Értekezés a térről és az időről

48 éve halt meg Albert Einstein

német-amerikai fizikus
(született: 1879. március 14., Ulm; meghalt: 1955. április 18., Princeton / New Jersey)

Einstein a klasszikus fizika világképét forradalmasította. Speciális *(1905)* és általános *(1916-tól)* relativitáselméletének alapvető gondolatai szakítottak a fizikai jelenségek korábbi „stacionárius" tárgyalásmódjával, s azokat mint a tér-időszerkezet, valamint a tömegek függvényét írták le. Mindennek a következményeit a szakmai körök kezdetben vonakodva vették tudomásul, később azonban – főként amikor kísérleti bizonyításokra is megvolt a lehetőség – bizonyítottnak tekintették. Einstein megállapításai: A fénysebesség *(c)* túl nem léphető határsebesség. A tömeg arányosan nő a sebességgel. Tömeg *(m)* és energia *(E)* ekvivalensek. *(A híres $E = mc^2$ képlet 1907-ből való.)*

Einstein a Brown-féle molekuláris mozgásról alkotott elméletével az anyag molekuláris természetét, fénykvantum-hipotézisével pedig az elektromágneses sugárzás korpuszkuláris jellegét igazolta.

Einstein 1902 és 1909 között a berni szabadalmi hivatalban dolgozott, majd az elméleti fizika professzora lett Zürichben és Prágában, 1914-től pedig a Kaiser Wilhelm Institut igazgatója volt Berlinben. 1933-ban mint zsidó és a „Német Birodalom ellensége" az USA-ba emigrált, s ott mint meggyőződéses pacifista, de a német fegyverkezés miatt aggódó tudós pártfogolta az atombomba megszerkesztését. A fizikai Nobel-díjat 1921-ben nyerte el.[1]

Mint Stephen Leacock kanadai humorista annak idején írta, sok ember véleménye szerint Einstein munkásságát szinte lehetetlen megérteni: „De az igazi bajt maga Einstein kavarta. 1905-ben kijelentette, hogy nincs abszolút nyugalom. Attól fogva soha nem is volt... Einstein elmagyarázza, hogy nincsen olyan hely, hogy itt. »Hogy-hogy, válaszoljátok, én itt vagyok, az itt ott van, ahol most vagyok.« Igen ám, de mozogtok, körbe forogtok, ahogy a Föld forog, és a Földdel együtt forogtok a Nap körül, a Nap pedig egy távoli galaxis felé száguld az űrben, és ez a galaxis maga is másodpercenként 26.000 mérföld sebességgel robog. Akkor hát hol van az a hely, ami itt van!" Az 1700-as években Alexander Pope ezt írta Newtonról:

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

Ehhez két évszázaddal később J. C. Squire (1894-1958) hozzátett egy másik párverset:

„De nem soká. Az ördög jő s kiált:
»Fiat Einstein!« S a káosz helyreállt."

A relativitáselmélet a tudományos-fantasztikus irodalomra gyakorolta a legnagyobb hatást. A sci-fi írók számára ugyanis történeteik elbeszélésekor az egyik leg-

főbb problémát mindig is az jelentette, hogy a fény véges sebessége korlátozza az űrutazások sebességét. Mivel azok a szerzők, akik hőseiket Naprendszeren túli kalandokra küldik, tüstént szembekerülnek a hosszú utazási idő problémájával. Mint Kingsley Amis rámutatott: „Tény az, hogy a legközelebbieken kívül bármely más csillag eléréséhez több száz évre lenne szükség, még akkor is, ha az ember a fény sebességével utazna, melynek során, ha jól értem Einstein népszerűsítőit, az embernek végtelenné válna a tömege és zérussá a térfogata, ami pedig nem látszik kívánatosnak. Néhány író egyszerűen elfogadja ezt a nehézséget, és alakjait közvetlenül a leszállásig egyszerűen valamiféle mélyhűtőbe rakja, vagy pedig lehetővé teszi, hogy fogságban a megkövetelt számú nemzedéken át szaporodjanak. A szerző azonban leggyakrabban kimódol valamit, amivel megkerülheti Einsteint: bedobja a közkeletűen térhorpadásnak nevezett trükköt, vagy minden különösebb ceremónia nélkül megjeleníti a hipersebességet. Ehhez elég annyi, hogy »a térhorpadást alkalmazta« vagy »hipersebességre kapcsolta az űrhajót«."

Az írók figyelme általánosabb értelemben is a tér és az idő megértése felé fordult, s ennek következtében az idő és a tér 20. századi említéseinek olyan felhangjai vannak, amelyekkel a korábbi időszakokban nem találkozhatunk. Nyilvánvaló példát ad erre William Empson angol költő:

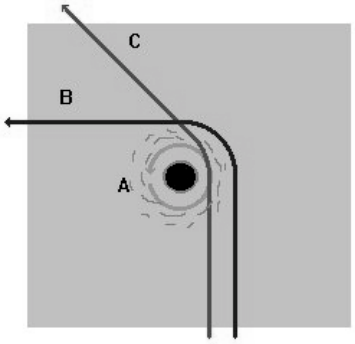
„Szabadságra hiába vágysz: a Tér,
csak gumicella, kerek, mint a föld.
Mérd mélyét, s ónod hátul visszatér,
a poklok mélyén vak sátán üvölt."

Az általános relativitás

Einstein saját kutatásaira összpontosította erejét, és újra megvizsgálta a relativitásról szóló 1905-ös dolgozatának alapvető korlátait. Hogyan lehetne ezt az elméletet úgy kiterjeszteni, hogy a változó sebességű testekre is érvényes legyen? Ha az ember gyorsulás hatásának van kitéve, például egy autóban, észlelheti egy erő jelenlétét, amely hátranyomja az ülésen, ám amikor a kocsi sebessége állandósul, ez az erő megszűnik. A gravitációs vonzás is olyan erő, amelyet az általa létrehozott nyomás révén észlelünk – a talpunkon, amikor állunk.

Einstein felismerte, hogy a gyorsulás és a gravitáció kölcsönhatásban vannak, ezért ha úgy tudja általánosítani relativitáselméletét, hogy az a gyorsulást is magában foglalja, akkor újat tud mondani a gravitációról is. 1905 óta dolgozott, hogy elméletét mindezek alapján kiterjeszthesse, de elképzelései csak az I. világháború közepére értek be. 1915-ben közölte tanulmányát új „általános relativitáselméletéről", amelyben kimutatta, hogy a gravitációt tekinthetjük a tárgy körüli tér torzulásának is, ahelyett hogy egy tárgy által kifejtett vonzásnak tekintenénk. Ez a torzulás gyorsulást hoz létre a mellette elhaladó testekben, amelyet közkeletűen „gravitációs vonzásnak" neveznek.

Képzeljünk el egy kifeszített, rugalmas, sík lapot, amelynek a közepére súlyt helyezünk, ami benyomja a lapot maga körül. Ha a lapon keresztülgurítunk egy golyót, s az elhalad a súly mellett, akkor a lapon lévő bemélyedés eltéríti az útjából, és csak a megfigyelő számára tűnik úgy, hogy a súly vonzotta magához a golyót. A Nap közelében a Nap jelenléte hasonlóképpen torzítja el a teret, mondja Einstein, mégpedig úgy, hogy a sokkal kisebb bolygókat Nap körüli pályákra téríti.



1. ábra

A TÉR, MINT RUGALMAS LEPEDŐ

A teret vizuálisan rugalmas lepedőként lehet elképzelni, amelyben egy súlyos tömeg bemélyedést hozott létre. Amikor ezzel találkoznak, a testek görbült pályát követnek: a mélyen a horpadásba süppedő, viszonylag lassan mozgó test *(A)* zárt pályát követ (mint a bolygók a Nap körül), a gyorsabb test *(B)* nyílt pályán mozog, míg a fénysugár *(C)* csak csekély mértékben térül el.

Einsteinnek a gravitációról adott leírása nyilvánvalóan különbözik Newtonétól. Newton úgy vélte, hogy a gravitációs vonzás a testek tulajdonsága, míg Einstein a gravitációt a körülöttük lévő tér tulajdonságaival magyarázta. De ez az eltérő nézőpont kezdetben csak nagyon csekély különbségre vezetett a két elmélet előrejelzései között: azonos eredmények ígérkeztek.

Néhány évre volt szükség, amíg a tudományos közvélemény teljes mértékben megértette Einstein 1915-ös dolgozatát és az általános relativitáselméletet. Eleinte egyetlen fontos bizonyíték szólt Einstein elmélete mellett, amely a Merkur bolygó Nap körüli pályájának vizsgálatából származott. A Merkur kering legközelebb a viszonylag hatalmas Nap mellett, és az összes többi bolygónál gyorsabban mozog, ezért az összes bolygó közül az ő esetében a legvalószínűbb, hogy eltérések mutatkoznak Newton előrejelzéseitől. A Merkur Nap körüli megnyúlt pályája az idők során lassan megváltozik. Ennek okait Newton elméletének alkalmazásával részben már tisztázták, de bizonyos csekély mértékű eltérést ezzel nem lehetett megmagyarázni. Einstein be tudta bizonyítani, hogy ez a csekély növekmény az ő elméletével megmagyarázható.

Az általános relativitáselmélet megerősítése

Ha Einstein kortársai számára érdekes volt is a Merkur csekély pályaváltozásainak magyarázata, ahhoz korántsem volt eléggé meggyőző, hogy elvessék Newton régen fennálló elméletét. Az Einstein mellett szóló, döntő bizonyítékot sokak számára egy másik előrejelzés szolgáltatta, amely a háború után látványosan bebizonyosodott. Newton elmélete azt jelezte, hogy egy, a Naphoz hasonlóan nagy tömegű test mellett elhaladó fénysugár kissé eltérülhet az útjából. Einstein elmélete hasonló hatást jelzett, de kétszer akkora eltérést jósolt, mint Newton elmélete. Az eltérés mértékét soha nem is próbálták megmérni: a Nap közelében elhaladó fénysugarat a Nap fényözönétől egyszerűen nem lehet látni. A kivezető utat Arthur Eddington *(1882-1944)* angol csillagász mutatta meg, akinek a háború ellenére sikerült megszereznie Einstein cikkét. 1919-ben az égbolt egyik olyan részén volt várható napfogyatkozás, ahol számos fényes csillag van, következésképpen mihelyt a Hold teljesen eltakarja a Nap korongját, az elsötétedett Földről ezeknek a csillagoknak a fénye a Nap szélének közelében láthatóvá válik. A fénysugarakat a Nap kissé eltéríti, azt a benyomást keltve, hogy a csillagok megváltoztatták égi pozíciójukat. A csillagok látszólagos eltolódásának mérésével ellenőrizhető Einstein előrejelzése. A napfogyatkozás megfigyelésére két brit expedíciót küldtek ki, az egyik Eddington vezetésével a Nyugat-Afrika partjai mentén fekvő Príncipe szigetére ment, a másik pedig Brazília északkeleti részére, Sobralba. A május 29-i napfogyatkozás megfigyelési eredményei teljesen egyeztek az általános relativitáselméletből levezetett értékekkel.[2]

A tér egyre tágul...

Az anyag – a világban létező összes jelenségek, objektumok és rendszerek végtelen sokasága. Az anyag olyan teljesen konkrét formák végtelen mennyiségében létezik, amelyek mindegyikének megvan a maga struktúrája, megvannak a maga különféle tulajdonságai, amely formák a maguk módján kölcsönös összefüggésben vannak, és reagálnak más formákkal, amelyek beletartoznak valami általánosabba – és így tovább – a végtelenségig.[3]

Felvetődik a kérdés, hogy ha lenne egy újabb, negyedik térdimenzió, akkor az miért nem látszik? P. Ehrenfest vizsgálta meg először ezt a kérdést. Őt az érdekelte, hogy miért pont három térdimenzió van, miért nem lehet több vagy kevesebb? A munkája során tisztázódott, hogy csak három térdimenzió esetén lehet stabil az anyagi világ, mind a makro-, mind a mikrovilágban. Így ha létezik is negyedik (vagy több) térdimenzió, arról nem veszünk tudomást. Csak különleges körülmények esetén alakulhatnak ki olyan természeti jelenségek, ahol a plusz térdimenzió hatása megjelenik. [Az elméleti fizikában több olyan modell is van, amely az ún. nagy egyesítést (a gravitációs és elektromágneses kölcsönhatás egységes keretbe foglalását) több mint három térdimenzió feltételezésével próbálja megoldani. A gömbvillámmal kapcsolatos feltételezésnek az is nagy elméleti jelentőséget ad, hogy amennyiben beigazolódik, segíthet eldönteni, hogy a modellek közül melyik az igazi.]

Számunkra szokatlan következményei lennének egy újabb térdimenziónak, s ezt egy egyszerű példával lehetne illusztrálni. Képzeljük el, hogy két térdimenziós, síkban élő megfigyelők vagyunk. Egy zárt helyiség ilyenkor pl. egy síkon lévő téglalap. Ebben a lapos világban csak úgy lehet ebbe a helyiségbe valamit betenni, ha az a „falon" keresztülmegy. Ha egy háromdimenziós térben élő megfigyelő helyez el egy tárgyat a lapos „szobában", ezt úgy is megteheti, hogy átnyúlik a „fal" felett, ami a lapos lény számára igencsak bizarr dolog.

Egy újabb, negyedik térdimenzió bevezetése után már nem jelent problémát akármilyen tárgyat elhelyezni a látszólag zárt, háromdimenziós helyiségben, bár az úgy tűnik az ott élő megfigyelőnek, mintha hirtelen a megmaradási törvények megsértésével „jelent volna meg" ott valami.[4]

Az idő meg nem áll...

„Mi hát az idő? – írja Szent Ágoston. – Ha senki sem kérdezi, tudom; ha kérdezik tőlem, s meg akarom magyarázni, nem tudom... Mert így van ez, Uram, Istenem, mérem, mérem, de mit mérek, nem tudom." *(Confessiones XI. Vass J. ford.)*

Newton az időről határozottabb kijelentést tesz: „Az abszolút, igaz és matematikai idő magától és saját természeténél fogva egyenletesen folyik bármilyen máshoz való viszonyítás nélkül..." *(Principia 5. Idézi Simonyi K.: A fizika kultúrtörténete. 1. kiadás. 227. o.)*

A mindennapi életben az időt a Nap járása után számítjuk. Valódi helyi dél van akkor, amikor a megfigyelőhelyen a napkorong középpontja áthalad a délvonalon. Természetes dolog, hogy minden földrajzi helynek más a valódi helyi ideje, hacsak nem azonos délkörön fekszenek. A mi szélességünkön kb. 75 kilométerenként 4 perccel különbözik a Nap delelési pillanata. Amikor például Budapesten valódi dél van, azaz a Nap járása után beszabályozott napóra pontosan delet mutat, a tőlünk keletre

eső 75 kilométeres távolságban már 12 óra 4 perc a valódi helyi idő. Budapesttől nyugatra pedig pl. a kb 150 km távolra fekvő Győr városában a valódi helyi idő még csak 11 óra 52 perc. Régebben minden városnak külön ideje volt. A hazánk keleti és nyugati peremén fekvő városok valódi helyi ideje közötti különbség megközelíti a fél órát.

Az említett kellemetlenségek elkerülésére vezették be a zónaidőt. Ennek alapján egy-egy nem nagy kiterjedésű ország egész területén egyforma az idő. A Greenwichet magában foglaló délkör 15 fokos körzetében érvényes a nyugat-európai idő. A hozzá csatlakozó zónában a közép-európai idő érvényes, itt az időkülönbség Greenwichhez képest 1 óra. A következő zóna a kelet-európai zónaidő, ahol két órával van több, mint Greenwichben. A Föld Greenwichcsel átellenes zónájában az időkülönbség már 12 óra. Ezen a földrajzi helyen azonban igen érdekes jelenséggel állunk szemben.

Tételezzük fel, hogy egy adott pillanatban Greenwichben éppen vasárnap dél van. Kelet felé haladva zónánként egy-egy órával több az idő. A Greenwichcsel átellenes ponton tehát vasárnapról hétfőre virradó éjfél van. Ha viszont nyugat felé haladva érkezünk el addig a vonalig, ott a szombatról vasárnapra virradó éjfélhez érkezünk el. Ugyanazon a földrajzi helyen tehát egyszerre van vasárnap hajnal és hétfő hajnal. Ezt a nevezetes vonalat dátumválasztó vonalnak nevezzük.

A dátumválasztó vonal egyik oldalán tehát mindig más napot írnak, mint a másik oldalon. A mi vidékünkön megszokott dolog az, hogyha külföldi út során zónahatárt lépünk át, át kell igazítanunk az órát. Kelet felé haladva egy órával előbbre kell állítani, nyugat felé haladva pedig visszafelé. A dátumválasztón áthaladva azonban a naptári napot kell megváltoztatni.

Ezért a közlekedési eszközök, a hajók és a repülők, hogyha tőlünk számítva kelet felé lépik át a dátumvonalat, akkor vasárnap után ismét vasárnapot írnak, tehát a naptári napot kétszer számolják; míg az ellenkező irányból érkezve vasárnap után azonnal keddet írnak, tehát egy napot átugranak.[5]

Az idő az anyag létformájának egyik jellemzője, dimenziója. Tartalmáról alkotott véleményünk az anyag tulajdonságainak, megnyilvánulásainak megismerésével párhuzamosan változik. Az újkori természettudomány elfogadta az abszolút idő fogalmát, amely „... természeténél fogva egyenletesen, minden tárgyra való vonatkozás nélkül telik.” Az időtágulás ismeretében azonban el kell vetnünk az abszolút idő fogalmát. Az idő mérésével kapcsolatban felmerült problémák alakították ki a mai időfogalmunkat, amelynek alapján elfogadott tény, hogy távoli események egyidejűségét nem tudjuk egyetemes érvénnyel megállapítani végtelen sebességű jel hiányában. A mozgó tárgyak esetében az időtartam hossza sem egyértelmű a sajátidő-tartam figyelembevétele nélkül. Az idő fizikai sajátságait tehát csak a térrel és az anyaggal való összefüggéseiben érthetjük meg.

Az időtágulás egy relativisztikus jelenség, amely abban nyilvánul meg, hogy egy inerciarendszerből mért időtartam mindig nagyobb, mint a benne mozgó testtel együtt mozgó megfigyelő által észlelt időtartam.

Az időtágulás pongyolán úgy is megfogalmazható, hogy „a mozgó óra lassabban jár”, és ez vezet a sokat emlegetett ikerparadoxonhoz vagy óraparadoxonhoz. Az időtágulás az atomfizikában igazolást nyert, nélküle egyes részecskéket nem is lehetne megfigyelni. Így pl. a kozmikus sugárzásban a légkör felső rétegeiben keletkező müonok élettartama $2{,}2 * 10^{-6}$ s, ami még fénysebességgel is csak 660 m megtételéhez volna elég, ennek ellenére a müonok a tengerszint magasságában is észlelhetők. Ez

azért lehetséges, mert mi a Föld felszínéről mintegy 30-szor hosszabbnak észleljük saját idejüket, így nagyobb távolságra juthatnak el szétbomlás előtt.[6]

Óraparadoxon, időparadoxon, ikerparadoxon: a speciális relativitáselmélet egy következményéből levezetett paradoxon. Az óraparadoxon az alábbi példával kapcsolatos: tekintsünk két teljesen egyformán és igen pontosan járó órát, pl. atomórát. Ha az egyiket egy űrszondán a világűrbe juttatjuk és az ott huzamosabb ideig nagy sebességgel halad, majd visszahozzuk a Földre és összehasonlítjuk az itthagyott órával, akkor a mindvégig a Földön maradt óra az időtágulás által meghatározott mértékben hosszabbnak fogja mutatni az eltelt időtartamot, mint az utazásból visszahozott óra.

Ellentmondásnak tűnhet, hogy a relativitáselmélet szerint a sebesség relatív, ezért úgy is tekinthetjük a mondott esetet, hogy az űrszondán elhelyezett órához képest a Földön hagyott óra száguldott el és jött ismét vissza, és éppen ezért azt is várhatnánk, hogy az űrszondán maradt óra mutat hosszabb időtartamot, nem pedig a Földön hagyott. Bebizonyítható azonban, hogy az az óra fog hosszabb időtartamot mutatni, amelyik többet haladt egyenletes mozgással, az pedig kevesebbet, amelyik többet gyorsult, és így feltétlenül a földi órának kell a hosszabb időtartamot jeleznie. A jelenség csak akkor mutatható ki, ha az űrszondán elhelyezett óra a fénysebességgel összehasonlítható sebességgel mozog. – Mivel abszolút idő nincs, az időtágulás mindenféle folyamatra érvényes, pl. biológiai folyamatokra is... Így az óraparadoxont két ikerre alkalmazva azt kapjuk, hogy az űrhajózást végzett ikertestvér a Földre való visszatérésig kevesebbet öregedett, mint a Földön maradt testvére. A végeredmény ellentmond a hétköznapi tapasztalatnak, ezért az óraparadoxonnal analóg módon ezt az esetet ikerparadoxonnak nevezik.[7]

Albert Einstein speciális relativitáselméletének *(1915)* legnevezetesebb megállapítása, hogy adott feltételek között az idő megrövidülhet. Ezt az elvet nevezzük „két óra” – vagy másként „ikerparadoxon”-nak. Az elmélet szerint az igen nagy sebességgel mozgó óra lassabban jár, mint a nyugalomban lévő. A megállapítás az életfolyamatokra is érvényes. Egy csaknem fénysebességgel közlekedő személy alig megöregedve tér vissza a Földre. Az elméleti megállapítást 1939-ben elemi részecskéknél igazolták. 1972-ben két fizikus, mégpedig J. C. Hafele, a Washington Egyetem, és Richard E. Keating, a Naval Obszervatórium munkatársai, új eljárást választottak. Nanoszekundum pontossággal járó órákat nagyon nagy sebességgel haladó repülőgépeken a Föld forgásával megegyező, illetve ellentétes irányba mozgattak. Amikor az órákat a földön lévőkkel összehasonlították, megállapították, hogy a kelet felé elmozgatott óra 59 nanoszekundumot késett, a nyugat felé mozgatott óra pedig 273 nanoszekundumot sietett. A különbségek a Föld tengelyforgásából adódtak.[8]

Az idő és a tér egymás nélkül mit sem ér...

A tapasztalatból nyert pszichológiai tér- és időfogalom szerint minden testnek meghatározott kiterjedése van, továbbá az egyes testeket meghatározott távolság választja el egymástól, és minden eseménynek időtartama van. Annak érdekében, hogy a fizikai problémákat tárgyalni tudjuk, a teret mérőrudak, az időt pedig órák alapján bevezetett időjelek segítségével mérhetővé kell tennünk.[9]

Vajon hogyan viszonyul egymáshoz a tér és az idő? Sok közös vonásuk van: a tér és az idő objektíve létezik, rajtunk kívül és tőlünk függetlenül; a tér és az idő örök és

végtelen, mivel a végtelen anyag általános létezési formáját képviselik. Egyúttal lényeges különbségek is vannak az idő és a tér között: a térnek három dimenziója van, az időnek – csak egy. A tér bármely irányban leolvasható, az idő pedig – csak egy irányban, más szóval, az idő irreverzibilis *(egyirányú)* és megfordíthatatlan: minden anyagi folyamat csak egy irányban halad – a múltból a jelenen át a jövő felé.[10] A gravitációs mezők létezése a négydimenziós tér-idő világ „görbületét" feltételezi. Ez a görbülés a térben levő tömegektől függően különböző, amit jól szemléltet majd, hogy a fénysugár minél nagyobb tömegű égitest mellett halad el, pályája annál jobban meggörbül. A speciális relativitáselmélettől eltérően az általános relativitáselmélet kísérletileg nehezebben bizonyítható.[11]

Idő, az emberi gondolkodásnak az a definiálhatatlan, mert mindennek alapul szolgáló formája, mely szerint képzeteink általában egymásra következnek, azaz rendjükben „előbbet" és „utóbbat" különböztetünk meg. Minthogy ez a rend teljesen független képzeteink tartalmától, az utóbbi miként a tér, formai alkotórésze fölfogásainknak. Kant az időt is szubjektívnek tekintette, tiszta a priori szemléletnek, mint a tért. Mi fogunk föl mindent az idő formájában, az idő, mellőzve a mi fölfogásunkat, csak a dolgokat tekintve, semmi. Ezzel szemben áll az idő realisztikus fölfogása, mely szerint az idő objektív módon van és benne folynak le az események. Az idő folytonos, miként a tér, azaz, az idő nem áll időpontokból, melyek épp úgy absztrakciók, mint a térpontok, két bármily közeli időpont közt is idő folyik. A térnek három kiterjedése van, az időnek csak egy, ezért vonal alakjában ábrázolható, de ennek a vonalnak az iránya csak egy értelemben haladható át, t. i. a jelentől a jövő felé. Az időbeli jelenségek objektív sorrendje megkülönböztetendő e sorrend szubjektív fölfogásától; ez utóbbi lélektani föltételektől függ és egyéni, az előbbi a térbeli jelenségek törvényszerűsége folytán pontosan és egyenesen határozható meg illetve mérhető.[12]

Az anyag mozgása nemcsak a térben megy végbe, hanem az időben is. Más szóval, a jelenségek fejlődése különböző időtartamú. Mondhatjuk, hogy a tér – az a rend, amelyben a különböző természeti objektumok együtt léteznek, az idő pedig az a rend, amelyben az anyagi folyamatok különböző stádiumainak sora váltja egymást. Ebből a tételből következik, hogy a tér és az idő az anyagtól elválaszthatatlanok és ebben rejlik univerzális jellegük.[13]

A fénysebesség a határérték?

Tapasztalati tény, hogy a hajó folyóvízben felfele lassabban, lefele gyorsabban halad. Minden iskolás gyerek tudja, hogy ha egy hajó sebessége álló vízben 10 km óránként, olyan folyóban, amelynek áramlási sebessége 4 km óránként, a hajó felfelé csak 6 km-es, lefelé 14 km-es óránkénti sebességgel halad. Vagyis a víz sebessége levonódik vagy hozzáadódik a hajó állóvízi sebességéhez.

Azt is tudjuk, hogy a 30 m másodpercenkénti sebességgel elrúgott labda 10 m/s sebességű szélben szélirányban 40 m/s, szél ellenében csak 20 m/s sebességgel halad.

Mindez így természetes és logikus.

A fény terjedési sebessége légüres térben és megközelítőleg levegőben is másodpercenként 300.000 km. A Föld Nap körüli sebessége kereken véve 30 km másodpercenként.

Ebből a legtermészetesebben az következnék, hogy szemben haladva a fénnyel

300.000 – 30, vele egy irányban haladva 300 000 + 30 km-es sebességet kellene észlelnünk.

Amikor ezt a nevezetes kísérletet elvégezték, azt a megdöbbentő eredményt kapták, hogy a fény sebessége 300.000 km/s, függetlenül attól, hogy elébe szaladunk vagy futunk előle.

Azt jelentené ez, hogy a Föld mégsem mozog a térben, nem keringünk a Nap körül?

Más fizikai kísérletek viszont határozottan igazolták, hogy a Föld Nap körüli keringési sebessége kereken véve 30 km/s.

Olyan ellentmondásba keveredtünk, amelyből úgy látszott, nem lehet kiszabadulni. Mivel a tapasztalt jelenségek nem fértek el a klasszikus fizikában, bővíteni kellett kereteit, új fizikát kellett teremteni. Ezt az új fizikát tehát a természet maga kényszerítette ki.

Mit is mond az elvégzett kísérlet alapján ez az új fizika?

Eszerint, ha 100.000 km sebességű űrhajóval a fény irányában haladunk, a mért fénysebességnek 400.000 km/s-nak kell lennie, ehelyett az eredmény 300.000 km/s lesz. A fénnyel megegyező irányban futva 200.000 km/s sebességet kellene észlelnünk, de az eredmény ebben az esetben is 300.000 km/s lesz.

Matematikailag: 300.000 + 100.000 = 300.000, vagy pedig 300.000 – 100.000 = 300.000. Azt jelentené ez, hogy baj van a matematikánkkal? Nem jelenti azt, csak arra kényszerít bennünket, hogy olyan matematikát alkossunk, amely a valóságnak megfelelően írja le a természetet.

Akinek van hozzá türelme, próbálja nyomon követni ezt az újfajta matematikát.

A 300.000 helyett írjunk c-t, a 100.000 helyett 1/3 c-t. Jelöljük az 1/3 c-t v-vel. Azt, amit kapunk $c + v$ vagy $c - v$-ből, vagyis az összeadás vagy a kivonás eredményét jelöljük V-vel. A relativitás értelmében c, v és V között a keretben látható összefüggés áll fenn. Így ha c-hez hozzáadunk v-t, vagy kivonjuk belőle, az eredmény c lesz. A klasszikus fizika szerint, ha 0,5 c-hez, vagyis a fénysebesség feléhez 0,5 c-t, fél fénysebességet adunk, az eredmény 300.000 km/s lesz.

$$V = \frac{c + v}{1 + \frac{c \cdot v}{c^2}}$$

A relativitás szerint – a keretben lévő képletet használva – az eredmény nem c, tehát nem 300.000, hanem 0,8 c, azaz 240.000 km/s lesz.

De ha 0,9 c-t adunk 0,9 c-hez, azaz 270.000 km/s-t adunk 270.000 km/s-hoz, az eredmény 298.350 lesz, tehát így sem érhetjük el a fény sebességét.

Ezért lett az új fizikában határsebesség a fény terjedési sebessége.

Az itt közölt összefüggés segítségével azt is kiszámíthatjuk, mi az eredmény, ha háromszoros fénysebességhez hozzáadunk egy fénysebességet. Azt kapjuk, hogy $3c + c$ is csak c lenne. El lehet fogadni ilyen képtelenséget?

Akik elfogadták, megalkották a XX. század tudományát és technikáját, akik nem fogadják el, mert az emberi értelem megcsúfolását látják benne, lázadoznak, mint azok, akiknek számára még mindig probléma, hogy forog-e és kering-e a Föld.[14]

Szuperfénysebességű objektumok

Képzeljünk el egy minden irányban egyenletesen sugárzó rádióforrást. Ha ez hozzánk mint megfigyelőhöz képest nyugalomban van, akkor megfigyelt sugárzásának térbeli intenzitás-eloszlása egy gömbbel szemléltethető, középpontjában a forrással.

Ha azonban a forrás nagy sebességgel mozog, a relativitáselmélet értelmében sugárzása a mozgás irányában erősebb, ellenkező irányban gyengébb lesz a nyugalmi állapothoz képest. Úgy látjuk, hogy sugárzása nyalábolódik *(fókuszálódik)* a mozgás irányába, az intenzitás-eloszlás pedig a gömbből elnyúlt ellipszoiddá torzul.

Ha tehát egy galaxismagból kilövelt sugárforrás nagy sebességgel közeledik felénk, fényességét sokkal erősebbnek látjuk, míg a távolodóét sokkal gyengébbnek. Ezért előfordulhat, hogy a két irányban asszimetrikusan kilövelt jelek közül csak az erősebbet észleljük, azt, amelyik felénk irányul. Ez a gyakran „Doppler-bootsting"-nak nevezett erősítő hatás meglepően tetemes is lehet. A fénysebesség 98 százalékával felénk mozgó forrást pl. eredeti fényességénél ezerszer fényesebbnek látjuk. Ez lehet tehát az egyik magyarázata az egyoldalú kilövelléseknek.

Van-e valamilyen más jele annak, hogy az egyoldalú kilövellések a megfigyelő irányában történnek? Igen, és ezt a feltételezést egy, a hetvenes évek elején született szenzációs felfedezés támasztja alá leghatásosabban.

Aki a relativitáselméletről valamit is hallott, annak a címmel kapcsolatban azonnal ellenérzése támad. Hogyan is létezhetnek a fénysebességnél nagyobb sebességű mozgások, amikor ez alapvetően ellentmond a relativitáselméletnek, amit egyébként számos kísérlettel igazoltak. A csillagászatban már eddig is sok meglepő jelenséget tapasztalhattunk, amelyek merőben eltérnek környezetünk megszokott viszonyaitól. Kevés megfigyelés váltott ki azonban olyan meglepetést és sokoldalú vitát, mint a fénynél nagyobb terjedésű mozgások megfigyelése a kvazárok belsejében. Ehhez hozzá szokták tenni, hogy „látszólagos szuperfénysebességről" van szó, vagyis – noha mi a Földről így észleljük – ez nem jelent a fénynél nagyobb sebességet az illető objektum vonatkoztatási rendszerében.

A hetvenes évek elején, amikor az első megfigyelési eredményeket közzétették, általában kétkedéssel fogadták a következtetéseket, és sokan abban bíztak, hogy a későbbi megfigyelések nem fogják ezeket megerősíteni. Az elmúlt tizenöt év eredményei azonban egyöntetűen arra mutatnak, hogy ezek a jelenségek továbbra is megfigyelhetők, és nem megfigyelési hibák vagy téves magyarázatok eredményei. Sőt egyre több extragalaktikus objektum esetében fedeznek fel a fénysebességet sokszorosan meghaladó sebességű mozgásokat. 1986-ban már tizennégy ilyen objektumról tudtunk, többségük kvazár, de előfordultak közöttük rádiógalaxisok is.

A megfigyeléseket a hatvanas években kifejlesztett rádiócsillagászati technikával végezték, amelynek neve „nagyon hosszú bázisvonalú interferometria", angol rövidítéssel VLBI. Lényege az, hogy nagy távolságban elhelyezkedő rádióteleszkópok egy rádióinterferométer elemeiként működtethetők anélkül, hogy fizikai kapcsolatban lennének egymással. A teleszkópok nagy távolsága és a megfigyelésnél alkalmazott rövid hullámhossz egészen különlegesen nagy felbontóképességet biztosít az ilyen megfigyeléseknél. Példaképpen megemlítjük, hogy Green Bank *(West Virginia, USA)* és Szimeiz *(Krím, Oroszország)* rádióteleszkópja között a távolság 8000 km. A 3 cm-es hullámhosszon a két rádióteleszkópból álló interferométer felbontóképessége $6 * 10^{-4}$ ívmásodperc. Ez mintegy ezerszerese a Földön elhelyezett optikai teleszkópokkal elérhető szögfelbontásnak.

A VLBI technika – a rádiócsillagász „mikroszkópja" – különösen alkalmas rendkívül kis szögkiterjedésű rádióforrások szerkezetének feltérképezésére és ugyanakkor a szerkezetben viszonylag rövid idő alatt beálló változások megfigyelésére. Ezért első-

sorban rádiógalaxis-magok és kvazárok szerkezetének vizsgálatára alkalmazzák.

Az alábbiakban az elsők között felfedezett öt szuperfénysebességű rádióforrást ismertetjük.

A 3C345-ös kvazár: Az egyik legrégebben és legrészletesebben tanulmányozott csillagszerű rádióforrás a 3C345. Vöröseltolódása z = 0,595, amiből kiszámítható a távolsága. A Hubble-konstans értékét H = 55 km/s/Mpc-nek véve, távolságára 7,8 milliárd fényév adódik. *(Pozíciója: RA 16h 41m, D = +39°)* Magas deklinációja miatt különösen jól megfigyelhető az északi féltekén levő rádióobszervatóriumokból. Ez a kvazár mind optikai, mind rádiófényességét változtatja. Az optikai fényváltozások néhány napos, néhány hetes időskálán mutatkoznak meg, és elérik a 2 magnitúdót. Hosszú ideig tartó, néhány hónapos, néhány éves változások is megfigyelhetők fényességében. A rádiómegfigyelések szerint a rövidebb hullámhosszak felé egyre nagyobb fluxusingadozások mutatkoznak. Spektruma jellegzetes, szinkroton eredetű rádiósugárzásra vall. Az első VLBI megfigyeléseket 1968-ban végezték, amely során kiderült, hogy néhány ezred ívmásodperc kiterjedésű rádiószerkezete van. Később két, egymástól függetlenül dolgozó kutatócsoport egyöntetűen arra az eredményre jutott, hogy a 3C345 magja kettős szerkezetű, vagyis a sugárzás két gócból ered 4 cm-nél rövidebb hullámhosszakon. A két komponens szögtávolságát több éven keresztül nagy gonddal figyelték, és azt tapasztalták, hogy távolodnak egymástól. Távolságuk 7 év alatt mintegy háromszorosára növekedett, ami $0,17 * 10^{-3}$ ívmásodperc/év távolodási szögsebességnek felel meg. A távolodás azonban nem teljesen egyenletes. 1972/73-ban mintha kisebb mértékű lett volna, mint az 1975/76-os években. A komponensek távolodásának szögsebessége az objektum távolságának ismeretében átszámítható tényleges sebességre. Ebből a 3C345 rádiókomponenseinek távolodási sebességére hétszeres fénysebesség adódik. A komponensek távolsága független a megfigyelési hullámhossztól, sugárzásuk erőssége viszont nem. Ez azt jelenti, hogy a gócok spektruma különböző. A kilövellés irányában sem tapasztaltak hullámhosszfüggőségeket; a pozíciószög értéke 105° " 3°. A komponensek távolodása alapján visszafelé számolva meghatározható e folyamat kezdetének időpontja, amely 1966-ra tehető. A 3C345 sugárzásában hirtelen fellángolást tapasztaltak az 1966-os évet követően, 2 év alatt a sugárzás erőssége a kétszeresére növekedett. Ez az erős sugárzás azóta is fennmaradt. A két időpont közelsége arra vall, hogy a két jelenség összefüggésben állhat egymással.

A 3C273-as kvazár: Bár a 3C273 az első azonosított kvazár *(Pozíciója: RA 12h 26m, D = +2°)*, alacsony deklinációja alaposan megnehezíti VLBI megfigyelését. Vöröseltolódása: z = 0,158, ami 2,6 milliárd fényév távolságnak felel meg. Szerkezete összetettebb, mint a 3C345-é, és ha figyelembe vesszük kedvezőtlenebb elhelyezkedését is az égbolton, nem csoda, ha különböző szerzők különbözőképpen magyarázzák a méréseket. Egy dologban azonban megegyeznek: nevezetesen abban, hogy 1971 és 1974 között a 3C273 kiterjedése jelentős mértékben növekedett. A legvalószínűbb modellillesztés szerint belső szerkezete három komponensre bomlik, amelyek egy vonalban helyezkednek el 64°-os pozíciószögben. A két külső komponens egymáshoz viszonyított távolodási szögsebessége $9 * 10^{-4}$ ívmásodperc, ami tizenkétszeres fénysebességnek felel meg a 3C273 távolságában. A komponensek méretei 3-13 fényév közöttiek. Ezt a modellt 1975-ben publikálták. Az újabb összefoglaló adatok szerint az utóbbi 7 év átlagában a távolodás szögsebessége csak $3,2 * 10^{-4}$ ívmásodperc, vagyis a fénysebesség 4,2-szerese. A távolodás alapján visszafelé számolva a folyamat kezdeti

időpontjára 1966 adódik. A 3,8 cm-es hullámhosszon végzett intenzitás-megfigyelések a 3C273 esetében is hirtelen fellángolást tanúsítanak.

A 3C120-as rádiógalaxis: A 3C120 jelű rádiógalaxis talán a legfigyelemreméltóbb szuperfénysebességű objektum. Vöröseltolódása *(z = 0,033)* alapján távolsága 580 millió fényév. *(Pozíciója: RA 4h 30m, D = +5°)* Intenzitása jelentős mértékű szabálytalan ingadozásokat mutatott, ezért sok megfigyelő csillagász figyelmét vonta magára. VLBI megfigyelési kampányok alkalmával előfordult, hogy egyidejűleg négy teleszkóp is megfigyelte. Az együttes megfigyelések kiértékelése szerint a forrás két sugárzó gócból áll, ezek azonban a teljes sugárzásnak csak kis részét szolgáltatják, és mintegy beágyazódnak egy kiterjedtebb, de ismeretlen szerkezetű sugárzó közegbe. A két góc pocíciószöge 65°. Két távolodási folyamat figyelhető meg. Az első 1972-ben kezdődött és 1974-ig követhető, a távolodás sebessége a fénysebesség ötszöröse. A második 1974-ben kezdődött, és sebessége a fénysebesség nyolcszorosa. Mindkét esetben a pozíciószög 65°.

A 3C279-es kvazár: A 3C279 jelű kvazár vöröseltolódása z = 0,538, ebből kiszámíthatóan távolsága 7,2 milliárd fényév *(Pozíciója: RA 12h 53m, D = -5°)*. Erről a forrásról állnak a legbizonytalanabb adatok rendelkezésre. 1970-1973-ban végeztek VLBI megfigyeléseket a 3,8 cm-es hullámhosszon. Ezek alapján táguló kettős forrást találtak magjában, amelyek távolodási sebessége $0,27 * 10^{-3}$ ívmásodperc/év. Ez az érték tízszeres fénysebességnek felel meg a 3C279 távolságában. Lehetséges, hogy itt is megfigyelték egy tágulási folyamat kezdetét, mert 1972 márciusában és áprilisában a megfigyelt kompakt sugárzási góc mérete kisebb volt, mint a VLBI rendszer felbontóképessége, de 1972 novemberében ugyanezzel a rendszerrel már sikerült felbontani.

A 3C179-es kvazár: Tízévi szünet után sikerült az ötödik szuperfénysebességű objektumot felfedezni. A 3C179-es jelű kvazár belsejében R. W. Porcas, a bonni Max Planck Rádiócsillagászati Intézet munkatársa olyan mozgásokat észlelt, amelyek 7,6-szorosan felülmúlják a fény sebességét. Ráadásul az első olyan szuperfénysebességű kvazár, amelyből szimmetrikus, nagy kiterjedésű kettős rádiónyaláb nyúlik ki.

A 3C179 egy halvány, 18 magnitúdós csillagszerű rádióforrás, amely 163.000 km/s sebességgel távolodik tőlünk. Vöröseltolódása z = 0,843, aminek alapján távolsága 9,7 milliárd fényévre becsülhető.

A külső szimetrikus rádiónyaláb kiterjedése 14 ívmásodperc. A sugárzás 30 százaléka azonban egy eddig felbontatlan, igen kompakt középponti magból származik. Ezt a magot tette vizsgálata tárgyává Porcas. Akkor még nem volt ismeretes, hogy a mag 10 éves és 1 éves időskálán is változtatja sugárzásának intenzitását.

A megfigyeléseket két alkalommal, 1979 októberében és alig egy évvel később, 1980 decemberében végezték VLBI technikával a 10,7 GHz-es frekvencián, négy rádióteleszkóppal egyidejűleg az Effelsberg *(Németország)*, Green Bank *(West Virginia)*, Haystack Obszervatórium *(Massachusetts)* és az Owens Valley *(California)* állomásokon. Mind a négy állomás fel volt szerelve hidrogénlézer-atomórákkal, amelyek a jelenleg létező legstabilabb oszcillátorok. Ez tette lehetővé, hogy a jeleket legalább négy percig összegezhessék úgy, hogy fázisuk egymáshoz képest ne változzék jelentősen. Erre azért volt szükség, mert a 3C179 nem tartozik az erős rádióforrások közé, és csak tartós jelösszegzéssel lehet kiemelni a háttérzajból. A VLBI állomások legnagyobb felbontóképessége 0,5 mas *(ezred ívmásodperc egység)* volt. Mindkét alkalommal legalább 11 órán át követték a forrást az állomásokon, és így megbízható-

an kiértékelhető megfigyelési anyaghoz jutottak.

Az 1979-es megfigyelések kiértékelésekor kiderült, hogy a középponti magot sikerült felbontani. Két sugárzási gócból áll, amelyek távolsága 1,07 " 0,01 mas; az 1980-as megfigyelési anyag kiértékelésekor a két gócot ismét megtalálták, távolságuk azonban 1,24 " 0,01 mas-re növekedett. Ez a változás 7,6-szoros fénysebességnek felel meg a 3C179 távolságában. A távolodás alapján visszafelé számítva 1972-ben kellett ennek a folyamatnak megindulnia. Sajnos, ebből az időből nincsenek rádiómegfigyelések a 3C179-ről, amelyek a kvazár hirtelen kitörését észlelték volna.

A két komponens relatív erőssége is változott a két megfigyelési időszak között. 1979-ben a keleti góc kétszer olyan erős volt, mint a nyugati. 1980-ban az eltérés tovább növekedett. Ezen a skálán már egyik komponens sem bontható fel, és nem egészen világos, melyik tekinthető a tényleges magnak és melyik a kivált nyúlványnak. Egyes jellemzők azonban mégis arra vallanak, hogy az erősebb keleti komponens a kompaktabb, ezért ez lehet a kvazár valódi magja.

A 3C179-es kvazár esete azonban más szempontból is figyelemre méltó. Kiterjedt kettős nyalábja miatt a kvazárok olyan csoportjába tartozik, amelyek között nem feltételeztek szuperfénysebességű objektumokat. P. Scheuer és A. Readhead angol asztrofizikusok ugyanis kifejezetten megjósolták, hogy az ilyen szimmetrikus kettős nyalábot tartalmazó kvazárok között nem fognak szuperfénysebességű objektumokat találni. Mégis sikerült, és ez azt bizonyítja, hogy a kvazárokra vonatkozó elméleteink nem tökéletesek, illetve a szuperfénysebességű objektumok előfordulása gyakoribb, mint korábban feltételezték.

A szuperfénysebességgel táguló objektumokról összefoglalásul a következőket mondhatjuk.

A centiméteres hullámhosszakon a legerősebb rádióforrásoknak csaknem a fele a fénysebességnél nagyobb sebességű tágulás jeleit mutatja. Méretük néhány év alatt tízszeresre is megnövekedhet.

Rendszeres összehúzódást nem figyeltek meg. A komponensek távolsága a forráson belül lényegében független a megfigyelési hullámhossztól, bár spektrumuk eltérő lehet. Pozíciószögük a tágulás során általában nem változik, de előfordulhatnak kivételek. Legalább egy esetben *(3C120)* két kitörést tapasztaltak ugyanazon pozíciószög irányában.

A komponensek távolodásának megindulására extrapolált időpont körül általában hirtelen sugárzásnövekedés figyelhető meg.

A 3C345-ről és a 3C120-ról összesített adatok kétkomponensű forrásra utalnak. A 3C273 ezeknél bonyolultabb szerkezetű. Vannak az említettekhez teljesen hasonló méretű és intenzitású rádióforrások, amelyek egyáltalán nem mutatnak szerkezeti változást az idők folyamán, bár sugárzási intenzitásuk jelentősen ingadozik. Ilyenek pl. a 3C84 és az NRAO 150 jelű rádióforrások.

A szuperfénysebességű tágulással kapcsolatban a legkézenfekvőbb ellenvetés a kvazárok kozmológiai távolságának kétségbevonása. Ha a kvazárok távolságát nem számíthatjuk vöröseltolódásukból, és azok a feltételezett távolságnál kb. 1 nagyságrenddel közelebb vannak, a mért távolodási sebességek azonnal fénysebességnél kisebbekké válnak.

Megfordítva a gondolatmenetet, többen éppen az említett méréseket hozták fel a kvazárok lokális jellegének bizonyítékaként.

Ez az érvelés azonban nem állja meg a helyét, mert pl. a 3C120 jelű forrás rádiógalaxis és nem kvazár, mégis szuperfénysebességű tágulás jeleit mutatja.

Több olyan elmélet is született, amellyel megkísérelték megmagyarázni a szuperfénysebességű mozgásokat a relativitáselmélet keretein belül.

Az ún. „karácsonyfa”-modell szerint az említett rádióforrások több komponensből állnak, melyek egymáshoz képest változtatják sugárzásuk erősségét. Amikor az egyik komponens elhalványul, egy másik pedig megerősödik, a távoli szemlélő azt észleli, hogy a sugárzási góc hirtelen helyet változtat. Ennek sebessége természetesen tetszőlegesen nagy lehet.

Az a tény, hogy a legerősebb kompakt rádióforrások csaknem fele szuperfénysebességgel tágul, sőt az egyikük esetében két alkalommal is megfigyelték kettős komponensek kialakulását, nyomósan a „karácsonyfa”-modell ellen szól. Ennek alapján statisztikusan ugyanis ugyanannyi összehúzódó rádióforrást kellene észlelni, mint amennyi tágulót figyelnek meg. Összehúzódást azonban eddig nem tapasztaltak.

A legszélesebb körben M. Rees neves angol asztrofizikus egyik modelljét fogadják el. E szerint, ha egy távoli objektumból közel fénysebességű részecskék indulnak ki a külső megfigyelő irányához közeli irányban, a gócok szögtávolságának méréséből a távoli külső szemlélőnek a fénynél nagyobb távolodási sebesség adódik. A modell egyik érdekessége, hogy Rees 1966-ban publikálta, amikor még nem tudtak ilyen objektumok létezéséről.

Rees modellje kétségtelenül egzakt magyarázatot ad arra, miképpen tűnhet egy saját rendszerében fénysebességnél kisebb sebességű mozgás a külső szemlélő számára szuperfénysebességűnek. Gyengéje viszont, hogy a kitörés és a megfigyelő kölcsönös irányának olyan túl speciális esetét tételezi fel, amely statisztikusan csak ritkán fordulhat elő. Tágabb összefüggésben tekintve, ezt a fajta modellt azonban igen sikeresnek mondhatjuk. A felsoroltakon kívül egyéb elméletek is napvilágot láttak, de még egyiküket sem fogadták el széles körben. Lehetséges, hogy nem is lehet egyetlen elmélettel megmagyarázni a szuperfénysebességgel táguló objektumok minden tulajdonságát, hanem az elméletek kombinációja segít majd. Azt sem zárhatjuk ki, hogy ezeknek az objektumoknak további sokoldalú megfigyelése újabb meglepetéseket tartogat még.[15]

Távolság és utazás

Hogyan képzeljük el a csillagközi távolságokat? Napjainkban már eltekinthetünk az Alfa Centaurira induló képzeletbeli vonattól. Mindenki tudja már, hogy hány nap szükséges a harminc földátmérőnyire lévő Holdra való repüléshez. A Pioneer-10, amely 1972 márciusában startolt a Jupiterre, 1980-ban ért el az Uránuszig. 1 pc távolságot pedig 80.000 év alatt tesz majd meg...[16]

Érthető ugyanakkor, hogy a gigantikus csillagászati távolságokat kilométerekben kifejezni legalábbis nehézkes. Valamivel jobb ennél még a csillagászati egység *(CsE)* is. A sztellárasztronómiában elfogadott távolságegység a parsec *(pc)* – az elnevezés két szó összevonásából ered: parallaxis és secundum. Pc távolságra van az a csillag, amelynek parallaxisa 1 szögmásodperc. A parallaxisból a parsecben kifejezett távolság igen egyszerűen kiszámítható a keretben lévő képlettel. A meghatározásból következik, hogy 1 pc = 206.265 CsE. Egy kiloparsec *(kpc)* egyenlő 1000 pc. A fényévet kizárólag csak a népszerűsítő irodalom-

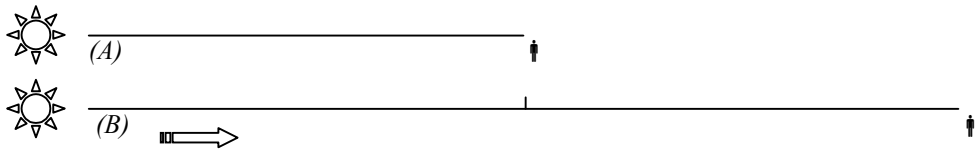
$$r = \frac{1}{\pi} \cdot pc$$

ban használják. 1 pc = 3,259 fényév = 3,08 ∗ 10^{+18} cm. A legközelebbi csillag, az Alfa Centauri 1,32 pc távolságra van, és parallaxisa 0,"75.[17]

Hogyan közelíthet meg az ember egy olyan csillagot, ahonnan a fénysugár is csak ezer év alatt érkezik el hozzánk? Hiszen egy ilyen út oda-vissza még a fény sebességével haladó gépen is kétezer évig tartana. Sok emberöltőnek kellene váltania egymást az ilyen út megtételéig.

A relativitás elmélete szerint azonban, mint minden méréssel kapcsolatos fizikai mennyiség, az idő is relatív. Ez a relativitás kimutatható módon akkor jelentkezik, ha két rendszer egymáshoz viszonyított egyenesvonalú sebessége megközelíti a fény terjedési sebességét. A mai rakétákkal még a 10 km/s érték körül tartunk. Ezt kellene felfokozni másodpercenként közel 300.000 kilométerre. Ilyen űrhajóban más lenne az idő folyása, számára megrövidülne a távolság, és kiszámítható, hogy elméletileg akár 10 év alatt is megtehető egy hasonló út. A 10 év azonban csak a rakétákban ülők számára 10 év, az itthon maradt földiek között ezalatt több mint 2000 év telik el.

Nem nehéz kiszámítani, hogy egyetlen kilogrammos tömeg közel fénysebességre való gyorsításához kétmilliárd kilogramm tiszta alkohol értéke szükséges. Ha ez az egy kilogrammos kis űrhajó élőlényt is vinne, a felgyorsítás ideje közel egy évig tartana. Induláskor tehát magával kellene vinnie az ehhez szükséges üzemanyagot is. Ez pedig már egymaga kétmilliárd kg alkohol vagy vele egyenértékű más üzemanyag. Öthat év alatt ez a rakéta egy kilogrammos hasznos teherrel elérné az 1000 fényévre lévő csillagot, s a közelében fénysebességgel száguldana el. Ha le akarna szállni a csillagon, sebességének lefékezése ugyanennyi energiát igényelne, mint felgyorsítása igényelt. A visszainduláshoz ismét annyi és a Földre való leszállásoz ismét ugyanannyi energiára lenne szüksége. Az induló rakétának tehát mint hasznos terhet annyi üzemanyagot kellene magával vinnie, amennyi sokszorosan meghaladja a Föld jelenlegi egész energiakészletét; és az esetben is még mindig csak egyetlen kilogramm térhetne vissza. Nem sokat segít a problémán az, ha a közönséges üzemanyag helyett a milliószoros hatásfokú atomenergiával számolunk.[18]



2. ábra

MEGOLDÁS AZ IDŐUTAZÁS VÉGREHAJTÁSÁHOZ?

Ha a megfigyelő a sugárforrásból kiinduló fény-, ill. rádiójelet észlelte *(A)*, és gyorsabban tud mozogni a fénysebességnél *(300.000 km/s)*, akkor elvileg képes egy későbbi időpontban a jelet újra megfigyelni *(B)*, abban az esetben, ha az impulzusjelet megelőzve a sugárzott jel haladásának irányában mozog. A megfigyelőnek tehát semmi más dolga sincs, mint a sugárzott jelet megelőzni. A folyamatot elvileg végtelen mennyiségben meg lehet ismételni *(ha figyelmen kívül hagyjuk a jelforrás szétszóródásának lehetőségét)*. Ebben az esetben egy elvileg csak egyszer lezajló történést többször is megnézhetünk. Ez hasonló egy esetleges időutazáshoz, igaz, ebben az esetben csak a sebességgel és a térben való elhelyezkedéssel hoztuk létre ezt a különös időutazást. A tudomány mai állása szerint ez a fajta időutazás természetesen csak fikció. Sokan nem is értenek egyet ezzel az elmélettel, szerintük az időutazás egészen mást jelent. Hogy ki melyik táborba sorolja önmagát, azt mindenki döntse el maga...

Jegyzetek

1 A technika krónikája. *(Szerk.: Felix R. Paturi)* Officina Nova, Budapest, 1991. 623. o.
2 A tudomány csodálatos világa. *(Szerk.: Jack Meadows)* Helikon, Budapest, é. n., 238-241. o.
3 A világ körülöttünk – Beszélgetések a világról és törvényeiről. Kossuth K., Budapest, 1978. 237. o.
4 Egely György: A titokzatos gömbvillám. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988. 134-135. o.
5 Kulin György – Róka Gedeon: A világegyetem. Gondolat, Budapest, 1965. 99-100. o.
6 Űrhajózási Lexikon. *(Főszerk.: Almár Iván, szerk.: Horváth András)* Akadémiai– Zrínyi, Budapest, 1984. 261. o.
7 Uott. 526-527. o.
8 A technika krónikája. i. m. 542. o.
9 Természettudományi Kisenciklopédia. *(Szakszerk.: Gellert, W.; Gärtner, R.; Küstner, H.; Wolf, G.)* Gondolat, Budapest, 1983. 603. o.
10 A világ körülöttünk – Beszélgetések a világról és törvényeiről. i. m. 241. o.
11 A technika krónikája. i. m. 393. o.
12 Révai Nagylexikona – Az ismeretek enciklopédiája. X. k. Szépirodalmi – Babits Könyvkiadó, Budapest, 1992. 466. o.
13 A világ körülöttünk – Beszélgetések a világról és törvényeiről. i. m. 241. o.
14 Kulin György: Mit mondanak a csillagok? Gondolat, Budapest, 1976. 164-167. o.
15 Emmanuil Jakovlevics Vilkoviszkil: A rejtélyes kvazárok. Gondolat, Budapest, 1988. 102-113. o.
16 Jurij Nyikolajevics Jefremov: A világmindenség mélységeiben. Gondolat, Budapest, 1978. 23. o.
17 Uott. 21. o.
18 Kulin György – Róka Gedeon: A világegyetem. i. m. 139-140. o.

Összeállította:
Ambrus Attila József