

Fizika a csillagászatban

– csillagászat a fizikában

2005 a fizika nemzetközi éveként vonul be a tudománytörténetbe, amihez Einstein halálának 50., illetve három nagy hatású tanulmánya megjelenésének 100. évfordulója adta az apropót. 1905 Einstein nagy éve volt, ugyanis ekkor fogalmazta meg a fotonhipotézist (a fény kis energiakvantumok, azaz fotonok árama), leírt egy fontos kísérleti tesztet a hőelmélettel kapcsolatban, illetve megalakította a speciális relativitáselméletet. Erre emlékező rendezvények, előadások, egyéb akciók százait tartják világszerte, melyek fő célja a fizika népszerűsítése minél szélesebb körben. A legtöbb ember számára az iskolai élmények legsötétebbjei közé tartoznak a fizikaórák, és a fizika nemzetközi éve ezt szeretné kicsit más megvilágításba helyezni. Hiszen éppen a 20. századi fizika legszebb eredményei teszik lehetővé a mai technikai fejlődést, ami kétségkívül soha nem látott módon változtatta meg életünket. Vitathatatlanul megvannak a fejlődés árnyoldalai is, azonban nem szabad elfelejteni, hogy pl. a környezetvédelemmel és az energiahordozók véges készleteivel kapcsolatos problémák jelentős részét szintén a fizikai kutatások fogják megoldani. Éppen ezért a fizika fontosságát nem lehet eléggé hangsúlyozni, s talán az idei év rendezvényei ezt jobban tudatosítják mind a döntéshozók, mind a közvélemény előtt.

Jelen cikk célja szintén köthető a fizika nemzetközi évéhez. Bár általában nem szokás emlegetni (talán mert magától érthetődőnek tartjuk?), a csillagászati kutatások alapvetően fizikai problémák megoldására irányulnak. Például a csillagok, a csillagközi anyag, a csillagfejlődés végállapotainak tanulmányozása mind-mind az anyag szélsőséges körü-

mények (hőmérséklet, nyomás, sűrűség, sugárzási viszonyok) között mutatott viselkedését kutatja, még ha általában nagyon áttételesen is. A távoli galaxisok, galaxishalmazok elméleti és megfigyelési vizsgálata az egész Univerzum kialakulásával és sorsával kapcsolatosak, amit az anyag legnagyobb léptéken mutatott viselkedése, illetve a korai állapotok szélsőséges körülményei határoznak meg. Természetesen a tudomány mai képviselői általában apró részproblémák megoldásával foglalkoznak, és néha nehéz belátni, hogyan kapcsolódnak a különböző szakterületek részkérdései a tényleges fizikai problémákhoz. Cikkünk célja olyan csillagászati eredmények bemutatása, melyeknél kristálytisztán látható az egész fizikára gyakorolt hatás. Mivel a Meteor véges oldalszáma erősen korlátozza a lehetőségeket, ezért a teljességre való törekvés ezúttal sem volt célunk.

Válogatásunk alapját a fizikai Nobel-díjak adják. 1901, a Wilhelm Conrad Röntgennek adott első fizikai Nobel-díj óta 7 évben díjazott csillagászathoz kötődő kutatókat a Nobel Alapítvány (ebben nem szerepel Victor Hess osztrák fizikus, aki 1936-ban a kozmikus sugarak felfedezéséért kapott megosztott Nobel-díjat a pozitront felfedező Carl Andersonnal). Nem vitás, hogy a Nobel-díj a legnagyobb tudományos elismerések egyike, és bár éppen a csillagászatban találunk több vitatott díjazást (l. később), a fizikai Nobel-díjat kapott asztrofizikusok fényes csillagként ragyognak mind a csillagászat, mind a fizika egén. (A Nobel-díj a csillagászat esetében csak az utóbbi 40 évben vált mérvadóvá, mivel a díj alapításakor Nobel külön kizárta a matematikusokat és a csillagászokat a

díjazható tudósok közül. A legenda szerint erre feleségének egy prominens matematikus-csillagászhoz fűződő viszonya adott okot...)

Végül még egy szóhasználatlalt kapcsolatos megjegyzés. Mind az angol, mind a magyar szaknyelvben ismeretes a csillagászat (astronomy) és az asztrofizika (astrophysics) megkülönböztetése. A csillagászati szakcikknek jelentékeny hányada leíró jellegű, ami a belátott Univerzumban található objektumok rendkívül nagy számából adódik. Pontos megfigyelések végzése, majd az abból kinyerhető fizikai információk értelmezése magában sok szakismeretet igénylő folyamat, melyben azonban igen ritkán merülnek fel alapvetően új fizikai problémák. A csillagászat ilyen értelmezésével párhuzamosan szokás megkülönböztetni az asztrofizikát, mint az égitestek jellemzőit kialakító fizikai törvények, összefüggések, folyamatok kutatását, ami éppúgy felhasználhatja a precíz megfigyeléseket, mint a leíró jellegű vizsgálatok, ám mégis jellemzőbben elméleti módszerekkel következtet új jelenségekre. A szerző véleménye szerint a sokszor szembeállított értelmezés létjogosultsága legalábbis megkérdőjelezhető. Nincsenek éles határok sem a megfigyelési és az elméleti kutatások, sem az égitestekről folyamatokra, illetve a folyamatokról égitestekre következtető vizsgálatok között – egyik sem szakadhat el teljesen a másiktól.

A csillagok energiatermelése

A Nobel Alapítvány csillagászzal kapcsolatos ellenérzéseit Hans Bethe német származású amerikai fizikus törte meg, aki 1967-ben a magreakciók elméletéhez való hozzájárulásáért, különös tekintettel pedig a csillagok energiatermelésére vonatkozó felfedezéseiért kapott fizikai Nobel-díjat. Mint általában, ebben az esetben sem siették el a döntést: a díjjal

jutalmazott kutatásait Bethe Amerikába való kivándorlása után közvetlenül, 1935 és 1938 között végezte el, amikor az atom- és magfizika legnagyobb felfedezéseit kora asztrofizikai tudásával egyetemesen magyarázatot adott a Nap, majd később a nagyobb tömegű csillagok energiatermelésére.



H. A. Bethe

Egészen a II. világháborút megelőző időszakig a csillagászat egyik legnagyobb kérdése az volt, hogy honnan származik a Nap által kisugárzott felfoghatatlan mennyiségű energia. Kelvin és Helmholtz, a 19. századi fizika nagy alakjai még úgy gondolták, hogy a Nap folyamatosan zsugorodik, és a közben hőenergiává alakuló gravitációs helyzeti energia fedezi sugárzását. Az elképzelés elvben jó (pl. ma már tudjuk, hogy a Jupiter saját belső hőtermelését ténylegesen ez hajtja), azonban a Nap mai méretét és energiatermelését figyelembe véve alig néhány millió évig működhetne. A 20.

század elején sokasodtak a geológiai bizonyítékok a Föld sok nagyságrenddel hosszabb életkorára, majd a radioaktív kormeghatározási módszerek felfedezése rámutatott arra, hogy Földünk viszonylag háborítatlan múltja több milliárd évre nyúlik vissza. Azaz a Nap sugárzása is legalább több milliárd éves időskálán állandó, vagyis a Kelvin–Helmholtz-féle gravitációs kontrakciót ki lehetett zárni a lehetséges magyarázatok közül.

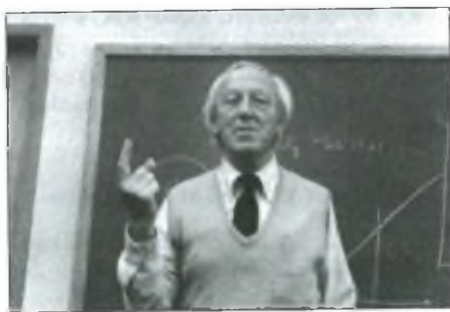
Hans Bethe 1938-ban került kapcsolatba a Nap energiatermelésével, amikor Carl von Weizsäcker feltételezte, hogy két proton deutérium-maggá egyesülhet, miközben felszabadul egy pozitron és egy neutrínó. George Gamow, Teller Ede, majd Charles Critchfield (Gamow tanítványa) munkái nyomán jutott el Bethe a proton-proton ciklus felfedezéséig, amely során több közbülső lépésen keresztül a hidrogén atommagok héliummá fuzionálnak, miközben tetemes energia és több neutrínó szabadul fel (ezek detektálása lesz később a közvetlen kísérleti bizonyíték a csillagok magjában lezajló fúziós folyamatokra). Szintén Bethe nevéhez fűződik a CNO-ciklus felfedezése, ami a Napnál nagyobb tömegű (azaz magasabb központi hőmérsékletű) csillagokban jut fontos szerephez. A hatlépéses CNO-ciklusban különböző szén-, nitrogén- és oxigénizotópok vesznek részt, és bonyolult összjátékuk a magfizika legszebb törvényeit mind megidézi.

Bethe 1938 tavaszán dolgozta ki nagy jelentőségű munkáit, és érdekes módon, csillagászati problémákkal a rákövetkező 40 évben nem is foglalkozott. 1967-ben, a fizikai Nobel-díj rövid időre felkeltette asztrofizikai érdeklődését, ám tényleges csillagászati kutatásokat csak nyugdíjazása után végzett, amikor a II-es típusú szupernóvák robbanásai kezdtek érdekelni. A csillagok energiatermelésében végzett munkái ma már a középiskolai

tankönyvekben is szerepelnek, ami magában jelzi eredményeinek alapvető jelentőségét. Idén márciusban, 98 évesen hunyt el.

MHD és a plazmák viselkedése

Három évvel Bethe Nobel-díja után ismét csillagászati vonatkozású kutatások kapták a fizikus világ legnagyobb elismerését. Hasonlóan Bethe-hez, Hannes Alfvén svéd fizikus eredményei is három évtizeddel később vezettek a díjhoz. Miközben a világ éppen készülődött a második világhéjésre, az önmagát elektromérnöknek tekintő Alfvén olyan jelenségek magyarázatán törte a fejét, mint a sarki fény, a mágneses viharok, valamint a földmágneses térben lezajló plazmakölcsönhatások. 1942-ben a Nature-ben publikálta először a magneto-hidrodinamikai (MHD) hullámok létrehozó elméletét, ami forradalmasította a bolygóközi tér és a napszél fizikáját. Az elmélet általánosítása fontos következtetésekkel járt a csillagképződés és a csillagközi anyag mágneses tereire vonatkozóan, ugyanakkor formalizmusát a plazmafizika megalapozására is felhasználták.



Hannes Alfvén (1908-1995)

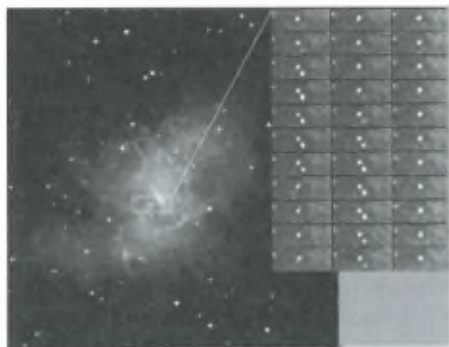
Alfvén eredményeinek alkalmazása vezetett el többek között a Van Allen-féle sugárzási zónák értelmezéséhez és a

földmágneses tér változásainak magyarázatához a mágneses viharok során; szintén alapvető volt hozzájárulása a magnetoszférák elméletéhez, az üstökös-csúvák és a Naprendszer kialakulásához. A napszél által szállított mágneses tér, valamint a töltött részecskékkal való kölcsönhatások mind Alfvén munkáiból kiindulva érthetők meg. 1970-ben Louis Néel-lel megosztva kapott Nobel-díjat, az indoklás szerint a magnetohidrodinamikában folytatott alapvető munkásságáért és felfedezéseiért, melyeket a plazmafizika különböző területein lehetett gyümölcsözően felhasználni (Néel a szilárdtestfizikában alkotott maradandót). Alfvén elméleteit a legnehezebb egyetemi asztrofizika-előadások szokták teljes mélységükben tárgyalni, ugyanakkor alkalmazásukkal szinte minden nap találkozunk.

Pulzárak és a rádiócsillagászat

Sir Martin Ryle és Anthony Hewish brit tudósok voltak az első „igazi” csillagászok fizikai Nobel-díjjal. Mindketten rádiócsillagászati kutatásokért kaptak megosztott Nobel-díjat 1974-ben. Közülük Ryle az 1950-es években úttörő munkát végzett a rádiócsillagászat megalapozásában, illetve az apertúraszintézis néven ismert interferometriai módszer kidolgozásában, míg Hewish a pulzárak felfedezésében játszott kulcsfontosságú szerepet. Ne feledjük, hogy a rádiótechnika a katonai alkalmazásoknak köszönhetően rendkívüli módon fellendült a II. világháború alatt. Ennek egyfajta folyamánya, hogy a legelső égi rádióforrás, a Tejútrendszer magjának felfedezése (Karl Jansky, 1931) után szűk két évtizeddel lendületes fejlődés kezdődött a látható fény tartományán kívül eső csillagászati sugárforrások kutatásában. Martin Ryle 1946-ban kezdte a rádióég feltérképezését, aminek során 1965-ig már kb. ötezer rádióforrást azonosított és

katalogizált. Az apertúra-szintézis módszerével már 1946-ban kísérletezett, de a technika csak jó tíz évvel később forrott ki. A módszer lényege, hogy egymástól nagy távolságra levő rádiótávcsövek jeleit összekombinálva megnövelhető a mérések szögfelbontása, mégpedig annyira, mintha egyetlen nagy rádiótávcsövel mérték volna, aminek átmérője a legtávolabbi antennák távolsága. Mind a mai napig ez az elve az akár több kontinensre szétszórt rádiótávcsövek egyidejű felhasználásának, és ennek köszönhető az is, hogy noha a rádiósugárzás hullámhossza több nagyságrenddel nagyobb a látható fényénél, mégis a rádiócsillagászatban értek el először ezred ívmásodperces szögfelbontást. Ezzel pedig lehetővé vált olyan egzotikus objektumok megértése, mint pl. a rádiógalaxisok magjából kilövellő anyagsugarak forrásai.



A pulzárak optikai tartományban is változtatják fényességüket. Képünkön a Rák-köd

Anthony Hewish Nobel-díja egyike a legellentmondásosabb történeteknek. Maga a díjazott eredmény, a pulzárak felfedezése, az egyik legnagyobb hatású asztrofizikai felismerés. A mindmáig csak közvetetten kimutatott fekete lyukak után a rádiótartományban pulzárorként megfigyelhető gyorsan forgó neutroncsillagok jelentik az anyag legszélső-

ségesebb megjelenési formáját. 10–20 km átmérőjű, ugyanakkor 1–1,5 naptömegű parányi égitestek, sűrűségük az atommagéhoz hasonlítható! Szupererős mágneses terek gerjesztik a megfigyelt rádiósugárzást, és tulajdonságaik mindmáig elbűvölik a csillagászokat és részecskefizikusokat. Hewish szerepe azért ellentmondásos, mert 1967-ben tanítványa, Jocelyn Bell vette először észre azt a furcsán ismétlődő égi rádióforrást, amit ma az első pulzárként tartunk számon. Magát a felfedezést egy ötszerős Nature-cikkben jelentették be, melynek Hewish az első, Bell pedig a második szerzője. Ennek ellenére az 1974-es díjból Bell kimaradt, ami sokak tiltakozását kiváltotta. Ettől függetlenül a szupernóva-robbanásokat túlélő neutroncsillagok mára szintén tankönyvi anyaggá, kutatásuk pedig népes gárdát vonzó szakterületté vált.

A kozmikus háttérsugárzás

Ma már kevesen kételkednek abban, hogy a táguló Univerzum története egy nagy sűrűségű és igen forró korai állapottal kezdődött. Az Ősrobbanás elméletének bizonyítékai között a legelőkelőbb helyen áll a mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás, amit minden irányból közel azonos erősségű „rádiózájként” fedezett fel Arno Penzias és Robert Wilson 1964–65 során. Ez a közel irányfüggetlen (izotrop) sugárzás a hajdani forró állapot maradványaként tölti ki a világegyetemet, és hullámhosszfüggő energiaeloszlása szinte tökéletesen követi a fizikában feketetest-sugárzasként ismert Planck-görbét. A háttérsugárzás spektruma 2,725 K abszolút hőmérsékletű feketetest spektrumával egyezik meg, ami tökéletesen megmagyarázható az Ősrobbanás után kb. 400 ezer évvel bekövetkező rekombinációval, amikor a gyorsan hűlő és táguló Univerzum kb. 3000 K-es hőmérsékleten átlátszóvá vált az elektromágneses sugárzás számára.

Penzias és Wilson egyáltalán nem ilyen horderejű felfedezésre készült 1965-ben. Ők csak tesztelni szerettek volna egy új, 6 m-es rádióantennát, amivel műholdakról kapott rádióvisszhangokat kívántak detektálni. 7,35 cm-es hullámhosszon megmagyarázhatatlan és kiküszöbölhetetlen zajt találtak, ami ráadásul az égi irányoktól független volt. Aprólékos ellenőrzéssel meggyőződtek róla, hogy sem földi, sem ismert égi rádióforrás nem okozhatta a mért jelet. Aztán Penzias teljesen véletlenül szerzett tudomást arról, hogy Robert Dicke, Jim Peebles és David Wilkinson egy még publikálatlan tanulmányban az Ősrobbanás maradványsugárzásának lehetséges detektálásáról értekeznek. Felismerve méréseik jelentőségét, felvették a kapcsolatot Dicke csoportjával, majd egyidőben küldték be tanulmányaikat az *Astrophysical Journal* folyóirathoz. Az 1965. júliusi számban egymás után jelent meg a két cikk, az elsőben Dicke és munkatársai a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás jelentőségéről és következményeiről értekeznek, a másodikban pedig Penzias és Wilson mérési eredményei szerepelnek, szűk másfél oldalban. A Nobel Alapítvány 1978-ban Penziaszt és Wilsont tüntette ki a felfedezésért.

Csillagszerkezet és az elemek keletkezése az Univerzumban

1983-ban ismét két asztrofizikus jelent meg a stockholmi díjátadó ünnepségen. Mindkettő a 20. századi csillagászat nagy alakja: Subramanyan Chandrasekhar a csillagszerkezetet és -fejlődést befolyásoló fizikai folyamatok elméleti vizsgálataiért, Willam Fowler pedig az Univerzum kémiai fejlődését meghatározó nukleáris reakciók kísérleti és elméleti tanulmányozásáért részesült a kitüntetésben.

Chandrasekhar nevével általában a fehér törpék Chandrasekhar-féle határtö-

mege jut az eszünkbe; munkássága azonban sokkal szélesebb volt, tan-könyvszerű alpmunkáin asztrofizikusok generációi nőttek fel. Pályafutása elején, az 1930-as években, a csillagok szerkezete, valamint a fehér törpék elmélete érdekelte. 1938 és 1943 között átváltott a csillagdinamikára és a Brown-mozgás elméletére. Utána 1950-ig a sugárzásterjedés elméletével, benne a csillaglégkörök fizikájával foglalkozott. 1952 és 1961 között a hidrodinamika és hidromágneses stabilitások jeleztek folyamatosan változó érdeklődését, míg 1961–68 során az ellipszoidális testek egyensúlyi stabilitását tanulmányozta. Az 1962 és 1971 közötti évtized az általános relativitáselméletben és a relativisztikus asztrofizikában való elmélyülést hozta, míg a fekete lyukak matematikai elmélete 1974 és 1983 között kötötte le.

A fehér törpék szerkezetéről és maximális tömegéről 1931-ben publikált három tanulmányt, melyek egyikében kétoldalas leveletessel megadta a tisztán fizikai törvényekből lezármaztatható Chandrasekhar-féle határtömeget (az első változatban 0,91 naptömeget, amit későbbi pontosabb – ám elvben semmiben nem különböző – számítások 1,4 naptömeg körüli értékre tesznek). A gravitációt és kvantumfizikát „összeházasító” elméletet és következményeit azóta megfigyelések százai igazolták, miközben a fehér törpéket, ezeket a Föld méretű, ám durván naptömegű égitesteket sikerült a csillagfejlődési végállapotok között értelmezni.

William Fowler az 1950-es években végzett alapvető fontosságú munkát a kémiai elemek keletkezésével kapcsolatban. A Burbidge-házaspárral és Fred Hoyle-lal együtt publikálta alpmunkáját 1957-ben, amiben a csillagokban zajló nukleoszintézist írták le. A 103 oldalas tanulmány részleteiben megmagyarázza, hogy a különböző csillagok kémiai ösz-

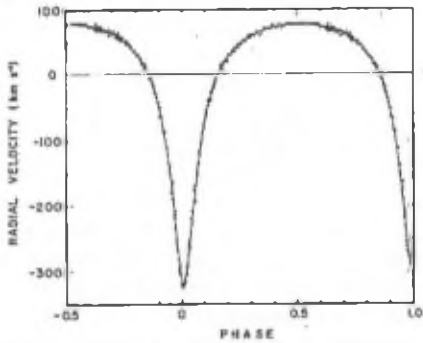
szetételét milyen fúziós reakciókkal lehet modellezni; arra is kitérnek, hogy a legkönnyebb elemeket kivéve (lítium, berillium és bór) a csillagokban zajló magreakciók választ adnak a csillagászati környezetünkben tapasztalható anyagi összetételre. Amikor 1983-ban megkapta a Nobel-díjat, sokan meglepődtek, hogy Fred Hoyle kimaradt belőle, hiszen maga Fowler is elismerte egy önéletrajzi írásában Hoyle fontos szerepét.

Gravitációs hullámok és egy kettőspulzár

1993-ban újra a rádiócsillagászat és a pulzárak kerültek előtérbe, ezúttal Russell Hulse és Joseph Taylor kitüntetésével. A két amerikai csillagász még az 1970-es évek közepén fedezte fel a PSR 1913+16 jelű pulzár periódusának periodikus modulációit. Megfigyeléseik alapján a pulzár átlagosan 0,059 másodperces periódusa kb. 8 órás modulációt mutatott: a gyorsan forgó neutroncsillag pulzusai először kicsit hamarabb érkeznek, majd később kicsit lemaradnak, és mindez szigorúan ismétlődő módon történik. A jelenség magyarázata a pulzár kettőssége: egy láthatatlan, nagy tömegű kísérő objektummal alkotott közös tömegközéppont körül kering, és amikor a pálya Földhöz közelebbi oldalán jár, pulzusai hamarabb érnek ide, mint amikor a pálya távolabbi oldalán jár. A mellékelt ábrán a pulzár látóirányú sebességének változásait látjuk, Hulse és Taylor eredeti mérései alapján rekonstruálva.

A felfedezés jelentősége akkor vált nyilvánvalóvá, amikor kiderült, hogy a másik objektum is egy neutroncsillag, és a nagy tömegű objektumok szoros pályán keringése pár év alatt kimutathatóvá teszik a relativisztikus effektusokat. Öt évvel a felfedezés után, 1979-ben jelentették be, hogy megtalálták a gravitációs hullámok kisugárzásával történő

energiavesztés első jeleit: a PSR 1913+16 keringési periódusa kimutathatóan megrövidült. A rákövetkező évtized precíz mérései igazolták, hogy a pályaperiódus csökkenése tökéletesen egyezik az általános relativitáselméleten alapuló jóslattal. Miként a klasszikus elektrodinamikában a gyorsuló töltések elektromágneses hullámokat sugároznak, úgy a gyorsuló tömegek is gravitációs hullámokat sugároznak, melyek az einsteini téridő apró fodraiként elszállítják a kettős rendszer összenergiájának egy részét. Emiatt a két neutroncsillag közelebb kerül egymáshoz, keringési periódusuk pedig lecsökken.



A PSR 1913+16 kettős neutroncsillag pulzárként megfigyelt komponensének látóirányúsebesség-változásai a 8 órás keringés alatt

Érdeemes megjegyezni, hogy Hulse és Taylor felfedezése volt mindeddig az egyetlen eset, amikor relativitáselmélettel kapcsolatos eredményt díjaztak a Nobel-bizottságban (maga Einstein a fotoeffektus magyarázatáért kapta a díjat 1921-ben).

Röntgensugarak és neutrínók

Ez ideig az utolsó, csillagászzal kapcsolatos Nobel-díjat 2002-ben osztották ki, amikor Raymond Davis és Masatoshi

Koshiba a kozmikus neutrínók detektálásáért, illetve Riccardo Giacconi a röntgensugárzó égitestek kutatásában végzett munkásságáért kapott nemzetközi elismerést. Mindhárman úttörő szerepet játszottak az Univerzumra nyíló ablak tágabbra nyitásában, hiszen mind a neutrínók, mind a röntgensugárzás korábban ismeretlen jelenségekre vetettek új fényt.

A neutrínók parányi részecskék, melyek a normális anyaggal nagyon gyengén lépnek kölcsönhatásba. A Nap belsejében zajló fúziós reakciók nagy mennyiségben termelnek neutrínókat, amelyek azonban akadálytalanul haladnak át a bolygókon, csillagokon. Raymond Davis 30 év munkájával és egy 600 tonnás folyadék-detektorral összesen kb. 2000 neutrínót detektált a Napból, ami az első közvetlen kísérleti bizonyíték



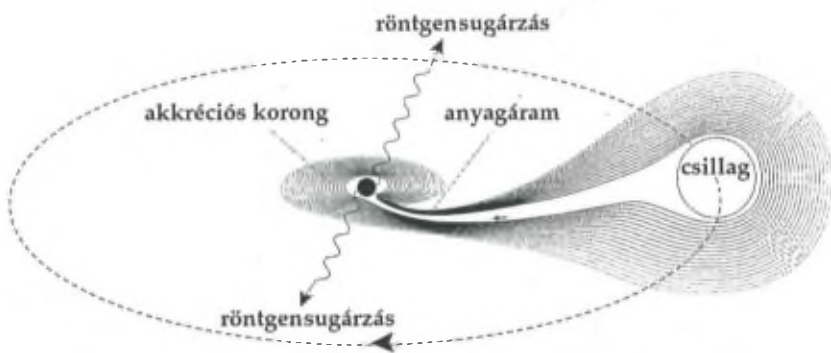
Raymond Davis földalatti neutrínó-detektorában 615 tonna perklór-etilén található. Havonta néhány alkalommal egy-egy neutrínó kölcsönhat egy klór atommaggal, amely átalakul argonná

az ott zajló fúziós reakciókra. Masatoshi Koshiba a Kamiokande neutrínó-detektor létrehozásában játszott kulcsszerepet, amivel nemcsak igazolta Davis eredményeit, hanem 1987-ban detektálta az SN 1987A-t, a Nagy Magellán-felhőben felrobbant szupernóvát is. Az 1990-es évek második felében Koshiba továbbfejlesztette az érzékelőt, és 1996-tól a Super-Kamiokande kísérlet keretein belül vadászik a kozmikus neutrínókra. Ezzel sikerült igazolnia a neutrínó-oszcillációk létét, azaz azt, hogy a különböző típusú neutrínók képesek egymásba átalakulni (ami miatt Davis sokkal kevesebb Nap-neutrínót érzékelt, mint az elméleti jóslatok).

sekharról elnevezett Chandra röntgenműhold.

Ma már tudjuk: a Tejútrendszerünkben felfedezett röntgenforrások többsége szoros kettőscsillag, melyben egy kompakt csillag (fehér törpe, neutroncsillag, fekete lyuk) egy anyagbefogási korongon keresztül anyagot szív el kísérőjétől. A magas hőmérsékletre felmelegedő gáz erős röntgenforrásként tündököl a röntgen-égbolton. Hasonló folyamatok keltik a távoli galaxismagok röntgensugárzását is, azaz nehéz lenne túlbecsülni a röntgencsillagászat megalapozásának jelentőségét.

Izgalmas utazás végigkövetni a csillagászat és a fizika 20. századi kölcsönha-



Röntgensugárzó kölcsönható kettőscsillag modellje

Riccardo Giacconi 1959-ben került a röntgencsillagászatot megalapozó pályájára. Rakétakísérletekkel juttattak röntgendetektorokat a földi magaslégkörbe, és így fedezték fel az első Naprendszeren kívüli röntgenforrást, a Scorpius X-1-et. 1970-ben Giacconi vezette a Kenyából pályára állított UHURU röntgenműhold programját, majd 1978-ban az Einstein X-ray Observatory tervezését irányította. Szintén Giacconi kezdeményezte egy nagy szögfelbontású röntgentávcső űrbe telepítését, ami az 1979-es javaslat után 20 évvel került Föld körüli pályára: ez lett a Chandra-

tásait. A fenti áttekintés csak a leglátványosabb eredményekre térhetett ki, ám ezek mellett is nagyon sok szálon zajlik az együtt haladás. Leggyakrabban a kozmológusok és részecskefizikusok közös érdeklődését szokás emlegetni, de természetesen meglepő új eredmények bármikor szülehetnek más területeken is. Éppen ezért a fizika említésekor ne csak a kínos iskolai feladatmegoldások, hanem az Univerzum felfedezésének szépségei is jussanak eszünkbe – mindannyian jobban járunk.

KISS LÁSZLÓ