyetem négydimenziósnak látszódjék. Ezzel szemben a kozmológia felülről lefelé megközelítésmódja szerint a nagy térbeli dimenziók számát semmilyen fizikai elv nem rögzíti. Nullától tízig minden számhoz hozzárendelhetjük annak a kvantummechanikai valószínűségi amplitúdóját, hogy éppen annyi a nagy térbeli dimenziók száma. A Feynman-féle összegzés mindezt megengedi, vagyis az Univerzum összes

lehetséges történelmét, de az a megfigyelés, amely szerint a mi Világegyetemünkben három nagy térbeli dimenzió van, kitünteti a történelmek azon részcsoportját, amelyek éppen a megfigyelt tulajdonságot mutatják. Más szavakkal, lényegtelen annak a kvantummechanikai valószínűsége, hogy a Világegyetemnek háromnál kevesebb vagy több nagy térbeli dimenziója van, hiszen már megállapítottuk, hogy mi olyan Világegyetemben élünk, amelyekben pontosan három nagy térbeli dimenzió van. Amíg tehát nem pontosan nulla annak a valószínűsége, hogy a nagy térbeli dimenziók száma három, addig nem számít, mennyire kicsi ez a valószínűség a más számú nagy térbeli dimenziók valószínűségi amplitúdójához képest. Olyan ez, mintha annak az eseménynek a valószínűségi amplitúdója iránt érdeklődnénk, hogy a mostani pápa kínai. Tudjuk, hogy német, jóllehet nagyobb a valószínűsége annak, hogy kínai, hiszen több kínai él a Földön, mint ahány német. Hasonlóképpen, tudjuk, hogy a mi Világegyetemünkben három nagy térbeli dimenzió van, és bár talán nagyobb lehet annak a valószínűségi amplitúdója, hogy a nagy térbeli dimenziók száma ettől eltérő, minket mégis csak azok a történelmek érdekelnek, ahol ez a szám éppen három.

Mi a helyzet a felcsavarodott dimenziókkal? Emlékezzünk vissza, hogy az M-elméletben a megmaradó feltekeredett dimenziók pontos alakja, vagyis a belső tér egyrészt meghatározza a fizikai állandók értékét, például az elektron töltését, másrészt az elemi részecskék közötti kölcsönhatások természetét, vagyis a természet erőit. Mindent szépen ki lehetett volna dolgozni, ha az M-elmélet a feltekeredett dimenzióknak csak egyetlen alakját engedte volna meg, vagy legfeljebb néhányat, ahol a néhány lehetőség közül egy kivételével valamilyen módon mindegyiket ki lehetett volna zárni, és így csak egyetlen lehetőség maradt volna a természet megfigyelhető törvényeire. Ehelyett talán nem kevesebb, mint 10^{500} különböző belső térnek van nullától eltérő valószínűségi

amplitúdója, amelyek mindegyike különböző törvényeket és a természet állandóinak eltérő értékét eredményezi.

Ha a Világegyetem történetét alulról felfelé, azaz a múltból a jelen felé haladva építjük fel, akkor semmi okunk sincs feltételezni, hogy a Világegyetem pontosan olyan belső terekkel ér véget, amelyek mellett a részecskék közötti kölcsönhatások az általunk ténylegesen megfigyelttel megegyezők, vagyis létrejön az elemi részecskék kölcsönhatásának standard modellje. A felülről lefelé, azaz a jelenből a múlt felé haladó megközelítés esetén viszont elfogadjuk, hogy minden lehetséges belső térrel jellemezhető univerzum létezik. Egyes univerzumokban az elektronok tömege akkora, mint egy golflabdáé, a gravitáció pedig erősebb a mágnességnél. A miénkre éppen a standard modell vonatkozik, annak összes paraméterével. A határ nélküli feltétel alapján ki lehet számítani annak a belső térnek a valószínűségi amplitúdóját, amelyik éppen a standard modellhez vezet. Akárcsak a pontosan három nagy térbeli dimenziójú univerzum létezésének valószínűsége esetén, itt sem számít, milyen kicsi ez az amplitúdó a más lehetőségekhez képest, mert mi már megfigyeltük, hogy a mi Világegyetemünket éppen a standard modell írja le.

Az ebben a fejezetben bemutatott elmélet ellenőrizhető. Korábbi példáinkban hangsúlyoztuk, hogy nem kell törődnünk az egymástól gyökeresen eltérő univerzumok egymáshoz viszonyított valószínűségi amplitúdójával – nem foglalkozunk például azokkal az univerzumokkal, amelyekben háromtól különböző a nagy térbeli dimenziók száma. A szomszédos (azaz egymáshoz hasonló) univerzumok relatív valószínűségi amplitúdója azonban fontos. A határ nélküli feltételből az következik, hogy a valószínűségi amplitúdó azon történelmek esetén a legnagyobb, amelyeknél a kiinduló állapotban az univerzum tökéletesen sima. A szabálytalanabb univerzumok felé haladva az amplitúdó csökken. Ez azt jelenti, hogy a korai

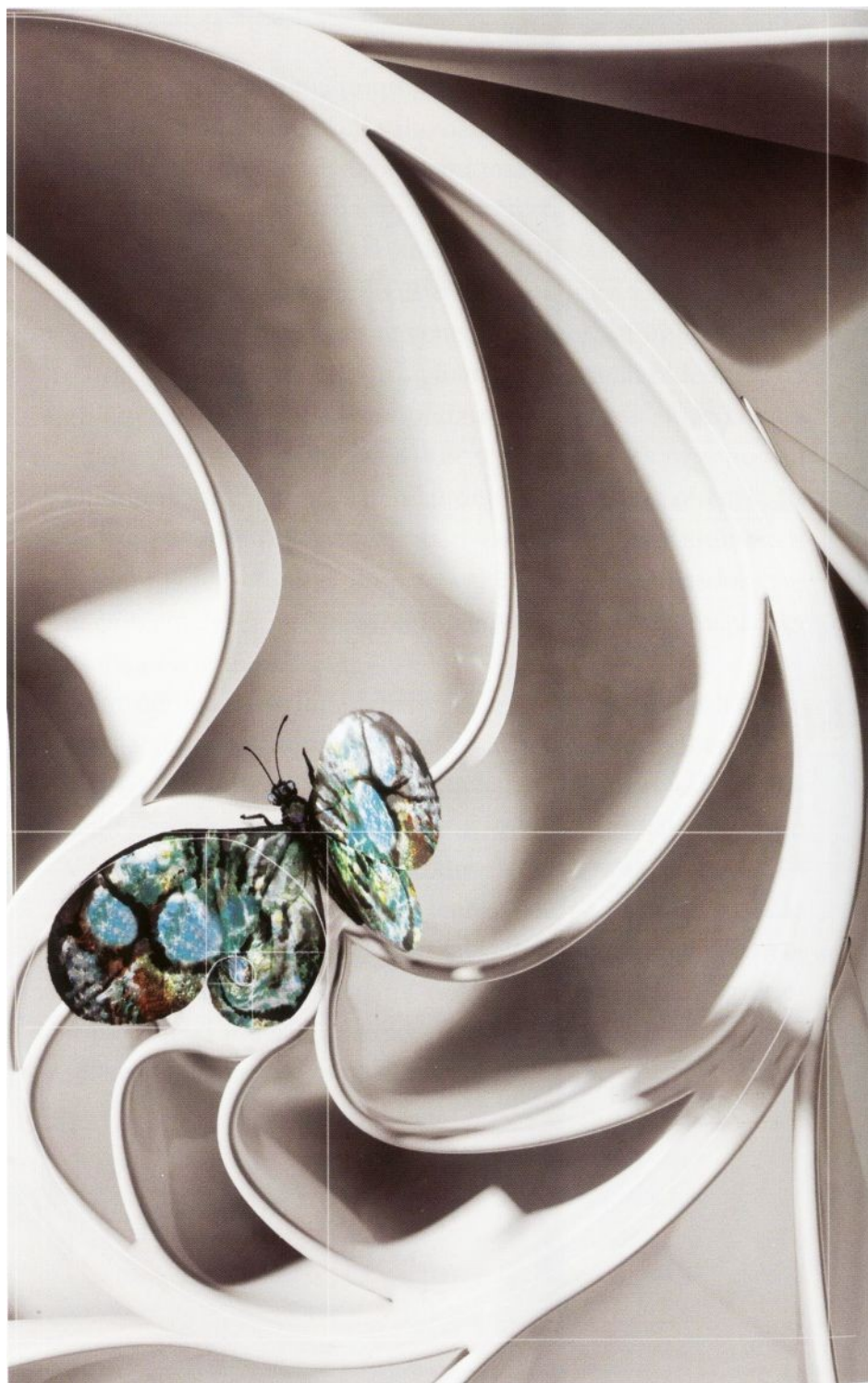
Világegyetemnek csaknem tökéletesen simának kellett lennie, de kicsiny irregularitásokkal tarkítva. Amint megjegyeztük, ezeket az apró irregularitásokat az égbolt különböző irányából érkező mikrohullámú háttérsugárzás kicsiny ingadozásai formájában meg tudjuk figyelni. Megállapították, hogy ezek az ingadozások tökéletesen egyeznek az inflációs elmélet által megkövetelttel; azonban pontosabb mérésekre lenne szükség ahhoz, hogy a felülről lefelé elmélet előrejelzéseit teljesen meg tudjuk különböztetni más elméletekétől, és így igazolni vagy cáfolni tudjuk. Ezeket a pontosabb méréseket a jövőben felbocsátandó űrszondák minden bizonnyal el fogják végezni.

Évszázadokkal ezelőtt az emberek azt gondolták, hogy a Föld egyedi, és a Világegyetem középpontjában helyezkedik el. Ma már tudjuk, hogy csak a mi Tejútrendszerünkben több száz milliárd csillag található, amelyek jelentős hányada körül bolygórendszer alakult ki, a galaxisok száma pedig sok száz milliárdra rúg. Az ebben a fejezetben leírt eredmények azt jelzik, hogy a mi Világegyetemünk egyike a sok létező univerzumnak, és megfigyelhető törvényei nem egyedülálló módon meghatározottak. Ez bizonyára kiábrándítóan hangzik azok számára, akik abban reménykedtek, hogy létezik egy végső elmélet, a mindenség elmélete, amelyik megjósolja a mindennapok fizikájának a természetét. Nem tudjuk előre jelezni a konkrét tulajdonságait, például a nagy térbeli dimenziók számát vagy a belső terek szerkezetét, amelyek meghatározzák az általunk megfigyelt fizikai mennyiségeket (például az elektron és más elemi részecskék tömegét és töltését). Ehelyett ezeket a megfigyelt számokat azoknak a történelmeknek a kiválasztására használjuk, amelyek hozzájárulnak a Feynman-összeghez.

Úgy tűnik, kritikus ponthoz érkeztünk a tudomány történetében, amikor meg kell változtatnunk a céljainkat és az arra vonatkozó fogalmainkat, hogy mi tesz elfogadhatóvá egy fizikai elméletet. Látszólag sem a természeti törvények

formáját, sem pedig az azokban szereplő alapvető számértékeket nem követeli meg semmiféle logikai okfejtés vagy fizikai alapelv. A paraméterek szabadon felvehetik számos különböző érték bármelyikét, a törvények pedig bármilyen formát ölthetnek, ha együttesen logikailag ellentmondásmentes és összefüggő matematikai elméletet alkotnak – és ezt meg is teszik úgy, hogy a különböző univerzumokban különböző formákat öltenek. Ez talán nem elégíti ki azt az emberi vágyunkat, hogy kitüntetett szerepünk legyen, vagy hogy fedezzünk fel egy csinos kis csomagot, amelyik a fizika összes törvényét tartalmazza, mégis úgy tűnik, ez a természet útja.

Az eddigiek szerint a lehetséges univerzumok beláthatatlanul hatalmas sokaságot alkotnak. A következő fejezetben azonban látni fogjuk, hogy azok az univerzumok, amelyekben hozzánk hasonló élőlények létezhetnek, nagyon ritkák. Mi olyan Világegyetemben élünk, amelyikben lehetséges az élet, ám ha a világunk ettől csak kissé eltérő lenne, akkor a hozzánk hasonló lények nem létezhetnének. Mit kezdünk ezzel a finomhangolással? Talán ez azt bizonyítja, hogy a Világegyetemet végső soron egy jó szándékú Teremtő tervezte? Vagy a tudomány valamilyen más magyarázattal is szolgálhat?



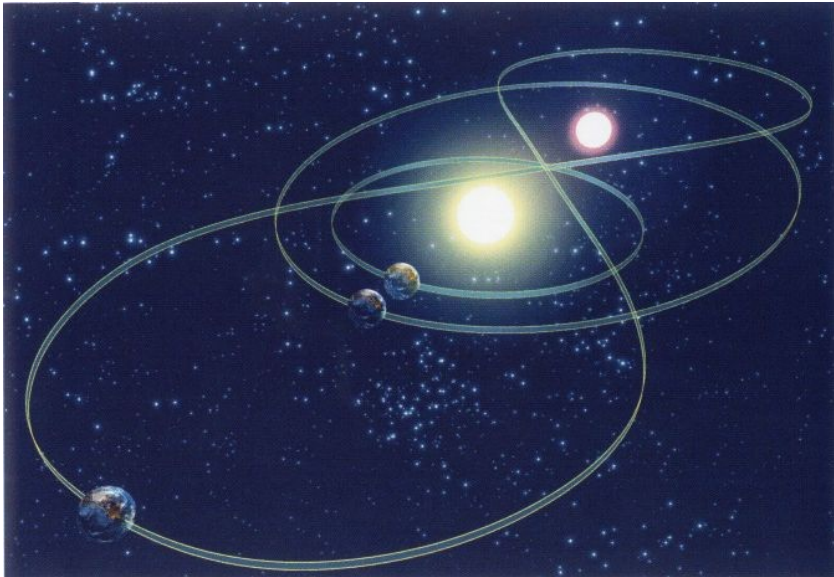
7

SZINTE MÁR CSODA

A

KÍNAI LEGENDÁK SZERINT valamikor a Xia-dinasztia idején (Kr. e. kb. 2205 – Kr. e. kb. 1782) kozmikus környezetünk hirtelen megváltozott. Tíz nap jelent meg az égen. Az emberek a Földön nagyon szenvedtek a melegtől, ezért a császár megparancsolta a leghíresebb íjásznak, hogy lője le az égről a fölösleges Napokat. Jutalmul az íjász egy halhatatlanná tevő pirulát kapott, de azt a felesége ellopta tőle. Büntetésül az asszonyt a Holdra száműzték.

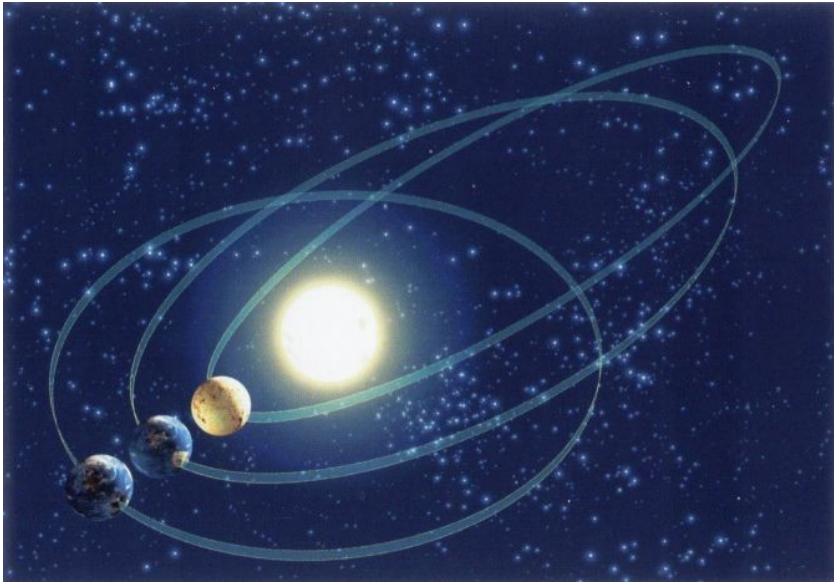
A kínaiaknak igazuk volt abban, hogy egy bolygórendszer tíz Nappal nem túlságosan barátságos környezet az emberi élet számára. Ma már tudjuk, hogy bár kitűnő lehetőséget nyújtana a leburnulásra, a több csillag körül kialakuló bolygórendszerek valószínűleg soha nem tennék lehetővé az élet kialakulását. A magyarázat azonban nem olyan egyszerű, mint a kínai legendában elképzelt perzselő hőség. Valójában egy több csillag körül keringő bolygón is kellemes lehet a hőmérséklet – legalábbis egy ideig. De a hosszú időn keresztül egyenletes fűtés – vagyis az élet számára szükségesnek tűnő feltétel – valószínűleg nem teljesülne. Ha meg akarjuk érteni, miért, akkor nézzük meg, mi történik a legegyszerűbb ilyen rendszerben, ahol csak két csillag található, vagyis egy úgynevezett kettőscsillag körül. Az égen látható csillagok mintegy fele ilyen rendszerek tagja. De még a legegyszerűbb kettőscsillag körül is csak bizonyos típusú stabil bolygópályák alakulhatnak ki, amint az a képen látható.



32. Bolygópályák kettőscsillag körül – A kettőscsillagok körül keringő bolygókon valószínűleg barátságtalan az időjárás, egyes évszakokban túl nagy a forróság, máskor viszont túl hideg van.

Mindezek a pályákon valószínűleg lennének olyan szakaszok, ahol tartózkodva a bolygó vagy túl forró, vagy túl hideg az élet fenntartásához. A sok csillagot tartalmazó halmazokban a helyzet még rosszabb.

Naprendszerünknek vannak más „szerencsés” tulajdonságai is, amelyek nélkül soha nem alakulhattak volna ki a bonyolult életformák. Newton törvényei például megengedik, hogy a bolygópályák akár kör, akár ellipszis alakúak lehessenek. Az ellipszis lapultságának a mértékét az excentricitásnak nevezett számmal jellemezzük, értéke 0 és 1 közötti. A nullához közeli excentricitás azt jelenti, hogy a pálya alakja nagyon hasonlít a körre, míg az 1-hez közeli excentricitás esetén a pálya erősen lapult.



33. Excentricitás – Az excentricitás annak a mértéke, mennyire van közel egy ellipszis alakja a körhöz. A körpályák kedvezőek az élet számára, a nagyon elnyúlt ellipszis alakú pályákon viszont erősek az évszakok közötti hőmérséklet-ingadozások.

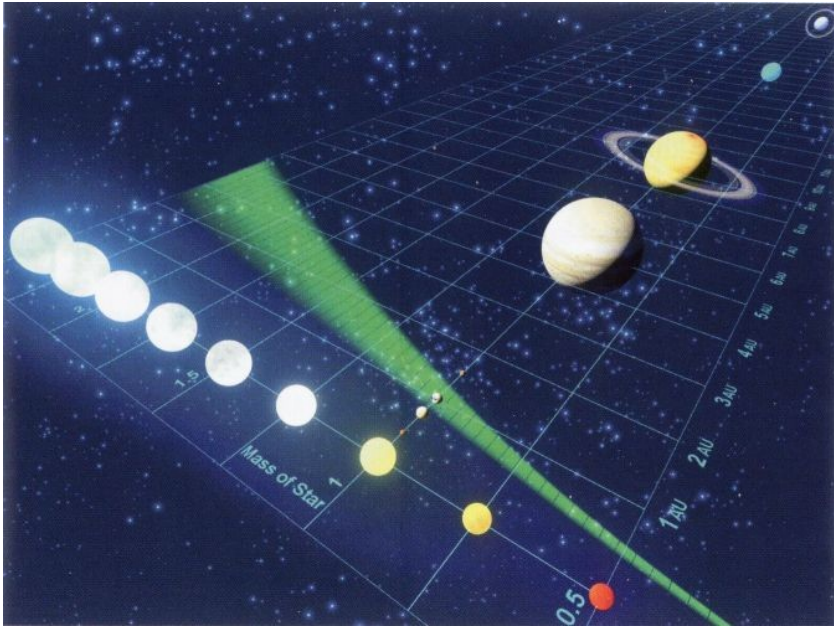
Kepler számára csalódást jelentett az a felismerése, hogy a bolygók nem tökéletes kör alakú pályákon keringnek, de a Föld pályájának excentricitása csupán 2% körüli, ami közel kör alakú pályát jelent. Mint hamarosan kiderül, ez óriási szerencse a számunkra.

A Földön az időjárás évszakai alakulását elsősorban az határozza meg, hogy milyen szögben hajlik a Föld forgástengelye a Nap körüli keringésének síkjához. Amikor például az északi félgömbön tél van, akkor az Északi-sark elfordul a Naptól. Az a körülmény, hogy a Föld ilyenkor jár legközelebb a Naphoz – 147,2 millió kilométerre, szemben a júliusi 152,1 millió kilométerrel – elhanyagolható hatással van a Föld hőmérsékletére a tengely ferdeségéhez képest. A nagy excentricitású pályákon keringő bolygók esetében azonban a Naptól mért távolság változásának sokkal nagyobb

a szerepe. A 20%-os excentricitású pályán keringő Merkúr esetén, például amikor legközelebb jár a Naphoz (perihéliumban), a hőmérséklet több mint 100 fokkal haladja meg a naptávolban (aphéliumban) mérhető hőmérsékletet. Ha a Föld pályájának excentricitása megközelítené az 1-et, akkor napközben felforrna az óceánok vize, naptávolban viszont befagynának a tengerek, ami sem a nyári, sem pedig a téli vakáció eltöltését nem tenné túl kellemessé. A nagy excentricitású pálya nem kedvez az élet számára, így szerencséseknek mondhatjuk magunkat, amiért bolygónk pályájának lapultsága nullához közeli.

A Nap tömege és a csillagunktól mért távolságunk arányát tekintve is szerencsénk van. Azért érdekes ez az arány, mert a csillag tömege meghatározza, mennyi energiát sugároz ki. A legnagyobb csillagok tömege körülbelül százszorosa, míg a legkisebbeké mintegy század része a Napénak. Adottnak tekintve a Nap és a Föld távolságát, ha a Nap tömege csak 20%-kal kisebb vagy nagyobb lenne a jelenleginél, akkor a Föld hidegebb lenne a mostani Marsnál, illetve forróbb lenne a mostani Vénusznál.

A csillagászok hagyományosan minden csillag körül definiálják az úgynevezett lakható zónát, vagyis azt a keskeny tartományt, amelyen belül a hőmérsékleti viszonyok megengedik a folyékony víz létezését. A lakható zónát néha „Goldilocks-zónának” is szokták nevezni (egy angolszász népmese hősnőjéről. *A fordító megjegyzése.*). A folyékony víz létezésének követelménye azt jelenti, hogy – akárcsak Goldilocks története esetében, aki a neki éppen megfelelőt tudta csak használni – az intelligens élet csak akkor alakulhat ki egy bolygón, ha ott a hőmérséklet „éppen megfelelő”. Naprendszerünkben a lakható zóna meglehetősen keskeny. A Földünkön élő intelligens életformák szerencséjére a Föld éppen ebbe a tartományba esik!



34. Goldilocks-zóna – Ha Goldilocks kipróbálná nemcsak a mackócsalád dolgait, hanem a bolygókat is, akkor csak a zöld sávon belül fekvőket találná alkalmasnak az élet számára. A sárga színű csillag a Napunkat jelöli. A fehérebb színű csillagok nagyobbak és forróbbak, a vörösebbek kisebbek és hűvösebbek. A csillagaikhoz a zöld zónánál közelebb fekvő bolygók túlságosan forróak lennének az élet számára, a távolabbiak túl hidegek. A lakható zóna a hidegebb csillagok esetén keskenyebb.

Newton úgy gondolta, hogy a mi furcsa módon mégiscsak lakható Naprendszerünket „nem hozhatták létre a káoszból pusztán a természet törvényei”. Ezzel szemben az volt a véleménye, hogy a Világegyetemben megfigyelhető rendet „kezdetben Isten teremtette meg, majd azt változatlan állapotban és feltételek mellett mind a mai napig megőrizte”. Könnyű megérteni, miért gondol valaki erre a lehetőségre. A sok valószínűtlen esemény és körülmény létezésünket lehetővé tevő összjátéka és világunknak az ember számára barátságos felépítése valóban rejtélyes lenne, ha a miénk

lenne az egyetlen bolygórendszer a Világegyetemben. Ám 1992-ben megszületett az első hitelt érdemlő megfigyelés arra nézve, hogy más csillagok körül is keringenek bolygók. Ma már százszámra ismerünk ilyen bolygókat, és semmi kétségünk sem lehet afelől, hogy a Világegyetem sok milliárd csillaga körül megszámlálhatatlanul sok bolygó kering. Ez sokkal kevésbé érdekessé teszi a Naprendszerünkben előforduló véletlen egybeeséseket – azt, hogy egyetlen Napunk van, és annak kedvező a tömege és e tömeghez viszonyítva kedvező a Naptól mért távolságunk. Egyúttal már nem érezzük kényszerítő erejűnek ezeket a körülményeket mint arra vonatkozó bizonyítékokat, hogy a Földet pontosan és gondosan úgy kellett megtervezni, hogy az nekünk, emberi lényeknek kellemes körülményeket biztosítson. A legkülönbélebb bolygók léteznek. Egyesek – vagy legalábbis egyetlenegy közülük – támogatják az élet fennmaradását. Nyilvánvaló, hogy amikor egy, az élet számára kedvező feltételeket nyújtó bolygó lakói megvizsgálják saját környezetüket, akkor kénytelenek azt megállapítani, hogy környezetük kielégíti a saját létezésükhöz szükséges feltételeket.

Ez utóbbi állítást tudományos elvként is megfogalmazhatjuk: létezésünk pusztán ténye olyan szabályokat állít fel, amelyek meghatározzák, honnan és mikor figyelhetjük meg a Világegyetemet. Ez azt jelenti, hogy létezésünk korlátot szab arra nézve, milyen környezeti feltételek között találhatjuk magunkat. Ezt az elvet *gyenge antropikus elvnek* nevezzük. (Hamarosan azt is látni fogjuk, miért van szükség a „gyenge” jelző alkalmazására.) Az „antropikus elvnél” találóbb kifejezés lett volna a „szelekciós elv”, hiszen az elv arról szól, hogy saját létezésünk tudata olyan szabályokat ír elő, amelyek az összes lehetséges környezet közül éppen azokat választják ki, amelyek tulajdonságai megengedik az élet létezését.

Bár inkább filozófiai fejtegetésnek hangozhat, a gyenge antropikus elv segítségével tudományos előrejelzést is készíthetünk. Milyen idős például a Világegyetem? Amint hamarosan látni fogjuk, mi csak akkor létezhetünk, ha a Világegyetem tartalmaz bizonyos kémiai elemeket, például szenet, amelyek a csillagok belsejében épülnek fel a könnyebb elemekből. Ezután a szén a szupernóva-robbanásoknak széjjel kell szórniuk a térben, majd végül az anyagnak össze kell sűrűsödnie egy következő generációs bolygórendszer egyik bolygójává. A fizikus Robert Dicke 1961-ben úgy érvelt, hogy ez a folyamat mintegy 10 milliárd évig tart, tehát abból, hogy mi itt vagyunk, arra kell következtetnünk, hogy a Világegyetemnek legalább ilyen öregnek kell lennie. Másrészt viszont a Világegyetem nem lehet 10 milliárd évesnél sokkal idősebb, mert a távoli jövőben a csillagok az összes üzemanyagukat felhasználják, márpedig a fennmaradásunkhoz szükség van egy anyacsillagra. Ez tehát azt jelenti, hogy a Világegyetem korának mintegy 10 milliárd évnek kell lennie. Az előrejelzés nem mondható rendkívüli pontosságúnak – mégis igaz, a jelenlegi adatok szerint ugyanis az Ősrobbanás körülbelül 13,7 milliárd évvel ezelőtt történt.

Akárcsak a Világegyetem kora esetében, az antropikus előrejelzések rendszerint más fizikai paraméterek értékére is valamekkora tartományt adnak meg, ahelyett, hogy pontosan rögzítenék az értékét. Ez azért van így, mert ugyan a létezésünk ténye nem követeli meg, hogy bizonyos fizikai paraméterek pontosan egy adott értéket vegyenek fel, de létezésünk gyakran azon múlik, hogy ezek a paraméterek az általunk ténylegesen megfigyelttől ne legyenek nagyon eltérő értékűek. Ezenkívül arra számítunk, hogy a mi világunkban az általunk ténylegesen megfigyelt feltételek tipikusak az antropikus elv által megengedett tartományon belül. Ha például csak a mérsékelt, mondjuk 0 és 0,5 között excentricitások teszik lehetővé az életet, akkor a 0,1

lapultságú bolygópályán nem lepődünk meg, hiszen a Világegyetemben található rengeteg bolygó közül valószínűleg meglehetősen soknak éppen ekkora az excentricitása. Ha viszont az derülne ki, hogy csaknem tökéletesen kör alakú pályán kering, és excentricitása mondjuk 0,00000000001, akkor ez tényleg nagyon különlegessé tenné a Földet, és arra ösztönözné, hogy próbáljunk magyarázatot találni arra, miért ilyen különleges az otthonunk. Ezt az elképzelést a *középszerűség elvének* szokták nevezni.

A bolygópályák alakjával, a Nap tömegével és a hasonló paraméterekkel kapcsolatos szerencsés egybeeséseket *környezetieknek* nevezzük, mert ezek a szerencsés tényezők a környezetünk tulajdonságaiban rejlenek, nem pedig a természet alapvető törvényeiben. A Világegyetem korát ugyancsak környezeti tényezőnek tekintjük, hiszen van a Világegyetem történetének egy korábbi és egy későbbi időszaka is, de nekünk mégis éppen ebben a korban kell élnünk, mert ez az egyetlen, az élet jelenlétét támogató korszak. A környezeti véletlen egybeeséseket könnyű megérteni, mert a miénk csak egyetlenegy a Világegyetemben létező számtalan élettér közül, márpedig nekünk nyilvánvalóan ebben az életet támogató környezetben kell léteznünk.

A gyenge antropikus elv nem különösebben ellentmondásos. Van azonban egy erősebb formája, amelyet ismertetünk, sőt, amely mellett kiállunk, noha egyes fizikusok lenézik azt. Az *erős antropikus elv* szerint létezésünk ténye nemcsak a *környezetünkre* vonatkozóan állít fel korlátokat, hanem maguknak a *természeti törvényeknek a formájára és tartalmára is*. Az elképzelés azért merült fel, mert nemcsak a mi Naprendszerünk tulajdonságai tűnnek különösen kedvezőeknek az élet szempontjából, hanem az egész Világegyetem tulajdonságai is, amit már sokkal nehezebb megmagyarázni.

Sok fejezetből áll az a történet, amely elbeszéli, miként fejlődött a hidrogénből, héliumból és egy kevés lítiumból álló ősi univerzum azzá a Világegyetemmé, amelyik legalább egy, hozzánk hasonló, intelligens lények által lakott világnak ad otthont. Mint korábban már említettük, a természet kölcsönhatásainak olyanoknak kell lenniük, hogy a nehezebb elemek – legfőbbképpen a szén – az ősi univerzumban jelen lévő elemekből épüljenek fel és azok legalább évmilliárdokon keresztül maradjanak stabilak. Ezek a nehéz elemek az általunk csillagoknak nevezett kemencékben jönnek létre, a természet erőinek tehát mindenekelőtt lehetővé kell tenniük csillagok és galaxisok kialakulását. Ezek a csaknem teljesen homogén, azonban szerencsére körülbelül 1:100 000 arányú sűrűség-ingadozásokat tartalmazó ősi világegyetem parányi inhomogenitásaiból mint csírákból alakultak ki. Nem elég azonban, hogy csillagok léteznek, és a csillagok belsejében jelen vannak azok az elemek, amelyekből mi magunk felépülünk. A csillagoknak úgy kell működniük, hogy végül egyesek közülük felrobbanjanak, sőt, pontosan úgy robbanjanak fel, hogy szétszórják a nehezebb elemeket a térben. Emellett a természet törvényeinek elő kell írniuk, hogy ezeknek a maradványoknak újra össze kell sűrűsödniük, hogy belőlük újabb csillagok szülessenek, amelyeket az újonnan kialakult nehéz elemeket is tartalmazó bolygók vesznek körül. Éppúgy, ahogy az ősi Földön is be kellett következnie bizonyos eseményeknek, hogy mi most itt lehessünk, ugyanúgy ennek a láncnak is minden egyes szemére szükség van ahhoz, hogy létezhessünk. A Világegyetem fejlődését eredményező események esetében azonban ezt a fejlődést a természet alapvető kölcsönhatásainak egyensúlya irányítja, és ezek összjátékának kell pontosan megfelelően működnie ahhoz, hogy létezhessünk.

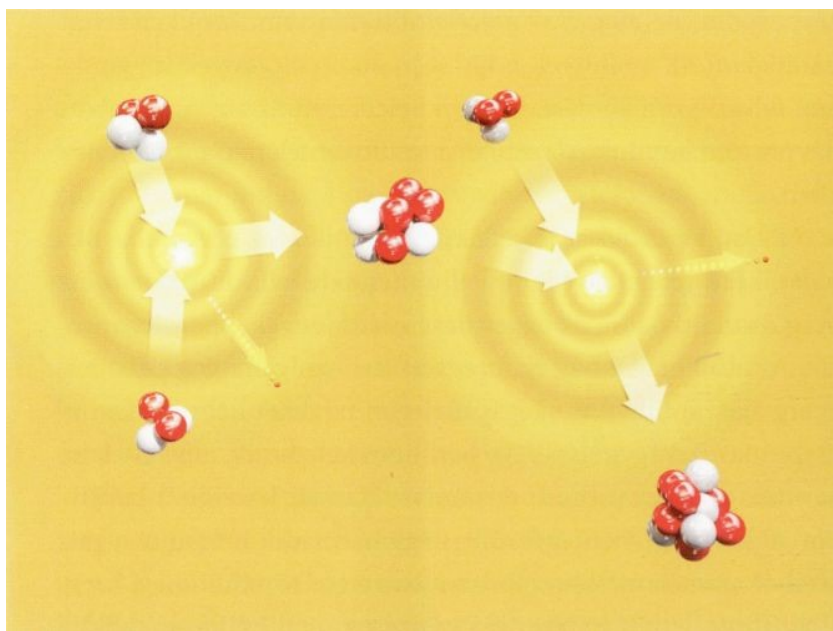
Fred Hoyle volt az első egyike, aki az 1950-es években észrevette, hogy ez jól felhasználható a véletlenek összjátékának mérésére. Hoyle úgy gondolta, hogy eredetileg

minden kémiai elem hidrogénből alakult ki, amelyet ő a valódi őszanyagnak hitt. A hidrogénnek van a legegyszerűbb atommagja, csupán egyetlen protont tartalmaz, általában egyedül, néha egy vagy két neutron társaságában. (A hidrogén, vagy bármely más atom különböző formáit, amelyek azonos számú protont, de különböző számú neutron tartalmaznak, izotópoknak nevezzük.) Ma már tudjuk, hogy az ősi világegyetemben, amikor annak kora még csak 200 másodperc volt, a hidrogén mellett a hélium és a lítium is felépült, de a hidrogénnél sokkal kisebb mennyiségben; ez utóbbiak atommagjai két, illetve három protont tartalmaznak. Az élethez azonban ezeknél sokkal bonyolultabb kémiai elemekre van szükség. Ezek közül a szén a legfontosabb, ez minden szerves kémiai folyamat alapja.

Bár elképzelhetünk más elemekből készített „élő” szervezeteket, például szilíciumból gyártott, intelligens számítógépeket, mindamellett kétséges, hogy az élet *spontán módon* kifejlődhetett volna-e szén jelenléte nélkül. Ennek technikai okai vannak, amelyek azzal a különleges móddal függnek össze, ahogyan a szénatomok kémiai kötést képesek létrehozni más elemekkel. A szén-dioxid például szobahőmérsékleten gáz halmazállapotú, és biológiai szempontból nagyon hasznos. Minthogy a szilícium a periódusos rendszerben közvetlenül a szén alatt elhelyezkedő elem, ezért kémiai tulajdonságaik hasonlóak. Ennek ellenére a szilícium-dioxidnak, vagyis a kvarcnak sokkal több hasznát vesszük egy közetgyűjteményben, mint az élőlények tüdejében. Mégis, talán ki tudnának fejlődni olyan életformák, amelyek szilíciumot lakmároznak, nyúlványukkal pedig folyékony ammóniapocsolyákat kavargatnak. Még egy ilyen típusú egzotikus élet sem tudna azonban kifejlődni csupán az ősi kémiai elemekből, mert azok az elemek csak két stabil vegyületet képesek létrehozni: a lítiumhidridet, amelyik szintelen, kristályos szilárd anyag, és a hidrogéngázt, azonban ezeknek a vegyületeknek egyike sem képes szaporodni, de

még csak szerelembe esni sem. Meg kell tehát barátkoznunk a ténnyel, hogy szén alapú élőlények vagyunk, ami felveti azt a kérdést, hogyan keletkezett az atommagjában hat protont tartalmazó szén, és a testünket felépítő többi nehéz elem.

Az első lépés akkor következik be, amikor az öreg csillagokban elkezd felgyülemelni a hélium, amely két hidrogénatommag összeütközése és egyesülése eredményeképpen keletkezik. Az atommagoknak ez az egyesülése szolgáltatja a csillagok energiáját, ami bennünket is melegen tart. Két héliumatom is összeütközhet egymással, így berillium keletkezik, amelynek az atommagja négy protont tartalmaz. Ha már létrejött a berillium, akkor az elvben egyesülhet egy harmadik héliummaggal, amiből szén jönne létre. Ez azonban nem történik meg, mert a berillium létrejövő izotópja szinte azonnal héliummagokká esik szét.



35. Háromalfa-folyamat – A csillagok belsejében a szén három héliumatommag ütközésének eredményeképpen épül fel. Ez az esemény azonban nagyon valószínűtlen lenne, ha nem lenne a magfizika törvényeinek egy különleges sajátossága.

A helyzet megváltozik, ha a csillag belsejében elkezd kifogyni a hidrogén. Amikor ez bekövetkezik, akkor a csillag magja összeomlik, míg végül a hőmérséklete eléri a körülbelül 100 millió kelvint. Ilyen körülmények közt az atommagok olyan gyakran találkoznak egymással, hogy egyes berilliummagok még azelőtt beleütköznek egy héliummagba, mielőtt esélyük lenne elbomlani. Így a berillium a héliummal egyesülve a szén stabil izotópját hozza létre. Ennek a szénnek azonban még nagyon hosszú utat kell megtennie, mire az atomok egymással összeállva olyan fajta kémiai vegyületeket alkotnak, amelyeket például egy pohár bordói elfogyasztása közben élvezhetünk, vagy amelyeneknek köszönhetően megpróbáljuk eltüntetni a felállított tekebábukat, vagy kérdéseket tudunk feltenni az Univerzum szerkezetéről. Ahhoz, hogy emberek vagy hozzánk hasonló lények létezhesenek, a szénnek a csillag belsejéből valamilyen barátságosabb környezetbe kell kerülnie. Ez, amint már említettük, akkor történik meg, amikor a csillag életútja végén szupernóvaként felrobban, és szerteszét szórja a szenet és más nehéz elemeket, amelyek később bolygóvá sűrűsödnek össze.

A szén keletkezésének imént leírt módját háromalfa-folyamatnak nevezzük, mert a hélium szóban forgó izotópjának az atommagját másként alfa-részecskének is nevezik, és amiért a folyamathoz (végső soron) háromnak az egyesülésére van szükség. Korábbi fizikai ismereteink szerint a háromalfa-folyamat túlságosan kis sebességgel termel szenet. Ezt felismerve, Hoyle 1952-ben megjósolta, hogy a berilliummag és a héliummag energiája összegének csaknem pontosan azonosnak kell lennie a létrejövő szénizotóp egy bizonyos kvantumállapota energiájával. Ez a rezonanciának nevezett jelenség erőteljesen felgyorsítja a magreakció sebességét. Abban az időben azonban még nem ismerték a szénnek ezt az energiaszintjét, Hoyle ötlete alapján azonban

William Fowler kereste és megtalálta az addig ismeretlen energiaszintet. Ez a felfedezés jelentős mértékben alátámasztotta Hoyle arra vonatkozó elképzelését, miként keletkeznek a bonyolult atommagok.

Hoyle így fogalmazott: „Aligha hiszem, hogy a bizonyítékokat megvizsgáló tudósok között akadna olyan, aki nem azt a következtetést vonja le, hogy a magfizika törvényeit szándékosan a csillagok belsejében fellépő következményeikre figyelemmel tervezték.” Abban az időben még senki sem volt olyannyira jártas a magfizikában, hogy megértette volna, milyen ritka véletlen az, ami ezekből az egzakt fizikai törvényekből következik. Az erős antropikus elv érvényességét megvizsgáló fizikusok azonban az elmúlt években feltették maguknak a kérdést, hogy milyenné alakult volna a Világegyetem, ha másmilyenek lennének a természeti törvények. Ma már olyan számítógépes modelleket tudunk készíteni, amelyek megadják, hogyan függ a háromalfa-reakció sebessége a természet alapvető kölcsönhatásainak az erősségétől. Ezen számítások szerint az erős kölcsönhatás erősségének mindössze 0,5%-os, vagy az elektromos erő 4%-os változása minden csillagban csaknem az összes szén- vagy az összes oxigén szétrombolná, és így lehetetlenné tenné az általunk ismert élet kialakulását. Változtassunk csak egészen keveset a Világegyetemet irányító szabályokon – és létezésünk feltételei azon nyomban eltűnnek!

Ha megvizsgáljuk azokat a modelluniverzumokat, amelyeket a fizikai elméletek bizonyos mértékű megváltoztatása útján generálunk, akkor módszeresen tanulmányozhatjuk a fizikai törvények változásának a hatását. Kiderül, hogy nem csak az erős kölcsönhatás és az elektromágnesség erőssége van ráhangolva a létezésünkre. Az elméleteinkben szereplő legtöbb alapvető fizikai állandó értéke is pontosan beszabályozottnak tűnik, abban az értelemben, hogy ha csak csekély mértékben is megváltoztatjuk az értéküket, akkor az Univerzum

minőségileg más lenne, és sok esetben alkalmatlan lenne az élet kifejlődésére. Ha például a másik magerő, a gyenge kölcsönhatás sokkal gyengébb lenne, akkor az ősi univerzumban az összes hidrogén héliummá alakult volna, és így nem jöhetnének létre a megszokott módon működő csillagok. Ha viszont sokkal erősebb lenne, akkor a felrobbanó szupernóvák nem dobnák le külső rétegeiket, és így nem szórhatnák tele a csillagközi teret azokkal a nehéz elemekkel, amelyekre a bolygókon az élet kifejlődéséhez szükség van. Ha a protonok tömege 0,2%-kal nagyobb lenne, akkor neutronná bomlanának, ami destabilizálná az atomokat. Ha a protont alkotó kvarkok tömegének az összege mindössze 10%-kal megváltozna, akkor sokkal kevesebb, a testünket felépítő stabil atommag létezne. Sőt, úgy tűnik, hogy a kvarkok tömegének összege nagyjából optimális ahhoz, hogy a lehető legnagyobb számú stabil atommag létezhesen.

Ha feltételezzük, hogy a bolygóknak néhány százmillió évet kell stabil pályán eltölteniük, hogy kialakulhasson rajtuk az élet, akkor létezésünk ténye a nagy térbeli dimenziók számát is rögzíti. Ez azért van így, mert a gravitáció törvényei szerint kizárólag három dimenzióban lehetségesek stabil, ellipszis alakú bolygópályák. Körpályák más számú dimenzió esetén is lehetségesek, de azok, amint attól már Newton is tartott, instabilak. Háromtól eltérő számú dimenzió esetén már a legkisebb zavarok, mondjuk a más bolygók által okozott pályaháborgások, letérítenék a bolygókat a körpályáról, és a bolygó spirális pályán vagy behullana a csillagba, vagy eltávolodna tőle, vagyis felperzselődne vagy megfagyna. Emellett, háromnál több dimenzió esetén a két test között ható gravitációs erő a növekvő távolsággal sokkal rohamosabban csökkenne, mint három dimenzióban. Három dimenzióban a gravitációs erő a negyedére csökken, ha a testek távolságát megkétszerezzük. Négy dimenzióban hasonló esetben a gravitációs erő a nyolcadára, öt dimenzióban a tizenhatodára csökkenne, és így tovább. Ennek

következtében háromnál több dimenzióban a Nap nem lenne képes stabil maradni, mert a gravitációs vonzás nem tudna egyensúlyt tartani a belső nyomással. A Nap tehát vagy szétesne, vagy fekete lyukká omlana össze, ami – akármelyik lehetőség valósulna meg – igencsak megkeserítené az életünket. Az atomi skálán az elektromos erők ugyanúgy viselkednének, mint a gravitációs erő. Ez azt jelenti, hogy az atomokban az elektronok is spirális pályára kerülnének, és vagy belezuhanának az atommagba, vagy örökre eltávolodnának tőle. Egyik esetben sem létezhetnének atomok az általunk ismert formában.

Az intelligens megfigyelők létezését elősegítő bonyolult szerkezetek megjelenése nagyon bizonytalannak tűnik. A természet törvényei rendkívül érzékenyen finomhangolt rendszert alkotnak, és a fizikai törvények csak a lehető legcsekélyebb mértékben változtathatók meg, ha nem akarjuk, hogy az élet általunk ismert formájának még a lehetőségét is kizárjuk. Ha nem lenne jelen a fizika törvényeinek apró részleteiben egy sor megdöbbentő egybeesés, akkor úgy tűnik, az emberek és más élőlények soha nem jöhettek volna létre.

A legmeghökkenőbb véletlen egybeesést az általános relativitáselmélet Einstein-féle egyenleteiben szereplő, úgynevezett kozmológiai állandó esetén tapasztaljuk. Amint már említettük, 1915-ben, amikor Einstein megfogalmazta elméletét, a Világegyetemet statikusnak gondolta, vagyis azt tételezte fel, hogy nem tágul, és nem is húzódik össze. Minthogy minden anyag minden más anyagot vonz, azért bevezetett az egyenleteibe egy új, antigravitációs erőt, amely legyőzi a Világegyetemnek azt a törekvését, hogy önmagába összezuhanjon. Ennek az erőnek, szemben más kölcsönhatásokkal, nem volt meghatározott forrása, hanem beépült a téridő alapvető szerkezetébe. A kozmológiai állandó ennek a hatásnak az erősségét írja le.

Amikor felismerték, hogy a Világegyetem nem statikus, akkor Einstein kiiktatta téregyenleteiből a kozmológiai állandót, és annak bevezetését élete legnagyobb melléfogásának minősítette. Azonban 1998-ban, nagyon távoli szupernóvák megfigyelése alapján a csillagászok arra a következtetésre jutottak, hogy a Világegyetem egyre gyorsuló ütemben tágul, amely hatás nem magyarázható másként, csak egy, a térben mindenütt ható taszítóerő jelenlétével. A kozmológiai állandó tehát feltámadt. Mivel most már tudjuk, hogy értéke nem nulla, fennáll a kérdés, hogy miért éppen akkora az értéke, amekkora. A fizikusok különböző érveket próbáltak felsorakoztatni annak magyarázatára, miként bukkanhat fel különféle kvantummechanikai hatások eredményeképpen, azonban az állandó általuk kiszámított értéke körülbelül 120 nagyságrenddel nagyobb, adódott a szupernóvák megfigyeléséből levezetett tényleges értéknél (azaz a mért és a számított értékek aránya akkora szám, amelyikben az 1-es 120 darab nulla követi). Ez azt jelenti, hogy vagy a számítás alapjául felhasznált okfejtés hibás, vagy pedig létezik valamilyen más hatás, amelyik rejtélyes módon a kiszámított mennyiséget – egy parányi töredéke kivételével – lenullázza. Egyetlen dolog bizonyos, hogy ha a kozmológiai állandó értéke sokkal nagyobb lenne a ténylegesnél, akkor a Világegyetem anyaga szétszaladt volna, még mielőtt a galaxisok kialakulhattak volna, és így – ezúttal is – lehetetlenné vált volna az általunk ismert élet kialakulása.

Mire következtethetünk ezekből az egybeesésekből? Az alapvető fizikai törvények természetét és pontos formáját illető szerencse egészen más típusú szerencse, mint amelyet a környezeti tényezők esetében tapasztaltunk. Nem is lehet olyan könnyen megmagyarázni, emellett sokkal mélyebb fizikai és filozófiai következményei vannak. Úgy tűnik, mintha Világegyetemünk és törvényei a tervezettség nyomait viselnék magukon: egyrészt úgy testre szabottak, hogy az támogassa a létezésünket, másrészt, ha egyszer már létezőnk,

kevés teret enged a változtatásoknak. Mindezt nem egykönnyen lehet megmagyarázni, ráadásul felveti azt a kérdést is, hogy miért van ez így.

Sokan örömmel fogadnák, ha ezeket a szerencsés egybeeséseket Isten műve mellett szóló érvekként használnánk fel. Az elképzelés, miszerint a Világegyetemet olyanra tervezték, hogy az otthont adhasson az emberiségnek, már sok ezer évvel ezelőttől kezdődően mind a mai napig jelen van a különböző teológiákban és mitológiákban. A maják Popl Vuh című mítoszgyűjteményében Isten kijelenti: „Sem dicsőítést, sem tiszteletet nem kapunk az általunk teremtet világból mindaddig, amíg meg nem jelennek az érző emberi lények.” Egy Kr. e. 2000 körüli eredetű, jellegzetes egyiptomi szöveg így szól: „Az emberek, az Isten nyája, jól el vannak látva. [A Napisten] az ő javukra formálta az eget és a földet.” Kínában Lie Yukou (Kr. e. 400 körül) taoista filozófus egyik történetének szereplője ezt így fogalmazta meg: „A mennyek ötféle gabonát növesztenek, uszonyos és tollas lényekkel népesítik be a vizeket és az eget, legfőképpen a mi javunkra.”

A nyugati kultúrában az Ószövetség tartalmazza a teremtéstörténetében a gondviselésszerű tervezettség eszméjét, de a hagyományos keresztény felfogásra jelentős hatást gyakorolt Arisztotelész is, aki hitt egy „intelligens természeti világban, amelyik valamilyen előre megfontolt tervezésnek megfelelően működik.” A középkori keresztény teológus, Aquinói Szent Tamás Arisztotelésznek a természet rendjéről alkotott elgondolásait felhasználva érvelt Isten létezése mellett. A XVIII. században egy másik keresztény teológus egészen annak kijelentéséig elment, miszerint a nyulaknak azért van fehér farkuk, hogy az emberek könnyebben le tudják őket löni. A keresztény felfogás korszerűbb képét néhány évvel ezelőtt vázolta fel Christoph Schönborn bíboros, Bécs érseke, aki így írt: „Most, a XXI. század kezdetén, amikor olyan tudományos állításokkal kell

szembenéznünk, mint a neo-darwinizmus vagy a multiverzum [sok univerzum] hipotézise a kozmológiában, amelyeket csak azért találtak ki, hogy kitérjenek a modern természettudományban a szándékra és a tervezettségre utaló, mindent elsöprő bizonyítékok elől; a Római Katolikus Egyház ismételten kiáll az emberi természet védelme mellett, és kinyilatkoztatja, hogy a természetben valóságosan benne rejlik a tervezettség.” A kozmológiában a szándékra és a tervezettségre utaló, mindent elsöprő bizonyíték, amelyre a bíboros hivatkozott, éppen a fizikai törvényeknek az a finomhangoltsága, amelyről az imént írtunk.

Az emberközpontú univerzum képének tudományos elutasításában a Naprendszer kopernikuszi modellje jelentette a fordulópontot. Ebben a világképben a Föld többé már nem volt központi elhelyezkedésű. Furcsa módon Kopernikusz saját világképe mégis antropomorf volt, még abban az értelemben is, hogy Kopernikusz azzal vigasztal bennünket, hogy heliocentrikus modellje ellenére a Föld *majdnem* a Világegyetem középpontjában helyezkedik el. „Bár [a Föld] nem a világ középpontjában van, mindamellett távolsága [ettől a középponttól] szinte semmiség, különösen ha az állócsillagok távolságával vetjük össze.” A távcső felfedezését követően a XVII. században végzett megfigyelések, például az a tény, hogy nem a miénk az egyetlen bolygó, amelyik körül hold kering, alátámasztották azt az elvet, mely szerint nincs kitüntetett helyünk a Világegyetemben. A későbbi évszázadokban minél több dolgot fedeztünk fel a Világegyetemmel kapcsolatban, annál inkább úgy tűnt, hogy a miénk valószínűleg csak egyike a sokféle, közönséges bolygónak. Ám a természeti törvények rendkívüli mértékű finomhangoltságának legújabb keletű felfedezése sokakat visszatérít ahhoz a régi elképzeléshez, amely szerint ez a nagyszerű tervezettség csak valamilyen nagyszerű tervező műve lehet. Az Egyesült Államokban, ahol az Alkotmány tiltja a vallás oktatását az iskolákban, ezt az

elképzelést intelligens tervezettségnek nevezik, ami kimondatlanul bár, de egyértelműen arra utal, hogy ez a tervező nem más, mint Isten.

A modern természettudomány azonban más választ ad erre a kérdésre. Az 5. fejezetben láttuk, hogy úgy tűnik, mintha a mi Világegyetemünk egyike lenne annak a nagyon sok univerzumnak, amelyek mindegyikében más-más törvények uralkodnak. A multiverzum elképzelését nem azért találták ki, hogy számot adjanak a finomhangolás csodájáról. A multiverzum a határ nélküli feltétel és a modern kozmológia számos más elméletének a következménye. Ha azonban igaznak bizonyul, akkor az erős antropikus elvet lényegében egyenértékűnek tekinthetjük a gyengével, vagyis a fizikai törvények finomhangoltságát ugyanolyan mércével kell mérnünk, mint a környezeti tényezők megfelelő voltát. Ez ugyanis azt jelenti, hogy kozmikus élőhelyünk – ami most az egész megfigyelhető Világegyetemet jelenti – csak egyike a sok létező univerzumnak, mint ahogy a Naprendszer is csak egyike a számtalan létező bolygórendszernek. Eszerint tehát ugyanúgy, ahogy a Naprendszerünkben tapasztalható környezeti egybeeséseknek nem tulajdonítunk különösebb jelentőséget, mondván, hogy milliárdszámra léteznek a hasonló rendszerek, a természet törvényeinek finomhangoltsága is könnyen megmagyarázható a számtalan univerzum létezésével. Sokan az elmúlt korokban a természet szépségét és bonyolultságát Isten közbeavatkozásának tulajdonították, mert abban a korban úgy tűnt, hogy a tudomány nem tud magyarázattal szolgálni. De éppúgy, ahogyan Darwin és Wallace megmagyarázták, miként alakulhat ki egy felsőbbrendű lény közbeavatkozása nélkül az élő formák csodálatos sokszínűsége, ugyanúgy a multiverzum fogalma is magyarázatot adhat a fizikai törvények finomhangoltságára anélkül, hogy ehhez egy jóindulatú Teremtő segítségét kellene igénybe venni, aki a mi javunkra formálta a Világegyetemet.

Einstein egy alkalommal a következő kérdést tette fel asszisztensének, Ernst Strausnak: „Volt-e Istennek bármilyen választási lehetősége, amikor megteremtette a Világegyetemet?” A XVI. század végén Kepler meg volt győződve arról, hogy Isten valamilyen tökéletes matematikai alapelvnek megfelelően teremtette meg a világot. Newton megmutatta, hogy ugyanazok a törvények érvényesek az égen, mint amelyek itt a Földön, és kidolgozta azokat a matematikai egyenleteket, amelyek olyan elegáns formában fejezik ki ezeket a törvényeket, hogy az sok XVIII. századi természettudósban szinte már vallásos buzgalmat váltott ki, és mindenáron be akarták bizonyítani, hogy Isten valójában matematikus.

Tulajdonképpen már Newton óta, de még inkább Einstein óta a fizika célja az volt, hogy a Kepler által elképzelthez hasonló, egyszerű matematikai alapelveket találjon, majd ezek segítségével alkossa meg a mindenség egyesített elméletét, amely az általunk a természetben megfigyelhető anyag és erők minden részletéről számot adna. A XIX. század végén és a XX. század elején Maxwell, illetve Einstein egyesítette az elektromosság, a mágnesség és a fény elméletét. Az 1970-es években megalkották a standard modellt, az erős, a gyenge és az elektromágneses kölcsönhatás egyesített elméletét. Ezután született meg a húrelmélet és az M-elmélet, amelyekkel megpróbálták a megmaradó negyedik kölcsönhatást, a gravitációt is beépíteni a rendszerbe. A cél az volt, hogy ne csak egy olyan elméletet találjanak, amelyik az összes kölcsönhatásra magyarázatot ad, hanem ugyanez az elmélet egyúttal adja meg a szóban forgó összes alapvető paramétert, így például a kölcsönhatások erősségét, valamint az elemi részecskék tömegét és töltését. Amint Einstein megfogalmazta, abban reménykedtek, hogy kijelenthetik: „a természet úgy van megalkotva, hogy logikailag lehetséges olyan erősen meghatározott törvények felírása, amely törvényeken belül csakis racionálisan teljes

mértékben meghatározott állandók fordulnak elő (vagyis nincsenek benne olyan állandók, amelyek számértéke az egész elmélet lerombolása nélkül megváltoztatható lenne).” Valószínűtlen, hogy egy egyedi elmélet pontosan úgy lenne beszabályozva, hogy az lehetővé tegye a létezésünket. De ha a legújabb eredmények fényében úgy értelmezzük Einstein álmát, hogy olyan egyedi elméletre vágyott, amelyik nemcsak erre a Világegyetemre ad magyarázatot, hanem az összes többi lehetséges univerzumra is, a bennük érvényes különböző törvények teljes spektrumával együtt, akkor az M-elméletnek jó esélye van arra, hogy az Einstein által elképzelt elmélet legyen. De vajon az M-elmélet egyedi, vagy létezését valamilyen egyszerű logikai elv követeli meg? És válaszolni tudunk-e arra a kérdésre, hogy *miért éppen az M-elmélet?*



8

A NAGY TERV

K

ÖNYVÜNKBEN LEÍRTUK, miként vezetett a különböző égitestek, így a Nap, a Hold és a bolygók mozgásában tapasztalt szabályszerűségek felismerése arra az elgondolásra, hogy talán ezeknek a testeknek a mozgását állandó törvények irányítják, nem pedig istenek és démonok önkényes szeszélyei. Ezeknek a törvényeknek a létezése először a csillagászatban (vagy az asztrológiában, amelyet akkor a csillagászattal azonosnak tekintettek) vált nyilvánvalóvá. A földi tárgyak viselkedése olyan bonyolult és olyan sok hatásnak van kitéve, hogy az ókori civilizációkban még nem voltak képesek felismerni a jelenségeket irányító szabályszerűségeket vagy törvényeket. Fokozatosan azonban a csillagászaton kívüli tudományterületeken is újabb és újabb törvényeket ismertek fel, amelyek elvezettek a természettudományos determinizmus kialakulásához. Ennek értelmében léteznie kell a törvények egy teljes rendszerének, amelyek segítségével – ha ismerjük a Világegyetem állapotát egy meghatározott időpontban – meg tudjuk állapítani, miként fejlődik a Világegyetem az idő múlásával. Ezeknek a törvényeknek mindig és mindenütt érvényeseknek kell lenniük; máskülönben nem lennének törvények. Nem létezhetnek kivételek vagy csodák. Az istenek vagy démonok nem avatkozhatnak be a Világegyetem működésébe.

Abban az időben, amikor a tudományos determinizmus gondolata először felbukkant, Newton mozgástörvényein és gravitációs törvényén kívül más természeti törvényt nem ismertek. Már írtunk arról, miként terjesztette ki ezeknek az

elméleteknek az érvényességi körét Einstein az általános relativitáselméletben, és milyen más természeti törvényeket fedeztek fel, amelyek a Világegyetemet más vonatkozásokban irányítják.

A természet törvényei megmondják, *hogyan* viselkedik a Világegyetem, viszont nem válaszolnak a *miért?* kérdésekre, amelyeket könyvünk elején tettünk fel:

Miért van ott valami a semmi helyett?

Miért létezünk?

Miért éppen ezek a törvények érvényesek, miért nem mások?

Egyesek szerint ezekre a kérdésekre az a válasz, hogy ott van Isten, aki úgy döntött, hogy ilyennek teremti meg a világot. Ésszerű feltenni a kérdést, hogy ki vagy mi teremtette meg a Világegyetemet, de ha a válasz Isten, akkor a kérdést egyszerűen csak odébb toltuk, és azt kérdezhetjük, hogy akkor ki teremtette Istent. E felfogás szerint bizonyos dolgok úgy is létezhetnek, hogy nincs teremtetőjük, és ezt a valamit Istennek nevezzük. Ezt az Isten létezése mellett szóló, Istent első (vagy végső) oknak tekintő érvelésnek nevezzük. Mi azonban azt állítjuk, hogy ezeket a kérdéseket meg lehet válaszolni tisztán a természettudomány birodalmán belül, vagyis isteni lények segítségül hívása nélkül.

A modellfüggő realizmus 3. fejezetben ismertetett elgondolása szerint agyunk értelmezi az érzékszerveinkből jövő jelzéseket, és azok alapján elkészíti a külső világ modelljét. Tudatunkban fogalmat alkotunk az otthonunkról, a fáról, más emberekről, a hálózati csatlakozóból folyó elektromos áramról, az atomokról, a molekulákról és a más univerzumokról. Ezek a fogalmi képek jelentik az egyetlen valóságot, amelyet ismerünk. Nem létezik a valóság modelltől független ellenőrzése. Ebből következően egy jól megalkotott modell létrehozza a saját valóságát. A valóság és a teremtés

kérdéseiről egy példa segítségével gondolkodhatunk el. Ez a példa egy John Conway nevű, cambridge-i matematikus által 1970-ben kitalált úgynevezett Életjáték.

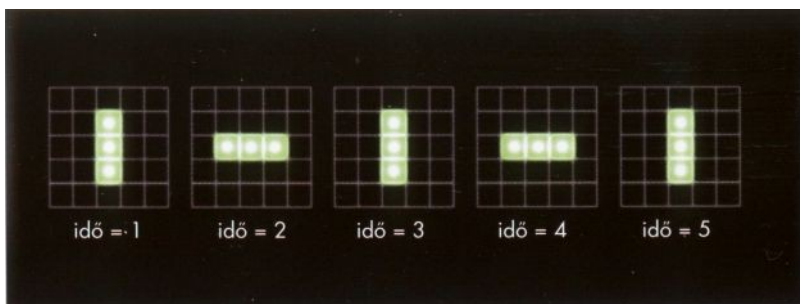
Az Életjáték nevében a „játék” némileg félrevezető megjelölés. Ebben a játékban ugyanis nincsenek nyertesek és vesztesek; valójában játékosok sincsenek. Az Életjáték valójában nem is játék, hanem szabályok vagy törvények egy csoportja, amelyek egy kétdimenziós univerzumot irányítanak. Ez egy determinisztikus univerzum: ha egyszer beállítottuk a kiinduló helyzetet, vagyis a kezdeti feltételeinket, akkor a törvények meghatározzák, mi történik a jövőben.

A Conway által elképzelt világ egy négyzetháló, olyan, mint egy sakktábla, csak minden irányban végtelen kiterjedésű. Minden egyes négyzetnek kétféle állapota lehet: élő (ezeket a következő ábrákon zölddel jelöltük) vagy élettelen (ezek a feketék). Minden egyes négyzetnek nyolc szomszédja van: fölötte, alatta, jobbra, balra és a négy csúcsánál. Az idő ebben a világban nem folytonosan, hanem diszkrét lépésekben múlik. Ha adott az élettelen és az élő négyzetek tetszés szerinti elrendezése, akkor az élő szomszédok száma az alábbi szabályok szerint meghatározza, mi történik a következő lépésben:

1. Az élő négyzet az adott lépésben életben marad, ha két vagy három élő szomszédja van (túlélés).
2. Ha az élettelen négyzetnek pontosan három élő szomszédja van, akkor az adott lépésben élő sejté válik (születés).
3. Minden más esetben a sejt elpusztul vagy élettelen marad. Ha egy élő négyzetnek csak nulla vagy egy élő szomszédja van, akkor a magányosságba (elszigetelődésbe) pusztul bele. Ha háromnál több élő szomszédja van, akkor a túlnépesedés miatt pusztul el.

Ez minden, amire szükségünk van. Adott kezdeti feltételek esetén ezek a szabályok lépésről lépésre, automatikusan generálják a soron következő generációkat. Egy elszigetelt élő négyzet, amelynek két élő szomszédja van, a következő generációban elpusztul, mert nincs elég szomszédja. Egy átló mentén egymás mellett elhelyezkedő három négyzet valamivel tovább él. Az első lépést követően a két szélső négyzet elpusztul, csak a középső marad életben, a következő lépést viszont már az sem éli túl. Ilyen módon bármely átlós vonal „elpárolog”. Ha azonban a három élő négyzet egymás mellett, egy vonalban helyezkedik el, akkor a középsőnek ezúttal is két élő szomszédja van, így életben marad, a vonal két végén lévő, szélső négyzetek viszont elpusztulnak. Ebben az elrendezésben viszont a középső négyzet alatt és fölött elhelyezkedő cellákban születés történik. A vízszintes vonal tehát a következő lépésben függőleges oszloppá alakul. Hasonló módon a következő lépésben az oszlop sorrá alakul, és így tovább. Az ilyen oszcilláló formákat lüktető (villogó) alakzatoknak nevezzük.

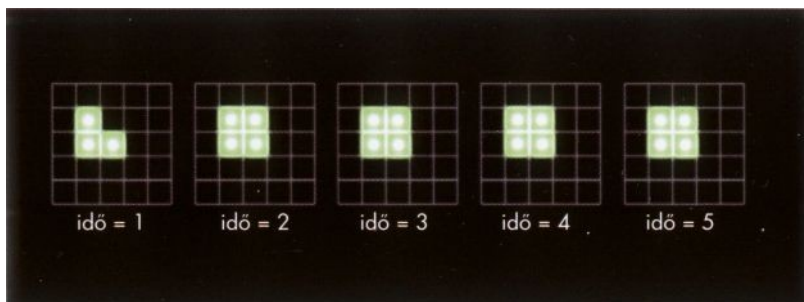
Ha három élő négyzet L-alakban helyezkedik el, akkor újfajta viselkedést tapasztalunk. A következő generációban az L szárai által közrefogott négyzet élővé válik, így 2x2-es tömb alakul ki.



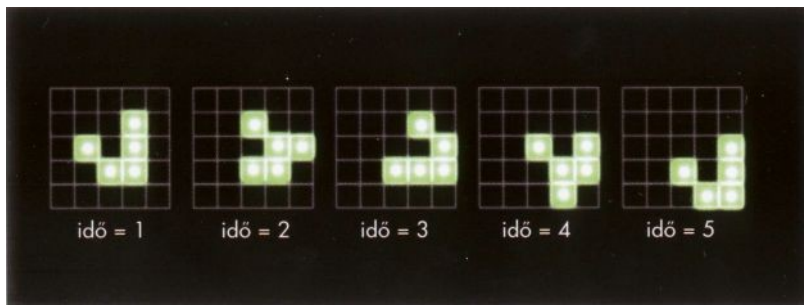
36. Lüktető – A lüktetők az Életjáték összetett objektumai közül a legegyszerűbbek közé tartoznak.

A tömb az úgynevezett tengődő alakzatok közé tartozik, mert generációkon keresztül változatlan formában él tovább.

Sok olyan alakzat létezik, amely kezdetben átalakul, majd bizonyos számú lépés után tengődő alakzattá válik, esetleg elhal vagy visszatér a kiinduló alakzathoz, és az egész folyamat újra kezdődik.



37. Tengődővé fejlődés – Az Életjáték egyes összetett objektumai bizonyos idő elteltével olyan alakzattá fejlődnek, amelyek a játékszabályok értelmében többé már nem változhatnak meg.



38. Sikló – A siklók ezeken az átmeneti állapotokon keresztül fejlődve néhány lépés után visszanyerik eredeti alakjukat, de eközben átlós irányban egy négyzettel eltolódnak.

Vannak azután siklónak nevezett alakzatok, amelyek más formákká alakulnak át, de néhány generáció elteltével visszatérnek eredeti formájukhoz, azonban eközben az egész

alakzat átlós irányban egy lépéssel odébb tolódik. Ha megfigyeljük ezeknek az alakzatoknak az időbeli fejlődését, akkor azt tapasztaljuk, hogy lassan odébb csúsznak a pályán. Amikor ezek a siklók összeütköznek egymással, akkor különös átalakulások történhetnek, attól függően, hogy az ütközés pillanatában éppen milyen volt a két sikló alakja.

Ezt az univerzumot az teszi érdekessé, hogy bár az alapvető „fizikája” nagyon egyszerű, a kialakuló „kémia” mégis bonyolult lehet. Ez azt jelenti, hogy a különböző mérettartományokban bonyolult objektumok léteznek. A legkisebb mérettartományban az alapvető fizikai törvények azt írják elő, hogy csak élő vagy élettelen négyzetek létezhetnek. A nagyobb méretek világában sikló, lüktető és tengődő alakzatok egyaránt előfordulhatnak. Még nagyobb skálán még bonyolultabb objektumok jöhetnek létre, például siklókat kilövő ágyúk: ezek olyan stacionárius alakzatok, amelyek bizonyos időközönként új siklóknak adnak életet, amelyek azután a fészket elhagyva, saját átlós pályáikon csúsznak tova.

Ha bármely léptékben egy ideig figyeljük az Életjáték menetét, akkor felállíthatunk olyan szabályokat, amelyek az adott mérettartományban az objektumok mozgását irányítják. Így például a mindössze néhány négyzet kiterjedésű objektumok világában megfogalmazhatjuk „a tömbök soha nem mozognak” szabályt. Egy másik szabály lehet „a siklók átlósan mozognak”, az objektumok ütközésére pedig a legkülönbözőbb szabályok érvényesek. Az összetett objektumok szintjén felépíthetjük viselkedésük teljes fizikáját. Ez olyan egyedeket és fogalmakat is tartalmaz, amelyek az eredeti törvényekben egyáltalán nem fordulnak elő. Így például az eredeti szabályokban egyáltalán nem szerepel az „ütközés” vagy a „mozgás” fogalma. Az eredeti szabályok csupán az egyes négyzetek születését, túlélését és pusztulását írják le. Akárcsak a mi Világegyetemünkben, az

Életjátékban is az alkalmazott modelltől függ az, amit valóságnak tekintünk.



39. Siklót kilövő ágyú eredeti alakja – A siklót kilövő ágyú nagyjából tízszer akkora, mint egy sikló.

Conway és tanítványai azért építették fel ezt a világot, mert arra voltak kíváncsiak, hogy megjelenhetnek-e elegendően bonyolult, szaporodásra képes objektumok egy olyan univerzumban, amelyet az általuk definiálthoz hasonlóan egyszerű alapvető szabályok irányítanak. Léteznek-e az Életjátékban olyan bonyolult objektumok, amelyek pusztán néhány generáción keresztül a saját világuk szabályait követve saját magukhoz hasonló, új objektumokat dobnak ki magukból? Conway és tanítványai nemcsak azt bizonyították be, hogy ez lehetséges, hanem azt is megmutatták, hogy egy ilyen objektum bizonyos értelemben intelligens! Mit értsünk ezen? Pontosabban fogalmazva ők azt bizonyították be, hogy

az önmaguk reprodukálására képes négyzetek óriási halmazai „univerzális Turing-gépet” alkotnak. A mi szempontunkból ez azt jelenti, hogy bármely számítás esetén, amelyet a mi fizikai világunkban egy számítógép elvben végre tud hajtani, ha a gépet ellátjuk a megfelelő bemenő adatokkal – azaz betápláljuk az Életjáték világának megfelelő környezetet –, akkor néhány generációval később a gép abba az állapotba kerül, amelyből olyan kimenő adatokat tudunk kiolvasni, amelyek megfelelnek az adott, a számítógéppel végrehajtott számítás eredményének.

Ha valamennyire érzékelné szeretnénk, hogyan működik ez, akkor vegyük szemügyre, mi történik, amikor siklókat lövünk ki élő négyzetek egyszerű, 2x2-es tömbje felé. Ha a siklók megfelelő módon közelítik meg az addig állandó állapotú (tengődő) tömböt, akkor a tömb elmozdul vagy a siklók forrása felé, vagy attól elfelé. Ily módon a tömb egy számítógép memóriáját tudja utánozni.



40. Siklót kilövő ágyú 116 időbeli lépés után – A siklót kilövő ágyú alakja bizonyos idő elteltével megváltozik, kibocsát magából egy siklót, majd visszaalakul eredeti formájába. A folyamat a végtelenségig ismétlődik.

Valójában egy korszerű számítógép minden alapvető funkciója, mint például a logikai ÉS és VAGY kapuk működése, előidézhető a siklók segítségével. Hasonlóan ahhoz, ahogyan a fizikailag létező számítógépben elektromos jeleket küldünk, az Életjáték számítógépében siklók áramát használhatjuk információ küldésére és feldolgozására.

Az Életjátékban, akárcsak a mi világunkban, az önreprodukáló minták bonyolult objektumok. Neumann János egyik korai munkája alapján megbecsülték, hogy az Életjátékban egy önreprodukáló minta minimális mérete tízbillió négyzet lehet – vagyis nagyjából annyi, mint egyetlen emberi sejt molekuláinak a száma.

Az élőlényeket olyan korlátozott méretű, komplex rendszerekként definiálhatjuk, amelyek stabilak és önmagukat reprodukálják. A fentebb leírt objektumok eleget tesznek a reprodukció feltételének, de valószínűleg nem stabilak: a külső világból érkező kis zavar hatására tönkremegy a finoman működő mechanizmus. Könnyű azonban elképzelni, hogy valamivel bonyolultabb törvények lehetővé tennének olyan bonyolult rendszereket, amelyeknek megvan az élet minden tulajdonsága. Képzeljünk el egy ilyen típusú dolgot, a Conway típusú világ egy objektumát. Egy ilyen objektum válaszokat adna a környezetből érkező ingerekre, ennél fogva úgy tűnik, mintha döntéseket hozna. Tudatában lenne-e egy ilyen élet önmagának? Lenne-e öntudata? Ez olyan kérdés, amelyet illetően határozottan megoszlanak a vélemények. Egyesek szerint az öntudat olyasvalami, ami kizárólag az emberekre jellemző. Ez adja meg számukra a szabad akarat lehetőségét, azt, hogy képesek legyenek a különböző, lehetséges cselekvési sorok közül választani.

Hogyan lehet eldönteni, hogy egy lénynak van-e szabad akarata? Ha találkozunk egy földönkívülivel, hogyan dönthetjük el, hogy az csak egy robot, vagy pedig van saját tudata? A robot viselkedése teljes mértékben meghatározott, ellentétben egy olyan lénnel, akinek szabad akarata van. Ezek szerint tehát elvben arról ismerhetünk fel egy robotot, hogy annak a cselekedetei mindig előre jelezhetők. Amint a 2. fejezetben már említettük, ez lehetetlenül nehéz, ha a lény nagy és bonyolult. Már három vagy több részecske esetén sem tudjuk a viselkedésüket leíró egyenleteket pontosan megoldani. Minthogy egy emberhez hasonló méretű földönkívüli körülbelül ezer billiószor billió részecskéből állna még akkor is, ha robot lenne, ezért lehetetlen lenne megoldani az egyenleteket, és megjósolni, mit fog tenni. Ezért azt kell mondanunk, hogy minden bonyolult felépítésű lénynak van szabad akarata – bár ez nem alapvető jellegzetessége, csak a gyakorlati célokra szolgáló effektív elmélet, annak elismerése, hogy képtelenek vagyunk elvégezni azokat a számításokat, amelyekkel előre tudnánk jelezni a lény cselekedeteit.

Conway Életjátékának példája azt mutatja, hogy még a törvények nagyon egyszerű csoportja is létrehozhat bonyolult alakzatokat, amelyek az értelmes élőlényekhez hasonlóak. A törvények számos, ilyen tulajdonságú csoportja létezhet. Mi tünteti ki a Világegyetemünket irányító alapvető törvényeket (ellentétben a megfigyelhető törvényekkel)? Akárcsak Conway univerzumában, a mi Világegyetemünk törvényei is meghatározzák a rendszer fejlődését, ha adott annak állapota egy bizonyos időpontban. Conway világában mi vagyunk a teremtők – mi választjuk meg az univerzum kezdeti állapotát azzal, hogy megadjuk a játék kezdetén az objektumok alakját és elhelyezkedését.

A fizikai univerzumban az Életjáték olyan objektumainak, mint például a síkló, önálló anyagi testek felelnek meg. Egy folytonos világban, mint amilyen a miénk is, a törvények

bármely csoportja tartalmazza az energia valamilyen fogalmát. Az energia megmaradó mennyiség, ami azt jelenti, hogy nagysága nem változik az időben. Az üres tér energiája állandó, függetlenül az időtől és a helytől. Ezt az állandó vákuumenergiát kivonhatjuk, ha megmérjük a tér bármely térfogatának energiáját az üres tér ugyanekkora térfogatának energiájához képest, úgyhogy az állandót akár nullának is tekinthetjük. Bármely természeti törvénynek ki kell elégítenie azt a követelményt, hogy egy üres térrel körülvett, elszigetelt test energiája pozitív, ami azt jelenti, hogy munkát kell végeznünk, ha részeiből össze akarjuk rakni az illető testet. Ez azért van így, mert ha egy elszigetelt test energiája negatív lenne, akkor azt a testet létre lehetne hozni olyan mozgásállapotban, hogy a test negatív energiáját pontosan egyenlítsse ki a mozgásából adódó pozitív energia. Ha ez igaz lenne, akkor semmilyen ok sem tiltaná, hogy bárhol és mindenhol különböző testek bukkanak fel. Ezek szerint viszont az üres tér instabil lenne. Ha viszont energiát kell befektetnünk egy elszigetelt test létrehozásához, akkor nem fordulhat elő ilyen instabilitás, mert, mint említettük, az Univerzum energiájának állandónak kell maradnia. Ez az, ami lokálisan stabillá teszi az Univerzumot – vagyis ezért nem lehetséges, hogy bárhol a semmiből előbukkanva dolgok jelenjenek meg.

Ha az Univerzum teljes energiájának mindig nullának kell maradnia, és egy test létrehozásához energiát kell befektetni, akkor hogyan teremthető egy teljes univerzum a semmiből? Ezért kell léteznie egy, a gravitációhoz hasonló törvénynek. Minthogy a gravitáció csakis vonzó kölcsönhatás, ezért a gravitációs energia negatív: a gravitáció által összetartott valamely rendszer – például a Föld és a Hold – esetében annak szétszedéséhez kell energiát befektetnünk. Ez a negatív energia kiegyenlítheti azt a pozitív energiát, amelyre az anyag létrehozásához van szükség, bár a helyzet azért nem ennyire egyszerű. A Föld negatív gravitációs energiája

például még egymilliárdod részét sem teszi ki a Földet alkotó anyagi részecskék pozitív energiájának. Egy nagyobb testnek, például egy csillagnak, még negatívabb a gravitációs energiája, még hozzá minél kisebb (vagyis minél közelebb vannak a részei egymáshoz), annál negatívabb lesz a gravitációs energia. De még mielőtt nagyobb lenne a negatív gravitációs energia, mint az anyag pozitív energiája, a csillag fekete lyukká omlik össze, márpedig a fekete lyukak energiája pozitív. Ezért stabil az üres tér. A különböző testek, például a csillagok vagy fekete lyukak nem tűnhetnek elő egyszerűen csak úgy, a semmiből. Az egész univerzum viszont megteheti ezt.

Minthogy a gravitáció torzítja a teret és az időt, ezért lehetséges, hogy a téridő lokálisan stabil, globálisan viszont instabil legyen. Az egész univerzum léptékében az anyag pozitív energiáját *kiegyenlítheti* a negatív gravitációs energia, így tehát nincs akadálya az egész univerzumok teremtdésének. Mivel létezik egy gravitáció jellegű törvény, ezért az univerzum a 6. fejezetben leírt módon létre tudja hozni és létre is hozza saját magát a semmiből. A spontán teremtdés az oka annak, hogy a semmi helyett valamit találunk, annak, hogy a Világegyetem létezik, és mi is létezőnk benne. Nem szükséges tehát Istent segítségül hívni ahhoz, hogy meggyújtsa a gyújtózsínórt és ezzel működésbe hozza a Világegyetemet.

Miért olyanok az alapvető törvények, amelyeneknek leírtuk őket? A végső elméletnek logikailag következetesnek kell lennie és véges eredményeket kell adnia azokra a mennyiségekre, amelyeket meg tudunk mérni. Láttuk, hogy kell lennie egy gravitáció jellegű törvénynek, az 5. fejezetben pedig azt láttuk, hogy a gravitációelmélet akkor ad véges eredményeket, ha az elmélet szuperszimmetrikus a természetben található anyagra, illetve az erre ható erőkre nézve. Az M-elmélet a legáltalánosabb szuperszimmetrikus gravitációelmélet. Ennek következtében jelenleg ez az

egyetlen jelölt arra, hogy az Univerzum mindent átfogó elmélete legyen. Ha az elmélet véges – és ezt még bizonyítani kell – akkor ez egy önmagát megteremtő univerzum modellje lesz. Nekünk pedig ezen univerzum részeinek kell lennünk, mert nem létezik más következetes modell.

Az M-elmélet talán az az egyesített elmélet, amelynek felfedezésében Einstein reménykedett. Nagy diadal az a tény, hogy mi, emberi lények – akik magunk is csak a természet alapvető részecskéinek az összessége vagyunk – ilyen közelre tudtunk jutni a bennünket és a Világegyetemünket irányító törvények megértéséhez. De az igazi csoda mégis csak az, hogy az elvont logikai megfontolások elvezetnek egy olyan egyedi elméletig, amelyik megjósol és leír egy hatalmas univerzumot, olyan csodálatos változatosságúnak, amilyennek látjuk. Ha az elméletet igazolják a megfigyelések, akkor ez lesz a betetőzése egy több mint 3000 éve tartó kutatásnak. Akkor majd elmondhatjuk, hogy rátaláltunk a tökélyre vitt konstrukcióra.

KISLEXIKON

alternatív történelmek – a kvantumelmélet egyik megfogalmazása, amelyben bármely megfigyelés valószínűsége az összes lehetséges olyan történelemből áll össze, amelyek az adott megfigyeléshez vezethetnek.

alulról felfelé megközelítés – kozmológiai elképzelés, amely azon a feltevésen alapul, hogy a Világegyetemnek egyetlen történelme létezik, egy pontosan meghatározott kezdettel, továbbá a Világegyetem mai állapota egy ebből a kezdetből kiinduló fejlődés eredménye.

antianyag – az anyagot alkotó minden részecskének van antirészecskéje. Ha egy részecske találkozik saját antirészecskéjével, annihilálódnak, vagyis tisztán energiává alakulnak.

antropikus elv – az az elgondolás, mely szerint a fizika megfigyelhető törvényeire vonatkozóan következtetéseket tudunk levonni abból a tényből kiindulva, hogy mi léteünk.

aszimptotikus szabadság – az erős kölcsönhatás tulajdonsága, amelynek következtében rövid távolságon ez a

kölcsönhatás gyengébb. Ennélfogva, bár a kvarkokat az erős kölcsönhatás tartja fogva az atommagok belsejében, ott mégis úgy mozoghatnak, mintha egyáltalán nem hatna rájuk erő.

atom – a közönséges anyag alapvető egysége; a protonokból és neutronokból álló atommagot a körülötte keringő elektronok veszik körül.

barion – az elemi részecskék egyik típusa; a barionok három kvarkból állnak, ide tartozik a proton és a neutron.

bozon – kölcsönhatásokat közvetítő elemi részecske.

elektromágneses kölcsönhatás – a természet négy kölcsönhatása közül a második legerősebb. Elektromos töltésű részecskék között hat.

elektron – az anyag negatív elektromos töltésű elemi részecskéje; az elektron felelős az elemek kémiai tulajdonságaiért.

erős kölcsönhatás – a természet négy kölcsönhatása közül a legerősebb. Ez az erő tartja össze a protonokat és a neutronokat az atommagban. Sőt ezt tartja össze magukat a protonokat és a neutronokat is, mert azok még kisebb részecskékből, az úgynevezett kvarkokból épülnek fel.

fázis – a hullámcikluson belüli hely.

fekete lyuk – a téridő azon tartománya, amely roppant erős gravitációja következtében leválasztódik a Világegyetem többi részéről.

felülről lefelé megközelítés – az a tárgyalásmód a kozmológiában, amely az Univerzum történelmeit „felülről lefelé”, vagyis a jelenből kiindulva, az időben visszafelé, a múlt irányába haladva követi.

fermion – anyagi típusú elemi részecske.

foton – az elektromágneses kölcsönhatást közvetítő bozon. A fény kvantumrészecskéje.

galaxis – csillagokból, csillagközi anyagból és sötét anyagból álló, a gravitáció által összetartott, hatalmas kiterjedésű rendszer.

gravitáció – a természet négy kölcsönhatása közül a leggyengébb. A gravitáció hatására vonzzák egymást mindazon testek, amelyeknek tömegük van.

gyenge kölcsönhatás – A természet négy kölcsönhatásának egyike. A gyenge kölcsönhatás felelős a radioaktivitás jelenségeért, emellett létfontosságú szerepet játszik az elemeknek a csillagok belsejében való, illetve a korai Világegyetemben történt kialakulásában.

határ nélküli feltétel – annak megkövetelése, hogy az Univerzum történelmei határ nélküli, zárt felületek legyenek.

Heisenberg-féle határozatlansági reláció – kvantummechanikai törvény, amely kimondja, hogy a fizikai mennyiségek bizonyos párjai nem ismerhetők meg egyidejűleg tetszés szerinti pontossággal.

húrelmélet – fizikai elmélet, amelyben a részecskéket rezgési mintázatokként írjuk le, a rezgő objektumoknak csak hosszuk van, szélességük és magasságuk nincs – mintha végtelenül vékony húrdarabkák lennének.

klasszikus fizika – bármely fizikai elmélet, amely azt tételezi fel, hogy a Világegyetemnek egyetlen, jól meghatározott történelme van.

kozmológiai állandó – Einstein téregyenleteinek egyik tényezője, amely a téridőt eredendően a tágulásra való törekvés tulajdonságával ruházza fel.

kvantumelmélet – fizikai elmélet, amelyben az objektumoknak nincs egyetlen, meghatározott történelmük.

kvark – az erős kölcsönhatást érzékelő, törtresznyi elektromos töltésű elemi részecske. A protonok és a neutronok egyaránt három-három kvarkból állnak.

megfigyelhető (szemmel látható) törvények – a mi Világegyetemünkben megfigyelhető természeti törvények – a négy kölcsönhatást és az olyan paramétereket, mint az elemi részecskéket jellemző tömegeket és töltéseket leíró törvények –, szemben az M-elmélet sokkal alapvetőbb törvényeivel, amelyek különböző törvényekkel jellemzett, különböző univerzumokat tesznek lehetővé.

M-elmélet – alapvető fizikai elmélet, esélyes jelölt a mindenség elmélete címre.

mezon – az elemi részecskék egyik típusa, amelyik egy kvarkból és egy antikvarkból áll.

multiverzum – univerzumok sokasága.

neutrínó – rendkívül kis tömegű elemi részecske, amelyre csak a gyenge kölcsönhatás és a gravitáció hat.

neutron – elektromosan semleges barion, a protonnal együtt az atommag alkotórésze.

Ősrobbanás – a Világegyetem történetének sűrű és forró kezdete. Az Ősrobbanás-elmélet kimondja, hogy körülbelül 13,7 milliárd évvel ezelőtt a Világegyetem általunk jelenleg belátható része csak néhány milliméter átmérőjű volt. Ma a Világegyetem ennél sokkal nagyobb és hidegebb, de a teret átható, kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás formájában megfigyelhetjük ennek az ősi korszaknak a maradványát.

proton – pozitív töltésű barion, amely a neutronokkal együtt az atommagot alkotó elemi részecske.

renormálás – matematikai módszer a kvantumelméletben felbukkanó végtelen mennyiségek értelmezhetővé tételére.

szingularitás – a téridő olyan pontja, ahol valamely fizikai mennyiség értéke végtelenné válik.

szupergravitáció – olyan gravitációelmélet, amely a szuperszimmetriának nevezett szimmetriatulajdonságot mutatja.

szuperszimmetria – a szimmetria bonyolult fajtája, amely nem rendelhető hozzá a közönséges térben végrehajtható egyetlen transzformációhoz sem. A szuperszimmetria egyik fontos következménye, hogy a kölcsönhatásokat közvetítő részecskék és az anyagi részecskék, így az erő és az anyag is lényegében ugyanannak a dolognak a kétféle megnyilvánulási módja.

téridő – matematikai tér, amelynek pontjait térbeli és időbeli koordinátákkal kell meghatározni.

valószínűségi amplitúdó – komplex szám a kvantumelméletben, amelynek abszolút értékét négyzetre emelve kapjuk meg valaminek a valószínűségét.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Nemcsak a Világegyetemnek van terve, hanem a könyveknek is. Az Univerzummal ellentétben azonban a könyvek általában nem bukkannak elő spontán módon a semmiből. A könyvnek szüksége van teremtőre, és ez a teher nem nehezedhet kizárólag a szerzők vállára. Éppen ezért elsőként és legfőképpen szerkesztőinknek, Beth Rashbaumnak és Ann Harrisnek mondunk köszönetet szinte végtelen türelmükért. Tanítványaink voltak, ha tanítványokra volt szükségünk, tanáraink voltak, ha tanárookra volt szükségünk, és ők ösztökeltek munkára, ha erre volt szükségünk. Jó szívvel mélyedtek el a kéziratban akkor is, amikor egy vessző helyéről volt szó, de akkor is, amikor arról vitatkoztunk, hogy miért lehetetlen egy negatív görbületű felületet tengelyszimmetrikusan beágyazni a sík térbe. Köszönetet mondunk Mark Hillerynek is, aki volt szíves végigolvasni a kézirat legnagyobb részét, és ahhoz értékes megjegyzéseket fűzött. Carole Lowenstein sokat segített a könyv belső kialakításában. David Stevenson útmutatása alapján vált véglegessé a borító. Loren Noveck minden apró részletre kiterjedő figyelmének köszönhetően sikerült megszabadulnunk egy sor csúnya sajtóhibától, amelyeket nem szívesen láttunk volna viszont nyomtatásban. Mindannyiuk közreműködését ezúton köszönjük. Peter Bollingernek hálásak vagyunk, amiért az illusztrációk készítése során

sikeresen házasította a művészetet a tudománnyal, egyúttal köszönjük buzgalmát, amellyel biztosította, hogy minden apró részlet pontos legyen. Sidney Harris különös érzékenységgel ragadta meg azokat a témákat, amelyekkel a tudósok szembenéznek, neki köszönjük a csodálatos karikatúrákat. Egy másik univerzumban bizonyára ő is fizikus lenne. Hálásak vagyunk ügynökeinknek, Al Zuckermannak és Susan Ginsburgnak támogatásukért és biztatásukért. Általában két üzenetet hallottunk tőlük: „Itt az ideje befejezni a könyvet!” és „Ne aggódjanak, hogy mikorra lesznek készen, a végén úgyis elkészülnek!” Bölcsen el tudták dönteni, mikor melyiket kell mondani. Végül köszönetet mondunk Stephen személyes asszisztensének, Judith Croasdellnek, valamint informatikai segítőinek, Sam Blackburnnek és Joan Godwinnek. Ők hárman nemcsak erkölcsi támogatást nyújtottak, hanem olyan gyakorlati és technikai segítséget is, amely nélkül nem tudtuk volna megírni ezt a könyvet. Emellett ők mindig tudták, hol vannak a legjobb kocsák.

MUTATÓ

Oldalszámozás az eredeti
papírkönyv szerint.

Az illusztrációkra vonatkozó
oldalszámokat *dőlttel* szedtük.

agy 40, 42, 58-59, 204

általános relativitáselmélet 36, 122-

123, 154, 155-157, 160, 161, 192,
204

navigációs mesterséges holdak és ~
122

alternatív történelmek 75-101

Feynman-diagramok és ~ 125-128

kvantumos, illetve Newton-féle
világok és ~ 89

lásd még

kvantumfizika/kvantumelmélet

Anaximandrosz 27, 30

antikvark (π mezon) 61, 131-132

antirealisták 55-57

antropikus elv 183-184

erős 185, 189, 196

gyenge 182, 183, 184

Aquinói Szent Tamás 21, 194

Arisztarkhosz 28, 29, 51

Arisztotelész 24, 29, 31-32, 44, 64, 194

Arkhimédész 26-27

aszimptotikus szabadság 132-133

atomizmus 28

atomok 28, 43, 56, 150, 186

babiloniak 21

barion 131-132

berillium 187-189

Berkeley, George 56-57

bozon 125, 130

Carroll, John W. 37

CERN (Nukleáris kutatások európai
szervezete) 130

Conway, John 205, 209, 211, 212

csillagok

felrobbanása (szupernóva) 183,

189, 190, 192

tömege 180

csodák 39, 40, 44

Darwin, Charles 196

Davisson, Clinton 83

Davy, Sir Humphry 107

Démokritosz 28

Descartes, René 34, 35, 36, 38, 39, 40,
44

Dicke, Robert 183

dualitások 140

Eddington, Arthur 150, 163

effektív elmélet 43, 212

egyiptomi teremtmésmítosz 194

Einstein, Albert

az egyesített elméletéről 197

az időről 115, 118-119

kozmológiai állandó és ~ 192-193

speciális relativitáselmélete 117-
118, 120, 122

táguló Világegyetem és ~ 151

a Világegyetemről 105

a Világegyetem teremtéséről 156

- Lásd még* általános relativitáselmélet
- elektrogyenge kölcsönhatás 130, 134
- elektromágneses erő
 bozonok és ~ 125
 elektrogyenge kölcsönhatás és ~ 130
 elektromágneses hullámok sebessége és ~ 111
 fény és ~ 109
 kvantum-elektrodinamika és ~ 125
 Maxwell-egyenletek és ~ 110, 111
- elektron
 Feynman-diagramok és ~ 126, 127, 127, 128
 kétréses kísérlet és ~ 83
 részecskék pályája 92
- élet
 erős antropikus elv és ~ 185, 189, 196
 evolúció elmélete 41
 Goldilocks-zóna és ~ 180, 181
 gyenge antropikus elv és ~ 182, 183, 189
 intelligens 163, 180, 181, 185, 192
 Isten mint Teremtő 194
 környezeti feltételei 15, 177-178
 létezése 183
 multiverzum fogalma és ~ 182
 Naprendszerben uralkodó feltételek és ~ 39, 122, 178, 180-181, 195
 szén alapú életformák 187
 teremtése 16, 62, 63, 148
- életjáték
 lűktető alakzatok 206, 206, 208
 sikló 207, 207, 208, 209, 210, 210, 211, 213
 siklót kilövő alakzat 209, 209, 210, 210
 tengődő alakzatok 207, 208, 211
 tengődő alakzat evolúciója 207
- ember
 Homo sapiens eredete 24
 létezése a kozmikus történelemhez viszonyítva 148
 robotok vagy ~ 212
 szabad akarat és ~ 29, 40-43, 212
 teremtésének bibliai képe 39
 természeti törvények és ~ 26, 30, 32, 34, 36-38, 44, 161, 172
 emelő törvénye 26, 27
 Empedoklész 27
 energia
 állandó nulla értéke 213
 üres téré 213
 Világegyetemé 206-208
 Epikurosz 29
 erős antropikus elv 185, 189, 196
 erős kölcsönhatás 124, 130, 135, 190
 kvantum-színdinamika és ~ 132, 134
 erőterek 107, 108, 108, 109, 125
 éter (fényterjesztő éter) 113-114
 Eukleidész 27
 evolúció 27, 41
 excentricitás, ellipszispályáké 178-179, 179
 Faraday, Michael 107, 108, 109
 fázis 80, 81, 93, 94
 fekete lyuk 111, 123, 194, 214
 felfűvódás (infláció) elmélete 155, 156, 157, 164
 irreguláris univerzum és ~ 164
 felhajtó erő törvénye 27
 fény
 elektromágnesség és ~ 107
 hullámmélete 68
 hullámhossza 109-111
 hullám/részecske kettősség 78, 84
 -interferencia 68, 69, 70, 71, 85
 Michelson-Morley-kísérlet 114
 Newton elmélete (korpuszkuláris fényelmélet) 60, 67, 68
 polarizált 107
 refrakció, fénytörés 67, 67, 68
 sebessége 109, 112-115, 119
 Young-kísérlet 84, 84-85
 fényelektromos jelenség 70
 fermion 125
 Feynman, Richard (Dick) 13, 91, 93, 94-97, 183
 Feynman-diagramok 126, 127, 128, 131, 136
 Feynman-pályák (-útvonalak) 94
 kvantum-elektrodinamika és ~ 125, 127

történelmek összegzése 127, 162, 164
 FitzGerald, George Francis 115
 fizika
 elméleti 26, 61, 93
 képe a Világegyetemről 11-12
 klasszikus 12, 81, 82
 modern 13, 55, 106, 109, 127
 lásd még
 kvantumfizika/kvantumelmélet
 fogyatkozás (nap~ vagy hold~) 21-22, 22, 25, 28
 előrejelzése 22, 25
 foton 85, 86, 97, 125, 137
 Feynman-diagramok és ~ 127
 késleltetett választásos kísérlet 100-101
 Fowler, William 189
 Föld
 ábrázolása (Mercator-vetület, világtérkép) 15
 bolygórendszer 171, 177, 182-183, 196
 görbülete és geodetikus görbék 121, 122
 gravitáció és ~ 43
 időjárásának évszakos változása 178-179
 kopernikuszi modell és ~ 195
 mint a Világegyetem középpontja 50, 51, 171, 195
 pályája 179, 180
 ptolemaioszi modell és ~ 50, 50, 51
 sebessége 106, 112
 teremtése 147
 a természet törvényei és ~ 203
 Fridman, Alekszandr 151-152
 Fuller, Buckminster 77
 fullerének 77, 80, 81, 83, 84, 85, 88, 89, 92, 99, 100
 kétréses futball molekulákkal 78-79
 részecskék pályája 89

galaxisok
 alternatív történelmek és ~ 101
 bolygórendszerei 171-172
 csillagok száma a ~-ban 171-172

inhomogenitások a
 Világegyetemben és ~ 165, 185
 kozmológiai állandó és ~ 192-193
 kvantumfluktuációk és a ~
 kialakulása 164, 166
 nehéz elemek és a ~ kialakulása 185
 táguló Világegyetem és ~ 163-164, 164
 távoli ~ fénye 66
 Galilei, Galileo 29, 34, 38, 44, 52, 64, 105
 szabadon eső testek gyorsulásának elmélete 64
 geodetikus görbék 121, 122
 Germer, Lester 83, 85
 görögök (ókoriak) elméletei 25, 25, 26, 27, 29, 30
 gravitáció
 csillagok, galaxisok és bolygók keletkezése 163, 164
 effektív elmélet és ~ 43, 212
 Einstein általános relativitáselmélete és ~ 120, 121
 az elmélet matematikai megfogalmazása 105
 galaxisok és ~ 150
 kozmológiai állandó és ~ 192
 kvantumelmélet és ~ 134, 135
 M-elmélet és ~ 215
 mint a téridő alakítója 119
 mint gyenge erő 122
 Newton ~s törvénye 120
 pályák és három dimenzió 191
 szupergravitációs elmélet 137
 a tér és az idő görbülése a ~ hatására 158, 159, 160
 gravitációs hullámok 123
 gyenge antropikus elv 182-184
 gyenge kölcsönhatás 130, 133, 134, 190
 kvantum-térelmélete 135

háromalfa reakció 188, 189, 190
 Harris, Sidney karikatúrái 128
 határ nélküli feltétel 161, 163, 167, 170, 196
 Heisenberg, Werner 86, 135

- Heisenberg-féle határozatlansági reláció 86, 135, 138
- hélium
berillium, szén és ~ keletkezése 187
az ősi Világegyetemben 180, 186-190
Ősrobbanás-elmélet és ~ 153, 154
- hidrogén 187
fűziója a csillagokban 154
izotópjai 154
Lamb-eltolódás és ~ 129
az ősi Világegyetemben 153, 186, 187, 190
- Hold
-fogyatkozás 21, 28
gravitáció és a ~ pályája 36, 214
a mitológiában 21, 105, 147, 177
- holográfia elve 55
- Hoyle, Fred 152, 186, 189
- Hubble, Edwin 66, 148, 149, 151, 152
- hullám/részecske kettősség 70
- hullámelmélet
fázis 93
interferencia 68, 69, 70, 71
kétréses kísérlet 83
történelmek Feynman-féle
összegzése és ~ 83, 94, 95, 96
lásd még interferencia
- hullámhossz
látható fény 110
rádióhullámok 110, 110
röntgensugárzás 110, 110
- Hume, David 57
- húrelmélet 138, 139, 197
belső tér 140, 142
tíz dimenzió a ~-ben 141
- idő
görbülete 136, 158, 159
idődilatáció 117
kezdete 160
kísérlet a repülőgépen 111-119
speciális relativitáselmélet és ~ 117
lásd még téridő
- intelligens tervezés 195
- interferencia
vízfelszínen 71, 71
kétréses kísérlet 83, 89, 90, 92, 96, 97, 98, 100, 101
„melyik útvonal” információ és ~ 98, 99, 100, 101
Newton-gyűrűk és ~ 67, 68
Young kísérlete és ~ 84, 85
- ión tudomány 26, 28
- Isten (vagy istenek) 31, 34, 35, 39-40, 147-148, 204
- katódsugarak 59, 60
- Kelvin, William Thomson, Lord 114
- Kepler, Johannes 34, 34, 38, 178, 197
- kereszténység 32, 33, 39, 40, 51, 52
- késleltetett választásos kísérlet 100, 106
- kétréses kísérlet 83, 89, 90, 92, 100, 101
Feynman felfogása 96-98
késleltetett választásos kísérlet 100, 106
kétréses futball 78, 79
„melyik útvonal” információ 98-101
részecskék pályája a kísérletben 92
„kezdeti feltételek” 34-35, 205-206
kínai filozófia és mitológia 177, 194
klepszidra (vízóra) 27
Kopernikusz 51-52, 195
 kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás 153-155
felfűvódás bizonyítéka és ~ 155
- kozmológia 154, 194, 195, 196
„alulról felfelé” megközelítése 127, 166-167, 170
előrejelzés a ~-ában 166-167
„felülről lefelé” megközelítése 167, 168, 170-171
lásd még Világegyetem
- kozmológiai állandó 192-193
- középszerűség elve 184
- kvantum-elektrodinamika 125, 127
Feynman-diagramok és ~ 128
renormálás és ~ 128
- kvantumfizika/kvantumelmélet 84, 90
alapelvei 54, 83
alternatív történelmek 72, 126
Fullerén-kísérlet és ~ 88
gravitáció problémája és ~ 155

határozatlansági reláció 135
kölsönhatásoké, erőké 81
kvantumos szuperpozíció 72
kvantumfluktuációk 164, 166
kvantumos szintű ingadozások 135
kvantum-színdinamika 130, 132, 134
kvarkok 59, 60, 61, 61, 62, 124, 125,
130, 132, 133, 190

Lamb-eltolódás 129

Laplace, Pierre-Simon, márkí 39, 40
lélek 29, 40

Lemaître, Georges 152

levegő felfedezése 28

Lie Yukou 194

lítium 153-154, 186, 187

Lorentz, Hendrick Antoon 115

matematika 26, 31, 35, 36, 105

Maxwell, James Clerk 109-114, 119,
123, 197

M-elmélet 14-16, 71, 140-143, 168-
169

gravitáció problémája 215

hürelmélet és ~ 197-198

a téridő tizenegy dimenziója 141

Mercator-vetület, világtérkép 15, 15,
16

Merkúr 180

mezon 61, 131, 132

Michelson, Albert 114

mindenség elmélete 103-143

modellfüggő realizmus 13, 54, 57, 58,
59, 62, 70, 72, 141, 204, 205

Morley, Edward 114

multiverzum 163, 164, 194, 196

nagy egyesített elméletek (GUT) 133-
134

Nagy Hadronütköztető (LHC, Large
Hadron Collider) 138

Nap 21, 22, 29, 30, 36, 51, 52, 57, 101,
105, 111-113, 124, 147, 177, 179,
180, 184, 191, 203

Neumann János 211

neutron 59, 60, 61, 124, 130, 132-133,
186, 190

neutrínó 220

Newton, Isaac 14, 36, 38, 39, 67, 81,
82, 85, 89, 105, 106, 181, 197
gravitációs törvénye 120, 122, 203

Newton-gyűrűk 68

Newton mozgástörvényei 122, 203

Ørsted, Hans Christian 106

Ösrobbanás 63, 150, 152-156, 183
lásd még teremtés

p-brán 141

Planck-állandó 86, 96

Platón 39, 44, 54

Pope, Alexander 36

protonok 60-61, 124, 130, 132, 133,
134, 186, 190

Ptolemaiosz 50-52, 64, 65, 67

Püthagorasz 26

realizmus 13, 54, 55, 57, 58, 59, 62, 70,
72, 141

relativitáselmélet *lásd* Einstein, Albert

renormálás 128, 129, 136

részecskeelmélet 68, 70

rezonancia 189

Salam, Abdus 130

Schönbörn, Christoph 194

speciális relativitáselmélet 117-118,
120, 122

standard modell 65, 134-135, 170, 197

Straus, Ernst 196

szabad akarat 29, 40-43, 212

szén 183, 185-190, 188

szimmetria 137

szingularitás 154

sztoikusok 30

szupergravitációs elmélet 137-138, 140

szupernóva 183, 189, 190, 192, 193

szuperszimmetria 137, 138, 215

tehetetlenség törvénye 28

tér

görbült, görbülete 120

három dimenziója 119

szívószálak és vonalak 139, 139,
140

- teremtés 16, 62-63, 147-148, 152, 156, 194, 205
- téridő 55, 119, 120, 122, 136, 139, 158, 159, 159, 160, 161, 168, 192, 214
- természet törvényei, természeti törvények 24, 31, 33, 35, 42, 88, 101, 162, 181, 185, 196, 204
- természettudományos determinizmus 39, 40, 44, 203
- természettudományos módszer 30, 57
- Thalész 24, 25, 27
- Thomson, J. J. 60, 114
- történelmek összegzése 94, 127, 162, 164
- tükröződés törvénye 27
- vákuumfluktuációk 135
- valóság
- antirealisták és ~ 55-56
 - aranyhal a gömbakváriumban példája 49, 50, 52, 55, 57
 - holográfia elve és ~ 55
- valószínűségi amplitúdó 93, 94, 95, 123, 166, 168-171
- Világegyetem/Univerzum
- állandó állapot elmélete 66, 211
 - alternatív történelmei 82
 - bolygópályák 177-178
 - bolygórendszerek 191
 - csillagok 51, 82, 89, 124, 150, 153, 163, 164, 171
 - dimenziószáma 140, 141, 142
 - Einstein általános relativitáselmélete és ~ 154-155
 - elemek az ősi ~-ben 184
 - az Élet, a Világegyetem és a Mindenség Végső Kérdése 17
 - ellipszispályák excentricitása 178, 179
- emberközpontú 195
- eredete 62-63
- felfűvódás elmélete (inflációs elmélet) 156, 157
- Föld mint a középpontja 49-51
- gravitáció és ~ 155, 157
- határ nélküli feltétel és ~ 161, 163, 167, 170, 196
- hélium, lítium és hidrogén a ~-ben 153
- inhomogenitások a ~-ben 165, 185
- kettős csillagrendszerek 177, 178
- klasszikus képe 123
- kopernikuszi modellje 195
- kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás és ~ 153, 154, 155
- léggömb analógiája 149, 150, 151
- M-elmélet és ~ 142
- mérete 170
- Ősrobbanás-elmélet 147, 152
- ptolemaioszi modellje 50, 51
- spontán kvantumozó keletkezése 163
- széntartalma 185, 186
- táguló modellje 66, 163
- Tejútrendszer 111, 155, 171
- üres tér 135, 213
- virtuális részecskék 136
- vonatkoztatási rendszer 49, 50, 52, 57, 111, 113, 115, 118, 119
- Wallace, Alfred Russel 196
- Weinberg, Steven 130
- Wheeler, John 100
- Young, Thomas 84, 85
- Zwicky, Fritz 66

A SZERZŐKRŐL

STEPHEN HAWKING harminc éven át a matematika Lucas-professzora volt a Cambridge-i Egyetemen. Számos kitüntetés és más elismerés birtokosa, többek között legújabban megkapta a Szabadság Elnöki Érmét (az Egyesült Államok elnökétől). A nagyközönségnek szóló könyvei közül immár klasszikussá vált *Az idő rövid története* (*A Brief History of Time*), továbbá az *Einstein álma* (*Black Holes and Baby Universes*) című tanulmánygyűjtemény, valamint *A Világegyetem dióhéjban* (*The Universe in a Nutshell*) és *Az idő még rövidebb története* (*A Briefer History of Time*). Angliában, Cambridge-ben él.

www.hawking.org.uk

LEONARD MLODINOW a CalTech (Kaliforniai Műszaki Egyetem) fizikusa, ugyancsak számos nagy sikerű ismeretterjesztő könyv szerzője: *The Drunkard's Walk: How Randomness Rules Our Lives*; *Eukleidész ablaka: a geometria története a párhuzamosoktól a hipertérig* (*Euclid's Window: The Story of Geometry from Parallel Lines to Hyperspace*); *Feynman szivárványa: szépség a fizikában és az életben* (*Feynman's Rainbow: A Search for Beauty in Physics and in Life*) és *Az idő még rövidebb története* (*A Briefer History of Time*). Emellett szövegkönyvíróként közreműködött a *Star Trek: Az új nemzedék* című filmsorozat elkészítésében. A kaliforniai South Pasadenában él.

www.its.caltech.edu/~Len