HOGYAN KELETKEZTEK A KÉMIAI ELEMEK?

A TERMÉSZETBEN ELŐFORDULÓ KÉMIAI ELEMEKET A CSILLAGOKBAN ZAJLÓ NUKLEÁRIS FOLYAMATOK ÁLLÍTJÁK ELŐ. **DR. MARIA LUGARO**, A **MAGYARORSZÁGI CSILLAGÁSZATI ÉS FÖLDTUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT KONKOLY THEGE MIKLÓS CSILLAGÁSZATI INTÉZETÉNEK** MUNKATÁRSA AZT VIZSGÁLJA, HOGY PONTOSAN HOGYAN MŰKÖDNEK EZEK A FOLYAMATOK, ÉS HOGY MILYEN INFORMÁCIÓVAL SZOLGÁLNAK A NAP KELETKEZÉSÉNEK KÖRÜLMÉNYEIRŐL.

GONDOLKODJ ÚGY, MINT EGY NUKLEÁRIS ASZTROFIZIKUS!

ATOMMAG – az atom központi része, szubatomi részecskék alkotják, melyeket az erős nukleáris kölcsönhatás tart össze

MAGFIZIKA – az atommaggal és az atommagok közti kölcsönhatásokkal foglalkozó tudományterület

NEUTRON – töltés nélküli szubatomi részecske

PROTON – pozitív töltésű szubatomi részecske

MAGFÚZIÓ – olyan folyamat, amely során kettő vagy több atommag összekapcsolódik és egy nehezebb atommag keletkezik

NEUTRONBEFOGÁS – olyan folyamat, amely során egy atommag neutront nyel el, és így egy nehezebb atommag keletkezik

RADIOAKTÍV ATOMMAG – instabil atommag, amely egy rá jellemző időegység alatt egy másik atommaggá bomlik

METEORIT – egy aszteroida darabja, ami túléli a földi légkörön való áthaladással járó felhevülést és a Föld felszínén landol

SZUPERNÓVA – olyan óriási robbanás, amely a csillag gravitációs összeomlása, vagy megszaladó magfúzió következtében megy végbe

Réges-régen, közvetlenül az ősrobbanást követően, a periódusos rendszerben található legtöbb kémiai elem még nem létezett. Az Univerzum csak hidrogénből és héliumból állt. A csillagok belsejében ebből a két könnyű elemből egyre nehezebb elemek alakultak ki különböző nukleáris folyamatok útján. A legnehezebb elemek olyan folyamatok során jöttek létre, mint például a neutronbefogás, míg végül elértük a ma ismert elemek változatosságát. A Nap és a Naprendszer, beleértve a Földünket is, egy sűrű gáz- és porfelhőből képződött, amelyben már minden ismert elem jelen volt.

Dr. Maria Lugaro a magyarországi Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetében dolgozik mint nukleáris asztrofizikus, kutatómunkáját azon fizikai folyamatok részleteinek felderítésére szenteli, amelyek az Univerzum anyagát formálták az Ősrobbanástól egészen a Naprendszer ma ismert formájáig. Jelenleg egy nemzetközi és rendkívül interdiszciplináris kutatócsoport, a RADIOSTAR projekt vezetője a Konkoly Csillagászati Intézetben, radioaktív atommagokat és azok meteoritokban megőrzött nyomait vizsgálja.

„A RADIOSTAR csoport kutatásaival meg akarjuk érteni, hogy milyen kozmikus eseményekből származnak azon radioaktív elemek, amelyek bekerültek abba a régióba, amelynek anyagából a Naprendszer született, és hogy pontosan mikor történtek ezek a kozmikus események." - meséli nekünk Maria. „A radioaktív elemek vizsgálata a legjobb módja, hogy megértsük a Naprendszer anyagának történetét és Napunk keletkezésének körülményeit."

CSILLAG REAKTOROK

A csillagok égő, ionizált gázból álló plazmagömböknek tekinthetők. A magjukban történő magfúziónak köszönhetően tündökölnek olyan fényesen, amely fúzió során a hidrogénatomok héliummá alakulnak. Ez a folyamat azért alakulhat ki a csillagokban, mert belsejüket extrém fizikai körülmények jellemzik. Még a Nap esetében is, ami az Univerzumon belül kis méretű csillagnak számít, a belső hőmérséklet

DR. MARIA LUGARO

ERC-CoG és Lendület projekt vezető, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Eötvös Loránd Tudományos Hálózat, Budapest, Magyarország

KUTATÁSI TERÜLET

Asztrofizika

KUTATÁSI PROJEKT

RADIOSTAR: Radioaktivitás a csillagoktól a Naprendszerig.

TÁMOGATÓ

European Research Council (ERC) ERC-2016-COG – Pályázati Szerződésszám 724560

eléri a 15 millió °C-ot. Összehasonlításképpen, a Földön fémek olvasztására és acélgyártásra használt acélkohók mindössze csak 1500 fokon üzemelnek!

A hidrogén tulajdonképpen a csillagok élelme, vagyis fűtőanyaga. Amikor a hidrogén elfogy, a csillagban újabb, idővel egyre nehezebb elemek fúziós folyamatai indulnak be. A nagytömegű csillagok életének vége felé teljesen elfogy a hidrogén, a csillagok kitágulnak, közben új elemeket képeznek, mielőtt egy nagyon fényes szupernóva-robbanás kíséretében anyagukat szétszórják a világűrbe.

„A 83 stabil, vagyis hosszú életű elem nagyjából 80%-a nehezebb, mint a vas." - mondja Maria. „Ezeknek a ritkán előforduló nehéz elemeknek általában furcsa, néha mitikus neve van, mint például a prazeodímium, irídium, diszprózium vagy prométium." A RADIOSTAR célja, hogy a nehéz elemek kozmikus eredetét megértsük.

NEHÉZ ELEMEK

A legnehezebb elemek létrehozása nem egyszerű folyamat. „A természet hogyan képes összerakni a kis tömegű elemekből, mint például a hélium atommagokból, ami 2 protonból és 2 neutronból áll, a nehéz ólmot, ami 82 protonból és 126 neutronból áll?" - teszi fel a kérdést Maria.

A kérdésünkre a válasz: a neutronbefogás folyamata. Az régóta ismert, hogy a nehezebb elemek neutronbefogással keletkezhetnek, de a folyamat részleteit még mindig homály fedi. Ez azért van, mert a semleges töltésű neutronok hamar, 10 perces felezési idővel pozitív töltésű protonná bomlanak. Ez azt jelenti, hogy szabad neutronokat nehéz képezni.

Mariát rendkívüli módon érdekli a csillagokban zajló neutronbefogás mikéntje, és az, hogy a folyamattal létrejött radioaktív izotópok mit árulnak el a Naprendszerünk kialakulásáról. Egészen pontosan a Nap keletkezését a meteoritanyagban csapdázódott és Földre jutott radioaktív izotópok segítségével szeretné megérteni. A meteoritokban hordozott információ segít megérteni a ma ismert naprendszerünk keletkezésének pontos körülményeit és idejét. A kutató magyarázza: „Bizonyos kozmikus eseményeknek egy pontos időben, a Naprendszer keletkezéséhez képest nem túl korán és nem túl későn, térben nem túl közel és nem túl távol kellett megtörténnie ahhoz, hogy a meteoritokban megfigyelt izotóp-összetételt, vagyis a Naprendszer kialakulásakor jelenlevő por összetételét kaphassuk."

A RADIOSTAR csoport ezeket a radioaktív izotópokat mint órát használja, hogy megállapítsa, mikor keletkezett az anyag a csillagokban, ami aztán a Naprendszerünk anyagát képezi, illetve hogy a Napunk csillagtestvérei a szülőfelhőben milyenek lehettek. A meteoritok összetételének adatait elemezve, melyet például tömegspektrometriával mérnek, és ismerve a különböző radioaktív izotópok felezési idejét a kutatók kiszámolhatják, hogy a különböző típusú és tömegű atommagok mikor keletkezhettek a csillagokban, valamint a szupernóvákban.

FŐ EREDMÉNYEK

Maria eredményei arra utalnak, hogy „a Nap egy nagy és hosszú életű csillagbölcső gyermeke. Voltak testvérei, és több generációs, különböző időkben született csillagok éltek együtt ebben a környezetben. Bár a Nap régen elhagyta már ezt a bölcsőt, ez a környezet mégis erősen befolyásolta a kialakulását és kezdeti fejlődését."

A RADIOSTAR azt is megmutatta, hogy amikor egy nagy tömegű csillag egy pályán kering egy kisebb tömegűvel, a kölcsönhatás következtében több radioaktív alumínium kerül ki a csillagközi anyagba, mint amikor csak egy magányos nagy tömegű csillag termeli azokat. Egy másik újdonság, hogy a nagytömegű csillagok a szupernóva-robbanásuk során nagy mennyiségű nehéz krómot szórnak szét por formájában. Maria és a RADIOSTAR kutatói most azt vizsgálják az apró nyomok felderítésével, hogy ezek az elemek és radioaktív izotópjaik hogyan vándorolhattak a galaxison keresztül, és milyen szerepet játszhattak a Föld mai formájának kialakulásában.

AZ ASZTROFIZIKÁRÓL

Felnéztél az esti égre valaha, azon tűnődve, hogy vajon hogyan működnek a tündöklő csillagok és galaxisok? Az asztrofizika tudományának célja, hogy megértse az űrben létező objektumokat, legyen az bolygó vagy csillag, meteorit vagy galaxis. Ebbe beletartozik annak a fizikája is, hogy hogyan sugározzák ki fénylésük során az energiát, hogyan hatnak kölcsön különböző rendszerekben, illetve hogy hogyan keletkeztek.

Az asztrofizika egy nagy tudományág számos kutatási területtel. Sokan a csillagászati folyamatok számítógépes modellezésével foglalkoznak, míg mások a távoli objektumok, például a bolygók megfigyelésével. Az egyik ilyen terület a nukleáris asztrofizika, ami egy határterület abban az értelemben, hogy a magfizika elméleteit alkalmazza különböző kozmikus környezetekben. A nukleáris asztrofizikusokat az foglalkoztatja, hogy milyen nukleáris folyamatok működtetik a csillagok életének különböző fázisait, és hogy hogyan alakulnak ki az elemek. A munka jelentős részét a különböző atommagok fizikai megértése teszi ki.

Maria egy nukleáris asztrofizikus, aki a csillagokban végbemenő nukleáris folyamatokat vizsgálja. „Örülök, hogy munkám során a fizika különböző területeit kapcsolhatom össze: a csillag és galaxisok fejlődésének elméletét, a csillagok belsejét vizsgáló magfizikát, az atomfizikát alkalmazó spektrometriát, és még a műszeres analitikai kémiát is, ami a meteoritok összetételének értelmezéséhez szükséges." Egy ilyen szerteágazó területen dolgozni izgalmas, mindig új dolgokat lehet tanulni. „Annak ellenére, hogy már 30 éve vagyok a szakmában, folyton tanulok." - mondja Maria. „Mindig vannak új szemszögek és új eljárások, ezeknek a kitalálása, megértése és fejlesztése nagy kihívással jár. Mindamellett izgalmas és kalandos."

Maria a Konkoly Csillagászati Intézetben dolgozik, egy nemzetközi csoportnak, a RADIOSTAR projektnek a vezetője és számos együttműködésnek aktív tagja. „Általában magfizikusokkal dolgozom," - mondja. Az egyik ilyen együttműködésünk (LUNA projekt) laboratóriumban végzett nukleáris reakciós ráták kísérleti meghatározásával kapcsolatos, melyekhez a laboratóriumok az olasz hegyek gyomrában lettek kiépítve. Egy kilométerrel a földfelszín alatt a fedő kőzetek megvédik a kísérleteket a kozmikus sugaraktól, ilyen környezetben a nagyon érzékeny nukleáris kísérleteket már nem zavarják ezek a sugarak, így nagy pontosságú adatok nyerhetők ki a részecskék reakcióiról. „Olyan kollégákkal is dolgozom, akik meteoritok vizsgálatát végzik" - mondja Maria, „és olyan csillagászokkal is, akik a csillagok spektrumát tanulmányozzák."

Nicholas Butler, egy amerikai filozófus szerint, „A szakértő az, aki egyre többet tud egyre kisebb területről, míg a végén mindent tud semmiről." Maria nem ért ezzel egyet. „Ez egy vicces megállapítás, de az én tapasztalatom ennek ellentmond. Minél többet tudok az én speciális területemről, a csillagokban történő neutronbefogásról, annál jobban meg kellett értenem azokat a szakterületeket, amihez ezt a tudást kapcsolni lehet, és kell. Így kénytelen voltam kémiáról, porról, meteoritokról, nukleáris reakciókról és szerkezetekről, és számos más egyébről is tanulni."

Azzal hogy egyre többet tudunk az exobolygókról, a galaxis többi bolygórendszereihez viszonyítva tudjuk egyre jobban megérteni a saját Naprendszerünk tulajdonságait. Ehhez az is kell, hogy egyre jobban megértsük a Naprendszerünk kémiai összetételét, részleteiben kell vizsgálni az izotóp-összetételeket, a radioaktív izotópok jelenlétét, és ezzel azt, hogy hogyan keletkezett a Nap és hogyan alakult ki és fejlődött a Naprendszer. „Minél részletesebben akarjuk ezeket a kérdéseket vizsgálni, annál többet kell kommunikálni a különböző szakterületeknek." - mondja Maria. „Az egyik legnehezebb feladat a saját kutatási eredményeket más szakterületekkel is kapcsolatba hozni, és erre a kutatók következő generációját is fel kell készíteni."

KARRIERLEHETŐSÉGEK AZ ASZTROFIZIKÁBAN

- Kövesd a Royal Astronomic Society karrier oldalait. Számtalan interjút közölnek különböző szakterületen foglalkozó asztrofizikussal, különböző eseményeket, és még versenyeket is szerveznek: **ras.ac.uk/education-and-careers/careers**
- A Space Careers szintén egy jó fórum, ahol különböző lehetőségeket, mint például nyári iskolákat, szakmai találkozókat hirdetnek meg: **spacecareers.uk/?p=summer_schools**
- Vedd fel a kapcsolatot a helyi egyetemekkel és obszervatóriumokkal, és nézd meg, hogy tudnak-e munkatapasztalattal és egyéb gyakorlattal segíteni a szakmai fejlődésben.
- A Konkoly Obszervatóriumnak van egy látogatóközpontja (**www.svabhegyicsillagvizsgalo.hu/**) és segítettek megszervezni a Nemzetközi Csillagászati és Asztrofizikai Olimpiát (**ioaa2019.hu**) is. Maria csoportja is fogad középiskolás diákokat, számos ilyen diák már szakmai cikkekben társszerző lett!

ELJUTNI AZ ISKOLAPADBÓL AZ ASZTROFIZIKÁHOZ

Szükséged lesz egy egyetemi végzettségre fizikából, vagy ehhez kapcsolódó területről, mint például matematikából, kémiából, vagy más természettudományból. Néhány egyetem, mint például a Surrey-i Egyetem (Egyesült Királyság), nukleáris asztrofizika szakirányt is indít.

Lásd: **www.surrey.ac.uk/undergraduate/physics-nuclear-astrophysics**

Egy általános BSc fokozat jelenti az alapképesítést, a specializálódást a mester, illetve doktori fokozatokkal lehet elérni.

HOGYAN LETT MARIÁBÓL ASZTROFIZIKUS?

Amikor fiatal voltam, mindig érdekelt a tánc, leginkább a klasszikus balett, de a flamenco is, és 3 éves koromtól 16 éves koromig képeztem magamat. Táncos vagy tánctanár akartam lenni, de az élet másképp alakult. Körülbelül 10 évvel ezelőtt rájöttem, hogy felnőttként is lehet táncolni csak az egészséges testmozgás kedvéért is, úgyhogy hetente megint balettórákra járok!

Gimnáziumban latint, ógörögöt, történelmet, filozófiát, matematikát és fizikát tanultam. Az egyetem alatt több mindent akartam tanulni, történelmet, politológiát, fizikát és matematikát. Az anyukám fizikát tanult, és végül az ő javaslatára próbáltam meg. Eleinte nehéz volt, mert hiányoztak némely alapok, de hamar kiderült, hogy jó vagyok benne, élveztem, főleg az elméleti tárgyakat, mint pl. a kvantummechanikát vagy a relativitáselméletet. Diplomám témája a nukleáris asztrofizika lett, miután a Torino-i Egyetem (Torino a szülővárosom) egyik jeles professzora, Roberto Gallino, elmagyarázta nekünk, akkori diákoknak, hogy a csillagok és csillagrobbanások mögött ott van a nukleáris folyamatok mikroszkopikus világa, ami nem csak a csillagok fényét szolgáltatja, hanem új fajta kémiai elemeket is hoz létre! Ő mutatott nekem életemben először meteoritot is, és ő magyarázta el, hogyan használhatjuk ezeket a csillagok és a Nap eredetének megértésére, amit még izgalmasabbnak találtam.

Mindig szorgalmas diák voltam, és szerintem ez alapvető feltétele a sikerességnek. Általában sokat kell dolgozni. A másik tulajdonság, ami sokat segített, az a jó memória. A munka során egyre bonyolódnak a kérdések, és fontos pontosan emlékezni, hogy melyik kutatás milyen eredményt mutatott fel, és azt pontosan mi alapján. A jó memória segít, hogy a megoldás felé vezessen a kutatás és ne kerüljön az ember vakvágányra.

Egy kutatónak az alázatosság is fontos ismérve. Ez segít abban, hogy az ember folyton ellenőrizze a saját munkáját, hogy nyitott legyen az új ötletekre, hogy elfogadja, ha hibázik, elfogadja a kritikát, hiszen nehézségekkel előbb-utóbb mindenki elkerülhetetlenül találkozik a szakmában. Egy balett táncos, Margot Fonteyn szerint „Egy fontos dolog, amit az évek alatt megtanultam, hogy van különbség aközött, hogy ha az ember a munkáját veszi komolyan, vagy ha saját magát veszi komolyan. Az előbbi kötelező a szakmában, az utóbbi viszont katasztrófához is vezethet."

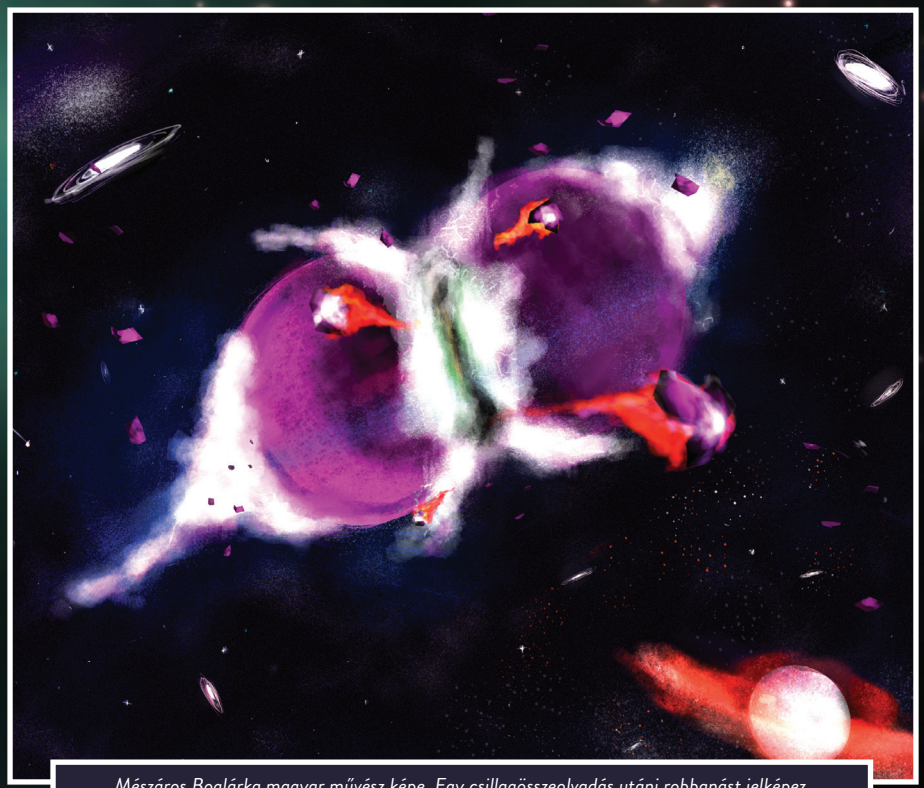
Naponta kétszer gyakorlom a tudatos jelenlétet (meditációt) és megpróbálok egy megadott munkaidőn kívül nem dolgozni, és nem gondolni a munkára. Az agynak is szüksége van a pihenésre, hogy hatékonyan tudjuk használni. Nem könnyű kikapcsolni, ezért is próbálom kontrollálni, hogy mikor miről gondolkodhatom. Szerencsére nagy a családom, akik gyakran kizökkentenek. Minden nyáron igyekszem egy három hetes folyamatos nyaralást beiktatni, amikor még e-mailt sem nézek. Az ilyen hosszabb felszabadulás után mindig feltöltődöm, és utána ismét készen állok a tudományos munka örömeire!

MARIA TOP TIPPJEI

01 A kitartás a kutatók egyik legfontosabb kifejleszthető készsége. Kihívást állítani magad elé egyre nehezebb problémák vizsgálatával, és kitartóan befejezni, megoldani ezeket a problémákat a legjobb módja ennek a készségnek az elsajátítására, ez motiválja és élvezetesebbé teszi a tanulást és a munkát.

02 Olvass sokat, és trenírozd a memóriádat. A kutatóknak folyton olvasni kell, hogy az új kutatási eredményekkel tisztában legyenek, és a jó memória segít, hogy ne vessz el a régebbi és újabb ötletek labirintusában.

03 Ne félj a hibáktól. Állíts magad elé kihívásokat a tanulmányokban és a tudományos munkában, és ez lényegében tényleg arról szól, hogy megtanuld elfogadni a hibákat és továbblépni azokon.



Mészáros Boglárka magyar művész képe. Egy csillagösszeolvadás utáni robbanást jelképez.