

Csillagászati hírek

Távlatok a gravitációs hullámok előtt

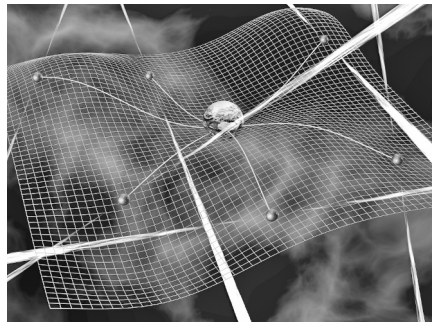
Az utóbbi évek legjelentősebb felfedezése a gravitációs hullámok detektálása (l. Meteor 2016/3, 4. o.). A LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) két megfigyelőhelyén, egymásra merőlegesen mintegy 4 km-re kinyúló karokkal működő detektor észlelte a GW150914 jelzéssel ellátott eseményt. Ennek során két, közelítőleg 30 naptömegnyi fekete lyuk egymásba spirálózása, majd összeolvadása során a téridőben keletkező fodrozódásokat sikerült észlelni. Ez az első megfigyelés minden bizonnyal a megfigyelő csillagászat új korszakát nyitja meg.

A gravitációs hullámok szintén többféle frekvenciatartományon jöhetnek létre, azonban a különféle frekvenciájú hullámok detektálásához eltérő műszerekre van szükség. Ilyen lehet például a NANOGrav (Nanohertz Observatory for Gravitational Waves), amelynek munkatársai szerint alacsony frekvenciájú gravitációs hullámok kimutatása akár a már létező rádiótvárcsövekkel is lehetséges a közeli jövőben. Ezek a nanohertzes tartományba eső gravitációs hullámok azonban nem néhány tucatnyi naptömegű közepes fekete lyukaktól származhatnak, hanem több milliós naptömegnyi szupernagy tömegű fekete lyukaktól. Ilyen fekete lyukak pedig szinte minden galaxis központi részében megtalálhatók, mivel pedig a galaxisok összeolvadása is megszokott jelenség az Univerzumban, így az összeolvadó óriási tömegű fekete lyukak által keltett gravitációs hullámok is valószínűleg igen gyakoriak.

A megoldás kulcsa igen sok, a Földtől rendkívüli távolságban levő pulzár folyamatos megfigyelése. Ezeknek a roppant erős mágneses terű neutroncsillagoknak a sugárzása periodikusan végigsöpör a Földön, a jel pedig rádiótvárcsövekkel észlelhető. Sok pulzár másodpercenként akár több száz jelet is

sugároz, amelyek ráadásul időben rendkívül pontosan érkeznek. Amennyiben a számos pulzár jelének érkezési idejét megfelelő pontossággal (tízmilliomod másodperc) mérjük, Földünknek a legapróbb elmozdulását is érzékelhetjük, ahogyan a gravitációs hullámok áthaladnak környezetünkön. Mivel a szupernagy tömegű fekete lyukak egymás körüli keringése kezdetben igen lassú, ezért a téridő fodrozódása, változása is igen lassan megy végbe, így ezek Föld melletti elhaladásának kimutatásához több éves folyamatos megfigyelés-sorozatra van szükség.

Amint a fekete lyukak egyre közelebb spiráloznak egymáshoz, a kibocsátott jel frekvenciája is nő, így a pulzárak segítségével történő megfigyelés egy határon túl nem folytatható. Ehhez már nagy kiterjedésű, az űrben elhelyezkedő interferometrikus rendszer szükséges, amilyen például a tervezett eLISA, amely a jelenlegi tervek szerint a 2030-as években kezdheti meg működését.



Fantáziakép a szupernagy tömegű fekete lyukak keringése által kiváltott, a Föld környezetében áthaladó gravitációs hullámokat észlelő detektorok hálózatáról (NASA)

Mindazonáltal a szupernagy tömegű fekete lyukakból álló párosok gravitációs hullámokkal történő felfedezése is nagy jelentőségű lenne. Egy több milliós naptömegnyi fekete lyuk nagyságrendileg a Naprendszer méretével megegyező kiterjedésű, így gya-

korlatilag megfigyelhetetlen a galaxisok központi régióinak sűrű csillagmezéjében.

Ausztrál kutatók nemrégiben hasonló módszerekkel azonban sikertelenül próbálkoztak észlelésükkel. A NANOGrav szakemberei szerint ennek oka a túlságosan kevés megfigyelt pulzár, valamint a gravitációs hullámmal kapcsolatos optimista modellek voltak – mindenképpen szükséges a rendszert nemzetközi együttműködésben üzemeltetni, a minél több pulzár, és természetesen a déli égbolt követése érdekében. Megfelelő hálózattal és nagyszámú pulzár követésével a jelek kimutatása meglévő rádiótávcsövekkel akár a következő évtizedben is lehetséges.

A gravitációs hullámok további kutatása azonban nemcsak különféle frekvenciájú (azaz más típusú objektumok) észlelését jelenti, de lehetőséget adhat a kozmológia négy nagy kérdésének megválaszolására is.

A fekete lyukak összeolvadásakor keletkező gravitációs hullámok megfigyelése során a jel alakjának változásából kikövetkeztethető a fekete lyukak tömege. Az észlelt jel erősségéből a forrás távolságára lehet következtetéseket levonni, hagyományos távcsövekkel kombinált megfigyelésekkel pedig megvizsgálható, hogyan táglult a közöttünk levő tér a hullámok megérkezéséig. Ez pedig a Világegyetem gyorsuló tágulásáért felelős titokzatos sötét energia megértéséhez vihet közelebb.

Nagy lépést jelenthet az ún. ekvivalenciaelv érvényességének vizsgálatában is: vajon a gravitáció ugyanolyan módon hat minden anyagi testre az Univerzumban, illetve nagy távolságokon is a megszokott módon hat-e – a hullámok erejének esetleges csökkenése a LIGO-hoz hasonló adatsorokból lenne kimutatható.

Minél több, minél érzékenyebb, rövidebb hullámhosszon is működő detektor használatával az igen korai Univerzum fejlődése is vizsgálható, különös tekintettel az infláció rendkívül rövid, de igen nagy jelentőségű korszakára, amely töredékmásodperccel a Bumm után következett be. Világegyetemünk csak körülbelül 380 ezer évvel kialakulása után vált átlátszóvá a

részecskék és az elektromágneses sugárzás számára, ezzel szemben a gravitációs hullámok szinte a keletkezés pillanatától a szabadon terjedhettek.

A gravitációs hullámok vizsgálata közelebb vihet a nagy egyesített elmélet megalkotásához, illetve ellenőrzéséhez: a modellek szerint az ősi múltban a napjainkban megfigyelhető négy alapvető kölcsönhatás egyetlen erőben egyesült, majd az Univerzum tágulása és hűlése során mindeddig nem értett folyamatok következtében különváltak.

NASA News 2016. február 24., New Scientist, 2016. február 18. – Molnár Péter

Milliárd fényéves galaktikus fal

Az Univerzum szerkezetén felfelé haladva a galaxisok galaxishalmazokat alkotnak, a galaxishalmazok pedig a legnagyobb méretskálákat szemlélve hatalmas, hálószerű szerkezetet rajzolnak ki. A nemrégiben felfedezett, BOSS Nagy Fal névre keresztelt (BOSS Great Wall) lehet az eddigi legnagyobb, több mint egymilliárd fényév kiterjedésű struktúra. A hatalmas képződményt mintegy 830 galaxis alkotja. Ez pedig csupán az észlelhető rendszerek száma, valószínűleg még ennél is több igen halvány, apró galaxis is tartozik hozzá.

A közeli Univerzumban viszonylag régóta ismeretes a Sloan Nagy Fal nevű képződmény, majd 2014-ben a kutatók felismerték a Laniakea nevű óriási struktúrát, amelynek saját Tejtűrendszerünk is része. Mindkét óriási rendszernél nagyobb tömeget képvisel azonban a most felismert struktúra, amely akár 10 ezer Tejtűrendszer tömegének megfelelő anyagot foglal magában.

A felfedezést Heidi Lietzen (Instituto de Astrofísica de Canarias) és csoportja tette 4,5 és 6,5 milliárd fényév közötti távolságban elhelyezkedő galaxisok átvizsgálásával.

Mindazonáltal meglehetősen nehéz feladat ilyen távolságban levő óriási képződmények esetében eldönteni, mely galaxisok és galaxishalmazok tartoznak valóban a struktúrához. Ehhez például szükség lenne annak eldöntésére, hogy a galaxisok valóban együtt

mozognak-e, ami természetesen távolságuk miatt gyakorlatilag lehetetlen.

A szuperhalmazokon kívül akadnak másféle objektumok is, amelyek, ha valóban összetartoznak, még nagyobb képződményeket alkotnak. Ilyenek lehetnek például egyes kvazárcsoportok vagy gammavillanás-források, amelyek – ha valóban összetartoznak –, esetenként olyan hatalmas méretű képződményeket alkotnak, amelyek létrejöttét a jelenlegi kozmológiai modellek képtelenek megmagyarázni.

New Scientist, 2016. március 8. – Mpt

Nehéz elemek nówákból

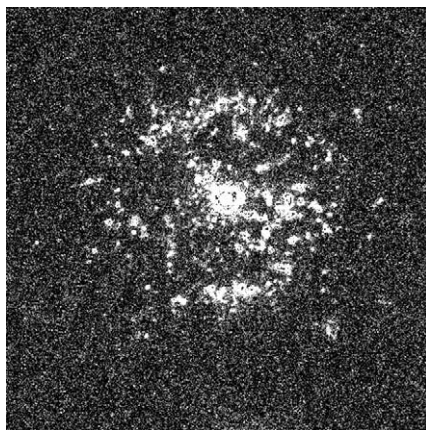
Mint tudjuk, Univerzumunk születésekor szinte kizárólag hidrogént és héliumot tartalmazott. A nehezebb kémiai elemek a később megszületett nagy tömegű csillagok magjában termelődtek, majd a szupernóvaként felrobbant nagy tömegű csillagok szennyezték be a környező gázfelhőket. A nehezebb elemekkel dúsított hidrogénfelhőkből később már olyan csillagok is létrejöttek, amelyek körül kőzetbolygók is kialakulhattak. Nem utolsósorban ezek a nehezebb elemek az általunk ismert élet számára is alapvető fontosságúak.

Robert Gehrz (University of Minnesota) és társai a NASA SOFIA nevű, repülőgépre telepített obszervatóriumának segítségével nówák színképét vizsgálták meg. A 2,5 méteres műszerrel felszerelt repülő obszervatórium nagy magasságban működve kevésbé érzékeny a földi légkör zavaró hatásaira, így a földfelszínről elérhetetlen infravörös tartományba is benyúló spektrumok felvételére alkalmas.

A kutatók azt találták, hogy a szupernóváknál jóval gyakrabban előforduló, kisebb energiájú, hagyományos nówakitörések során is igen nagy mennyiségű nehezebb kémiai elem kerül a csillagközi térbe. A csillagokat elpusztító szupernóva-robbanásoktól eltérően az idős csillagok felszínén lezajló nówakitörések akár többször is megismétlődhetnek a csillag élete során. Ezt a jelenséget a Földről a csillag több (akár 8–10 magnitúdós)

hirtelen, néhány nap alatt lezajló kifényesedéseként észlelhetjük, majd a csillag hetek, hónapok, évek alatt halványodik vissza eredeti állapotába.

A kutatók például a Nova Del 2013 színképének tanulmányozásakor jutottak arra a következtetésre, hogy a kitörés során igen nagy mennyiségben került a csillagközi térbe többek között szén, nitrogén, oxigén, neon, magnézium, alumínium és szilícium – ezek mind a kőzetbolygók alapvető alkotóelemei, de néhányuk az élethez is elengedhetetlen.



A T Pyxidis kitörése után készült Hubble-felvétel jól látszanak a kibővödött anyagcsomók. A Nova Del 2013 még időben túl közeli esemény, így a műszerek felbontása még nem elegendő hasonló felvétel készítéséhez (NASA/ESA/STScI/AURA/NSF)

Az eredmények mindenesetre azt mutatják, hogy a szupernóvak mellett a hagyományos nówák is igen jelentős forrásai ezeknek a kémiai elemeknek.

NASA News, 2016. március 8. – Molnár Péter

Meddig tart egy nap egy exobolygón?

A Hubble-űrtávcsővel dolgozó kutatóknak első alkalommal sikerült közvetlen módon meghatározni egy Naprendszeren kívüli bolygó tengelyforgási periódusát – légkörének fényváltozása alapján.

A Jupiternél mintegy négyszer nagyobb tömegű, 2M1207b jelű bolygó egy hosszabb

ideig csillaggá válni képtelen, ún. barna törpe körül kering körülbelül 8 milliárd kilométernyire (mintegy 55 CSE-re), Földünkől mintegy 170 fényévre.

A méréshez a kép készítése során a Hubble rendkívüli stabilitása, kiváló felbontása volt szükséges. Mindezek segítségével lehetséges volt a bolygó fényességének folyamatos nyomon követése forgása során. A megfigyelt fényességváltozások a bolygó légkörében levő komplex felhőstruktúrák jelenlétére utalnak.

Az először 10 évvel ezelőtt megfigyelt exobolygó vizsgálata során kiderült az is, hogy légkörének hőmérséklete elegendően magas a szilikátok megolvadásához, így a felhőkből kihulló folyékony „szikla” a cigarettafüsthöz hasonló méretű szemcsékben csapódik ki. A légkör mélyebb rétegeiben pedig vascseppek formálódnak és hullanak le esőként, hogy azután az alsóbb rétegekben ismét elpárologjanak. Egyszerűen fogalmazva: a felsőbb rétegekben üvegeső, lejjebb vaseső hullik az 1300 °C körüli hőmérsékleten.

Magas hőmérsékletének köszönhetően a bolygó infravörös tartományban igen fényes, így a mérések is ebben a tartományban történtek. A bolygó még mindössze 10 milliós éves, fejlődése során folyamatosan zsugorodik. Néhány milliárd év alatt jelentősen lehűl majd, így infravörös tartományban mért fényessége is jelentősen csökken. Ezzel párhuzamosan a vas- és szilikátesők és felhők is a légkör egyre alacsonyabb rétegeibe helyeződnek át.

A megfigyelések eredménye szerint a bolygó tengelyforgási periódusa körülbelül 10 óra, ami megegyezik a Jupiter forgási periódusával.

NASA News, 2016. február 18. – Molnár Péter

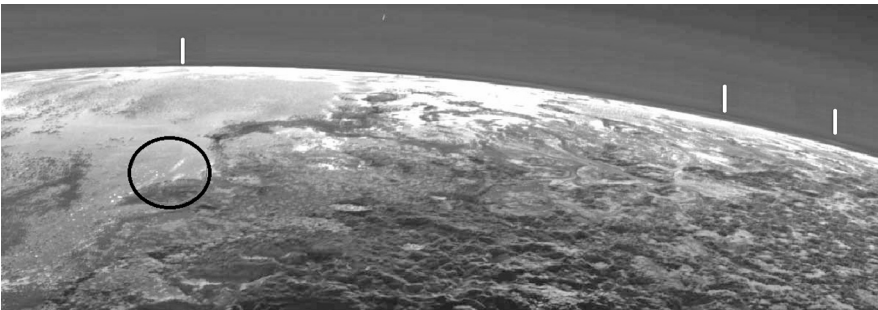
A Pluto felhői

A New Horizons tavaly júliusi Pluto-közeltése óta számos izgalmas felfedezés született, amelyek nagy részéről a Meteor hasábjain is beszámoltunk. A legutóbbi bejelentés szerint a képeken első alkalommal sikerült a törpebolygó meglepően összetett módon működő atmoszférájában felhők jelenlétét felismerni. A bemutatott felvételen a számos ködrétegtől álló légkörben világos színű felhők lebegnek, illetve a korong peremén is azonosíthatók felhőkre emlékeztető struktúrák.

A felhők jelenlétére utaló első jeleket már tavaly szeptember 13-án felismerték: Will Grundy (Lowell Observatory, Arizona) ekkor hívta fel a kutatók figyelmét alacsonyan lebegni látszó alakzatokra. Mindazonáltal meglehetősen nehéz eldönteni, hogy valóban felhőkről van-e szó. Ezen felül további kérdés, mi lehet a pontos különbség a köd és a felhő között – egy lehetséges definíció szerint a köd kiterjedt, fokozatosan tűnik el, míg a felhők kisebbek, és határozott pereműek.

Természetesen a felhők összetétele sem teljesen tisztázott, nyilvánvalóan a légkör összetételéhez igen hasonló: főképp nitrogén, nyomokban metán, acetilén, etilén és etán.

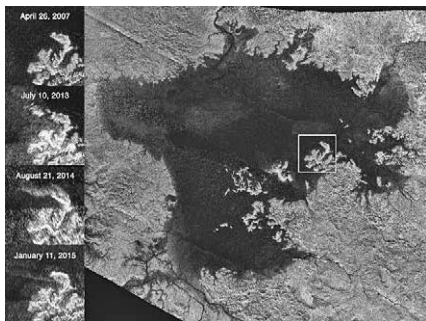
NASA News, 2016. február 18. – Molnár Péter



A Pluto felhői az első felvételeken (körel és a peremen vonalakkal jelölve) (NASA/JHUAPL/SwRI)

Változások a Ligeia-tengeren

A Cassini-szonda által végzett radarméréseknek köszönhetően kiválóan megfigyelhető a Ligeia-tengerben kialakuló, majd fejlődő struktúra. Ez a tenger a Titan második legnagyobb szénhidrogén-tava, területe mintegy 130 ezer négyzetkilométer.



A Mare Ligeia és a benne megfigyelhető változások (NASA/JPL-Caltech/ASI/Cornell)

A „mágikus szigeteknek” nevezett formációk az idő előrehaladtával jelentős változásokon mennek át. A kutatók szerint kifényesedésük oka a folyadék felszínén vagy az alatt megjelenő hullámok vagy szilárd anyag felhalmozódásai, esetleg a folyadékban megjelenő buborékok. Ugyanakkor az árapály, a folyadékszint változása, vagy a tó fenekének megváltozása valószínűleg nem játszik szerepet a fényességváltozásban.

A Cassini által folyamatosan megfigyelt terület mellett a szonda a hold más részein is megfigyelt hasonló képződményeket mind ugyanebben a tengerben, mind pedig a Kraken-tengerben. Ezek a jelenségek voltak az első jelei a tengerekben végbemenő változásoknak, amelyeket számos különféle detektor is észlelt. Jelenlétük megerősíti, hogy a Titan napjainkban is dinamikus, aktív világ.

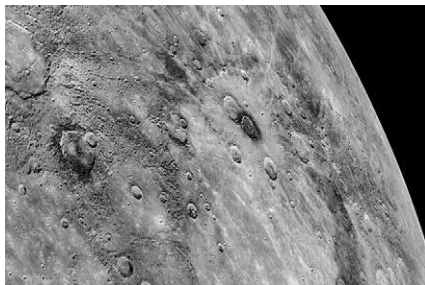
A tervek szerint ezt a területet tovább fogják vizsgálni legalább még egy ízben, 2017 áprilisában, a Cassini-szonda utolsó Titan-közeli látogatásával.

NASA News, 2016. március 2. – Molnár Péter

Magmán úszó grafitkéreg

Régóta ismert, hogy az első pillantásra Holdunkhoz nagyon hasonló Merkúr sötét felszínén még a környezetnél is jóval sötétebb területek is előfordulnak. Lehetőségként felmerült, hogy elsősorban a vas és a titán jelenléte felelős a felszín sötétségéért, de a NASA Messenger szondája nem talált megfelelő mennyiséget ezekből az elemekből.

Most a szonda adatainak ismételt elemzése alapján úgy tűnik, hogy a felszín sötétségéért a szén egyszerű alakja, a grafit felelős. Erre az infravörös tartományban készült felvételek, valamint a felszínről kibocsátott, a kozmikus sugárzás révén kiváltott neutronok nagy száma utal. Sőt, a modellek szerint a régmúltban az egész felszínt ez az anyag borította.



Igen sötét, grafittal fedett területek a Merkúr egy részén (NASA/Johns Hopkins University/Carnegie Institution of Washington)

A grafit eredete a Merkúr fejlődésének egészen korai szakaszáig vezethető vissza, amikor a teljes égitestre kiterjedő magmaóceán borította a bolygót. Ebben az anyagban jelenlegi ismereteink szerint minden anyag – nagyobb tömegénél fogva – elsüllyedt, kivéve a viszonylag könnyű grafitot. A magmaóceán hűlésével párhuzamosan a felszínt ennek következtében nagy területeken grafit borította be, amelynek vastagsága akár az 1 kilométert is elérhette. Később egyes helyeken a lávafolyások ezt a réteget maguk alá temethették.

Ennek megfelelően napjainkban az igen sötét anyag a felszín mélyebb rétegeiből bukkan elő – olyan helyeken, ahol példá-

ul kozmikus becsapódások révén létrejövő kráterekben feltűnik a mélyebb rétegek anyaga.

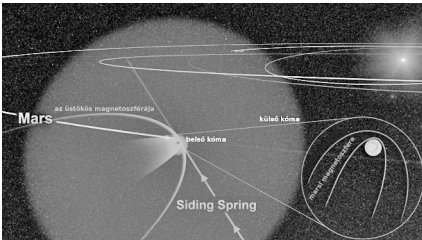
Az igen tetszetős elmélet mellett egy másik elképzelés is létezik: a Merkúrbra csapódó üstökösök is hozzájárulhattak a felszín grafitfallal való beborításához.

New Scientist, 2016. március 7. – Molnár Péter

Káoszba taszította az üstökös a Mars mágneses mezejét

2014. október 14-én a C/2013 A1 (Siding Springs)-üstökös igen szoros közelségben haladt el a Mars mellett – a jelek szerint eközben szinte teljesen szétzilálta a vörös bolygó egyébként is gyenge mágneses terét.

A történelmi megközelítés előtt mindössze néhány héttel állt pályára a Mars körül a NASA MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution) űrszondája. A fedélzetén található érzékeny eszközök védelmére érdekében azokat a megközelítés idejére kikapcsolták, hasonlóan a többi, a Mars körül keringő egység esetében is. A MAVEN magnetométere kivétel volt, így a kutatók nyomon követhették az üstökösnek a Mars magnetoszférájában okozott átmeneti, de annál mélyrehatóbb pusztítását.



A Siding Springs-üstökös és a Mars bolygó mágneses tereinek kölcsönhatása (NASA/Goddard)

A Földtől eltérően a Marsot nem védi a bolygó belsejében generált mágneses mező. A légköre a napszél eltérítésével nyújt némi védelmet. A bolygó felsőléggköre plazmaál-

lapotú, elektronok és pozitív ionok elegye. A napszélben áramló, szintén töltött részecskék kölcsönhatásba lépnek ezzel a plazmával, a mozgó, keveredő töltött részecskék áramai pedig – a Mars esetében igen gyenge – mágneses teret generálnak. Mágneses tér övezte a Siding Spring üstökös is, amely szintén a napszél és a Nap hőjének hatására az üstökös magjából kiszabadult, és azt kóma formájában körülvevő plazma kölcsönhatásának eredménye. Bár a szilárd mag alig fél kilométeres, a kóma mérete eléri az 1 millió kilométert is (ennek legsűrűbb, maghoz közeli belső része figyelhető meg távcsövekkel).

A legnagyobb megközelítéskor a bolygó és az üstökös távolsága alig 140 ezer kilométer volt, így a bolygó néhány órán keresztül a Siding Spring kómájában fürdött. Ennek sűrű belső része elérte, vagy súrolhatta a felszínt is. Az üstökösöt övező erős mágneses tér kölcsönhatásba lépett a bolygó gyenge mágneses mezejével, ennek során egy időre szinte teljesen el is nyomta azt. Kezdetben csak apró változások következtek be, a mágneses tér különböző régiókban jellemző irányai elkezdtek másfelé mutatni, majd az üstökös közeledtével a hatások gyorsan erősödtek, a bolygó egyébként „csendes” mágneses mezeje ekkor már jelentősen hullámzott. A legnagyobb megközelítéskor pedig, a legsűrűbb kómaanyag érkezésekor, a Mars mágneses tere teljesen kaotikussá vált, órákkal az üstökös elhaladása után is mérhetőek voltak a zavarok.

Ez a hatás a rövid napviharakhoz hasonlít. A szoros megközelítéskor valószínűleg a Mars felsőléggköréből elszökő gáz mennyisége is megnövekedett. A MAVEN célja éppen a marsi légkör pontosabb megértése, így ebben nagy segítséget jelentett az üstökös- és a Mars-magnetoszféra kölcsönhatásának megfigyelése.

Science Daily, 2016. március 10. – Kovács József