GRAVITÁCIÓELMÉLETEK TESZTELÉSE GÖMBHALMAZOKKAL

SÖTÉT ANYAG VAGY ALTERNATÍV GRAVITÁCIÓ?

A modern csillagászat egyik legnagyobb felfedezése – és mindmáig megoldatlan rejtélye – a galaxisok és galaxishalmazok belső sebességeloszlásához kötődik: a látható anyag mozgásaiból becsült össztömegek magyarázatához fel kell tételeznünk, hogy a galaxisok tömegének túlnyomó részét egy elektromágneses sugárzást nem kibocsátó, viszont gravitációs vonzerőt kifejtő hipotetikus anyag, az úgynevezett sötét anyag teszi ki.

Az írás az Élet és Tudomány és az OTKA cikkpályázatán harmadik díjat nyert.

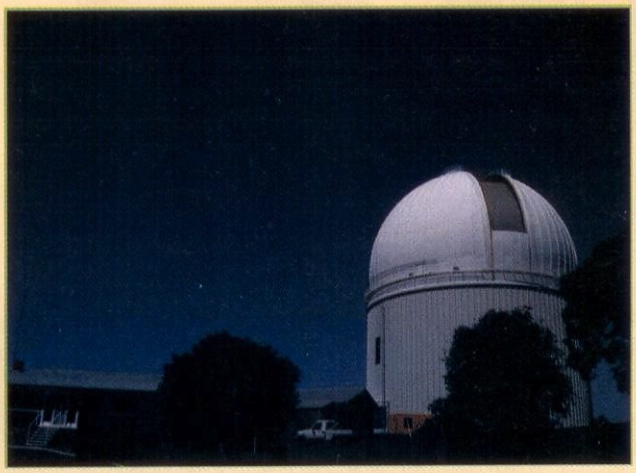
Már F. Zwicky amerikai csillagász felfigyelt a jelenségre az 1930-as években, amikor számításaival a Coma galaxishalmazra akkora tömeget kapott, amit a látható anyaggal még csak megközelíteni sem lehet. Azóta az egyre pontosabb megfigyelések számtalan esetben megerősítették a jelenséget, például a Tejútrendszer forgási sebességét is csak a csillagok és csillagközi anyag össztömegét jelentősen meghaladó sötét anyaggal lehet modellezni. Csillagászok és kozmológusok mellett az utóbbi évtizedekben részecskefizikusok is csatlakoztak a sötét anyag valódi természetét kutató vizsgálatokhoz, ám mindeddig egyetlen elméletet sem sikerült igazolni vagy laboratóriumokban detektálni az oly sok fejtörést okozó szubsztancia részecskéit.

M. Milgrom izraeli fizikus az 1980-as évek elején azt vetette fel, hogy a sötét anyag problémáját esetleg teljes mértékben ki lehet iktatni, ha feltesszük, hogy a newtoni dinamika elveszíti érvényességét a *nagyon kicsiny gyorsulások* esetén. Az általa módosított newtoni dinamikának (Modified Newtonian Dynamics, MOND) nevezett hipotézis szerint 2×10^{-10} m/s^2 gyorsulás alatt megváltozik a kapcsolat a testek gyorsulása és a rájuk ható erő között. Ez megmagyarázhatja a galaxisok rotációs sebességét mindenféle sötét anyag nélkül is, ami a gordiuszi csomó elegáns kettévágása lenne. Az említett határgyorsulás tartománya a földi laboratóriumokban nem tanulmányozható, egyedül a csillagok világában válik lehetővé a feltevés tesztelése.

1. ábra. Az M13 gömbhalmaz a Herkules csillagképben

(FOTÓ: SZITKAY G.-ÉDER I.)

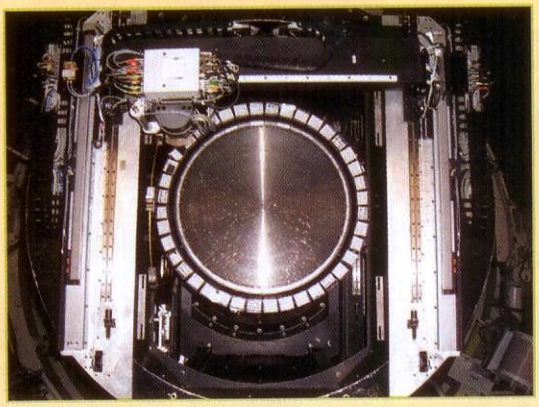
R. Scarpa spanyol asztrofizikus pár éve hívta fel a figyelmet arra, hogy a Tejútrendszerben található gömbhalmazok peremén a csillagok éppen az említett határ közelébe eső gyorsulásokkal mozognak. Az Európai Déli Obszervatórium 8 méteres VLT teleszkópjával végzett mérései alapján Scarpa és munkatársai kimutatni véltek olyan eltéréseket néhány gömbhalmaz belső mozgásviszonyaiban, amelyeket MOND-effektusként értelmeztek. A magyar, ausztrál és francia tudósok együttműködésével végrehajtott kutatásunk célja ezen eredmények független ellenőrzése volt.



2. ábra. A 3,9 m-es Angol-Ausztrál Teleszkóp holdfényben fürdő kupolája

Istenem! Teli van csillagokkal!

Arthur C. Clarke 2001: Ürodüsszeiájának híres mondatát alkalmazhatjuk a gömbhalmazokra is. Az Ősrobbanás után néhány milliárd évvel létrejött, ma már igen idős csillagok nagy része gyorsan szétszóródott, belőlük áll a galaxisunkat ritka csillagfelhőként övező galaktikus haló. Ebben körülbelül 160, nagyon jellegzetes csillagtömörülést, szakszóval gömbhalmazt ismerünk, melyek jellemzően 50-150 fényév átmérőjű, gömbszim-



3. ábra. A 2dF robotpozícionáló az AAT fókuszsíkjában. A kör alakú fémlemez 2 fokos látómezőt rajzol ki az égen, s összesen 400 optikai szál rögzíthető tetszőleges helyzetben.

metrikus rendszerek, bennük akár többszázezer csillaggal *(1. ábra)*.

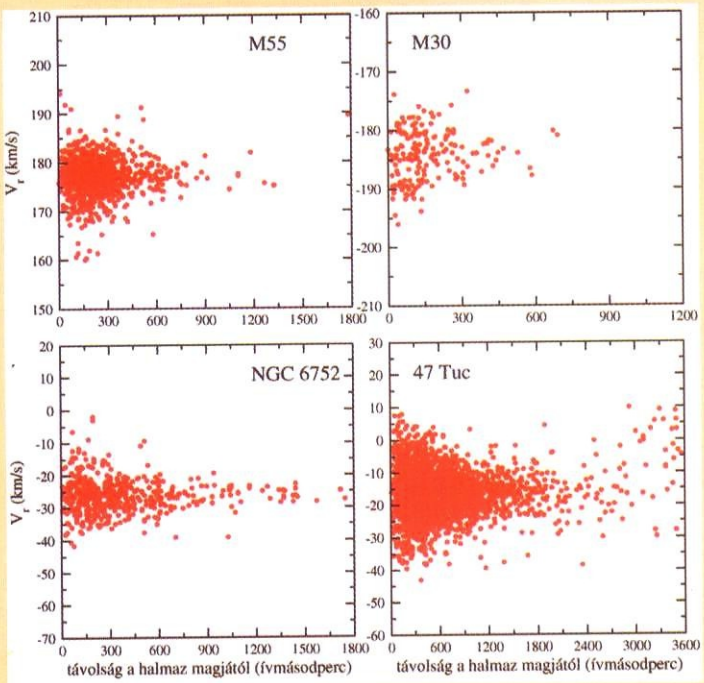
A gömbhalmazok idős korából következik, hogy legtöbbjük dinamikai egyensúlyban található, így csillagaik térbeli és sebességeloszlása a statisztikus fizika és a gravitáció törvényei által meghatározottak. Hagyományosan a térbeli sűrűségeloszlást szokás tanulmányozni, ez azonban a részletes számítások szerint szinte teljesen érzéketlen a MOND-effektusokra. Ezzel szemben a csillagok mozgása erősen függ a tömegeloszlástól (illetve a gravitációs törvénytől), így pontos sebességméréssel tesztelhetővé válnak a MOND-előrejelzések.

Ezernyi színkép

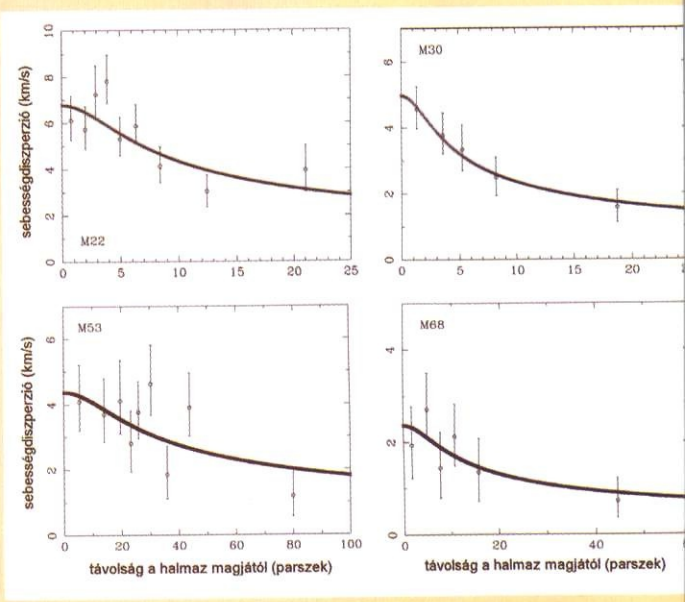
A csillagászati műszertechnika forradalmi újítása volt az 1990-es évek második felében a multiobjektum-spektroszkópia: a távcső fókuszsíkjában sok-sok optikai szál elhelyezésével akár több száz égitest fénye elvezethető egy színképelemző műszerhez, így lehetővé válik egy időben az összes spektrum rögzítése. (Korábban egyszerre csak egy égitestről készülhetett sebességmérésre alkalmas színkép, azaz egy-egy gömbhalmazra a mérések évekig is eltarthattak volna.)

A speciális technika vezető intézménye az Angol-Ausztrál Obszervatórium, amely Ausztrália legnagyobb távcsövét működteti, a 3,9 m-es Angol-Ausztrál Teleszkópot (AAT, *2. ábra*). Ezzel a műszerrel végeztük méréseinket 2006-2009 során, összesen 30 ezer csillagról felvéve színképeket 13 gömbhalmaz környezetében.

4. ábra. Gömbhalmazok csillagainak sebessége a magtól mért látszó szögtávolság függvényében.



Az AAT AAOmega spektrográfja a maga nemében egyedi a világon: hatalmas, 2 fokos látómezőben egyszerre négyszáz optikai szállal képes színképeket felvenni, ami a gyakorlatban jellemzően 330-340 csillagot jelent egy expozíció alatt, a többi szál pedig vezetőcsillagok és az égi háttér fényét juttatja el a megfelelő műszerekhez (utóbbi a spektrumok korrekciójához fontos). Az észlelés általában egy-másfél órás expozíciókkal történik, ami alatt a távvezérlésű pozícionáló robot (*3. ábra*) a következő konfiguráció 400 optikai szálát készíti elő. Egy észlelés végén a szálak végét rögzítő fémlemez átfordul, s a másik oldalára már időközben előkészített pozíciójú szálak képesek azonnal a megfelelő helyről elvezetni a fényt a következő észleléshez – így elvben a távcső átállításától eltekintve egyetlen pillanat észlelési időt sem veszítünk az éjszaka során.



5. ábra. Sebességdiszperziós profilok. Folytonos vonal jelzi a newtoni dinamikát feltételező modelleket.

A páratlan műszer által generált adatok feldolgozása komplex számítógépes eljárásokat igényel. A technikai részleteket mellőzve a lényeg az, hogy az általunk felvett színképekből minden csillagra meghatároztuk az égitest legfontosabb paramétereit (például a hőmérsékletét, légköri nyomását, fémtartalmát), illetve a laboratóriumi hullámhosszakhoz viszonyított Doppler-eltolódásokat, ebből pedig kiszámítottuk a látóirányú sebességeket. Utóbbiak pontossága ±1-2 km/s, ami kellően nagy minta esetén már alkalmas a MOND-előrejelzések vizsgálatára.

Sebességdiszperziós profilok: észlelés és elmélet

Vizsgálataink célja a halmazok sebességdiszperziós profiljának meghatározása volt, azaz: hogyan változik a csillagok látóirányú sebességszórása a halmaz központjától mért távolság függvényében? Ehhez fontos a halmaztag objektumok kiválogatása a Tejútrendszer csillagai közül, amihez a fizikai paraméterek és a radiális sebesség által kifeszített sokdimenziós fázistérben loka-

lizáltuk a halmazt és csillagait (a gömbhalmazok sebessége akár 200 km/s-mal is különbözhet a tejútrendszerbeli csillagok sebességétől, azaz nagyon jól elválaszthatók egymástól a sebességtérben a halmaz és a mezőcsillagok). A feladatot megoldva felrajzolhatjuk a halmaztagok radiális sebességeit a középponttól mért távolság függvényében, ami minden esetben nagyon karakterisztikus ék alakú eloszlást követ *(4. ábra)*.

Az eloszlás oka könnyen megérthető: a gömbhalmaz középpontja irányában keresztülnézünk az egész halmazon, így mindenféle sebességgel mozgó csillagot látunk, közeledőt, távolodót, a magon éppen nagy sebességgel keresztülszáguldót egyaránt. Ezzel szemben a halmaz pereme felé egyre inkább csak azokat a csillagokat látjuk, melyek a nagy távolság miatt a halmazhoz képest a legkisebb sebességgel mozognak, így átlagos sebességük megadja az egész rendszer tömegközépponti sebességét. A magtól mért távolságot kis szakaszokra felbontva kiszámíthatjuk az átlagos sebességet, illetve annak szórását, a sebességdiszperziót a távolság függvényében, amit viszont a gravitációs modellekkel közvetlenül össze lehet vetni. Scarpa és munkatársai éppen azt találták több halmaznál, hogy ez a sebességdiszperzió nem csökkent monoton módon kifelé, hanem beállt egy konstans értékre, amit MOND-effektusként értelmeztek.

Ezzel szemben a 47 Tucanae-t kivéve mindegyik halmazra azt találtuk, hogy a Scarpa-féle konstans diszperzió kellően nagy mintaszám esetén eltűnik, a diszperziós profilok hibahatáron belül jól illeszthetők klasszikus newtoni dinamikát feltételező modellekkel *(5. ábra)*. A számítások eredményeként kapott tömeg/fényesség arány nem igényel sem sötét anyagot, sem MOND-feltevést, a sebességek eloszlását kielégítően meg lehet magyarázni a látható csillagok (és a halvány, de ismert csillagmaradványok) becsült össztömegével. A 47 Tuc speciális eset, mivel egy határon túl visszafordul a sebességszórás, a külső tartományokban ismét naggyá válik: ennek magyarázata lehet a csillagok eloszlásából már korábban, mások által felvetett dinamikai instabilitás, ami nagyobb mennyiségben kidob csillagokat a magból, így megnövelheti a szórást a halmaz peremén.

Hogyan tovább?

Kutatásaink cáfolják a gömbhalmazokban kimutatni vélt nemklasszikus sebességeloszlásokat, ami gyengíti a vonatkozó MOND-elméletek realitását. Az általunk gyűjtött adatbázis mindeddig a legrészletesebb vizsgálatokat tette lehetővé gömbhalmazokra, s egyetlen egy esetet sem találtunk, ahol a klasszikus elméleteket el kéne vetni, vagy jelentős mennyiségű sötét anyagra lehetne következtetni. Fontos eredmény az is, hogy ha a gömbhalmazok a Tejútrendszert egykor felépítő galaktikus építőkockák maradványai, akkor a sötét anyag – ha volt bennük valaha is egyáltalán – már rég eltávozott, mára csak a ténylegesen látszó csillagok és csillagmaradványok találhatók bennük.

Az utóbbi években a független módszereken alapuló kozmológiai vizsgálatok, a sötét anyag mellett az Univerzum tágulását gyorsító „sötét energia" felfedezése mind csökkentették a MOND-elképzelések népszerűségét. Az azonban egyáltalán nem biztos, hogy a természet követi a népszerű elméleteket, ezért az alternatív megközelítések empirikus ellenőrzése is nagyon fontos feladat. Cikkünk erre mutatott be egy esettanulmányt, ami egyben arra is szép példa, amikor csillagászati megfigyelések fundamentális fizikai elméletek teszteléséhez járulhatnak hozzá.

Kiss L. László

KÖNYVTERMÉS
Albert Valéria rovata

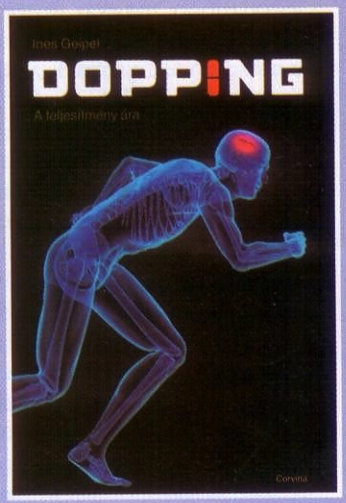
Dopping és társadalmi teljesítménykultusz

A szerző, Ines Geipel 1984-ben egy futóváltó tagjaként, mint az NDK sportolója ért el világcsúcsot. Ő is a keletnémet sportolók „megmérgezett" nemzedékéhez tartozott. Államilag irányított, folyamatos doppingkezelésben részesült, s kiemelkedő sporteredményeit valószínűleg ennek köszönhette. Később szembenézett a múltjával, nevét töröltette az atlétikai csúcstartók listájáról, az utóbbi években pedig a német doppingellenes mozgalom vezéralakja lett.

Könyve különleges mű: szenvedélyes tiltakozás a mindent átható dopping ellen, amelynek veszélyeit különböző problématerületek és esetek leírásán át mutatja be. Részletesen beszél a keletnémet dopinggyakorlatról, amelyben ugyan születtek bírósági ítéletek, de amelyek zömében feltáratlanul és büntetlenül maradtak. Szól az izomépítő szerekről, a géndoppingról, a tiltott szereket szinte maffiaszerűen terjesztők és használók hálózatairól, az ellenőrzések állandó elmaradásáról az új szerekkel való versenyfutásban – ugyanis az új kémiai anyagok kimutatása nehézkes. A széles körben alkalmazott doppingszerek sokféle megbetegedés és hirtelen, illetve váratlan haláleset hátterében játszanak szerepet.

A szerzőnő elmondja beszélgetését az orosz doppingellenes szövetség vezetőjével, aki őszintén bevallja, hogy a tiltás és az ellenőrzés nem képes leküzdeni a kémiai teljesítményfokozást. Egy kínai író pedig (még a pekingi olimpiát megelőző interjújában) saját hazájának sportvezetését vádolja meg, hogy Kínában a dopping még mindig része a sportpolitikának.

A könyvből kiderül, hogy a sportteljesítmények mögött óriási üzleti és politikai érdekek húzódnak meg. A sikerekért a sportolók maguk is szívesen teszik kockára egészségüket. A mű új vonása, hogy a doppingot a sporton túlmutató társadalmi kontextusba helyezi, rámutatva, hogy a doppingszereket ma legnagyobb arányban már nem is az élsportolók, hanem a testépítők használják, általában még annyi védelemben sem részesülve, mint amennyit a versenysport és klubok keretei között működő orvosok tudnak nyújtani. A sokmillióra becsült német testépítők zöme alkalmaz ismeretlen összetételű, de hormonokat vagy egyéb, a testi növekedésbe beavatkozó szereket, amelyeket a fekete kereskedelemből szereznek be, gyakran az interneten rendelnek meg.



A társadalom féktelen teljesítménykultusza tehát az, ami a doppingot a sportban is, de mindinkább azon kívül is fenntartja. Sajnos a szerző sem tud más megoldást kínálni, mint a jelenség feltárását a nyilvánosság előtt, továbbá az ellenőrzések szigorítását és a politikai erők egyértelműbb támogatását a doppingellenes küzdelemben.

A mű olvasmányos, lényegében újságírói munka. Igen magas színvonalú írás, érdekes és jól dokumentált szöveg. A dokumentáció főként az utóbbi évek sajtóközleményei alapján készült. (*Dopping. A teljesítmény ára; Corvina Kiadó, 2009, 142 oldal, 2400 forint*)

Buda Béla