

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Matematikai és Physikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

LX. évfolyam

3. szám

2010. március

TERMÉSZETES, HOGY A VILÁGEGYETEM ALKALMAS AZ ÉLET SZÁMÁRA?

Németh Judit, ELTE TTK Fizikai Intézet
Szabados László, MTA KTM Csillagászati Kutatóintézet

Az Univerzumban az a legérthetlenebb, hogy megérthető. Albert Einstein híres mondásának a mélysége ma már feltárul a Világegyetem szerkezetével és fejlődésével foglalkozó szakértők előtt, sőt még az érdeklődő laikusok is beláthatják, hogy a mondásban mennyi igazság rejlik (noha természetesen az igazi megértéstől messze vagyunk). A megérthetőség (amennyiben létezik) egyik oka az, hogy az anyag és a fizika törvényei az egész Világegyetemben ugyanazok, mint itt a Földön, ahogyan ez már Newton óta ismert, és a legtávolabbi galaxisokban is ugyanolyanok az atomok, azok gerjesztett állapotai és a kémia törvényei, mint a földi rendszerekben. A másik ok az, hogy a szükséges törvények és maga a rendszer is egyszerűek és könnyen felfoghatóak. Érdekes azonban megemlíteni, hogy noha a fizika és kémia törvényei azonosak a Földön és a Világegyetemben, az Univerzum fejlődése nemcsak az általános törvényszerűségektől, hanem több apró részlettől, bizonyos mennyiségek meghatározott értékétől is függ, és ha néhány fontos, vagy néha akár jelentéktelennek tűnő adat értéke néhány százalékkal más lenne, a Világegyetem egészen másképpen fejlődött volna, és élet nem alakulhatott volna ki. (Ezeknek az adatoknak egy részére több kiváló kozmológus is rámutatott.) Néhány ilyen fontos adatot fogunk a következőkben áttekinteni a teljesség igénye nélkül.

A Világegyetem anyaga és az abban fellépő kölcsönhatások

Bevezetőként, a későbbiek világosabb megértése céljából tekintsük át röviden a Világegyetem anyagát és az abban fellépő kölcsönhatásokat. A következőkben az Univerzum alkotórészei közül csak azokat soroljuk fel, amelyek fontosak lesznek számunkra, és

nem célunk az összetett részecskék alkotórészeinek felsorolása, ha azokra a későbbiekben nincs szükségünk (pl. a protonok és neutronok esetén nem beszélünk a kvarkokról, de az atomokról megemlítjük, hogy atommagból és elektronokból állnak).

A Világegyetem anyagának egy része, akárcsak a Nap vagy a Föld anyaga, neutronokból és protonokból áll. Ezeket nevezik barionoknak. A barionok erős kölcsönhatásban vesznek részt, az erős kölcsönhatás tartja össze az atommagokat. A Világegyetem fontos alkotórészei a barionok mellett az elektronok. A töltött részek elektromágneses kölcsönhatásban vesznek részt, amely három nagyságrenddel gyengébb, mint az erős kölcsönhatás, ez tartja össze az atomokat. Fontos szerepük van még a neutrínóknak is, ezek tömege csekély, és csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt (az előző részekkel együtt). Valamennyi részecske a tömegének megfelelő mértékben részt vesz a gravitációs kölcsönhatásban. Amíg az erős kölcsönhatás csak 10^{-13} cm-en belül hat (ezért olyan kicsik az atommagok), az elektromágneses és a gravitációs kölcsönhatás hatótávolsága végtelen. Az elektromágneses kölcsönhatás százezer-szer erősebb a gyenge kölcsönhatásnál és 10^{36} -szor erősebb a gravitációs kölcsönhatásnál. (A feles spinű részeknek vannak antirészei, egy részecske és egy antirészecske összetalálkozva szétsugározhat, de ezzel itt nem foglalkozunk.)

A galaxisokat alkotó csillagok mozgásából megállapították, hogy sokszor annyi gravitációs anyag van az egyes galaxisokban, mint amennyi a barionos anyag. Ez utóbbi értékét a primordiális (korai) magreakciókban kialakult atommagok (deuteron, hélium, lítium) mennyiségének meghatározása révén kapták meg. A többlet-anyag csak gravitációs kölcsönhatásban vesz részt, elektromágnesesben nem, nem bocsát ki fényt, ezért sötét anyagnak nevezték el. A sötét anyagot

nehéz közvetlenül megfigyelni, de az utóbbi években létét galaktikák ütközésénél kimutatták a csillagászok. Az eddigi kutatásokból az is kitűnik, hogy a gravitációs kölcsönhatásban a döntő szerep a sötét anyagé.

A Világegyetem fejlődése

A későbbiek megértése végett néhány fontos részletet említünk a Világegyetem fejlődésével kapcsolatban. A huszadik század jelentős részében az az elképzelés uralkodott, hogy a Világegyetem egy nagyon kis, forró pontból fejlődött ki, ezt nevezik Ősrobbanásnak. Az Ősrobbanás után az Univerzum tágult, és mint minden forró rendszer, a tágulás során egyre hűlt. A forró anyagban a neutronok és a protonok (barionok) egyforma számban léteztek, mert a hihetetlen nagy hőenergiához képest elhanyagolható ezek nyugalmi energiájának különbsége.

Az Ősrobbanás-elképzelést legjobban a mikrohullámú háttérsugárzás igazolja. A forró Világegyetemben a különböző anyagformák csatolódtak egymáshoz, a sötét anyag a gravitációs kölcsönhatás révén kapcsolódott a barionokhoz, a neutronok a magerők révén a protonokhoz, a protonok az elektromos kölcsönhatás révén az elektronokhoz, az elektronok a Compton- és Thomson-szórás révén a fotonokhoz, tehát az egész anyagrendszer azonos hőmérsékletű volt. A hűlés során azonban ez a csatolódás megszűnt, a fotonok és az elektronok egymástól függetlenül fejlődtek és hűltek. Az egész Univerzumban minden irányban egyenletes, rendkívül kis fluktuációjú feketetest-sugárzás, a kezdeti fonsugárzás maradványa található, amelynek hőmérséklete jelenleg 2,73 K. Ezt a sugárzást nevezik kozmikus mikrohullámú háttérsugárzásnak.

Vizsgáljuk meg a Világegyetem tágulását leíró mozgásegyenleteket. Közismert, hogy ehhez az Einstein-egyenleteket kell használni, de a mi céljainknak a sokkal egyszerűbb Newton-egyenletek is megfelelnek. A Newton-egyenletek szerint a teljes E energia, a kinetikus és potenciális energia összege:

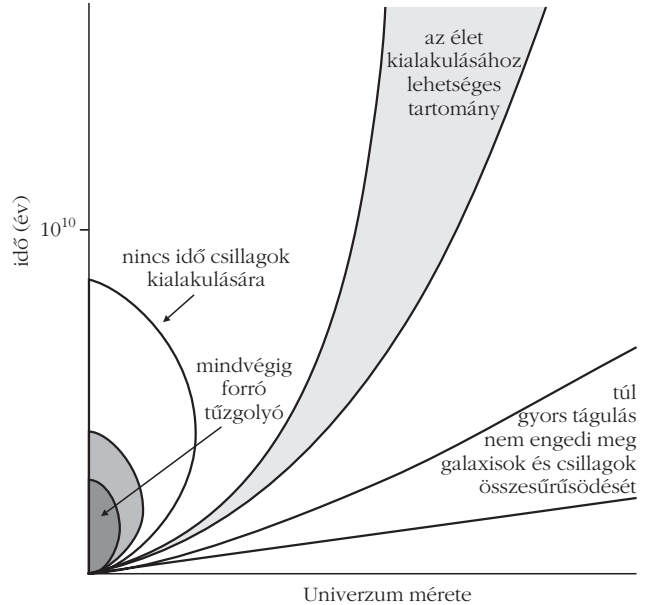
$$E = E_{kin} + E_{pot} \quad (1)$$

Ha a teljes energia éppen zérus, azaz a kinetikus energia megegyezik a negatív potenciális energiával, a Világegyetem nem tágul, és nem is húzódik össze, statikus. A potenciális energia azon értékét, ahol ez bekövetkezik, kritikus energiának nevezik. Az egyszerűség kedvéért bevezették a

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_{krit}} \quad (2)$$

jelölést, ahol ρ a Világegyetem anyagának a sűrűsége. Ha $\Omega > 1$, az Univerzum összehúzódik, ha $\Omega < 1$, tágul (1. ábra).

Az Univerzumot hosszú időn át statikusnak tartották. Ez a meggyőződés annyira mélyen gyökerezett az emberiségben, hogy Einstein – szembesülve, hogy



1. ábra. Lehetséges univerzumok különféle pályagörbéi. Bár Ω mostani értéke bizonytalan, a kezdeti feltételeknek pontosan hangoltnak kell lenniük ahhoz, hogy az Univerzum a megengedett tartományba kerüljön. E hangolás nélkül a tágulás vagy annyira gyors, hogy nem alakulhatnak ki galaxisok, vagy annyira lassú, hogy az Univerzum összeroppan, még mielőtt ideje lenne bármilyen érdekes evolúcióra. [4]

egyenleteinek megoldása vagy egy táguló, vagy egy összehúzódó Világegyetemre vezet – definiált egy új tagot, a kozmológiai állandót azért, hogy statikus Világegyetemet kapjon.

A Világegyetem jellemzése

A statikus világbé elképzelést tapasztalati adatok döntötték meg. A csillagászati távcsövek és a megfigyelési technika javulásával Edwin Hubble 1929-ben arra az eredményre jutott, hogy a Világegyetem tágul. A tágulást a galaxisokból érkező fény vöröseltolódásából határozta meg. A csillagokban, illetve az interstelláris anyagban a gerjesztett állapotú atomok a rájuk jellemző frekvencián sugároznak. Ha ezeket a Földön mért laboratóriumi értékekkel összehasonlítjuk, azt kapjuk, hogy a fotonok hullámhossza megnyúlt, a sugárzás a vörös felé tolódott el, tehát a kibocsátó csillag távolodik tőlünk (ha a csillag közeledik, kékeltolódás jön létre). (Természetesen, amint említettük, alapvető az a feltevés, hogy a Világegyetemben ugyanolyan atomok vannak, mint a Földön, és azok ugyanúgy sugároznak.) Minél gyorsabb a távolodás, annál nagyobb a vöröseltolódás. A legtöbb galaxis fénye a vörös felé tolódik el, tehát távolodnak tőlünk: azaz az egész Világegyetem tágul. A tágulás során nincs kitüntetett középpont: kevés kivételtől eltekintve minden galaxis távolodik mind-egyiktől, függetlenül attól, hogy hol helyezkedik el. Legjobban ezt egy léggömbhasonlattal lehet érthetővé tenni. Fessünk egy luftballonra pontokat, majd fújjuk fel a ballont. Bár a pontok nem mozdulnak el a

gömb felületén kijelölt helyükről, mégis minden pont távolodik a többitől. A távolodás sebessége a felfújás mértékétől függ, tehát akár a fénysebességnél is gyorsabb lehet. Mivel mindegyik pont mozdulatlan a felületen, nem a pontok mozognak, hanem maga a ballon tágul gyorsan, és ez nem mond ellent Einstein törvényének. A fény, miközben az azt kibocsátó galaktikától hozzánk érkezik, egy megnyúló téren halad át, a vöröseltolódás mértéke tehát a csillag távolságára és a tér tágulására jellemző adat. A tágulás során természetesen az Univerzum hűlt is: a kezdeti forró állapot helyett az átlaghőmérséklet ma csak 2,73 K-nél magasabb az abszolút zérus foknál. Ez nagyon kis érték, de a Világegyetem nagyon hatalmasra nőtt: még így is minden köbméterben 412 milliárd foton van, míg a barionok átlagos sűrűsége csupán mintegy 0,2 köbméterenként.

A Világegyetem kezdeti állapotát és a tágulást az Ősrobbanás elmélete írja le, de hangsúlyozzuk, hogy itt szó sincs felfújásról vagy robbanásról. A tágulást nem a nagy nyomás okozta, hanem az Ősrobbanás előtti állapot következménye. Ez határozza meg a kezdeti tágulás sebességét. A tágulás további mértékét, amint az az második egyenlethől látható, a gravitációs anyag mennyisége szabja meg, ami lassítja a tágulást.

Az élet kialakulásának feltétele

Ha azt akarjuk megvizsgálni, mennyire alkalmas Univerzumunk az élet kialakulására, nézzük meg először, milyen feltételek szükségesek az élethez. A legfontosabbak talán a következők:

1. A fizika törvényeinek meg kell engedniük a stabil, komplex szerkezetek kialakulását.

2. Az Univerzumban lennie kell az élőlények felépítéséhez szükséges alkotóelemeknek (pl. szénnek, víznek).

3. Az élet kialakulásához szükséges idő alatt ne változzanak bizonyos külső feltételek, például a hőmérséklet.

Ellentmondásos véletlenek?

A következőkben felsorolunk néhány olyan adatot, vagy jelenséget a Világegyetemben, amelyek első látásra jelentéktelennek vagy véletlennek tűnnek, ugyanakkor ezek megváltoztatásával nem alakulhatott volna ki az élet. (Hangsúlyozni kell, hogy mindig csak egy adatot változtathatunk meg, és a felsorolt „véletlenek” nem fontossági sorrendben vannak feltüntetve.)

1. Az Univerzum kezdeti tágulási sebességét, mint említettük, a gravitációs anyag mennyisége befolyásolja. Ha túl gyors lenne a tágulás, akkor a gravitációs vonzás nem lenne képes a galaxisok kialakítására, nem lennének csillagok és bolygók, azaz az élet nem alakulhatna ki. Ha pedig túl lassú, akkor a Világegyetem hamar összeroppanna az erős gravitációs vonzás miatt (*1. ábra*).

2. A gravitáció erősségére vonatkozó megszorítást már *Galilei* tett. Azt mondta: mérhetetlen nagy fákat nem hozhat létre a Természet, mert az ágak leszakadnának a saját súlyuk alatt. Az élővilágban rendkívül fontos a méret. Ha egy ember méretét megdupláznánk, a lába nem nőne meg kellő mértékben, és nem bírná el a testét. Pedig a gravitáció nagyon gyenge, például az elektromos kölcsönhatás erősségéhez képest: 10^{36} -szor (ezt a számot nevezzük *N*-nek) gyengébb. Mivel csak egyfajta gravitációs erő van, a gravitációs hatások összegeződnek, míg elektromos erő kétféle van, vonzó és taszító (a töltések előjelétől függően), és ezek egymás hatását semlegesíteni tudják, így a gravitáció szerepe nagyobb méretekben hihetetlenül fontos, földi és égi méretekben ez a döntő. Természetesen azt gondolhatjuk, ha a gravitáció erősebb vagy gyengébb lenne, másféle élőlények alakultak volna ki a Földön, és ez elvileg lehetséges is. Azonban, ha a gravitáció gyengébb lenne, a Föld messzebb lenne a Naptól, és nem kapna elég meleget, ha erősebb lenne, túl közel kerülne hozzá, és ezért túl magas lenne a hőmérséklet. Ha *N* 10^{36} helyett csak 10^{30} lenne, vagyis a gravitáció 6 nagyságrenddel erősebb lenne, a tárgyakkal nem kellene olyan nagyra nőniük ahhoz, hogy a tömegvonzás versenyre kelhessen a többi erővel. Egy erős gravitációjú világban még a rovarokat is csak vastos lábak bírják el. A gravitáció a hozzánk hasonló méretű objektumokat összenyomná. Még nagyobb problémát okozna azonban az, hogy a Naptól nem kapnánk elég hosszú ideig meleget, így az idő rövid lenne a biológiai élet kifejlődésére. A gravitáció az Univerzum rendező ereje. Nagy és hosszú életű alakzatok csak azért létezhetnek, mert a gravitáció gyenge.

3. A Föld korát már a 19. században legalább 1 milliárd évre becsülték a geológusok meg a biológusok. *Kelvin*, a kiváló fizikus azonban már akkor kiszámolta, hogy ennyi idő alatt régen ki kellett volna mérülnie a Nap belső hőjének (ha az összehúzódásból származik), kell tehát, hogy valami akkor még ismeretlen energiaforrása legyen. Azóta tudjuk, hogy ez a forrás az atomenergia.

A Nap magjában a hidrogén héliummá alakul. Ez a magreakció akkor következik be, ha a csillag hőmérséklete néhány millió fokal. Azért szükséges ilyen magas hőmérséklet, mert az első magreakció, amely végbemegy, két proton deuteronná való egyesülése. A protonok közt elektromos taszítás hat, és ahhoz, hogy ennek ellenére egyesüljenek, nagyon magas hőmérséklet és sűrűség kell, össze kell nyomódnia a rendszernek annyira, hogy az alkotórészek közt a magerők (amelyek, mint említettük, sokkal erősebbek, ugyanakkor sokkal rövidebb hatótávolságúak, mint az elektromos erő) hatni tudjanak. Ha a magerők hatótávolsága rövidebb lenne, a magreakciók kialakulásához még sokkal nagyobb hőmérsékletre lenne szükség, a forró csillag sokkal hamarabb elhasználná energiáját, tehát rövidebb ideig szolgáltatna hőt a Föld számára, nem lenne elég idő az élet kialakulásához.

4. A legkönnyebb ismert elemek: H(1p), He(2p,1n), He(2p,2n) (ezt hívják alfa-résznek), Li(3p,4n), Be(4p,5n) (a zárójelben a protonok, illetve a neutronok száma van). A Be(4p,4n) azonnal elbomlik 2 He-ra, a B(5p,4n) nem tud kialakulni, a Be után következő legkisebb protonszámú, stabil elem a szén, C(6p,6n). A Be rendkívül rövid élettartama alatt befoghat egy harmadik He-ot, de ennek valószínűsége nagyon kicsi. *Fred Hoyle* megjósolta, hogy a C(12)-ben három alfa-rész találkozásánál kell lennie egy gerjesztett (kvantummechanikai) rezonanciaállapotnak, amely nagyságrendekkel megnöveli a C(12) kialakulásának valószínűségét. Ezt a rezonanciát megtalálták a keresett értéknél. Ha nem lenne éppen ennél az energiánál ez a rezonanciaállapot, nem alakulhattak volna ki a nehezebb elemek. Azt, hogy milyen energiánál van ez a rezonancia, az erős és elektromágneses kölcsönhatások együttese határozza meg. Ha ez a viszony akár csak 1%-kal megváltozna, nem alakulna ki C és így a nehezebb elemek sem.

5. Az anyag tömegéről néha azt mondják, hogy a tömeg kőbe zárt energia. Ezen állítás jelentése az $E = mc^2$ összefüggésből érthető meg: minden tömeg energiának felel meg. Ha a részecskék egyesülnek, a kialakult rendszer tömege kisebb lesz, mint az alkotórészeké együttesen (egy deuteron tömege kisebb, mint egy proton és egy neutron tömegének összege). Ahhoz, hogy a részecskéket alkotóelemeikre bonthassuk, a hiányzó tömegnek megfelelő energiát közölni kell a rendszerrel, ezt az értéket nevezik kötési energiának. Egy deuteron kötési energiája 1,44 MeV, egy He atommagé, ami két neutronból és két protonból áll, 12,85 MeV. A deuteron gyengén kötött mag, könnyű tehát elbontani. Az egy részecskére eső kötési energia körülbelül 4,5-szer kisebb, mint a héliumban. Ennek az az oka, hogy a deuteron csak két részecskéből áll, a részecskék nincsenek körülveve minden irányból rájuk vonzást gyakorló részecskékkel. A 2 protonból és 2 neutronból álló héliumatommag tömegének 7 ezreléke energiává alakul: $\Delta m = 0,007$ (deuteron képződésénél, mint említettük, ez az érték sokkal kisebb, viszont nehezebb magok kialakulásánál majdnem ugyanakkora, csak kicsit nagyobb). Kérdés, fontos-e ez az adat? Mi történe, ha Δm értéke 0,006 lenne? Azonnal látható, hogy egy proton nem kötődhetne egy neutronhoz, a deuteron nem lenne stabil, He nem alakulhatna ki, tehát nehezebb magok és így élet sem képződhetne. De baj lenne akkor is, ha $\Delta m = 0,008$ -nál nagyobb lenne, mert akkor nem maradhatott volna fenn hidrogén, ugyanis két proton közvetlenül is össze tudna kapcsolódni, nem kellene egyiknek neutronná átalakulnia, a vonzó magerők legyőznék az elektromos taszítást. Nem maradt volna a csillagoknak elég idejük az energiatermeléshez. Másrészt ha nem lenne H, az élet számára rendkívül fontos víz (H₂O) sem alakulhatott volna ki.

6. A nagyobb tömegű csillagok fejlődésük során vagy neutroncsillaggá, vagy fekete lyukká alakulnak. Eközben rengeteg szénatom keletkezik. A csillag végső állapota előtt felrobban (ezt a jelenséget nevezik szupernóva-robbanásnak). A robbanás során az anyag jelentős része közepén maradvá kompakt csil-

laggá alakul, míg másik része erről a sűrű középponti részről visszapattan, robbanás következik be. A robbanás során a visszapattanó anyag szétszóródik a csillagközi térben, miközben rendkívül felfényesedik. A visszalökődésnél fontos szerepet játszik a gyenge kölcsönhatás. Az összeomlásnál a protonok és a neutronok szorosan összepréselődnek. A robbanás során a gyenge kölcsönhatás révén a protonok neutronokká alakulnak pozitron és neutrínó kibocsátása mellett. Hihetetlenül nagyszámú neutrínó lép ki, amit Japánban meg is figyeltek a Nagy Magellán-felhőben bekövetkezett, SN1987A jelű szupernóva robbanásakor. A csillag magjának sűrűsége olyan nagy, hogy még a neutrínók is nehezen jutnak át rajta, de nagy számuk és energiájuk miatt nagy nyomást gyakorolnak az anyagra, ami segít kilökní az Univerzumba az összeomló törzsre rászakadó anyagot. Ha a gyenge kölcsönhatás gyengébb lenne, a robbanás során keletkezett neutrínók nem lennének képesek kilökní az anyagot. Ha erősebb lenne, erősebben kölcsönhatnána a törzs anyagával, és nem lépnének ki, nem segítenének a csillag köpenyének lefújásában, nem jutna ki például a szén az Univerzumba.

7. A gyenge kölcsönhatás szintetizálja a korai, forró Világegyetemben a He mennyiségét. A neutron a gyenge kölcsönhatás miatt 615 s alatt protonná bomlik (a neutron 0,1%-kal nehezebb, mint a proton). A Világegyetemenk mintegy 100 s-ra volt szüksége olyan mértékű lehűléshez, hogy a nagyenergiájú fotonok már ne bombázzák szét a deuteronokat. Ha a gyenge kölcsönhatás kicsit erősebb lenne, a neutronok gyorsabban bomlottak volna el, és nem alakult volna ki kellő mennyiségű deuteron és így He, ez viszont csökkentette volna az élet számára nélkülözhetetlen mennyiségű szén kialakulását. Ellenben, ha a gyenge kölcsönhatás gyengébb lenne, a neutronok és protonok aránya a közel 1 helyett (ennyi kell az atommagok kialakulásához) jóval kisebb lenne. Ennek oka a következő: az első másodperc végén a magas hőmérséklet még egyensúlyban tartotta a protonok, neutronok, elektronok és neutrínók keverékét. (Olyan magas volt a hőmérséklet, hogy a neutronok bomlása miatti energiafelszabadulás elhanyagolható volt.) A hőmérséklet csökkenésével azonban a neutronok bomlása miatt a neutron-proton arány 1:6 lett. Ha a gyenge kölcsönhatás gyengébb lett volna, ez az arány magasabb lenne, a hidrogének számához képest túl sok lenne a hélium (1:1 arány esetén minden hidrogén héliummá alakult volna). A Nap mint fúziós reaktor működik, energiája a hidrogén héliummá alakulása révén jön létre, innen származik a kisugárzott energiája. Ha kevesebb hidrogén lenne, rövidebb ideig tudná melegíteni a Földet, tehát nem lenne idő az élet kialakulására. Ezenkívül a hidrogén az oxigénnel vizet alkot, az pedig elengedhetetlen az élet számára. A gyenge kölcsönhatás erőssége éppen jó!

8. A deuteron kialakulásának gyorsasága a csillagokban más szempontból is fontos kérdés. A csillagban kezdetben nincsenek neutronok, deuteron csak akkor tud kialakulni, ha 2 proton annyira meg tudja közelíteni egymást, hogy az erős kölcsönhatás már hasson közöt-

tük, és az egyik proton neutronná alakulhasson. Ehhez a csillag magas hőmérséklete és nagy sűrűsége szükséges. A neutron protonná alakulását a gyenge kölcsönhatás szabályozza, ami tényleg gyenge: $n = p + e^- + \nu$. (Minden olyan folyamat, amiben a ν neutrínó részt vesz, csak gyenge kölcsönhatás révén mehet végbe.) Ha a folyamat gyorsabban menne végbe, a Nap hidrogénkészlete sokkal hamarabb elfogyna, a csillagreaktor kimerülne, és a Földre nem jutna elég hosszú ideig energia ahhoz, hogy az élet kialakuljon.



Még sorolhatnánk példákat arra, hogy a részecskék tömegének és a kölcsönhatások erősségének pontos, behangolt értéke mennyire fontos az életre alkalmas Világegyetem kifejlődésére. (Például mi lenne, ha a neutron tömege kisebb lenne, mint a protoné? Mit mondhatnánk akkor az élet kialakulásáról? Tessék végiggondolni!) De talán elég példát tekintettünk át. Azonban az élet feltételei az egész Univerzumunkban adottak. Könnyen lehetséges, hogy vannak más csilla-

goknak is olyan bolygói, ahol valamilyen élet kialakult, hiszen hihetetlenül nagyszámú csillag van a Világegyetemben (csak a Tejútrendszerben legalább 200 milliárd), és ezeknek számos bolygója van.

A Világegyetemről azt állíthatjuk, hogy alkalmas az élet kialakulására, legalábbis egy helyen látunk erre példát. Lehet, hogy vannak más Világegyetemek (multiverzum), amelyek egy részében kialakulhat az élet, más részében nem? A fizika törvényeiről szeretnénk azt hinni, hogy azok mindenütt ugyanolyanok, de az állandók lehetnek mások. Van más csillag bolygóján, vagy más Univerzumban élet? Ki tudja?

Irodalom

1. P. Davies: *A megbundázott Világegyetem*. Akkord Kiadó, Budapest, 2008.
2. Németh Judit: Mi az a sötét energia? *Fizikai Szemle* 54/1 (2004) 1.
3. Németh Judit: A Világegyetem fejlődése. *Magyar Tudomány* 2003/10, 1248.
4. M. Rees: *Csak bat szám – Az Univerzumot alakító erők*. Vince Kiadó, Budapest, 2001.

JÁNOSSY LAJOS RELATIVITÁSELMÉLET-FELFOGÁSÁRÓL

Hraskó Péter

Pécsi Tudományegyetem, Elméleti Fizika tanszék

Ha fizikatanárok társaságában feltennénk azt a kérdést, hogy tulajdonképpen mi az idő, valószínűleg azzal utasítanak el, hogy az ilyen metafizikai problémákat hagyjuk inkább a filozófusokra. De ha valóban nem tudnak (és nem is akarnak) foglalkozni ezzel a kérdéssel, akkor hogyan merészelik felírni a táblára az

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

képletet? Mi az a t , amit itt négyzetre kell emelni?

Ha így tesszük fel a kérdést, egy fizikus szerintem már semmiképpen sem háríthatja el magától. Ez ugyanis nem metafizika, mert a választ a képlet *ideális körülmények között történő ellenőrzési módjának* leírása tartalmazza. Az ideális körülmények miatt természetesen csak gondolatkísérletről lehet szó, de ha ezt a gondolatkísérletet nem fogalmazzuk meg a kellő részletességgel, akkor nem tudhatjuk, milyen ideálhoz kell közelítenünk a reális kísérleteinket.

Minél pontosabban kívánjuk ellenőrizni az

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

képletet (vagy bármilyen hasonló jellegű $s = f(t)$ összefüggést), annál pontosabb órákra van szükségünk, annál sűrűbben kell őket elhelyezni a trajektória mentén (a kontrollálatlan késési idők kiküszöbölése érdekében), és annál pontosabban kell szinkronizálni őket egymással. Ennek alapján megállapíthatjuk, hogy az s

$= f(t)$ típusú képletekben szereplő t időt¹ *a vonatkoztatási rendszerünkben sűrűn szétbelyezett, helyesen szinkronizált, nyugvó ideális órák mutatnák, ha valóban ott volnának*. Ez a megfogalmazás fejezi ki, hogy mit is értünk a képleteinkben szereplő t -n. Az $s = f(t)$ képlet valóságos ellenőrzésénél arra kell törekednünk, hogy néhány elegendően pontos és többekévéb jó szinkronizált óra segítségével minél jobban megközelítsük ezt az ideált.

Nem tudok róla, hogy a relativitáselmélet létrejötte előtt a fizikai t időnek ezt a fogalmát (definícióját) bárki írásba foglalta volna, de a „mulasztást” annak tudom be, hogy a természettudósok előtt az időnek ezek a tulajdonságai valószínűleg olyan természetesek voltak, mint a lélegzetvétel. Az explicit megfogalmazás csak akkor vált szükségessé, amikor Einstein rájött, hogy a helyes szinkronizálással, amely a fenti megfogalmazás fontos eleme, lehetnek problémák. Korábban nyilvánvalónak tekintették, hogy az órákat a szétbelyezésük előtt egy közös helyen kell egymással szinkronizálni. Ez az eljárás azon a hallgatóságos feltételezésen alapult, hogy ideális esetben az órák szétvitele közben szinkronizáltságuk nem romlik el. Egy ilyen feltételezést elvben tapasztalatilag is lehet ellenőrizni úgy, hogy a közös helyről az egyik órát elvisszük a számára kijelölt helyre, majd visszavisszük a közös kiindulópontba. Ha ezután még mindig szinkronizálva lesz a több-

¹ A relativitáselméletben ezt koordinátaidőnek hívjuk.