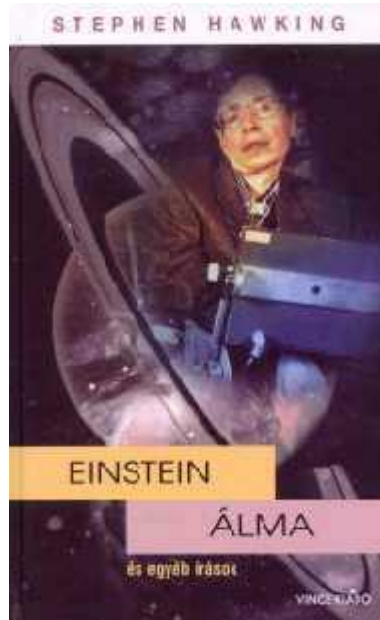


Stephen Hawking: Einstein álma

- és egyéb írások -

(Vince Kiadó, Budapest, 1999.)



Fülszöveg



STEPHEN HAWKING nevét *Az idő rövid története* című könyve tette világhírűvé, amely tudományos műveknél példátlan népszerűsége tett szert. Most, esszéinek és egyéb írásainak e kötetéből közelebbről is megismerhetjük az embert, a tudóst, a képzeletdús és szigorú gondolkodót. Beszéljen akár gyermekkoráról, tanulmányairól, könyvének bestsellerré válásáról vagy az univerzum eredetéről és jövőjéről; tiszta stílusban, visszafogott humorral egy lenyűgöző egyéniség szól hozzánk.

Örökké tágulni fog a világegyetem, vagy minden összeomlik a Nagy Zuttyban, amely értelmetlenné teszi a fizikai törvényeket? Stephen Hawking, a bámulatosan népszerű *Az idő rövid története* című könyv szerzője fényt derít az idő és az űr legsötétebb régióira, és rendkívüli jövőképet vetít elénk."

The Times

Gyermekkorom * Oxford és Cambridge * Tapasztalataim a mozgatóideg-sorvadásról * A tudomány és a közvélemény * *Az idő rövid történetének* rövid története * Véget ér az elméleti fizika? * Einstein álma * A világegyetem eredete * Fekete lyukak és bébi-univerzumok * Minden előre meghatározott? * A világegyetem jövője * *Lemez a lakatlan szigeten: rádióriport*

"Stephen Hawkingnak ismét bejött. *Az idő rövid történetével* sikerült megnyernie a lehető legszélesebb olvasóközönség érdeklődését a lehető legelvontabb elméleti asztrofizikához. Most megint kitört a tudományos gettóból, hogy intellektuális és kulturális hírverést csináljon a tudománynak... Az *Einstein álma* még tovább visz minket, jóval túl a határokon... Forduljunk Stephen Hawkinghoz, ha szét akarunk nézni az univerzumi végeken."

Independent on Sunday

Stephen Hawking:

Einstein álma

- és egyéb írások -

(Vince Kiadó, Budapest, 1999.)



A mű eredeti címe:

Black Holes and Baby Universes (and Other Essays)

Copyright © by Stephen Hawking, 1993

A fordítás a Bantam Books 1994. évi kiadása alapján készült

Fordította: Ungvárainé Nagy Zsuzsanna és Ungvárai János

A fordítást ellenőrizte és a magyar nyelvű ajánlott irodalom jegyzékét?

összeállította: dr. Abonyi Iván

Minden jog fenntartva. Kritikákban és recenziókban felhasznált rövid idézetek kivételével a mű egyetlen része sem reprodukálható semmilyen eljárással a jogtulajdonos előzetes engedélye nélkül

Az első kiadás utánnomása

Kiadta a Vince Kiadó Kft., 1999

1027 Budapest, Margit körút 64/b

A kiadásért a Vince Kiadó igazgatója felel

Hungarian translation © Ungvárainé Nagy Zsuzsanna,

Ungvárai János, 1999

Szerkesztette: Teravagimov Péter

Műszaki szerkesztő: Haiman Ágnes

Tördelés: Szmrecsányi Mária

Nyomta és kötötte a Reálszisztéma Dabasi Nyomda Rt.

Felelős vezető: Dr. Hall Géza vezérigazgató

ISBN 963 9192 26 0

Előszó

Ezt a kötetet 1976 és 1992 között írt tanulmányaimból állítottam össze. Vannak közöttük önéletrajzi vázlatok, tudományfilozófiai írások, valamint olyan tanulmányok, amelyekkel a tudomány és a világegyetem iránti elragadtatásomat szeretném kifejezni. A kötet a *Lemezek a lakatlan szigeten (Desert Island Discs)* c. rádióműsorban elhangzott beszélgetés szövegével zárul. Ez a műsor a BBC különleges sorozata, amelyben a meghívott vendéget felkérlik, hogy képzelje magát egy lakatlan szigetre sodort hajótörött helyébe. Ki kell választania nyolc hanglemezt, és megmentéséig ezek hallgatásával töltheti az időt. Szerencsére nem kellett sokáig várnom, és visszatérhettem a civilizációba.

A tanulmányok tizenhat év leforgása alatt születtek. Mindegyik tanulmány a megírás időpontjának megfelelő ismereteimet tükrözi, ezek pedig az évek múlásával egyre gyarapodtak, legalábbis remélem. Az egyes írások keletkezésének időpontját és körülményeit minden esetben feltüntettem. Valamennyi fejezetet önálló tanulmányként írtam, ezért a könyv elkerülhetetlenül tartalmaz ismétléseket: számukat igyekeztem csökkenteni, de néhány így is maradt.

A kötet egyes tanulmányainak kiinduló anyagául előadások kéziratai szolgáltak. A hangom már a hetvenes években annyira érthetlenné vált, hogy előadásaimat és szemináriumaimat csak mások segítségével tudtam megtartani. Általában valamelyik egyetemi hallgatóm segített, aki meg tudott érteni, és megismételte, amit mondtam, vagy felolvasta az általam írt szöveget. 1985-ben azonban egy műtét teljesen megfosztott a beszéd képességétől. Egy ideig egyáltalán nem volt kommunikációs lehetőségem. Végül egy számítógéprendszer és egy rendkívül jó beszéd szintetizátort kaptam. Engem is meglepett, hogy ismét nyilvános előadásokat tudtam tartani nagy hallgatóság előtt. Élvezem, ha a tudományról beszélhetek és kérdésekre válaszolhatok, bár biztos vagyok benne, még sokat kell tanulnom ahhoz, hogy ez egyre jobban sikerüljön. A könyv olvasásával bárki eldöntheti, hogy milyen haladást tettem ezen a téren.

Nem osztom azt a nézetet, hogy a világegyetem örök titok marad előttünk, amelyről csak intuíciónk lehet, teljes mélységben soha nem elemezhetjük és soha nem érthetjük meg. Szerintem ez a nézet nem méltó ahhoz a tudományos forradalomhoz, amely négyszáz évvel ezelőtt Galileivel kezdődött és Newtonnal folytatódott. Ők voltak azok, akik megmutatták, hogy a világegyetemnek legalább néhány részlete nem önkényesen, hanem pontos matematikai törvényeknek megfelelően viselkedik. Galilei és Newton felismerését azóta a világegyetemnek szinte minden tartományára kiterjesztettük. Napjainkban olyan matematikai törvényszerűségek birtokában vagyunk, amelyek a tapasztalat számára hozzáférhető, majdnem valamennyi jelenséget leírják. Sikereink mértékének tekinthető, hogy ma már dollármilliárdokba kerülő hatalmas berendezéseket kell építenünk ahhoz, hogy kellően nagy energiára felgyorsított részecskék ütközése során olyan jelenségek lépjenek fel, amelyeket még nem tudunk megjósolni. Ezek a rendkívül nagy energiájú részecskék a Földön közönséges körülmények között nem fordulnak elő, és sokak számára szükségtelennek tűnhet ezekre a kutatásokra ilyen hatalmas összeget fordítani. Azonban ilyen részecskék a világegyetem korai szakaszában léteztek, ezért ha meg akarjuk érteni, hogyan keletkezett a világegyetem és benne mi magunk, akkor azt is meg kell ismernünk, mi történik ilyen magas energiákon.

A világegyetem még számos rejtélyt tartogat számunkra, de az utóbbi időben, különösen az elmúlt száz évben végbement haladás reményét ébreszt arra, hogy a világegyetem megértése a képességeink által kijelölt határokon belül fekszik. Számos jel mutat arra, hogy nem kell örökké sötétben tapogatóznunk. Egy napon talán eljutunk a világegyetem teljes elméletének megalkotásához, és ezzel valóban az "univerzum szakértőivé" válunk.

A jelen kötet tudományos fejezeteit abban a meggyőződésben írtam, hogy a világegyetemben olyan rend uralkodik, amelyet ugyan ma még csak részben ismerünk, azonban a nem túl távoli jövőben valószínűleg teljesen meg fogunk érteni. Talán ez a remény csak délibáb. Talán nem is létezik ilyen végső elmélet, vagy ha létezik, nem ismerhetjük meg. Ám sokkal jobb, ha az átfogó elmélet megalkotására törekszünk, mintha az emberi értelem képességeiben kételkedünk.

Stephen Hawking
1993. március 31.

Gyermekkorom (*)

(*) Ennek és a következő tanulmányoknak az alapja az az előadás, amelyet 1987-ben Zürichben az International Motor Neurone Disease Society részére tartottam, és azután 1991 augusztusában írt anyagokkal egészítettem ki.

1942. január 8-án születtem, pontosan háromszáz évvel Galilei halála után. Azonban becslésem szerint további kétszázezer csecsemő született ugyanezen a napon; nem tudom, hogy valamelyikük később érdeklődött volna a csillagászat iránt. Oxfordban születtem, bár a szüleim Londonban éltek. Ennek az a magyarázata, hogy a második világháborúban a születés szempontjából Oxford biztonságosabb hely volt, mint London: létezett egy egyezség, amely szerint a németek nem bombázzák Oxfordot és Cambridge-t, viszonzásképpen a britek nem bombázzák Heidelberget és Göttingent. Kár, hogy ezt a civilizált megállapodást nem lehetett kiterjeszteni más városokra is.

Apám Yorkshire-ből származik. Nagyapja (az én dédapám) jómódú gazdálkodó volt. Túl sok birtokot vásárolt, és a század elején a mezőgazdasági válság idején tönkrement. Ez apám szüleit súlyosan érintette, de ennek ellenére sikerült apámat Oxfordba küldeniük, ahol orvosi diplomát szerzett, majd a trópusi betegségek kutatásával foglalkozott. 1937-ben Kelet-Afrikába ment. A háború kitörésekor Afrikát keresztülutazva sikerült egy Angliába induló hajóra szállnia. Hazatérése után önkéntes katonai szolgálatra jelentkezett, azonban azt mondták neki, hogy az orvosi kutatásban hasznosabb munkát végezhet.

Anyám Skóciában, Glasgow-ban született, egy hétgyermekes házi orvos második gyermekeként. Tizenkét éves korában a család a délebbre fekvő Devonba költözött. Apám családjához hasonlóan ők sem voltak gazdagok, de anyámat sikerült Oxfordban taníttatniuk. Oxfordi tanulmányai után különböző munkahelyeken dolgozott, volt például adóellenőr is, de ezt a munkát nem nagyon szerette. Abba is hagyta, és titkárnői állást vállalt. Így ismerte meg apámat a háború első éveiben.

London északi területén, Highgate-ben laktunk. Mary húgom tizennyolc hónappal utánam született. Azt mondják, nem nagyon örültem a megszületésének. Egész gyermekkorunkban volt közöttünk valami feszültség, amelyet talán a csekély korkülönbség okozott. Felnőttkorunkban azonban, amikor már a magunk útját jártuk, ez a feszültség megszűnt. Apám nagy öröme Mary orvos lett. Kisebbik húgom, Philippa akkor született, amikor már majdnem ötéves voltam, és már jobban megérttem, hogy mi történik. Emlékszem, abban a reményben vártam a kistestvér megszületését, hogy ezután majd hárman leszünk játszótársak. Húgom nagyon érdeklődő és jó felfogóképességű gyerek volt, mindig sokat adtam az ítéletére és a véleményére. Öcsém, Edward jóval később született, amikor én már tizennégy éves voltam, így a gyermekkoromra neki már alig volt hatása. Edward nagyon különbözött mindhármunktól, elvont szellemi dolgok iránt egyáltalán nem érdeklődött. Ez valószínűleg mindannyiunknak jót tett. Nehéz természetű, de rendkívül szeretetreméltó gyerek volt.

Legelső emlékeim közé tartozik, ahogy Highgate-ben a Byron House bölcsődéjében álltam és torkomszakadtából bömböltem. Körülöttem mindenütt gyerekek játszottak, a kívülállóknak számára valószínűleg csodálatosnak tűnő játékokkal. Én is szerettem volna csatlakozni hozzájuk, de még csak két és fél éves voltam, és ez volt az első alkalom, amikor idegenek között egyedül hagytak. Azt hiszem, a szüleimet nagyon meglepte a viselkedésem. Mivel én voltam az első gyermekük,

szorgalmasan tanulmányozták a gyermekek fejlődésével foglalkozó könyveket, amelyek szerint kétéves korban kell elkezdni a társas kapcsolatok kialakítását. Azonban e borzalmas reggel után kivettek a bölcsődéből, és még másfél évig nem is adtak be a Byron House-ba.

Akkoriban, a háború alatt és közvetlenül a háború után Highgate olyan környék volt, ahol számos tudományos és szellemi munkával foglalkozó ember élt. Más országokban talán értelmiséginek hívnák őket, de az angolok sosem ismerték el, hogy Angliában vannak értelmiségiek. Ezek a szülők valamennyien a Byron House iskolájába járták a gyermekeiket, amely abban az időben nagyon haladó szellemű intézménynek számított. Emlékszem, egyszer szemrehányást tettem a szüleimnek, hogy otthon semmit sem tanítottak nekem. Nem hittek abban az akkoriban széles körben elfogadott módszerben, hogy a gyerekekbe bele kell sulykolni az ismereteket. Ehelyett azt a felfogást képviselték, hogy a gyerekek úgy tanuljanak meg olvasni, hogy közben észre se vegyék, hogy tanítják őket. Végül megtanultam olvasni, de csak viszonylag későn, nyolcéves koromra. A húgomat, Philippát hagyományos módszerekkel tanították, és ő már négyéves korában tudott olvasni. Négyéves korában ő kétségtelenül okosabb volt, mint én.

Egy magas, keskeny, viktoriánus stílusú házban laktunk, amelyet a szüleim a háború alatt nagyon olcsón vásároltak, amikor mindenki azt hitte, hogy Londont teljesen szétbombázzák. Néhány háznyira tőlünk tényleg becsapódott egy V-2 rakéta. Én a húgommal és anyámmal éppen nem voltam otthon, de apám a házban tartózkodott. Szerencsére nem sérült meg, és a házunk sem rongálódott meg nagyon. A becsapódás helyét azonban évekig egy romos telek jelezte az utcánkban. Legtöbbször oda jártunk játszani barátommal, Howarddal, aki három házzal arrébb lakott a másik irányban. Howard szinte látomás volt számomra, mert az ismerőseim körében ő volt az egyetlen olyan gyerek, akinek a szülei nem értelmiségiek voltak. Howard nem a Byron House-ba, hanem állami iskolába járt, és jól kiismerte magát a futballban és az ökölvívásban. E sportágak iránt a szüleim még álmukban sem érdeklődtek volna.

Egy másik korai emlékem az első játékvonatom. A háború alatt nem gyártottak játékokat, legalábbis nem a hazai piacra. Ennek ellenére szenvedélyesen érdeklődtem a modellvasutak iránt. Apám megpróbált fából kisvasutat készíteni, de ez engem nem elégített ki, mert olyat szerettem volna, amelyik el is tud indulni. Ekkor apám egy használt, felhúzható játékvasutat szerzett, saját maga megforrasztotta, és hároméves koromban karácsonykor meglepett vele. Ez a vonat nem működött valami jól. Aztán apám közvetlenül a háború után Amerikába utazott. Amikor a Queen Maryvel visszatért, anyámnak nejlonharisnyákat hozott, amiket akkoriban Angliában nem lehetett kapni, Mary húgomnak pedig alvóbabát, amely lehunyta a szemét, ha lefektették. Én egy amerikai kisvasutat kaptam, mozdonyán még vágánykotró is volt, és nyolcas alakú sínpályán futott. Még most is emlékszem rá, milyen izgalom fogott el, amikor a dobozát kinyitottam.

A felhúzható vonatokkal már egészen jól lehetett játszani, de én valójában elektromos kisvasutat szerettem volna. A Highgate-hez közeli Crouch Enden órákig elnézegettem a modellvasút klub kirakatát. Elektromos vasútról álmodtam. Végül egy napon, amikor a szüleim távol voltak, kihasználtam az alkalmat, és postai takarékkönyvemből kivettem a teljes (egészében véve szerény) pénzösszeget, amelyet addig a keresztelő vagy más különleges események alkalmából kapott ajándékokból gyűjtöttem. Vettem belőle egy elektromos kisvasutat, amely azonban nagy csalódásomra minduntalan megállt. Ma már több fogalmunk van a vásárlói jogokról. Vissza kellett volna vinnem, és az eladótól vagy a gyártótól egy másikat kérnem helyette. Akkoriban viszont örülni kellett, ha valaki egyáltalán vásárolhatott valamit, és ha az nem jól működött, akkor a vásárlónak egyszerűen nem volt szerencséje. Bár a mozdony elektromos motorját megjavíttattam, sosem működött tökéletesen.

Később, tizenéves koromban repülő- és hajómodelleket építettem. A kezűgyességem sosem volt nagyon jó: a modelleket az egyik iskolatársammal, John McClenahannel együtt készítettem, aki

ügyesebb volt, és édesapja a házukban egy műhelyt is berendezett. Mindig olyan modellt szerettem volna építeni, amelyet irányítani is tudok. A külső forma számomra közömbös volt. Azt hiszem, hasonló vágy hajtott akkor is, amikor egy másik iskolatársammal, Roger Ferneyhough-val olyan játékokat találtunk ki, amelyeket nagyon bonyolult szabályok szerint kellett játszani. Az egyik ilyen játékban gyárakkal ipari termelést kellett folytatni. A gyárak különböző színű termékeket állítottak elő, ezeket utakon és vasutakon kellett szállítani, és még börze is volt benne. Kitaláltunk egy négyezer mezőn zajló háborús játékot is, valamint egy feudalizmus-játékot, amelyben a játékosok egy-egy saját családfával rendelkező dinasztiát képviseltek. Azt hiszem, hogy az ilyen játékok, valamint a játékvasút, a repülő- és a hajómodellek iránti érdeklődésem is abból a vágyból fakadt, hogy meg szerettem volna ismerni a dolgok működését és szabályozásuk módját. Ez a vágy Ph.D. munkám megkezdése óta a világegyetem megismerésére irányul. Ha ugyanis ismerjük a világegyetem működését, akkor bizonyos értelemben akár szabályozni is tudjuk.

Apám munkahelye 1950-ben a Highgate-hez közeli Hampsteadből a London északi pereménél fekvő Mill Hillbe, az újonnan épített National Institute for Medical Research épületébe költözött. Jobbnak tűnt, ha apám nem Highgate-ből utazik naponta oda, hanem elköltözzük Londonból, és inkább bejár a városba. Szüleim ezért a Mill Hilltől kb. 10 mérföldre, Londontól pedig kb. 20 mérföldre északra fekvő St. Albans püspöki városban vettek egy nagyméretű, bizonyos eleganciával rendelkező, jellegzetes viktoriánus stílusú házat. Szüleim nem voltak nagyon jómódúak, amikor megvették, pedig meglehetősen sok javítási munkát kellett elvégeztetni a házon, mielőtt beköltözhattünk. Apám igazi yorkshire-i módra nem volt hajlandó több pénzt kiadni a házon végzendő munkálatokra. Ehelyett maga vette kézbe a dolgokat, nekilátott a festéshez, de a ház meglehetősen nagy volt, neki pedig nem volt sok gyakorlata az ilyen munkákban. A házat nagyon megbízhatóan építették, és jól viselte, ha kissé elhanyagolják. Szüleim 1985-ben adták el, amikor apám már nagyon beteg volt (1986-ban halt meg). Nemrég újra láttam egykori házunkat. Nem úgy nézett ki, mintha azóta lényeges felújítást végeztek volna rajta. Alig változott.

A házat eredetileg olyan háztartás számára tervezték, amelyben személyzet is van, ezért a általában egy tábla volt, amelyen látni lehetett, hogy melyik szobából csengettek. Nálunk természetesen nem volt személyzet, de az én első szobám egy L alakú helyiség volt, amelyben korábban a szobalány lakhatott. Ezt a szobát unokanővérem, Sarah tanácsára kértem magamnak, aki valamivel idősebb volt nálam, és akit nagyon csodáltam. Azt mondta, ott majd sok mulatságos dolgot csinálhatunk. A szoba különleges előnye az volt, hogy ablakából ki lehetett mászni a kerékpártároló tetejére, onnan pedig a földre ugrani.

Sarah anyám legidősebb nővérének, Janetnek a lánya. Janet orvosnak tanult, a férje pedig pszichoanalitikus volt. Tőlünk öt mérföldre északra, Harpendenben laktak, a miénkhez nagyon hasonló házban. Többek között miattuk költöztünk St. Albansba. Nagyon örültem, hogy Sarah közelében lakunk, és gyakran utaztam busszal Harpendenbe. St. Albans a régi római település, Verulamium maradványainak közelében fekszik, amely London után a második legnagyobb római település volt Britanniában. A középkorban St. Albansban állt Britannia leggazdagabb kolostora. Szent Albán sírja körül épült: Albanus római centurio volt, a legenda szerint Britanniában ő volt az első, akit keresztény hite miatt kivégeztek. A kolostorból csak a nagyon nagy és meglehetősen csúnya templom maradt fenn, valamint a kolostor kapuja, amely jelenleg a St. Albans-i iskola részét képezi. Később ebbe az iskolába jártam én is.

Highgate-hez vagy Harpendenhez képest St. Albans konzervatív és unalmas hely volt. Szüleim itt nem nagyon tudtak barátokra lelni. Ez részben saját hibájukból fakadt, mert - különösen apám - visszahúzódo természetű volt. A másik ok viszont az lehetett, hogy a szomszédok életfelfogása különbözött a miénktől. St. Albansban egyik osztálytársam szüleit sem lehetett volna értelmiséginek tekinteni.

Míg Highgate-ben családnk teljesen átlagosnak számított, azt hiszem, hogy St. Albansban kifejezetten excentrikusnak tűnt. Ezt csak fokozta apám magatartása, akit a külsőségek egyáltalán nem érdekelték, ha ezzel pénzt takaríthatott meg. Gyermekkorában a családja nagyon szegény volt, és ez maradandó nyomot hagyott benne. A saját kényelmére nem akart pénzt kiadni, még akkor sem, amikor később ezt már megengedhette volna. Bár nagyon fázós volt, mégsem akart központi fűtést építtetni a házba. Ehelyett inkább több pulóvert vett fel, azok fölött pedig még egy házikabátot is hordott. Más emberekkel azonban rendkívül nagylelkű volt.

Az 1950-es években úgy gondolta, nem engedhetjük meg magunknak, hogy új autót vegyünk, ezért egy háború előtti londoni taxit vásárolt, és a segítségével hullámlemezből egy bódészerű garázst épített. A szomszédok fel voltak háborodva, de nem tehettek semmit. A legtöbb fiúhoz hasonlóan bizonyos mértékig számomra is fontosnak tűnt a környezetbe való beilleszkedés, így kínosan éreztem magam szüleim viselkedése miatt. Őket azonban ez nem zavarta.

Amikor St. Albansba költöztünk, először a leányiskolába jártam, ahová a nevével ellentétben tízéves korig fiúkat is felvettek. Az első félév után azonban apám évi afrikai útjára indult, ezúttal a szokásosnál hosszabb ideig, négy hónapig volt távol. Anyám nem akart ilyen hosszú ideig egyedül maradni, ezért a gyerekekkel együtt egykori osztálytársához, Berylhez, Robert Graves költő feleségéhez utazott. A Spanyolországhoz tartozó Mallorca szigetén, Deya faluban éltek. Ez mindössze öt évvel a háború vége után történt, és Spanyolország diktátora, Hitler és Mussolini egykori szövetségese, Francisco Franco még hatalmon volt (és még további húsz évig hatalmon is maradt). Anyám azonban, aki a háború előtt a Young Communist League tagja volt, három kisgyerekekkel hajón és vonaton Mallorcára utazott. Deyában házat béreltünk, és igen kellemesen éreztük magunkat. Robert fiával, Williammel közös házitanítónk volt. A tanító Robert pártfogoltja volt, és a tanításnál jobban érdekelt az, hogy színdarabot írjon az Edinburgh-i fesztiválra. Ezért aztán mindennap leültetett bennünket, hogy olvassuk el a Biblia egy-egy fejezetét, és írjunk fogalmazást róla. Ezzel az angol nyelv szépségeit kívánta megismertetni velünk. Ottilétünk ideje alatt átvettük a teljes teremtéstörténetet és az Egyiptomból való kivonulás egy részét. Az egyik legfontosabb dolog, amit ebből az egészből tanultam, az volt, hogy nem szabad a mondatot *Éssel* kezdeni. Én ugyan megemlítettem, hogy a Bibliában a legtöbb mondat *Éssel* kezdődik, amire azt válaszolták, hogy az angol nyelv Jakab király ideje óta sokat változott. Erre én azzal érveltem, hogy akkor viszont miért olvastatják velünk a Bibliát. Semmi sem segített. Akkoriban Robert Graves nagyon lelkesedett a Biblia szimbolizmusa és miszticizmusa iránt.

Miután visszatértünk Mallorcáról, egy évig egy másik iskolába jártam, majd lettem az *eleven-plus* nevű vizsgát. Ez valójában egy intelligenciateszt volt, amelyet abban az időben minden gyereknek el kellett végeznie, ha állami intézményben kívánt továbbtanulni. Napjainkra megszüntették, főleg mert sok középosztálybeli gyerek nem tudta letenni ezt a vizsgát, és nem tanulhatott tovább. A teszteken és a vizsgákon általában jobban szerepeltem, mint az iskolában, így megfeleltem az *eleven-plus* követelményeinek, és felvettek a helyi St. Albans-i középiskolába.

Tizenhárom éves koromban apám kívánságára megpróbáltam bekerülni a Westminster Schoolba, az egyik legkiemelkedőbb magániskolába. Akkoriban a társadalmi osztályok neveltetése élesen elkülönült. Apám úgy érezte, hogy ő annak idején az önbizalom és a kapcsolatok hiánya miatt hátrányos helyzetbe került a tehetségtelegebb, de előnyösebb társadalmi helyzetű társaival szemben. Mivel a szüleim nem voltak gazdagok, ösztöndíjért kellett folyamodnom. Az ösztöndíj elnyeréséért kiírt vizsga idején azonban beteg voltam, ezért nem tudtam rajta részt venni. A St. Albans-i iskolában tanultam tehát tovább, ahol legalább olyan jó, ha nem jobb képzésben részesültem, mint amelyet a Westminster Schoolban kaphattam volna. Soha nem tapasztaltam, hogy társadalmi kapcsolataim hiánya miatt bármilyen hátrány ért volna.

Az angol nevelési rendszer akkoriban nagyon hierarchikus volt. Nemcsak az alacsonyabb szintű

és a felsőfokra előkészítő képzés között tettek különbséget, hanem az utóbbi intézményeken belül is A, B és C szinteket különböztettek meg. Az A szinthez tartozók számára ez nagyon előnyös volt, a B szintbeliek számára már kevésbé, a C szintbeliek számára viszont kifejezett hátrányt jelentett. Én az *eleven-plus* vizsgán elért eredményeim alapján az A szintbe kerültem. A szabály alapján azonban, aki az első év után az osztályon belüli teljesítményével a huszadiknál rosszabb helyen végez, a B szintre kerül. Ez az érintettek önbizalmát néha olyan mértékben sújtotta, hogy soha nem tudták kiheverni. A St. Albans-i középiskolában az év első két harmadában huszonnegyedik illetve huszonharmadik voltam, év végére azonban tizennyolcadikként végeztem, így éppen hogy megmenekültem.

Tanulmányi eredményeim alapján soha nem jutottam az osztály első felébe (nagyon okos osztály volt). Iskolai munkáim rendetlenek voltak, kézírásom pedig kétségbe ejtette tanárait. Osztálytársaimtól mégis az Einstein becenevet kaptam, ők valószínűleg nem láttak annyira reménytelen esetnek. Tizenkét éves koromban egyik barátom egy zacskó cukorban fogadott egy másikkal, hogy nem fogom vinni semmire. Nem tudom, eldöntötték-e már, hogy melyikük nyerte meg a fogadást.

Hat vagy hét jó barátom volt, legtöbbjükkel ma is tartom a kapcsolatot. Hosszú beszélgetéseket és vitákat folytattunk a rádióirányítású modellektől kezdve a vallásig, a parapszichológiától a fizikáig minderről. Egyik témánk a világegyetem eredete volt: vajon szükség van-e Istenre a világ teremtéséhez és működéséhez? Hallottam róla, hogy a távoli csillagrendszerek fényének szinképe a spektrum vörös tartománya felé tolódik el, amit a világegyetem tágulása jelének tekintenek. (A kék irányába való eltolódás azt jelentette volna, hogy a világegyetem összehúzódik.) A magam részéről biztos voltam abban, hogy a vöröseltolódásnak más oka is lehet. Talán elfárad a fény a hozzánk vezető úton, és emiatt válik vörösebbé. Sokkal természetesebbnek tűnt számomra, hogy a világegyetem lényegében változatlan és örökkévaló. Csak mintegy két évi Ph.D. munka után ismertem fel, hogy nem volt igazam.

Az iskola két utolsó évében matematikára és fizikára akartam szakosodni. A matematikatanárom, Mr. Thata magával ragadó egyéniség volt, az iskolában pedig éppen egy új matematikatermet építettek, amely a matematika szakosok osztályterme lett. Apám nagyon ellenezte a dolgot. Úgy gondolta, egy matematikus csak tanárként helyezkedhet el. Legjobban azt szerette volna, ha az orvosi pályát választom, engem azonban nem érdekelt a biológia, mert túlságosan leíró jellegűnek és kevésbé mélyrehatóknak tartottam. A biológiát az iskolában sem becsülték sokra. A legokosabb fiúk a matematika és a fizika szakot választották, a kevésbé okosak a biológiát. Mivel apám megértette, hogy a biológia tanulására nem tud rávenni, rábeszélte, hogy a kémiát válasszam, mellékszakként pedig a matematikát. Úgy gondolta, ezzel szinte minden tudományos terület nyitva áll előttem. Ma a matematika professzora vagyok, de tizenhét éves koromtól, vagyis mióta a St. Albans-i középiskolát befejeztem, gyakorlatilag nem részesültem rendszeres matematikaképzésben. Mindent, amit a matematikáról tudok, magamnak kellett összeszednem az évek során. Amikor Cambridge-ben alsóbb éves egyetemi hallgatókat oktattam, csupán egy héttel jártam előttük a tananyagban.

Apám a trópusi betegségek kutatásával foglalkozott, és gyakran elvitt magával Mill Hill-i laboratóriumába, amit nagyon élveztem, különösen amikor a mikroszkópba nézhettem. A rovarházba is elvitt magával, ahol trópusi betegségekkel fertőzött szúnyogokat tartott. Nagyon félttem, mert itt néhány szúnyog mindig szabadon röpködött. Apám nagyon keményen dolgozott, életét a kutatásnak szentelte. Egy kissé mindig keserű volt, mert úgy érezte, hogy a jobb háttérrel vagy jobb kapcsolatokkal rendelkezők sokszor érdemtelenül megelőzték őt. Az ilyen emberektől mindig óvott engem, de azt hiszem, a fizika más, mint az orvostudomány. Nem számít, hogy milyen iskolába járt valaki, vagy hogy kik a rokonai. Itt a tettek számítanak.

Mindig is érdekelt a dolgok működése. Sok szerkezetet szétszedtem, hogy lássam a működésüket, de csak ritkán sikerült jól összeraknom őket. Gyakorlati képességeim nem tartottak lépést az elméleti ismeretek utáni vágyammal. Apám felkeltette érdeklődésemet a tudomány iránt, és még a matematikában is segített, amíg ezen a téren meg nem előztem őt. Ezzel a háttérrel és apám munkáját ismerve természetesnek tartottam, hogy tudományos pályát válasszak. Fiatal koromban nem tettem különbséget a tudomány egyik vagy másik ága között. Úgy tizenhárom-tizennégy éves korom óta viszont tudtam, hogy fizikus akarok lenni, mert a fizika a legalapvetőbb tudomány. Annak ellenére választottam így, hogy az iskolában a fizika volt a legunalmasabb tantárgy, mivel könnyűnek és magától értetődőnek éreztem. A kémia izgalmasabbnak tűnt, mert folyton váratlan dolgok, például robbanások történtek. Azonban a fizikától és a csillagásztól vártam a válaszokat azokra a kérdésekre, hogy honnan származunk és hová tartunk. Meg akartam érteni a világmindenség távoli mélységeit. Bizonyos mértékig ez talán sikerült is, de még nagyon sok minden van, amit tudni szeretnék.

Oxford és Cambridge

Apám nagyon szerette volna, ha Oxfordban vagy Cambridgeben tanulok. Ő maga az oxfordi University College hallgatója volt, ezért az volt a véleménye, hogy nekem is oda kellene jelentkeznem, mert ott nagyobb esélyem van, hogy felvegyenek. Abban az időben a University College-nak nem volt matematikaoktatója, ami újabb okot szolgáltatott apámnak arra, hogy a kémiai tanulmányokra ösztönözzön. Azt akarta, hogy ne a matematikai, hanem a természettudományi szakterületen pályázzak meg egy ösztöndíjat.

A család többi tagja egy évre Indiába utazott, nekem viszont otthon kellett maradnom, hogy érettségizzek és felvételi vizsgákat tegyek. Az iskolaigazgató szerint Oxfordhoz még túl fiatal voltam, én 1959 márciusában mégis elmentem az ösztöndíj elnyeréséért meghirdetett vizsgára két másik iskolatársammal együtt, akik egy évvel fölöttem jártak. Meg voltam róla győződve, hogy a vizsgám nem sikerült, és el voltam keseredve, amikor a gyakorlati vizsga alatt felügyelő egyetemi oktatók másokhoz odamentek beszélgetni, hozzám pedig nem. Aztán Oxfordból való hazautazásom után három nappal kaptam egy táviratot, amelyben az állt, hogy elnyertem a megpályázott ösztöndíjat.

Mikor Oxfordba kerültem, tizenhét éves múltam. A legtöbb évfolyamtársam már katonai szolgálatot is teljesített és jóval idősebb volt nálam. Az első évem és a második év nagy része is nagyon magányosan telt el. Csak a harmadévról mondhatom azt, hogy már valóban jól éreztem magam. Akkoriban az oxfordi diákok között nem volt divat a kemény tanulás. Az ember vagy különösebb erőfeszítés nélkül is kiváló eredményt ért el, vagy belenyugodott abba, hogy képességei végesek és csak elégséges minősítést kap. Ha valaki keményen dolgozott a jobb eredményekért, erőfeszítéseit diáktársai az öregedés legbiztosabb jelének tekintették - az "aggastyán" (*gray man*) kifejezés az oxfordi szókincsben a legnagyobb sértésnek számított.

Oxfordban ez idő tájt a fizikus szak tanrendje igen alkalmas volt a "munkakerüléshez". Én magam lettem a felvételi vizsgát, majd három évet Oxfordban töltöttem, de csak a harmadik év végén kellett záróvizsgát tennem. Egyszer kiszámítottam, hogy ezalatt a három év alatt kb. ezer órát töltöttem tanulással, ami átlagosan napi egy órát jelent. Nem vagyok büszke erre a lazálásra, csak elmondom, milyen volt abban az időben a munkához való hozzáállásom, és ez nem különbözött a legtöbb diáktársam álláspontjától: a teljes unalom és az a meggyőződés jellemezte, hogy nincs olyan dolog a világon, amelyért érdemes lenne erőfeszítést tenni. A betegségeim mozdított ki ebből az állapotból: ha a korai halál lehetőségével áll szemben valaki, ez a tény rádöbbeneti arra, hogy érdemes élni, és hogy mennyi mindent szeretne még megvalósítani életében.

Mivel három évig nem sokat tanultam, azt terveztem, hogy a záróvizsgán úgy megyek át, hogy előtte elméleti fizikai feladatokat oldok meg, és a vizsgán elkerülöm a tényszerű tudást követelő kérdéseket. A megelőző éjszaka a vizsgadrukk miatt nem aludtam, így nem szerepeltem valami jól. Teljesítményem a jeles és a jó közé esett, ezért a vizsgáztatóknak további kérdésekkel kellett eldönteniük, milyen minősítést kapjak. Jövőbeli terveimről kérdeztek. Azt válaszoltam, hogy kutatómunkát szeretnék végezni, és ha jelest kapok, elmegyek Cambridge-be, ha viszont csak jót adnak, akkor maradok Oxfordban. Jelest adtak.

Úgy éreztem, az elméleti fizikának két olyan alapvető jelentőségű területe van, amelynek a kutatásával esetleg én is szívesen foglalkoznék. Az egyik a kozmológia, a nagyon nagy léptékű

jelenségek, a másik pedig az elemi részecskékkel kapcsolatos nagyon kis léptékű jelenségek tudománya. Az elemi részecskéket nem éreztem olyan vonzónak, mert bár a kutatók sok új részecskét fedeztek fel, leírásukra abban az időben még nem állt rendelkezésre elfogadható elmélet. Ezen a területen nem lehetett mást tenni, mint a biológiai rendszertanhoz hasonlóan csoportosítani a részecskéket. A kozmológiának ezzel szemben jól megalapozott elméleti háttérrel jelentett Einstein általános relativitáselmélete.

Oxfordban akkor senki nem foglalkozott kozmológiával, viszont Cambridge-ben dolgozott Fred Hoyle, a kor legnevesebb brit csillagásza. Ezért aztán megpályáztam egy doktori ösztöndíjat Hoyle intézetében. A cambridge-i ösztöndíjat meg is kaptam, azzal a feltétellel, hogy jeles eredménnyel kell végeznem Oxfordban, de legnagyobb bosszúságomra a témavezetőm nem Hoyle, hanem egy Denis Sciama nevű ember lett, akiről addig soha nem hallottam. Ez azonban végül a lehető legjobb megoldásnak bizonyult. Hoyle gyakran utazott külföldre, valószínűleg nem sokat láttam volna, Sciama viszont mindig ott volt, ha szükség volt rá, és mindig ösztönzőleg hatott rám, még ha gyakran nem is értettem egyet az ötleteivel.

Mivel az iskolában és Oxfordban nem sok matematikát tanultam, az általános relativitáselmélet eleinte nagyon bonyolultnak tűnt számomra, és a munkám nem sokat haladt. Még Oxfordban töltött utolsó évemben észrevettem, hogy a mozgásom nehézkessé vált. Nem sokkal azután, hogy Cambridge-be mentem, megállapították, hogy mozgatóidegsorvadásban (amiotrofiás laterális szklerózisban, röviden ALS-ben) szenvedek. Angliában a betegség mozgatóidegsorvadás néven ismert, az Egyesült Államokban pedig Lou-Gehrig-betegségnek is hívják. Az orvosok nem biztattak gyógyulással, még azt sem tudták ígérni, hogy állapotom nem fog tovább romlani.

Az első időszakban a betegség valóban gyorsan súlyosbodott. Nem sok értelme látszott kutatómunkám folytatásának, hiszen nem számíthattam arra, hogy megérem a doktori disszertációm elkészültét. Azonban az idő múlásával a betegség kifejlődése lelassult. Az általános relativitáselméletet is kezdtem megérteni, így a munkám kezdett előrehaladni. De a legnagyobb változást az hozta, hogy eljegyeztem egy Jane Wilde nevű lányt, akit akkoriban ismertem meg, amikor felismerték a betegséget. Ez volt a legfontosabb dolog, amiért érdemes volt élnem.

Ahhoz, hogy összeházasodjunk, állásra volt szükségem, az álláshoz viszont be kellett fejeznem a doktori disszertációt. Ezért életemben először keményen dolgozni kezdtem. Legnagyobb meglepetésemre még tetszett is a dolog. Talán nem is helyes az ilyen elfoglaltságot munkának nevezni. Valaki egyszer azt mondta, hogy a tudósokat és a prostituáltakat olyan dologért fizetik, amit még élveznek is.

Megpályáztam a Gonville and Caius (ejtsd: *kíz*) College egyik kutatási ösztöndíját. Azt reméltem, hogy Jane legépeleli a pályázatomat, de amikor legközelebb Cambridge-be jött hozzám látogatóba, be volt gipszelve a karja, mert eltörte. Be kell vallanom, hogy kevesebb együttérzést mutattam, mint kellett volna. De szerencsére a bal karja tört el, így legalább kézzel le tudta írni a pályázatot, amit lediktáltam neki, és valaki más aztán legépelte.

A pályázatban meg kellett neveznem két olyan személyt, akik a munkámról véleményt tudnak mondani. A témavezetőm azt javasolta, hogy az egyik ilyen ajánlónak Hermann Bondit kérjem fel. Bondi abban az időben a Kings College matematikaprofesszora volt Londonban, és az általános relativitáselmélet szakértőjének számított. Többször találkoztam vele, még egyik cikkemet is ő nyújtotta be közlésre a Proceedings of the Royal Society című folyóirathoz. Egy Cambridge-ben tartott előadása után megkértem, adjon rólam ajánlást a pályázathoz. Szórakozottan rám nézett, és azt felelte, megteszi. Valahogy mégsem emlékezett rám, mert amikor a College felkérte, hogy írja meg az ajánlást, azt válaszolta nekik, hogy sosem hallott rólam. Manapság olyan sok ember nyújt be pályázatot egyetemi kutatási ösztöndíj elnyeréséért, hogy ha az ajánlók egyike azt állítja, sohasem

hallott a pályázóról, ez valószínűleg el is vágja a jelölt útját. Akkoriban még nyugalmasabb időket éltünk. A College értesített felkért ajánlóm kínos válaszáról, mire témavezetőm elment Bondihoz, és felfrissítette a memóriáját. Bondi ezután megírta a kért ajánlást, amely ezúttal valószínűleg sokkal jobb volt, mint amit megérdemeltem volna. Mindenesetre megkaptam az ösztöndíjat, és azóta is a Caius College munkatársa vagyok.

Az ösztöndíj elnyerése azt jelentette, hogy összeházasodhattunk Jane-nel, amit 1965 júliusában meg is tettünk. Egy hét nászútra Suffolkba utaztunk - ennyi volt, amit megengedhettünk magunknak. Közvetlenül ezután egy általános relativitáselméletről tartott nyári iskolába utaztunk a New York állam északi részén fekvő Cornell Egyetemre. Ez nagy hiba volt. Szálláshelyünk tele volt zajos, kisgyermekes családokkal, ami valódi erőpróbát jelentett a házasságunknak. A nyári iskola más szempontból viszont nagyon hasznosnak bizonyult, mivel megismertem a témakörömben dolgozó legfontosabb embereket.

Kutatómunkám során 1970-ig kozmológiával, a világegyetem, a nagy léptékű jelenségek tudományával foglalkoztam. Legfontosabb munkám ebben az időben a szingularitásokra irányult. A megfigyelések alapján a csillagrendszerek távolodnak tőlünk, azaz a világegyetem tágul. Ez viszont azt jelenti, hogy a csillagrendszereknek a múltban egymáshoz közelebb kellett lenniük. Felvetődik tehát a kérdés: vajon létezett a múltban egy olyan időpont, amelyben valamennyi galaxis egy helyen tömörült, és a világegyetem sűrűsége a végtelenhez közelített? Vagy létezett a tágulást megelőzően egy összehúzódnási szakasz, amelynek során a csillagrendszereknek valahogy sikerült elkerülniük, hogy összeütközzenek egymással? Talán elrepültek egymás mellett, azután kezdtek távolodni? Ezeknek a kérdéseknek a megválaszolásához új matematikai módszerekre volt szükség, amelyek csak az 1965 és 1970 közötti években jelentek meg, legtöbbjüket mi dolgoztuk ki Roger Penrose-zal. Penrose ezután Londonba került, a Birkbeck College munkatársa lett, jelenleg pedig Oxfordban dolgozik. A közösen kidolgozott módszerek segítségével megmutattuk, hogy ha az általános relativitáselmélet helyes, akkor a múltban léteznie kellett egy végtelen sűrűségű állapotnak.

Ez a végtelen sűrűségű állapot az ősrobbanásnak vagy Nagy Bummnak nevezett szingularitás volt. Az ősrobbanás azt jelenti, hogy ha az általános relativitáselmélet helytálló, akkor a tudomány nem képes arra, hogy megmondja, hogyan keletkezett a világegyetem. Későbbi munkám során viszont megmutattam, hogy a világegyetem keletkezése tudományos módszerekkel mégiscsak leírható, ha a rendkívül kis léptékű jelenségekre érvényes kvantumelmélet eredményeit is figyelembe vesszük.

Az általános relativitáselméletből az is következik, hogy a nagy tömegű csillagok összeroppannak, amikor nukleáris energiakészletük kimerül. Penrose-zal együtt végzett munkánk során kimutattuk, hogy összeroppanásuk addig folytatódik, amíg végtelen sűrűségű szingularitássá nem zsugorodnak össze. A csillag és a csillagon található valamennyi dolog számára ez a szingularitás az idő végét jelentené. A szingularitás olyan erős gravitációs teret képvisel, hogy a fény ebből a tartományból nem juthat ki, mert a szingularitás gravitációs tere visszahúzza. Az ilyen tartományt, amelyből nem lehet kijutni, fekete lyuknak, a tartomány határfelületét pedig eseményhorizontnak nevezzük. Ha az eseményhorizonton keresztül bárki vagy bármi a fekete lyukba zuhan, akkor számára a szingularitásban érkezett az idő vége.

1970-ben, röviddel Lucy lányom születése után egyik este a fekete lyukakról gondolkodtam. Hirtelen rájöttem, hogy azokat a módszereket, amelyeket Penrose-zal a szingularitások létezésének bizonyítására dolgoztunk ki, a fekete lyukakra is alkalmazni lehet. Különösen az foglalkoztatott, hogy az eseményhorizont felszíne, tehát a fekete lyuk határfelülete időben nem csökkenhet. Ha két fekete lyuk összeütközik és egyetlen fekete lyukká egyesül, akkor a keletkezett fekete lyuk eseményhorizontjának felülete nagyobb lesz a két eredeti eseményhorizont felületének összegénél. Ez pedig igen fontos korlátot jelent a fekete lyukak ütközése során kibocsátott energia nagyságára.

A felismerés olyan izgalomba hozott, hogy éjszaka alig tudtam aludni.

1970-től 1974-ig a fekete lyukakkal foglalkoztam. 1974-ben aztán életem talán legmeglepőbb felfedezését tettem: a fekete lyukak nem is teljesen feketék! Ha az anyagi világ kis méreteken megnyilvánuló viselkedését is figyelembe vesszük, arra az eredményre jutunk, hogy a fekete lyukból sugárzás és részecskék szivároghatnak ki. A fekete lyuk tehát a forró testhez hasonlóan sugárzást bocsát ki.

1974 óta az általános relativitáselmélet és a kvantummechanika ellentmondásmentes, egységes elméletté történő összekapcsolásán dolgozom. Munkám egyik eredményeként 1983-ban Jim Hartlel, a Santa Barbara-i Kaliforniai Egyetem kutatójával felvetettük, hogy mind az idő, mind a tér véges kiterjedésű, de határtalan. Ez olyasmire hasonlítható, mint a Föld felszíne, de annál kettővel több dimenzióban. A Föld felszíne is véges kiterjedésű, még sincs határvonala. Utazásaim során még soha nem sikerült leesnem a véges felszín szélén. Ha ez a feltevés helytálló, akkor nem léteznek szingularitások, és a tudományos törvények minden esetben, tehát a világegyetem kezdetekor is érvényesek. A világegyetem keletkezése is a tudomány törvényszerűségeinek megfelelően ment végbe. Azt mondhatjuk tehát, hogy erőfeszítéseim sikerrel jártak. Megismertük, *hogyan* alakult ki a világegyetem. Azt azonban, hogy *miért* alakult ki, továbbra sem tudjuk.

Tapasztalataim a mozgatóideg-sorvadásról (*)

(*) Az előadás 1987-ben hangzott el a British Motor Neurone Disease Association konferenciáján Birminghamben.

Gyakran megkérdezik tőlem, mit jelent számomra a mozgatóideg-sorvadásom. A válaszom úgy hangzik, hogy nem sokat. Megpróbálok olyan természetesen élni, amennyire csak lehet, és igyekszem nem túl sokat gondolkodni az állapotomon vagy még kevésbé sajnálni azokat a dolgokat, amelyekben a betegségem megakadályoz - tulajdonképpen nem is akadályoz olyan sok mindenben.

Nagy megrázkódtatás volt számomra, amikor kiderült, hogy mozgatóideg-sorvadásom van. A mozgásom már gyermekkoromban is darabos volt. A labdajátékokban sohasem voltam túl ügyes, és talán ez az oka annak, hogy nem nagyon szerettem a sportot vagy a testedzéssel kapcsolatos tevékenységeket. Oxfordban megváltozott a helyzet. Elkezdtem evezni. Nem tartoztam az evezősök élvonalába, de az egyetemek közötti szinten megálltam a helyem.

Az Oxfordban töltött harmadik évben azonban észrevettem, hogy mozgásom ügyetlenné vált, néhányszor minden látható ok nélkül elestem. Anyám csak a következő évben vette észre a dolgot, amikor Cambridge-be kerültem, és elvitt a házi orvosunkhoz. A házi orvos szakorvoshoz küldött, és röviddel a huszonegyedik születésnapom után kórházba kellett mennem kivizsgálásra. Két hetet töltöttem ott, és ezalatt a legkülönbözőbb vizsgálatokon estem át. Izommintát vettek a karomból, elektródokat szurkáltak belém, radioaktív folyadékot fecskendeztek a gerincembe, és a folyadékot a gerincoszlop teljes hosszában röntgensugarakkal vizsgálták, miközben az ágyamat megdöntötték. A kivizsgálás után azonban nem mondták meg, mi a bajom, csak annyit közöltek velem, hogy a betegségem nem multiplex szklerózis, és hogy rendellenes eset vagyok. Annyit azért sikerült kihámoznom, hogy az orvosok szerint a betegség folytatódni és súlyosbodni fog, de nem tudnak segíteni. Legfeljebb vitaminokat tudnak felírni, amiről viszont láttam, hogy maguk sem hisznek a hatásában. Nem is akartam a részletekről tovább faggatózni, mert látszott, hogy nem értenek a dologhoz.

Az a tudat, hogy gyógyíthatatlan betegségem van, amelyben valószínűleg néhány év múlva meg fogok halni, meglehetősen megrázott. Hogyan történhet ilyesmi velem? Miért kell az életemnek ilyen gyorsan véget érnie? A kórházban töltött idő alatt viszont szemtanúja voltam, amikor a szemközti ágyon fehérvérűségben meghalt egy fiú, akit futólag ismertem. Nem volt kellemes látvány. De rádöbentett, hogy vannak, akiknek még nálam is rosszabb a helyzetük. Én legalább nem éreztem magam betegnek. Azóta is valahányszor azon kapom magam, hogy elkezdem magam sajnálni, erre a fiúra gondolok.

Mivel nem tudtam, mi fog történni velem, vagy milyen gyorsan fog a betegségem súlyosbodni, teljes bizonytalanságban lebegtem. Az orvosok azt javasolták, menjek vissza Cambridge-be és folytassam az általános relativitáselmélettel és kozmológiával kapcsolatban éppen megkezdett kutatásaimat. De a munkával nem nagyon haladtam, mert nem volt megfelelő matematikai előképzettségem - és különben is, talán meg sem érem, hogy befejezhessem a doktori értekezésemet. Tragikus figurának éreztem magam. Elkezdtem Wagner-zenét hallgatni. Az újságcikkek szerint abban az időben sokat ittam, ez azonban túlzás. Az a baj, hogy ha egyszer egy újságcikkben valamit leírnak, akkor azt a történetet mint jó sztorit a többi újság egyszerűen átveszi.

És ami annyiszor megjelent nyomtatásban, arról sokan azt hiszik, hogy biztosan igaz is.

Akkoriban elég zavaros dolgokat álmódtam. Mielőtt a betegségemet megállapították, nagyon untam az életet. Úgy tűnt, hogy semmit nem érdemes csinálni. Azonban röviddel a kórházból való hazatérésem után azt álmódtam, hogy ki fognak végezni. Hirtelen rájöttem, mennyi értelmes dolgot tudnék még csinálni, ha kegyelmet kapnék. Egy gyakran visszatérő másik álmom az volt, hogy feláldozom az életemet mások megmentéséért. Végül is, ha nekem úgyis meg kell halnom, akkor legalább valami jót tegyek a halálommal.

De nem haltam meg. Sőt annak ellenére, hogy a sötét árnyék állandóan ott lebegett a jövőm fölött, legnagyobb meglepetésemre jobban élveztem az életet, mint azelőtt. A kutatómunkám kezdett haladni. Eljegyeztük egymást, majd összeházasodtunk Jane-nel és kutatói ösztöndíjat kaptam a cambridge-i Caius College-ban.

A Caius College-ban kapott ösztöndíj egyszeriben megoldotta állásgondjaimat. Örültem, hogy annak idején elméleti fizikai témát választottam, hiszen ez olyan munkaterület, amelyen remélhettem, hogy a betegségem nem fog komolyan akadályozni. És szerencsésnek mondhattam magam, mivel tudományos hírnevem egészségi állapotom rosszabbodásával nőtt. Ez azt jelentette, hogy egész sor olyan állásajánlatot kaptam, amelyben oktatási kötelezettség nélkül kutatómunkával foglalkozhattam.

Lakásgondjaink is szerencsésen megoldódtak. Amikor összeházasodtunk, Jane még a Westfield College alsóéves hallgatója volt, így neki a hétköznapiakat Londonban kellett töltenie. Olyan lakást kellett tehát találnunk, amelyben egyedül is boldogulni tudok, és amely központi helyen fekszik, mert nem tudtam hosszú utat gyalog megtenni. Ehhez a munkahelyem segítségét is kértem, de a gazdasági igazgató azt válaszolta, hogy a College nem szokott részt vállalni munkatársai lakáskeresési gondjaiban. Végül aláírtunk egy szerződést, hogy a piactéren újonnan épülő lakótömbben bérelünk lakást. (Évekkel később tudtam meg, hogy a lakásokat a College építtette, de nem mondták meg nekem, amikor segítségre volt szükségem.) Amikor nyár végén visszajöttünk Amerikából, a lakások még nem készültek el. A gazdasági igazgató nagylelkűen felajánlott nekünk egy szobát a felsőéves hallgatók kollégiumában. Hozzátette: "Ez a szoba közönséges körülmények között napi tizenkét és fél schillingbe kerül, de mivel önök ketten fognak itt lakni, huszonöt schillinget kell fizetniük."

Csak három napig maradtunk. Találtunk ugyanis egy kis házat kb. százméternyire attól az egyetemi intézettől, amelyben dolgoztam. A ház egy másik College tulajdona volt, és egyik dolgozója bérelte, de ő a külvárosba költözött, és bérleti idejének maradék három hónapjára alberletbe kiadta nekünk a házat. Ezalatt a három hónap alatt találtunk egy másik üresen álló házat ugyanabban az utcában. Az egyik szomszéd felhívta a tulajdonost Dorsetben, és meggyőzte, milyen botrányos dolog az, hogy üresen áll a háza, miközben a fiatalok lakást keresnek, így aztán a tulajdonos bérbe adta nekünk a házat. Néhány év múlva szerettük volna megvenni és felújítani a házat. Ehhez a College-tól jelzálogkölcsönt kértünk. A College megvizsgálta a kérelmet, és úgy döntött, a vállalkozás túl kockázatos, ezért elutasította. Így végül egy építési társaságtól vettünk fel jelzálogkölcsönt, és a szüleimtől kaptunk pénzt a ház felújítására.

Még négy évig laktunk ebben a házban, amikor a lépcsőjárás is túl körülményessé vált számomra. Addigra a College köreiben már nagyobb népszerűségnek örvendtem és személyi változás történt a gazdasági igazgató munkakörében is. Így aztán felajánlottak családunknak egy földszinti lakást egy egyetemi tulajdonban álló házban. A lakás pontosan megfelelt az igényeimnek, mert a nagy szobák és a nagy ajtók nem akadályozták nehéz mozgásomat. Maga a ház is központi helyen állt, ezért elektromos tolószékemben könnyen el tudtam érni az egyetemi intézetek és a College épületeit. A ház három gyermekünknek is nagyon tetszett, mivel kert vette körül, és a kertet

1974-ig tudtam egyedül enni, lefeküdni és felkelni. Jane gondoskodott rólam és nevelte gyermekeinket, nem volt szükségünk külső segísége. Ezután azonban egyre nehezebbé vált a helyzet. Ezért 1974-től kezdve mindig nálunk lakott egyik diplomázó vagy doktoráló hallgatóm, aki az ingyenes szállás és a külön szakmai foglalkozások fejében segédkezett nekem reggelente a felkelésben és esténként a lefekvésben. 1980-ban ezen is változtatnunk kellett, ettől kezdve szociális gondozók és magánápolónők segítségét kellett igénybe vennünk, akik reggel és este egy-két órára jöttek hozzánk segíteni. Ez egészen 1985-ig tartott, amikor tüdőgyulladást kaptam. Légcsömetszést hajtottak végre rajtam, és azóta napi 24 órás állandó ápolói felügyeletre szorulok, amelynek költségeit különböző alapítványok támogatásának segítségével fedezzük.

Beszédem már a műtét előtt kezdett egyre érthetlenebbé válni, úgyhogy csak azok értették meg, akik jól ismertek. De legalább meg tudtam értetni magam, tudtam kommunikálni. Tudományos közleményeimet úgy írtam, hogy a szöveget egy titkárnőnek lediktáltam, előadásaimat pedig tolmács segítségével tartottam, aki tisztán és érthetően megismételte, amit mondtam. A légcsömetszés után azonban teljesen elvesztettem a beszélőképességemet. Egy ideig az volt az egyetlen kommunikációs lehetőségem, hogy betűnként raktam össze a szavakat úgy, hogy felhúztam a szemöldökömet, ha valaki egy ábécés táblán a megfelelő betűre mutatott. Így elég nehéz beszélgetni, nem is szólva a tudományos közlemények megfogalmazásáról. Egy Walt Woltoz nevű kaliforniai számítógépes szakember tudomást szerzett siralmas állapotomról, és küldött egy Equalizer nevű számítógép-programot, amelyet ő maga írt. A program lehetővé teszi, hogy a képernyőn átfutó menüből gombnyomással kiválasszam a szavakat, sőt nemcsak kézzel irányítva, hanem fej- vagy szemmozgással is működtethető. Ha a számítógépen összeállítottam a mondandómat, egy beszéd szintetizátor el is mondja a szöveget.

Az Equalizer program kezdetben asztali számítógépen futott. Később azonban Davis Mason, a cambridge-i Adaptive Communication cég munkatársa a toloszékemhez rögzített egy kisméretű személyi számítógépet és egy beszéd szintetizátort. Ezzel még jobban meg tudom értetni magamat, mint azelőtt. Elérem a percenként tizenöt szavas sebességet. A leírt szöveget szintetizátorral ki tudom mondani, vagy számítógéplemezen tudom tárolni. A tárolt szöveget ki tudom nyomtatni vagy újra elő tudom hívni, és mondatonként újra le tudom játszani. A rendszer segítségével két könyvet és egész sor tudományos közleményt írtam. Sőt számos tudományos és népszerűítő előadást is tartottam így. Az előadásokat a hallgatóság jól megértette. Ez jórészt a kitűnő minőségű hangszintetizátornak köszönhető, amelyet a Speech Plus cég készített. A hangminőség rendkívül fontos. Ha az ember elmosódott, érthetetlen hangon beszél, a hallgatóság hajlik arra, hogy szellemi fogyatékosnak tartsa. Az általam használt szintetizátor messze a legjobb, amelyet valaha is hallottam, mert képes a hangszínt is változtatni, és a hangja nem emlékeztet automatára. Csak egy hibája van: az amerikai kiejtés. Mostanra viszont már annyira összenőttem a hangjával, hogy nem cserélném ki még akkor sem, ha felajánlanának egy brit kiejtésű változatot. Úgy érezném, mintha a személyiségemet cserélnék ki.

Gyakorlatilag a felnőttkor elérése óta mozgatóideg-sorvadásom van. A betegség azonban nem akadályozott meg abban, hogy kellemes családi életet éljek és eredményes munkát végezzek. Ezt a feleségem, a gyermekeim, valamint sok más ember és szervezet segítségének köszönhetem. A szerencse is mellettem állt, mivel betegségem a szokásosnál lassabban súlyosbodott. Mindez azt bizonyítja, hogy nem szabad feladni a reményt.

A tudomány és a közvélemény (*)

(*) Az Asturia hercege által adományozott Békedíj átvételekor a spanyolországi Ovideóban 1989 októberében tartott előadás aktualizált változata.

Akár örülünk neki, akár bánkódunk miatta, a világ nagyon megváltozott az elmúlt száz év során, és valószínűleg még nagyobb változás előtt áll az elkövetkező száz évben. Egyesek szívesen megállítanák a változásokat, és visszatérnének egy - ahogy ők nevezik - tisztább és egyszerűbb korba. A történelem azonban azt mutatja, hogy a múlt egyáltalán nem volt olyan csodálatos. A kiváltságos kisebbség talán nem élt annyira rosszul, de még ők sem részesülhettek a modern orvostudomány vívmányaiban, és a szülés minden asszony számára nagy veszélyekkel járt. A népesség túlnyomó többsége számára azonban az élet rövid, kemény és kegyetlen volt.

Az idő kerekét semmiképpen sem lehet visszaforgatni. A tudást és a technikai ismereteket nem lehet egyszerűen elfelejteni, és a további fejlődést sem lehet megakadályozni. Még ha a kutatásra fordított állami támogatást teljesen beszüntetnék is (a jelenlegi kormány minden tőle telhetőt megtesz ennek érdekében), a versengés és a konkurencia elegendő hajtóerőt jelentene a technikai haladás fennmaradásához. Sőt, az embert a kíváncsiság, a tudásvágy is arra sarkallja, hogy az alapvető tudományos kérdések felé forduljon, akár kap érte fizetést, akár nem. A további fejlődés megakadályozásának egyetlen lehetősége egy olyan világméretű totális diktatúra lenne, amely minden újat betiltana, de az emberi vállalkozóképeség és találmányosság miatt ez is kudarcra lenne ítélve. Csupán a fejlődés ütemét lassítaná le valamelyest.

Ha azonban elfogadjuk is, hogy a tudományt és technikát nem akadályozhatjuk meg a körülöttünk levő világ megváltoztatásában, arra mindenképpen törekednünk kell, hogy a változások a helyes irányban történjenek. Egy demokratikus társadalomban ez azt jelenti, hogy a közvélemény a tudomány alapjainak megértésével alakuljon ki, ne legyen a szakemberekre utalva, hanem a döntéseket az információk értékelésével maga hozhassa meg. A közvélemény viszonya a tudományhoz jelenleg ellentmondásos. Egyrészt természetesnek veszi az életszínvonal javulását, amelyet a tudomány és a technika újabb eredményei tesznek lehetővé, másrészt viszont bizalmatlan a tudománnyal szemben, mert nem érti azt. Ez a bizalmatlanság szemmel látható azokban a rajzfilmekben, amelyekben az örült tudós egy szörnyeteget hoz létre. A környezetvédő ("zöld") pártok támogatásának is ez az egyik alapja. A közvélemény azonban rendkívüli módon érdeklődik is a tudomány iránt, ezt bizonyítja a *Kozmosz* c. televíziós sorozat vagy a tudományos-fantasztikus filmek magas nézettsége.

Hogyan lehetne ezt az érdeklődést felhasználni arra, hogy az embereket véleményük kialakításakor alapvető tudományos háttérismeretekkel segítsük a döntések meghozatalában, amelyek pl. a savas eső, az üvegházhatás, az atomfegyverek és a génebézészet kérdéseit érintik? Világos, hogy az alapismereteket az iskolában kell elsajátítani. De az iskolában a természettudományos tárgyakat sokszor szárazan és unalmasan tanítják. A gyerekek gépiesen "magolva" tanulják, hogy átmenjenek a vizsgán, de nem ismerik fel jelentőségüket a körülöttük lévő világban. Az is nehézséget okoz, hogy a természettudományokat egyenletek útján tanítják. Bár az egyenletek a matematikai gondolatok tömör és pontos leírását teszik lehetővé, a legtöbb emberben idegenkedést váltanak ki. Nemrég egy népszerű könyv írása közben azt a megjegyzést hallottam, hogy a könyvben szereplő egyenletek mindegyike felezi az eladható példányok számát.

Csak az Einstein híres összefüggését kifejező $E = mc^2$ képletet hagytam meg. Elképzelhető persze, hogy a kiadó nélkül kétszer annyi példányt adott volna el.

A kutatók és a mérnökök előszeretettel alkalmazzák az egyenleteket, mert a mennyiségek pontos értékére van szükségük. Többségünk számára azonban elegendő a tudományos elképzelések kvalitatív megértése is, ehhez pedig egyenletek nélkül, szavakkal és ábrákkal is el lehet jutni.

Az iskolában tanult tudományos ismeretek képezhetik az alapokat, de a haladás annyira gyors, hogy az iskola vagy az egyetem befejezése után állandóan újabb felfedezésekkel és ismeretekkel találkozunk. Az iskolában soha nem tanultam a molekuláris biológiáról vagy a tranzistorokról, pedig a génszűrés és a számítógépek jelentik azt a két fejlődési irányt, amelyek a jövőben nagy valószínűséggel egész életvitelünket alapvetően meg fogják változtatni. A tudományos népszerűsítő könyvek és folyóiratok cikkei segíthetnek, hogy lépést tartsunk a fejlődéssel, de még a legsikeresebb népszerűsítő könyveket is csupán a népesség kis része olvassa. Csak a televízió útján lehet nagy tömegekhez eljutni. Született is néhány nagyon jó televíziós ismeretterjesztő program, mások azonban a tudomány lebilincselő jelenségeit varázslatoknak tüntetik fel anélkül, hogy megmagyaráznák azokat, vagy bemutatnák a tudományos ismeretekhez való viszonyukat. A televíziós tudományos programok rendezőinek fel kellene ismerniük, hogy nemcsak a nézők szórakoztatásért, hanem a neveléséért is felelősek.

Felvetődik a kérdés, hogy a közvéleménynek a tudományt is érintő mely kérdésekben kell a közeljövőben döntést hoznia. Ezek közül egyértelműen az atomfegyverek kérdése a legsürgetőbb. A többi világméretű probléma, pl. az élelmiszer-ellátás vagy az üvegházhatás problémája csak viszonylag lassan válik érezhetővé, egy atomháború azonban az egész Földön gyakorlatilag napok alatt kiolthatja valamennyi ember életét. A kelet-nyugati feszültség enyhülése és a hidegháború vége azt eredményezte, hogy az atomháborútól való félelem nem nyomasztja már annyira az embereket. Pedig a veszély mindaddig jelen lesz, amíg elegendő fegyver áll rendelkezésre ahhoz, hogy akár a Föld lakosságának többszörösét is megsemmisítse. Az egykori Szovjetunió államaiban és Amerikában még mindig atomfegyverek irányulnak az északi félteke valamennyi nagy városára. Egy világháborúhoz elegendő egy számítógéphiya vagy a kezelőszemélyzet lázadása. Még ennél is aggasztóbb, hogy újabban viszonylag jelentéktelen hatalmak is atomfegyvereket szereznek be. A nagyhatalmak bizonyos mértékig felelősen viselkedtek, de olyan államokban, mint Líbia, Irak, Pakisztán vagy Azerbajdzsán, nem bízhatunk hasonló mértékben. A legfőbb veszélyt nem is az a néhány atomfegyver jelenti, amelyet ezek a hatalmak a közeljövőben esetleg beszerezhetnek, hiszen ezek igen kezdetlegesek lesznek, bár bevetésük több millió ember halálát okozhatja. A komolyabb veszélyt az, a kisebb hatalmak között kirobbanó atomháború jelenti, amelybe a hatalmas fegyvertárral rendelkező nagyhatalmak is belesodródhatnak.

Nagyon fontos, hogy a közvélemény felismerje a veszélyt, és a kormányzatokra nyomást gyakoroljon, hogy döntő mértékű fegyverzetcsökkentési megállapodások szülessenek. Valószínűleg nem tanácsos valamennyi atomfegyvert megsemmisíteni, de az általuk megtestesített veszély csökkenhet, ha számukat korlátozzuk.

Ha sikerülne megszüntetni az atomháború lehetőségét, még mindig maradna számos veszély, amely valamennyiünket elpusztíthat. Egy vicc szerint eddig azért nem sikerült Földön kívüli civilizációkkal felvennünk a kapcsolatot, mert a civilizációk megsemmisítik saját magukat, amikor a mi fejlettségi szintünket elérik. Én azonban bízom a közvélemény józan belátásában, és abban, hogy ennek nem kell bekövetkeznie.

Az idő rövid történetének rövid története ()*

(*) Ez a tanulmány eredetileg a *The Independent* c. folyóiratban jelent meg 1988 decemberében. *Az idő rövid története* 1993-ig 53 héten át szerepelt a *The New York Times*, 205 héten át pedig a londoni *The Sunday Times* sikerlistáján. (A 184. héten bekerült a *Guinness rekordok könyvébe* mint a sikerlistán leghosszabb ideig szereplő mű.) A könyvet 1993-ig 33 nyelvre fordították le.

Még mindig meg vagyok döbbenve *Az idő rövid története* c. könyvem fogadtatásán. Harminchét hete szerepel a *The New York Times*, és huszonnyolc hete a *The Sunday Times* sikerlistáján (Angliában később jelent meg, mint az Egyesült Államokban). Húsz nyelvre fordították le (huszonegyre, ha az amerikaiakat is külön nyelvnek számítjuk). Ez sokkal több, mint amire 1982-ben, a könyv írásának kezdetekor számítottam. Részben az volt a szándékom, hogy lányom tandíjához pénzt keressek (de amire a könyv valóban megjelent, már utolsó évét töltötte az iskolában). Fő célom azonban az volt, hogy elmagyarázzam, milyen messzire jutottunk a világegyetem megértésében, és milyen közel kerültünk egy olyan elmélet megalkotásához, amely teljesen leírja az univerzumot és mindent, ami benne van.

Ha sok időt és energiát fektetek egy könyv írásába, azt szeretném, hogy sok ember megismerhesse. Korábbi szakkönyveim a Cambridge University Press kiadónál jelentek meg. A kiadó jó munkát végzett, de az volt a benyomásom, hogy könyvei nem jutnak el a nagy tömegekhez, akiket el szerettem volna érni. Ezért egyik kollégám sógorához, Al Zuckermanhoz fordultam, aki irodalmi művek kiadásával foglalkozik. Az első fejezet vázlatát a következő megjegyzéssel adtam át neki: azt szeretném, hogy a könyv minden repülőtéren újságárusnál kapható legyen. Azt válaszolta, hogy erre semmi esély sincs. Elméleti emberek vagy egyetemisták talán meg fogják venni, de egy ilyen könyv nem tud betörni a Jeffrey Archer által meghódított területekre.

A könyv első vázlatát 1984-ben adtam át Zuckermannak, ő pedig számos kiadónak megküldte, és azt javasolta, hogy fogadjam el a Norton (ismert észak-amerikai kiadó) ajánlatát. Én azonban a Bantam Books mellett döntöttem, mert ez a kiadó szélesebb olvasóközönség felé fordult. Bár a Bantam nem szokott tudományos műveket kiadni, viszont a könyvei kaphatók voltak a repülőtereken. A Bantam Kiadó talán azért fogadta el a könyvemet, mert Peter Guzzardi szerkesztő nagyon érdeklődött a téma iránt. Komolyan vette a munkáját, és számtalanszor átíratva velem az egész könyvet, hogy azok számára is érthető legyen, akik nem foglalkoznak tudományos kutatással. Valahányszor elküldtem neki egy átírt fejezetet, ellenvetésekkel és kérdésekkel álló hosszú listát kaptam vissza. Néha már azt gondoltam, hogy ennek sose lesz vége. Végül is igaza volt, mert a könyv így sokkal jobb lett.

Nem sokkal azután, hogy elfogadtam a Bantam Kiadó ajánlatát, tüdőgyulladást kaptam. Gégemetszést kellett végrehajtani, és emiatt elvesztettem a hangomat. Egy ideig csak úgy tudtam kommunikálni, hogy felhúztam a szemöldökömet, miközben valaki egy ábécés táblán a megfelelő betűkre mutatott. Ilyen körülmények között lehetetlenné vált volna a könyv befejezése, de kaptam egy számítógépes programot. Kicsit lassú volt, de mivel én is lassan gondolkodom, nekem nagyon is megfelelt. Segítségével - Guzzardi sürgetésére - szinte teljesen újraírtam a könyv első vázlatát. Ebben a munkában Brian Whitt hallgatóm segített.

Jacob Bronowski *The Ascent of Man (Az emberiség felemelkedése)* c. televíziós sorozata nagy hatással volt rám. Érzékeltetni tudta a nézőkkel azt a hatalmas fejlődést, amelyet az emberiség

tizenötezer év alatt a primitív állattól a mai állapotig megtett. Én is hasonló érzést akartam kelteni. Be akartam mutatni, hogyan jutottunk el a világegyetemet szabályozó törvények teljes megértéséhez. Biztos voltam benne, hogy a világegyetem működése mindenkit érdekel, de a legtöbb ember nem tudja követni a matematikai egyenleteket. Én magam sem fektetek nagy súlyt az egyenletekre. Ennek részben az az oka, hogy nehezen tudom leírni őket, másrészt viszont az, hogy az egyenletek nem fejtenek ki intuitív hatást rám. Én képekben gondolkodom, és a könyvben ezeket a képeket akartam szavak, ismerős analógiák és néhány diagram segítségével bemutatni. Reméltem, hogy sok emberrel megoszthatom azt a lelkesedést és büszkeséget, amelyet a fizikának a legutóbbi huszonöt évben megtett fejlődésével kapcsolatban érzek.

Néhány gondolat azonban még a matematikai tárgyalásmód teljes mellőzése esetén is szokatlannak tűnik, és elmagyarázásuk nehéz. Ez azt a kérdést vetette fel, hogy vajon megpróbáljam-e ezeket elmagyarázni és kockáztassam meg, hogy az olvasók összezavarodjanak, vagy hallgassam el őket. Néhány idegenszerű gondolat, például, hogy az egymáshoz képest mozgó megfigyelők két esemény között különböző időintervallumot mérnek, nem volt fontos az általam felvázolt képhez. Ezért úgy gondoltam, hogy elég csak említést tenni róla. Akadtak azonban olyan nehezen érthető dolgok is, amelyek viszont fontosak voltak mondanivalóm szempontjából. Különösen két fogalommal kapcsolatban éreztem úgy, hogy feltétlenül tárgyalnom kell őket. Az egyik a "lehetőségek szerinti összegzés". Ez azt jelenti, hogy a világegyetemenk nemcsak egyféle történelme van, hanem a lehetséges történelmek összessége, és ezek mindegyike egyformán valóságos (bármit is jelentsen ez). A másik fogalom a "képzetes (imaginárius) idő", amely nélkül a lehetőségek szerinti összegzésnek semmilyen matematikai értelme sem lenne. Visszatekintve úgy gondolom, hogy jobban meg kellett volna magyaráznom ezt a két fogalmat, különösen a képzetes időt, mert az olvasóknak sok gondot okozott a megértésük. Valójában nem is olyan lényeges, hogy pontosan megértsük a képzetes idő fogalmát - elég annyit tudnunk, hogy különbözik az úgynevezett reális, valós időtől.

Röviddel a hivatalos megjelenés előtt a kiadó egy előzetes példányt juttatott el egy kutatóhoz azzal a céllal, hogy a *Nature* c. folyóirat számára könyvismertetést írjon róla. A recenzió írója azonban megdöbbenve vette észre, hogy a könyvben csak úgy hemzseg a sok nyomdai hiba: a fényképek és a diagramok teljesen rossz helyre kerültek, és a felirataik is össze vannak keverve. Felhívta a Bantam Kiadót, ahol a hírrel ugyancsak rémületet keltett. Azonnal úgy döntöttek, hogy a kiszállítást leállítják és a kinyomtatott példányokat megsemmisítik. Háromheti lázas munkával az egész anyagot újra átnézték, és a hibákat kijavították. Így a könyv az áprilisi határidőre végül elkészült. Addigra a *Time* is közölt rólam egy életrajzot. A kiadót még így is meglepte a könyv iránti hatalmas kereslet. Amerikában már a tizenhetedik, Angliában pedig a tizedik kiadás jelenik meg. (*)

(*) 1993 áprilisáig az Egyesült Államokban negyven kemény kötésű és tizenkilenc papír kötésű, Angliában pedig harminckilenc kemény kötésű kiadás jelent meg.

Miért vették meg olyan sokan? Mivel nehezen tudom eldönteni, hogy elfogulatlan vagyok-e ebben a kérdésben, inkább mások véleményére hagyatkozom. A legtöbb kritika pozitív kicsengésű volt, de kevés tanulságot tartalmazott. Nagyjából a következő séma szerint jártak el: Stephen Hawking (az amerikai könyvismertetésekben) Lou-Gehrig-betegségben, (az angliai könyvismertetésekben) mozgatóideg-sorvadásban szenved. Tolószékhez van kötve, beszélni sem tud, és csak x számú ujját képes mozgatni (ahol x egy és három közötti szám, aszerint, hogy a könyvismertetés írója milyen pontatlan adatokat közlő cikket olvasott rólam). Mégis könyvet írt, amelyben a legnagyobb kérdésekre keresi a választ: honnan származunk és merre tartunk? Ezekre a kérdésekre Hawking azt a választ tartja megfelelőnek, hogy a világmindenséget nem teremtették, és nem is fog megsemmisülni: egyszerűen csak *létezik*. Ennek az elgondolásnak a leírásához bevezeti a képzetes idő fogalmát, amelyet azonban nehezen tudok követni (ezt a könyvismertetés írója vallja

be). Azonban ha Hawkingnak tényleg igaza van, és tényleg sikerül kidolgozni egy teljes, egyesített elméletet, akkor valóban megismerjük Isten gondolatait. (Az Isten gondolataira vonatkozó utolsó mondatot a korrektúrák során majdnem kihúztam. Ha megteszem, talán csak fele annyi könyvet sikerült volna eladni.)

Figyelemreméltóbbnak találtam a londoni *The Independent* cikkét, amelynek szerzője azt állította, hogy még egy olyan komoly tudományos munka is, mint *Az idő rövid története*, kultikus könyvvé válhat. Feleségemet megbotránkozta, nekem inkább hízelgő volt, hogy könyvem olyan műhöz hasonlították, mint a *Zen and the Art of Motorcycle Maintenance*. Remélem, hogy a *Zen*hez hasonlóan azt az érzést közvetíti az embereknek, hogy nincsenek elzárva a nagy filozófiai és intellektuális kérdésektől.

Kétségtelen, hogy a könyv sikeréhez hozzájárult az emberek arra vonatkozó kíváncsisága is, hogy rokkantságom ellenére hogyan lettem elméleti fizikus. De azok, akik csak a személyem iránti érdeklődésből vették meg a könyvet, valószínűleg csalódtak, mert az életkörülményeimre kevés utalást találhattak benne. A világegyetem történetéről akartam írni, nem pedig magamról. A Bantam Kiadónak mégis a szemére vetették, hogy szemérmetlen módon kihasználta a betegségemet, és ehhez még én is segítséget nyújtottam azzal, hogy engedélyt adtam a borítón a fényképem megjelentetésére. A szerződéseim szerint nem volt befolyásom a borító kialakítására. Arra azonban rávettem a kiadót, hogy az angol kiadásban az amerikai megjelenétnél jobb fényképet használjon fel, mert az már teljesen idejét múlta. A Bantam Kiadó az újabb amerikai kiadásokon megtartotta a régi fényképet, mert szerinte az amerikai olvasóközönség már ehhez szokott hozzá.

Az a gyanú is felmerült, hogy az emberek csak azért vásárolják a könyvet, mert ismertetéseket olvastak róla, vagy azért, mert a sikerlistán szerepel, de nem is olvassák, hanem csak a polcon vagy a kávézóasztalon tartják, hogy feltűnjenek vele, és valójában nem is akarják megérteni. Biztos vagyok benne, hogy ilyen is előfordul, de abban is, hogy ez sok más komoly könyvvel, például a Bibliával vagy Shakespeare műveivel is megtörténik. Másrészt pedig tudom, hogy vannak olyan emberek is, akik elolvasták a könyvet, mert mindennap nagy köteg levelet kapok tőlük. Ezekben olyan kérdések vagy részletes megjegyzések találhatók, amelyek arra utalnak, hogy íróik elolvasták a könyvet, még akkor is, ha nem értették meg teljesen. Az utcán még idegenek is meg szoktak állítani, akik elmesélik, hogy milyen élvezettel olvasták. Az is igaz, hogy engem sokkal könnyebb felismerni, mint a többi író. Mivel ezek a nyilvános gratulációk (kilencéves fiam nagy bosszúságára) nagyon gyakoriak, le merem vonni azt a következtetést, hogy a vásárlóknak legalább egy része elolvassa a könyvet.

Mostanában sokan kérdezik, hogy legközelebb milyen könyvet fogok írni? Azt hiszem, hogy *Az idő rövid történetének* folytatását aligha. Milyen címet adhatnék egy ilyen könyvnek? *Az idő hosszabb története?* *Az idő végezetén túl?* *Az idő fia?* Azt tanácsolták, engedjem meg, hogy az életemet megfilmesítsék. Azonban családommal együtt elvesztenénk az önbecsülésünket, ha színészek ábrázolnának bennünket. Kisebb mértékben ugyanez érvényes arra is, hogy segítsék valakinek az életemről szóló könyv megírásában. Természetesen senkit sem akadályozhatok meg abban, hogy tőlem függetlenül az életemről írjon (hacsak nem rágalmazásokat terjeszt), de azzal térek ki az ilyen kérések elől, hogy magam is szándékozom önéletrajzot írni. Lehet, hogy ezt tényleg meg is teszem, de nem nagyon sürgős. Előtte még számos tudományos problémát szeretnék megoldani.

Álláspontom (*)

(*) Eredetileg előadás formájában hangzott el a Caius College hallgatósága előtt 1982-ben.

Ez a fejezet nem arról szól, hogy hiszek-e Istenben, vagy sem. Ehelyett ismertetni szeretném, hogy véleményem szerint hogyan lehet megérteni a világegyetemet, és mit jelent egy "mindenre érvényes" nagy egyesített elmélet? A kérdés valóban bonyolult. A filozófusok, akiknek az ilyen jellegű kérdések tanulmányozásával és megvitatásával kellene foglalkozniuk, nem rendelkeznek megfelelő matematikai ismeretekkel ahhoz, hogy a modern elméleti fizika fejlődésével lépést tudjanak tartani. Léteznek azonban a filozófusoknak egy olyan alosztálya is, az úgynevezett tudományfilozófusok, akik jobb előképzésben részesültek. A tudományfilozófusok nagy része szakmájában sikertelen fizikus, aki nem képes új fizikai elméletek kidolgozására, hanem ehelyett inkább a fizika filozófiai kérdéseivel foglalkozik. A tudományfilozófusok még mindig a század első éveinek tudományos elméleteiről, főként a relativitásról és a kvantummechanikáról vitatkoznak, a fizika legújabb eredményeivel nem kerülnek kapcsolatba.

Lehet, hogy egy kicsit keményen bánok a filozófusokkal, de ők sem viselkednek túl kedvesen velem. Elméletemet naivnak és együgyűnek nyilvánították. Engem pedig felváltva nominalistának, instrumentalistának, pozitivistának, realistának és számos egyéb istának kiáltottak ki. A rágalmazva cáfolás módszerét alkalmazták, amely szerint ha az elméletet be lehet sorolni valamilyen kategóriába, a cáfolatot már nem is kell részletesen kifejteni. Valamennyien ismerjük az efféle izmusok végzetes tévedéseit.

Azok az emberek, akik az elméleti fizika tényleges eredményeit megalkotják, nem is gondolnak azokra a kategóriákra, amelyeket a filozófusok és a tudománytörténészek később kitalálnak nekik. Biztos vagyok benne, hogy Einsteint, Heisenberget és Diracot nem érdekelte, hogy vajon realistának vagy instrumentalistának minősülnek-e. Csak az foglalkoztatta őket, hogy a létező elméletek ellentmondanak egymásnak. Az elméleti fizika fejlődése szempontjából sokkal fontosabb tényezőt jelentett a logikusságra és ellentmondásmentességre való törekvés, mint a kísérleti eredmények. Egyébként sok elegáns és csodálatos elméletet elvetettek már, mert nem állt összhangban a megfigyelésekkel, de nem ismerek egyetlen fontosabb elméletet sem, amely kizárólag kísérleti eredmények alapján alakult volna ki. Először mindig az elmélet jön létre, mert elegáns és ellentmondásoktól mentes matematikai modellre van szükség. Az elmélet lehetőséget nyújt bizonyos előrejelzésekre, amelyeket megfigyelésekkel lehet ellenőrizni. Ha a megfigyelések összhangban állnak az előrejelzésekkel, ez nem jelenti az elmélet igazolását, de az elmélet fennmarad és alkalmazásával újabb előrejelzéseket lehet készíteni, ezeket pedig újabb megfigyelésekkel lehet ellenőrizni. Ha viszont a megfigyelések nem egyeznek az elméleti előrejelzésekkel, akkor az elméletet elvetik.

Valószínűleg inkább úgy kellene fogalmaznom, hogy feltehetően ez történik. A gyakorlatban az emberek nagyon vonakodva adják fel azt az elméletet, amelynek kidolgozásába sok időt és energiát fektettek. Általában inkább a megfigyelések pontosságában kételkednek. Ha ez nem vezet eredményre, akkor megpróbálják az adott esetre módosítani az elméletet. Előfordul, hogy az elmélet építménye csúnyán recsegni-ropogni kezd. Ekkor aztán valaki új elmélettel áll elő, amely a kényelmetlen megfigyeléseket elegáns és természetes módon megmagyarázza. Jó példa erre az 1887-ben elvégzett Michelson-Morley-kísérlet, amely szerint a fény sebessége mindig azonos -

függetlenül attól, hogy a fényforrás vagy a megfigyelő mozog-e, vagy sem. Ez a megfigyelés képtelenségnek tűnt. Ha valaki a fény felé halad, annak azt kellene észlelnie, hogy a fény nagyobb sebességgel terjed, mint abban az esetben, ha a megfigyelő a fényvel azonos irányban mozog; a kísérletek során viszont mindkét irányban mozogva pontosan ugyanazt a sebességet mérték. Az ezt követő tizennyolc év során számos kutató, pl. Hendrik Lorentz és George Fitzgerald megpróbálta ezt a kísérleti eredményt a térről és az időről akkoriban elfogadott elgondolások keretein belül értelmezni. Az adott esetre vonatkozó posztulátumokat vezettek be, pl. feltételezték, hogy a nagy sebességgel mozgó testek megrövidülnek. A fizika egész felépítménye csúnyává és nehézkessé vált. És ekkor (1905-ben) Einstein egy sokkal tetszetősebb elgondolást terjesztett elő, amelyben az idő nem különálló és független dolog, hanem a térrel együtt téridőnek nevezett négydimenziós rendszert alkot. Einsteint nem annyira a kísérleti eredmények vezették erre az elgondolásra, hanem inkább az a vágy, hogy ellentmondásmentes módon összeillesszen két fizikai elméletet. E kettő az elektromos és mágneses térre vonatkozó törvényeket, valamint a testek mozgására vonatkozó törvényeket meghatározó elmélet volt.

Azt hiszem, 1905-ben sem Einstein, sem bárki más nem volt igazán tudatában annak, hogy milyen egyszerű és milyen elegáns a relativitás új elmélete. Teljesen forradalmasította az időről és a térről alkotott elképzelésünket. Ez a példa jól szemlélteti, milyen bonyolult dolog tudományfilozófiai szempontból realistának lenni, hiszen az, amit realitásnak tekintünk, az elfogadott elméletektől is függ. Biztos vagyok benne, hogy Lorentz és Fitzgerald realistának tekintették magukat, mikor a fénysebességgel kapcsolatos kísérleteket megpróbálták Newton elméletének megfelelően az abszolút térben és abszolút időben értelmezni. Úgy tűnt, ezek a térről és időről alkotott elképzelések megfelelnek szokásos realitásérzetünknek. Ma mégis egészen más a véleményük azoknak, akik ismerik a relativitáselméletet. Egyelőre ugyan még nyugtalanító kisebbségben vagyunk, de nekünk kellene terjesztenie az ilyen alapvető fogalmak, mint a tér és az idő modern jelentését.

Hogyan lehet a realitás filozófiánk alapja, ha elméleteinktől függ, hogy mit tekintünk reálisnak? Én realistának tartom magam abban az értelemben, hogy úgy gondolom, létezik körülöttünk a világegyetem, amely arra vár, hogy tanulmányozzuk és megértsük. Szerintem egyszerűen időpocsékolás azzal a szolipszista (szélsőségesen szubjektív idealista) állásponttal foglalkozni, amely szerint minden csak a képzeletünk teremtménye. Senki sem ezen az alapon érvel. De a világegyetem esetében elmélet nélkül egyszerűen nem tudjuk felismerni, mi a valóság, a realitás. Ezért az a véleményem, amit egyébként együgyűnek és naivnak nyilvánítottak, hogy a fizikai elméletek egyszerűen matematikai modellek, amelyeket a kísérleti eredmények leírására használunk. Egy elmélet akkor jó, ha modellként elegáns, ha nagyszámú ismert megfigyelést helyesen ír le és ha képes előre jelezni újabb megfigyelések eredményeit. Ezen túlmenően nincs értelme feltenni azt a kérdést, hogy megfelel-e a valóságnak, mivel nem tudjuk, mi az elmélettől független valóság. A tudományos elméletek ilyen felfogása miatt lettem instrumentalista vagy pozitivistá - mint említettem, mindkettőnek kikiáltottak már. Az, aki pozitivistának nevezett, még azt is hozzátette, hogy a pozitívizmus tudvalevően kiment már a divatból - a rágalmazással történő cáfolás újabb példája. Talán a pozitívizmus mint a közelmúlt intellektuális hóbortja valóban kiment a divatból, de az általam körvonalazott pozitivistá álláspont továbbra is az egyetlen lehetséges megközelítésnek tűnik azok számára, akik új törvényeket és új módszereket keresnek a világegyetem leírására. Nem lehet közvetlenül a valósághoz fordulni, mert a modellektől függetlenül nem tudunk képet alkotni róla.

Véleményem szerint a modelltől független valóságba vetett hit az alapvető oka annak, hogy a tudományfilozófusoknak a kvantummechanika és a határozatlansági elv problémát jelent. Vegyük a Schrödinger macskájának nevezett híres gondolkísérletet. Eszerint egy macskát dobozba zárnak, a dobozra pedig fegyvert irányítanak. A fegyver akkor sül el, ha egy radioaktív atommag elbomlik. Ennek az eseménynek a valószínűsége ötven százalék. (Manapság senkinek nem jutna eszébe, hogy

ilyen kísérletet merjen javasolni, még gondolkísérlet formájában sem, de Schrödinger idejében még keveset lehetett hallani az állatvédőkről.)

Ha a dobozt kinyitjuk, a macskát élve vagy holtan találjuk, a doboz kinyitása előtt azonban a macska kvantumállapota a halott és az élő állapot keveréke. Ezt az eredményt néhány tudományfilozófus szerint nagyon nehéz elfogadni: Azzal érvelnek, hogy a macska nem lehet félig halott, félig pedig élő, ugyanúgy ahogy félig terhes sem lehet senki. Problémájuk onnan adódik, hogy hallgatólagosan a valóság klasszikus fogalmát alkalmazzák, amely szerint minden dolog egyetlen meghatározott előzmény következménye. A kvantummechanika lényege viszont éppen az, hogy a valóságot másképp szemléli. Eszerint a dolgoknak nem csak egyetlen, hanem az összes lehetséges történelme létezik. Egy adott történelem valószínűsége a legtöbb esetben kizárja a tőle csak elenyészően különböző történelmek valószínűségét is; bizonyos esetekben azonban a hasonló történelmek valószínűsége egymást erősíti és ilyenkor a nagyobb valószínűségű történelmek egyikét figyelhetjük meg a dolog meg előzményeként.

Schrödinger macskájának esetében a doboz kinyitása előtt két nagyobb valószínűségű múlt létezik. Az egyikben a macskát lelövik, a másikban a macska életben marad. A kvantumelmélet szerint mindkét lehetőség fennáll. Néhány filozófus azonban ebbe nem tud belenyugodni, mert vakon feltételezi, hogy a macskának csak egyetlen múltja lehet.

Az idő jellege is olyan terület, amelynek esetén a fizikai elméletek határozzák meg a valóságról alkotott fogalmainkat. Régebben magától értetődőnek tekintettük, hogy az idő örökké előrehalad, bármi történjen is. A relativitáselmélet azonban összekapcsolta az időt a térrel és kimondta, hogy a világegyetemben található anyag és energia hatására mind az idő, mind a tér torzulhat, azaz görbült lehet. Ezért az időről alkotott képünk megváltozott, mai felfogásunk szerint az idő nem független a világegyetemtől, hanem éppenséggel a világegyetem alakítja. Már az is elképzelhető, hogy egy bizonyos időpontot megelőzően az idő definiált fogalma egyszerűen még nem is létezett. Időben visszafelé haladva olyan áthatolhatatlan akadályba, szingularitásba ütközhetnénk, amelyen lehetetlen túljutni. Ha ez lenne a helyzet, nem lenne értelme feltenni a kérdést, ki vagy mi hozta létre illetve okozta az ősrobbanást. Ha oksági viszonyról vagy teremtésről beszélünk, hallgatólagosan feltételezzük, hogy az idő az ősrobbanás szingularitása előtt is létezett. Huszonöt éve tudjuk, hogy az időnek Einstein általános relativitáselméletéből következően tizenötmilliárd évvel ezelőtt egy szingularitásban kellett kezdődnie. A filozófusok azonban még mindig nem tudták ezt felfogni. Még mindig a kvantummechanika hatvanöt évvel ezelőtt lefektetett alapjait boncolgatják. Nem veszik észre, hogy a fizika súlypontja ma már egész más területre tevődött át.

Még ennél is rosszabb a helyzet a képzetes (imaginárius) idő matematikai fogalma körül, amelynek felhasználásával Jim Hartle és jómagam javasoltuk, hogy a világegyetemnek sem kezdete, sem vége nincs. A képzetes idő fogalmának használata miatt egy tudományfilozófus aztán durván megtámadott. Azzal érvelt, hogyan lehet a képzetes időhöz hasonló matematikai trükknek bármi köze a valós világegyetemhez. Véleményem szerint ez a filozófus nem volt tisztában a valós és a képzetes számok matematikai fogalma, valamint a valós és képzetes szavak hétköznapi jelentése közötti különbséggel. Ez a példa is jól megvilágítja az általam felvetett kérdést: hogyan ismerhetnénk a valóságot az értelmezésére használt elméletektől és modellektől függetlenül?

A relativitáselmélet és a kvantummechanika területéről vett fenti példákon azt akartam bemutatni, milyen kérdésekkel találja szemben magát az ember, ha a világegyetembről próbál képet alkotni. Ebből a szempontból nem lényeges, hogy a hallgatóság vagy az olvasó érti-e a relativitáselméletet és a kvantummechanikát, sőt még az sem, hogy a két elmélet egyáltalán helyes-e. Remélem, sikerült érzékeltetnem, hogy a világegyetem megértésének egyetlen módja - legalábbis az elméleti fizikusok számára - egyfajta pozitivista megközelítés, amely az elméletet modellnek tekinti. Bízom benne, hogy sikerülni fog olyan ellentmondásmentes modellt találnunk, amely

mindent leír a világegyetemben. Ha ez bekövetkezik, valódi diadalt jelent majd az emberiség számára.

Véget ér az elméleti fizika? (*)

(*) 1980. április 29-én Cambridge-ben a matematika professzorává neveztek ki és Newton egykori tanszékének vezetésével bíztak meg. Beiktatásom alkalmából a fenti előadást tartottam, amelyet egyik hallgatóm olvasott fel.

A következő oldalakon azzal a lehetőséggel kívánok foglalkozni, hogy az elméleti fizika a nem túl távoli jövőben (mondjuk az évszázad végére) elérheti végső célját. Ezen azt értem, hogy a fizikai kölcsönhatások olyan teljes, ellentmondásmentes és egységes elméletéhez juthatunk, amellyel az összes lehetséges megfigyelést le lehet írni. Természetesen nagyon óvatossá kell lenni az ilyen kijelentésekkel. Már legalább kétszer úgy hittük, hogy a végleges szintézis határához jutottunk. A század elején az a nézet terjedt el, hogy a kontinuummechanikai tárgyalásmód segítségével minden leírható. Csak arra van szükség, hogy néhány rugalmassági, viszkozitási, vezetőképességi stb. paramétert megmérjünk. Ez a remény szertefoszlott az atomok szerkezetének felfedezésével és a kvantummechanika megjelenésével. Az 1920-as évek vége felé egy Göttingenbe látogató kutatócsoportnak Max Born úgy nyilatkozott, hogy "a fizika, a jelenlegi tudásunk szerint hat hónapon belül befejeződik". Ez röviddel az elektron viselkedését leíró Dirac-egyenlet felfedezése után történt (korábban Paul Dirac is Newton egykori tanszékének élén állt). Azt remélték, hogy az akkoriban ismert másik elemi részecskét, a protont is hasonló egyenlet írja le. A neutron és a magerők felfedezése ismét meghiúsította a fizika befejezésével kapcsolatos reményeket. Ma már tudjuk, hogy sem a proton, sem a neutron nem elemi részecske, hanem kisebb részecskékből tevődik össze. Azonban az utóbbi években nagy haladás történt, és - ahogy az alábbiakban részletezem - óvatos optimizmussal várhatjuk, hogy az egységes elmélet egy emberöltőn belül megszületik.

De ha a teljes egységes elmélet birtokába jutunk, akkor is csak a legegyszerűbb esetekben tudjuk majd megoldani. Például már az összes olyan fizikai törvényt ismerjük, amelyek a mindennapi élet valamennyi jelenségét leírják. Ahogy Dirac rámutatott, egyenlete "a fizikában szinte mindennek, a kémiában pedig mindennek" az alapját képezi. Az egyenletet azonban csak a legegyszerűbb probléma, a hidrogénatom esetében tudjuk megoldani, ez pedig mindössze egyetlen protonból és egyetlen elektronból áll. Bonyolultabb, többelektronos atom vagy több atommagot tartalmazó molekulák esetében közelítésekhez vagy kétes értékű becslésekhez kell folyamodnunk. A 10^{23} részecskéből álló makroszkopikus rendszerek esetében statisztikus módszereket kell alkalmaznunk, és az egzakt megoldásnak még a látszatával is fel kell hagynunk. Bár elvileg minden egyenletet ismerünk, amelyek az egész biológiát leírják, mégsem sikerült az emberi viselkedés tanulmányozását az alkalmazott matematika egyik ágává redukálnunk.

Mit is értünk a teljes és egyesített fizikai elméleten? A fizikai realitás modellezése általában két részből áll:

1. A fizika részterületeire érvényes lokális törvények együtteséből, amelyek különféle fizikai mennyiségeket tartalmaznak. Ezek a törvények rendszerint differenciálegyenletek formáját öltik.

2. Határfeltételek együtteséből, amelyek megadják a világegyetem bizonyos tartományainak egy adott időpontban felvett állapotát, és azt, hogy a világegyetem többi részéből később milyen hatások fogják élni.

Sokan azt tartják, hogy a tudomány szerepe ezek közül az elsőre korlátozódik, és az elméleti fizika akkor éri el végső célját, amikor valamennyi lokális törvényt megfogalmazza. A világegyetem kezdeti értékeinek problémáját a vallás metafizikai birodalmába tartozó kérdésnek tekintik. A fenti nézetet vallók hozzáállása bizonyos értelemben hasonló azokéhoz, akik az elmúlt évszázadokban helytelenítették a tudományos vizsgálatokat, azzal érvelve, hogy a természeti jelenségek Isten munkái, és az embernek nem is szabad tanulmányoznia ezeket. Én azt gondolom, hogy a világmindenség kezdeti értékeinek kérdése a lokális törvényekhez hasonlóan alkalmas tárgya a vizsgálódásnak. Soha nem jutunk el egy teljes elmélethez, ha csak annyit tudunk mondani, hogy "a dolgok olyanok, amilyenek, mert olyanok voltak, amilyenek voltak".

A kezdeti értékek egyértelműsége szorosan kapcsolódik a lokális fizikai törvények tetszőlegességének kérdéséhez: egy elméletet nem tekinthetünk teljesnek, ha számos olyan illeszthető paramétert tartalmaz, mint a tömeg vagy a csatolási állandók, amelyeknek tetszőleges értékeket adhatunk. Valójában úgy tűnik, hogy sem a kezdeti feltételek, sem az elmélet paramétereinek értékei nem tetszőlegesek, hanem nagyon is gondosan vannak kiszemelve vagy megválasztva. Például: ha a proton és a neutron tömegének különbsége nem lenne kb. kétszerese az elektron tömegének, nem figyelhetnénk meg azokat a stabil atommagokat, amelyek az elemek magját alkotják, és a kémia és a biológia alapját képezik. Hasonlóképpen, ha a proton gravitáló tömege lényegesen különböző lenne, nem létezhetek volna azok a csillagok, amelyekben ezek az atommagok felépültek, és ha az univerzum kezdeti tágulása kissé lassúbb vagy kissé gyorsabb lett volna, akkor a világegyetem vagy még az ilyen csillagok kialakulása előtt összeroppant, vagy olyan gyorsan kiterjedt volna, hogy a csillagok létrejötte gravitációs kondenzáció útján nem lett volna lehetséges.

Néhányan olyan messzire mennek, hogy a kezdeti feltételekre és a paraméterekre vonatkozó fenti megszorítást egy elv státusára emelik, és kimondják az ún. antropikus elvet: "A dolgok azért olyanok, amilyenek, mert itt vagyunk". Az antropikus elv egyik változata szerint igen nagyszámú, egymástól eltérő és különálló világegyetem létezik, amelyek egymástól csak a paraméterekben és a kezdeti feltételekben térnek el. A legtöbb ilyen univerzumban nem kedvezőek a feltételek a bonyolult, komplex rendszerek kialakulásához, amelyek pedig az intelligens élet előfeltételei. Csak kevés univerzumban lehetséges az intelligens élet, mégpedig olyanokban, amelyekben a paraméterek és a kezdeti feltételek a mi világegyetemünkéhez hasonlóak. Arra a kérdésre, hogy "miért olyan az univerzum, amilyennek megfigyeljük?" az a válaszuk, hogy természetesen ilyen, hiszen ha másmilyen lenne, senki sem létezne, aki feltehetné ezt a kérdést.

Bár az antropikus elv bizonyos fajta magyarázatot szolgáltat a különböző fizikai paraméterek között megfigyelt meglepő numerikus összefüggésekre, mégsem tekinthetjük teljesen kielégítőnek. Nem tudunk megszabadulni attól az érzéstől, hogy valamilyen mélyebb magyarázatnak is léteznie kell, és nem lehet érvényes az egész univerzumra sem. Egészen biztos, hogy a Naprendszer létezésünk elengedhetetlen feltétele, valamint azok a közeli, korábbi generációs csillagok is, amelyekben a nukleáris szintézis során a nehéz elemek képződtek. Az is lehetséges, hogy létezésünkhöz az egész galaxisunkra is szükség volt. De egyáltalán nem látszik, hogy más galaxisra miért lenne szükség, nem is szólva arról a milliószor millió galaxisról, amelyet hozzávetőleg egyenletes eloszlásban láthatunk a megfigyelhető világegyetemben. Az univerzum nagy léptékű homogenitása nagyon nehezen teszi hihetővé, hogy a világegyetem szerkezetét valami olyan perifériális dolog határozná meg, mint néhány bonyolult szerkezetű molekula egy kisméretű bolygón, amely egy átlagos csillag körül kering egy tipikus spirálgalaxisban.

Ha nem fordulunk az antropikus elvhez, akkor egy egyesített elméletre van szükségünk, hogy elkerüljük a kezdeti feltételek és a különböző fizikai paraméterek problémáját. Azonban nagyon nehéz egy vadonatúj, minden létezőt leíró teljes elméletet első nekifutásra megalkotni (néhány

embert ez sem riasztja vissza a próbálkozástól; hetente két-három egyesített elméletet kapok a postával). Ehelyett olyan helyzeteket leíró részleges elméletek után kutatunk, amelyekben bizonyos kölcsönhatásokat elhanyagolhatunk, vagy egyszerű módon közelíthetünk. Az univerzumban létező dolgokat először két csoportra osztjuk: "anyagra", azaz részecskékre, például kvarkokra, elektronokra, müonokra stb., és "kölcsönhatásokra", például a gravitációs kölcsönhatásra, az elektromágneses kölcsönhatásra, stb. Az anyagrészecskéket feles spinű erők írják le, és a Pauli-féle kizárási elvnek engedelmessé válnak, amely megtiltja, hogy valamelyik részecskefajtából egynél több legyen ugyanabban az állapotban. Ez az oka annak, hogy a szilárd testek nem zsugorodnak egy pontba vagy nem sugározódnak szét a végtelenbe. Az anyagrészecskék két csoportra oszthatók: hadronokra, amelyek kvarkokból állnak, és leptonokra, amelyekhez az összes többi részecske tartozik.

A kölcsönhatásokat fenomenológiai szempontból négy kategóriába soroljuk. Erősség sorrendjében ezek a következők: az erős magerők, amelyek csak a hadronokra hatnak; az elektromágnesesség, amely a töltéssel rendelkező hadronokra és a leptonokra hat; a gyenge magerők, amelyek valamennyi hadronra és leptonra hatással vannak; és végül a leggyengébb a gravitáció, amely mindennel kölcsönhat. A kölcsönhatásokat egész spinű erők reprezentálják. Ezekre nem érvényes a Pauli-elv, azaz számos részecske lehet ugyanabban az állapotban. Az elektromágneses és a gravitációs kölcsönhatás nagy hatótávolságú, ami azt jelenti, hogy az erőkeltő nagyszámú részecske hatása összeadódik, és makroszkopikusan detektálni lehet. Ez az oka annak, hogy ezekre a kölcsönhatásokra dolgoztak ki először elméleteket: a gravitációra Newton a tizenhetedik században, az elektromágnesességre pedig Maxwell a tizenkilencedik században. Ezek az elméletek azonban egymással alapvetően nem egyeztethetők össze, mivel a newtoni elmélet invariáns, ha az egész rendszer tetszőleges sebességgel mozog, míg a maxwelli elméletben a fénysebességnek kitüntetett szerep jut. Kiderült, hogy a newtoni gravitációs elméletet kell módosítani, hogy kompatibilissé váljon a Maxwell-elmélet invariancia tulajdonságaival. Ezt Einstein 1915-ben felállított általános relativitáselmélete valósította meg.

A gravitáció általános relativitáselmélete és az elektrodinamika Maxwell-elmélete úgynevezett klasszikus elméletek, azaz folytonosan változó mennyiségekkel dolgoznak, és ezek a mennyiségek - legalábbis elvben - tetszőleges pontossággal mérhetők. Amikor viszont ilyen elméleteket akartak az atomok modellezésére alkalmazni, problémák merültek fel. Felfedezték, hogy az atom egy kisméretű, pozitív töltésű magból, és a magot körülvevő, elektronok által alkotott negatív töltésű felhőből áll. Kézenfekvő volt az a feltételezés, hogy az elektronok az atommag körül keringenek, ahogy a Föld kering a Nap körül. A klasszikus elméletek azonban azt jósolták, hogy az elektronok ebben az esetben elektromágneses hullámokat sugároznának ki. Ezek a hullámok energiát hordoznak, ezért az elektronok spirális pályán a magba zuhannának, így az atom összeomlana.

Ezt a problémát az elméleti fizika jelen évszázadban kifejlesztett legnagyobb vívmánya - a kvantumelmélet - oldotta meg. A kvantumelmélet alapvető posztulátuma a Heisenberg-féle határozatlansági reláció, amely azt mondja ki, hogy bizonyos mennyiségpárokat, például egy részecske helyét és impulzusát nem lehet egyidejűleg tetszőleges pontossággal mérni. Az atom esetében ez azt jelenti, hogy az elektron a legkisebb energiájú állapotában (ami az atommagban lenne) nem lehet nyugalomban, mert ekkor a helye is (a magban), és a sebessége is (zérus) pontosan meghatározott lenne. Ehelyett mind a helynek, mind a sebességnek valamilyen valószínűség-eloszlással el kell kenődnie a mag körül. Ebben az állapotban az elektron nem sugározhat elektromágneses hullámokat, mert nincs alacsonyabb energiájú állapota.

Az 1920-as és 1930-as években a kvantummechanikát nagy sikerrel alkalmazták az atomokra és a molekulákra, tehát olyan rendszerekre, amelyeknek csupán véges számú szabadsági foka van. Nehézségek merültek fel viszont, amikor az elektromágneses térre akarták alkalmazni, mert az elektromágneses tér szabadsági fokainak száma végtelen (durva közelítéssel azt mondhatjuk, hogy a

téridő minden pontjában kettő). Ezeket a szabadsági fokokat oszcillátoroknak tekinthetjük, amelyek mindegyikének saját helyzete és impulzusa van. Az oszcillátorok nem lehetnek nyugalomban, mert akkor pozíciójuk és impulzusuk is pontosan meghatározott lenne. Ehelyett minden oszcillátornak legalább bizonyos, zérustól különböző minimális energiája, ún. zéruspont-energiája van. A végtelen számú szabadsági fokra jutó teljes energia azt eredményezné, hogy az elektron látszólagos tömege és töltése végtelen lenne.

Az 1940-es években a fenti nehézség elkerülésére kifejlesztették a renormálást. Ez abból állt, hogy meglehetősen önkényesen bizonyos végtelen mennyiségeket levontak, hogy csak a véges mennyiségek maradjanak meg. Az elektrodinamikában két ilyen végtelen mennyiség levonására volt szükség, az egyik az elektron tömegével, a másik az elektron impulzusával kapcsolatban merült fel. Ezt a renormálási folyamatot soha nem helyezték szilárd elméleti vagy matematikai alapra, de a gyakorlatban egészen jól működött. Legnagyobb sikere az atomi hidrogén színképvonalaiiban mutatkozó kismértékű eltolódás (az ún. Lamb-eltolódás) megjósolása volt. Nem bizonyul azonban kielégítőnek a teljes, egyesített elmélet megalkotására tett kísérlet szempontjából, mert semmilyen előrejelzést sem ad a végtelen mennyiségek levonása után maradó véges értékekre. Így vissza kellett volna térnünk az antropikus elvhez, hogy magyarázatot adjunk arra, miért éppen akkora az elektron tömege és töltése, mint amekkorának megfigyeljük.

Az 1950-es és 1960-as években az volt az általános vélemény, hogy a gyenge és az erős kölcsönhatást nem lehet renormálni, mert végtelen számú végtelen mennyiséget kellene levonni ahhoz, hogy véges eredményt kapjunk. Végtelen számú véges maradék keletkezne, amelyet nem határoz meg az elmélet. Egy ilyen elmélet nem lenne előremutató (nem szolgáltatna előrejelzéseket), mert végtelen számú paramétert nem lehet megmérni. Azonban Gerard 't Hooft 1971-ben megmutatta, hogy az elektromágneses és a gyenge kölcsönhatás egyesített elmélete - amelyet korábban Abdus Salam és Steven Weinberg javasolt - véges számú végtelen tag levonásával renormálható. A Salam-Weinberg-elméletben a fotonhoz, amely egyes spinű részecske és az elektromágneses kölcsönhatás hordozója, három másik egyes spinű részecske (W^+ , W^- és Z^0) társul. Az elmélet jóslása szerint ez a négy részecske magas hőmérsékleten hasonlóan viselkedik. Alacsony hőmérsékleten azonban az ún. spontán szimmetriasértés jelenségét kell segítségül hívni annak a ténynek a magyarázatához, hogy a foton nyugalmi tömege zérus, a W^+ , W^- és Z^0 nyugalmi tömege viszont egyaránt jelentős. Az elmélet alacsony energiákra vonatkozó előrejelzése meglepően jól egyezett a megfigyelésekkel, és 1979-ben a Svéd Akadémia Salamnak, Weinbergnek és Glashow-nak ítélte a fizikai Nobel-díjat. Glashow ugyancsak egyesített elméletet állított fel, de ő maga megjegyezte, hogy a Nobel-díj Bizottság meglehetősen kockázatos vállalkozást hajtott végre, mivel jelenleg még nem épült olyan részecskegyorsító, amellyel a fotonok által közvetített elektromágneses kölcsönhatás és a W^+ , W^- és Z^0 részecskék által közvetített gyenge kölcsönhatás egyesítése valóban megnyilvánul. Néhány éven belül elkészülnek majd a kellően nagy teljesítményű gyorsítók, és a legtöbb fizikus bízik abban, hogy a Salam-Weinberg-elméletet igazolni fogják. (*)

(*) A W és Z részecskét 1983-ban a genfi CERN laboratóriumban észlelték, és 1984-ben a felfedezést végző kutatócsoport vezetői, Carlo Rubbia és Simon van der Meere Nobel-díjat kaptak. Gerard't Hooft nem részesült a díjból.

A Salam-Weinberg-elmélet sikere lendületet adott az erős kölcsönhatás hasonló renormálására irányuló kísérleteknek. Viszonylag hamar észrevették, hogy a proton és a többi hadron, köztük a pi-mezon, nem lehetnek valódi elemi részecskék, hanem más elemi részecskéknek, a kvarkoknak a kötött állapotai. A kvarkoknak az a különleges tulajdonságuk, hogy - bár a hadronon belül viszonylag szabadon mozognak - lehetetlen akár egyetlen kvarkot is önmagában megfigyelni. Vagy hármas csoportokban jelennek meg (pl. proton vagy neutron formájában), vagy kvark-antikvark

párokban (ilyen pl. a pi-mezon). Ennek magyarázatára egy színnek nevezett tulajdonságot tételeznek fel. Hangsúlyozni szeretném, hogy ennek semmi köze sincs a fény általunk érzékelt színéhez; a kvarkok túl kicsik ahhoz, hogy láthatók legyenek. Az elnevezés csupán konvenció. Az alapötlet szerint a kvarkok három - vörös, zöld és kék - színben fordulhatnak elő, de bármely kötött állapot szintelen: vagy a vörös, zöld és kék kombinációja miatt (ilyen pl. a proton), vagy a vörös és antivörös, a zöld és antizöld vagy a kék és antikék párok kialakulása miatt (ilyen a pi-mezon).

A kvarkok közötti erős kötést a feltételezések szerint nem a gyenge kölcsönhatás közvetítői, hanem inkább egyes spinű részecskék, ún. gluonok hordozzák. A gluonoknak is van színük, és a kvarkokkal együtt egy renormálható elmélet, az ún. kvantum-szindinamika (*quantum chromodynamics, QCD*) írja le a viselkedésüket. A renormálási eljárás következményeként az elmélet effektív csatolási állandója függ az energiától, és nagyon nagy energiákon zérusra csökken. Ezt a jelenséget aszimptotikus szabadságnak (*asymptotic freedom*) nevezik. Ez azt jelenti, hogy a kvarkok a hadron belsejében a nagyenergiájú ütközések során szinte szabad részecskéként viselkednek, és perturbációjuk sikeresen vizsgálható a perturbációszámítás segítségével. A számítások eredményei kvalitatívan elfogadható összhangban állnak a megfigyelésekkel, de még nem állíthatjuk, hogy az elmélet kísérleti bizonyítást nyert. Alacsony energiákon az effektív csatolási állandó nagyon nagygyá válik, és a perturbációszámítás nem szolgáltat elfogadható eredményeket. A remények szerint ez az "infravörös rabszolgaság" a magyarázata annak, hogy a kvarkok miért mindig szintelen kötött állapotra korlátozottak, eddig azonban még senki sem tudta ezt meggyőzően bizonyítani.

Mivel találtunk egy renormálható elméletet az erős kölcsönhatásra, egy másikat pedig a gyenge és az elektromágneses kölcsönhatásra, kézenfekvő, hogy a kettőt egyesítő elmélet után kutassunk. Az ilyen elméleteknek erős túlzással a "nagy egyesített elméletek" (*grand unified theories, GUT*) nevet adták. Az elnevezés azért félrevezető, mert az elméletek se nem nagyok, se nem teljesen egyesítettek, és nem is teljes elméletek abban az értelemben, hogy számos renormálási paramétert (pl. csatolási állandókat és tömegeket) tartalmaznak. Mégis jelentős lépésnek tekinthetjük ezeket az egyesített elmélet felé vezető úton. Az alapgondolat szerint az erős kölcsönhatások csatolási állandója, amely alacsony energiákon nagy értékeket vesz fel, nagy energiákon fokozatosan eltűnik az aszimptotikus szabadság miatt. Másrészt viszont a Salam-Weinberg-elmélet effektív csatolási állandója, amely alacsony energiákon kicsi, nagyobb energiákon fokozatosan növekszik, mert ez az elmélet nem mutat aszimptotikus szabadságot. Ha extrapoláljuk a csatolási állandók növekedésének és csökkenésének alacsony energiákon mutatkozó mértékét, akkor azt kapjuk, hogy a két csatolási állandó kb. 10^{15} GeV energián egyenlővé válik. (1 GeV = 1 milliárd elektronvolt. Hozzávetőleg ennyi a hidrogénatom teljes nyugalmi energiája. Összehasonlításképpen: a kémiai reakciókban, pl. az égés során atomonként egy elektronvolt nagyságrendű energia nyerhető.) Az elméletek szerint kb. 10^{15} GeV energia fölött az erős kölcsönhatás egyesül a gyenge és elektromágneses kölcsönhatással, alacsonyabb energiákon azonban spontán szimmetriasértés következik be.

A 10^{15} GeV messze a laboratóriumi berendezések hatókörén kívül fekszik; a jelenlegi részecskegyorsító-generáció kb. 10 GeV, a következő generáció pedig kb. 100 GeV tömegközépponti energiát képes elérni. Ez elegendő lesz az olyan energiatarományok vizsgálatára, amelyben a Salam-Weinberg-elméletnek megfelelően az elektromágneses kölcsönhatás egyesül a gyenge kölcsönhatással, de nem lesz elegendő olyan óriási energiák elérésére, amelyen az elméleti előrejelzések szerint ezek a kölcsönhatások az erős kölcsönhatással is egyesülnek. A nagy egyesített elméletnek azonban vannak alacsony energiákra vonatkozó előrejelzései is, ezeket ellenőrizni lehetne: pl. az elmélet szerint a proton nem teljesen stabil, hanem kb. 10^{31} év felezési idővel elbomlik. A felezési idő mérésének jelenlegi határa kb. 10^{30} év, de a pontosságot valószínűleg még fokozni lehet.

Az elmélet egy másik előrejelzése a világegyetemben megfigyelhető barion-foton arányra vonatkozik. A részecskékre és antirészecskékre vonatkozó fizikai törvények azonosnak tűnnek. Pontosabban: a törvények azonosak, ha egy rendszerben a részecskéket antirészecskékkal, a jobb sodrású irányítottságot bal sodrásúval cseréljük fel, és a részecskék sebességét ellenkező irányúra változtatjuk. Ez az ún. CPT-elmélet, amely az alapvető feltételezésekből következik, és minden értelmes elméletben érvényesnek kell maradnia. A Föld és az egész Naprendszer azonban protonokból és neutronokból épül fel, antiproton és antineutron nélkül. A részecskék és antirészecskék ilyen egyenlőtlensége valójában egész létezésünk a priori előfeltétele, mert ha a Naprendszerben a részecskék és az antirészecskék száma megegyezne, szétsugárzódna, és csak ez a sugárzás maradna vissza. Az, hogy ilyen átalakulásból származó sugárzást nem tapasztalunk, arra enged következtetni, hogy az egész galaxisunk részecskékből, nem pedig antirészecskékből áll. A többi galaxisra nézve nincs közvetlen bizonyítékunk, de valószínűnek tűnik, hogy a teljes univerzum részecskékből épül fel, és az antirészecskékhez viszonyított részecsketöbblet kb. 10^8 fotonként egy részecske. Megkísérelhetnénk az antropikus elvet magyarázatul hívni, de erre az egyenlőtlenségre a nagy egyesített elméletek is szolgáltatnak egy lehetséges mechanizmust. Bár valamennyi kölcsönhatás invariáns a C (részecske felcserélése antirészecskére), a P (jobb sodrás felcserélése bal sodrásra) és a T (az idő irányának megfordítása) transzformációk együttes alkalmazására, ismerünk olyan kölcsönhatásokat is, amelyek nem invariánsak akkor, ha csak a T transzformációt hajtjuk végre. A korai világegyetemben, amikor az idő irányát a tágulás markánsan kijelölte, ezek a kölcsönhatások az antirészecskéknél több részecskét termelhettek. Mivel a számarányok nagyon modellfüggőek, ezért a megfigyelésekkel való egyezést aligha tekinthetjük a nagy egyesített elméletek bizonyítékának.

Eddig a legtöbb erőfeszítést a fizikai kölcsönhatások első három kategóriájának, az erős és a gyenge magerők valamint az elektromágneses kölcsönhatások egyesítésére fordították. A negyediket, a gravitációt elhanyagolták. Ennek egyik magyarázata az, hogy a gravitációs kölcsönhatás nagyon gyenge, és a kvantumgravitációs effektusok csak a részecskegyorsítók számára elérhetetlenül nagy energiákon válnának jelentőssé. A másik ok az, hogy a gravitáció nem tűnik renormálhatóknak: végtelen számú végtelen mennyiség levonására lenne szükség, ami végtelen számú meghatározatlan véges maradékot szolgáltatna. De ha valóban teljes egyesített elmélethez akarunk jutni, akkor a gravitációt sem hagyhatjuk figyelmen kívül. Annál is kevésbé, mert a klasszikus általános relativitáselmélet megengedi olyan téridő-szingularitások feltételezését, amelyekben a gravitáció végtelen erőssé válik. Ezek a szingularitások a múltban, a világegyetem jelenlegi tágulásának kezdeti (Nagy Bummnak nevezett) szakaszában fordultak elő, a jövőben pedig a csillagok, vagy talán az egész univerzum összehúzódásakor játszanak szerepet. A szingularitások megjelenése arra enged következtetni, hogy a klasszikus elmélet érvényét veszti. Arra azonban semmilyen jel sem utal, hogy mindaddig, amíg a kvantumgravitációs effektusok jelentőssé nem válnak, az elmélet felmondaná a szolgálatot. Így a gravitáció kvantumelmélete az univerzum korai szakaszának leírásakor válik lényegessé, és ekkor - az antropikus elv igénybevétele nélkül - magyarázatot ad a kezdeti feltételekre.

Ilyen elméletre akkor is szükségünk van, ha arra a kérdésre akarunk választ adni, hogy az időnek valóban van-e kezdete és esetleg vége is, ahogy ez a klasszikus általános relativitáselméletből következik. Vagy a Nagy Bumm (*big bang*) és a Nagy Zutty (*big crunch*) szingularitásait a kvantumeffektusok valahogy elsimitják? Nagyon nehéz erre a kérdésre jól definiált választ adni, miközben a tér és az idő valódi szerkezetei maguk is a határozatlansági elvnek engedelmessé válnak. Nekem az a benyomásom, hogy a szingularitások valószínűleg még jelen vannak, bár az idő egy bizonyos matematikai értelemben eljárt felettük. Azonban az idő bármely olyan szubjektív koncepciója, amely a tudatossággal vagy a mérések végrehajtásának képességével áll kapcsolatban, véget érne.

Milyen távlati lehetőség rejlik a gravitáció kvantumelméletének kidolgozásában, és a másik

három kölcsönhatással való egyesítésében? Úgy tűnik, hogy a legnagyobb reménnyel az általános relativitáselmélet kiterjesztése, az ún. szupergravitáció-elméletek megalkotása kecsegtet. Ebben a gravitációs kölcsönhatást kettes spinű részecskék, gravitonok hordoznák, amelyek más alacsonyabb spinű erőterekkel ún. szuperszimmetria-transzformációk útján állnak összefüggésben. Ez az elmélet szakít a feles spinű részecskék által képviselt "anyag" és az egész spinű részecskék által képviselt "kölcsönhatás" kettősséggel. Azzal a nagy előnnyel is jár, hogy alkalmazásával a kvantumelméletben fellépő számos végtelen mennyiség kölcsönösen kiejti egymást. Hogy valamennyi végtelen tag kiejti-e egymást, és az elmélet a végtelen mennyiségek levonása nélkül is véges eredményt szolgáltat-e, még nem tudjuk. Reményeink szerint ki fogják ejteni egymást, mert meg lehet mutatni, hogy a gravitációt is tartalmazó elméletek vagy végesek, vagy nem renormálhatók; tehát ha végtelen mennyiség levonása válik szükségessé, akkor végtelen sok ilyen műveletet kell végrehajtani, amely végtelen sok meghatározatlan maradékot szolgáltat. Így, ha a szupergravitáció elméletében kiderül, hogy a végtelen tagok kölcsönösen kiejtik egymást, akkor olyan elmülethez jutunk, amely nemcsak az összes részecskét és kölcsönhatást tartalmazza, hanem abban az értelemben teljes is, hogy nincsenek benne meghatározatlan renormálási paraméterek.

Bár még nem rendelkezünk a gravitáció kvantumelméletének véglegesnek mondható változatával, nem is beszélve a többi kölcsönhatással való egyesítéséről, de már van néhány olyan elképzelésünk, amelyet majd ennek teljesítenie kell. Az egyik ilyen elképzelés szerint a gravitáció kapcsolatban áll a téridő kauzális szerkezetével, vagyis a gravitáció meghatározza, hogy mely események lehetnek egymással oksági kapcsolatban. Erre az egyik példát a klasszikus általános relativitáselméletben a fekete lyukak szolgáltatják. A fekete lyukak a téridő olyan tartományai, amelyben a gravitációs tér erőssége miatt a kiinduló fény vagy bármely más jel visszazuhan és nem tud eljutni a külvilágba. Az erős gravitációs tér hatására a fekete lyuk közelében részecske-antirészecske párok keletkeznek, amelyek közül az egyik a fekete lyukba zuhan, a másik pedig a végtelenbe távozik. A távozó részecske látszólag olyan, mintha a fekete lyuk bocsátotta volna ki. A távoli megfigyelő csak a távozó részecskéket észlelheti, de nem hozhatja korrelációba őket azokkal, amelyek a fekete lyukba zuhantak, hiszen azokat nem figyelheti meg. Ez azt jelenti, hogy a távozó részecskék véletlenszerűsége vagy előrejelezhetetlensége nagyobb fokú, mint amit a határozatlansági reláció által okozott szokásos véletlenszerűség esetében várnánk. Szokásos esetben a határozatlansági relációnak megfelelően *vagy* a részecske helyét, *vagy* a részecske sebességét, *vagy* a kettő bizonyos kombinációját lehet pontosan meghatározni. Durva közelítéssel azt mondhatjuk, hogy szokásos esetben a pontos előrejelzésre vonatkozó lehetőségünk felére csökken. A fekete lyuk által kibocsátott sugárzás esetén azonban *sem* a részecske helyét, *sem* a részecske sebességét nem tudjuk előre jelezni, mivel nem figyelhetjük meg a fekete lyukban lejátszódó folyamatokat. Mindössze bizonyos állapotú részecskék kibocsátására vonatkozó valószínűségeket tudunk megadni.

Úgy tűnik, ha találunk is egy egyesített elméletet, csak statisztikus előrejelzéseket tudunk majd adni. Azzal a nézettel is szakítanunk kell majd, hogy az általunk megfigyelt világegyetem az egyedül létező univerzum. Meg kell barátkoznunk egy olyan képpel, amelyben az összes lehetséges univerzum bizonyos valószínűség-eloszlás szerint jelen van. Ez magyarázatot adna arra, hogy a világegyetem miért indult az ősrobbanáskor szinte tökéletes termikus egyensúlyban: azért, mert a termikus egyensúlyban legnagyobb a mikroszkopikus konfigurációk száma, és így ennek legnagyobb a valószínűsége. Voltaire filozófusának, Panglossnak (módosított) szavaival élve: "Az összes lehetséges világok legvalószínűbbikében élünk".

Milyen kilátásaink vannak arra, hogy a nem túl távoli jövőben találunk egy teljes, egyesített elméletet? Eddig minden alkalommal, amikor a megfigyeléseinket kisebb méretekre és nagyobb energiákra terjesztettük ki, új szerkezetű szinteket találtunk. A század elején a Brown-mozgás vizsgálatakor az egyes részecskék energiája 3×10^{-2} eV nagyságrendű volt, és arra utalt, hogy az anyag nem folytonos, hanem atomokból épül fel. Nem sokkal később felfedezték, hogy az addig

oszthatatlannak tekintett atomok atommagból és körülötte keringő elektronokból állnak, melyek energiája jellemzően néhány elektronvolt. Az atommag viszont ún. elemi részecskékből épül fel, amelyek 10^6 eV nagyságrendű kötással kapcsolódnak egymáshoz. A történet legújabb fejleményeként kiderült, hogy a proton kvarkokból áll, és a kvarkokat 10^9 elektronvoltos kötés tartja össze. Az elméleti fizika diadalának tekinthető, hogy milyen messzire jutottunk. Ma már rendkívül drága és hatalmas berendezések kellenek olyan kísérletek elvégzéséhez, amelyek eredményeit nem tudjuk előre megmondani.

A múltban szerzett tapasztalataink szerint egyre nagyobb és nagyobb energiájú szintek végtelen sorozatával állunk szemben. (A világ végtelenül egymásba skatulyázott dobozokként való szemlélete Kínában hivatalos dogma volt a Négyek Bandája idején.) Úgy tűnik, hogy a gravitáció ennek határt fog szabni, ez a határ azonban a nagyon rövid 10^{-33} cm távolságoknál és a nagyon nagy 10^{28} eV energiáknál húzódik. Ennél is rövidebb távolságok esetén azt várhatjuk, hogy a téridő már nem sima kontinuumként viselkedik, hanem a gravitációs tér kvantumfluktuációi miatt szivacszerű szerkezetet mutat.

A jelenlegi kísérletekben elérhető 10^{10} eV és a gravitációs 10^{28} eV határérték között még óriási felderítetlen tartomány húzódik. Naivnak tűnik az a gondolat - ahogy a nagy egyesített elmélet teszi -, hogy ebben a tartományban csupán egy vagy két szerkezeti szint helyezkedik el. De bizakodhatunk. Jelenleg úgy látszik, hogy a gravitációt a többi kölcsönhatással csak valamilyen szupergravitációs elmélet keretében egyesíthetjük, és úgy tűnik, hogy csak véges számú ilyen elmélet létezik. A legnagyobb ilyen elmélet az ún. $N=8$ kiterjesztett szupergravitáció. Ebben az elméletben egyetlen graviton, nyolc $3/2$ spinű részecske, huszonnyolc egyes spinű részecske, ötvenhat feles spinű részecske és hetven zérus spinű részecske szerepel. A részecskék száma nagynek tűnik, de valószínűleg még így sem elegendők az erős és gyenge kölcsönhatásban megfigyelt részecskék számának magyarázatához. Az $N=8$ elméletben például huszonnyolc egyes spinű részecske szerepel. Ezekkel meg lehet magyarázni az erős kölcsönhatást hordozó négy gluont, de a gyenge kölcsönhatást közvetítő négy részecske közül csak kettő leírására alkalmasak. Ezért arra lehet következtetni, hogy sok (vagy talán a legtöbb) megfigyelhető részecske, pl. a kvarkok és a gluonok, nem igazán elemiek, ahogy ma feltételezzük, hanem az $N=8$ elemi részecskék kötött állapotai. Nem valószínű, hogy belátható időn belül - vagy akár valaha is - eléggé nagy teljesítményű gyorsítóink lesznek ezeknek az összetett szerkezeteknek a vizsgálatához, különösen, ha a jelenlegi gazdasági helyzetből indulunk ki. Az a tény azonban, hogy ezek a kötött állapotok a jól definiált $N=8$ elméletből származtathatók, lehetővé tesz számos olyan előrejelzést, amelynek helyességét már a napjainkban vagy a közeljövőben elérhető energiákon vizsgálni tudjuk. A helyzet nagyon hasonlóan tűnik az elektromágnesességet a gyenge kölcsönhatással egyesítő Salam-Weinberg-elmülethez: alacsony energiákra vonatkozó előrejelzései olyan jól egyeznek a kísérleti megfigyelésekkel, hogy az elmélet általánosan elfogadottá vált, még akkor is, ha nem állnak olyan energiák a rendelkezésünkre, amelyen az egyesítésnek létre kell jönnie.

A világegyetemet leíró elméletben valóban kell valami különösnek lennie. Miért kel életre éppen ez az elmélet, míg a többi csak a kitalálók fejében létezik? Az $N=8$ szupergravitáció-elmélet igényt tarthat a megkülönböztetésre. Úgy tűnik, ez az egyetlen olyan elmélet, amely

1. négydimenziós
2. magában foglalja a gravitációt
3. véges; végtelen kivonásokat nem tartalmaz.

Már utaltam rá, hogy a harmadik pontban szereplő tulajdonság meglehetősen szükséges, ha teljes, paraméterek nélküli elmülethez akarunk jutni. Az 1. és 2. alatt feltüntetett tulajdonságokról azonban nehéz számot adni az antropikus elv igénybevétele nélkül. Úgy tűnik, hogy már létezik egy

ellentmondásmentes elmélet, amely eleget tesz az 1. és 3. követelményeknek, de nem tartalmazza a gravitációt. Az ilyen világegyetemben azonban valószínűleg nem lenne elegendő vonzóerő ahhoz, hogy az anyag nagy csomókba gyűljön össze, ami pedig elengedhetetlen a bonyolult struktúrák kifejlődéséhez. Azt a kérdést viszont, hogy a téridőnek miért kell négydimenziósnak lennie, szokás szerint nem tekintik a fizika témakörébe tartozó problémának. Pedig van egy antropikus elven alapuló jó válasz erre is. Három téridődimenzió - azaz két térdimenzió és egy idődimenzió - nyilvánvalóan nem elegendő a bonyolult szervezetek létezéséhez. Ha viszont háromnál több térdimenzió létezne, a bolygók Nap körüli vagy az elektronok atommag körüli pályája instabil lenne, és spirálisan befelé irányulna. Marad még az egynél több idődimenzió lehetősége, azonban ilyen univerzumot nagyon nehezen tudunk elképzelni.

Eddig feltételeztem, hogy a végleges elmélet megalkotható. De létezik-e egyáltalán ilyen végleges elmélet? Erre a kérdésre legalább három lehetséges válasz adható:

1. Létezik teljes egyesített elmélet.
2. Nincs végleges elmélet, azonban az elméletek végtelen sorozata létezik, mégpedig úgy, hogy a megfigyelések bármely partikuláris osztályát egy megfelelően mély szinten fekvő elmélettel előre meg lehet jósolni.
3. Egyáltalán nincs elmélet. A megfigyeléseket bizonyos ponton túl nem lehet előre jelezni vagy megjósolni, azok teljes mértékben tetszőlegesek.

A harmadik pont alatti nézetet a tizenhetedik-tizennyolcadik században a tudósok elleni érvelésben alkalmazták: hogy merészeltek olyan törvényeket megfogalmazni, amelyek korlátozzák Istent a szabad döntésben? Ők azonban megtették, és szárazon megúszták a dolgot. A modern időkben a 3. lehetőséget hatékonyan elimináltuk azáltal, hogy beépítettük a rendszerbe: a kvantummechanika lényegében arról szól, amit nem tudunk és amit nem tudunk előre megjósolni.

A második lehetőség az egyre nagyobb energiájú szerkezetek végtelen sorozatához vezet. Mint már korábban említettem, ez a lehetőség nem valószínű, mert úgy tűnik, hogy a 10^{28} eV Planck-energiánál megszakad az egymásba ágyazódás. Tehát csak az 1. lehetőség marad fenn, és ezen belül napjainkban az $N=8$ szupergravitáció-elmélet az egyetlen jelölt. (*) Az elkövetkező néhány évben valószínűleg még számos kritikus számítást kell majd elvégezni, és még az is kiderülhet, hogy az elmélet nem is megfelelő. Ha viszont az elmélet kiállja ezt a próbát, akkor még további néhány évre lesz szükség egy számítógépes modell kidolgozására, amellyel előrejelzéseket lehet készíteni, és amelynek birtokában a világegyetem kezdeti feltételeire valamint a lokális fizikai törvényekre nem lesz többé szükség. Ezek a problémák állnak az elméleti fizikusok előtt az elkövetkező kb. húsz évben. De - hogy egy kissé borúlátó megjegyzéssel zárjam - ennél sokkal több idejük nem lesz rá. Jelenleg a számítógépek a kutatás fontos segédeszközének szerepét töltik be, és az emberi értelem irányítása alatt állnak. Ha azonban az utóbbi időben tapasztalt szédületes fejlődést extrapoláljuk, akkor elég valószínűnek látszik, hogy az elméleti fizika teljes egészében rájuk fog hárulni. Így aztán lehet, hogy már közeledik a vég az elméleti fizikusok, de talán még az elméleti fizika számára is.

(*) A részecskeelméletek közül talán csak a szupergravitációs elméleteknek van meg az 1., 2. és 3. tulajdonsága, de azóta, hogy a beiktatási beszédet megtartottam ill. leírtam, nagy érdeklődést váltottak ki az ún. szuperhúrelméletek is. Ezekben az alapvető objektumok nem pontszerűek, hanem kiterjedtek, mint a húrokból képezett kicsi hurkok. Az alap gondolat szerint az, ami számunkra részecskének tűnik, valójában egy hurok rezgése. Úgy tűnik, hogy a szuperhúrelméletek alacsony energiákon a szupergravitáció-elméletre redukálódnak, eddig azonban még nem nagyon sikerült a szuperhúrelméletekből kísérletileg is igazolható következtetéseket levonni.

Einstein álma (*)

(*) Eredetileg előadás formájában hangzott el Tokióban, az NTT Data Communications Systems Corporation paradigma-szekciójában 1991 júliusában.

A huszadik század első éveiben két új elmélet teljesen megváltoztatta a térről és időről valamint magáról a valóságról alkotott felfogásunkat. Napjainkban, több mint 75 év elmúltával még mindig a belőlük levonható következtetéseken dolgozunk, és megpróbáljuk őket olyan egységes elméletté összekapcsolni, amely minden jelenséget leír majd a világegyetemben. Ez a két elmélet az általános relativitáselmélet és a kvantummechanika. Az általános relativitáselmélet az anyag és az idő fogalmát tárgyalja, valamint azt, hogy nagy léptékű jelenségek esetén hogyan görbül a tér és az idő a világegyetemben található anyag és energia hatására. A kvantummechanika ezzel szemben a rendkívül kis méretek tudománya. Magában foglalja az úgynevezett határozatlansági elvet, amely kimondja, hogy ugyanabban az időpontban nem lehet valamely részecske helyét is és sebességét is pontosan meghatározni; minél pontosabban mérjük az egyik mennyiséget, annál kisebb pontossággal mérhető a másik. Mindig megmarad a bizonytalanság vagy a véletlenszerűség, ami alapvetően befolyásolja az anyag kis méretekben megnyilvánuló viselkedését. Einstein szinte önállóan alkotta meg az általános relativitáselméletet, és fontos szerepet játszott a kvantummechanika kifejlesztésében is. Az utóbbi tudományterülettel kapcsolatos érzéseit híres mondásával szokták összefoglalni: "Isten nem kockázik." Azonban minden jel arra mutat, hogy Isten szenvedélyes szerencsejátékos, és ha csak alkalma nyílik rá, kockázik.

Ebben a tanulmányban megpróbálom kifejtetni az említett két elmélet mögött rejlő alapvető gondolatokat, valamint azt, hogy miért volt Einstein olyan boldogtalan a kvantummechanika miatt. Megkísérlem azokat a különös dolgokat is bemutatni, amelyek akkor történnek, ha megpróbáljuk a két elméletet egyesíteni. A jelek arra utalnak, hogy az idő kb. tizenötmilliárd évvel ezelőtt kezdődött, és valamikor a jövőben valószínűleg véget is ér. Egy másfajta időben azonban a világegyetem határtalan. Nem teremtődött, és nem pusztul el. Egyszerűen csak létezik.

Kezdem a relativitáselmélettel. Az egyes államok törvényei csak egy-egy országban érvényesek, a fizika törvényei azonban Nagy-Britanniában, az Egyesült Államokban és Japánban is azonosak. Sőt ugyanazok a törvények érvényesek a Marson és az Androméda-köd csillagrendszerében. De a törvények ezen túlmenően még attól is függetlenek, mekkora sebességgel mozgunk. Ugyanazok a törvények érvényesek a kilőtt lövedék pályájára, a sugárhajtású repülőgépek mozgására, de a Földön mozdulatlanul álló személyre is. Természetesen még a Földön álló személy is másodpercenként 30 km sebességgel mozog a Nap körül, de a Nap is több száz kilométer per másodperc sebességgel mozog csillagrendszerünk központja körül, és így tovább. A fizikai törvények szempontjából ezek a mozgások nem különböznek egymástól; minden megfigyelő számára

azonosak.

Galilei fedezte fel azt, hogy a rendszer viselkedése független a sebességétől, miközben az olyan testek, mint pl. az ágyúgolyók vagy a bolygók mozgását tanulmányozta. Problémák léptek fel viszont, amikor megpróbálták a fény terjedését leíró törvényekre alkalmazni azt az elvet, hogy a rendszer sebessége független a megfigyelőtől. A tizennyolcadik században fedezték fel, hogy a fény nem pillanatszerűen jut a fényforrástól a megfigyelőhöz, hanem meghatározott, másodpercenként kb. 300.000 km sebességgel terjed. De mihez viszonyítva terjed ekkora sebességgel? Úgy tűnt, hogy léteznie kell valamilyen közegnek, amely kitölti a teret, és a fény ebben terjed. Ezt a közeget

éternek nevezték. Úgy képzeltek, a fény az éterben terjed másodpercenként 300.000 km sebességgel, ami azt jelenti, hogy az éterhez képest nyugalomban levő megfigyelő a fény sebességére kb. 300.000 km/s értéket mérne, az éterben mozgó megfigyelő azonban ennél nagyobb vagy kisebb sebességet észlelné. Ezen kívül azt gondolták, hogy a fény sebességének azért is változnia kell, mert a Föld Nap körüli pályán mozog az éterben. 1887-ben azonban Michelson és Morley pontos kísérletekkel kimutatták, a fénysebesség értéke minden körülmények között ugyanannyi. A megfigyelők mindig 300.000 km/s értéket mértek, függetlenül attól, hogy mekkora sebességgel mozogtak.

Miért mérik a különböző sebességgel mozgó megfigyelők ugyanazt a fénysebességet? Hogyan lehetséges ez? A válasz tulajdonképpen az, hogy sehogysem, legalábbis abban az esetben sehogysem, ha a térről és időről alkotott régi elképzeléseink helyesek. Ezzel szemben Einstein 1905-ben írt híres cikkében rámutatott arra, hogy minden megfigyelő ugyanakkora fénysebességet mérhet, ha feladjuk az univerzális idő gondolatát. Az univerzális idő helyett minden megfigyelő számára egyéni sajátidő létezne, amelyet a magával vitt órán mérne. A különböző órákkal mérhető idők majdnem pontosan megegyeznek, ha a rendszerek egymáshoz képest csak kis sebességgel mozognak - nagy sebességkülönbség esetén viszont a különböző órákkal mért idők jelentős mértékben különböznenek egymástól. Ezt a jelenséget a földi óráknak a menetrend szerinti repülőgépjáratokon elhelyezett órákkal történő összehasonlításakor valóban megfigyelték. Közönséges utazási sebességek esetén persze az órák járásában észlelhető különbségek nagyon kicsik. Négyszázmilliószor kellene körbepülni a Földet, hogy egy másodperccel meghosszabbíthassuk az életünket - viszont közben ennél sokkal nagyobb, de ellentétes hatást okoznának a repülőgépen fogyasztott ételek.

Hogy mérhetik a sajátidő eredményeképpen a különböző sebességgel mozgó megfigyelők ugyanazt a fénysebességet? A fényimpulzusok sebességét úgy kapjuk meg, hogy a fény által két esemény között megtett távolságot osztjuk az események közötti időtartammal. (Ebben az értelemben eseménynek tekintünk mindent, ami a tér egy adott pontján egy meghatározott időben történik.) A különböző sebességgel mozgó megfigyelők különbözőképpen érzékelik a két esemény közötti távolságot. Ha például én vizsgálom a Földön, mennyi utat tett meg egy autó az autópályán, azt gondolhatnám, hogy csupán egy kilométert, ugyanakkor a Napon tartózkodó megfigyelő szemével nézve az autó 1800 kilométert tett meg, mert a Föld is mozgott, miközben az autó az autópályán haladt. Mivel a különböző sebességgel mozgó megfigyelők az események távolságát különbözően észlelik, az események között eltelt időtartamra is különböző értéket kell mérniük, ha megegyeznek abban, hogy a fény sebessége azonos.

Einstein eredeti relativitáselméletét, amelyet 1905-ben írt cikkében tett közzé, ma speciális relativitáselméletnek nevezzük. Az elmélet a tárgyak térben és időben történő mozgását írja le. Eszerint az idő nem önmagában létező, tértől elkülönült univerzális mennyiség. Sokkal inkább úgy tekinthetjük, hogy a múlt és a jövő téridőbeli irányok, hasonlóan a fel és le, jobbra és balra, előre és hátra térbeli irányokhoz. Az időben csak a jövő irányában lehet haladni, de a jövő irányához képest lehet kis szögben való eltéréssel is a jövő felé tartani. Ez okozza, hogy az idő különböző sebességgel múlhat.

A speciális relativitáselmélet összekapcsolta az időt a térrel, de a tér és az idő továbbra is az események rögzített, statikus háttere maradt. A téridőben történő mozgáshoz különböző pályákat lehet ugyan választani, de semmi olyat nem lehet tenni, ami a tér és az idő által rögzített háttérrel módosítaná. Mindez azonban megváltozott, amikor Einstein 1915-ben megfogalmazta az általános relativitáselméletet. Einstein forradalmi ötlete az volt, hogy a gravitáció nem csupán a téridő rögzített háttérében működő erő. Szerinte a gravitáció sokkal inkább a téridőnek a benne foglalt anyag és energia hatására bekövetkező *torzulása*. A testek, pl. az ágyúgolyók és az égitestek a téridőben egyenes vonalban próbálnak mozogni, de mivel a téridő nem sík, hanem görbült, pályájuk

görbültté válik. A Föld próbál a téridőben egyenes vonalban mozogni, de a téridőnek a Nap tömege által előidézett görbülete a Nap körüli pályára kényszeríti. Hasonló módon a fény is egyenes vonalban próbál mozogni, de a téridőnek a Nap közelében tapasztalható görbülete eltéríti a távoli csillagokról érkező fényt, amikor az a Nap mellett halad el. Közöséges körülmények között nem láthatók az égen a Naphoz közeli irányokba eső csillagok. Napfogyatkozáskor azonban, amikor a Hold eltakarja a Nap fényét, ezek a csillagok is láthatóvá válnak. Einstein az első világháború idején fogalmazta meg az általános relativitáselméletet, amikor a körülmények nem tettek lehetővé ilyen jellegű tudományos vizsgálatokat. Közvetlenül a háború befejezése után azonban egy brit expedíció tanulmányozta az 1919. évi napfogyatkozást és igazolta az általános relativitáselmélet állításait: a téridő nem sík, hanem a benne található anyag és energia hatására görbült.

Ez volt Einstein legnagyobb diadala. Felfedezése teljesen megváltoztatta a térről és időről alkotott felfogásunkat. A tér és az idő nem volt többé az események passzív háttere. Nem lehetett többé abban a hitben élni, hogy a tér és az idő a világegyetemben történetektől függetlenül végtelen és örökkévaló. Ehelyett mind a tér, mind az idő dinamikus mennyiséggé vált, amely befolyásolja a benne lezajló eseményeket, ugyanakkor a benne lezajló események is visszahatnak rá.

A tömeg és energia egyik fontos jellemzője, hogy értékük mindig pozitív. Ez az oka, hogy a gravitáció mindig egymás felé vonzza a testeket. A földi gravitáció pl. a Föld ellentétes pontjain is a Föld felé vonz bennünket. Ezért Ausztráliában sem esnek le az emberek a Földről. A Nap gravitációs vonzása hasonló módon tartja Nap körüli pályán a bolygókat, és megakadályozza, hogy pl. a Föld elszáguadjon a sötét csillagközi térbe. Az általános relativitáselmélet szerint a tömeg pozitív volta azt jelenti, hogy a téridő görbülete is pozitív, hasonlóan a földfelszín görbületéhez. Ha a tömeg negatív lenne, akkor a téridő ellenkező irányban görbülne, tehát úgy, mint a nyereg felszíne. A téridő pozitív görbülete, amely a gravitációs vonzás tényét tükrözi, Einstein számára hatalmas problémát jelentett. Einstein idejében az volt az általános felfogás, hogy a világegyetem statikus. Ha azonban a tér, és különösen ha az idő görbült, akkor hogyan lehet elképzelni, hogy a világegyetem végtelen és örökkévaló, és nagyjából ugyanaz az állapot folytatódik, amit jelenleg ismerünk?

Az általános relativitáselmélet Einstein által felírt eredeti egyenleteiből az következik, hogy a világegyetem vagy tágul, vagy összehúzódik. Ezért Einstein az egyenleteket egy további taggal egészítette ki, amely a világegyetem tömege és energiája, valamint a téridő görbülete közötti összefüggést foglalja magában. Ez az úgynevezett kozmológiai állandó gravitációs taszító hatást fejez ki, és lehetővé tette, hogy Einstein az anyag vonzó hatását a kozmológiai állandó taszító hatásával ellensúlyozza. Más szóval a téridőnek a kozmológiai állandó által előidézett negatív görbülete kiegyenlítette a világegyetemben jelen levő anyag és energia hatására keletkező pozitív téridőgörbületet. Ez a módszer az univerzumból olyan modellt szolgáltat, amely szerint a világegyetem örökre ugyanabban az állapotban marad. Ha Einstein megmaradt volna a kozmológiai állandót nem tartalmazó eredeti egyenleteinél, akkor megjósolhatta volna, hogy a világegyetem vagy tágul, vagy összehúzódik. Így azonban mindenki hitt a világegyetem változatlanóságában, egészen 1929-ig, amikor Edwin Hubble felfedezte, hogy a csillagrendszerek távolodnak tőlünk. A világegyetem tágul. Később Einstein a kozmológiai állandót "élete legnagyobb tévedésének" nevezte.

Akár figyelembe vesszük a kozmológiai állandót, akár nem - az a tény, hogy az anyag a téridőt görbültté teszi, továbbra is problémát okozott, bár általában nem tekintették problémának. Azt jelentette, hogy az anyag a téridő egy adott tartományának görbületét olyan erősen megnövelhetné, hogy az önmagába záródna, ami elvágná a világegyetem többi részétől. Az ilyen tartomány úgynevezett fekete lyukat alkotna. Bármely test beleeshet a fekete lyukba, de a fekete lyukból semmi nem kerülhetne ki. Ahhoz, hogy egy test a fekete lyukat elhagyhassa, a fénynél nagyobb sebességgel kellene haladnia, ezt pedig a relativitáselmélet nem engedi meg. Eszerint a fekete lyuk

belsejében található anyag a fekete lyuk csapdájába fogva összeroppanna, és valamilyen nagyon nagy sűrűségű, ismeretlen állapotba kerülne.

Einsteint mélyen lesújtotta ennek az összeomlásnak a lehetősége, amelyet teljes mértékben elutasított. Robert Oppenheimer azonban 1939-ben kimutatta, hogy a Nap kétszeresénél nagyobb tömegű idős csillagok nukleáris fűtőanyaguk kimerülése után szükségszerűen összeroppannak. Aztán közbejött a háború, Oppenheimer közreműködött az atombombaprogramban, és később már nem érdeklődött a gravitációs összeroppanás iránt. Más kutatókat is inkább olyan jelenségek foglalkoztattak, amelyeket földi körülmények között lehetett tanulmányozni. Bizalmatlanok voltak a világegyetem távoli részeire vonatkozó előrejelzésekkel szemben, mivel úgy tűnt, azokat nemigen lehet kísérletekkel ellenőrizni. A hatvanas években azonban a csillagászati megfigyelőeszközök hatótávolsága és minősége nagymértékben megnövekedett, ami ismét felkeltette a gravitációs összeroppanás és a világegyetem kezdeti szakasza iránti érdeklődést. Azok a következtetések, amelyeket Einstein általános relativitáselmélete ezekre az esetekre megjósolt, tisztázatlanul maradtak mindaddig, amíg Roger Penrose és én magam egy sor elméleti tételt nem igazoltunk. Tételeink szerint a téridő görbültségéből következik, hogy szingularitások, azaz olyan helyek léteznek, amelyek a téridő kezdetét vagy végét jelentik. A téridő mintegy tizenötmilliárd évvel ezelőtt az ősrobbanással kezdődött, a végét pedig minden csillag számára az összeroppanás, minden egyéb test számára pedig az összeroppanó csillagból keletkezett fekete lyukba zuhanás jelenti.

Az a tény, hogy Einstein általános relativitáselméletéből következik a szingularitások létezése, válsághelyzetet hozott létre a fizikában. Az általános relativitáselmélet egyenletei, amelyek a téridő görbületének összefüggését írják le a tömeg és energia eloszlásával, a szingularitásokban nem értelmezhetők. Ez azt jelenti, hogy az általános relativitáselmélet nem tudja előre jelezni, mi történik a szingularitással. Vagyis semmiféle előrejelzést nem tud adni arról, hogy az ősrobbanással hogyan keletkezett a világegyetem. Tehát az általános relativitáselmélet nem teljes elmélet. Kiegészítésre szorul ahhoz, hogy meg tudja határozni, hogyan keletkezett a világegyetem és mi történik akkor, ha az anyag saját gravitációs vonzásának hatására összeroppan.

Úgy tűnik, ezt a szükséges kiegészítést a kvantummechanika jelenti. Einstein 1905-ben, tehát ugyanabban az évben, amikor a speciális relativitáselmületről szóló munkáját közzétette, egy másik cikket is írt a fényelektromos hatásnak nevezett jelenségről. A megfigyelések szerint, amikor fény esik bizonyos fémek felületére, akkor a fém töltést hordozó részecskéket bocsát ki. Rejtélyes módon a fény intenzitásának csökkenésekor a kibocsátott részecskék száma ugyan csökkent, de az egyes részecskék sebessége nem változott. Einstein kimutatta, hogy ez a jelenség azzal magyarázható, hogy a fény nem folytonosan változtatható mennyiségben jut a fém felületére, ahogy addig feltételezték, hanem meghatározott nagyságú adagokban. Azt a gondolatot, hogy a fény csak kvantumoknak nevezett fénycsomagok formájában terjedhet, Max Planck német fizikus vetette fel néhány évvel azelőtt. A dolog egy kicsit arra hasonlít, ahogy pl. nem lehet az üzletben szemenként kristálycukrot vásárolni, csak egy kilogrammos adagokban. Planck a kvantumelmélet segítségével magyarázta meg, hogy a vörösén izzó fémek miért nem bocsátanak ki végtelen mennyiségű hőt; de Planck a kvantumokat csak elméleti fogásnak tartotta, amelynek a fizikai valóságban nincs realitása. Einstein cikke viszont azt támasztotta alá, hogy az egyes kvantumok közvetlenül megfigyelhetők. A fémfelületről kibocsátott minden részecske a fémfelületre beérkező egy-egy fénykvantumnak felel meg.

Ezt a felismerést a kvantummechanikához való nagyon fontos hozzájárulásnak tekintették, amiért Einstein 1922-ben Nobel-díjat is kapott. (Az általános relativitáselmületért is Nobel-díjat kellett volna kapnia, de a tér és az idő görbültségének gondolatát abban az időben még annyira spekulatívnak és ellentmondásosnak tartották, hogy ehelyett inkább a fényelektromos jelenségért ítélték oda neki a Nobel-díjat - nem mintha azért nem érdemelte volna meg.)

A fényelektromos jelenség teljes jelentőségét csak 1925-ben ismerték fel igazán, amikor Werner Heisenberg kimutatta, hogy a fény kvantáltságának következtében lehetetlen az anyagi részecskék helyzetét pontosan meghatározni. Ahhoz, hogy lássuk, hol van a részecske, fényt kell bocsátani rá. Einstein azonban kimutatta, hogy a fényt nem lehet tetszőlegesen kis mennyiségben alkalmazni, legalább egy fénycsomagot, azaz egy kvantumot mindenképpen fel kell használni. Ez a fénycsomag azonban megzavarja a részecskét, kölcsönhatásba lép vele és mozgásra készíti valamilyen sebességgel valamilyen irányban. Minél pontosabban szeretnénk meghatározni a részecske helyzetét, annál nagyobb energiájú fénycsomagot kellene felhasználnunk, és így annál inkább megzavarnánk a részecskét. Bárhogy próbáljuk is mérni a részecskét, helyzete bizonytalanságának valamint sebessége bizonytalanságának szorzata mindig nagyobb egy jól meghatározott minimális értéknél.

A Heisenberg-féle határozatlansági elv megmutatta, hogy egy rendszer helyzete nem mérhető meg pontosan, ezért az adott rendszer jövőbeli viselkedése sem jelezhető előre pontosan. Mindössze a különböző lehetséges kimenetek valószínűségét lehet meghatározni. Ez a véletlenszerűség, ez a statisztikus faktor nyugtalanította annyira Einsteint. Nem akarta elhinni, hogy a fizikai törvények nem képesek pontosan és egyértelműen előre jelezni az események kimenetelét. De akárhogy is nézzük, minden azt bizonyítja, hogy a kvantumjelenség és a határozatlansági elv elkerülhetetlen és a fizika minden területén jelen van.

Einstein általános relativitáselmélete a klasszikus elméletek közé tartozik, azaz nem foglalja magában a határozatlansági elvet. Ezért olyan új elméletet kell találni, amely az általános relativitáselméletet összekapcsolja a határozatlansági elvvel. Az új elmélet a legtöbb esetben alig különbözik a klasszikus általános relativitáselmélettől. Ennek az az oka, hogy - amint korábban említettem - a kvantumjelenségek által előidézett bizonytalanság csak nagyon kis méretekben észlelhető, míg az általános relativitáselmélet a téridő nagyon nagy léptékű szerkezetével foglalkozik. A szingularitási tételek azonban, amelyeket Roger Penrose-zal közösen bizonyítottunk, azt mutatják, hogy a téridő nagyon kis méretekben rendkívül erősen görbül. Ilyen esetben pedig a határozatlansági elvből származó jelenségek fontosabbá válnak, és meglepő eredményekre vezethetnek.

Einstein problémái a kvantummechanikával és a határozatlansági elvvel részben onnan származtak, hogy abból a közönséges és mindennapi elképzelésből indult ki, amely szerint az anyagi rendszereknek meghatározott előzménye, története van. Tehát a részecske pl. vagy az egyik helyen található, vagy a másikon. Nem lehet félig az egyikén, félig a másikon. Vagy mondjuk egy esemény, mint az úrhajósok holdraszállása vagy megtörtént, vagy sem. Nem történhet meg félig, ahogy félig halott vagy félig terhes sem lehet senki. Vagy egészen az, vagy egyáltalán nem az. Ha viszont a rendszereknek csak egyetlen meghatározott előzménye lehet, akkor a határozatlansági elv paradoxonokhoz vezet. Például ahhoz, hogy ugyanabban az időben két helyen vannak a részecskék, vagy hogy az úrhajósok csak félig szálltak le a Holdon.

Ezeknek az Einsteint nyugtalanító látszólagos ellentmondásoknak a kiküszöbölésére Richard Feynman amerikai fizikus javasolt egy igen elegáns módszert. Feynman 1948-ban vált híressé a fény kvantumelméletével kapcsolatban végzett munkája révén, amiért 1965-ben honfitársával, Julian Schwingerrel és Sin-Icsiro Tomonaga japán fizikussal együtt Nobel-díjat kapott. Feynman a szó legjobb értelmében vett fizikus volt, Einstein hagyományait követte. Gyűlölte a hivalkodást és a szemfényvesztést. Lemondott tudományos akadémiai tagságáról, mert úgy érezte, az akadémiai tagok idejük nagy részét azzal töltik, hogy eldöntsék, kiket vegyenek fel az Akadémia tagjai közé. Feynman, aki 1988-ban halt meg, az elméleti fizika számos területén jelentős munkásságot fejtett ki. Ide tartoznak a róla elnevezett diagramok is, amelyek szinte valamennyi részecskefizikai számítás alapját képezik. De még ennél is fontosabb a lehetőségek szerinti összegzés fogalmának kidolgozása. Ennek alap gondolata az, hogy egy adott rendszernek a téridőben nemcsak egyetlen

előzménye, történelme van, mint ahogy közönséges körülmények között a klasszikus, nemkvantumelmélet szerint feltételeznénk, hanem minden lehetséges történelem előfordul. Tekintsünk például egy olyan részecskét, amely adott időben az A pontban található. Közönséges körülmények között azt várnánk, hogy a részecske az A ponttól távolodva egyenes vonalban mozog. A lehetőségek szerinti összegzés alapján azonban azt kell mondanunk, hogy a részecske az A pontból kiinduló *bármely* útvonalon mozoghat. Olyan ez, mint amikor az itatóspapírra egy csepp tintát ejtünk. A tinta részecskéi a papíron minden lehetséges irányban szétterjednek. Még ha a két pont közötti egyenes vonalú haladást a papír bevágásával megakadályozzuk is, a tinta megkerüli az akadályt, és eljut minden irányba.

A részecske minden útvonalához vagy történelméhez rendelhető egy szám, amely az útvonal alakjától függ. A részecske A-ból a B pontba jutásának valószínűsége úgy kapható meg, hogy összeadjuk az A-ból B-be vezető összes útvonalhoz rendelt ilyen számot. A legtöbb útvonal esetén az útvonalhoz tartozó számot kioltják a közeli útvonalakhoz rendelt számok. Így ezek az útvonalak alig növelik a részecske A-ból B-be jutásának valószínűségét. Viszont az egyenes és a közel egyenes vonalú útvonalakhoz rendelt számok összeadódnak, és a valószínűséget döntő mértékben ezek az útvonalak határozzák meg. Ez az oka annak, hogy a buborékkamrában a részecskék nyomvonala majdnem egyenes. De ha a részecske útjába réssel ellátott akadályt helyezünk, akkor a részecske nyomvonalai a rés mögött széttartóvá válnak. Ilyenkor nagy a valószínűsége annak, hogy a részecskét a résen átvezető egyenes vonaltól eltérő irányokban is megtaláljuk.

1973-ban kezdtem el azzal foglalkozni, milyen hatása lenne a határozatlansági elvnek a fekete lyukhoz közeli görbült téridőben található részecskékre. Szokatlanul hangzik, de arra az eredményre jutottam, hogy a fekete lyuk nem lehet teljesen fekete. A határozatlansági elv ugyanis megengedné, hogy állandó sebességű részecskeáram és sugárzás hagyja el a fekete lyukat. Ez az eredmény engem és mindenki mást is rendkívül meglepett, ezért általános hitetlenkedés fogadta. Pedig utólag meggondolva nyilvánvalónak kellett volna lennie. A fekete lyuk a térnek olyan tartománya, amelyből a fénysebességnél kisebb sebességgel haladva lehetetlen kijutni. De a Feynman-féle lehetőségek szerinti összegzés kimondja, hogy a részecskék a téridőben bármilyen útvonalat választhatnak. Így az is lehetséges, hogy valamelyik részecske a fénynél nagyobb sebességgel haladjon. Kicsi a valószínűsége annak, hogy a részecske nagy távolságot tegyen meg a fénysebességet meghaladó sebességgel, de lehetséges, hogy a fénysebességnél gyorsabban mozogva elegendő távolságot tegyen meg ahhoz, hogy a fekete lyukból kikerüljön, majd a fénysebességnél kisebb sebességgel folytassa útját. Ilyen módon tehát a határozatlansági elv megengedi, hogy részecskék kerüljenek ki a fekete lyukból, amelyet pedig azelőtt végleges börtönnek tekintettek. Kicsi a valószínűsége annak, hogy egy részecske kijut egy Nappal azonos tömegű fekete lyukból, mert a részecskének több kilométert kellene a fénynél nagyobb sebességgel megtennie. De létezhetnek ennél sokkal kisebb tömegű fekete lyukak is, amelyek a világegyetem korai szakaszában keletkeztek. Ezek az ősi fekete lyukak az atommagnál kisebb méretűek lehetnek, tömegük azonban több milliárd tonna, ami megegyezik a Fudzsijama tömegével. Az ilyen fekete lyukak annyi energiát bocsáthatnának ki, mint egy erőmű. Bárcsak találhatnánk egy ilyen kis fekete lyukat és hasznosíthatnánk az energiáját! Sajnos úgy tűnik, nincsen belőlük túl sok a világegyetemben.

A fekete lyukak sugárzásának megijóslása volt az első nem triviális eredmény, amely Einstein relativitáselméletének a kvantumelmélettel való összekapcsolásából született. Kiderült, hogy a gravitációs összeomlás nem olyan zsákutca, mint amilyenek korábban gondolták. A fekete lyukban levő részecskék nem érkeztek el szükségszerűen történetük végéhez. Előfordulhat, hogy kikerülnek a fekete lyukból és kívül folytatják történetüket. A kvantumelméletből talán még az is következhet, hogy a történetek nem szükségszerűen egy meghatározott időbeli kezdőpontban, az ősrobbanásakor induló teremtési pontban kezdődtek.

Ez a probléma jóval nehezebb, mivel megoldásához a kvantumelméletet nem csupán a téridő adott színterében levő részecskék útvonalára, hanem magának a téridőnek a szerkezetére kell alkalmazni. Ehhez olyan módszerre van szükség, amellyel a lehetőségek szerinti összegzés nemcsak egyes részecskékre, hanem a tér és az idő teljes felépítményére elvégezhető. Egyelőre még nem tudjuk, hogyan lehet ezt az összegzést megfelelően elvégezni, de ismerjük az összegzés számos lényeges és jellemző tulajdonságát. Az egyik ilyen jellemző vonás az, hogy könnyebb a történetek összegzését elvégezni, ha nem a valós, reális, hanem az úgynevezett képzetes, imaginárius időben dolgozunk. A képzetes idő rendkívül nehezen érthető fogalom, talán ez jelentette a legnagyobb problémát előző könyvem olvasói számára. A képzetes idő használata miatt a filozófusok részéről is igen heves támadások értek. Hogyan lehet a képzetes időnek bármi köze a valós világegyetemhez? Azt hiszem, ezek a filozófusok nem tanultak a történelem leckéiből. Volt idő, amikor magától értetődőnek számított, hogy a Föld lapos, és hogy a Nap kering a Föld körül, de Kopernikusz és Galilei óta bele kellett törödnünk abba, hogy a Föld gömbölyű és a Föld kering a Nap körül. Hosszú ideig ugyanilyen nyilvánvalónak számított, hogy az idő minden megfigyelő számára azonos sebességgel halad, de Einstein óta el kell fogadnunk, hogy az idő a különböző megfigyelők számára különböző sebességgel múlik. Az is vitathatatlanak tűnt, hogy a világegyetemnek csak egyetlen történelme van, de a kvantummechanika felfedezése óta úgy kell tekintenünk, hogy az összes lehetséges történelem figyelembevételére szükség van. Ezekkel a példákkal azt szerettem volna megvilágítani, hogy a képzetes idő is olyasvalami, amit lassan el kell fogadnunk. Ez ugyanolyan jellegű intellektuális teljesítmény, mint az a felismerés, hogy a Föld gömbölyű. Azt hiszem, hogy a képzetes idő is éppen ilyen természetes fogalommal válik majd számunkra. A civilizált világban már nem sok ember hiszi a Földet laposnak.

A valós időt úgy képzelhetjük, mint egy balról jobbra húzott vízszintes vonalat. A régmúlt idők a bal oldalon, a későbbi időpontok attól jobbra találhatók. De az időt a másik két irányban is elképzelhetjük, a vonaltól felfelé és lefelé. Ez az úgynevezett képzetes időirány, amely a valós időre merőleges.

Mi az értelme annak, hogy bevezessük a képzetes idő fogalmát? Miért nem maradhatunk a közönséges valós és érthető időfogalomnál? Ahogy korábban is említettem, ennek az az oka, hogy az anyag és az energia a téridőt görbültté teszi. A valós időirányban ez elkerülhetetlenül szingularitásokat, vagyis olyan helyeket eredményez, ahol a téridő véget ér. A szingularitásokban a fizika egyenletei nem értelmezhetők, tehát nem is lehet a segítségükkel előre jelezni, mi történik. Ezzel szemben a képzetes idő iránya merőleges a valós időre. Ez egyben azt is jelenti, hogy a térben történő mozgás három irányára is merőleges. A téridő görbülete, amelyet a világegyetemben található anyag idéz elő, ilyen körülmények között azt eredményezheti, hogy a három térirány és a képzetes időirány a hátoldalon találkoznak, és a Föld felszínéhez hasonló zárt felületet képeznek. A három térirány és a képzetes idő tehát olyan önmagában zárt téridőt alkotnának, amelynek nincsenek határvonalai vagy élei. Nem lenne egyetlen olyan pontja sem, amelyet a kezdő- vagy végpontjának nevezhetnénk, ugyanúgy ahogy a Föld felszínének sincs kezdete vagy vége.

1983-ban Jim Hartle-lal közösen felvetettük, hogy a világegyetem esetében a lehetőségek szerinti összegzést nem a valós, hanem a képzetes időben kell elvégezni, amelyben a történelmek a Föld felszínéhez hasonló, önmagában zárt felületet alkotnak. Mivel ezek a történelmek nem tartalmaznak szingularitást, sem bármilyen kezdetet vagy véget, a bennük végbemenő történéseket kizárólag a fizika törvényei határozzák meg. Ez azt jelenti, hogy ami a képzetes időben történik, az kiszámítható. Ha viszont ismerjük a világegyetem történetét a képzetes időben, akkor a reális időben való viselkedését is ki tudjuk számítani. Következésképpen az is remélhető, hogy ezzel a módszerrel olyan teljes egyesített elméletre jutunk, amely a világegyetemben mindent leír. Einstein életének utolsó éveiben ilyen elmélet után kutatott. Nem találta meg, mivel nem bízott a kvantummechanikában. Nem tudott belenyugodni abba, hogy a világegyetemnek több alternatív történelme lehet, ahogy ezt a lehetőségek szerinti összegzés során megismertük. Egyelőre nem

tudjuk, hogyan kell elvégezni a lehetőségek szerinti összegzést a világegyetem esetében, de szinte biztosak lehetünk abban, hogy a módszer a képzetes idő és az önmagában záródó téridő fogalmát alkalmazni fogja. Biztos vagyok abban, hogy a következő generáció számára ezek a gondolatok már olyan természetesnek fognak tűnni, mint nekünk az a tény, hogy a Föld gömbölyű. A képzetes idő máris megjelent a tudományos-fantasztikus regényekben. De a képzetes idő több mint tudományos-fantasztikus vagy akár matematikai trükk. Az életünk színterét jelentő világegyetem meghatározó tényezői közé tartozik.

A világegyetem eredete (*)

(*) 1987 júniusában Cambridge-ben, a Three Hundred Years of Gravity konferencián tartott előadás. A konferenciát abból az alkalomból rendezték, hogy Newton *Principiája* háromszáz éve jelent meg.

A világ keletkezésének problémája kissé hasonlít arra a kérdésre, hogy mi volt előbb, a tyúk, vagy a tojás. Más szavakkal: milyen természeti erő alkotta a világegyetemet, és mi alkotta a természeti erőt? Vagy az univerzum illetve az őt létrehozó természeti erő mindig is létezett? A legújabb időkig a kutatók azzal az érveléssel igyekeztek kitérni az ilyen kérdések elől, hogy ezek a dolgok inkább a metafizika vagy a vallás témakörébe tartoznak. Az utóbbi években azonban kiderült, hogy a természeti törvények valószínűleg a világegyetem kezdeti időszakára is érvényesek. Ebben az esetben az univerzum önálló, független képződmény, és a természeti törvények teljesen leírják.

A világegyetem keletkezéséről az emberiség általunk ismert történelmében állandóan vita folyt. Alapvetően két felfogás kristályosodott ki. Sok korai - pl. a zsidó, a keresztény és az iszlám - tanítás szerint a világot teremtették, mégpedig nem is olyan régen. (Ussher püspök a tizenhetedik században az Ótestamentumban szereplő emberek életkorának összeadásával kiszámította, hogy a világ teremtése Kr. e. 4004-re tehető.) A viszonylag nem régi eredet alátámasztásaként emlékeztetni szoktak arra a tényre, hogy az emberiség technikai és kulturális fejlődésén meggy keresztül. Tudjuk, hogy valamely cselekedet vagy technikai fejlesztés kinek a nevéhez fűződik. Az érvelés szerint még nem létezhetünk nagyon régóta, mert különben már sokkal nagyobb haladást értünk volna el. A teremtés bibliai dátuma valóban nincs túl messze az utolsó jégkorszak végétől, amikor a modern ember megjelent.

Arisztotelész, a görög filozófus és sokan mások nem értették egyet a világegyetem kezdetének gondolatával. Szerintük ez isteni beavatkozást tenne szükségessé. Azt vallották, hogy az univerzum mindig volt, és örökké létezni fog. Az olyan valamit, ami örökké létezik, tökéletesebbnek tartották annál, amit teremteni kell. Az emberiség fejlődésének tényére az volt a válaszuk, hogy periodikusan pusztító áradások és más természeti katasztrófák miatt az emberiségnek újra és újra mindent előlről kell kezdenie.

Mindkét elgondolásban közös, hogy a világegyetemet lényegében időben változatlanak tekintik. A világegyetemet vagy a jelenlegi formájában teremtették, vagy öröktől fogva ilyen. Ez természetesnek is tűnik, hiszen az emberi élet sőt, az emberiség egész eddigi történelme - olyan rövid, hogy a világegyetem változását alig lehet észrevenni ennyi idő alatt. Egy statikus, változatlan univerzumban valóban a metafizika vagy a vallás témakörébe tartozik az a kérdés, hogy a világegyetemet egy múltbeli időpontban teremtették-e, vagy örök idők óta létezik; az ilyen világegyetemet mindkét felfogás meg tudná magyarázni. A filozófus Immanuel Kant 1781-ben terjedelmes és nehezen érthető könyvet írt *A tiszta ész kritikája* címmel, amelyben arra a következtetésre jutott, hogy mind a világ teremtése, mind az ellenkezője mellett alapos indokokat lehet felsorakoztatni. Ahogy a mű címe is jelzi, következtetéseit kizárólag az értelem alapján vontak le, tehát a világegyetemre vonatkozó megfigyeléseket figyelmen kívül hagyta. Egy változatlan univerzumban mi értelme is lenne a megfigyelésnek?

A tizenkilencedik században azonban kezdtek felhalmozódni a Föld és a világmindenség időbeli változását igazoló bizonyítékok. A geológusok észrevették, hogy a kőzeteknek és a bennük talált

kövületeknek száz- és ezermillió évvel korábban kellett keletkezniük. Ez sokkal távolabbi idő, mint amit a világ teremtésének hívei kiszámítottak. További bizonyítékot szolgáltat a termodinamika második főtétele, amelyet Ludwig Boltzmann fizikus fogalmazott meg. Eszerint a világegyetemben a teljes rendezetlenség (amelyet az ún. entrópiával lehet jellemezni) időben állandóan növekszik. Ez az emberi fejlődésre vonatkozó érveléssel együtt arra utal, hogy az univerzum csak véges idő óta létezhet, különben már elérte volna a teljes rendezetlenség állapotát, amelyben a hőmérséklet mindenhol azonos lenne.

A statikus univerzummal kapcsolatban egy másik probléma az, hogy Newton gravitációs törvénye szerint minden csillagra hat az összes többi csillag vonzó ereje. Hogyan lenne akkor lehetséges, hogy a csillagok mozdulatlanul, egymástól állandó távolságra helyezkedjenek el? Nem kellene egymásba zuhanniuk?

Newton tudatában volt ennek a problémának. Richard Bentley-nek, a kor kiemelkedő filozófusának írt levelében egyetértett azzal, hogy véges számú csillag nem lehet mozdulatlan, mert egyetlen pontba zuhannának. Azonban hozzátette, hogy végtelen sok csillag nem zuhanna egymásba, mert nem lenne egyetlen kitüntetett pont sem. Ez az érv jól mutatja azt a csapdát, amelybe a végtelen rendszerekre vonatkozó megfontoláskor beleeshetünk. Egy adott csillagra az összes többi csillag által gyakorolt erők összeadásakor különböző módszereket alkalmazva különböző eredményeket kaphatunk. Ma már tudjuk, hogy a helyes eljárás az, ha először véges sok csillagot magában foglaló tartományt veszünk csak figyelembe, majd hozzávetőleg egyenletes eloszlásban külső csillagokat adunk az előző tartományhoz. A véges sok csillagból álló rendszerben a csillagok egymásba zuhannak, és az újabb csillagok hozzáadása Newton törvényének megfelelően nem állítja meg az összeomlást. Következésképpen végtelen sok csillag sem maradhat mozdulatlan állapotban. Ha egy adott időpontban nem mozognak egymáshoz képest, akkor a közöttük ható vonzóerő hatására elkezdnek egymás felé zuhanni. Az is lehetséges, hogy egymástól távolodnak, ekkor a gravitáció hatására a távolodás sebessége állandóan csökken.

Az állandó, statikus univerzummal kapcsolatos fenti nehézségek ellenére a tizenhetedik, a tizennyolcadik és a tizenkilencedik században, valamint a huszadik század elején senki sem jutott arra a következtetésre, hogy a világegyetem fejlődésben van. Mind Newton, mind Einstein elszalasztotta azt a lehetőséget, hogy a világegyetem összehúzódását vagy tágulását megjósolja. Newtonnak semmit sem vethetünk a szemére, mert a világegyetem tágulására utaló felfedezés előtt kétszázötven évvel élt. Einstein azonban már rájöhett volna. Az 1915-ben általa felállított általános relativitáselmélet megjósolja a világegyetem tágulását. De Einstein olyan szilárdan meg volt győződve a világegyetem változatlanóságáról, hogy elméletébe inkább még egy tagot illesztett a Newtonnal való összhang megteremtésére és a gravitációs hatás kiegyensúlyozására.

A világegyetem tágulását Edwin Hubble fedezte fel 1929-ben, és ez teljesen megváltoztatta a világegyetem eredetére vonatkozó vitát. Ha a galaxisok jelenlegi állapotából kiindulva az időt visszafelé futtatjuk, arra az eredményre jutunk, hogy valamikor tíz-húszmilliárd évvel ezelőtt kis térrészben összezsúfolva kellett elhelyezkedniük. Ebben az időpontban, amelyet ősrobbanásnak (Nagy Bummnak) nevezünk, a világegyetem sűrűségének és a téridő görbületének végtelennek kellett lennie, ilyen körülmények között pedig a tudomány általunk ismert törvényei érvényüket veszítik. Ez valószínűleg katasztrófa lenne a tudomány számára, mert azt jelentené, hogy a tudomány nem tudja leírni a világegyetem keletkezését. Mindössze annyit mondhatna, hogy a világegyetem olyan, amilyen ma, mert olyan volt akkor, amilyen volt. A tudomány nem lenne képes megmagyarázni, hogy a világ közvetlenül az ősrobbanás után miért volt olyan, amilyen volt.

Nem meglepő, hogy számos kutató elégedetlen volt ezzel a következtetéssel, és erőfeszítéseket tett, hogy az ősrobbanás szingularitásának és az idő kezdetének problémáját elkerülje. Az egyik ilyen próbálkozás az ún. állandó állapotú (*steady state*) modell, amely szerint a galaxisok egymástól

való távolodása során a köztük lévő térben folyamatosan termelődő anyagból új galaxisok jönnek létre. Az állandó állapotú modell szerint az univerzum hozzávetőleg a mai állapotában örök idők óta létezett, és létezni fog.

Az állandó állapotú modell az általános relativitáselmélet módosítását követeli meg. A termelődő anyag mennyisége nagyon kis mértékű lenne, évente kb. egyetlen részecske köbkilométerenként, amely nem kerülne ellentmondásba a megfigyelésekkel. Az elmélet azt jósolta, hogy a galaxisok és hasonló objektumok sűrűsége mind térben, mind időben állandó. Martin Ryle csoportja Cambridge-ben azonban a Tejútrendszeren kívüli rádióforrások kutatása során azt találta, hogy sokkal több gyenge rádióforrás van, mint erős. Azt lehet várni, hogy nagy átlagban a gyenge rádióforrások a távoliak, amiből két lehetőség adódik: vagy az univerzum olyan tartományában vagyunk, ahol az erős források az átlagosnál ritkábbak, vagy amikor a rádióhullámok a távoli galaxisokból a múltban újtukra indultak felénk, a források sűrűsége nagyobb volt a mai értékénél. Azonban egyik lehetőség sem egyeztethető össze az állandó állapotú modellel, amely szerint a rádióforrások sűrűségének mind az időben, mind a térben állandónak kell lennie. Az elmélet sorsát végül az pecsételte meg, hogy 1965-ben Arno Penzias és Robert Wilson felfedezte a galaxisunktól távoli forrásból származó mikrohullámú háttérsugárzást. A háttérsugárzás spektruma olyan feketetest-sugárzásra utal, amelynek hőmérséklete mindössze 2,7 fokkal magasabb az abszolút zérus pontnál. A világegyetem hideg és sötét hely! Az állandó állapotú modellben semmilyen ésszerű mechanizmus sincs ilyen mikrohullámú háttérsugárzás magyarázatára, ezért ezt az elméletet el kellett vetnünk.

Két orosz kutató, Jevgenyij Lifsic és Iszaak Halatnyikov 1963-ban egy másfajta elméletet dolgozott ki az ősrobbanás szingularitásának elkerülésére. Szerintük végtelen sűrűség csak akkor lép fel, ha a galaxisok pontosan egymás felé közeledve illetve pontosan egymástól távolodva mozognak. Csak ebben az esetben kellett a múltban egyetlen pontban találkozniuk. Azonban a galaxisok kismértékű oldalirányú mozgást is végezhetnek, így az is elképzelhető, hogy a világegyetemnek egy korábbi összehúzódási periódusa is létezett, amelynek során a galaxisok valahogy elkerülték az egymással való ütközést, és a világegyetem újra tágulni kezdett anélkül, hogy átment volna a végtelen sűrűségű állapoton.

Amikor Lifsic és Halatnyikov a fenti javaslatukat nyilvánosságra hozták, éppen megfelelő témát kerestem a Ph.D. téziseim kiegészítésére. Nagyon érdekelt, hogy vajon létezett-e az ősrobbanás-szingularitás, mert ez döntő jelentőségű a világegyetem keletkezésének megértése szempontjából. Roger Penrose-zal együtt az ilyen és ehhez hasonló problémák kezelésére egy matematikai eljárást dolgoztunk ki. Megmutattuk, hogy ha az általános relativitáselmélet helytálló, akkor minden ésszerű modellnek szingularitással kell kezdődnie. Vagyis a tudomány meg tudja mondani, hogy a világegyetemnek volt kezdete, de nem tudja megmondani, hogyan *kellett* az univerzumnak keletkeznie: ehhez már Istenhez kellene folyamodni.

Az általános relativitáselmélet ún. klasszikus elmélet: nem veszi figyelembe, hogy a részecskéknek nincs határozott helyzetük és sebességük, hanem kis tartományban "elkenve" kell elképzelnünk őket a kvantummechanika határozatlansági elve miatt, amely tiltja, hogy a részecske sebességét és helyzetét egyszerre pontosan mérhessük. Ez közönséges körülmények között nem játszik nagy szerepet, mert a téridő görbületének sugara a részecske helyzetének határozatlanságához képest nagyon nagy. A szingularitáselmélet azonban arra vezet, hogy a világegyetem jelenlegi tágulásának kezdetén a görbületi sugár nagyon kicsi is lehetett. Ebben az állapotban a határozatlansági elv nagyon fontossá válik. Az általános relativitáselmélet a szingularitás előrejelzésével saját érvényességi határát vonja meg. A világegyetem kezdetének tárgyalásához olyan új elméletre van szükség, amely összekapcsolja az általános relativitáselméletet és a kvantummechanikát.

Ez az elmélet a kvantumgravitáció. Még nem tudjuk, hogy a kvantumgravitáció végleges elmélete pontosan milyen formát fog ölteni. Napjainkban a legesélyesebb jelölt a szuperhürelmélet, de még számos megoldatlan probléma létezik. Bizonyos tulajdonságokat azonban minden valamennyire is használható elmélettől elvárhatunk. Az egyik az az Einsteintől származó gondolat, hogy a gravitáció a benne foglalt anyag és energia miatt görbült vagy torzult téridővel írható le. Ebben a téridőben az objektumok az egyeneshez lehető legközelebb eső pályát követik. Mivel azonban a téridő görbült, a pályák hajlottnak tűnnek, mintha a gravitációs tér hatna.

A másik elem, amely a végleges elméletben várhatóan jelen lesz, Richard Feynmannak az a javaslata, hogy a kvantumelméletet a lehetőségek összegzésével fogalmazzuk meg. Ez röviden azt jelenti, hogy a részecskék a téridőben az összes lehetséges pályán, illetve az összes lehetséges történelmen végighaladnak. Minden pályához ill. történelemhez bizonyos valószínűség tartozik, amely a pálya alakjától függ. Ahhoz, hogy ez az elgondolás alkalmazható legyen, olyan történelmeket is figyelembe kell venni, amelyek a képzetes (imaginárius) időben zajlottak le, tehát nem a valós időben, amelyben az életünket érzékeljük. A képzetes idő úgy hangzik, mintha valamelyik fantasztikus regényből vettük volna át, pedig jól meghatározott matematikai fogalom. Bizonyos mértékig a valós időtengelyre merőleges időiránynak képzelhetjük el. Az összes meghatározott tulajdonságú részecsketörténelmek (például bizonyos pontokon való áthaladás) valószínűségének összegét képezzük, és az eredményt visszaextrapoláljuk a valós időbe, amelyben az életünk is zajlik. Ez nem éppen a kvantumelmélet legmegszokottabb tárgyalásmódja, de ugyanazt az eredményt adja.

A kvantumgravitáció esetében Feynman elképzelése a lehetőségek összegzéséről azt jelenti, hogy a világegyetem lehetséges történelmei, azaz különbözőképpen görbült téridők szerint kell összegezni. Ez a világegyetem és minden benne lévő objektum történelmét jelenti. Meg kell még határozni, hogy a lehetséges görbült téridők mely osztályát vesszük figyelembe az összegzésnél. Ez a választás határozza meg, hogy az univerzum milyen állapotban van. Ha a világegyetem állapotát meghatározó görbült téridőosztályok szingularitásokat tartalmazó tereket is magukban foglalnak, akkor az ilyen terek valószínűségét az elmélet nem határozza meg, a valószínűséget valamilyen önkényes módon kell hozzájuk rendelni. Vagyis a tudomány az ilyen szinguláris történelmek valószínűségét nem tudja megjósolni, tehát nem képes leírni a világegyetem viselkedését. Az is lehetséges azonban, hogy az univerzum olyan állapotban van, amelyet kizárólag nem szinguláris téridők szerinti összegzés határoz meg. Ebben az esetben a tudomány törvényei teljesen leírnák a világegyetemet; nem kellene az univerzumon kívüli hatóerőhöz folyamodni a kezdet megmagyarázásához. A világegyetem állapotának kizárólag nem szinguláris történelmek szerinti összegzéssel való meghatározása bizonyos értelemben annak a részeg embernek az esetéhez hasonlítható, aki a kulcsát egy lámpaoszlop alatt keresi: valószínűleg nem ott vesztette el, de ez az egyetlen hely, ahol reménye van arra, hogy megtalálja. A világegyetem talán nincs olyan állapotban, amelyet kizárólag nem szinguláris lehetőségek szerinti összegzés határoz meg, de ez az egyetlen állapot, amelyben a tudomány előrejelzést képes adni arról, hogy milyenek kellene lennie.

1983-ban Jim Hartle-lal azt javasoltuk, hogy a világegyetem állapotát a történelmek bizonyos osztálya szerinti összegzéssel kell meghatározni. Ez az osztály szingularitás nélküli görbült terekből áll, amelyek véges nagyságúak, de nincs határuk és nincsenek éleik. Hasonlóak a Föld felszínéhez, csak kettővel több dimenziójuk van. A Föld felszíne véges kiterjedésű, nincs szingularitása, nincs határa és nincsenek élei. Ezt kísérletileg is igazoltam. Körbeutaztam a Földet, és sehol sem estem le róla.

Hartle-lal javasolt hipotézisünket a következőképpen lehet körülírni: a világegyetem határfeltétele az, hogy nincs határa. A természeti törvények csak ebben a határok nélküli állapotban határozzák meg önmagukban az összes lehetséges történelem valószínűségét. Az ismert természeti törvények csak ebben az állapotban írják le a világegyetem viselkedését. Az univerzum bármely

más állapotában a görbült téridők osztálya a történelmek szerinti összegben szingularitásokat magukban foglaló téridőket is tartalmaz. Az ilyen szinguláris történelmek valószínűségének meghatározásához az általunk ismert természeti törvényeken kívül fekvő elvekhez kellene fordulnunk, amely a világegyetemen kívüli dolog lenne, és nem tudnánk a világegyetemen belül értelmezni. Ha azonban az univerzum a határok nélküli állapotban van, akkor elvben, a határozatlansági reláció által jelentett korlátokon belül teljesen le tudjuk írni a viselkedését.

A tudomány számára nagyon kellemes körülményeket teremtene, ha a világegyetem a határok nélküli állapotban lenne. De hogyan tudjuk eldönteni, hogy ebben van-e? A válasz erre az, hogy a határok nélküli állapot hipotézise lehetőséget nyújt a világegyetem viselkedésére vonatkozó következtetések levonására. Ha ezeket az előrejelzéseket nem erősítik meg a megfigyelések, akkor arra a következtetésre kell jutnunk, hogy a világegyetem mégsem a határok nélküli állapotban van. Így a határok nélküli világegyetemre vonatkozó hipotézis a Karl Popper filozófus által definiált értelemben is jó tudományos elméletnek számít: kísérletekkel megcáfolható.

Ha a megfigyelések nem egyeznek az előrejelzésekkel, akkor tudni fogjuk, hogy a lehetséges történelmek osztályában szingularitásoknak kell előfordulniuk. De ez lenne minden, amit ismernénk. Nem tudnánk kiszámítani a szinguláris történelmek valószínűségét, így nem tudnánk leírni a világegyetem viselkedését. Azt gondolhatnánk, hogy ez nem számít sokat, ha csak az ősrobbanáskor lépett fel szingularitás; végtére is ez tíz- vagy húszmilliárd évvel ezelőtt történt. Ha viszont az univerzum viselkedésének leírása megghiúsul az ősrobbanás erős gravitációs terében, akkor minden összeroppanó csillag esetében is megghiúsul ez pedig a mi galaxisunkban is hetente számos alkalommal előfordulhat. Előrejelzéseink - még az időjárásjelentések szintjéhez képest is - szegényesek lennének.

Természetesen azt is mondhatjuk, hogy nem kell sokat törődni azzal, ha a leírás megbízhatósága néhány távoli csillag esetében megszűnik. De a kvantumelméletben minden, ami nem kifejezetten tilos, megtörténhet és meg is történik. Ha tehát a lehetséges történelmek osztálya szingularitásokat is tartalmaz, ezek a szingularitások nemcsak az ősrobbanáskor és nemcsak távoli csillagokban fordulhatnak elő, hanem bárhol megtörténhetnek. Vagyis semmilyen viselkedést sem tudnánk leírni. Következésképpen az, hogy mégis képesek vagyunk események előrejelzésére, kísérleti bizonyítékot jelent arra, hogy nincsenek szingularitások és megerősíti a határok nélküliség hipotézisét.

Milyen előrejelzéseket szolgáltat az univerzumra a határok nélküliség hipotézise? Először is meg kell állapítanunk, hogy az idő mértékeként használt minden mennyiségnek van egy legnagyobb és egy legkisebb értéke, mert az univerzum összes lehetséges történelme véges kiterjedésű. Ebből az következik, hogy a világegyetemnek van kezdete és vége. A kezdetet a valós időben az ősrobbanás szingularitása jelenti. A képzetes (imaginárius) időben azonban a kezdet nem jelent szingularitást, hanem inkább olyan, mint a Földön az Északi-sark. Ha a Föld felületén a szélességi fokokat az időhöz hasonlítjuk, akkor azt mondhatjuk, hogy a földfelszín az Északi-sarkon kezdődik. De az Északi-sark a földfelszín egy teljesen közönséges pontja. Semmi különleges nincs benne, és ugyanazok a törvények érvényesek az Északi-sarkon, mint a Föld bármely más pontján. Hasonlóképpen az az esemény, amelyet "a világegyetem képzetes időben vett kezdetének" tekintünk, a téridő teljesen közönséges pontja, amelyben a tudományos törvények ugyanúgy érvényesek, mint bárhol másutt.

A Föld felszínének analógiája alapján azt várnánk, hogy az univerzum vége hasonló a kezdetéhez, ahogy az Északi-sark is hasonló a Déli-sarkhoz. Azonban az Északi- és a Déli-sark a képzetes időben felel meg a világegyetem kezdetének és végének, nem az általunk tapasztalt valós időben. Ha a képzetes időben végrehajtott lehetőségek szerinti összegzés eredményét extrapoláljuk a valós időbe, akkor a világegyetem kezdete nagyon is eltérő lehet a végétől.

Jonathan Halliwell-lel közelítő számítást végeztünk a határok nélkülség feltételéből adódó következményekre. A világegyetemet tökéletesen sima és egyenletes háttérként kezeltük, amelyhez kis sűrűség-ingadozások járulnak. A valós időben úgy tünne, hogy a világegyetem nagyon kis sugarú tágulásba kezd. Kezdetben a tágulás ún. inflációs folyamat: a világegyetem mérete a másodperc törtrésze alatt megduplázódna, hasonlóan ahhoz, ahogy bizonyos országokban az árak évente megduplázódnak. A gazdasági infláció világrekordját valószínűleg Németország tartja, ahol az első világháború után egy kenyér ára kevesebb mint egy márkáról néhány hónap alatt több millió márkára emelkedett. De még ez is eltörpülne ahhoz az inflációhoz képest, amely a korai univerzumban lezajlott: a világegyetem mérete a másodperc töredéke alatt legalább millió-millió-millió-millió-millió-szorosára növekedett. Ez természetesen még a jelenlegi kormányzat előtt történt.

Az infláció abból a szempontból hasznos volt, hogy nagy léptékben sima és egyenletes világegyetemet hozott létre és éppen csak azzal a kritikus sebességgel tágult, amellyel az összeroppanást elkerülte. Az infláció azért is jó volt, mert szó szerint szinte a semmiből létrehozta mindazt, amit az univerzum tartalmaz. Amikor az univerzum egyetlen pont volt, mint az Északi-sark, semmi sem volt benne. Az általunk megfigyelhető univerzumban azonban már tíz a nyolcvanadikon részecske található. Honnan származhat ez a sok részecske? A válasz a következő: a relativitáselmélet és a kvantummechanika megengedi, hogy energiából részecske-antirészecske párok nyugalmi energiája, sugárzásból anyag keletkezzen. De honnan származik az az energia, amelyből az anyag keletkezett? Az univerzum gravitációs energiájából, kölcsönbe! A világegyetemnek negatív gravitációs energia formájában nagy tartozásai vannak, amelyet pontosan kiegyenlít az anyag nyugalmi energiájának formájában jelen levő pozitív energia. Az inflációs periódus alatt az univerzum súlyos kölcsönöket vett fel a gravitációs energiától, hogy finanszírozni tudja az anyagképződés nyugalmi energiáját. Az eredmény a Keynes-féle közgazdaságtan diadala: egy anyagi objektumokkal teli, életerős, táguló világegyetem. A gravitációs energiának való tartozást pedig a világegyetem végéig nem kell visszafizetni!

A korai univerzum nem lehetett tökéletesen homogén és egyenletes, mert ez ellentmondana a kvantummechanika határozatlansági elvének: az egyenletes sűrűségtől bizonyos eltéréseknek kellett létezniük. A határok nélkülség hipotézise szerint ezeknek a sűrűségkülönbségeknek alapállapotban kellett kezdődniük, tehát olyan kicsik voltak, amennyire csak lehetséges, összhangban a határozatlansági elvvel. Az inflációs folyamat alatt viszont a különbségek felerősödtek. Az inflációs tágulás időszakát követően olyan világegyetem jött létre, amely egyes helyein gyorsabban tágult, mint más helyeken. A lassabb tágulás tartományaiban az anyag gravitációs vonzása még tovább lassította a tágulást. Ezekben a tartományokban a tágulás megszűnt, majd összehúzódás következett be, végül galaxisok és csillagok keletkeztek. A határok nélkülség hipotézise tehát számot tud adni a körülöttünk tapasztalt bonyolult struktúrákról. Azonban egyetlen előrejelzést sem ad az univerzumra, hanem a különböző valószínűségű, lehetséges történelmek egy egész családját szolgáltatja. Talán olyan lehetséges történelem is létezik, amelyben a legutóbbi választást a Munkáspárt nyerte meg Nagy-Britanniában, bár a valószínűsége bizonyára meglehetősen kicsi.

A határok nélkülség hipotézise Isten szerepére is messzemenő következtetéseket tartalmaz. Jelenleg széles körben elfogadott, hogy a világegyetem jól meghatározott törvények szerint fejlődik. Ezeket a törvényeket talán Isten rendelte el, de úgy tűnik, hogy a törvényeket azóta érintetlenül hagyja és nem avatkozik a világ folyásába. A közelmúltig azt gondolták, hogy ezek a törvények nem érvényesek a világegyetem kezdetére. Az óraművet Isten húzta fel, és tetszése szerint indította el. A világegyetem jelenlegi állapota abból adódna, hogy Isten hogyan választotta meg a kezdeti feltételeket.

Más lenne azonban a helyzet, ha a határok nélkülség feltétele vagy valami hasonló lenne

érvényes. Ebben az esetben a fizikai törvények a világegyetem kezdetekor is érvényben maradnának, és Isten a kezdeti feltételeket sem választhatná meg szabadon. Ellenben szabadon választhatná meg a világegyetem természeti törvényeit. De nem maradna túl sok választási lehetősége. Talán csak kevés ellentmondás nélküli törvény van, amely olyan hozzánk hasonló bonyolult lények kifejlődéséhez vezet, akik Isten természetére vonatkozó kérdéseket tudnak megfogalmazni.

De ha csak egyetlen lehetséges törvénykészlet létezik, az is csupán egyenletekből álló együttes. Mi lehel az egyenletekbe lelket, és mi teszi lehetővé, hogy az univerzum eseményeinek lefolyását meghatározzák? A végleges egyesített elmélet vajon olyan kényszerítő erejű, hogy a saját maga létét is előidézze? A tudomány talán megoldja az univerzum keletkezésének problémáját, de nem tud választ adni arra a kérdésre: mi lehet az oka annak, hogy egyáltalán létezik a világegyetem? Erre a kérdésre én sem tudok válaszolni.

A fekete lyukak kvantummechanikája (*)

(*) A *Scientific American* c. folyóiratban 1977 januárjában megjelent cikk.

Századunk első harminc évében három olyan elmélet is napvilágot látott, amelyek nemcsak a fizikáról, hanem az egész valóságról alkotott képünket gyökeresen megváltoztatták. A fizikusok még napjainkban is dolgoznak azon, hogy a három elmélet mélyebb tartalmát kifejtsék és egymással összhangba hozzák. Ez a három elmélet a speciális relativitáselmélet (1905), az általános relativitáselmélet (1915) és a kvantummechanika (kb. 1926). Az első elmélet részben, a második pedig teljes egészében Albert Einstein nevéhez fűződik. Einstein döntő szerepet játszott a harmadik megalkotásában is, azonban a kvantummechanikával sohasem tudott megbarátkozni teljesen, mert zavarta a kvantummechanika törvényeiben megjelenő véletlenszerűség és határozatlanság. Véleményét jól tükrözi a sokszor idézett mondat: "Isten nem kockázik". A legtöbb fizikus azonban készséggel elfogadta mind a speciális relativitáselméletet, mind a kvantummechanikát, mert olyan jelenségeket írnak le, amelyek közvetlenül megfigyelhetők. Az általános relativitáselmélettel más volt a helyzet: a legtöbben figyelmen kívül hagyták, mert egyrészt matematikai szempontból túlságosan bonyolult volt, másrészt laboratóriumban nem lehetett ellenőrizni, harmadrészt pedig azért, mert tisztán klasszikus elmélet, és úgy tűnt, nem hozható összhangba a kvantummechanikával. Így az általános relativitáselmélet terén közel ötven éven át nem történt lényeges előrelépés.

A csillagászati megfigyelések hatósugarának az 1960-as évek elején elkezdődött nagymértékű kiterjesztése ismét felkeltette az általános relativitás klasszikus elmélete iránti érdeklődést, mert számos újonnan felfedezett jelenség, pl. a kvazárok, a pulzárok és a kisméretű, rendkívül nagy sűrűségű, kompakt röntgenforrások arra utaltak, hogy nagyon erős gravitációs terek léteznek - amelyeket csak az általános relativitáselmélet képes leírni.

A kvazárok csillagszerű objektumok. Fényességük egész galaxisokét felülmúlja, ha távolságuk a színeképük vöröseltolódása alapján számítottal megegyezik. A pulzárok szupernóva-robbanások szpora rádióimpulzusokat kibocsátó maradványai, amelyeket nagyon sűrű neutroncsillagokként képzelünk el. A kompakt röntgenforrásokat az űrszondák fedélzetén elhelyezett műszerekkel fedezték fel. Ezek vagy szintén neutroncsillagok, vagy pedig olyan még nagyobb sűrűségű hipotetikus objektumok, amelyeket fekete lyukaknak nevezünk.

Azok a fizikusok, akik az általános relativitáselméletet az újonnan felfedezett vagy hipotetikus objektumokra kívánták alkalmazni, azzal a problémával találták szemben magukat, hogy az általános relativitáselméletet először még összhangba kell hozni a kvantummechanikával. Az utóbbi néhány év fejleményei alapján reménykedhetünk, hogy talán hamarosan sikerül megalkotni a gravitáció olyan teljesen ellentmondásmentes kvantumelméletét, amely egyezésben lesz a makroszkopikus testekre vonatkozó általános relativitáselmélettel, és remélhetőleg mentes lesz a többi kvantumtérelméletet gyötrő végtelen matematikai tagoktól is. Ezek a fejlemények a fekete lyukakkal kapcsolatos újabban felfedezett kvantumeffektusok kutatásának eredményei, amelyek a fekete lyukak és a termodinamika meglepő összefüggésén alapulnak.

Röviden ismertetem, hogyan jöhetnek létre a fekete lyukak. Képzeljünk el egy Napnál tízszer nagyobb tömegű csillagot. A csillag kb. egymilliárd éves élettartamának túlnyomó részében hőt

termel, miközben a belsejében hidrogénből hélium keletkezik. A felszabadult energia elegendő nyomást idéz elő ahhoz, hogy megóvja a csillagot saját gravitációs vonzásának következményeitől, és a Nap átmérőjének mintegy ötszörösét éri el a csillag mérete. Egy ilyen csillag felületén a szökési sebesség hozzávetőleg másodpercenként ezer kilométer lenne. Vagyis ha egy testet a felszínről függőlegesen felfelé kevesebb mint ezer kilométer másodpercenkénti sebességgel indítanánk el, akkor az a csillag gravitációs vonzása miatt visszahullana, míg a szökési sebességnél nagyobb sebességgel kibocsátott test a végtelenbe távozna.

Amikor a csillag kimeríti nukleáris fűtőanyagát, semmi sem tartja fenn többé a kifelé irányuló nyomást, a csillag a saját gravitációja hatására elkezd összehúzódni, ennek következtében a felületen a gravitációs tér erősebbé válik, így a szökési sebesség is növekszik. Amikor a csillag sugara harminc kilométerre csökken, a szökési sebesség másodpercenként háromezer kilométerre nő, vagyis megegyezik a fénysebességgel. Ezután már a csillag által kibocsátott fény sem távozhatna a végtelenbe, mert a gravitációs tér visszatartaná. A speciális relativitáselmélet szerint semmi sem haladhat gyorsabban a féynél, tehát ha a fény nem távozhat a csillagról, akkor semmi más sem távozhat onnan.

Az eredmény végül egy fekete lyuk lenne: ez a téridő olyan tartománya, amelyből nem lehet a végtelenbe távozni. A fekete lyuk határfelületét eseményhorizontnak nevezzük. Az eseményhorizont a csillagról kiinduló olyan fény hullámfrontjának felel meg, amely éppen nem tud a végtelenbe távozni, hanem lebegve marad a $2 GM/c$ Schwarzschild-sugár távolságában (G a Newton-féle gravitációs állandó, M a csillag tömege és c a fénysebesség). A Nap tömegénél tízszer nagyobb tömegű csillag Schwarzschild-sugara kb. harminc kilométer.

A kísérleti megfigyelések arra engednek következtetni, hogy hozzávetőleg ilyen méretű fekete lyukak létezhetnek a kettőscsillag-rendszerekben; ilyen lehet pl. a Cygnus X-1 névvel jelölt röntgenforrás is. Az univerzumban szétszórva számos sokkal kisebb méretű fekete lyuk is létezhet, ezek azonban nem csillagok összeroppanásával keletkezettek, hanem a világegyetem erősen komprimált, nagyon forró és nagyon sűrű - közvetlenül az ősrobbanás után jelen levő - anyagának az összehúzódásával. Az ilyen "ösi" fekete lyukak nagyon érdekesek az alábbiakban vizsgálni kívánt kvantumjelenségek szempontjából is. Az egymilliárd tonna (kb. egy hegygel azonos) tömegű fekete lyuk sugara mintegy 10^{-13} centiméter (a proton vagy a neutron méretével azonos érték) lenne, és keringhetne akár a Nap, akár a galaxis középpontja körül.

A fekete lyukak és a termodinamika között fennálló kapcsolatra utaló első jel 1970-ben az a matematikai felfedezés volt, amely szerint az eseményhorizont a fekete lyuk által elnyelt anyag vagy sugárzás hatására állandóan növekszik. Az is meglepő, hogy ha két fekete lyuk egymással ütközik és egyesül, a keletkező fekete lyuk eseményhorizontjának felülete nagyobb lesz, mint az eredeti fekete lyukakhoz tartozó eseményhorizontok felületének összege. Ezek a tulajdonságok a fekete lyuk eseményhorizontjának és a termodinamika entrópiafogalmának hasonlóságára utalnak. Az entrópiát a rendezetlenség mértékének, vagy más megfogalmazással, egy rendszer pontos állapotára vonatkozó ismereteink hiányának tekinthetjük. A termodinamika híres második főtétele azt mondja ki, hogy az entrópia az időben mindig növekszik.

A fekete lyukak és a termodinamikai törvények közötti analógiát James M. Bardeennal (University of Washington) és Brandon Cartterral (Meudon Observatory) dolgoztuk ki. A termodinamika első főtétele szerint a rendszer entrópiájának kismértékű változását a rendszer energiájának arányos változása kíséri. Az arányossági tényezőt a rendszer hőmérsékletének nevezzük. Bardeennal és Cartterral azt állapítottuk meg, hogy a fekete lyukak tömegének és eseményhorizontjuk felületének változása között hasonló összefüggés áll fenn. Az arányossági tényező ebben az esetben egy olyan mennyiséget tartalmaz, amelyet felületi gravitációnak (*surface gravity*) nevezünk, és amely a gravitációs tér erősségének mértéke az eseményhorizonton. Ha

elfogadjuk, hogy az eseményhorizont felszíne az entrópiával analóg, akkor a felületi gravitáció a hőmérséklettel áll analógiában. A hasonlóságot erősíti az a tény, hogy a felületi gravitáció az eseményhorizont minden pontjában azonos, ahogy egy termikus egyensúlyban levő test hőmérséklete is ugyanannyi a test minden pontjában.

Bár az entrópia és az eseményhorizont felülete között analógia áll fenn, nem teljesen magától értetődő, hogy a felületet hogyan azonosítsuk a fekete lyuk entrópijaként. Mit jelent egyáltalán a fekete lyuk entrópiája? Jacob D. Bekenstein 1972-ben kulcsfontosságú javaslatot tett (akkoriban a Princeton Egyetem hallgatója volt, most a Negev Egyetemen dolgozik, Izraelben). Gondolatmenetét az alábbiakban ismertetem. Ha gravitációs összeomlás hatására fekete lyuk keletkezik, akkor gyorsan stacionárius állapotba kerül, amelyet csupán három paraméter jellemez: a tömeg, az impulzusmomentum és az elektromos töltés. Ezekon kívül a fekete lyuk a kiinduló objektum semmilyen más tulajdonságát sem őrzi meg. Ezt a következtetést, amely "a fekete lyuk szörtelen" elmélet néven ismert, Carter, Werner Israel (University of Alberta), David C. Robinson (King's College, London) és jómagam közösen igazoltuk.

A szörtelenségi elmélet állítása alapján a gravitációs összeomlásban nagy mennyiségű információ semmisül meg. Például a fekete lyuk végső állapota független attól, hogy az összeroppanó objektum anyagból vagy antianyagból állt-e, és attól is, hogy gömbszimmetrikus vagy erősen szabálytalan alakú volt-e. Más szavakkal: egy adott tömegű, impulzusmomentumú és töltésű fekete lyuk nagyszámú anyagkonfiguráció bármelyikének összeomlásából létrejöhetett. Ha a kvantumeffektusokat figyelmen kívül hagynánk, akkor a konfigurációk száma végtelen lenne, hiszen a fekete lyuk határozatlan nagyszámú és határozatlan kicsi tömegű részecskékből álló felhő összeomlásából is keletkezhetne.

A kvantummechanika határozatlansági elve azonban maga után vonja, hogy egy m tömegű részecske h/mv hullámhosszúságú hullámhoz hasonlóan viselkedik, ahol h a Planck-állandó, v pedig a sebesség. Ahhoz, hogy egy részecskefelhő összeroppanva fekete lyukat alkosson, szükségesnek látszik, hogy ez a hullámhossz kisebb legyen, mint a képződő fekete lyuk mérete. Ezért úgy tűnik, hogy egy adott tömegű, impulzusmomentumú és elektromos töltésű fekete lyuk bár nagyon nagy, de csak véges számú konfigurációból jöhet létre. Bekenstein azt javasolta, hogy ennek a számnak a logaritmusát tekintsük a fekete lyuk entrópiájának. A szám logaritmusá jelentené azt az információmennyiséget, amely a fekete lyuk képződésekor az eseményhorizonton át, az összeomlás során visszaszerezhetetlenül elvész.

Bekenstein javaslatában az volt a probléma, hogy ha egy fekete lyuknak az eseményhorizont felületével arányos véges entrópiája van, akkor véges hőmérsékletűnek kell lennie, amely viszont a felületi gravitációval arányos. Ez az jelenti, hogy a fekete lyuk termikus egyensúlyban lehet valamilyen zérustól különböző hőmérsékletű hőmérsékleti sugárzással. A klasszikus fogalmak szerint azonban ilyen egyensúly nem jöhetne létre, hiszen a fekete lyuk minden ráeső hőmérsékleti sugárzást elnyel, és definíció szerint semmit sem bocsáthat ki.

Ez a paradoxon megoldatlan maradt 1974-ig, amikor megvizsgáltam, hogy a kvantummechanika szerint hogyan viselkedhet az anyag egy fekete lyuk szomszédságában. Meglepetésemre azt találtam, hogy a fekete lyuk állandóan részecskéket bocsát ki. Mint akkoriban mindenki, én is kinyilatkoztatásszerű igazságként fogadtam el, hogy a fekete lyukak semmit sem bocsáthatnak ki. Nagy erőfeszítéseket tettem, hogy megszabaduljak ettől a zavaró effektustól, azonban minden próbálkozás hiábavalónak bizonyult, így a végén el kellett fogadnom. Ami végül meggyőzött arról, hogy valódi fizikai folyamatról van szó, az a felismerés volt, hogy a kibocsátott részecskék spektruma hőmérsékleti sugárzás természetű: a fekete lyuk olyan részecskéket hoz létre és úgy bocsátja ki ezeket, mintha közönséges forró test lenne, amelynek hőmérséklete arányos a felületi gravitációval és fordítottan arányos a tömeggel. Ezzel Bekenstein hipotézise a fekete lyuk

véges entrópiájáról ellentmondásmentessé vált, mivel kiderült, hogy a fekete lyuk zérustól különböző véges hőmérsékleten is termikus egyensúlyban lehet.

Azóta a fekete lyukak termikus emissziójának matematikai bizonyosságát számos, különböző szempontokat alkalmazó kutató is igazolta. Megpróbálom elmagyarázni, hogyan lehet megérteni ezt a részecskekibocsátást. A kvantummechanika arra az eredményre vezet, hogy az egész teret "virtuális" részecske-antirészecske párok töltik ki, amelyek folyamatosan "páronként materializálódnak": elválnak, majd ismét egyesülnek és "megsemmisítik egymást". Ezeket a részecskéket azért nem "valódi", hanem virtuális részecskének nevezzük, mert közvetlenül nem lehet őket részecskedetektorokkal kimutatni. Közvetett hatásuk azonban mérhető, és már ki is mutatták azt a kis eltolódást ("Lamb-eltolódást"), amelyet a gerjesztett hidrogénatom színképében előidéznek. Egy fekete lyuk jelenlétében a virtuális részecsképár egyik tagja a lyukba zuhanhat, ekkor a másik pár nélkül marad, és nem semmisül meg. Az elhagyott részecske vagy antirészecske szintén a fekete lyukba eshet a partnere után, de az is előfordulhat, hogy a végtelenbe tud szökni, ahol a fekete lyuk sugárzásaként jelenik meg.

Ezt a folyamatot úgy is értelmezhetjük, hogy a részecsképárnak a lyukba zuhanó részecskéje - tegyük fel, hogy ez egy antirészecske - valójában olyan részecske, amely az időben visszafelé mozog. Így a fekete lyukba zuhanó antirészecskét a lyukból távozó és az időben visszafelé haladó részecskének is tekinthetjük. Amikor a részecske ahhoz a ponthoz ér, amelyben a részecske-antirészecske pár eredetileg keletkezett (materializálódott), a gravitációs tér hatására úgy szóródik, hogy az időben előre halad.

A kvantummechanika tehát megengedi azt, amit a klasszikus fizika nem: a fekete lyuk belsejéből részecske távozhat. Az atomfizikában és a magfizikában számos más eset is ismert, amikor a kvantummechanikai elvek lehetővé teszik a részecskék számára azt, hogy a klasszikus elvek szerint áthatolhatatlan gátakon átalagutazzanak.

A fekete lyuk körüli gát vastagsága arányos a fekete lyuk méretével. Ez azt jelenti, hogy a Cygnus X-I-ben feltételezett fekete lyukból csak nagyon kevés részecske szökhet meg, de kisebb fekete lyukakból a részecskék nagyon gyorsan távozhatnak. A részletes számítások szerint a kibocsátott részecskék olyan hőmérsékletnek megfelelő termikus eloszlást mutatnak, amely hőmérséklet a fekete lyuk tömegének csökkenésével gyorsan emelkedik. Egy Nappal megegyező tömegű fekete lyuk hőmérséklete csak kb. egy milliomod fokkal magasabb az abszolút zérus foknál. Az ilyen alacsony hőmérsékletű fekete lyukból kilépő sugárzást az univerzum háttérsugárzása teljesen elfedné. Más a helyzet egy mindössze egymilliárd tonna tömegű ősi fekete lyuk esetén, amelynek mérete a proton méretével vethető össze. Ennek hőmérséklete 120 milliárd kelvin lenne, amely néhányszor tízmillió elektronvolt energiának felel meg. Ekkora energia esetén a fekete lyuk elektron-pozitron párokat, vagy zérus nyugalmi tömegű részecskéket, pl. fotonokat, neutrínókat és gravitonokat keltene (a gravitonok a gravitációs kölcsönhatás hipotetikus részecskéi). Egy ilyen ősi fekete lyuk mintegy 6000 megawatt teljesítménnyel sugározna, ami hat nagy atomerőmű teljesítményével egyenlő.

Miközben a fekete lyuk részecskéket bocsát ki, tömege és mérete állandóan csökken. Ez megkönnyíti, hogy még több részecske alagutazzon ki belőle, így a sugárzás egyre fokozódó intenzitással folytatódik mindaddig, amíg a fekete lyuk teljesen megszűnik. Hosszú távon ezzel a mechanizmussal az univerzumban az összes fekete lyuk elpárologna. Nagy fekete lyukak esetén azonban ez az idő nagyon hosszú: a naptömegű fekete lyukak élettartama kb. 10^{66} év. Az ősi fekete lyukaknak azonban az ősrobbanás óta eltelt mintegy tízmilliárd év alatt szinte teljesen el kellett párologniuk. Az ilyen fekete lyukak jelenleg kb. 100 millió elektronvoltos kemény gamma-sugárzást bocsátanak ki.

Don N. Page, aki akkoriban a California Institute of Technology munkatársa volt, valamint jómagam az SAS-2 mesterséges hold által mért kozmikus háttérsugárzás alapján számításokat végeztünk, amelyek azt mutatták, hogy az univerzumban köbfényévenként átlagosan legfeljebb kétszáz ősi fekete lyuk létezhet. Lokális sűrűségük azonban galaxisunkban ennek a milliószorosa is lehet, ha az ősi fekete lyukak az univerzumban nem egyenletes eloszlásban vannak jelen, hanem a galaxis magja körüli "fényudvarban" - a gyorsan mozgó csillagok által alkotott ritka ködben koncentrálnak. Ez azzal a következménnyel járna, hogy a hozzánk legközelebbi ősi fekete lyuk kb. akkora távolságra lenne, mint a Plútó.

A fekete lyuk elpárologásának utolsó szakasza hatalmas robbanás formájában zajlana le. A robbanás nagysága a különböző fajtájú elemi részecskék végső számától függ. Ha az összes részecske hat kvark különböző variációiból áll, ahogy ma hisszük, akkor a végső robbanás energiája megfelelne tízmillió, egyenként egy megatonnás hidrogénbomba felrobbanásának. R. Hagedorn az Európai Részecske Kutató Központban (CERN) egy alternatív elméletet állított fel, amely szerint az elemi részecskéknél végtelen sok osztálya létezik, és ezek tömege egyre nagyobb. Amint a fekete lyuk kisebbé és forróbbá válik, nagyobb és nagyobb tömegű elemi részecskéket bocsát ki, és végül akkora robbanást idéz elő, amely a kvarkhipotézis alapján számítottnál százezerszer erősebb. Tehát a fekete lyukak felrobbanásának megfigyelése más módon el nem érhető, nagyon fontos információt szolgáltatna a részecskefizika számára.

A fekete lyuk felrobbanásakor intenzív, nagy energiájú gamma-sugárzás keletkezne. Bár ez a gamma-sugárzás mesterséges holdakon vagy léggömbökön elhelyezett detektorokkal megfigyelhető lenne, a fenti eszközökön azonban nehéz lenne olyan nagy detektort elhelyezni, amely egy robbanás gamma-fotonjait megfelelő valószínűséggel és jelentős mennyiségben felfoghatná. Az egyik lehetőség az lenne, ha az űrsikló alkalmazásával Föld körüli pályán felépítenénk egy nagy gamma-sugárzás-detektort. Könnyebb és sokkal olcsóbb megoldást jelentene, ha a Föld felső légkörét használnánk detektorként. A nagy energiájú gamma-sugarak a légkörbe érve elektron-pozitron párokat keltenek, amelyek kezdetben a légkörön át a fénynél gyorsabban haladnak (a fényt a levegő molekuláival való kölcsönhatás lelassítja). Így az elektronok és a pozitronok az elektromágneses térben egyfajta hangrobbanást vagy lökéshullámot idéznének elő. Az ilyen lökéshullámot Cserenkov-sugárzásnak nevezzük, ezt a Föld felszínén látható villámlásként észlelnénk.

Neil A. Porter és Trevor C. Weekes előzetes kísérletei azt mutatják, hogy ha a fekete lyukak Hagedorn hipotézise szerint robbannak fel, akkor a galaxisunk hozzánk közeli régióiban évszázadonként és köbfényévenként kettőnél kevesebb robbanás történik. Ebből arra lehet következtetni, hogy galaxisunkban az ősi fekete lyukak sűrűsége köbfényévenként kisebb, mint százmillió. Az erre vonatkozó megfigyelések érzékenységét valószínűleg még nagymértékben fokozni lehet. Akkor is nagyon hasznosak lennének, ha nem vezetnének az ősi fekete lyukak kimutatásában pozitív eredményre, mert ha megállapítanák azt, hogy a feketelyuk-sűrűség felső határa kis érték, ez arra utalna, hogy a korai világegyetem nagyon sima és turbulenciamentes volt.

Az ősrobbanás a fekete lyukak robbanásához hasonlítható, de sokkal nagyobb volt. Ezért abban reménykedhetünk, hogy ha megértjük, hogyan keltenek a fekete lyukak részecskéket, abból arra is következtethetünk, hogyan hozta létre az ősrobbanás mindazt, ami az univerzumot alkotja. A fekete lyukban az anyag összeomlik és örökre eltűnik, de helyette új anyag is keletkezik. Ezért az is lehetséges, hogy az univerzum életének egy korábbi fázisában az anyag összehúzódott, és az ősrobbanásban újraalakult.

Ha a fekete lyuk képződésében részt vevő összeomló anyagnak eredő elektromos töltése volt, akkor a keletkező fekete lyuknak ugyanekkora töltése lesz. Vagyis a fekete lyuk elsősorban a keletkező virtuális részecske-antirészecske párok hozzá képest ellentétes töltésű tagját vonzza magához, a vele azonos töltésűeket pedig eltaszítja. A fekete lyuk tehát, a sajátjával azonos töltésű

sugárzást bocsát ki, így saját töltését gyorsan elveszti. Hasonló módon, ha az összeomló anyagnak eredő impulzusmomentuma van, akkor a keletkező fekete lyuk forog, és leginkább olyan részecskéket bocsát ki, amelyek magukkal viszik az impulzusmomentumát. Annak a jelenségnek, hogy a fekete lyuk az összeomló anyag töltésére, impulzusmomentumára és tömegére "emlékszik", viszont minden mást "elfelejt", az az oka, hogy ezek a mennyiségek nagy hatótávolságú erőkterekhez kapcsolódnak: a töltés az elektromágneses térhez, az impulzusmomentum és a tömeg pedig a gravitációs térhez.

Robert H. Dicke (Princeton University) és Vlagyimir Bragyinszkij (Moszkvai Állami Egyetem) kísérletei arra utalnak, hogy a bariontöltésnek nevezett kvantumtulajdonsághoz nem kapcsolódik nagy hatótávolságú mező. (A barionok részecskeosztályába tartozik pl. a proton és a neutron is.) Így a barionok együttesének összeomlásából keletkező fekete lyuk elfelejti a barionszámot, és egyenlő számban bocsát ki barionokat és antibarionokat. Ezért a fekete lyuk eltűnése során megsérül a részecskefizika egyik legszentebb megmaradási törvénye, a barionszám-megmaradás.

Bár Bekenstein hipotézise, miszerint a fekete lyukaknak véges entrópiája van, csak akkor ellentmondásmentes, ha a fekete lyuk hőmérsékleti sugárzást bocsát ki, első pillanatra mégis valóságos csodának tűnik, hogy a részecskekeletkezésre vonatkozó részletes kvantummechanikai számításokból is termikus spektrumú sugárzás adódik. A rejtély megoldása az, hogy a kibocsátott - a fekete lyukból kialakuló - részecskék olyan tartományból származnak, amelyről a külső megfigyelő nem ismer mást, csak a tömegét, impulzusmomentumát és az elektromos töltését. Tehát a kibocsátott részecskék bármely olyan konfigurációja vagy kombinációja, amely azonos energiával, azonos impulzusmomentummal és azonos töltéssel rendelkezik, azonos valószínűségű. Az is előfordulhat, hogy a fekete test egy televíziókészüléket vagy Proust összes műveinek tízkötetes, bőrkötésű kiadását bocsátja ki, de ezeknek az egzotikus részecskekombinációknak a száma elenyészően kicsi. A részecskekonfigurációk túlnyomó többségéhez közel termikus spektrumú részecskekibocsátás tartozik.

A fekete lyuk sugárzásához a szokásos kvantummechanikai határozatlanságon felül egy további határozatlanság vagy megjósolhatatlanság is járul. A klasszikus mechanikában mind a részecskék helyének, mind sebességének mérési eredményeit pontosan meg tudjuk adni. A kvantummechanikában a határozatlansági elv értelmében a megfigyelő vagy csak a helyet, vagy csak a sebességet mérheti meg pontosan, a kettőt együtt nem. Azt is megteheti, hogy a mérés eredményét a hely- és sebességérték egy kombinációjával adja meg, ekkor a megfigyelő lehetősége a pontos előrejelzésre gyakorlatilag feleződik. A fekete lyukak esetében még rosszabbul állunk. Mivel a fekete lyuk által kibocsátott részecske olyan tartományból származik, amelyről csak nagyon korlátozott ismeretekkel rendelkezünk, sem a részecske helyét, sem a sebességét, sem a kettő kombinációját nem tudjuk előre megjósolni. Egyedül azt tudjuk megmondani, hogy bizonyos részecske kibocsátása milyen valószínűséggel várható. Úgy tűnik, hogy Einstein kétszeresen is tévedett, amikor kijelentette, hogy "Isten nem kockázik". A fekete lyuk sugárzásával kapcsolatos vizsgálataink arra utalnak, hogy Isten nemcsak kockázik, de néha még olyan helyre is dobja a kockákat, ahol azokat látni sem lehet.

Fekete lyukak és bébi-univerzumok (*)

(*) Hitchcock-előadás, amely a Kaliforniai Egyetemen hangzott el Berkeley-ben 1988 áprilisában.

A tudományos-fantasztikus regények hátborzongató jelenetei közé tartozik, amikor valaki belezuhan egy fekete lyukba. A valóságban viszont a fekete lyukak ma már sokkal inkább a tényszerű tudományos, mint a tudományos-fantasztikus irodalom tárgykörét képezik. Mint látni fogjuk, minden okunk megvan arra, hogy feltételezzük a fekete lyukak létezését. A megfigyelések egyértelműen arra utalnak, hogy számos fekete lyuk létezik a mi csillagrendszerünkben is, de egyéb galaxisokban még ennél is több létezhet.

A tudományos-fantasztikus regények íróit természetesen az érdeklő leginkább, hogy mi történik akkor, ha az ember fekete lyukba zuhan. Az egyik népszerű elképzelés szerint a forgó fekete lyukban az ember egy kicsi nyíláson keresztül a téridőben a világegyetem valamilyen másik tartományába kerülhet. Ez természetesen nagyszerű lehetőségeket nyújt az űrutazásra. Csakugyan valami ilyesféle módszerre lesz majd szükségünk, ha valamikor a jövőben más csillagokra, vagy éppenséggel más csillagrendszerekbe szeretnénk utazni egy működő vállalkozás keretei között. Egyébként a legközelebbi csillagig is legalább nyolc évet venne igénybe a fénysebességű utazás, mivel semmi sem mozoghat a fénysebességnél gyorsabban. Ennyit az Alfa Centauri csillagon töltendő hétvégi kiruccanásról! Ha valóban átjuthatna az ember egy fekete lyukon, akkor lehet, hogy a világegyetem valamilyen másik részébe kerülne. Csak az nem világos még, hogyan lehetne kiválasztani az úti célt. Előfordulhatna, hogy az ember a Szűz csillagképben szeretné eltölteni a szabadságát, és helyett a Rák-ködbe kerülne.

Sajnálom, hogy a leendő csillagközi turistákat ki kell ábrándítanom, de ez a dolog még nem működik. Ha valaki beleugrik egy fekete lyukba, akkor darabokra szakad és emberi léte azonnal megszűnik. A testét alkotó részecskék azonban bizonyos értelemben túlélnek az ugrást és egy másik világegyetembe kerülnek. Nem tudom persze, mennyire vigasztal valakit, ha tudja, hogy miközben éppen spagettivé darabolódik egy fekete lyukban, a részecskéi azért talán túlélnek a kalandot.

Mondanivalóm a komolytalan hangvétel ellenére komoly tudományos alapokon nyugszik. Az eddig felsorolt eredmények legtöbbször ma már az ezen a területen dolgozó többi kutató is egyetért, bár az egyetértés nem olyan régi keletű. A tanulmány befejező része viszont olyan teljesen új kutatási eredményeken alapul, amelyekkel kapcsolatban eddig még nem sikerült általános érvényű megegyezésre jutni. A munkát azonban mindenki nagy érdeklődéssel és izgalommal fogadta.

Bár a manapság fekete lyukaknak nevezett képződmények fogalma több mint kétszáz évvel ezelőttre nyúlik vissza, a *fekete lyuk* elnevezést csak 1967-ben vezette be John Wheeler amerikai fizikus. Zseniális ötlet volt: a név megszületésével a fogalom bevonult a tudományos-fantasztikus mitológiába. Ugyanakkor a tudományos kutatásra is ösztönzőleg hatott, mivel egyértelműen megjelölte azt a fogalmat, amelyre addig nem létezett megfelelő elnevezés. A tudományban a találó nevek jelentőségét nem szabad lebecsülni.

Tudomásom szerint egy cambridge-i kutató, John Michell foglalkozott elsőként a fekete lyukakkal, 1783-ban tanulmányt is írt erről a témáról. Gondolatmenete a következő volt. Képzeljük

el, hogy a Föld felszínéről függőlegesen kilövünk egy ágyúgolyót. Emelkedése közben sebessége a gravitáció miatt egyre csökken. Végül a felfelé haladó golyó megáll, és visszaesik a Földre. Ha azonban egy kritikus értéknél nagyobb sebességgel löjük ki, akkor a felfelé haladó mozgás nem szűnik meg, a golyó nem esik vissza, hanem folytatja mozgását. Ezt a kritikus sebességet szökési sebességnek nevezzük. A földi gravitáció esetén értéke másodpercenként kb. 12 kilométer, a Nap esetében pedig másodpercenként mintegy 160 kilométer. Mindkét sebesség jóval nagyobb, mint a valódi ágyúgolyók sebessége, de jóval kisebb, mint a fénysebesség, amelynek értéke másodpercenként 300.000 kilométer. Ebből következően a gravitációnak a fényre nincs túl nagy hatása; a fény minden nehézség nélkül eltávozhat a Földről vagy a Napról. Michell a továbbiakban úgy érvelt, hogy elképzelhetnénk egy olyan nagy tömegű és olyan kis méretű csillagot, amelyen a szökési sebesség értéke meghaladná a fénysebességet. Az ilyen csillagot nem láthatnánk, mivel a felületéről kiinduló fény nem érhetne el bennünket; a fényt a csillag gravitációs tere visszahúzná. A csillag létezését azonban valószínűleg ennek ellenére észlelni tudnánk a közelében található anyagra kifejtett gravitációs vonzása alapján.

De miért is kezeljük a fényt úgy, mint egy ágyúgolyót? Az 1897-ben elvégzett kísérletek alapján a fény mindig állandó sebességgel terjed. Miként tudja akkor lelassítani a gravitáció? Olyan elmélet, amely ellentmondásmentesen megmagyarázza a gravitációnak a fényre gyakorolt hatását, csak 1915-ben született, amikor Einstein megfogalmazta az általános relativitáselméletet. Az elméletnek az idős csillagokkal és egyéb nagy tömegű égitestekkel kapcsolatos jelentőségét még így is csak az 1960-as években ismerték fel.

Az általános relativitáselmélet szerint a tér és az idő együttesen téridőnek nevezett négydimenziós rendszert alkot. Ez a rendszer nem sima, hanem a benne található anyag és energia hatására görbült. A görbületet a Nap közelében elhaladó fény vagy rádióhullámok pályáján meg is figyelhetjük. A Nap közelében haladó fény esetében ez a görbület igen kis mértékű. Ha azonban a Nap átmérője mindössze néhány kilométerre zsugorodna, akkor a görbület olyan hatalmas mértékűt öltene, hogy a kibocsátott fény nem hagyhatná el a Napot, a Nap gravitációs vonzása a fényt is visszatartaná. Mivel a relativitáselmélet szerint semmi sem mozoghat gyorsabban a féynél, az elképzelt égitest olyan tartományt képviselne, amelyből semmi sem juthatna ki. Ezt a tartományt nevezzük fekete lyuknak. A fekete lyuk határfelületét eseményhorizontnak hívjuk. Ezt azok a fénysugarak alkotják, amelyek már éppen nem tudják elhagyni a fekete lyukat, hanem a határfelületén lebegnek.

Képtelenségnek tűnhet az a gondolat, hogy a Nap mindössze néhány kilométer átmérőjű parányi égitestté zsugorodjon össze. Azt gondolhatnánk, hogy az anyagot nem lehet ilyen nagy sűrűségűre összenyomni. Kiderült, hogy lehet.

A Nap azért akkora, amekkora, mert nagyon forró. A Napban szabályozott hidrogénbombának megfelelő reakciók során hidrogén alakul át héliummá. A folyamatokban felszabadult hő akkora nyomást hoz létre, amely lehetővé teszi, hogy a Nap saját gravitációs vonzásának ellenálljon, és ellensúlyozza a gravitáció összehúzó hatását.

A Nap nukleáris üzemanyaga azonban egyszer majd elfogy Ettől persze még kb. ötmilliárd évig nem kell tartanunk, tehát nem kell nagyon sietnünk, hogy helyet foglaljunk egy másik csillagra induló repülőjáraton. Azonban a Napnál nagyobb tömegű csillagok jóval gyorsabban használják fel nukleáris üzemanyagukat. Üzemanyag-tartalékuk kimerülése után elkezdnek lehűlni és összehúzódni. Ha tömegük a Nap tömegének kb. kétszeresénél kisebb, akkor összehúzódásuk megállhat, és stabil állapotba kerülhetnek. Az ilyen állapotban levő csillagok egyik csoportját fehér törpéknek hívjuk. A fehér törpék sugara néhány ezer kilométer, sűrűségük néhány száz tonna köbcéntiméterenként. A másik ilyen állapotot a neutroncsillagok képviselik, amelyeknek sugara kb. 15 kilométer, sűrűségük pedig több millió tonna per köbcéntiméter.

A Tejútrendszerben közvetlen szomszédságunkban nagyszámú fehér törpe figyelhető meg. Neutroncsillagot azonban csak 1967-ben észleltek először, amikor Jocelyn Bell és Antony Hewish Cambridge-ben felfedezték a pulzárokat, amelyek szabályos ütemben rádióhullámokat bocsátanak ki. Először arra gondoltak, hogy valamilyen idegen civilizációval sikerült kapcsolatot teremteniük. Valóban emlékszem rá, hogy a szemináriumi termet, amelyben felfedezésükről beszámoltak, "kis zöld emberkék" díszítették. Végül azonban ők maguk, és mindenki más is arra a kevésbé romantikus következtetésre jutott, hogy a felfedezett égitestek forgó neutroncsillagok. Ez rossz hír volt a világűrben játszódó ponyvaregények írói számára, viszont jó hír azon keveseknek, akik velem együtt már akkoriban is hittek a fekete lyukak létezésében. Ha ugyanis a csillagok 20-30 kilométer átmérőjűre zsugorodhatnak, és így neutroncsillagot alkothatnak, akkor az is feltételezhető, hogy más csillagok esetleg ennél is jobban összezsugorodnak, és fekete lyukat képeznek.

A Nap tömegének kb. kétszeresénél nagyobb tömegű csillagok nem kerülhetnek fehér törpe vagy neutroncsillag formájában stabil állapotba. Előfordulhat, hogy ilyen esetben a csillag felrobban, és elegendő mennyiségű anyagot vet ki magából ahhoz, hogy tömege a stabil határérték alá kerüljön. De ez nem mindig történik így. Néhány csillag olyan kis méretűre zsugorodik össze, hogy gravitációs vonzásának hatására a róla kiinduló fény visszajut a csillagra. Így sem a fény, sem bármi más nem menekülhet a csillagról. A csillag fekete lyukká alakul.

A fizika törvényei időszimmetrikusak. Ha tehát léteznek a fekete lyukak, amelyekbe más testek csak belezuhanhatnak, de belőlük semmi sem juthat ki, akkor léteznie kell olyan égitesteknek is, amelyekből csak kifelé juthatnak a dolgok, befelé sohasem. Ezeket fehér lyukaknak hívhatnánk. Elképzelhető lenne, hogy egy adott helyen beleugrik az ember egy fekete lyukba, egy másik helyen pedig egy fehér lyukból jön ki. Ez lenne az ideális módszer arra, hogy a világűrben hatalmas utazásokat tegyünk, ahogy már a fejezet elején is említettem. Semmi mást nem kellene tennünk, csak keresni egy közeli fekete lyukat.

Kezdetben úgy tűnt, hogy az űrutazásnak ez a módja lehetséges. Einstein általános relativitáselméletének egyes megoldásai szerint lehetséges az, hogy valami egy fekete lyukba beleesik és aztán egy fehér lyukból kijön. Később azonban kimutatták, hogy az összes ilyen megoldás rendkívül instabil: a legkisebb zavaró hatás, pl. egy űrhajó jelenléte is szétrombolná a "féreglyukat", a fekete lyukból a fehér lyukba vezető átjárót. Az űrhajót a fellépő végtelen nagy erők szétszakítanák. Olyan lenne ez, mintha a Niagara-vízesésen akarnánk szárazon átkelni egy hordóban.

Ezek után valóban reménytelennek tűnt a dolog. A fekete lyuk jó lehet arra, hogy megszabaduljunk a szeméttől, vagy éppenséggel néhány baráttól, de ez tényleg "az a birodalom, ahonnan még senki sem tért vissza". Mindaz, amit eddig ismertettem, az Einstein általános relativitáselméletének segítségével végzett számításokon alapszik. Az elmélet igen jó egyezést mutat az összes megfigyelésünkkel. Ennek ellenére tudjuk, hogy nem lehet tökéletes, mert nem foglalja magában a kvantummechanika határozatlansági elvét. A határozatlansági elv kimondja, hogy nem lehet a részecskék helyét is és sebességét is egyidejűleg pontosan meghatározni. Minél pontosabban mérjük a részecskék helyét, annál kevésbé pontosan mérhető a sebességük, vagy fordítva.

1973-ban kezdtem el azzal foglalkozni, hogy a fekete lyukak esetében milyen következményekkel járhat a határozatlansági elv alkalmazása. Magam és mások legnagyobb meglepetésére azt találtam, hogy a fekete lyukak nem teljesen feketék, hanem állandóan sugárzást és részecskéket bocsáthatnak ki. Mikor eredményeimet egy Oxford közelében tartott konferencián ismertettem, azokat általános hitetlenkedés fogadta. A szekció elnöke kijelentette, hogy képtelenség az egész, és ezt egy közleményben is kifejtette. Amikor azonban megismételték a számításaimat,

mások is ugyanarra az eredményre jutottak. Végül még a szekcióelnök is belátta, hogy igazam volt.

Hogyan juthat ki sugárzás a fekete lyuk gravitációs teréből? A jelenség többféle módon is megérthető, amelyek különbözőnek tűnnek ugyan, de valójában mindegyik magyarázat egyenértékű. Az egyik szerint a határozatlansági elv megengedi, hogy a részecskék rövid távolságon a fénysebességnél nagyobb sebességgel mozogjanak. Ezzel lehetővé válik, hogy az ilyen részecskék vagy az ilyen sugárzás átjusson az eseményhorizonton, és kiszökjön a fekete lyukból. Tehát mégiscsak lehetséges, hogy valami elhagyja a fekete lyukat. A fekete lyukból kikerülő dolgok azonban különböznek a belekerülő dolgoktól. Csak az energiájuk egyezik meg.

Miközben a fekete lyuk részecskéket és sugárzást bocsát ki, veszít a tömegéből. Így egyre kisebb lesz, és egyre gyorsabban bocsát ki részecskéket. Végül a tömege zérusra csökken és teljesen eltűnik. Mi történik ilyenkor azokkal a testekkel, amelyek a fekete lyukba estek, beleértve esetleg egy űrhajót is? Legutóbbi kutatásaim szerint a válasz erre az, hogy egy önálló kis bébi-univerzumba kerülnek. Ilyenkor tehát egy kicsi, önmagában zárt univerzum szakad le a világegyetem általunk elfoglalt tartományából, később azonban ismét kapcsolódhat a mi téridőtartományunkhoz. Ha ez bekövetkezik, úgy tűnik számunkra, mintha újabb fekete lyuk képződött volna, amely később ismét elpárolog. Az egyik fekete lyukba belezuhanó részecskék egy másik fekete lyuk által kibocsátott részecskék formájában jelennek meg, és fordítva.

Ez pontosan úgy hangzik, mint az űrutazás a fekete lyukakon át. Az embernek egyszerűen csak egy alkalmas fekete lyukba kell kormányoznia az űrhajóját. De jól teszi, ha jó nagy fekete lyukat választ, különben a gravitációs erők spagettivé szagatják, még mielőtt a fekete lyuk teljesen elnyelné. Ezután az űrhajósnak már csak reménykednie kell, hogy egyszer csak újra előbukkan egy másik lyukból, bár nem lehet tudni, hogy pontosan hol.

Van azonban egy bökkenője ennek a csillagközi szállítási rendszernek. A bébi-univerzumok, amelyek a fekete lyukba zuhanó részecskékből jönnek létre, az úgynevezett képzetes vagy imaginárius időben keletkeznek. A valós időben az az űrhajós, aki fekete lyukba esik, szomorú véget ér. A fejére és a lábára ható gravitációs vonzás különbsége darabokra szakítja. Még a testét alkotó részecskék sem élnek túl az eseményt. Történetük a valós időben a szingularitásban véget is érne. A képzetes időben viszont a részecskék története folytatódik. Átkerülnek a bébi-univerzumba és úgy jelennek meg, mint egy másik fekete lyuk által kibocsátott részecskék. Az űrhajós bizonyos értelemben a világegyetemnek egy másik tartományába jut. Az így megjelenő részecskék azonban nem sok hasonlóságot mutatnának az űrhajóssal. Az sem jelentene túl nagy vigaszt az űrutazó számára, ha tudná, hogy miközben a valós időben a szingularitásba rohan, részecskéi a képzetes időben tovább fognak élni. Ha valaki fekete lyukba esik, mindenesetre az legyen a mottója: "Fogd fel az életet képzetesen!"

Mi határozza meg azt, hogy hol jelennek meg újból a részecskék? A bébi-univerzumban található részecskék száma egyenlő a fekete lyukba esett és a fekete lyukból az elpárologás során kibocsátott részecskék számának összegével. Vagyis azok a részecskék, amelyek valamilyen fekete lyukba beleestek, egy kb. azonos tömegű másik fekete lyukból fognak kibukkanni. Tehát megpróbálhatnánk meghatározni a részecskék megjelenésének helyét, ha létrehozunk egy ugyanolyan tömegű fekete lyukat, mint amelyikbe az eredeti részecskék belekerültek. A fekete lyuk azonban ugyanolyan valószínűséggel bármilyen azonos energiájú részecskecsomagot képes kibocsátani. Még ha a kívánt mennyiségben a kívánt részecskefajták jelennének is meg, akkor sem tudnánk megmondani, hogy ugyanazokról a részecskékről van-e szó, mint amelyek a másik lyukba belekerültek. A részecskék ugyanis nem hordanak maguknál személyi igazolványt; az összes ugyanolyan típusú részecske egyforma.

Mindezek alapján nem valószínű, hogy a fekete lyukon keresztüli helyváltoztatás az űrutazás

népszerű és megbízható módszerévé válhat. Először is nem a valós, hanem a képzetes időben mozogva kellene a fekete lyukba kerülnünk, és nem szabadna azzal törődnünk, hogy történetünk a valós időben szomorú véget ér. Másodszor pedig az úticélt tulajdonképpen nem is választhatnánk meg szabadon. Olyan lenne az utazás, mint némely repülőársaság esetében, amelyre tudnék példákat mondani.

Annak ellenére, hogy az űrutazásban nem lehet túl sok hasznukat venni, a bébi-univerzumoknak fontos következményei vannak a világegyetemben mindent leíró teljes egyesített elmélet kidolgozása szempontjából. Jelenlegi elméleteink egész sor olyan mennyiséget tartalmaznak, mint pl. egy részecske elektromos töltése. Ezeknek a mennyiségeknek az értékét az elméletek nem tudják előre jelezni. Értéküket úgy kell megválasztani, hogy a megfigyelésekkel egyezésben álljanak. A legtöbb kutató meggyőződése szerint megalkotható egy alapvető egyesített elmélet, amelyből mindezeknek a mennyiségeknek az értéke is levezethető.

Könnyen lehetséges, hogy létezik ilyen alapvető elmélet. Pillanatnyilag a legesélyesebb jelölt a heterotikus szuperhúrok elmélete. Ennek alapgondolata az, hogy a téridőt kis kötődarabokhoz hasonló húrok töltik ki, és az elemi részecskék a valóságban ilyen kis húrdarabok, amelyek különböző módon rezeghetnek. A szuperhúrok elmélete nem tartalmaz semmilyen számszerű adatot, amelynek értékét illesztéssel kellene meghatározni. Ezért feltételezhetjük, hogy alkalmas lehet az olyan mennyiségek értékének a megadására, amilyen pl. egy részecske elektromos töltése, és amelyeket a jelenlegi elméletek segítségével nem lehet meghatározni. Bár a szuperhúrok elméletével mindaddig még egyetlen ilyen mennyiséget sem tudtak kiszámítani, sokan meg vannak győződve arról, hogy előbb-utóbb ez talán mégis sikerülni fog.

Ha azonban a bébi-univerzumokról alkotott képünk helyes, akkor nagyon korlátozottak a lehetőségeink az említett mennyiségek értékének meghatározására. Ennek az az oka, hogy nem tudjuk megfigyelni, hány olyan bébi-univerzum létezik a világmindenségben, amely arra vár, hogy a mi világegyetemünkhöz kapcsolódjon. Létezhetnek bébi-univerzumok, amelyek csak néhány részecskét tartalmaznak. Ezek annyira kicsik, hogy nem is vennénk észre, ha csatlakoznának hozzánk vagy leszakadnának rólunk. Azonban valamennyi bébi-univerzum csatlakozása megváltoztatná a fent említett mennyiségeknek, pl. egy részecske elektromos töltésének a látszólagos értékét. Következésképpen nem lehetne megadni az ilyen mennyiségek látszólagos értékét, hiszen nem tudjuk, hány bébi-univerzum hatását kellene figyelembe venni a meghatározás során. Az is előfordulhat, hogy a bébi-univerzumok körében népszerűgrobbanás következik be. Az emberi társadalommal ellentétben úgy tűnik, hogy ezt pl. élelmiszer-ellátás, elhelyezési gondok vagy más tényezők nem korlátozzák. A bébi-univerzumok saját független birodalmat alkotnak. Kicsit úgy érezzük, mintha azt kérdeznénk, hogy hány angyal táncolhat egy gombostűfejen?

A bébi-univerzumok a legtöbb mennyiség várható értékében valószínűleg nagyon kicsi, de jól meghatározott bizonytalanságot okoznak. Ugyanakkor magyarázatot adhatnak egy nagyon fontos mennyiség, az úgynevezett kozmológiai állandó kísérletileg meghatározott értékére. A kozmológiai állandó az általános relativitáselmélet egyenleteiben bevezetett járulékos tag, amely a téridőnek is tágulásra vagy összehúzódásra való képességet kölcsönöz. A kis értékű kozmológiai állandót eredetileg Einstein javasolta abban a reményben, hogy így ellensúlyozni tudja az anyagnak azt a hatását, amely a világegyetemet összehúzódásra készíti. Ez az indíték azonban megszűnt, amikor felfedezték, hogy a világegyetem tágul. Nem volt könnyű viszont megszabadulni a kozmológiai állandótól. A kvantummechanika törvényeiből adódó fluktuációk feltételezhetően nagyon nagy értékű kozmológiai állandót eredményeznének. Ám kísérletileg megfigyelhető, hogy a világegyetem tágulása az időben hogyan változik, és ebből meg tudjuk határozni a kozmológiai állandót, ami nagyon kis érték. Mindaddig nem volt elfogadható magyarázata annak, hogy a kozmológiai állandó értéke miért ilyen kicsi. A hozzánk kapcsolódó és tőlünk elszakadó bébi-univerzumok befolyásolják a kozmológiai állandó látszólagos értékét. Mivel nem ismerjük a bébi-

univerzumok számát, a kozmológiai állandónak is több lehetséges értéke létezhet. Közülük mindenesetre a közelítően nulla érték a lehető legvalószínűbb. Ez nagy szerencse, mert a világegyetem csak a kozmológiai állandó nagyon kis értékei esetén alkalmas hely a hozzánk hasonló lények számára.

Összefoglalva a következőket mondhatjuk: úgy tűnik, hogy részecskék eshetnek a fekete lyukakba, amelyek aztán elpárolognak és eltűnnek a világegyetem általunk elfoglalt tartományából. Az eltűnő részecskék bébi-univerzumokba kerülnek, amelyek leszakadnak a mi világegyetemünkről, majd valahol egy másik helyen ismét kapcsolódhatnak hozzánk. Ennek ellenére a bébi-univerzumok valószínűleg nem lesznek alkalmasak űrutazásra, de létezésük azt jelenti, hogy ha találunk is egy teljes egyesített elméletet, ennek segítségével kevesebb dolgot lehet majd előre jelezni, mint ahogy korábban reméltük. Másrészt viszont a bébi-univerzumok létezése lehetőséget ad arra, hogy megmagyarázzuk néhány mennyiség, pl. a kozmológiai állandó mért értékét. Az elmúlt néhány évben sokan kezdtek foglalkozni ezzel a témával. Nem hiszem, hogy bármelyiküknek is olyan szerencséje lesz, hogy szabadalmaztathat egy bébi-univerzumok segítségével történő új űrutazási eljárást, mégis valamennyien szerencsésnek mondhatják magukat, mert izgalmas tudományterülettel foglalkozhatnak.

Minden előre meghatározott? (*)

(*) A Cambridge-i Egyetemen, a Sigma Club szemináriumán 1990 áprilisában tartott előadás.

A *Julius Caesar* című drámában Cassius így szól Brutushoz: "Az ember néha saját sorsának kovácsa." De vajon tényleg a sorsunk kovácsai vagyunk-e? Vagy minden, amit teszünk, előre elrendelt és meghatározott? Az előre elrendeltség melletti érvként régebben azt hangoztatták, hogy Isten mindenható és időn kívül álló lény, így tudja, mi fog történni. De hogyan lehet akkor szabad akaratunk? És ha nincs szabad akaratunk, akkor hogyan lehetünk a tetteinkért felelősek? Ha valakinek az a sorsa, hogy kiraboljon egy bankot, akkor miért lenne felelős érte, és miért kellene megbüntetni?

A legutóbbi időkig a determinizmus tudományos alapokon állt. Úgy tűnt, hogy jól meghatározott törvények léteznek, ezek irányítják a világegyetemet és benne minden jelenség időbeli lefolyását. Bár még nem találtuk meg e törvények végleges formáját, eleget tudunk ahhoz, hogy egy-két szélsőséges esettől eltekintve le tudjuk írni az eseményeket. Megoszlanak a vélemények arról, hogy a közeljövőben megtaláljuk-e a fennmaradó törvényeket. Én optimista vagyok: azt gondolom, hogy ötven-ötven százalék annak az esélye, hogy az elkövetkező húsz évben eljutunk a hiányzó törvényekhez. Ha mégsem sikerül, az sem változtat lényegesen az érvelésen. Az a fontos, hogy feltételezzük a természeti törvények egy olyan rendszerének a létezését, amely a kezdeti állapottól kezdve teljesen meghatározza az univerzum fejlődését. Ezeket a törvényeket talán Isten rendelte el, de úgy tűnik, azóta nem változtat rajtuk, és nem avatkozik a világ folyásába.

Lehet, hogy a világegyetem kezdeti konfigurációját Isten választotta meg, de az is elképzelhető, hogy még ez is a természeti törvényekből vezethető le. Mindkét esetben arra a következtetésre jutunk, hogy a világegyetemet a természeti törvényeknek megfelelő evolúció határozza meg, így nehezen érthető, hogy miképpen lehetünk saját sorsunk kovácsai.

Az az elképzelés, hogy létezik egy nagy egyesített elmélet, amely a világegyetemben mindent meghatároz, számos problémát vet fel. Először is a nagy egyesített elmélet matematikai szempontból valószínűleg tömör és elegáns. A mindenségről számot adó elméletnek különlegesnek és egyszerűnek kell lennie. De hogyan írhatja le néhány egyenlet a körülöttünk levő bonyolult és hétköznapi részleteket? Tényleg elképzelhető, hogy a nagy egyesített elmélet meghatározza, hogy ezen a héten Sinead O'Connor fogja vezetni a slágerlistát, vagy hogy Madonna a *Cosmopolitan* címlapján fog szerepelni?

A világegyetemben mindent meghatározó nagy egyesített elmélettel kapcsolatos második probléma, hogy az elmélet még azt is meghatározza, amit mondunk. És miért határozná meg úgy, hogy a kijelentéseink helyesek? Nem lenne sokkal valószínűbb, hogy helytelenek, hiszen minden helyes állítással szemben számos helytelen állhat? Minden héten több levelet is kapok, amelyben a levél írói teljes, egyesített elméleteket küldenek nekem. Ezek mind különbözőek, és a legtöbb ellentmond egymásnak. De a nagy egyesített elmélet valószínűleg meghatározza, hogy szerzőik helyesnek vélik elméleteiket. Miért kellene annak érvényesnek lennie, amit én állítok? Én magam miért ne lennék alárendelve a nagy egyesített elméletnek?

Az előre meghatározottság elméletével szemben a harmadik ellenvetés az, hogy úgy érezzük,

szabad akaratunk van - szabadon döntünk arról, mit cselekszünk. Ha a természet törvényei mindent meghatároznak, a szabad akarat nem más, mint illúzió. Ha viszont nincs szabad akaratunk, milyen alapon lennénk felelősek a cselekedeteinkért? A bűncselekményekért nem büntetjük meg az elmebetegeket, mert véleményünk szerint nem tehetnek róla. Ha azonban a nagy egyesített elmélet által mi magunk is meghatározottak vagyunk, akkor ez nem azt jelenti, hogy egyikünk sem tehet arról, amit cselekszik, és így nem is felelős érte?

A determinizmussal kapcsolatos fenti problémákat már évszázadokon át tárgyalták. A korábbi vitát azonban akadémikusnak és álokoskodásnak tekinthetjük, mert az emberiség a természet törvényeinek teljes megértésétől távol állt, és nem ismerhette a világegyetem kezdeti állapotát. A probléma megoldása időközben sürgetőbbé vált, mert úgy látszik, hogy kb. húsz éven belül talán sikerül megalkotni a nagy egyesített elméletet. Az is felmerült, hogy az univerzum kezdeti állapotát talán maguk a természeti törvények határozzák meg. A következőkben személyes véleményemet szeretném közreadni ezekről a kérdésekről. Nem állítom, hogy teljesen eredeti módon vagy kellő mélységben megvilágítom a problémákat, de jelenleg ennél többet nem tudok mondani.

Kezdjük az első problémával: hogy lehet az, hogy egy viszonylag tömör és egyszerű elmélet alapján olyan bonyolult világ keletkezzen, mint amelyet az összes apró és jelentéktelen részletével együtt megfigyelünk? Itt a kvantummechanika határozatlansági elve játszik kulcsszerepet, amely kimondja, hogy nem lehet egy részecske helyét is és a sebességét is nagy pontossággal mérni: minél pontosabban mérjük a helyét, annál pontatlanabban mérhetjük a sebességét, és viszont. Ez a határozatlanság a jelenben nem nagyon fontos, mert a dolgok egymástól távol helyezkednek el, és a helyzetükre vonatkozó bizonytalanság a távolságokhoz képest nem jelentős. A korai világegyetemben azonban minden nagyon közel volt egymáshoz, így a határozatlanság meglehetősen nagy volt, és az univerzum részére nagyszámú lehetséges állapot létezett. Ezek a különböző korai állapotok az univerzum lehetséges történelmének egy egész családjává fejlődhetnek. A legtöbb ilyen történelem nagy léptékben egymáshoz hasonló: sima, egyenes és táguló világegyetemnek felel meg. A részletekben azonban - pl. a csillagok eloszlásában, vagy még inkább abban, hogy mi van a folyóiratok címlapján - erősen különbözhetnek. (Természetesen csak akkor, ha ezek a történelmek egyáltalán tartalmazznak folyóiratokat.) Tehát a körülöttünk lévő világ összetettsége, komplexitása és részletei a korai világegyetemben megnyilatkozó határozatlansági elvből származnak. Ez a világegyetem lehetséges történelmeinek egy egész családjához vezet. Talán olyan történelem is van közöttük - bár csak nagyon kis valószínűséggel - amelyben a náciuk nyerik meg a második világháborút. De éppen egy olyan világban élünk, amelyben a szövetségesek győztek, és Madonna került a *Cosmopolitan* címlapjára.

Nézzük a második problémát: ha cselekedeteinket a nagy egyesített elmélet teljesen meghatározza, miért kellene azt is meghatároznia, hogy az univerzummal kapcsolatban a helyes következtetésre jutunk, nem pedig a helytelenre? Miért kell egyáltalán bármiféle érvényt tulajdonítanunk bárminek is, amit mondunk? Az én válaszom erre Darwin természetes kiválasztódásának elméletén alapul. Abból indulok ki, hogy a Földön az élet egy nagyon primitív formája az atomok véletlenszerű kombinálódásával keletkezett. Ez a primitív élőlény valószínűleg egy nagyméretű molekula volt, de nem DNS, mert egy egész DNS-molekula véletlenszerű képződésének esélye rendkívül csekély.

A korai élőlény reprodukálta önmagát. A kvantummechanikai határozatlansági elv és az atomok hőmozgása miatt a reprodukált molekulák bizonyos hányadában hibák keletkeztek. A legtöbb ilyen hiba végzetes lehetett az életképesség vagy a szaporodóképesség szempontjából, ezért az ilyen hibák nem öröklődtek a későbbi generációkban. Az esetek nagyon kis hányadában a véletlenszerűen keletkezett hibák viszont előnyösnek bizonyultak. Az ilyen hibákkal rendelkező élőlények túlélési és szaporodási esélyei javultak, és elkezdtek kiszorítani az eredeti példányokat.

A DNS kettős spirál szerkezete is ilyen tökéletesedés útján keletkezhetett a fejlődés korai stádiumában. Ez a forma valószínűleg annyira kedvező volt, hogy az élet összes korábbi változatát kiszorította. Az evolúció során ez a forma vezethetett a központi idegrendszer kifejlődéséhez is. Azok az élőlények, amelyek az érzékszerveik által összegyűjtött adatok jelentőségét helyesen értelmezték és megfelelően cselekedtek, megnövelték túlélésük és szaporodásuk esélyeit. Az emberi faj ezt az elvet egy új, magasabb szintre emelte. Mind testalkatunk, mind DNS-szerkezetünk alapján nagyon hasonlítunk a magasabb rendű majmokhoz, azonban DNS-szerkezetünk parányi eltérése lehetővé tette számunkra a beszéd kifejlődését. Ennek segítségével az információt és a megszerzett tapasztalatot szóban, esetleg írásos formában generációról generációra tovább tudjuk adni. Korábban a tapasztalat eredménye a reprodukció során csak a DNS-kódolás lassú folyamatában, véletlenszerű hibák következményeként jelent meg. A beszéd kifejlődése rendkívüli mértékben felgyorsította az evolúciót. Több mint hárommilliárd év telt el az emberi faj megjelenéséig. De az elmúlt tízezer év alatt kifejlesztettük az írott nyelvet, ami lehetővé tette számunkra, hogy a barlanglakó ősembertől eljussunk oda, hogy a világegyetem végleges elméletének kérdéseit feszegezzük.

Az elmúlt tízezer év alatt az emberi DNS szerkezetében nem következett be lényeges változás. Intelligenciánk - az a képességünk, hogy az érzékszerveink által szolgáltatott adatokból a helyes következtetést vonjuk le - barlanglakó napjainkból vagy még korábbról származik. Valószínűleg olyan kiválogatódási folyamat eredményeként keletkezett, amelynek alapját az ember azon képessége szolgáltatta, hogy élelemszerzés céljából bizonyos állatokat elejtsen, ő maga pedig elkerülje, hogy más állatok áldozatává váljon. Meglepő, hogy azok a szellemi képességek, amelyek a fenti célok szerinti kiválogatódás eredményeként jöttek létre, a mai, alapvetően megváltozott körülmények között is ilyen jól helytállnak. A nagy egyesített elmélet felfedezése vagy a determinizmus által felvetett kérdések megválaszolása a túlélés szempontjából valószínűleg nem jelent különösebb előnyöket. Az intelligencia azonban, amely egész más okokból fejlődött ki bennünk, lehetőséget ad arra, hogy ezekre a kérdésekre is megtaláljuk a helyes választ.

Nézzük a harmadik kérdést: a szabad akarat és a cselekedeteinkért való felelősség problémáját. Szubjektív módon érezzük: rendelkezünk azzal a képességgel, hogy eldöntsük, kik vagyunk, és mit teszünk. De ez talán csak illúzió. Néhány ember azt képzei magáról, hogy Jézus Krisztus vagy Napóleon, de mindegyiküknek nem lehet igaza. Olyan objektív módszerre lenne szükség, amellyel eldönthető, hogy egy élő szervezetnek szabad akarata van-e, vagy sem. Képzeljük el például azt, hogy egy másik égitestről egy "kis zöld emberke" látogat meg bennünket. Hogyan tudnánk eldönteni, hogy szabad akarata van-e, vagy csak egy robot, amelyet úgy programoztak, hogy hozzánk hasonlónak mutassa magát?

A szabad akarat eldöntésére vonatkozó végső próbaként a következő kérdésre kellene választ kapnunk: megjósolhatjuk-e a kérdéses élő szervezet viselkedését? Ha igen, akkor teljesen világos, hogy nem lehet szabad akarata, cselekedetei előre meghatározottak. Ha viszont nem tudjuk előre megjósolni a viselkedését, akkor munkahipotézisként azt mondhatjuk, hogy a vizsgált szervezetnek szabad akarata van.

A szabad akarat előbbi definíciójával szemben azt az ellenvetést lehet tenni, hogy ha a teljes egyesített elmélet birtokában leszünk, akkor az emberek viselkedését előre meg lehet majd jósolni. Azonban az emberi agy is alá van rendelve a határozatlansági elvnek. Így az emberi viselkedésben a kvantummechanikához kapcsolódó véletlenszerűség is jelen van, bár az agyműködéshez szükséges energia kicsi, ezért a kvantummechanikai határozatlanság is csekély mértékű. Az emberi viselkedés megjósolhatatlanságának valódi oka az, hogy előrejelzése nagyon nehéz. Az agy működését szabályozó alapvető fizikai törvényeket már ismerjük, és ezek viszonylag egyszerűek. De nagyon nehéz megoldani ezeket az egyenleteket, ha nem csupán néhány részecskére vonatkoznak. Az egyszerű Newton-féle gravitációs elméletet is csak két részecske esetében tudjuk egzakt módon

megoldani. Három vagy több részecske esetén közelítésekhez kell folyamodnunk, és a nehézség a részecskék számával rohamosan növekszik. Az emberi agy kb. 10^{26} (százmillió-milliárd-milliárd) részecskét tartalmaz. Ez túlságosan nagy szám ahhoz, hogy a viselkedést az egyenletek megoldásával, a kezdeti feltételek és az idegek által az agy számára szolgáltatott adatok megadásával valaha is előre tudjuk jelezni. Valójában azt sem tudjuk megmérni, mi volt a kezdeti feltétel, mivel ehhez az agyat részekre kellene bontanunk. De ha ez még sikerülne is, túlságosan sok részecske adatát kellene regisztrálni. Emellett az agy valószínűleg rendkívül érzékeny a kezdeti feltételekre: a kezdeti állapot kicsiny eltérése nagyon nagy változást okozna a későbbi viselkedésben. Hiába ismerjük tehát az agyra vonatkozó alapvető törvényeket, mégsem tudjuk alkalmazni az emberi viselkedés előrejelzésére.

A természettudományban a makroszkopikus testek tárgyalása esetén mindig ez a helyzet, mert a részecskék száma túl nagy ahhoz, hogy az alapvető egyenleteket megoldjuk. Ilyenkor megfelelő elméletekhez folyamodunk. Ezek olyan közelítések, amelyekben a nagyszámú részecskét néhány mennyiség helyettesíti. Jó példa erre a folyadékok mechanikája. A folyadékok, mint pl. a víz, milliárd és milliárd molekulából állnak, amelyek mindegyike elektronokat, protonokat és neutronokat tartalmaz. A folyadékokat jó közelítéssel mégis olyan folytonos közegként kezelhetjük, amelyeket sebességgel, sűrűséggel és hőmérséklettel jellemezhetünk. A folyadékok mechanikája által nyújtott leírás és előrejelzés nem teljesen egzakt - ennek érzékeltetéséhez elég meghallgatni az időjárás-jelentést -, ahhoz azonban elegendő, hogy alkalmazásukkal hajókat vagy olajvezetékeket tervezzünk.

Azt gondolom, hogy a szabad akaratot és a cselekedeteinkért való morális felelősséget a folyadékok mechanikájának értelmében effektív elméletként kell elfogadnunk. Lehetséges, hogy a nagy egyesített elmélet előre meghatároz mindent, amit teszünk. Ha ez az elmélet azt határozza meg, hogy felakasztanak bennünket, akkor nem fogunk vízbe fulladni. De annak, aki egy keskeny csónakban a viharos tengerre merészkedik, nagyon biztosnak kell lennie abban, hogy a sors rendeltetése szerint bitófán fogja végezni. Megfigyeltem, hogy még az eleve elrendeltetés hívei is, akik azt állítják, hogy semmit sem tehetünk ellene, szétnéznek, mielőtt átmennek az úttesten. Persze lehet, hogy akik nem néznek szét, nem élnek meg, hogy elmondhassák a meggyőződésüket.

Viselkedésünket azért sem vethetjük alá az eleve elrendeltetés hitének, mert nem tudhatjuk, hogy mi van eleve elrendelve. Ehelyett el kell fogadnunk effektív elméletként illetve munkahipotézisként, hogy az embernek szabad akarata van, és felelős a tetteiért. Ezzel az elmélettel nem lehet pontosan megjósolni az emberi viselkedést, de el kell fogadnunk, mert semmi esélyünk sincs arra, hogy az alapvető elmélet ide vonatkozó egyenleteit megoldjuk. Egy darwinista ok is amellet szól, hogy elfogadjuk a szabad akarat elméletét: abban a társadalomban, amelynek tagjai felelősséget éreznek a cselekedeteikért, nagyobb fokú együttműködés jön létre, és az ilyen társadalomnak nagyobb esélye van a túlélésre és értékrendjének elterjesztésére. Természetesen a hangyák is nagyfokú együttműködésre képesek. De az ő társadalmuk statikus. A váratlan kihívásokra nem tud reagálni, és nem tud új lehetőségeket megragadni. Azok a szabad egyének azonban, akik közös céljuk érdekében fognak össze, képesek az együttműködésre, ugyanakkor az újítások végrehajtásához is kellően rugalmasak. Az ilyen társadalomnak nagyobb esélye van a prosperitásra és értékrendjének továbbadására.

A szabad akarat fogalma nem tartozik a természet alaptörvényeinek kategóriái közé. Ha az emberi viselkedést a természeti törvényekből akarjuk levezetni, az önmagát tükröző rendszerek paradoxonába ütközünk. Ha cselekedeteinket az alapvető törvényekből le lehetne vezetni, akkor maga az előrejelzés megváltoztatná azt, ami történni fog. Ez hasonló az időutazás problémájához (amelynek lehetőségében egyébként nem hiszek). Ha valaki előre látná, mi fog történni a jövőben, lehetősége lenne annak megváltoztatására. Ha tudnánk, hogy melyik ló fog győzni a Nemzeti Nagydíjon, vagyonokat lehetne nyerni azzal, ha rá fogadunk. Ez azonban megváltoztatná a fogadási

arányokat. Csak meg kell nézni a *Vissza a jövőbe* c. filmet, hogy elképzeljük, milyen bonyodalmak keletkeznének.

A cselekedeteink előrejelzésének képességével kapcsolatos paradoxon szorosan kötődik a korábban említett problémához: vajon a végső elmélet meghatározza-e, hogy a végső elmélettel kapcsolatban a helyes következtetésre jussunk? Én azt a nézetet képviseltem, hogy Darwin természetes kiválogatódási elmélete a helyes válaszra fog vezetni bennünket. Lehet, hogy a helyes válasz nem a megfelelő leírásmód lesz, de a természetes kiválogatódásnak a fizikai törvények olyan együtteséhez kell elvezetnie, amely kielégítően fog működni. Ezekből a törvényekből azonban az emberi viselkedést két okból sem tudjuk majd levezetni. Először: nem tudjuk megoldani az egyenleteket. Másodsor: még ha meg tudnánk is oldani, az előrejelzés maga zavart okozna a rendszerben. Ehelyett úgy tűnik, a természetes kiválogatódás arra vezet, hogy elfogadjuk a szabad akarat effektív elméletét. Ha elfogadjuk, hogy az egyén cselekedeteinek megválasztásakor szabad akaratából dönt, nem hivatkozhatunk arra, hogy néha külső erők irányítják. A "majdnem szabad akaratnak" nincs értelme. Gyakran összetévesztik azt a körülményt, hogy valakinek a döntését előre sejteni lehet, azzal, hogy a döntés nem szabadon történt. Sejttem, hogy a legtöbb olvasó vacsorázni fog ma este, de szabad akaratából éhesen is lefeküdhet. Az egyik példa az ilyen fogalomzavarra a korlátozott beszámíthatóság tantétele: ez azt jelenti, hogy az a személy, aki a bűn elkövetésekor stressz (nagy lelki igénybevétel) alatt áll, nem lenne büntethető. Lehet, hogy valaki stresszes állapotban hajlamosabb antiszociális cselekedet végrehajtására, de vajon nem lehetséges az is, hogy az ilyen ember bűnelkövetését elősegíti, ha a büntetést mérsékelik?

Az alapvető természeti törvényeket és az emberi viselkedés törvényeit egymástól függetlenül kell tárgyalni. Ahogy említettem, az alapvető törvényekből nem vezethetők le az emberi viselkedés szabályai. Remélhetőleg hasznosítani tudjuk a természetes kiválogatódás folytán szerzett intelligenciát és a logikus gondolkodás erejét. Sajnos a természetes kiválogatódás olyan jellemvonásokat is kialakított bennünk, mint az agresszió. Az agresszió túlélési előnyöket jelentett a barlanglakó és a még korábban élt ősembereknek, így a természetes kiválogatódás során tovább öröklődött. A tudomány és a technológia segítségével azonban az ember birtokába jutott hatalmas romboló erők miatt az agresszió nagyon veszélyes tulajdonsággá vált, és napjainkban az egész emberiség létét fenyegeti. A problémát az okozza, hogy az agresszió valószínűleg a DNS-ben van kódolva. A DNS azonban a biológiai evolúció során csak évmilliók alatt változik meg, míg az emberiség romboló ereje az információ evolúciója alapján húsz-harminc éves időléptékkel növekszik. Ha nem leszünk képesek intelligenciánk segítségével kontroll alatt tartani agresszióinkat, akkor az emberi fajnak nem sok esélye van. De: míg élünk, remélünk. Ha az emberiség túléli az elkövetkező kb. száz évet, akkor más bolygókra, sőt más csillagok közelébe is szétszóródik. Ez lecsökkenti annak a veszélyét, hogy egy atomháború teljesen elpusztítsa az emberiséget.

Összefoglalva: azokkal a problémákkal foglalkoztunk, amelyek a világban uralkodó teljes meghatározottságból fakadnak. Nem jelent lényeges különbséget, hogy a determinizmust egy mindenható Isten, vagy a természet törvényei írják elő, hiszen azt is mondhatjuk, hogy a természet törvényei Isten akaratának kifejezői.

Három kérdéskörrel foglalkoztunk: először azt vizsgáltuk meg, hogy a világ komplexitását és apró részleteit hogyan határozhatja meg néhány egyenlet. Vagy tényleg hihető, hogy Isten minden triviális részletet előre elrendelt, például azt is, hogy ki legyen a *Cosmopolitan* címdoldalán? Úgy tűnik, hogy a választ a kvantummechanika határozatlansági elve adja meg, amely szerint a világegyetemnek nem csak egyetlen lehetséges történelme van, hanem a lehetséges történelmek egész családja. Ezek a történelmek nagy léptékben igen hasonlóak lehetnek, de a mindennapos, számunkra normális léptékben erősen eltérnek egymástól. Mi éppen egy adott történelemben élünk, amelyet bizonyos tulajdonságok és részletek jellemeznek. De más történelmekben nagyon hasonló más értelmes lények léteznek, más nyeri meg a háborút és más áll a slágerlista élén. Így a

világegyetem triviális részletei abból származnak, hogy az alapvető törvényekben - a hozzá tartozó határozatlansággal és véletlenszerűséggel - a kvantummechanika is jelen van.

A másik problémakör az volt, hogy ha valamilyen természeti alaptörvény mindent meghatároz, akkor azt is meghatározza, hogy mit mondunk magáról az elméletről - és miért határozná meg úgy, hogy amit mondunk, az helyes legyen, ha ugyanúgy lehet egyszerűen rossz vagy irreleváns is? Válaszomban Darwin természetes kiválogatódási elméletére hivatkoztam: eszerint azoknak az egyedeknek van nagyobb esélyük a túlélésre és a szaporodásra, amelyek a körülöttük lévő világ eseményeiből a helyes következtetést vonják le.

A harmadik kérdés az volt, hogy ha minden előre meghatározott, akkor mi lesz a szabad akarattal és a tetteinkért vállalt felelőséggel? Egyetlen objektív módszer létezik annak eldöntésére, hogy egy lénynek szabad akarata van-e, vagy sem: meg kell vizsgálni, hogy a viselkedése előre megjósolható-e. Az emberrel kapcsolatban a végső törvények alapján két okból sem tudjuk megjósolni a jövőbeli viselkedést. Először azért, mert nagyon sok részecske esetén nem tudjuk megoldani az egyenleteket. Másodszer pedig azért, mert ha meg tudnánk is oldani ezeket, az előrejelzés beavatkozást jelentene az egész rendszerbe, és más eredmény születne. Mivel nem tudjuk előre megjósolni az emberi viselkedést, elfogadhatjuk azt az effektív elméletet, miszerint az emberi lénynek szabad akarata van, és el tudja dönteni, hogy az egyik vagy a másik cselekedet helyes-e. Úgy tűnik, hogy a túlélési képesség szempontjából határozott előnyökkel jár, ha hiszünk a szabad akaratban és a tettekért való felelősségben. Ezt a hitet a természetes kiválogatódás megerősíteni látszik. Azt, hogy a beszéd által közvetített felelősségérzés kontrollálni tudja-e a DNS által közvetített agresszív ösztönt, a jövő fogja eldönteni. Ha a válasz negatív, akkor az emberi faj a természetes kiválogatódás egyik zsákutcájának minősül. Talán a galaxisunkban más értelmes lények már jobb egyensúlyt találtak a felelősségérzet és az agresszió között. Talán azt is remélhetjük, hogy sikerül velük kapcsolatba lépniük, vagy legalább a rádiójeleiket felfognunk. Az is lehet, hogy már tudatában vannak a létezésünknek, de nem akarják magukat felfedni előttünk. Az emberiség történelmének ismeretében ez bölcs döntésnek tűnik.

Ennek az előadásnak egy kérdés a címe: Minden előre meghatározott? A válasz az, hogy igen. De úgy is fogalmazhatunk, hogy nem, mert azt, hogy mi van előre meghatározva, sohasem tudhatjuk meg.

A világegyetem jövője (*)

(*) Eredetileg Darwin-előadás keretében hangzott el a Cambridge-i Egyetemen 1991 januárjában.

A jelen tanulmány témája a világegyetem jövője, pontosabban az, hogy mit gondolnak a kutatók a világegyetem jövőjéről. Nagyon nehéz megjósolni, hogy mit hoz a jövő. Régebben egyszer azon gondolkodtam, hogy könyvet kellene írnom *A tegnap holnapja: a jövő története* címmel. A könyv a jövőre vonatkozó jóslatok, előrejelzések története lett volna, amelyeknek szinte mindegyike nagy melléfogásnak bizonyult. A kutatók azonban a kudarcok ellenére hisznek abban, hogy előre tudják jelezni a jövő alakulását.

A régmúlt időkben a jövőbelátás a jósdák és jósok feladata volt. A jóslással többnyire nők foglalkoztak, akiket kábító hatású anyagokkal vagy vulkanikus gőzök belélegeztetésével önkívületi állapotba hoztak. Látomásaikat ezután a jelen lévő papok értelmezték. Hozzáértésre tulajdonképpen csak az értelmezés során volt szükség. Az ókori Görögországban a híres delphoi jósda arról volt ismert, hogy minden eshetőségre biztosítani akarta magát és általában kétértelmű válaszokat adott. Amikor a spártaiak megkérdezték, mi történik, ha a perzsák megtámadják Görögországot, a jósda azt a választ adta, hogy vagy elpusztul Spárta, vagy megölik a királyát. Azt hiszem, a papok jól meggondolták, hogy ha egyik lehetőség sem bizonyulna igaznak, akkor a spártaiak olyan hálások lennének Apollónak, hogy még jósdája tévedését is elnéznék. A spártai királyt valóban megölték a thermopülai szoros védelmezése közben, Spárta viszont megmenekült, és a későbbiek során a perzsák végleges vereséget szenvedtek.

Egy másik alkalommal Kroiszosz, Lüdia királya, az akkori világ leggazdagabb embere fordult a jósdához azzal a kérdéssel, hogy mi történik, ha betör Perzsiába. A jósda válasza az volt, hogy ebben az esetben egy nagy királyság fog összeomlani. Kroiszosz ezt úgy értelmezte, hogy a Perzsa Birodalom fog összeomlani, ehelyett azonban saját királysága dőlt meg, ő maga pedig máglyán végezte és elevenen elégették.

Az ítéletnap újkori profétái több támadási felületet nyújtanak, amikor a világ végét napra pontosan megjósolják. Ezzel még a tőzsdeindexet is meg tudták ingatni, bár nem megy a fejembe, hogy a világ végének közeledése miatt miért akarja valaki a részvényét pénzre váltani. Valószínű, hogy egyiket sem viheti magával.

Eddig a világ végére megjósolt valamennyi dátum esemény nélkül múlt el. A proféták gyakran meg is magyarázták a hibát. Például William Miller, a Hetedik nap adventistái (szombatot ünneplő adventista gyülekezet) alapítója azt jósolta, hogy Krisztus második eljövetele 1843. március 21. és 1844. március 21. között fog bekövetkezni. Miután semmi sem történt, a dátumot 1844. október 22-re változtatta. Mivel addig az időpontig sem történt semmi, egy új értelmezéssel állt elő, amely szerint változatlanul 1844 a második eljövetel éve, azonban előbb számba kell venni az Élet Könyvében szereplő neveket. Ezután következik az ítélezés azok felett, akik nem szerepelnek a könyvben. Szerencsére úgy látszik, hogy a számbavétel eléggé elhúzódik.

Sokszor a tudományos előrejelzések sem megbízhatóbbak annál, mint amit a jósdák vagy a proféták mondanak - gondoljunk csak az időjárás-jelentésre. De az a véleményünk, hogy bizonyos körülmények között képesek vagyunk megbízható előrejelzéseket készíteni, és a világegyetem

jövőjének nagy léptékű leírása ezek közé tartozik.

Az elmúlt háromszáz év alatt felfedeztük az anyagra normális körülmények között érvényes természeti törvényeket. Nem ismerjük viszont azokat a teljesen egzakt törvényeket, amelyek az anyag viselkedését rendkívül szélsőséges körülmények között is leírják. A világegyetem keletkezésének megértéséhez fontos ismernünk ezeket a törvényeket is, bár az univerzum jövőbeli fejlődését ezek már nem befolyásolják, hacsak nem következik be a világegyetem összehúzódása egy nagy sűrűségű állapotba. Hogy a nagy energiákra vonatkozó törvények megnyilvánulása milyen kevéssé játszik szerepet a környezetünkben, azt jól mutatja az a tény, hogy hatalmas és drága részecskegyorsítókat kell építenünk az ilyen állapotok tanulmányozására.

Még ha ismernénk is a világegyetemet leíró alapvető törvényeket, nem tudnánk felhasználni a távoli jövőben lezajló események megjóslására, mert a fizika egyenleteinek megoldásai során felléphet a káosznak nevezett tulajdonság. Ez közelebbről azt jelenti, hogy a megoldások instabilak: ha egy rendszer állapotát valamely időpontban nagyon kis mértékben megváltoztatjuk, akkor a rendszer későbbi viselkedése teljesen eltérő lesz. Ez a jelenség a rulett forgásához hasonlítható: ha a kereket kissé másként forgatjuk meg, más számot kapunk eredményül. Gyakorlatilag lehetetlen a számot előre megjósolni; különben a fizikusok már vagyonokat kerestek volna a játékkaszinókban.

Az instabil és kaotikus rendszerekkel kapcsolatban általában létezik egy időskála, amelynek egysége alatt a kezdeti állapoton okozott kis változás a kétszeresére nő. A földi légkör esetében ez az idő öt napra tehető, kb. ennyi idő alatt kerüli meg a szél a Földet. Öt napnál rövidebb időre meglehetősen pontos időjárás-előrejelzést lehet készíteni, ennél sokkal előbbre azonban nem, mert ehhez a légkör pillanatnyi helyzetének nagyon pontos ismeretére és nagyon bonyolult számításokra lenne szükség. Nincs lehetőségünk arra, hogy az időjárást hat hónapra előre jelezzük, legfeljebb az évszakokra jellemző átlagértékeket tudjuk megadni.

Ismerjük azokat az alapvető törvényeket, amelyek a kémiai és a biológiai folyamatokat szabályozzák, így elvileg meg tudnánk mondani, hogyan működik az emberi agy. Szinte biztos azonban, hogy az agyműködést szabályozó egyenletek kaotikusak, tehát a kezdeti állapot nagyon kis változása biztosan egész más eredményre vezet. Így az emberi viselkedést gyakorlatilag nem tudjuk előre megjósolni, pedig ismerjük a rá vonatkozó összefüggéseket. A tudomány nem képes előre jelezni az emberi társadalom jövőjét, de még azt sem, hogy van-e egyáltalán jövője. A környezet és egymás rombolásának képessége sokkal gyorsabban növekszik, mint az ilyen képesség felhasználására vonatkozó bölcsességünk.

Bármilyen történések is a Földön, a világegyetem többi részét ez nem befolyásolja. Végül soron a Naprendszer bolygóinak mozgása is kaotikus, csupán az időlépték nagyon nagy: bármely előrejelzéstől való eltérés az idő múlásával egyre nagyobbá válik. Bizonyos időn túl lehetetlen a mozgások részleteit előre megjósolni. Biztosak lehetünk benne, hogy a Föld még hosszú ideig nem fog összeütközni a Vénusszal, de nem lehetünk biztosak abban, hogy a pályára ható kismértékű zavarok hatása egymilliárd év alatt nem erősödik-e fel annyira, hogy mégis összeütközés következzen be. A Nap és a többi csillag mozgása a Tejútrendszer középpontja körül, valamint a Tejútrendszer mozgása a galaxisok lokális csoportjában szintén kaotikus. Megfigyeléseink szerint a galaxisok távolodnak tőlünk, és minél messzebb van egy galaxis, annál gyorsabban távolodik. Eszerint a világegyetem a környezetünkben tágul, tehát a galaxisok közötti távolság az idő múlásával növekszik.

A világegyetem tágulása a külső világrútból származó háttérsugárzás alapján nem kaotikus, hanem sima és egyenletes lefolyású. Ezt a sugárzást bárki megfigyelheti, ha televíziókészülékét olyan csatornára állítja, amelyen nincs műsor. A képernyőn megjelenő foltok kis százalékát a Naprendszeren kívülről érkező mikrohullámú sugárzás okozza. Ez a sugárzás a mikrohullámú

sütőben keltett sugárzáshoz hasonlít, de annál sokkal gyengébb. Az ételt csak 2,7 fokkal melegítené az abszolút zérus pont fölé, pizzát tehát nem tudnánk sütni vele. Úgy gondoljuk, hogy ez a sugárzás a korai univerzum forró korszakának a maradványa. Az a legkülönösebb ebben a sugárzásban, hogy erőssége valamennyi irányból szinte azonos. A háttérsugárzást a "Cosmic Background Explorer" (COBE, kozmikus háttérsugárzást vizsgáló mesterséges hold) nagyon pontosan kimérte. Mérései alapján az égbolt háttérsugárzás-térképe különböző irányokból különböző hőmérsékletű területeket mutat, de az eltérések igen kicsik, arányuk kb. 1:100.000. A sugárzásnak különböző irányokból különbözőnek kell mutatkoznia, mert az univerzum nem teljesen egyenletes: helyi, lokális szabálytalanságok tapasztalhatók benne, pl. csillagok, galaxisok és galaxishalmazok. A háttérsugárzás irány szerinti ingadozása azonban nem nagyobb, mint amennyi a megfigyelt helyi rendellenességek alapján lehet. Ennek megfelelően a mikrohullámú háttérsugárzás 100.000:99.999 arányban minden irányból azonos.

Az ősi időkben az emberek azt hitték, hogy a Föld a világegyetem középpontja. Ezért ők nem csodálkoznának el azon, hogy a háttérsugárzás minden irányból azonos. Kopernikusz óta azonban fokozatosan megtudtuk, hogy a Föld egy tipikus galaxis szélén egy átlagos csillag körül keringő parányi bolygó, és a galaxis is csupán egy a sok milliárd észlelhető galaxis közül. Időközben olyan szerényekké váltunk, hogy nem igényelünk magunknak különleges helyet az univerzumban. Ezért feltételezzük, hogy a háttérsugárzás minden más galaxisban is irány szerint egyenletes. Ez pedig csak akkor lehetséges, ha a világegyetem tágulásának sebessége és átlagos sűrűsége mindenhol azonos. Ha nagy tartományon belül eltérés lenne az átlagsűrűségben vagy a tágulás sebességében, ez a mikrohullámú háttérsugárzásban irány szerinti eltérésekhez vezetne. Mindez azt jelenti, hogy a világegyetem viselkedése nagy léptékben egyszerű, nem kaotikus, így a benne lezajló jelenségeket hosszú időre előre meg lehet jósolni.

Mivel a világegyetem tágulása ennyire egyenletes, egyetlen számmal, két szomszédos galaxis távolságával jellemezhetjük. Jelenleg ez a szám növekszik, de a galaxisok között ható gravitációs vonzás hatására a tágulás sebessége várhatóan lassulni fog. Ha a világegyetem sűrűsége egy bizonyos kritikus értéknél nagyobb, akkor a gravitációs vonzás megállíthatja a tágulást, az univerzum elkezd ismét összehúzódni, majd összeomlik és bekövetkezik a Nagy Zutty. Ez hasonló lesz a Nagy Bummhoz, az univerzum ősrobbanásszerű keletkezéséhez. A Nagy Zutty ún. szingularitás lenne: egy végtelen sűrűséggel jellemzett állapot, amelyben a fizika törvényei érvényüket veszítik. Ha tehát a Nagy Zutty után lennének is még jelenségek, azokat nem tudnánk megjósolni. De az események kauzális, ok-okozati kapcsolata, nélkül nincs értelme annak a kijelentésnek, hogy az egyik esemény követi a másikat. Azt lehetne mondani, hogy a mi világegyetemünk a Nagy Zuttyban megsemmisül, és "aztán" egy különálló, új világ keletkezik. Ez egy kicsit olyan lenne, mint a reinkarnáció. Mi értelme van annak a kijelentésnek, hogy egy csecsemő egy korábban meghalt ember újjászületése, ha a gyermek az elhunyt semmilyen tulajdonságát vagy emlékét sem örökölte? Ugyanolyan joggal elmondható, hogy a csecsemő egy másik ember.

Ha a világegyetem átlagos sűrűsége a kritikus értéknél kisebb, akkor nem húzódik össze, hanem örökké tágulni fog. A tágulás során a sűrűség annyira lecsökken, hogy a gravitáció ekkor már nem befolyásolja lényegesen a galaxisok mozgását, így azok állandó sebességgel folytatják a távolodást.

Tehát a világegyetem szempontjából a döntő kérdés így hangzik: mekkora az átlagos sűrűség? Ha kisebb, mint a kritikus érték, akkor a világegyetem örökké tágulni fog. Ha viszont nagyobb, akkor az univerzum ismét összehúzódik, és az idő a Nagy Zuttyban véget ér. Szerencsére a világ végét hirdető profétákkal ellentétben tudok mondani valami biztatót is: ha a világegyetem összehúzódik is, bizonyossággal állíthatom, hogy a jelenlegi tágulás még legalább tízmilliárd évig el fog tartani. Nem számolok azzal, hogy még jelen leszek, ha kiderül, hogy mégsem volt igazam.

Az univerzum átlagos sűrűségét a megfigyelések alapján megbecsülhetjük. Ha csak a látható csillagokat vesszük számításba, és összeadjuk a tömegüket, akkor a kritikus tömegnek kevesebb mint egy százalékát kapjuk. Ha a megfigyelhető csillagközi gázokat is figyelembe vesszük, a kritikus tömegnek még akkor is csupán egy százalékát érjük el. Tudjuk viszont, hogy a világegyetemben olyan ún. sötét anyag is jelen van, amely közvetlenül nem megfigyelhető. Ilyen sötét anyagra vonatkozó bizonyítékot szolgáltatnak pl. a spirálgalaxisok. Ezek csillagok és gázok hatalmas, palacsinta alakú együttese. Megfigyelhető, hogy forognak, és a forgás sebessége olyan nagy, hogy az egész képződmény szétrepülne, ha csak a megfigyelhető csillagok és gázok tartanák össze. Jelen kell lennie az anyag valamilyen láthatatlan formájának is, amelynek gravitációs vonzása elegendő a forgó galaxis összetartásához.

A sötét anyagra vonatkozó másik bizonyítékot a galaxishalmazok nyújtják. Megfigyelték, hogy a galaxisok nem egyenletes eloszlásban töltik ki a teret, hanem olyan galaxishalmazokban fordulnak elő, amelyekben a galaxisok száma néhánytól a néhány milliőig terjed. A galaxisok feltehetően azért alkotnak ilyen csoportokat, mert vonzást fejtenek ki egymásra. Azt is meg tudjuk mérni, hogy az egyes galaxisok milyen sebességgel mozognak a csoporton belül. A mérések szerint a sebességük olyan nagy, hogy megfelelő gravitációs vonzóerő nélkül nem maradhatnának együtt. A vonzóerőhöz szükséges anyagmennyiség nagyobb, mint a galaxisok együttes tömege. Még akkor is ez az helyzet, ha a galaxisok anyagához a forgásuk miatt a saját összetartásukhoz szükséges sötét anyagot is számításba vesszük. Ebből következik, hogy a galaxishalmazokban a galaxisokon kívül elhelyezkedő sötét anyagnak is jelen kell lennie.

A fenti galaxisok és galaxishalmazok esetében meglehetősen jó becsléseket készíthetünk a sötét anyag mennyiségére. De még ezek a becslések is csupán az univerzum összehúzódását eredményező kritikus sűrűség tíz százalékát adják. Tehát szigorúan a megfigyelések alapján azt lehetne jósolni, hogy a világegyetem tágulása örökké folytatódni fog. A Nap az elkövetkező kb. ötmilliárd év alatt nukleáris fűtőanyagának végére ér, ún. vörös óriássá fúvódik fel, miközben elnyeli a Földet és a többi közeli bolygót, majd néhány ezer kilométer átmérőjű fehér törpévé zsugorodik. Most éppen a világ végét jósolom meg, de addig még van időnk. Azt hiszem, a jóslatom nem fog zavart okozni a tőzsdén. Van egynéhány közelebbi probléma is, amelyet még meg kell oldani. Mindenesetre az említett idő alatt a Nap felfúvódik, és az emberiségnek csillagközi utazásra kell indulnia, hacsak nem pusztítja már el magát addigra.

Úgy tízmilliárd év múlva a világegyetem csillagainak többsége is kialszik. A Naphoz hasonló tömegű csillagok vagy fehér törpékké, vagy azoknál még kisebb és még sűrűbb neutroncsillagokká alakulnak. A nagyobb tömegű csillagokból fekete lyukak képződnek, amelyek még az előbbieknél is kisebbek, és olyan erős gravitációs teret hoznak létre, amelyből a fény sem tud megszökni. Ezek a maradványok továbbra is a galaxisunk középpontja körül fognak keringeni, és kb. százmillió év alatt végeznek egy keringést. A maradványok közeli találkozása folytán néhányuk kirepülhet a galaxisból. A maradék a középpont körül egyre közelebbi pályára kerül, és végül esetleg egyetlen hatalmas fekete lyuk képződik a galaxis magjában. A galaxisok és a galaxishalmazok sötét anyaga várhatóan szintén ilyen fekete lyukakba fog zuhanni.

A fentiek alapján azt lehet várni, hogy a galaxisok és halmazok anyagának legnagyobb része fekete lyukakba kerül. Azonban már régebben arra a felismerésre jutottam, hogy a fekete lyukak nem is olyan feketék, mint amilyenek korábban leírták őket. A kvantummechanika határozatlansági elve kimondja, hogy a részecskének nem lehet pontosan meghatározott helye és sebessége. Minél pontosabban meghatározott egy részecske helye, annál kevésbé lehet a sebessége határozott érték, és fordítva. Ha a részecske egy fekete lyukban van, a helye pontosan meghatározott, így a sebessége nem lehet az. Ebből viszont az következik, hogy a részecske sebessége nagyobb lehet a fénysebességnél, ami lehetővé teszi, hogy a fekete lyukból elszökjön. A részecskék és a sugárzás így lassanként elszivárognának a fekete lyukból. A galaxis középpontjában

képződő fekete lyuk átmérője a több millió kilométert is elérheti, ami a részecskék helyzetében nagy határozatlanságot tesz lehetővé, és így a részecske sebességére vonatkozó határozatlanság kicsi marad. Vagyis nagyon hosszú időre van szükség ahhoz, hogy a részecskék az ilyen lyukból eltávozzanak, de a távozás nem lehetetlen. A galaxis középpontjában keletkező fekete lyuk teljes elpárolgása 10^{90} évet venne igénybe. Ez sokkal hosszabb idő, mint a világegyetem jelenlegi életkora, ami mindössze 10^{10} év. De végül is sok időnk van, ha az univerzum örökké tágul.

Az örökké táguló univerzum jövője meglehetősen unalmas lenne. De még egyáltalán nem biztos, hogy örökké tágulni fog. Az univerzum összehúzódásához szükséges sűrűség tíz százalékanak létezésére határozott bizonyítékunk van. Létezhet persze másfajta sötét anyag is, amelyet még nem fedeztünk fel, és ez az univerzum átlagos sűrűségét a kritikus értékre vagy afölé növelheti. A sötét anyagnak ez a fajtája a galaxisokon és a galaxishalmazokon kívüli térben helyezkedhet el, különben jelenlétüket a galaxisok forgási sebessége illetve a galaxisok galaxishalmazon belüli sebessége elárulná.

Miért kellene azt gondolnunk, hogy van elegendő sötét anyag a világegyetem összehúzódásához? Miért nem elégszünk meg azzal az anyaggal, amelyről már bizonyítékaink vannak? Mert a kritikus sűrűség mindössze egy tizedének a jelenléte is a kezdeti sűrűség és a kezdeti tágulási sebesség rendkívül körültekintő megválasztását követeli meg. Ha a világegyetem sűrűsége egy másodperccel az ősrobbanást követően mindössze egymilliárdod résszel nagyobb lett volna, akkor az univerzum tíz éven belül újra összeomlott volna. Ha viszont a világegyetem sűrűsége ugyanennyivel kisebb lett volna az adott időpontban, akkor tízéves korára már lényegében szinte kiürült volna.

Mi lehet az oka, hogy a világegyetem sűrűsége ilyen gondosan van megválasztva? Lehet, hogy az univerzumnak valamilyen okból pontosan kritikus sűrűségűnek kell lennie, amire két lehetséges magyarázat is van. Az egyik az ún. antropikus elv, amely a következőt állítja: a világegyetem azért olyan, amilyen, mert ha nem ilyen lenne, akkor nem lehetnénk itt, és nem tudnánk megfigyelni. Alapgondolata az, hogy nagyon sok különböző sűrűségű univerzum lehetséges, azonban csak azoknak az élettartama elég nagy és csak azok tartalmazznak elég anyagot ahhoz, hogy csillagok és bolygók képződjenek benne, amelyek sűrűsége a kritikus értékhez nagyon közel esik. Csak ilyen univerzumokban létezhetnek intelligens lények, amelyek felteszik a kérdést: mi az oka annak, hogy a sűrűség olyan közel esik a kritikus sűrűséghez? Ha ez a magyarázata a világegyetem jelenlegi sűrűségének, akkor semmi okunk sincs arra, hogy azt gondoljuk, a már felfedezett anyagon túl más anyag is létezik az univerzumban. A kritikus sűrűség egytizede már elég ahhoz, hogy az anyagból csillagok és galaxisok képződjenek.

Sokan nem szeretik az antropikus elvet, mert túl nagy jelentőséget tulajdonít saját létezésünknek. Ezért megpróbáltak más lehetséges magyarázatot is keresni arra, hogy miért kell a sűrűségnek a kritikus értékhez olyan közel lennie. A próbálkozások a korai univerzum inflációjának elméletéhez vezettek. Ennek alapgondolata szerint a világegyetem mérete újra és újra megduplázódott, ugyanúgy, ahogy néhány gazdasági szempontból gyenge országban az árak pár hónap alatt megduplázódnak. A világegyetem inflációja azonban sokkal gyorsabb és intenzívebb volt: a másodperc törtrésze alatt legalább milliárd-milliárd-milliárdszorosára növekedve érte el azt a kritikushoz közeli sűrűséget, amely biztosítja, hogy a világegyetem sűrűsége ma is a kritikushoz közeli érték legyen. Így, ha az infláció elmélete helyes, az univerzumban elég sok sötét anyagnak kell lennie ahhoz, hogy a sűrűség elérje a kritikus értéket. Ez azt jelenti, hogy a világegyetem valószínűleg ismét összehúzódik, de ez sem fog sokkal hosszabb ideig tartani, mint a már kb. tizenötmilliárd éve tartó tágulás.

Miből állhat a galaxishalmazok között lévő sötét anyag, amelynek jelen kell lennie, ha az inflációs elmélet valóban helyes? Úgy tűnik, hogy különböznie kell a bolygókat és a csillagokat

felépítő közönséges anyagtól. Ki tudjuk számítani a különböző könnyű elemek mennyiségét, amelyek az univerzum forró korai szakaszában, az ősrobbanás utáni első három percben keletkeztek. Ezeknek a könnyű elemeknek a mennyisége az univerzum közönséges anyagának a mennyiségétől függ. Rajzolhatunk egy olyan grafikont, amelynek függőleges tengelye a könnyű elemek mennyiségét, vízszintes tengelye pedig az univerzumban lévő közönséges anyag mennyiségét jelöli. A megfigyelt eloszlásokra vonatkozóan jó egyezést kapunk, ha a közönséges anyag mennyisége a kritikus mennyiség egytizede körüli értéknél van. Lehet, hogy ezek a számítások nem helyesek, ellenben az a tény, hogy segítségével számos különböző elem esetén a megfigyelt eloszlásokhoz jutunk, egyszerűen lenyűgöző.

Ha a sötét anyagra vonatkozóan létezik egy kritikus sűrűség, akkor a sötét anyagra legfőbb jelöltként a korai univerzum maradványai kerülhetnek szóba. Az egyik lehetőséget az elemi részecskék jelentik. Vannak hipotetikus jelöltek is, olyan részecskék, amelyeknek a létezését feltételezzük, de eddig még nem sikerült kimutatni őket. A legígéretesebb jelölt egy olyan részecske, amelynek létezése már bizonyított: a neutrínó. Először úgy gondolták, hogy a neutrínónak nincs saját nyugalmi tömege, de az újabb kísérletek fényében már tudjuk, hogy rendelkezik nagyon kicsi saját tömeggel. Ha ez megerősítést nyer és a mért érték helyes, akkor a neutrínók tömege elegendő lenne arra, hogy a világegyetem sűrűsége a kritikus értéket elérje.

Egy másik lehetőséget a fekete lyukak jelentenének. Talán a korai univerzum ún. fázisátalakuláson ment keresztül. Fázisátalakulás pl. a víz forrása és megfagyása. A fázisátalakulás során a kezdetben egyenletes közegben szabálytalanságok keletkeznek (ez a víz esetében jégdarabok vagy gőzbuborékok alakjában jelentkeznek). A szabálytalanságok a világegyetemben fekete lyukakká zsugorodhattak. Ha a fekete lyukak nagyon kicsik voltak, mostanra már elpárologhattak a kvantummechanikai határozatlansági elv alapján, ahogy ezt korábban említettem. Ha azonban tömegük meghaladta a néhány milliárd tonnát (ez kb. egy hegy tömegének felel meg), akkor még most is létezhetnek, a detektálásuk viszont rendkívül nehéz.

A világegyetemben egyenletes eloszlásban jelen levő sötét anyag kimutatásának egyetlen módja az univerzum tágulására kifejtett hatása alapján lehetséges. Megállapítható, hogy a tágulás milyen ütemben lassul. Ehhez meg kell mérni a távoli galaxisok távolodásának sebességét. Fontos szempont, hogy a megfigyelés valójában egy múltbeli időpontra vonatkozik, amikor a fény elindult felénk. Készíthetünk egy grafikont, amelyen a galaxisok sebességét látszólagos fényességük, magnitúdójuk függvényében tüntetjük fel (a látszólagos fényesség a galaxisok távolságára jellemző mértéknek tekinthető). A grafikonon a különböző görbék a tágulás során különböző lassulást jelentenek. A felfelé hajló görbe annak felel meg, hogy az univerzum össze fog húzódni. Első pillantásra úgy tűnik, hogy a megfigyelések a világegyetem végső összeomlására utalnak. A látszólagos fényesség azonban nem tükrözi teljesen hűen a galaxisok távolságát. Nem csak azért, mert a galaxisok abszolút fényességében nagy eltérések lehetnek, hanem azért is, mert a galaxisok fényessége időben is ingadozik. Mivel még nem ismerjük, hogy az időbeli ingadozás milyen széles fényességtartományra terjed ki, nem tudjuk megmondani, hogy az univerzum tágulási sebessége milyen mértékben csökken: elég nagy-e ahhoz, hogy a világegyetem ismét összehúzódjon, vagy a tágulás örökké tart. Várnunk kell a válasszal, amíg a galaxisok távolságának meghatározására jobb módszert nem találunk. Abban azonban biztosak lehetünk, hogy a tágulás lassulásának üteme nem olyan nagy, hogy a világegyetem az elkövetkező néhány milliárd évben összeroppanjon.

Az örökké tartó tágulás nem valami biztató kilátás, de az sem, hogy az elkövetkező százmilliárd évben a világegyetem összeroppan. Vajon létezik valami más is, amivel a jövőt izgalmasabbá tehetjük? Az egyik lehetőség bizonyára az lenne, ha egy fekete lyukba kormányoznánk magunkat. Meglehetősen nagy fekete lyukat kellene választanunk, olyat, amelynek tömege a Nap tömegének több mint egymilliószorosa. Van remény, hogy ilyenre akadunk, mert a galaxisunk középpontjában valószínűleg egy ekkora fekete lyuk helyezkedik el.

Nem tudjuk teljesen biztosan, mi játszódik le a fekete lyuk belsejében. Az általános relativitáselmélet egyenleteinek egyik megoldása szerint egy fekete lyukban el lehet tűnni, és valahol egy fehér lyukból ismét elő lehet bukkanni. A fehér lyukak a fekete lyukak időbeli megfordítottjai, amelyekből a testek csak előjöhethetnek, de semmi sem zuhanhat beléjük. Ez gyors intergalaktikus utazást tenne lehetővé. Csak az a probléma, hogy az utazás túlságosan gyors lenne. Ha az utazás a fekete lyukakon keresztül lehetséges volna, akkor - úgy tűnik - semmi sem akadályozhatna meg valakit abban, hogy még mielőtt elindul, már vissza is térjen. Ha ekkor végzetes tettet követne el, pl. megölné egy őst, az elutazás teljesen lehetetlenné válna.

Túlélésünk (és őseink túlélése) szempontjából talán nagy szerencse, hogy a fizika törvényei valószínűleg nem teszik lehetővé az időutazást. Létezni látszik egy Kronológiai Védelmi Hivatal (Chronology Protection Agency), amely arra hivatott, hogy a világot a történészek számára biztos helyre tegye, és megakadályozza az időutazásokat. Mi történne egy időutazás alkalmával? A határozatlansági elv értelmében nagy mennyiségű sugárzás keletkezne. Ez a sugárzás vagy olyan nagy mértékben meggörbítene a téridőt, hogy nem lehetne az időben visszafelé haladni, vagy azt okozná, hogy a téridő a Nagy Bummhoz vagy a Nagy Zuttyhoz hasonló szingularitásban végződjön. Ezek közül bármelyik történik is, biztosítva látszik, hogy a múltunkat rosszindulatú személyek nem veszélyeztethetik. A Kronológiai Védelmi Hipotézist az általam és néhány más kutató által végzett számítások is alátámasztják. Azonban a legjobb bizonyíték arra, hogy az időutazás sem most, sem a jövőben nem lehetséges, az a tény, hogy még nem özönlött el bennünket a jövőből érkező turisták hada.

Összefoglalva: a kutatók meggyőződése szerint a világegyetem eseményei pontosan definiált törvények szerint zajlanak, és ezekkel a törvényekkel elvileg meg lehet jósolni a jövőt. A törvények által megszabott mozgások azonban sokszor kaotikusak. Ez azt jelenti, hogy a kezdeti állapoton végrehajtott parányi változtatás hatása a rendszer viselkedésében gyorsan nagymértékűvé fokozódik. Megfelelő pontossággal csak a közeli jövőre készíthetünk előrejelzést. Tapasztalataink szerint az univerzum törvényei nagy léptékben nem kaotikusak, hanem egyszerűek. Így megjósolható, hogy a világegyetem tágulása örökké folytatódik-e, vagy hogy univerzumunk valamikor esetleg ismét összehúzódik. Ez végső soron az univerzum jelenlegi sűrűségétől függ. Úgy tűnik, hogy a jelenlegi sűrűség nagyon közel van ahhoz a kritikus értékhez, amely az örökké táguló állapotot az ismét összehúzódó állapottól elválasztja. Ha az univerzum inflációjának elmélete helyes, akkor a világegyetem tulajdonképpen késélen táncol. Ezért a jóskok és próféták bevált hagyományaihoz illően az a legjobb, ha minden eshetőségre biztosítva magam azt jósolom, hogy mindkét lehetséges változat előfordulhat.

Lemezek a lakatlan szigeten: rádióriport

A BBC 1942-ben kezdte sugározni a Lemezek a lakatlan szigeten (Desert Island Discs) című műsort. Ez a BBC legrégebb adássorozata, amely időközben valóságos nemzeti létesítménnyé vált Angliában. A hosszú évek során rengeteg riportalanyt szólaltattak meg. Szerepeltek a műsorban írók, színpadi és filmszínészek, rendezők, zenészek, sportolók, humoristák, szakácsok, kertészek, tanárok, táncművészek, politikusok, a királyi család tagjai, karikaturisták - és tudományos kutatók. A riportalanyok mindig hajótöröttek szerepét töltik be, akiket megkérdeznak, melyik nyolc hanglemezt vinnék magukkal, ha a sors egyedül egy lakatlan szigetre vetné őket. Ezenkívül meg kell nevezniük egy luxuscikket (amely nem lehet élőlény), valamint egy könyvet is, ez a két tárgy szintén elkísérhetné őket az úton (feltételezik, hogy a riportalany vallásának megfelelő alaplmi - a Biblia, a Korán, vagy valamilyen ezzel egyenértékű írásos szöveg - valamint Shakespeare összes művei a szigeten már megtalálhatók). Természetesen azt is biztosítják, hogy a szigeten rendelkezésre állnak a lemezek lejátszásához szükséges eszközök; a sorozat kezdeti időszakában a műsorismertetésben ez hangzott el: "feltételezzük, hogy a szigeten van gramofon és a lejátszáshoz kimeríthetetlen mennyiségű tartalék tű is." Ma már napelemmel működő CD-lejátszó biztosítja a szigeten a lemezhallgatást.

A műsort hetente egyszer sugározzák, és az interjú közben részletek hangzanak el a riportalany által kiválasztott lemezekről. A szokásos műsoridő negyven perc, azonban a Stephen Hawking közreműködésével készült riport, amelyet 1992 karácsonyán sugároztak, kivételesen hosszabb ideig tartott. A riportot Sue Lawley készítette.

SUE: Stephen, ön sok tekintetben már hozzászólt a lakatlan sziget magányosságához, hiszen az élet normális fizikai feltételeitől és a természetes kommunikációs lehetőségektől el van zárva. Mennyire érzi magányosnak magát?

STEPHEN: Nem érzem úgy, hogy a normális élettől el lennék zárva, és nem hiszem, hogy a környezetemben élő emberek magányosnak tartanának. Nem érzem magam fogyatékosnak - csak a mozgatóidegeim nem működnek megfelelően. Ez olyan, mintha például színvak lennék. Az életemet persze nem lehet szokványosnak tekinteni, de én a magam részéről teljesen elfogadhatónak tartom.

SUE: Mindenesetre a *Lakatlan sziget* többi hajótöröttjével ellentétben ön már bizonyította, hogy szellemileg és lelkileg is önálló egyéniség, és hogy van elegendő ötlete és belső indíttatása ahhoz, hogy elfoglalja önmagát.

STEPHEN: Azt hiszem, hogy természettől fogva befelé forduló típus vagyok, és csak kommunikációs problémáim kényszerítő hatására nőtt meg valamennyire az önbizalmam. De gyerekkoromban szerettem beszélni. Szükségem van a beszélgetések serkentő hatására. Úgy érzem, a munkám során is nagy segítséget jelent, ha leírom a gondolataimat másoknak. Még ha semmi javaslatuk sincs a leírtakkal kapcsolatban, akkor is gyakran már maga az a tény előrevisz a gondolkodásban, hogy úgy össze kell szednem a gondolataimat, hogy másoknak is el tudjam magyarázni azokat.

SUE: De mi a helyzet érzelmi téren, Stephen? Valószínűleg még egy kiváló fizikusnak is

szüksége van arra, hogy mások is elismerjék.

STEPHEN: A fizika nagyon szép, de teljesen hideg. Én nem tudnék úgy élni, hogy csak a fizika töltse ki az életemet. Mint mindenki másnak, nekem is szükségem van melegségre, szeretetre és gyengédségre. Ismételten hangsúlyozom, hogy én nagyon szerencsésnek mondhatom magam, jóval szerencsésebbnek, mint sok más sorstársam, mert igen sok szeretetben és gyengédségben van részem. A zene is nagyon fontos számomra.

SUE: Mondja, mi okoz önnek nagyobb örömet, a fizika vagy a zene?

STEPHEN: Meg kell mondanom, hogy az az öröm, amelyet olyankor érzek, amikor mindent sikerül jól megoldanom a fizikában, sokkal intenzívebb, mint amelyet zenével kapcsolatban valaha is éreztem. De az ember pályafutása során csak ritkán fordul elő, hogy mindent jól megold, egy lemezt viszont bármikor meg lehet hallgatni, ha az embernek kedve támad hozzá.

SUE: És melyik az első lemez, amelyet a lakatlan szigeten meg szeretne hallgatni?

STEPHEN: Poulenc *Gloriája*. Tavaly nyáron hallottam először Aspenben, Coloradóban. Aspen elsősorban téli sportüdülőhely, de nyaranta fizikai konferenciákat rendeznek itt. A fizikai konferenciaközpont mellett egy hatalmas sátorban zenei fesztiválokat tartanak. Miközben az ember a konferencián ül és azon gondolkodik, mi történik a fekete lyukak elpárologása során, hallani lehet a zenekari próbákat. Ez tökéletes: összeköti két legfőbb szenvedélyemet, a fizikát és a zenét. Ha mind a kettő velem lehet a lakatlan szigeten, akkor nem is szeretném, hogy megmentsenek. Azaz csak addig nem, amíg fel nem fedezek valamit az elméleti fizikában, mert akkor azt el szeretném mondani mindenkinek. Attól tartok, hogy egy parabolaantenna, amelyen elektronikus postával fizikai közleményeket kaphatnék, már nem egyeztethető össze a sziget előírásaival. (ZENE)

SUE: A rádióhullámok segíthetnek az ilyen fizikai értelemben vett gondokon, de ha már itt tartunk, az ön esetében egy másik problémát is megoldottak. Hét évvel ezelőtt ön szó szerint elvesztette a hangját. El tudná mondani, mi történt?

STEPHEN: 1985 nyarán Genfben voltam a CERN nagy részecskegyorsítójánál. El akartam menni Bayreuthba, Németországba, hogy megnézzem Wagner *Nibelung gyűrűje* című operaciklusát. De tüdőgyulladást kaptam, és szirénázó mentőautóval kórházba szállítottak. A genfi kórház úgy nyilatkozott a feleségemnek, hogy esetemben nincs értelme a lélegeztető készüléket üzemben tartani. De feleségem hallani sem akart semmi ilyesmiről. Repülőgéppel visszavittek a cambridge-i Addenbrookes Kórházba, ahol egy Roger Grey nevű sebész gégemetszést hajtott végre rajtam. A műtét megmentette az életemet, viszont elveszítettem a hangomat.

SUE: Betegsége miatt akkorra a hangja már amúgyis nagyon elmosódottá és érthetlenné vált. Valószínűleg különben is elvesztette volna a beszélőképességét, ha jól tudom.

STEPHEN: Bár a hangom elmosódott és a beszédem nehezen érthető volt, a velem közeli kapcsolatban álló emberek mégis megértették, amit mondok. Tolmács segítségével szemináriumokat tudtam tartani, tudományos közleményeket tudtam diktálni. A műtét után egy ideig kétségbeejtő állapotban voltam. Úgy éreztem, ha nem tér vissza a hangom, nem érdemes tovább élnem.

SUE: És akkor Kaliforniában egy számítógépes szakember tudomást szerezve az ön siralmas állapotáról, küldött önnek hangot. Hogyan működik ez a dolog?

STEPHEN: Ezt a szakembert Walt Woltosznak hívták. Anyósa hasonló problémával küszködött,

mint én, ezért kifejlesztett egy számítógépes programot, amely lehetővé tette anyósa számára a kommunikációt. A program a kurzort mozgatja a képernyőn. Amikor a kurzor a kívánt helyzetbe kerül, az ember fej- vagy szemmozgással, vagy - mint az én esetemben - kézzel működésbe hoz egy kapcsolót. Ezzel a módszerrel szavakat lehet kiválasztani, amelyek azután a képernyő alsó felén külön meg is jelennek. Ha az ember összeállította a mondanivalóját, akkor beszéd szintetizátorba lehet továbbítani, vagy lemezen lehet tárolni.

SUE: Ez elég lassúnak tűnik.

STEPHEN: Valóban lassú, a normál beszéd sebességénél tízszer lassabb. Viszont a beszéd szintetizátor sokkal tisztábban beszél, mint én azelőtt. Az angolok azt mondják, amerikai kiejtése van, az amerikaiak szerint skandináv vagy ír. De ez nem számít, az a lényeg, hogy mindenki megérti. A két nagyobbik gyerekem fokozatosan hozzászokott a természetes hangom romlásához, de a kisebbik fiam, aki csak hatéves volt a gégemetszésem idején, azelőtt sohasem értette, mit mondok. Azóta mindig megért. És ez nagyon sokat jelent számomra.

SUE: Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a riporterek kérdéseiket nagy vonalakban előre megfogalmazva leadhatják önnek, és ön akkor válaszolhat, amikor kényelmesen elkészült a válasszal.

STEPHEN: A hangfelvételen rögzített hosszú műsorok esetében, mint amilyen ez a műsor is, valóban segít, ha előre ismerem a kérdéseket, mert akkor nem tart órákig a válasz megfogalmazása, és jobban kézben tudom tartani a helyzetet. De sokkal jobban szeretek a kérdésekre rögtön válaszolni. A szemináriumok és népszerűsítő előadások után mindig ezt csinálom.

SUE: Említette, ez a válaszadási eljárás azt jelenti, hogy ön mindenesetre kézben tartja a helyzetet, és tudom, hogy ez mennyire fontos önnek. Családja és barátai néha önféjűnek és akaratosnak tartják önt emiatt. Elismeri ezeket a tulajdonságait?

STEPHEN: Minden értelmes ember önféjűnek tűnik időnként. Én inkább azt mondanám, hogy határozott vagyok. Ha nem lennék határozott, most nem lennék itt.

SUE: Mindig ilyen természetű volt?

STEPHEN: Ugyanolyan mértékben szeretném kézben tartani az életemet, mint a többi ember. A fogyatékosok életét gyakran mások irányítják, amibe egyetlen egészséges ember sem törődne bele.

SUE: Hallgassuk meg a második lemezét!

STEPHEN: Brahms hegedűversenyét. Ez volt az első nagylemez, amit vettem magamnak. 1957-ben volt, rövidebb azután, hogy a 33-as fordulatszámú lemezek megjelentek Angliában. Apám megbocsáthatatlan pazarlásnak tartotta volna, ha lemezejátszót veszek, de meggyőztem arról, hogy olcsón beszerezhető alkatrészekből fogok építeni egyet. Az eset jellemző apám yorkshire-i természetére. A lemeztárcsát és az erősítőt egy régi, 78-as fordulatszámú gramofon házába építettem be. Ha megtartottam volna, ma nagyon sokat érne.

Mikor elkészültem a lemezejátszóval, már csak lemez kellett hozzá, amit lejátszhatok. Egyik iskolatársam ajánlotta, hogy vegyem meg Brahms hegedűversenyét, mivel az a barátaink közül az iskolában senkinek nem volt meg. Emlékszem, harmincöt schillingbe került, ami abban az időben nagy pénz volt, főleg nekem. A lemezek azóta sokkal többbe kerülnek, de a pénz vásárlóértékét tekintve persze jóval olcsóbbak.

Amikor először meghallgattam a lemezt az üzletben, nagyon furcsának találtam, és nem is voltam biztos abban, hogy egyáltalán tetszik-e, de úgy éreztem, azt kell mondanom, hogy igen. Az azóta eltelt idő alatt azonban a szívemhez nőtt. A lassú tétel elejét szeretném lejátszani. (ZENE)

SUE: Családjának egy régi barátja egyszer azt mondta, hogy amikor ön gyerek volt, az önök családja - idézem "rendkívül intelligens, nagyon okos és nagyon különc" család volt. Ha visszagondol, mennyire találó ez a jellemzés?

STEPHEN: Nem tudom megítélni, hogy a családuink intelligens volt-e vagy sem, de annyi bizonyos, hogy nem tartottuk magunkat különecnek. Viszont el tudom képzelni, hogy a helyi normák szerint különecnek tűntünk St. Albansban, ami elég kispolgári hely volt abban az időben, mikor ott laktunk.

SUE: És édesapja a trópusi betegségek szakértője volt.

STEPHEN: Apám a trópusi betegségek kutatásával foglalkozott. Elég gyakran utazott Afrikába, hogy ott helyben próbálja ki az új gyógyszereket.

SUE: Tehát édesanyja nagyobb befolyást gyakorolt önre? És ha igen, hogy jellemezné ezt a hatást?

STEPHEN: Nem, szerintem apám nagyobb hatással volt rám. Ő volt a példaképem. Mivel tudományos kutató volt, magától értetődőnek tartottam, hogy az ember tudományos kutatással foglalkozik, ha felnő. Csak az volt a különbség, hogy engem nem érdekelt sem az orvostudomány, sem a biológia, mert mindegyiket túlságosan leíró jellegűnek éreztem. Én valami sokkal alapvetőbb jelentőségű dologgal szerettem volna foglalkozni, és ezt a fizikában meg is találtam.

SUE: Édesanyja egyszer úgy nyilatkozott, hogy önnek ahogy ő fogalmazott - mindig rendkívüli képessége volt arra, hogy csodálkozzon a dolgokon. "Látni lehetett, hogy vonzzák a csillagok", mondta önről. Emlékszik erre?

STEPHEN: Emlékszem, hogy egyszer késő éjjel érkeztem haza Londonból. Abban az időben takarékosági okokból éjszakára lekapcsolták az utcai világítást. Az éjszakai égboltot és közepén a Tejutat olyan fényesnek láttam, mint azelőtt még sohasem. A lakatlan szigetemen sem lesz éjszakai világítás, ott is nagyon jól láthatom majd a csillagokat.

SUE: Ön nyilvánvalóan nagyon értelmes gyerek volt, játékban szívesen versenyzett a hűgával, az iskolában viszont gyakorlatilag utolsó volt az osztályban, és ez egyáltalán nem érdekelte. Így volt?

STEPHEN: A St. Albans-i iskolában első évben így volt. De hozzá kell tennem, hogy nagyon értelmes osztály volt. És a vizsgákon mindig sokkal jobban szerepeltem, mint a tanítási órákon. Meg voltam győződve róla, hogy tulajdonképpen mindent jól tudok - csak a kézírásom és a rendetlenségem miatt olyan rosszak az eredményeim.

SUE: Mi lesz a harmadik lemez?

STEPHEN: Egyetemi tanulmányaim kezdetén Oxfordban olvastam Aldous Huxley *Pont és ellenpont* című regényét. A regény a harmincas évek körképe lenne, rengeteg jellemet ábrázol. Legtöbbjük elég sápadt figura, de van a regénynek egy életteli szereplője is, akit Huxley nyilvánvalóan önmagáról mintázott. Ez az ember megöli a brit fasiszták vezetőjét, akiben Sir Oswald Mosley vonásaira ismerhetünk. Ezt követően tudtára adja a pártnak, hogy a tettet ő követte

el, és elkezd hallgatni a gramofonon Beethoven opus 132-es vonósnégyesét. A harmadik tétel közepén csengetnek nála, ő kinyitja az ajtót, és a fasiszták lelövik.

A regény csapnivaló, de Huxley a lehető legjobban választotta ki a zenét. Ha tudnám, hogy lakatlan szigetemet hamarosan előnti az ár, lejátsszám ennek a vonósnégyesnek a harmadik tételét. (ZENE)

SUE: Tehát Oxfordba ment, a University College hallgatója lett, matematikát és fizikát tanult, mégpedig saját számításai szerint naponta kb. egy órát töltött egyetemi munkájával. Emellett evezett, sört ivott és nagy élvezettel buta tréfákat űzött a társaival, ahogy olvastam. Mi volt a probléma? Miért nem érdekelte a munka?

STEPHEN: Ez az ötvenes évek végén történt, amikor a legtöbb fiatal teljesen kiábrándult az egész angol rendszerből. Úgy tűnt, hogy az életben már semmi egyéb nem létezik, csak a jólét, és a még nagyobb jólét. A konzervatívok éppen megnyerték a harmadik választást is azzal a választási jelszóval, hogy "Soha nem volt ilyen jó dolgunk." A legtöbb fiatal viszont velem együtt egyszerűen unta az életet.

SUE: Ennek ellenére önnek sikerült pár óra alatt megoldani olyan feladatokat, amelyekkel diáktársai ugyanannyi nap alatt sem tudtak megbirkózni. Diáktársainak elbeszélései alapján *ők* mindenestre teljesen tisztában voltak azzal, hogy önnek kivételes tehetsége van. Mit gondol, ön is tisztában volt ezzel?

STEPHEN: Akkoriban Oxfordban a fizika szak nevetségesen könnyű volt. Úgy is el lehetett végezni, ha az ember nem is járt előadásra, elég volt hetente egyszer-kétszer elmenni konzultációra. Nem kellett túl sok tényanyagot megjegyezni, csak néhány egyenletet.

SUE: Ön Oxfordban vette észre először azt, hogy keze és lába nem mindig engedelmeskedik az akaratának. Milyen magyarázatot talált erre akkoriban?

STEPHEN: Valóban. Az első dolog, amit észrevettem, az volt, hogy egyevezős csónakban nem tudtam rendesen evezni. Aztán csúnyán leestem a diáktársalgó lépcsőjén. Az esés után elmentem az egyetemi orvoshoz, mert megijedtem, hogy esetleg agysérülést szenvedtem, de szerinte semmi baj nem történt, és csak azt tanácsolta, hogy kevesebb sört igyak. Oxfordi záróvizsgám után nyáron Perzsiába utaztam. Hazatérésem után kifejezetten gyengébben éreztem magam, mint előtte, de azt hittem, hogy ez csak az utazás alatt kapott súlyos gyomorrontás következménye.

SUE: Melyik volt az a pont, amikor felismerte, hogy tényleg valami komolyabb baja van és orvoshoz kell fordulnia?

STEPHEN: Akkor már Cambridge-ben voltam, és karácsonyra éppen hazautaztam. Ez volt az a rendkívül hideg tél, 1962/63 tele. Anyám rábeszélte, hogy menjek el vele korcsolyázni a St. Albans-i tóra. Én beleegyeztem, bár tudtam, hogy nem fog menni a dolog. Persze elestem, és csak igen nehezen tudtam felállni. Anyám is észrevette, hogy valami baj van, és elvitt a házi orvosunkhoz.

SUE: Ezután három hét kórházi kivizsgálás következett, a végén pedig a szörnyű felismerés?

STEPHEN: Igen. A Barts Kórházban feküdtem Londonban, mert annak idején apám ott volt gyakornok. Két hétig voltam bent kivizsgáláson, de tulajdonképpen nem mondták meg, mi a bajom, csak annyit közöltek velem, hogy a betegségem nem multiplex szklerózis, és hogy rendellenes eset vagyok. Nem mondták meg pontosan, milyen kilátásaim vannak, de sejthettem, hogy kilátástalan a helyzetem, ezért nem is nagyon akartam kérdezősködni.

SUE: Végül mégis közölték önnel, hogy csak néhány éve van hátra az életből. Ezen a ponton szakítsuk meg a történetet, Stephen, és hallgassuk meg a következő lemezt.

STEPHEN: Ez a *Walkür* első felvonása. Ez is az első nagy lemezek egyike, Melchior és Lehmann szereplésével. Eredetileg 78-as fordulatszámú lemezre vették fel a háború előtt, és a hatvanas évek elején vették át nagylemezre. Miután 1963-ban megállapították, hogy mozgatóideg-sorvadásom van, elkezdtem Wagnert hallgatni, mert ez jól illett sötét és apokaliptikus lelkiállapotomhoz. Sajnos a beszédszintetizátorom nem elég művelt, és Wagner nevét rosszul ejti ki. Ha azt akarom, hogy körülbelül helyes legyen a kiejtés, azt kell beírnom, hogy V-A-R-G-N-E-R.

A *Nibelung gyűrűje* című operaciklushoz tartozó négy opera Wagner legnagyobb műve. 1964-ben elmentem Bayreuthba, Németországba a húgommal, hogy megnézzem. A ciklus második műve, a *Walkür* lenyűgöző hatást gyakorolt rám. Wolfgang Wagner rendezésében a színpad szinte teljesen sötétben maradt. A történet két ikertestvér, Siegmund és Sieglinde szerelméről szól, akik gyerekkorukban elszakadtak egymástól. Akkor találkoznak ismét, amikor Siegmund menedéket keres Hundingnak, Sieglinde férjének házában, aki egyúttal Siegmund ellensége. Az a részlet, amelyet kiválasztottam, Sieglinde panasza a Hundinggal kötött kényszerházasságról. Az ünnepségek alatt egy öregember lép a terembe. A zenekar a *gyűrű* egyik legszebb témáját, a Walhalla-motívumot játssza, mert az öreg nem más, mint Wotan, az istenek ura, Siegmund és Sieglinde apja. Wotan egy fatörzsbe beledöf egy kardot, amelyet Siegmundnak szánt. A felvonás végén Siegmund kirántja a kardot, és Sieglindével együtt az erdőbe menekül. (ZENE)

SUE: Stephen, ha önről olvas az ember, majdnem az az érzése, hogy a halálos ítélet - tehát az a diagnózis, hogy csak néhány éve van hátra az életből - bizonyos értelemben felébresztette, vagyis arra készítette, hogy az életre összpontosítsa figyelmét.

STEPHEN: Először mély depresszióba kerültem. Úgy tűnt, hogy az állapotom gyorsan romlik. Úgy látszott, nincs értelme bármibe is kezdenem, vagy a doktori munkámat folytatnom, hiszen úgysem élek addig, hogy befejezhessem. De aztán jobbra fordult a helyzet. Állapotom lassabban romlott, mint gondoltam, és a munkám is kezdett haladni. Kimutattam, hogy a világegyetemnek az ősrobbanással kellett kezdődnie.

SUE: Egy interjúban úgy nyilatkozott, hogy ma boldogabb, mint a betegsége előtt.

STEPHEN: Egészen biztos, hogy boldogabb vagyok. Mielőtt mozgatóideg-sorvadást kaptam, untam az életet. De a korai halál lehetősége rádöbentett arra, hogy érdemes élni. Olyan sok minden van, amit az ember tehet, és amit bárki megtehet. Bizonyos elégedettséggel tölt el az a tudat, hogy betegségem ellenére szerény, mégis jelentős mértékben hozzájárultam az emberi ismeretek gyarapításához. Természetesen nagy szerencsém is volt, de mindenki elérhet valamit, ha elég keményen dolgozik érte.

SUE: Lehetne kis túlzással azt is mondani, hogy talán el sem érte volna mindezt, ha nem lenne mozgatóideg-sorvadása, vagy ez túlságosan egyszerű lenne?

STEPHEN: Nem hiszem, hogy a mozgatóideg-sorvadás bárkinek is hasznára válhatna. De nekem nem jelentett akkora hátrányt, mint másoknak, mivel engem nem gátolt meg abban, amit tenni akartam, vagyis abban, hogy megpróbáljam megérteni, hogyan működik a világegyetem.

SUE: A betegség leküzdésében a másik segítsége egy Jane Wilde nevű fiatal lány volt, akivel egy partin ismerkedett meg, egymásba szerettek, és közvetlenül ezután össze is házasodtak. Mit gondol, Jane mekkora szerepet játszott az ön sikereiben?

STEPHEN: Egészen biztos, hogy nélküle nem tudtam volna mindezt elérni. A velem való jegyesség mozdított ki abból a mély kétségbeesésből, amelyben előtte vergődtem. Ahhoz, hogy összeházasodjunk, állásra volt szükségem, az álláshoz viszont be kellett fejeznem a doktori disszertációm. Ezért életemben először keményen dolgozni kezdtem. Legnagyobb meglepetésemre még tetszett is a dolog. Jane egyedül ápolt, amikor az állapotom romlani kezdett. Abban az időben még senki sem ajánlotta fel önként a segítségét, és azt sem engedhettük volna meg magunknak, hogy ápolókat fizessünk.

SUE: Tehát Jane-nel együtt szembeszálltak az orvosokkal, nemcsak azért, mert ön életben maradt, hanem azért is, mert gyermekeik születtek. Robert 1967-ben, Lucy 1970-ben, Timothy pedig 1979-ben született. Mekkora megdöbbenést okozott ez orvosainak?

STEPHEN: Az az orvos, aki a betegségemet megállapította, hallani sem akart többet rólam. Úgy gondolta, hogy tényleg menthetetlen vagyok. Nem is voltam nála soha többet a diagnózis felállítása után. Azóta apám vette át a kezelésem, és tulajdonképpen neki is köszönhetem, hogy állapotom jobbra fordult. Tőle tudom azt is, hogy semmiféle bizonyíték nincs arra vonatkozóan, hogy a betegségem öröklődő lenne. Jane megoldotta, hogy a két gyerek melletti teendőkön kívül továbbra is ápolt engem. Csak akkor kellett külső segítséghez folyamodnunk, amikor 1974-ben Kaliforniába mentünk. Először egy diák költözött hozzánk, később pedig ápolónők segítettek.

SUE: De most már nem élnek együtt Jane-nel.

STEPHEN: A gégemetszés óta napi huszonnégy óras ápolói ellátásra szorulok. Ez egyre nagyobb megterhelést jelentett a házasságunk számára. Végül is elköltöztem otthonról, és egy másik lakásban lakom Cambridge-ben. Külön élünk.

SUE: Hallgassunk megint zenét.

STEPHEN: A Beatles együttes "Please Please Me" című száma következik. Az első négy komolyzenei darab után megnyugvásszerűen hallgassunk valami könnyebbet. A Beatlesekk számomra és legtöbb kortársam számára is kellemes, friss szeleket hoztak a popzene idejétmúlt, unalmas világába. Vasárnap estétként annak idején mindig meghallgattam a luxemburgi rádióban a slágerlistát.
(ZENE)

SUE: Stephen Hawking, önt rengeteg elismeréssel halmozták el - talán külön ki kellene emelni, hogy Cambridgeben a matematika professzora, Isaac Newton egykori tanszékének vezetője -, ennek ellenére elhatározta, hogy népszerűsítő könyvet ír a munkájáról. Ennek azt hiszem, igen egyszerű oka volt, pénzre volt szüksége.

STEPHEN: Valóban szerettem volna némi pénzt is keresni azzal, hogy írok egy ismeretterjesztő könyvet, de *Az idő rövid történetét* elsősorban azért írtam, mert élvezetesnek találtam az írást. Az elmúlt huszonöt év felfedezései magukkal ragadtak, és ezt az olvasóknak is tovább akartam adni. Eszembe sem jutott, hogy a könyvnek ilyen sikere lesz.

SUE: A könyv valóban minden várakozást felülmúlt, és bekerült a *Guinness rekordok* könyvébe, mivel a leghosszabb ideig vezetett a népszerűségi listákon, és még ma is az első helyen áll. Nem lehet pontosan tudni, hogy világszerte hány példányt adtak el, de biztos, hogy több, mint tízmilliót. Az emberek lankadatlanul veszik a könyvet, de persze kérdés, hogy el is olvassák-e.

STEPHEN: Tudom, hogy Bernard Levin a huszonkilencedik oldalon elakadt, de sok olyan embert ismerek, akik tovább jutottak. A világon mindenfelől jönnek az emberek, és azt állítják,

hogyan élvezetesnek találták a könyvet. Lehet, hogy nem tudták befejezni, vagy nem mindent értettek meg, de annyit biztosan megértettek belőle, hogy a világegyetemet, amelyben élünk, megismerhető és megérthető törvények igazgatják.

SUE: A fekete lyukak gondolata mozgatta meg leginkább a nagyközönség fantáziáját, és megújult érdeklődést keltett a kozmológia iránt. Nem tudom, látta-e a *Star Trek* sorozat filmjeit, amelynek hősei "oda merészkednek, ahol még nem járt ember azelőtt". Ha igen, tetszettek-e?

STEPHEN: Tizenéves koromban sok tudományos-fantasztikus könyvet olvastam. De mióta magam is ezen a területen dolgozom, a legtöbb tudományos-fantasztikus könyvet kissé felületesnek tartom. Túl könnyű hiper-ürmeghajtásról vagy teleportálásról beszélni, ha nem kell ellentmondásmentes képet alkotni az egész rendszerről. A valódi tudomány sokkal izgalmasabb, mert olyan dolgokkal foglalkozik, amelyek valóban megtörténnek. A tudományos-fantasztikus könyvek írói soha nem beszéltek fekete lyukakról, amíg a fizikusok nem gondolkodtak erről. Ma már nyilvánvaló bizonyítékaink vannak arra, hogy egész sor fekete lyuk létezik.

SUE: Mi történne, ha az ember fekete lyukba esne?

STEPHEN: Ezt mindenki tudja, aki tudományos-fantasztikus könyveket olvas. Spagettivé darabolódna. De ennél sokkal érdekesebb az, hogy a fekete lyukak nem is teljesen feketék. Állandó sebességgel részecskéket és sugárzást bocsátanak ki. Ennek következtében a fekete lyukak lassan elpárolognak, de nem tudjuk, hogy eközben pontosan mi történik a fekete lyukkal és tartalmával. Ez izgalmas kutatási terület, de a tudományos-fantasztikus könyvek írói még nem csaptak le rá.

SUE: Ezt a sugárzást, amelyet említett, természetesen Hawking-sugárzásnak hívják. Ugyan nem ön fedezte fel a fekete lyukakat, de ön bizonyította be, hogy nem feketék. Úgy tudom, ez a felfedezés indította arra, hogy behatóbban gondolkodjon a világegyetem eredetéről. Igaz ez?

STEPHEN: A csillagok összeroppanása fekete lyukká sok tekintetben hasonlít világegyetemünk tágulásának időbeli megfordítottjára. A csillagok összeroppanásuk során meglehetősen kis sűrűségű állapotból jutnak nagyon nagy sűrűségű állapotba. A világegyetem ezzel szemben nagyon nagy sűrűségű állapotból kerül kisebb sűrűségű állapotba. A két jelenség között még egy nagyon fontos különbség van: a fekete lyukon kívül vagyunk, a világegyetemen viszont belül. Azonban mindkét folyamatot hőszugárzás kíséri.

SUE: Említette, hogy tulajdonképpen nem tudjuk, mi történik a végén a fekete lyukkal és tartalmával. Én pedig azt hittem, hogy az elmélet kimondja, hogy bármi is történjék, aki egyszer beleesett egy fekete lyukba, pl. akár egy űrhajós is, az Hawking-sugárzás formájában visszakerül a világegyetem körfolyamataiba.

STEPHEN: Az űrhajós tömegével egyenértékű energia a fekete lyukból kibocsátott sugárzás formájában valóban visszakerül a világegyetembe. De maga az űrhajós, vagy a testét felépítő részecskék nem kerülnek ki a fekete lyukból. Az a kérdés, hogy mi történik velük. Elpusztulnak, vagy egy másik világegyetembe jutnak? Borzasztóan szeretném tudni, mi erre a válasz. Nem mintha azon törném a fejem, hogy beleugorjak egy fekete lyukba.

SUE: Stephen, önt intuíciói, ösztönös megérzései vezérlik a munkában? Ezen azt értem, hogy először felállít egy tetszetős, vonzó elméletet és csak azután fog hozzá, hogy bizonyítsa? Vagy jó kutató módjára mindig logikai úton lépésről lépésre vonja le a következtetéseit anélkül, hogy megpróbálná előre kitalálni, mi lesz a végeredmény?

STEPHEN: Nagyon nagy mértékben megérzéseimre támaszkodom. Megpróbálom kitalálni az

eredményt, de azt azután be is kell bizonyítanom. És a munkának ebben a fázisában nagyon gyakran tapasztalom, hogy amit gondoltam, nem igaz, vagy hogy az eredmény valami olyan, amire nem is gondoltam volna. Így jöttem rá arra is, hogy a fekete lyukak nem teljesen feketék. Egész mást próbáltam bizonyítani.

SUE: Játsszunk újra zenét!

STEPHEN: Mozart a kedvenc zeneszerzőim egyike. Rengeteget írt. Az év elején ötvenedik születésnapomra megkaptam Mozart összes műveit CD-n. Több, mint kétszáz óra. Még mindig nem hallgattam teljesen végig. Mozart egyik legcsodálatosabb műve a *Requiem*. Mozart meghalt, mielőtt a művet befejezhette volna, így egyik tanítványa fejezte be a hátrahagyott töredékekből. Az introitus, amelyet hallani fogunk, az egyetlen olyan rész, amelyet teljes egészében Mozart írt. (ZENE)

SUE: Ha az elméleteit erősen leegyszerűsítjük - remélem, ezt megbocsátja nekem, Stephen - amennyire én értem, régebben azt gondolta, hogy létezett a teremtés pillanata, az úgynevezett ősrobbanás, de ma már nem hiszi, hogy így lett volna. Az a véleménye, hogy nem létezett sem kezdet, sem vég, hanem a világegyetem önmagában zárt egységet alkot. Ez azt jelenti, hogy nem létezett a teremtés, ezért Isten számára sincs hely a világegyetemben?

STEPHEN: Valóban erősen leegyszerűsítette a dolgot. Én továbbra is azt hiszem, hogy a világegyetem a valós időben az ősrobbanással kezdődött. De létezik az időnek a valós időre merőleges irányban egy másik fajtája is, a képzetes vagy imaginárius idő, amelyben a világegyetemennek nincsen kezdete vagy vége. Ez azt jelentené, hogy a világegyetem kezdetének a módját a fizika törvényei határozzák meg. Nem kell azt mondanunk, hogy Isten választotta ki, hogyan működjön a világegyetem, mégpedig valamilyen önkényes módon, amelyet mi nem érthetünk meg. Az elmélet nem állítja sem azt, hogy Isten létezik, sem azt, hogy nem - mindössze annyit állít, hogy Isten nem önkényes.

SUE: De ha fennáll a lehetősége annak, hogy Isten nem létezik, akkor hogyan magyarázza meg azt a sok mindent, ami a tudományon kívül fontos még a világban: a szeretetet, az emberek részéről önnel szemben is megnyilvánuló bizalmat, vagy éppenséggel a saját intuícióit?

STEPHEN: A szeretet, a bizalom és az erkölcs a fizikától teljesen különböző kategóriába tartoznak. Nem vezethető le a fizika törvényeiből, hogyan kell az embernek viselkednie. De remélhetjük, hogy a fizikában és a matematikában szokásos logikus gondolkodásmód esetleg morális viselkedésünket is befolyásolhatja.

SUE: Talán sokan úgy érzik, hogy ön szerint gyakorlatilag már nincs szükség Istenre. Ön szerint nem így van?

STEPHEN: A munkám mindössze azt bizonyítja, hogy a világegyetem keletkezésének módját nem kell Isten szeszélyének tulajdonítanunk. Azonban továbbra is fennáll az a kérdés, hogy miért veszi magának a világegyetem azt a fáradságot, hogy fennálljon. Ha tetszik, úgy is értelmezhetjük, hogy erre a kérdésre Isten adja meg a választ.

SUE: Hallgassuk meg a hetedik lemezt.

STEPHEN: Nagy operarajongó vagyok. Eredetileg azt gondoltam, hogy mind a nyolc kiválasztott lemezem opera lesz, Glucktól és Mozarttól kezdve Wagneren keresztül egészen Verdüg és Puccini-ig. Később azonban kettőre korlátoztam az operák számát. Az egyiknek mindenképpen Wagnernek kellett lennie, a másikat illetően pedig végül Puccini mellett döntöttem. A *Turandot*

Puccini legszebb operája, de ő is meghalt, mielőtt befejezhette volna a művet. Az a részlet, amelyet kiválasztottam, Turandot elbeszélése egy régi kínai hercegnőről, akit a mongolok meggyaláztak és elhurcoltak. Turandot bosszúból három kérdést tesz fel kérőinek. Ha nem tudják a kérdéseket megválaszolni, meg kell halniuk. (ZENE)

SUE: Mit jelent a karácsony az ön számára?

STEPHEN: Számomra a karácsony egy kicsit az amerikai hálaadás ünnepéhez hasonlít, amikor az ember családja körében hálát ad az elmúlt évért, és egyúttal előretekint a következő évre, amelyet az istállóban megszülető gyermek is jelképez.

SUE: És hogy a kézzelfogható dolgoknál maradjunk, milyen ajándékot kért karácsonyra - vagy ön most már elmondhatja magáról, hogy mindegyike megvan?

STEPHEN: Szeretem a meglepetéseket. Ha valami meghatározott dolgot kér az ember, akkor elveszi az ajándékozó szabadságát, illetve azt a lehetőséget, hogy használja a fantáziáját. De én azért nem titkolom, hogy nagyon szeretem a csokoládét.

SUE: Stephen, ön eddig már harminc évvel tovább élt, mint ahogy megjósolták önnek. Három gyermek apja, noha ezt lehetetlennek tartották. Írt egy olyan könyvet, amely a népszerűségi listák élén áll. Feje tetejére állította a térről és az időről alkotott ősrégi elképzeléseket. Milyen tervei vannak még, mielőtt búcsút vesz ettől a bolygótól?

STEPHEN: Mindez, amit felsorolt, csak azért volt lehetséges, mert olyan szerencsés voltam, hogy rengeteg segítséget kaptam. Örülök, hogy ennyi mindent elérhettem, de még nagyon sok minden van, amit tenni szeretnék, mielőtt búcsút kell mondanom a Földnek. Nem szeretnék a magánéletemről beszélni, de tudományos téren szeretném kideríteni, hogyan lehet a gravitációt a kvantummechanikával és a természet egyéb erőivel egyesíteni. És természetesen azt is szeretném tudni, mi történik a fekete lyukakkal, amikor elpárolognak.

SUE: Most hallgassuk meg az utolsó lemezt.

STEPHEN: Meg kell kérnem, hogy mondja ki helyes kiejtéssel a dal címét. A beszédészintetizátorom amerikai, és franciából reménytelen. A dalt Edith Piaf éneкли, címe "*Je ne regrette rien*" (Nem bánok semmit sem). Ez egyúttal életem összegzésének is tekinthető. (ZENE)

SUE: Stephen, ha csak egyetlenegyét vihetne magával a nyolc lemez közül, melyik lenne az?

STEPHEN: Mozart *Requiem*-je. Ezt addig tudnám hallgatni, amíg a CD-lejátszóm eleme ki nem merül.

SUE: És milyen könyvet vinne magával? Shakespeare összes művei és a Biblia természetesen a szigeten várják önt.

STEPHEN: Azt hiszem, George Eliot *Middlemarch* című regényét vinném magammal. Nem tudom pontosan, hogy ki, talán Virginia Woolf mondta, hogy ez felnőtteknek szóló könyv. Nem vagyok egészen biztos benne, hogy már felnőtt vagyok, de tennék egy próbát.

SUE: És mi az a luxuscikk, amelyet kiválasztott?

STEPHEN: Egy nagy adag crème brûlée. Ez számomra a legnagyobb luxus.

SUE: Szóval mégsem csokoládé, hanem crème brulée. Dr. Stephen Hawking, köszönöm, hogy bemutatta a lakatlan szigetre kiválasztott nyolc lemezét, és kellemes karácsonyi ünnepeket kívánok.

STEPHEN: Köszönöm, hogy engem választottak. Lakatlan szigetemről mindannyiuknak kellemes ünnepeket kívánok. Fogadni mernék, hogy a szigeten jobb idő van, mint Angliában.

Magyar nyelvű ajánlott irodalom

- Barrow, J. D.: *A Világegyetem eredete.* Kulturtrade, Budapest, 1994
- Davies, P.: *Az utolsó három perc.* Kulturtrade, Budapest, 1997
- Davies, P.: *Egyedül vagyunk a világegyetemben? A Földön kívüli élet felfedezésének filozófiai következményei.* Kulturtrade, Budapest, 1996
- Davies, P.: *Isten gondolatai. Egy racionális világ tudományos magyarázata.* Kulturtrade, Budapest, 1995
- Einstein, A.: *A speciális és általános relativitás elmélete.* Gondolat, Budapest, 1978
- Einstein, A.: *Válogatott tanulmányok.* Gondolat, Budapest, 1971
- Gibbons, G.: Forró fekete lyukak. In: Abonyi I. (szerk.): *Fizika '78.* Gondolat, Budapest, 1979
- Hawking, S. W.: A fekete lyukak kvantummechanikája. In: Abonyi I. (szerk.): *Fizika '78.* Gondolat, Budapest, 1979
- Hawking, S. W.: *Az idő rövid története (A nagy Bummtól a fekete lyukakig).* Maecenas, Budapest, 1989
- Kaufmann, W. J. III.: *Relativitás és kozmológia.* Gondolat, Budapest, 1985
- Lánczos K.: *A geometriai térfogalom fejlődése.* Gondolat, Budapest, 1976
- Landau, L. D. - Lifsic, E. M.: *Elméleti fizika (tankönyvsorozat) II. kötet: Klasszikus erőterek.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1976
- Laplace, P. S.: Fekete lyukak. In: Abonyi I. (szerk.): *Fizika'78.* Gondolat, Budapest, 1979
- Marx Gy.: *Atommagközelben.* Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1996
- Marx Gy.: *Kvantummechanika.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964
- Nagy K.: *Kvantummechanika.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1978
- Omnés, R.: *A Világegyetem és átalakulásai.* Gondolat, Budapest, 1981
- Pines D.: Növekvő neutroncsillagok, fekete lyukak és degenerált törpecsillagok. In: *Fizika '81/82.* Gondolat, Budapest, 1982
- Szalay A. S.: A neutrínótömeg a kozmológiában. In: *Fizika'78.* Gondolat, Budapest, 1979

Taylor, E. F. - Wheeler, J. A.: *Téridő-fizika*. Gondolat, Budapest, 1974

Weinberg, S.: *Az első három perc*. Gondolat, Budapest, 1982

Zeldovics, J. B. - Blinnyikov, Sz. I. - Jakura, N. I.: *A csillagszerkezet és csillagfejlődés fizikai alapjai*. Gondolat, Budapest, 1988