



Szatmáry Károly

■ SZTE TTIK Fizikai Intézet, Kísérleti Fizikai Tanszék és Csillagvizsgáló | k.szatmary@physx.u-szeged.hu

Fekete lyukak: elmélet és megfigyelés

A 2020-as fizikai Nobel-díjat megosztva Sir Roger Penrose (angol, 1931), Reinhard Genzel (német, 1952) és Andrea Ghez (amerikai, 1965) nyerte el (**1. ábra**). Penrose annak a kimutatásáért, hogy a fekete lyukak kialakulása az általános relativitáselmélet egyik legfontosabb következménye, míg Genzel és Ghez a Tejútrendszer középpontját uraló szupernagy tömegű fekete lyuk felfedezéséért [1, 2, 3].



1. ábra. Roger Penrose, Andrea Ghez, Reinhard Genzel

2020-ban az Univerzum legegizotikusabb objektumaival, a fekete lyukakkal (**2. ábra**) kapcsolatos kutatásokat díjazták fizikai Nobel-díjjal. Az elismerést 1/2 arányban elnyerő Roger Penrose

2. ábra. Az M87 óriás elliptikus galaxis közepén lévő, 7 milliárd naptömegű fekete lyuk képe az Event Horizon Telescope rádió-távcső-hálózat 2019-es felvételén

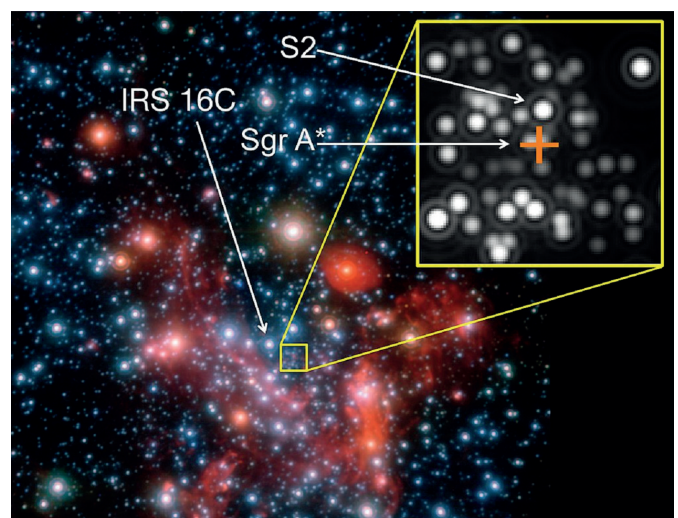


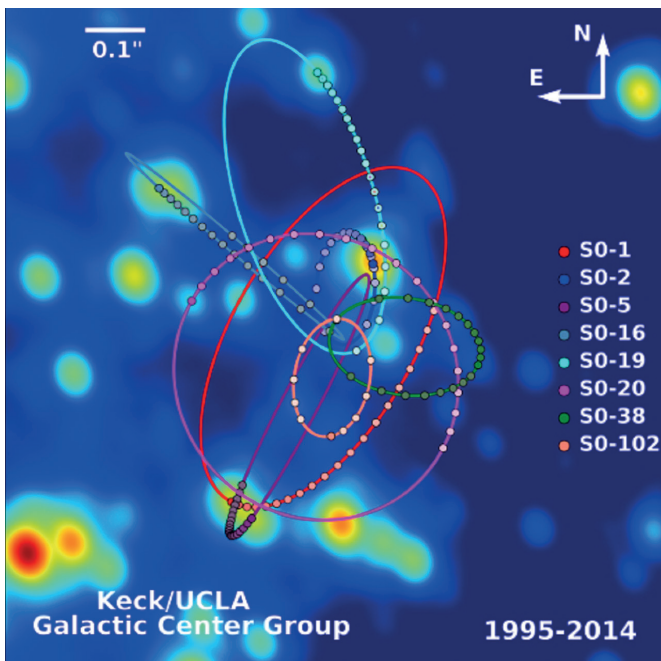
(University of Oxford, Egyesült Királyság) munkásságának legfontosabb eredménye annak kimutatása, hogy az általános relativitáselmélet egyenleteiből természetes módon következik a fekete lyukak létezésének szükségessége. A díjat 1/4-1/4 arányban elnyerő Reinhard Genzel (Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, Garching, Németország és University of California, Berkeley, Amerikai Egyesült Államok) és Andrea Ghez (University of California, Los Angeles, Amerikai Egyesült Államok) pedig saját galaxisunk, a Tejútrendszer középpontjában helyet foglaló szupernagy tömegű fekete lyuk felfedezéséhez vezető munkájukkal érdemelték ki az elismerést: a Galaxis centrumának közelében keringő csillagok mozgásának magyarázatára jelenleg ez az egyedüli elképzelés.

Roger Penrose ötletes matematikai módszerekkel bizonyította, hogy a fekete lyukak létezése Albert Einstein általános relativitáselméletéből levezethető. Einstein maga nem hitt ezeknek az óriási tömegű, még a fényt is magukba záró égitesteknek a létezésében. Einstein halála után tíz évvel, 1965-ben azonban Penrose bizonyította, hogy a fekete lyukak valóban kialakulhatnak, és részletesen le is írta azokat: a fekete lyukak közepén ún. szingularitás bújik meg, ahol a fizika minden ismert törvénye érvényét veszti. Áttörést jelentő cikkét még ma is az általános relativitáselmélet Einstein utáni egyik legfontosabb munkájának tartják.

Egy M tömegű égitest akkor válik fekete lyukká, ha a felszínére vonatkoztatott szökési sebesség eléri a c fénysebességet, azaz amikor a sugara lecsökken $R = 2GM/c^2$ méretűre (G a gravitációs állandó). Ezt a méretet Schwarzschild- vagy gravitációs sugárnak, illetve eseményhorizontnak nevezzük. A G/c^2 szorzó szinte minden relativisztikus effektusnál szerepel, nagyságrendje igen kicsi, 10^{-27} . A Nap gravitációs sugara 3 km, a Földé kb. 1 cm.

3. ábra. A Tejútrendszer centrumában egy 4–4,5 millió naptömegű fekete lyuk (Sgr A*) van, amelyről gravitációs hatása árulkodik. Genzel és Ghez kutatásai szerint körülötte az ottani csillagok, például az S2 igen nagy sebességgel keringenek (ESO)





4. ábra. A Tejútrendszer centruma körül keringő csillagok pályája

A Reinhard Genzel, illetve Andrea Ghez által vezetett kutatócsoportok az 1990-es évek elejétől kezdve galaxisunk középpontjára, a mintegy 27 500 fényévre lévő Sagittarius A* rádióforrás környezetére fordították figyelmüket. A Tejútrendszer centrumának közelében keringő legfényesebb csillagok mozgását minden korábbinál pontosabban térképezték fel (3–4. ábra). Ebből mindkét csoport meghatározta, hogy a középpontban egy extrém nagy tömegű, de láthatatlan objektum foglal helyet, a Naprendszerénél nem nagyobb térrészben.

Andrea Ghez a negyedik nő (Marie Curie –1903, Maria Goepfert Mayer – 1963 és Donna Strickland – 2018 után), aki elnyerte a fizikai Nobel-díjat.

Remélhetőleg a sikeres csillagászati kutatásokat a jövőben is hasonlóan elismerik.

IRODALOM

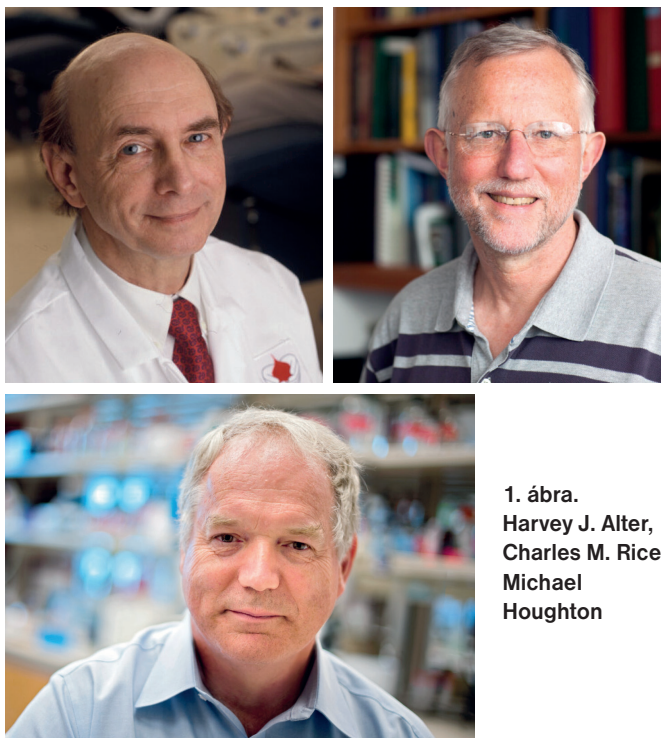
- [1] <https://www.csillagaszat.hu/hirek/extragalaktikus-csillagaszat-hirek/exg-aktiv-galaxismagok/exg-kozponti-fekete-lyukak/gyorshir-fekete-lyukak-kutatoj-nyertek-el-a-fizikai-nobel-dijat-2020-ban/>
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Physics
- [3] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/summary/>

Hagymási Krisztina

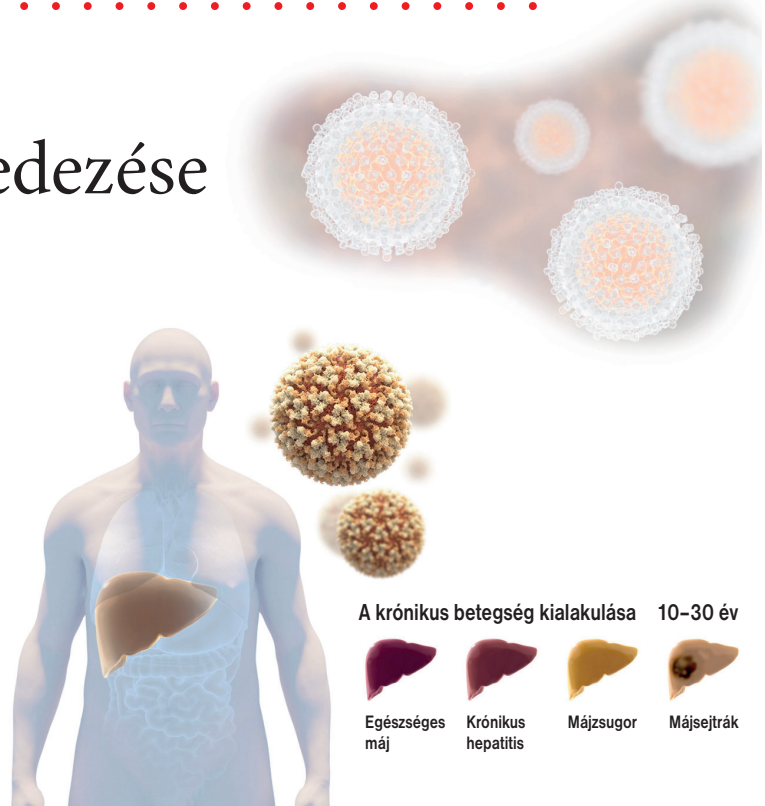
■ Semmelweis Egyetem, I. Sebészeti és Intervenció Gasztroenterológiai Klinika

A hepatitis C vírus felfedezése és a fertőzés kezelése

2020-ban az orvostudományi Nobel-díjat 111. alkalommal ítelték oda 1901 óta: Harvey J. Alter és Charles M. Rice amerikai, illetve Michael Houghton brit orvos – a hepatitis C vírussal kapcsolatos munkásságáért, a vírus felfedezéséért – megosztva kapta az elismerést (1. ábra).

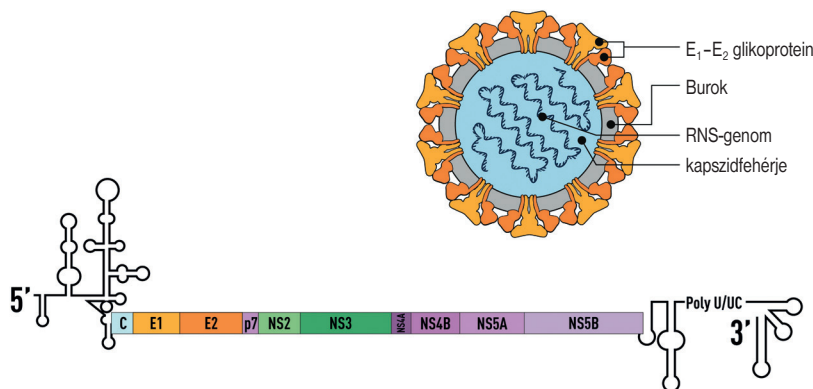


1. ábra. Harvey J. Alter, Charles M. Rice, Michael Houghton



2. ábra. A hepatitisfertőzés két fő formája. Az A vírus, amely szennyezett vízzel vagy étellel kerül a szervezetbe, akut betegséget okoz. A B és C vírus vérből kerül át egyik emberből a másikba, és rendszerint krónikus betegséget idéz elő (nobelprize.org)

A két, fertőző májgyulladást okozó hepatitisvírus közül a hepatitis C vírus (HCV) évente 3-4 millió új fertőzést, valamint 366 ezer halálesetet okoz. A HCV-fertőzés lehetséges következménye az idült májkárosodás, amely évtizedek alatt vezet alattomosan májzsugor és májsejtrák kialakulásához (2. ábra). A vér- és vérkészítmények bevezetett szűrése óta döntően intravénás droghasználattal átvitt, közel 80%-ban idültté váló HCV-fertőzés a



3. ábra. A hepatitis C vírus, vázlatosan. A vírus-genom poliproteint kódol, amely több strukturális és nem strukturális fehérjére darabolódik
(nobelprize.org)

májzsugor 27%-áért, a májrák 25–31%-áért felelős. Az idült fertőzöttek száma kb. 70 millió.

A HCV-fertőzés a transzlációs kutatások sikerének példája. 1989-től, a vírus felfedezését követően – az alkalmazott empirikus interferonkezelésen, a vírus életciklusának megismerésén keresztül – a szerológiai és a kórjóslatot becsülő módszerek (nem invazív biokémiai, képpalkotó-alapú fibrózisvizsgálatok) kidolgozásával 2013 óta elérhetővé vált a direkt ható vírusellenes kezelés, későbbiekben interferon alkalmazása nélkül, mellékhatásmentesen, ami a betegek több mint 95%-ának gyógyulásához vezet.

Az elismerésben részesülő, korábban a hepatitis B vírus kimutatásában jelentős ausztrál antigént felfedező Harvey J. Alter és munkatársai (National Institutes of Health, USA) a hepatitis B felfedezését követően egy vértranszfúzióval terjedő, májgyulladás okozó „non A non B hepatitis” vírus létezését feltételezték az 1970-es évek közepén.

A hepatitis D vírus genomjának társfelfedezője, Michael Houghton és munkatársai (University of Alberta, Kanada) mutatták ki először a hepatitis C vírust fertőzött csimpánz véréből 1989-ben, amely RNS-vírus és a flavivirusok családjába tartozik (3. ábra).

Charles M. Rice és munkatársai (Rockefeller University, New York) izolálták az első, csimpánzokban is tanulmányozható hepatitis C vírus-klónt, illetve laboratóriumi körülmények között szaporodó vírustörzset. 1996-ban leírták a teljes HCV genomot, a

következő évben kimutatták fertőző jellegét. Egyéb kulcsfontosságú eredményeikkel (pl. számos, a vírus májsejtekbe történő belépéséhez szükséges fehérjék leírása) meghatározóak voltak későbbiekben a vérkészítmények szűrésének kidolgozásában, valamint a hatékony vírusellenes kezelések fejlesztésében. Az első ilyen, interferon nélkül alkalmazható gyógyszerhatóanyagot 2013-ban fogadta el az amerikai Food and Drug Administration (FDA).

A hepatitis C vírus felfedezése, kezelésének sikere az egyik legnagyobb egészségügyi előrelépés az elmúlt évtizedekben, megteremtve a HCV-fertőzés növekvő terhének megállítását, lehetőséget adva fertőzés okozta halálozás csökkentésére, az eliminációra, amelyet a WHO célul tűzött ki 2030-ig.

Jelen sorok írója gasztroenterológus-hepatológusként a 2010-es években, az interferonmentes kezelési lehetőségek megjelenése előtt kapcsolódott be a vírushepatitises betegek kezelésébe. Lenyűgözőek az elért sikerek, határtalan hálával tartozom azért, hogy részese voltam a zajló változásoknak. Megtapasztalhattam a mellékhatást okozó, 30–40%-os gyógyulást eredményező interferonkezelést és a mellékhatásmentesen csaknem 100%-os vírusmentességet adó, direkt ható antivirális készítmények sikerét. A díjazott kutatók eredményeikkel megteremtették a nagy gazdasági és egészségügyi terhet jelentő vírus eliminációjának lehetőségét, amely a fertőzés szempontjából nagy kockázatúnak tekinthető egyének szűrésével, nemzeti szűrőprogram kidolgozásával és felépítésével valósulhat meg.

Gyors Covid-tesztet fejleszt Jennifer Doudna Nobel-díjas kutató

A Gladstone Intézetek és a Kaliforniai Egyetem (Berkeley) kutatói – köztük a kémiai Nobel-díj egyik friss nyertese, Jennifer Doudna – a *Cell* folyóiratban olyan új koronavírus-tesztelési technológiát mutattak be, amely a CRISPR eljárás segítségével kevesebb mint fél óra alatt kimutatja a SARS-CoV-2 vírust.

Az új tesztelési eljárás nem csupán azt mutatja ki, hogy valaki elkapta-e a vírust, hanem jelzi az adott mintában a SARS-CoV-2 koncentrációját is. A kutatók eredetileg a HIV-vírus kimutatását akarták felgyorsítani az új tesztelési eljárással.

A PCR-tesztek egyik hátránya, hogy elvégzésükhöz valójában DNS-mintára van szükség. A koronavírus örökítőanyaga azonban RNS-alapú, így ezt előbb DNS-sé kell konvertálni, és ezt követi a sokszorozás, hogy a vírus kimutatásához elegendő DNS álljon rendelkezésre.

A tesztet fejlesztő kutatócsoport a DNS-t felismerő és szétbontó Cas9 fehérje helyett az RNS-t felismerő Cas13 fehérjét használta. A Cas13-at egy fluoreszkáló jelzőmolekulával kombinálták, és ezt keverték össze az orrváladék-mintával, amelyet aztán egy

okostelefonhoz kapcsolódó eszközbe helyeztek. Ha a minta tartalmazta a SARS-CoV-2 vírus örökítőanyagát, akkor a Cas13 aktiválódott és átvágta a jelzőmolekulát, amely ezt fluoreszkálással jelezte. Ekkor az okostelefon „mikroszkóppá” változtatott kamerája érzékelte a fényjelzést, és képernyőjén is kijelezte, hogy a teszteredmény pozitív.

Az eredményhez szükséges idő a vírus koncentrációjától függ. Az eredmények szerint az eszköz 5 percen belül pontosan detektálta a vírus jelenlétét a nagy vírusterhelést mutató mintákban, míg kis víruskoncentráció esetén kb. 30 percre volt szüksége.

Az új CRISPR-alapú tesztelés nem csupán gyors, hanem mindenkinek elérhető és akár otthon is elvégezhető eljárást jelenthetne, sőt a jövőben a SARS-CoV-2 vírustól más, légzőszervi megbetegedést okozó kórokozók esetén is használható lenne. Az okostelefonokra és azokon keresztül a felhőbe kerülő eredményeken keresztül a kontaktkutatást és az epidemiológiai kutatásokat is segíthetné. (*Radó Nóra, Qubit*)