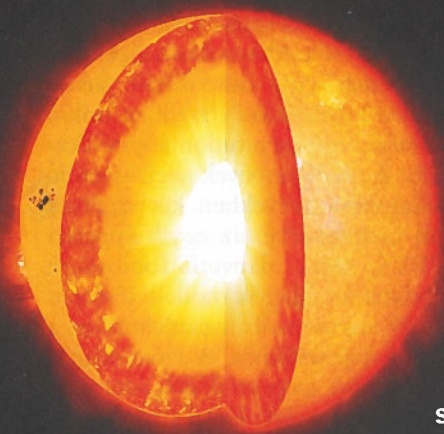


A CSILLAGFEJLŐDÉS KÓDJA



Augusztus végén Budapesten rendezték meg a MESA (Kísérleti Modulok Csillagok Asztrofizikájához) nyári iskolát a CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet szervezésében. A program egyik érdekessége az volt, hogy először tartották az Egyesült Államokon kívül. A csillagok szerkezetének, fejlődésének megértéséhez ma már az észlelési adatok mellett legalább olyan fontosak a számítógépes modellek, és a szakemberek többsége éppen a MESA nevű programcsomagot használja. A Csillagászati Intézetben nagy hangsúlyt fektetnek a nemzetközi együttműködésekre, olyannyira, hogy a munkatársak mintegy ötöde külföldi kutató. Köztük van Meridith Joyce, aki kétéves ösztöndíjjal érkezett hazánkba az Egyesült Államokból. Az ő irányításával és Molnár László szervezésével hozták ide a nyári iskolát. Velük beszélgettünk a MESA-ról, a csillagokról és együttműködésük fontosságáról.

– A bevezetőben említett MESA nyári iskola közös szervezésük volt. De az együttműködésük több mint nyolc évre nyúlik vissza. Hogyan kezdődött a közös munka?

Molnár László: 2015-ben, Kaliforniában találkoztunk először, ahol egy nyári iskola keretében a MESA csillagfejlődési kód használatát mutatták be. Meridith is akkor kezdett ismerkedni ezzel a programmal, aminek ma már egyik fejlesztőjévé vált. Engem azért küldtek Kaliforniába, hogy hozzam haza azt a tudást, amit a MESA nyújt, de helyette tulajdonképpen Meridith-t hoztam magammal, vagy legalábbis a vele való együttműködést. Tartottuk a kapcsolatot a nyári iskola után is, részben a neten keresztül, de néhányszor rövid ideig dolgozott is nálunk az Intézetben vendégkutatóként. Írtunk két jó visszhangot kiváltott szöveget, az egyik a Betelgeuze nagy érdeklődést kiváltó elhalványodását tárgyalta. Aztán, amikor elnyerte az Európai Unió egyik legrangosabb, fiatal tudósoknak szóló ösztöndíját, a Marie Curie ösztöndíjat, nem volt nehéz meghoznia a döntést, hogy hozzánk jelentkezzen.



Csoportkép a MESA nyári iskolájának résztvevőiről Budapesten (FOTÓ: MOLNÁR LÁSZLÓ)

Meridith Joyce: 2015-ben én még a doktori kutatásaim elején jártam. A témavezetóm egy másik programot használt, és azért mentem el a MESA nyári iskolára, hogy megtanuljam a „konkurens” rendszer működését. Az a csillagfejlődési szoftver, amivel én addig dolgoztam, korlátozottabb tartományban használható, de a Naphoz hasonló és annál hidegebb csillagoknál nagyon pontos eredményeket produkál. Ez azért fontos, mert például az exobolygókkal rendelkező csillagok paramétereit is részletesen meg-

lehet vele határozni. A MESA nem feltétlenül ilyen pontos mindenben, viszont sokkal rugalmasabb és sokkal tágabb körben használható, például mint az említett Betelgeuze-hoz hasonló vörös szuperóriás csillagok.

– Milyen céllal érkezett Magyarországra?

M. J.: A Marie Curie ösztöndíj 2022 szeptemberétől 2024 augusztusáig szól. A pályázat keretében a csillagok belső keveredési folyamatainak modelljei és életkoruk meghatározása közötti kapcsolatot vizsgálom a Konkoly



Molnár László és Meridith Joyce (FOTÓ: TRUPKA ZOLTÁN)

Csillagászati Intézetben. Tágabb értelemben a csillagok fizikáját kutatom, szűkebb értelemben a modelleket ellenőrzöm, a valós megfigyelési eredményekkel összehasonlítva.

– Korábban nem csak más intézetekben, de más kontinenseken is dolgozott.

M. J.: Igen, az Egyesült Államokból indultam, Dél-Afrikában, Fokvárosban egy oktatási programban vettem részt, ami aztán tudományos együttműködésévé nőtte ki magát. Aztán Ausztráliában posztgraduálként dolgoztam a canberrai Ausztrál Nemzeti Egyetemen (ANU). Utána jelentkeztem több helyre is, a Marie Curie ösztöndíj pályázatomban a Konkolyban lett sikeres, egy másik pályázatomban pedig Baltimore-ban, a NASA-hoz kapcsolódó Space Telescope Science Institute-ban. Tárgyaltunk ezekkel az intézetekkel, végül mind a két helyen dolgozhattam, Baltimore után jöttem Budapestre.

– Ön numerikus asztrofizikával foglalkozik, de mi volt előbb: az informatika vagy a csillagászat iránti érdeklődése?

M. J.: Az egyetemen először fizikát és matematikát tanultam, majd 2018-ban PhD fokozatot szereztem a csillagok szerkezetének és fejlődésének számításának témájából a Dartmouth College-ban. Szakterületem az elméleti csillagfejlődés és a precíziós csillagmodellelés. A numerikus asztrofizika inkább matematika és számítógéptudomány, de ma már része a modern csillagászatnak. A modellezés fontos az észlelőknek, hogy legyenek, akik meg tudják magyarázni, mit láttak, a modellek készítőinek pedig az a fontos, hogy egyre

megbízhatóbb adataik és ezáltal egyre jobb csillagmodelljeink legyenek. M. L.: Meridith egyik kutatási területe az anyag áramlása, vagyis a konvekció fizikájának pontosabb leírása a csillagmodellekben és ezek tesztelése valódi csillagok megfigyelése alapján. Azért hasznos és sikeres a mi együttműködésünk, mert én megfigyelő csillagász vagyok, ő pedig elméleti szakember, modelleket tud előállítani, amelyek meg tudják magyarázni azokat a méreket, amiket én elé teszek. Amin most dolgozunk, az gyakorlatilag folytatása annak, amit korábban, még az ösztöndíj előtt csináltunk és egész érdekes eredményeket kaptunk.

M. J.: Dolgozom egy hosszabb távú projekten is. Áprilisban a Nemzetközi Csillagászati Unió (IAU) egyik Szimpóziuma is Budapesten volt. Adam Riess Nobel-díjas kozmológussal elkezdtünk beszélgetni, amiből azóta elindult egy projekt, amiben az Univerzum kozmológiai megfigyelésekből számolt kora és a legöregebb csillagok kora közti elmentmondásokat vizsgáljuk majd.

– Tulajdonképpen mi a MESA és hogyan működik, hogyan használják?

M. J.: A MESA a *Modules for Experiments in Stellar Astrophysics* rövidítése, ami egy szoftvercsomag, és a bevitt adatok alapján egy csatolt differenciálegyenletrendszerrel old meg, leírva az alapvető mennyiségeket, mint a fényesség, a tömeg és a hőmérséklet fejlődését az időben. Ez azt jelenti, hogy minden időpillanatra kiszámolja, hogy egy adott csillag éppen hogyan néz ki, hogyan épül fel, milyenek a belső paraméterei és ezt lépteti tovább

az időben. Bár nem mindenki ért egyet azzal, hogy a MESA a legjobb, de ennek van a legnagyobb felhasználóbázisa a világon. Szabadon hozzáférhető és nyílt forráskódú, annak minden előnyével és hátrányával.

Az Egyesült Államokban tízévente készítenek egy összeállítást arról, hogy a következő évtizedben mik a fő céljai egy-egy tudományterületnek. A 2030-as évek elejéig szóló csillagászati tervekben két szoftver van megnevezve, az egyik éppen a MESA, mint alapvető fontosságú rendszer a csillagok modellezésére.

2019 augusztusában csatlakoztam a MESA-fejlesztőkhöz, és azóta számos nemzetközi csoporttal dolgoztam és dolgozom együtt. Ezzel nagyon sok kutatásba be lehet kapcsolódni és szinte bármit modellezhetek ezen a téren.

– Jól érzem, hogy nem csak szakmai okok miatt szervezték meg, hogy idén Budapesten tartsák a MESA nyári iskolát, hanem szíviügyük is?

M. L.: Fontos volt nekünk, hogy legyen egy olcsóbb, közép- és kelet-európai fiatalok számára is elérhető lehetőség. A MESA szoftvercsomag használatának oktatása a kezdetektől fontos célja volt a fejlesztőknek. 2012-től 2022-ig a Kaliforniai Egyetem Santa Barbara-i campusa adott otthont az évente megrendezett nyári iskolának, jellemzően 30–45 tanuló részvételével.

M. J.: Az iskola egy mára alaposan tesztelt és kidolgozott protokoll szerint zajlik: minden nap valamilyen tudományos témakör vagy probléma bemutatásával kezdődik, amelyet a nap folyamán a modellező szoftver segítségével járnak körbe a tanulók. Ehhez nem csak előre kidolgozott laborfeladatok állnak rendelkezésükre, hanem minden asztalnál ül velük egy oktató is, aki segít mindenféle probléma megoldásában, az értelmezéstől a hardveres-szoftveres fennakadásokig.

M. L.: 2023 volt az első év, hogy új helyszínen, Budapesten kapott helyet az iskola, Meridith irányításával, én pedig a helyi szervezésért feleltem. A nyár végén tartott rendezvényünk volt eddig a legnépesebb, 50 hallgatóval, 17 oktatóval és 6 előadóval. Ebben az évben vörös óriáscsillagok szeizmológiája, nukleáris asztrofizika, pulzáló váltzócsillagok és kölcsönható kettőscsillagok szerepeltek a tudományos programban. A tanulók

visszajelzése alapján a MESA@Konkoly Summer School egyértelmű siker volt: a tudományos programot és a laborfeladatok színvonalát is nagyszerűnek találták, de a szervezéssel, illetve Budapesttel mint helyszínnel is nagyon elégedettek voltak.

M. J.: Az oktatás valóban mindketőnk szívügye. Számomra különösen fontos, hogy ne csak fiatalokat, de lányokat is behozzak erre a területre, mert a computer science jelenleg nem vonz túl sok hölgyet.

- Az Ön életrajza szerint a kutatómunka mellett sokoldalú művészeti tevékenységet is végez. A zene, a tánc, a koreográfia, a festészet kapcsolódik-e valamilyen módon a tudományos munkájához?

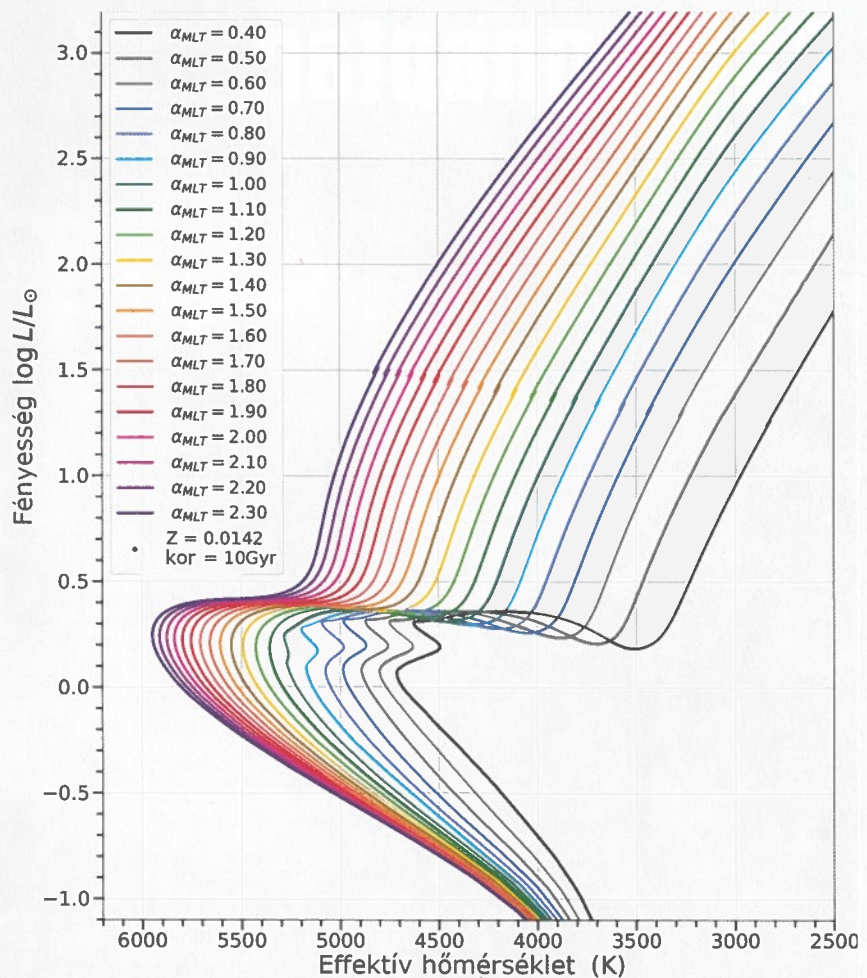
M. J.: A zene egy az egyben kapcsolódik ahhoz, amit a csillagoknál vizsgálunk, mert például a csillagszeizmológiában ugyanolyan oszcillációkról, hanghullámokról van szó. Ami pedig a tudományos kreativitást illeti, a többször emlegetett együttműködésekre utalnék. Lászlóval kombinálunk olyan dolgokat, amik egy részéhez csak én értek, egy másik részéhez pedig ő. Az a tudományos eredmény, ami ebből megszületik, gyakorlatilag analóg egy művészi alkotással.

- A messziről jött vendégtől mindig mindenki megkérdezi, hogy milyennek látja az országot.

M. J.: Magyarországon élni nagyon érdekes élmény. Most egy nyelvi ki-sebbség képviselőjeként vagyok jelen, ellentétben a korábbi országokkal, ahol dolgoztam. De rengeteg baráti segítséget kapok, akik nélkül nem tudnék elnavigálni az országban. A férjemmel együtt jöttünk Budapestre és hoztuk magunkkal a kutyánkat is. Ezért is tetszik, hogy a város mennyire kutyabarát, és az is, hogy Budapest nagy hangsúlyt fektet arra, hogy nagyon sok zöld terület legyen benne,

- Főként mit visz majd haza Magyarországról?

M. J.: Úgy érzem, Magyarországon sokkal magasabbra értékelik a tudományt, mint sok más helyen, ahol már dolgoztam. Nagyon sok helyen nincs meg az a légkör, az a szakmai együttműködés, amit a Csillagászati Intézetben tapasztaltam, Megosztjuk egymással az ötleteket, a tudást, az eredményeket. Ez olyan pozitív



A csillagban zajló keveredési folyamatok hatása a MESA kóddal számolt csillagmodellekre. Az egyes vonalak izokronákat, vagyis azonos korú, de egyre nagyobb tömegű csillagok sorozatát jelölik, itt éppen 10 milliárd éves korukban, fényesség és hőmérséklet szerint. Minél hatékonyabban tudja a csillag a felszínre szállítani az energiát a konvektív áramlásokkal, annál forróbb lehet a felszín. (FORRÁS: MERIDITH JOYCE ÉS MOLNÁR LÁSZLÓ)

attitűd, ami nagyon tetszik, és valamilyen módon mindenképpen magammal akarok vinni.

Az Egyesült Államokba fogok visszamenni, ahol professzori kinevezést kaptam a Wyomingi Egyetemre 2024 végétől. Ott részben computer science, részben fizika háttérű pozícióm lesz. Lehetőségem lesz vendégkutatók fogadására is, ami a magyar együttműködésünket is tovább tudja vinni.

- Ha már a Konkoly-nál tartunk, az önök példáján is látszik, hogy nagy hangsúlyt fektet az Intézet a nemzetközi együttműködésekre, de abból még inkább, hogy a munkatársak ötéde hosszabb-rövidebb ideig itt dolgozó külföldi kutató. Mit tud a Csillagászati Intézet, ami miatt ilyen népszerű?

M. L.: Ha valaki ERC-hez vagy hasonló nagy pályázathoz kapcsolódó posztdoktori állást keres, akkor

kezdünk versenyben lenni. Kóspál Ágnes és Maria Lugaro is elnyerte az Európa Tanács támogatását, ami nagyon jelentős szakmai elismerés magának az intézménynek is. Szerénytelenül mondhatom, hogy már vagyunk olyan elismert szakemberek nemzetközi szinten, és tudunk olyan munkafeltételeket biztosítani, ahova szívesen jönnének kutatni a világ másik feléről is. Ráadásul ez valamennyire öngerjesztő folyamat. Meridith most is dolgozik magyar hallgatókkal, és persze 2024 után is tartjuk vele a kapcsolatot. Lesz lehetősége és szívesen lát majd magyar hallgatókat is az új munkahelyén. Ez megint nagy előnye ennek az együttműködésnek, mert napjainkban a tudományos pályán nélkülözhetetlenek a külföldi, nemzetközi tapasztalatok a fiatalok előrelépéséhez.

TRUPKA ZOLTÁN