

Az enzimek alkalmazásával javítva a tisztítószer hatását, csökkentve a szükséges anyagmennyiséget, a tisztítási művelet gazdaságosabbá válik, ugyanakkor csökken a káros hatása a környezetre.

A történelmi részhez felhasznált forrás

Balázs Lóránt: A kémia története, Nemzeti Tankönyvkiadó., Bp., 1996.

Brem Jürgen, egyetemi hallgató



Einstein szerepe a kozmológiai modellek fejlődésében

Ha időpontot keresünk az elméleti fizika és csillagászati megfigyelések találkozására, akkor mindenképpen e kapcsolat új fejezetének kezdeteként kell megemlíteni, 1916-ot, amikor Albert Einstein közzétette általános relativitáselméletét.

Az elmélet furcsának tűnő előrejelzéseit, mint például a téridő tömeg által előidézett torzulásait viszonylag hamar, már 1919-ben Arthur Eddington vezetésével ellenőrizték, vagyis azt, hogy a távoli csillagok Nap mellett elhaladó fénye bizonyos mértékben elhajlik.

Azóta az elméletet már sokféleképpen és sokszor ellenőrizték; mára bizonyossá vált, hogy az általános relativitáselmélet a Világegyetem megfelelő leírását adja (a szingularitásoktól eltekintve).

A publikáció célja az általános relativitáselmélet, illetve Einstein szerepének bemutatása a kozmológiai modellek fejlődéstörténetében, ezért csak ebből a szempontból releváns eseményekre fogunk szorítkozni.

Térjünk vissza az 1916-os esztendőhöz. Bizonyára Einstein bízott abban, hogy elmélete kiállja a kísérletek próbáját, és nemcsak a tér-idő szerkezetében hozott forradalmian új szemléletmódot, hanem alkalmazásával olyan egyenletekhez is el lehet jutni, amelyek a Világegyetem egészét leírják. E témában első publikációja már 1917-ben megjelent. Munkája során azonban nyilvánvalóvá vált, hogy valami nagyon különös dologra bukkant arra vonatkozóan, ahogyan az általános relativitáselmélet a Világegyetem egészét leírja. Amint azt már említettük, az általános relativitáselmélet nemcsak lehetővé teszi, hanem egyenesen megköveteli, hogy a téridő szerkezete az anyag jelenlétében eltorzuljon. Ennek következtében a téridő semmiképpen sem lehet statikus; vagy tágulnia kell, vagy összehúzódni, de nem lehet nyugalomban. A tér ilyen tágulása viszont magával ragadná az anyagot, ezért Einstein úgy vélte, hogy ennek a csillagok szisztematikus elmozdulásaként kellene megmutatkoznia. Ilyen megfigyelési eredmény viszont akkor még nem volt Einstein birtokában, másrészt viszont a széles körben elfogadott vélekedés szerint a Tejútrendszer vagy azonos volt magával a világegyetemmel, vagy legalábbis annak számottevő részét képezte, a Tejútrendszer viszont statikusnak mutatkozott.

Egy bekezdés erejéig térjünk ki e kort jellemző csillagászattani megfigyelések eredményeire. Meg kell említeni, hogy Vesto Slipher, a Lowell Obszervatórium munkatársaként 1912-

től spirálködök színképvonalának fényképezésével, tanulmányozásával foglalkozott, és 1925-re 39 olyan spirálködöt tanulmányozott, amelyek vörös-eltolódást mutattak, és emellett két, kékeltozódást mutató galaxist is talált. Slipher számára viszont ez volt az elérhető határ, mivel az obszervatórium 24 inches (60 cm) lencsés távcsövével és a rászertelt spektrográffal megfigyelhető leghalványabb ködök színképeinek elemzését is elvégezte. Eredményeit viszont nem lehetett egyértelműen értelmezni, a kétféle eltolódás miatt, ugyanakkor elméleti háttérrel sem lehetett biztosítani az észleléseknek. Ráadásul 1917-ig csak az első három mérésről értesült a tudományos világ, amelyek közül egyik éppen az Androméda-köd kékeltozódása volt. Egyáltalán nem volt tehát nyilvánvaló, hogy észlelései bármilyen módon is hozzájárulnának az Univerzum leírásához. A kihívást ez ügyben valaki másnak kellett felvállalni, és talán nem is jöhetett volna más szóba, mint Hubble, hiszen az ő kezében volt akkor a kor legkiválóbb, 100 inches távcsöve a Wilson-hegyi Obszervatóriumban.

Eme rövid, a XX. század első harmadát jellemző csillagásztani eredmények és a jelen dolgozat szempontjából releváns kutatási programok ismertetése után nem meglepő Einstein azon törekvése, hogy a kort jellemző, tudományosan elfogadott világképpel összhangba hozva eredményeit, beiktasson egy állandót az egyenletébe, amely kozmológiai állandó néven vált ismerté. Ez az állandó a világegyetem tömege és energiája, valamint a téridő görbülete közötti összefüggést foglalja magában, és gravitációs taszító hatást fejez ki az anyag vonzó hatásának ellensúlyozásaképpen. Más szóval a téridőnek a kozmológiai állandó által előidéztet negatív görbülete kiegyenlítette a világegyetemben jelen levő anyag és energia hatására keletkezett pozitív téridő görbületet. Ez a módszer az Univerzumról olyan modellt szolgáltat, amely szerint a világegyetem örökre ugyanabban az állapotban marad.

Világos volt, hogy az általános relativitáselméletnek az egész Univerzumra kell vonatkoznia, szerkesztését illetően, a számítások megkönnyítése érdekében olyan modelltől indultak ki a kutatók, amely szerint az anyag nem különálló csillagokban, galaxisokban koncentrálódik, hanem a gázokhoz hasonlóan az egész Univerzumot kitöltik. Ez alapvetően nem befolyásolja a megoldásokat, ma is alkalmazzák. A szemléletmód viszont annál inkább, amely megengedi a világűrön belüli változásokat, de az Univerzum fejlődését még feltevés szintjén sem tartalmazta. Legalábbis 1922-ig tudományos publikációkban nem fejtettek ilyen lehetőségeket. Ekkor jelent meg ugyanis, egy addig ismeretlen orosz matematikus, Alexander Friedmann (1888 – 1925) munkája a *Zeitschrift für Physik* című folyóiratban, amelyben matematikailag fejtegette az univerzumra vonatkozó téregyenleteket. Meglepetésként, az Einstein-egyenletekre a megoldások egész családját kapta, és az einsteini statikus Univerzumot leíró megoldást csupán egy speciális esetként. Ez egyben a kozmológiai modellek, vagyis a különböző világegyetemek családját jelentette, amelyek mindegyikének a téridő különféle viselkedési módjai felelnek meg.

Friedmann munkájára Einstein kétszer reagált. Szeptember 18-án a *Zeitschrift für Physik* című szaklapban ezt írta: „Az idézett munkában található, a nem statikus világról szóló eredmények gyanúsak tünnek a számomra. Valójában az derül ki, hogy ezen megoldás a téregyenletekkel nem összeegyeztethető.”* Einstein tehát azt feltételezte, hogy Friedmann számítási hibát vétett.

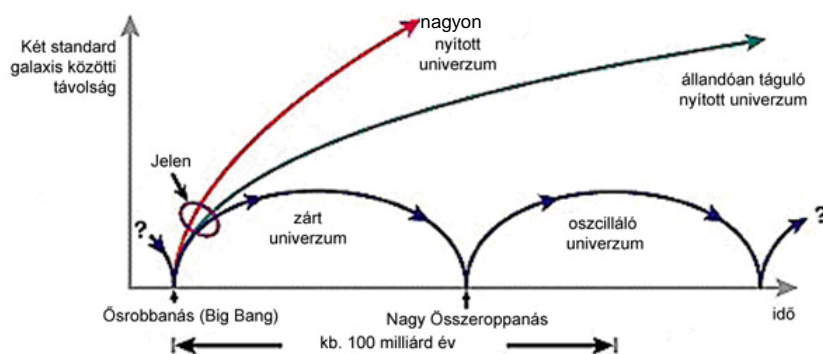
Fél évvel később, Einstein újabb nyilatkozatot adott közre a témával kapcsolatban: „Egy korábbi jegyzetben kritizáltam az említett munkát. Kifogásom azonban egy számítási hibán alapult. Friedman úr eredményeit helyesnek és felvilágosítóknak tartom. Azt mutatják, hogy a téregyenletek a statikus megoldások mellett a térstruktúrának dinamikus megoldásait is lehetővé teszik.”

*Thomas Bührke. 2005. *Bevezetés a relativitáselméletbe*. Budapest-Pécs: Dialóg Campus Kiadó.

Később az is kiderült, hogy Einstein statikus megoldásai sem voltak statikusak. Eleendően hosszú időtartam után az Univerzumnak tágulnia vagy összehúzódnia kellene.

Az Einstein és Friedmann közti vitának eleinte nem is volt semmilyen következménye. Hasonlóan figyelmen kívül maradtak a belga Georges Lemaitre témába vágó munkái is, aki Friedmanntól függetlenül azzal hasonló eredményekre jutott a relativitáselmélet tanulmányozása kapcsán. Ő még tovább vitte a gondolatmenetet és arra az eredményre jutott, hogy ha az Univerzum valóban tágul, akkor az igen hosszú idővel ezelőtt egy pont alakú anyagtömörülésből – szingularitásból – kellett, hogy kialakuljon. 1931-ben a *Nature* című folyóiratban történt publikációja után vált az ősrobbanásról szóló ötlete szélesebb publikum előtt is nyilvánossá. Ez volt az az idő, amikor már a kozmológusok is komoly fontolgatásnak vehettek alá egy, a világméretűt alapjaiban megváltoztató elképzelést, ugyanis mindezt 1929-ben megelőzte Edwin Hubble azon bejelentése, miszerint megfigyelései szerint a galaxisok, egymástól távolodnak, és a vöröseltolódás – távolság relációra az arányossági tényezőt is megadta: 525 km/s/Mpc . (Azóta többször korrigálták, napjainkban elfogadott érték: $H=70 \text{ km/s/Mpc}$.)

A Friedmann modelltől három különböző világegyetem-kép olvasható ki (1. ábra). Mindhárom modell közös jellemzője, hogy az Univerzum az ősrobbanásnak nevezett szingularitás ponttal kezdődik.



1. ábra

1. a tágulást a gravitációs vonzás lassítja, majd az Univerzum a „Nagy Összeomlásban” fejezi be a fejlődését, ahonnan „visszapattanva” újabb tágulási, majd összehúzódási ciklus veszi kezdetét. („*oszcilláló univerzum*”)
2. a világegyetem mindörökké tágul, de éppen azzal a kritikus sebességgel, amely elegendő ahhoz, hogy megakadályozza a végső összeomlást („*nyitott univerzum*”)
3. a világegyetem olyan gyorsan tágul, hogy a gravitációs vonzás nem tudja leállítani, de folyamatosan lassítja a tágulás ütemét („*nagyon nyitott univerzum*”).

A táguló világegyetem felfedezése nyomán a matematikusok élénk érdeklődést mutattak az Einstein-egyenletek különféle megoldásai iránt. Elsősorban Howard Robertson amerikai matematikus és brit kollégája, Arthur Walker, akik a matematikai modellek egész családját dolgozták ki. A mi vizsgálódásunk szempontjából azonban sokkal érdekesebb egy másik modell, amelynek egyik szülőatyja maga Einstein, és amely Einstein – de Sitter néven vonult be a köztudatba.

Einstein tulajdonképpen már 1931-ben elvetette a kozmológiai állandót és a táguló Világegyetem elképzelés követőjévé vált. Nyilván nem ok nélkül született ez a döntése, ugyanis ez időben egy hosszabb látogatás keretében felkereste a Wilson-hegyi csillagvizsgálót, ahol első kézből értesült a vöröseltolódás mérésekről. Miután visszatért Európába, a következő évben (1932) már hozzá is fogott de Sitterrel együtt a Világegyetem egy új modelljének a kidolgozásához. Ez is a relativitáselméleten alapuló modell, viszont tudni kell, hogy ez alapjaiban különbözik mind az Einstein eredeti, stacionárius, mind a de Sitter eredetileg exponenciálisan táguló modelljétől.

Az Einstein – de Sitter modell legfőbb jellemzője, hogy majdnem állandó ütemben tágul és a vöröseltolódás a távolsággal arányos, akárcsak a valódi Világegyetemben megfigyelhető tágulás esetén.

Az Einstein – de Sitter modell sok szempontból az általános relativitáselmélet kozmológiai egyenleteinek legegyszerűbb megoldását jelenti. Ennélfogva ezt tekintik a standard modellnek, amelyhez képest az elméleti elképzeléseket ellenőrizni lehet. Ez nem azt jelenti, hogy elfogadják a tényleges Világegyetem végleges leírásaként, hanem inkább olyan viszonyítási alappal tekinthető, amellyel össze lehet vetni a Világegyetem működését.

Hogy mi minden más olvasható ki az Einstein általános relativitáselméletéből az említettek kivül? Akár figyelembe vesszük a kozmológiai állandót akár nem, az a tény, hogy az anyag a téridőt meggörbíti, azt jelenti, 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. A hatvanas években a csillagászatban alkalmazott fejlett technikai eszközöknek köszönhetően a szingularitások problémája előtérbe került.

Az általános relativitáselmélet egyenletei viszont a szingularitásokban nem értelmezhetőek, ami azt jelenti, hogy pl. semmilyen előrejelzést nem tud adni arról, hogy az ősrobbanással hogyan keletkezett a világegyetem, vagy pl. mi történik a fekete lyukak csapdájába került anyaggal. Ezen a ponton már mindenki egyetért abban, hogy a relativitáselmélet kiegészítésre szorul. Vannak, akik a megoldást a kvantummechanika segítségével keresik, mások viszont teljesen új elméleti alapokból, az úgynevezett szuperhúrok elméletéből indulnak ki, de ez már egy másik történet.

Konklúzió helyett talán azt érdemes zárógondolatként megjegyezni, hogy Einstein életének több mint nyolc évét úgy szentelte az általános relativitáselmélet kidolgozására, hogy semmilyen megfelelő kísérleti és megfigyelési adatokkal nem rendelkezett. Ez nagyon tanulságos, hiszen az elmélet háttérben álló elegáns matematikai struktúráról igazolódott, hogy megvalósul a természetben. Előzetes kísérleti lehetőségek, és megfigyelések nélkül nem csupán a fizika egy parányi szeletéről állított valamit, hanem a természet legmélyebb rejtelmeibe, a tér és idő természetébe látott bele.

Irodalom

- 1] Einstein, Albert: Válogatott tanulmányok. Gondolat, 1971.
- 2] Greene, Brian: Az elegáns univerzum, Akkord Kiadó, 2002
- 3] Hawking, Stephen: Az idő rövid története. Cambridge University Press, 1998
- 4] Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete, Gondolat kiadó, Budapest, 1986

Borbély Éva