

## Csillagászati hírek

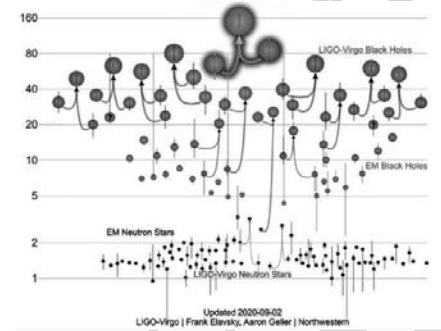
### Közepes tömegű fekete lyuk

2019. május 21-én 03:02:29 UT-kor mind az amerikai kontinensen levő LIGO, mind pedig az európai Virgo-detektorok gravitációs hullám-eseményt észleltek. A GW190521 jelű esemény mintegy 0,1 másodpercig tartott, a jel kibocsátása pedig mintegy 7 milliárd évvel ezelőtt történt meg. A 60 Hz körüli frekvenciájú jel elemzése arra mutat, hogy egy körülbelül 66 és 85 naptömegnyi fekete lyuk olvadt össze, amelynek eredményeképpen az eddig gravitációs hullámok segítségével észlelt legnagyobb tömegű, mintegy 142 naptömegű fekete lyuk jött létre.

A megfigyelés más szempontból is fontos. A jelenlegi csillagfejlődési modellek szerint szupernóva-robbanás során nem keletkezhetnek kb. 65 és 120 naptömeg közé eső fekete lyukak. Ezek létrejöttéhez ugyanis a kiinduló csillag tömegének 130 és 200 naptömeg közé kellene esnie, de ilyen tömeg mellett már fellép a pár-instabilitás, ami a csillag azonnali, fekete lyuk létrejötte nélkül lezajló pusztulásához vezet. Az eredmények szerint a keletkezett fekete lyuk az első az ún. pár-instabilitási sávba eső (100 naptömegnél nagyobb tömegű) fekete lyukak közül. Az eredmények arra is mutatnak, hogy az összeolvadásban részt vett fekete lyukak közül legalább az egyik más módon keletkezett. A kutatók szerint valószínű, hogy korábbi fekete lyuk összeolvadási események során érte el a most meghatározott tömegét. Amennyiben ez az elképzelés helyes, a csillagokból keletkező, legfeljebb néhány tucat naptömegnyi fekete lyukak hierarchikus összeolvadása során fokozatosan nagyobb tömegűekké válhatnak, végül akár a galaxisok középpontjában található millió-milliárd naptömegű fekete lyukak is létrejöhetnek.

Más szimulációk szerint azonban vannak még megoldásra váró problémák. Egyes modellek szerint a hasonló összeolvadá-

sok során keletkező, nagy tömegű fekete lyukak az eseményt követően kidobódnak anyagban gazdag környezetükből, így megszűnik a lehetőség további összeolvadások és anyagbefogás révén tömegük növelésére, így a galaxisok középpontjában található óriási tömegű fekete lyukak kialakulásához másfajta események lehetnek szükségesek.



Az ábrán különféle módszerekkel felfedezett nagy tömegű kompakt objektumok láthatók. Alul és a középső régióban a hagyományos megfigyelésekkel felfedezett neutroncsillagok, illetve fekete lyukak, felül pedig a fekete lyukak összeolvadásának megfigyelései. Középen a most felfedezett, közepes tömegű fekete lyuk és két szülőobjektuma (LIGO-Virgo/Northwestern U./Frank Elavsky & Aaron Geller)

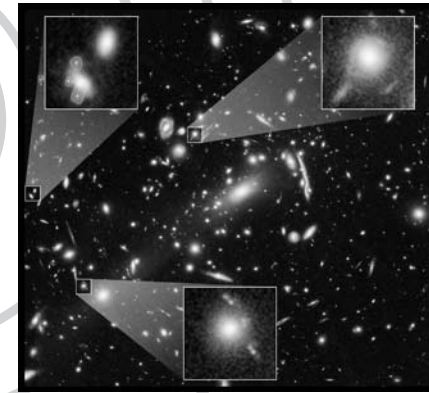
A választ remélhetőleg a jövőbeli gravitációs hullám-detektorok fogják megadni. Az európai Einstein Telescope és az USA Cosmic Explorer lesz alkalmas nagyobb tömegű, akár 200 és 1000 naptömeg közötti égitestek összeolvadásának megfigyelésére, melyre a Virgo és LIGO korlátozott frekvenciatartományuk miatt nem alkalmasak.

*Sky and Telescope, 2020. szeptember 2. – Mpt*

### Újabb kérdés a sötét anyag természetéről

A sötét anyag létezése régóta ismert, ám pontos mibenléte és természete még tisztázásra szorul. Annyi bizonyos, hogy a sötét anyag nem bocsát ki, nyel el vagy ver vissza fényt,

nem lép kölcsönhatásba a számunkra megszokott anyaggal, egyedül gravitációs hatása révén észlelhető. Az egyik ilyen ismert és sokat vizsgált hatás a gravitációs lencsésítés: ennek során egy viszonylag közel levő, nagy tömegű objektum a távoli galaxisok fényét képes egy lencse módjára összegyűjteni, így számunkra a távoli objektum fényesebben, ugyanakkor a lencséző objektum tömegeloszlásától függően torzultan jelenik meg. Különösen érdekes célpontok a jelenség vizsgálatához a galaxishalmazok, amelyek egyrészt a Világegyetem legnagyobb tömegű, egyedi galaxisokból álló struktúrái, másfelől nagy mennyiségben tartalmaznak sötét anyagot. A bennük levő sötét anyag nem csak a teljes galaxishalmaz körül koncentráldódik, és játszik közre a halmaz összetartásában, de kisebb léptékű csomósodást is mutat az egyes galaxisok körül.



A Hubble-űrtávcső felvétele a nagy tömegű MACS J1206 jelű galaxishalmazról, jól megfigyelhető távoli háttérgalaxisok eltorzított képeivel. A galaxishalmaz néhány tagja elegendően nagy tömegű ahhoz, hogy a keletkező képbe további torzítást vigyen, ahogyan ezt a kiemelt részletek jelzik. (NASA, ESA, P. Natarajan (Yale University), G. Caminha (Groningeni Egyetem), M. Meneghetti (INAF – Bolognai Observatórium), CLASH-VLT/Zoomin; NASA, ESA, M. Postman (STScl), CLASH)

A kutatók a Hubble-űrtávcső rendkívül éles felvételeit kombinálták az ESO VLT távcsöveivel felvett spektrumadatokkal több nagy galaxishalmaz vizsgálata során.

A szakemberek három galaxishalmaz, a MACS J1206.2-0847, MACS J0416.1-2403 és az Abell S1063 esetében vetették össze a számítógépes modelleket a több tucatnyi többszörösen leképezett, lencsézett háttérgalaxis révén megfigyelt lencsehatással.

Az eredmények szerint a sötét anyag kis méretskálákon észlelt koncentrációja (amely egyes központi, nagy tömegű galaxisoknak feleltethető meg) az elméleti modellek által jelzetttnél akár tízszer erősebb lencséző hatást is kivált, azaz ezeken a helyeken a sötét anyag a vártnál erősebben koncentráldódik. Az eredményeket megerősítették a későbbi spektroszkópiai megfigyelések, amelyek során a lencséző galaxisok csillagainak sebességét sikerült meghatározni, amiből pedig következtetni lehetett az egyedi galaxisok tömegére (beleértve a sötét anyagot is).

A sötét anyag vártnál jóval erősebb megfigyelt koncentrációja ismét megmutatta, hogy még számos kérdés vár tisztázásra. Ebben segíthet majd a tervezett Nancy Grace Roman-űrtéleszkóp, amely még több távoli galaxist vizsgálhat majd meg gravitációs lencsehatás révén.

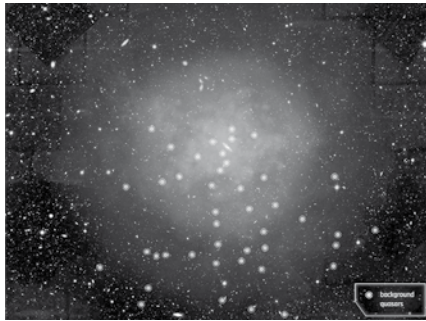
*NASA Hubble, 2020. szeptember 10.  
– Molnár Péter*

### Az Andromeda-galaxis halója

A spirálgalaxisokat gömbszimmetrikus haló veszi körül, amelyben például a legősbibb objektumok, a gömbhalmazok is keringenek a tömegközéppont körül. A forró gázból álló haló feltérképezéséhez a mintegy 2,2 millió fényév távolságban levő M31 esetében a kutatók 43, a galaxis mögött elhelyezkedő kvazárt vizsgáltak meg.

A galaxisokat körülvevő forró gáz hőmérséklete 10 és 100 ezer kelvin közötti, a pontos adat még megállapításra vár. A ritka gáz magas hőmérséklete ellenére alig sugároz ultrarövidhullámú, azonban a távoli források fényében a haló anyagán áthaladva elnyelési vonalak mutatkoznak. Nicolas Lehner (University of Notre Dame) és társai az Andromeda-galaxis halóját vizsgálták meg jelentős számú, a galaxis „mögött”, tőlünk

jóval távolabb levő kvazár fényének vizsgálásával. Ezen objektumok valójában galaxisok rendkívül fényes középponti tartományai, amelyek sugárzása oly erős, hogy rendkívüli távolságból is megfigyelhetők. Pontszerű források, a vizsgálandó közeli galaxisok is általában viszonylag kis látszó méretűek, így általában egy-két kvazárnál több fénye nem halad át egy galaxis halóján. Azonban szerencsére az M31 igen közel van hozzánk, nagy méretű, így lehetőséget adott összesen 43, a halóján át megfigyelhető kvazár fényének tanulmányozására.



Az Andromeda-galaxis halója – a képen a méréshez használt 43 távoli kvazár is jelölve van. A középpontban látható a galaxis méretarányos képe (NASA/ESA/E. Wheatley (STScI))

Tejútrendszerünkhöz hasonlóan az M31 is kisebb galaxisokkal való összeolvadások során alakult ki, ennek következtében tömegeloszlása, illetve halójának struktúrája sem szimmetrikus. A kvazárok segítségével előállított új térkép szerint a haló két, jól megkülönböztethető tartományra osztható: egy igen zavaros szerkezetű belső héjra, valamint egy simább külső rétegre. A modellek szerint a külső, egyenletesebb eloszlást mutató gázyanyag a galaxis keletkezésének idejéből származik, míg a belső, bonyolultabb szerkezetű rész anyagát a közelmúlt viharos eseményei, összeolvadások, illetve szupernóvák robbanásakor keletkező lökéshullámok kavarták fel.

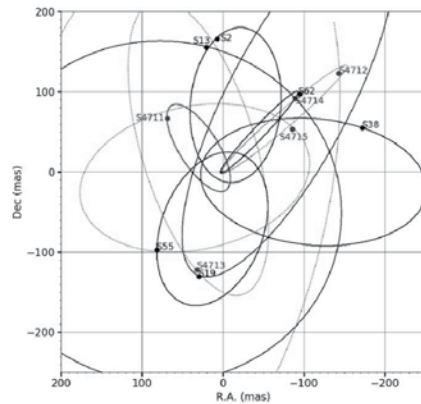
Az új megfigyelések segítettek a haló méretét is pontosítani, amire közel 2 millió fényév adódott a középponttól mérve. Ez

azt is jelenti, hogy hasonló szerkezetet és méretet feltételezve a Tejútrendszerre nézve, a két galaxis halója már most összeolvadt, még mielőtt évmilliárdok múlva a két spirálgalaxis valódi összeolvadása megkezdődne. Legközelebb, amikor megfigyeljük az M31-et, gondoljunk arra, hogy ha halója látható lenne, az ég nagy részét átszelve egészen a Göncölszekér csillagaiig terjedne.

*Sky and Telescope, 2020. szeptember 10.*  
– Molnár Péter

### Száguldás a fénysebesség 8%-ával

A nagy tejútrendszerek mindegyikének középpontjában óriási, több millió-milliárd naptömegnyi fekete lyuk található. Saját Galaxisunkban a Földről nézve a központi fekete lyuk az Sgr A\* jelű rádióforrás belsejében található. Bár a rendkívül erős gravitáció miatt a fekete lyuk környezete roppant különleges terület. Ma már tudjuk, hogy a fekete lyukhoz igen közel is keringenek csillagok. Ezek létezését elsőként 2003-ban vetette fel Tal Alexander és Mark Morris.



Az Sgr A\* szupernagy tömegű fekete lyukhoz közel keringő 5 csillagok keringési pályáinak egy része. Az egyes pályákon a csillagokat jelölő pöttyök az adott csillag 2007-es pozícióját jelölik (Peißker et al., 2020)

A csillagok rendkívül elnyúlt pályákon mozognak. A fekete lyuk szoros megközelítésekor a gravitációs hatások a mozgási energia egy részét hővé alakítják, a csillagok luminozitását emelve. A mozgási energia

egy részének elvesztése ugyanakkor a pálya egyre szorosabbá válásához vezet, így a csillagokat – megfelelő közelség elérése után – a fekete lyuk szétszaggatja, majd anyaguk a fekete lyukba hull.

Az itt keringő csillagok tehát rendkívül elnyúlt pályán mozognak. Az újonnan felfedezett köztük az S4711 és S4714 különösen érdekes. Az S4711 egy 150 millió éves, B típusú csillag. Keringési ideje alig 7,6 év, pályájának legközelebbi pontján alig 21,5 milliárd km-re (143 CSE) közelíti meg a fekete lyukat. Bár az S4714 keringési ideje hosszabb, mintegy 12 év, sokkal elnyúltabb pályáján alig 1,9 milliárd km-re (12,5 CSE) közelíti meg a fekete lyukat, míg akár 250 milliárd km-re is eltávolodik. A pálya excentricitása 0,985, azaz rendkívül közel van a nyílt parabolapályához. Rendkívüli közelítései során (a Kepler-törvények értelmében) mozgása felgyorsul, sebessége eléri a 24 000 km/másodpercet is, ami a fénysebesség 8%-ának felel meg (ekkora sebességgel utazva már jelentős relativisztikus hatásokat tapasztalhatnánk meg).

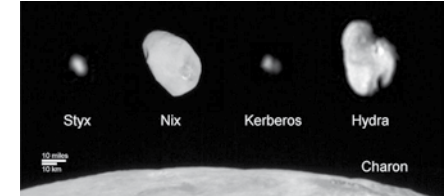
*Astronomers Telegram, 2020. augusztus 11.*  
– Pál Bernadett

### A Pluto holdrendszerének keletkezése

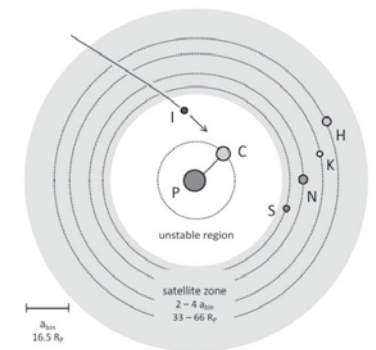
Az 1930-ban Clyde Tombaugh által felfedezett, 2006-ban törpebolygóvá átminősített (134340) Pluto legnagyobb holdját 1978-ban fedezték fel, amikor James Christy a Plutóról készült felvételeket küssé elnyúltnak találta, ráadásul az elnyúltság szabályosan változtatta helyzetét a felvételeken. A Charon hold keletkezésére már 1980-ban felmerült a becsapódásos elmélet, mely szerint (saját Holdunk keletkezéséhez hasonlóan), egy, a Plutóba csapódó égitest által kidobódott anyagból állt össze a Charon. A későbbi vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a két égitest mérete és tömege igen hasonló, közös tömegközéppontjuk a két égitest között található, és a rendszer teljesen kötött keringést végez.

A négy apróbb hold (Nix, Hydra, Kerberos, Styx) felfedezésekor a New Horizons már

úton volt a törpebolygó felé. A kisebb holdak felfedezése után az elméleteket módosítva több szakember vélte úgy, hogy a Charon keletkezéséért felelős becsapódás során keletkeztek az apróbb holdak is, vagyis az öt hold egyidősnek tekinthető. Ezzel a modellel azonban több probléma is adódik: hogyan kerülhették el az apró holdak a két nagy tömegű égitestbe való becsapódást, illetve hogyan maradhattak meg jelenlegi pályáikon, amelyekről a szimulációk szerint a két nagyobb égitest gravitációs hatása eltávolította volna azokat?



A Pluto holdjai a New Horizons szonda Long Range Reconnaissance Imager műszerének felvételén (NASA/JHUAPL/SwRI)



A feltételezett becsapódó égitest pályája a Pluto-Charon rendszerben. A holdak pályaméretei egymással arányosak, csakúgy, mint az egyes holdak mérete egymáshoz képest (B. Bromley & S. Kenyon/ Astronomical Journal 2020)

Benjamin Bromley (University of Utah) és Scott Kenyon (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) modellje szerint azonban a négy apró hold jóval később, a már kialakult Charon holdba történt becsapódás során keletkezett. Az összesen mintegy  $10^{18}$  kg

anyag holdból való kidobásához körülbelül hasonló tömegű égitest becsapódására volt szükség. A szimulációk szerint ez egy 50 km-es (vagy pontosan megfelelő irányból és sebességgel érkező test esetén 30 km-es) égitestnek felel meg, melynek hasonló tömege nagyságrendileg ezredrésze a Pluto–Charon rendszer tömegének.

A 2015-ben a Pluto–Charon rendszert, valamint a négy kisebb holdat megvizsgáló New Horizons számtalan érdekes adattal és felvétellel szolgált. A felvételek szerint a Pluto és a Charon gyökeresen eltérő világok: míg a Pluto felszínét szinte egyenletesen metánjég borítja, igen kevés kráterrel találkozunk (ami arra utalhat, hogy az égitest geológiailag sokáig aktív volt), a Charon felszíne nagyjából sziklás, vöröses színű jég csak elvétve fordul elő, igen nagy számban található kráterek – azaz kialakulása óta jelentős átfarmálódás nem zajlott a felszínen. A megfigyelések szerint a négy apró hold igen gyors tengelyforgást végez szokatlan állású forgástengelyeik körül.



A New Horizons közelképe a Charonról. A hold felső részén látható a Dorothy-kráter (NASA/JHUAPL/SwRI)

Természetesen ez a modell is felvet néhány megoldandó kérdést. A Pluto nagyobb tömege miatt valószínűbb célpont lett volna a becsapódásra. Ha pedig a becsapódás valóban a Charonon történt, ennek egy megfe-

lelő méretű kráter formájában őriznie kell a becsapódás nyomát. A kutatók szerint erre a legvalószínűbb hely a 240 km-es Dorothy-kráter – ugyanakkor ennek létrehozásához egy 20 km-es égitest becsapódása elegendő, bár természetesen még nem ismerjük kellő részletességgel a hold belső szerkezetét. További probléma, hogy a Charon krátereinek közül egy sem tűnik ki a többi közül szokatlanul nagy méretével.

*Sky and Telescope, 2020. augusztus 27.  
– Molnár Péter*

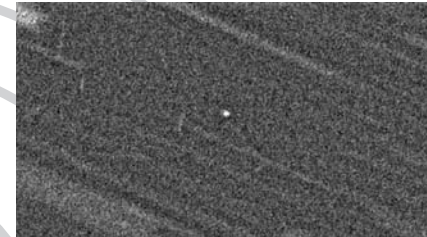
### Akár hatszáz Jupiter-hold

Távcsöves bemutatók kedvelt célpontja Naprendszerünk legnagyobb bolygója. A gázóriás körül keringő négy Galilei-hold mozgása rövid időn belül felismerhető, kölcsönös jelenségeik, fogyatkozásaik, a bolygókorongon átvonuló árnyékaik érdekes megfigyelési lehetőséget kínálnak. A legkisebb távcsövekben is látszó négy nagy hold mellett még néhány akad, amelyet közepes-nagyobb távcsövekkel, pontos helyzetük ismeretében azonosíthatunk.

Az elmúlt húsz év során az egyre nagyobb teljesítményű távcsöveknek és a rajtuk levő, egyre korszerűbb detektoroknak köszönhetően egyre több apró holdat sikerült felfedezni, e sorok írásakor a legnagyobb gázóriás körül már 79 hold ismeretes. Már 2003-ban arra hívta fel a figyelmet Scott Sheppard (Carnegie Institution of Science), hogy számításai szerint a bolygó körül akár 100 darab, 1 km-nél nagyobb hold is keringhet.

Nemrégiben Edward Ashton, Matthew Beaudoin és Brett Gladman (University of British Columbia) 60, egyenként 140 másodperces expozíciós idővel készült archív felvételt vizsgáltak át. A képek egy 3 órás időszakon belül készültek 2010. szeptember 8-án a Jupiterhez igen közeli égtérületről, a Canada–France–Hawaii Teleszkópon levő 340 megapixeles kamera segítségével. A felvételeket a kutatók 126 különféle módon illesztették, így a Jupiter körül minden elképzelhető irányban és sebességgel keringő hold elmozdulására felkészülhettek.

Ezzel a módszerrel a körülbelül 1 négyzetfokos vizsgált területen 52 objektumot azonosítottak, egészen 25,7 magnitúdós határfehértséggel, ami átlagos felszíni jellemzőket figyelembe véve mintegy 800 méteres átmérőt jelent. Az objektumok közül 7 már ismert holdnak bizonyult. A 45 jelöltet alapul véve, a vizsgált terület méretéből extrapolálva a kutatók szerint akár 600 darab, 800 méternél nagyobb hold is keringhet a Jupiter körül. A vizsgálatok szerint ezek nagy része igen távol kering, többségük retrográd irányban.



Az egyik legfényesebb hold-jelölt felfedező felvétele. A hold ideiglenes jelölése j22r94a24 (Edward Ashton, University of British Columbia)

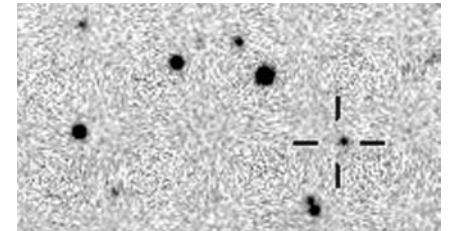
A módszer igen hasonló ahhoz, amivel Sheppard csoportja tavaly 20 új Szaturnusz-holdat fedezett fel, így a Jupiternél talált 45 új hold lényegében nem meglepő eredmény. Problémát jelent ugyanakkor, hogy az apró égitestek pontos pályaszámításához hónapokig, akár évekig tartó megfigyeléssorozat lenne szükséges nagy távcsövekkel, ilyet azonban jelenleg nem terveznek. Valószínűleg a jövő nagy távcsövei (mint a Vera C. Rubin Observatory műszerei) ezeket újra fel fogják fedezni, majd pályájukat visszafelé követve azonosítják a most megtalált égitesteket.

Tisztázatlan kérdés a bolygók körül keringő holdak alsó mérethatára. A Szaturnusz esetében akár a gyűrű apró sziklatörmelékei is egyedi holdaknak tekinthetők, ami nyilvánvalóan nem tartható, így használatos definícióra lesz szükség ezen a téren. Annyi bizonyos, hogy az IAU nem ad nevet bolygók körül keringő, de 1 km-nél kisebb égitesteknek.

*Sky and Telescope, 2020. szeptember 8. – Mpt*

### Amatőr felfedezésű kisbolygó

A Földet megközelítő, becsapódással fenyegető kisbolygók felkutatása rendkívül fontos program: egy kilométer körüli égitest becsapódása már komoly globális hatásokkal járhat. Így már 1998-ban a kongresszus utasította a NASA-t, hogy azonosítsa a Földre veszélyt jelentő, 1 km-esnél nagyobb kisbolygók 90%-át. Ezt a célt sikerült is elérni, de az ennél kisebb aszteroidák is veszélyt jelenthetnek. 2005-ben a program folytatásakor a 140 méternél nagyobb föld-súrolók azonosítása kezdődött meg, az ilyen égitestek katalógusát 2020-ig kellett volna elkészíteni. Ezt a célt sajnos nem sikerült megvalósítani, eddig csupán 40%-ukat fedezték fel. A programot a NASA Near Earth Object Surveillance Mission (NEOSM, régebben NEOCam) fogja megvalósítani, a remények szerint egy évtized alatt, a tervek szerint 2025-ös indítást követően. A Földet veszélyeztető kisbolygók elleni védekezés fontosságát jól jelzi, hogy a NASA évi költségvetésének mintegy 1%-át (160 millió dollárt) fordítja erre a célra.



A 2020 QU6 felfedező felvétele (Leonardo Amaral)

A legutóbbi hírek szerint amatőrök is felfedezhetnek még igen jelentős méretű kisbolygókat, nem is túlságosan nagy műszerekkel – inkább szorgalommal. Leonardo Amaral braziliai amatőr csillagász augusztus 27-én az Indus csillagképben fotózott egy égitestet. A São Paulo közelében levő Campo Dos Amarais obszervatóriumban levő 30 cm-es reflektorral készült képeken egy halvány, lassan elmozduló égitestet fedezett fel.

A 2020 QU6 jelzéssel ellátott új kisbolygó felfedezését a Planetary Society 8500