

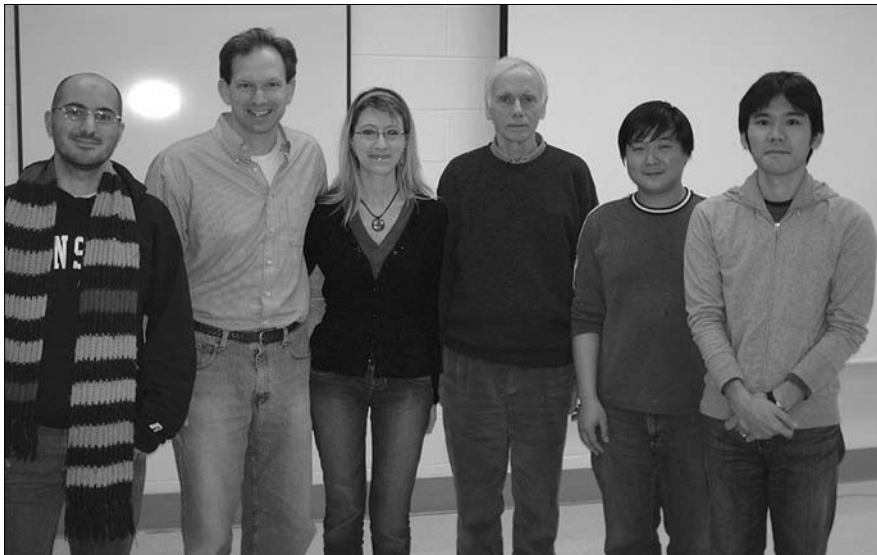
Interjú a gammavillanások magyar származású vezető kutatójával

A ScienceWatch portál 2009 júniusában hosszabb interjút közölt Mészáros Péterrel, a Pennsylvania State University magyar származású fizika és csillagászat professzorával, a Center for Particle Astrophysics igazgatójával a gammavillanásokkal kapcsolatos elmúlt évtizedbeli eredményekről, illetve a közeljövő kutatási irányairól. A Budapesten született Mészáros professzor szóban forgó területen kifejtett aktivitását és a területre gyakorolt hatását jól jelzi a témával foglalkozó másfélszáz cikke és az 1999. január 1. és 2009. február 28. között rájuk kapott ötezernél is több mértékadó hivatkozás, ami a szóban forgó témában és időszakban egyedülállóan magas szám. A következőkben az interjú fordítását közöljük abban a formában, ahogyan a ScienceWatch portálon megjelent, néhány magyarító ábrával kiegészítve.

SW: Kérjük, foglalja össze röviden, hogyan lett kutató, s milyen témákkal foglalkozott pályafutása során.

Szüleim a háború alatt menekültek el Magyarországról, először Belgiumba, majd később Argentínába, ahol kislíuként a táborozások alatt gyakran töltöttem az éjszakát a szabad ég alatt azon tűnődve, hogy mitől is világítanak a csillagok. MSc fokozatomat fizikából kaptam a buenos aires-i egyetemen, majd ezután tanulmányaimat a kaliforniai Berkeley Egyetemen folytattam, ahol 1972-ben szereztem Ph.D. fokozatot, kutatási témám a csillagközi anyag fizikája volt.

A nagyenergiájú asztrofizikával és a kozmológiával posztdoktori időszakom alatt jegyeztem el magam Princetonban és az angliai Cambridge-ben. Dolgoztam a hideg sötét anyag (Cold Dark Matter) kozmológiájával kapcsolatos korai kutatásokban és tanulmányoztam a fekete lyukak akkréciójának kérdéseit is. Egészen 1990-ig főleg a fekete lyukakkal és a mágneses neutroncsillagokkal kapcsolatos munka kötött le. Ekkorra azonban a gammavillanások (Gamma-ray



Mészáros Péter professzor munkatársai és tanítványai körében

Bursts, GRBs) is egyre érdekesebbé váltak, s éreztem, hogy valamilyen módon kötődnek addigi kedvenceimhez, bár nem volt teljesen világos előttem ezen kapcsolat természete.

SW: Mi volt végül is, ami teljesen a gamma-villanások felé terelte érdeklődését?

A NASA 1990-ben bocsátotta fel a Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) mesterséges holdat, melynek mérései alapján úgy tűnt, hogy a GRB-k térbeli eloszlása izotróp, ez pedig azt jelentette, hogy vagy nagyon közeli (galaktikus) objektumok, vagy nagyon-nagyon távoliak. Ha az utóbbiak, akkor viszont az Univerzum legnagyobb energiájú robbanásairól van szó, s ez volt végül az a momentum, ami rájuk irányította a figyelmet a cambridge-i tartózkodásom alatt, s vezetett egy hosszú, gyümölcsöző kutatói munkához.

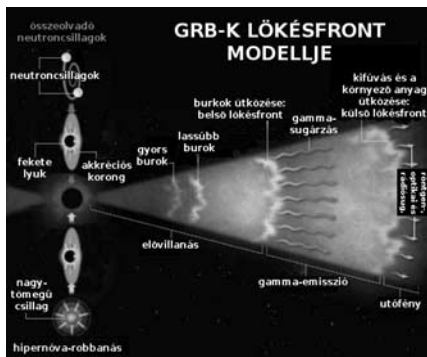
A terület fontos mérföldkövének tekinthető a Martin Rees-szel közösen kifejlesztett lökésfront modellünk (fireball shock model), melyben a GRB különböző hullámhosszúságú sugárzásainak keletkezési helyeit a robbanás utáni relativisztikus kiáramlás belső és külső lökésfrontjaival azonosítottuk, ahol a felgyorsított elektronok szinkrotron sugárzása és az inverz Compton szórás dominál. Időközben természetesen sok új adat és elmélet látott napvilágot, s még több kérdés merült fel, ez a modell azonban azóta is jó keretet biztosít az adatok elemzéséhez és értelmezéséhez.

SW: Az egyik legnagyobb hatású közleménye az Astrophysical Journal folyóiratban jelent meg „Optical and long wavelength afterglow from cosmological gamma-ray bursts” címmel (Mészáros, P., Rees, M.J., ApJ 476[1]: 232-7, 10 February 1997). Beszélne a cikkről, illetve arról, hogy a közlemény hogyan jelölte ki a kereteket a területen végzendő jövőbeli kutatásoknak?

Ebben a cikkben – még azelőtt, hogy megfigyelték volna – megjósoltuk, hogy a külső lökésfront mentén a hosszabb, s így könnyebben detektálható hullámhosszak felé eltolódott emisszió formájában ún. utófénylésnek kell jelentkeznie, aminek intenzitása elég lassan csökken ahhoz, hogy a röntgen- és az

optikai teleszkópokkal lokalizálni lehessen a forrást. Az előrejelzésünk obszervációs megerősítése is nagyon hamar bekövetkezett, amikor az olasz–holland Beppo-SAX műhold detektálta az utófényeket. A vöröseltolódási értékek pedig azt mutatták, hogy a GRB-k valóban kozmológiai távolságokban vannak tőlünk, azaz tényleg a Világegyetem legnagyobb energiaforrásairól van szó: mindössze néhány másodperc alatt annyi energiát szabadítanak fel, mint a Napunk egész várható élete, azaz 10 milliárd év alatt, vagy egy egész galaxis 100 év alatt.

Az utófénylések tanulmányozása tette lehetővé a vöröseltolódások mérésével, hogy feltekerpezzük a GRB-k eloszlását, azaz tulajdonképpen azt, hogy hogyan illeszkednek az Univerzum általános fejlődési folyamatába.



Nagy-tömegű fiatal csillagok robbanása és neutroncsillagokból álló kompakt kettősök komponenseinek összeolvadása is egy anyagbeáramlási koronggal övezett fekete lyuk keletkezéséhez vezet. A létrejött rendszerből a korong síkjára merőlegesen relativisztikus, közel fénysebességgel mozgó kifúvások indulnak ellentétes irányokban. A gyorsan mozgó belső burkok a korábban távozott, s már lassúbb anyagrétegeket utolérve lökéshullámot generálnak (belső lökésfront), ez a gamma-sugárzás keletkezésének helye. Ahol a kifúvásokban kiáramló anyag a környező, „nyugodt” területek anyagába ütközik, egy külső lökésfront keletkezik. Ez a tartomány az utófény (röntgen, optikai, rádió) forrása

Azonosíthatóvá váltak a felvillanások gazdagalaxisai és a robbanások szülőcsillagzajnak típusai, illetve mélyebb bepillantást nyerhetünk az utófény keletkezési mechanizmusába és a gazdagalaxis intersztelláris anyagával

történi kölcsönhatási folyamatába. A növekvő mennyiségű észlelési anyag alapján természetesen a jelenségre vonatkozó elméleti elképzelések is módosultak, fejlődtek.

SW: Legtöbbet idézett munkája a „The Swift gamma-ray burst mission” című 2004-es *Astrophysical Journal* cikk. Kérjük, beszéljen erről a közleményről, céljairól és megállapításairól!

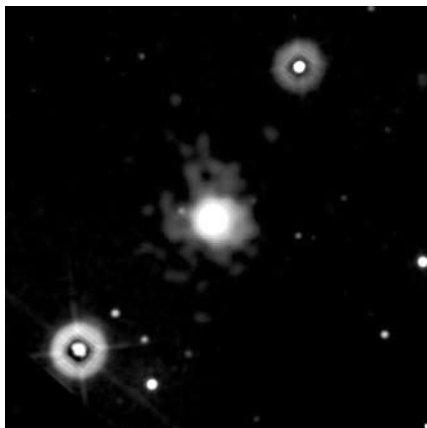
A Swift programnak az volt a célja, hogy a gammavillanást követő utófényt még azelőtt detektálni lehessen a röntgen- és az optikai tartományban működő eszközökkel, mielőtt elhalványodva ezek hatókörén kívül kerülne. Ennek érdekében a Swift műhold a villanás gammasugárzásának – nem túl jó irányfelbontású – detektálása után 100 másodpercen belül olyan pozícióba tud állni, melyben a forrás környezetéről nagyfelbontású röntgen- és optikai képeket rögzíthet, s 5–10 másodpercen belül a nagyméretű földi optikai teleszkópoknak is riasztást tud küldeni a forrás pozíciójának megjelölésével.

A Swift projekt egy kulcsfontosságú program, vezető kutatója Neil Gehrels (NASA), a tervezési, építési és a Penn State-ről irányított működtetési fázisokban részt vettek/vesznek benne csoportok a Penn State-ről, Los Alamos-ból, az Egyesült Királyságból, Olaszországból, s természetesen a NASA-tól. Én az elméleti szakembereket összefogó csapat vezetőjeként az adatok értelmezését célzó munkát irányítom. Előzetes várakozásainknak megfelelően a Swift rengeteg GRB-t azonosított, sok, vöröseltolódáson alapuló távolságadatot szolgáltatott, s valóban lehetővé tette a gammavillanások multispektrális tanulmányozását. Mindezek alapján ma már sokkal részletesebb képünk van a robbanások fizikájáról, de ez a kép jóval összetettebb, mint ahogyan azt az első megfigyelések alapján gondoltuk. Ma már nagy biztonsággal tudjuk azonosítani a gammavillanások egyik fajtájának szülőobjektumait, ezek olyan nagytömegű csillagok, melyek szupernóvaként történő felrobbanása után egy fekete lyuk marad vissza.

A Swift mérései alapján ugyanakkor az is valószínűsíthető, hogy a másik fajta, rövi-

debb felvillanások kompakt kettősöket alkotó neutroncsillagok összeolvadásával hozhatók kapcsolatba, ez a folyamat pedig ismét fekete lyuk keletkezéséhez vezet. A Swift érdeme az eddigi legtávolabbi objektum, a GRB 090423 detektálása is, melynek extrém nagy távolságát elsőként Derek Fox (Penn State) becsülte meg, s ezt a későbbi spektroszkópiai észlelések is alátámasztották. A rekordor vöröseltolódása $z=8,1!$ Ennek megfelelően a felvillanás az Ősrobbanás után mindössze 630 millió évvel következett be, amikor az Univerzum kora a mainak csak 1/22 része volt.

(Megjegyzés: Az eredeti interjú megjelenése óta pontosabb érték is napvilágot látott a vöröseltolódásra, Tanvir és munkatársai (arXiv:0906.1577v2 [astro-ph.CO]) a $z=8,3\pm 0,08$ értéket adták meg.)



A kép a GRB 090423 jelű gammavillanásról a Swift ultraibolya/optikai és röntgenteleszkópjával készült felvételek számítógépes kombinációja. A villanáshoz nem társult látható tartománybeli sugárzás. A leképezett terület szélessége 6,3 ívperc

SW: Legutóbb társszerzője volt a *Science* magazinban 2009. márciusában „Fermi Observations of High-Energy Gamma-Ray Emission from GRB 080916C” (Abdo, A.A. et al., 323 [5922]: 1688-93, 27 March 2009) címmel megjelent közleménynek. Beszélne erről olvasóinknak?

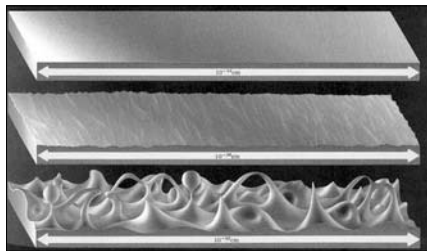
Ezt a felvillanást a nemrégiben felbocsátott Fermi űrobszervatórium detektálta, s az első volt, melynél a Fermi LAT (Large Area Telescope) műszerének párkeltési folyamaton alapuló számlálója nagy mennyiségben detektált GeV-ot meghaladó energiájú fotonokat. A Fermi projekt egy nagy nemzetközi együttműködés keretében valósult meg, vezető kutatója Peter Michelson (Stanford), résztvevői pedig nagy egyetemek és laboratóriumok. Rendkívül érdekes azon források detektálása, melyek nagy számban bocsátanak ki nagyenergiájú fotonokat, ugyanis az, hogy ezek a fotonok elektron-pozitron párok keltése közben ne semmisüljenek meg (annihiláció), csak úgy lehetséges, ha azok a plazmaáramok (jetek), melyekben keletkeznek, a fényéhez nagyon közeli sebességgel mozognak, a GRB 080916C esetében a becslült érték 0,999999c, ami rekordnak számít.

A legérdekesebb eredmény azonban az, hogy a legnagyobb, 13 GeV energiájú fotonok 4 másodperccel később érkeztek, mint az alacsonyabb, MeV energiájú fotonok a villanás kezdetén. Az ún. kvantumgravitáció egyelőre még csak részleteiben létező elmélete – ami minden bizonnyal a XXI. század fizikájának Szent Grálja lesz – az általános relativitáselméletet és a kvantummechanikát hivatott egyetlen elméletbe egyesíteni (Theory of Everything, a Mindenség Elmélete). Bár az egyesített elmélet még nem létezik, jóslatok már vannak, például az, hogy a téridőben felléphetnek olyan fluktuációk, amik leginkább a víz habzásához, tajtékzásához hasonlíthatók, s emiatt a különböző energiájú fotonok másképp terjednek, a nagyobb energiával rendelkezők késni fognak a kisebb energiájúakhoz képest. A kísérletetés mértéke függ a kvantumgravitációt jellemző EQG energiaskálától (Planck-tömeg), melynek jelenlegi becslült értéke $1,3 \cdot 10^{19}$ GeV körül van. (Megjegyzés: A mai elméletek szerint ezen az energiaértéken válnak jelentőssé a gravitációhoz tartozó kvantumkorrekciók.)

A GRB 080916C esetében a csoportunk által észlelt kísérletetés alapján egy kísérleti alsó határt tudtunk megállapítani erre a skálaértékre, ez pedig minden eddigi értéknel

nagyobb, s csak egy nagyságrenddel marad el az elméletileg becslöttől: $1,5 \cdot 10^{18}$ GeV. Ezek az energiák elképzelhetetlenül nagyok, messze meghaladják a legnagyobb gyorsítótkban, például a CERN LHC gyorsítójában majdan elérhető energiákat. Ez utóbbi legnagyobb értéke például „csak” 14 ezer GeV lesz, azaz a gammavillanás segítségével egy olyan fundamentális értéket tudtunk kísérletileg becslni, amire földi körülmények között reményünk sem lenne.

SW: Mik azok a kulcsfontosságú ismeretek, melyeket ma már tudunk a gammavillanásokról, de 10 évvel ezelőtt még nem voltak birtokunkban?



Az elméletek szerint az ún. Planck-skálán ($\approx 10^{-33}$ cm) a téridő topológiája egyáltalán nem triviális. A 10^{-12} cm-es skálán még simának tekinthető téridő a Planck-hosszhoz közeledve elkezd fodrozódni, a Planck-skálán pedig olyan képet mutat, mint a habzó folyadék felszíne

12 évvel ezelőtt sikerült detektálni a villanások utófényét, s derült ki róluk, hogy valóban óriási távolságban vannak. Az elmúlt 10 évben azonban több új, kulcsfontosságú részletre is fény derült. Az egyik, hogy a gammavillanást követő néhány másodpercben esetenként egy nagyon intenzív optikai felvillanás is detektálható. Ennek természete ma még vita tárgya, elképzelhető, hogy a külső lökésfront és a környező tér anyagának kölcsönhatása közben generálódott visszafele ható lökés okozza, de az is lehet, hogy a gammasugárással közös oka van. Tudjuk, hogy azok a felvillanások, melyeknél a gammasugárzás hossza meghaladja a két másodpercet, nagytömegű fiatal csillagok összemolálásával kapcsolatosak, s a lökésnek a szülőcsillagon történő áttörésére utaló jeleket is detektáltunk már.

A rövidebb időtartamú felvillanások öregebb, kisebb tömegű szülőobjektumokkal hozhatók összefüggésbe, itt valószínűleg neutroncsillagokból álló kompakt kettősök komponenseinek összeolvadásáról van szó. A villanások mindenképp bizonyos típusú csillagok fejlődésének végét, s egy fekete lyuk létrejöttét jelzik. Ez pedig magyarázatul szolgálhat a galaxisokban található csillagméretű fekete lyukak kialakulására.

Kiderült, hogy a gammavillanások a legkorábbi, teleszkópjainkkal jelenleg elérhető időpontokban is feltűnnek, s így valóban a Világegyetem legtávolabbi objektumairól, jelenségeiről van szó. A ma rendelkezésre álló adatok alapján tudjuk, hogy a kifűvások, melyek sugárzása alapján az esemény egyáltalában detektálható, sokkal összetettebb geometriával bírnak, s sebességük sokkal jobban megközelíti a fényét, mint azt korábban gondoltuk.

SW: Véleménye szerint melyek lesznek a terület fő kutatási irányai a következő évtizedben?

Sokkal jobban meg kell értenünk a gamma-sugárzáshoz kapcsolódó prompt – gamma-és optikai – mechanizmusokat, illetve kapcsolatokat a mágneses tér kialakulásával és a relativisztikus részecskékkal. A Fermihez hasonló programok lehetővé teszik, hogy bepillantsunk a nagyobb energiák területére, ami viszont segíthet a teljes energiamérleg áttekintésében, beleértve például azt, hogy mennyi energiát hordoznak a protonok és mennyi tárolódik a mágneses térben. Szintén jó lenne ismerni még a neutrínók és a gravitációs hullámok hozzájárulásának mértékét is. Ezek a források olyan természetes laboratóriumot nyújtanak ezen kérdések tisztázásához, ahol a feltételek és az elérhető energiatartományok messze meghaladják a földi lehetőségeket. Az olyan kísérletek mint az IceCube, az Auger, a LIGO és a VIRGO, vagy a földi légkört a detektálási folyamat szerves részévé tevő Cserenkov-elvű gammadetektorok olyan információkat szolgáltathatnak a GRB-kről, melyek más tudományterületeken is jelentős előrelépést hozhatnak.

Várható az is, hogy a GRB-knek a jövőben sokkal nagyobb szerep jut kozmológiai kérdések tisztázásában. Az Univerzum távoli zugainak legintenzívebb elektromágneses nyomjelzői, szinte olyanok, mint a földi világítótoronyok ködfüggönyön is áthatoló fénykévéi. Jelzik, hogy hol vannak, megmutatják, hogy közvetlen környezetük milyen anyagokból áll, s informálnak arról is, hogy milyen a köztünk lévő térrész anyagának eloszlása és kémiai összetétele. A GRB-k tulajdonképpen időgépek: visszautazhatunk az időben, s tanulmányozhatjuk a Világegyetemet a legkorábbi időpontokban, amikor az első csillagok kezdtek kialakulni. Megmutatják, hogy a sugárzásnak ezen első forrásai hogyan is világították ki az Univerzumot. A Penn State részvételével kezdeményezett JANUS (Joint Astrophysics Nascent Universe Satellite) programtól, ami jelenleg a NASA értékelési folyamatának utolsó fázisában van, sok ilyen kozmológiai kérdés megválaszolását várjuk.

SW: Hogyan összegezné a laikusok számára kutatásainak legfontosabb momentumait és tapasztalatait?

A nyilvánvalóan az egész emberiséget érdeklő legfontosabb kérdések – például az, hogy az Univerzum hogyan nézett ki az általunk elérhető legkorábbi időpontokban és legnagyobb távolságokban – megválaszolása már az USA költségvetésének szinte láthatatlan töredékét mozgósító források segítségével megcélozható. Ennek ellenére a nemzetközi együttműködés felbecsülhetetlen értékű lehet ezen célok elérésében. A nemzeti laboratóriumok, illetve a kutatási ügynökségek forrásai segítségével a magán- és állami egyetemek ideális terepei a jelentős tudományos eredmények eléréséhez szükséges emberi erőforrás és tehetség koncentrációjának és kibontakoztatásának.

ScienceWatch, 2009. június

Fordította: Kovács József