

## Tanulmányok

# ROGER PENROSE: EGY SZÉLES KÖRŰ ÉRDEKLŐDÉSŰ FIZIKAI NOBEL-DÍJAS

## ROGER PENROSE – A PHYSICS NOBELIST OF BROAD INTERESTS

Hargittai István<sup>1</sup>, Hargittai Balázs<sup>2</sup>

<sup>1</sup>az MTA rendes tagja, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
istvan.hargittai@gmail.com

<sup>2</sup>PhD, egyetemi tanár, Saint Francis University, Loretto, PA, USA  
bhargittai@francis.edu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Roger Penrose fizikai Nobel-díjat kapott 2020-ban a fekete lyuk kialakulása és az általános relativitáselmélet közötti összefüggés feltárásáért. Széles körű érdeklődésével ellentétben a szakbarbár tudós. A híres „Penrose-mintázat” megalkotásával megkérdőjelezett egy bénító kristallográfiai dogmát, és segítette egy rendkívüli anyagtudományi felfedezés elismertetését. Sikerei tükrözik a sokoldalú képzés és a multikulturális háttér előnyeit.

### ABSTRACT

Roger Penrose received a physics Nobel Prize in 2020 ‘for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity’. He is the opposite of the narrowly focused scientist. His famous ‘Penrose pattern’ questioned a restrictive dogma in crystallography, and assisted the recognition of a milestone discovery in materials science. His successes reflect the benefits of a broad-based education and the advantage of a multi-cultural background.

**Kulcsszavak:** fizikai Nobel-díj 2020, fekete lyukak, Penrose-mintázat, Alan L. Mackay, kvázikristály, Dan Shechtman

**Keywords:** 2020 physics Nobel Prize, black holes, Penrose pattern, Alan L. Mackay, quasicrystals, Dan Shechtman

## A 2020-AS FIZIKAI NOBEL-DÍJ



Roger Penrose 2000-ben Oxfordban  
(Hargittai István felvétele)

A három 2020-as fizikai Nobel-díjjal kitüntetett közül Roger Penrose (1931–) kapta meg a díj felét, és ketten, Reinhard Genzel (1952–) és Andrea Ghez (1965–) osztoztak a díj másik felén. Hármójuk felfedezéseit a stockholmi sajtónyilatkozat összegezve úgy jellemezte, hogy fellebbentették a fátylat a Tejútrendszer legsötétebb titkáról. A díjak indoklása szerint Penrose azt fedezte fel, hogy a fekete lyukak képződése megjósolta az általános relativitáselmélet megalkotását. Genzel és Ghez azt fedezte fel, hogy galaxisunk közepén tömör, szupernagy tömegű test található, amely meghatározza a galaxis dinamikáját. Penrose felfedezéséhez elméleti kutatás vezetett. Genzel és Ghez a legmodernebb technológiát felhasználó csillagászati megfigyelésekkel jutottak el felfedezésükhöz.

Penrose felfedezésének rövid leírására több kísérletet tettek, amelyekben olvasható egy furcsa megfogalmazás. E szerint mintha a fekete lyukak kialakulása lett volna az általános relativitáselmélet előhírnöke. Kissé más szavakkal, mintha a fekete lyukak Albert Einstein általános relativitáselméletének lennének a következményei. Egyértelműbb, bár kevésbé romantikus úgy fogalmazni, hogy Penrose feltárta az összefüggést a fekete lyukak létezése és az általános relativitáselmélet között. Ezt a díj indoklása szerint Penrose zseniális matematikai módszerek alkalmazásával érte el. A fekete lyukak szupernehéz képződmények, amelyek mindent elnyelnek, még a fény sem tud elszabadulni belőlük. Einsteinben fel sem merült a kapcsolat elmélete és a fekete lyukak között, sőt nem is hitt a fekete lyukak létezésében. Penrose alig egy évtizeddel Einstein halála után már részletesen tárgyalta a fekete lyukakat. Leírta, hogy a fekete lyuk belsejében olyan szingularitás létezik, amelyben az ismert természeti törvények érvényüket veszítik. Azt azonban még ma sem tudjuk, hogy milyen törvények lépnek helyükre. A felfedezés részleteit és körülményeit Penrose nemcsak tudományos cikkekben adta közre, hanem félig-meddig népszerű ismeretterjesztő könyvekben is leírta (Penrose, 1989, 2010).

Alfred Nobel a később róla elnevezett díjakat nem a nagy tudósok, hanem a nagy felfedezők elismerésére alapította. A kettő nem mindig esik egybe. A díj

megalapítását követően még sokáig a kitüntetettek túlnyomó többsége nemcsak nagy felfedező, de nagy tudós is volt. Manapság már egyre inkább többségbe kerülnek a nagy felfedezők, és ez rendben van, hiszen ez felel meg az alapító szándékainak. Időről időre azonban egy-egy nagy tudós nagy felfedezése kerül elismerésre, és ez alkalmat ad arra, hogy foglalkozzunk egy-egy nagy tudós érdemeivel és habitusával. Ilyen nagy tudós Roger Penrose is.

## A HÁTTÉR

Roger Penrose-zal húsz évvel ezelőtt, 2000-ben, az Oxford Egyetemen rögzítettünk egy hosszú beszélgetést. Ennek leiratát 2005-ben jelentettük meg *Candid Science* című könyvsorozatunk ötödik kötetében (Hargittai B.–Hargittai I., 2005). A hatkötetes könyvsorozatnak (Hargittai et al., 2000–2006) mindegyik kötetében legalább harminchat beszélgetés szerepelt híres tudósokkal, köztük minden kötetben legalább tizenhét Nobel-díjassal. A 2005-ben megjelent ötödik kötetben a harminchat tudós között eredetileg tizenkilenc Nobel-díjas volt, ma viszont már huszonegy. Az egyik plusz, Dan Shechtman, a kvázikristályok felfedezője 2011-ben kapott Nobel-díjat, Penrose pedig idén. Különös véletlen, hogy bár Shechtman és Penrose között közvetlen kapcsolat sohasem volt, és kitüntetésüket két egymástól távol eső felfedezésért kapták, tudományos érdeklődésük a kvázikristályokkal kapcsolatban találkozik. Mielőtt azonban erről szólnánk, ismerkedjünk meg egy kicsit közelebről Roger Penrose-zal.

A kelet-angliai Essex megyében, Colchester városában született. Ismert értelmiségi családból származik, apja Lionel Penrose, a Londoni Egyetem professzora, humán genetikával és az elmebetegségek öröklésének kérdéseivel foglalkozott. Amikor kinevezték az eugenika Galtonról elnevezett professzorának, mindent elkövetett azért, hogy professzúráját átnevezzék a humán genetikára Galton professzorának. Francis Galtont tisztelte, de az eugenikát ellenezte. A hozzá tartozó folyóiratot is átnevezte, amely így lett *Eugenics* helyett *Human Genetics*. Az apa nem választotta el a komoly tudományos munkát és a szórakozást, mint ahogy később Roger sem. Roger számára sokat jelentettek az apjával tett hosszú séták, amelyeken a legváltozatosabb témák kerültek szóba. Sokszor elidőztek a növényeknél, érdekelte őket a növekedésük és különösen az, hogyan jelennek meg a Fibonacci-számok a levelek szár körüli szórt elhelyezkedésében. Mindez segítette Rogert abban, hogy sokkal többet figyeljen az őt körülvevő világból, természetből, mint amennyit általában az emberek észrevesznek.

Rogernak három testvére van, az egyik elméleti fizikus, egy másik pszichológus és nemzetközi sakk nagymester, tízszeres brit sakkbajnok, a harmadik genetikus. A családban a sakk fontos szerepet játszik, az apa is sakkfeladványokon dolgozott, de Rogert a sakk különösebben nem érdekelte. Viszont

sokszor elmélyedt izgalmas matematikai rejtvények megoldásában és újak kidolgozásában.

Unalmas értekezleteken sokat rajzolgatott saját szórakoztatására, és így született meg a róla elnevezett Penrose-mintázat. Érdekelték a holland grafikusművész, M. C. Escher sokszor meghökkentő rajzai. Meglátogatta a művészt, és átadott neki olyan rajzokat, amelyek valamelyik saját matematikai rejtvényét képviselték. Ezek nyomán készült Escher több, idővel híressé vált képe.

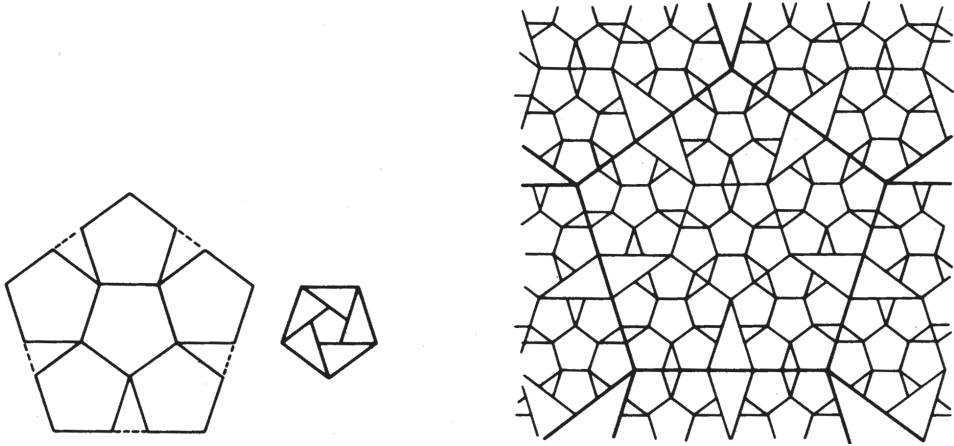
Az otthoni ösztönző légkörön kívül cambridge-i diákként Dennis Sciama (1926–1999), a modern kozmológia egyik megalapozója volt rá nagy hatással. Penrose matematikusként kezdte, és Sciama vezette be a fizikába. Közös érdeklődésük nem csak a szűk szakmai munkában nyilvánult meg. Gyakran együtt mentek Stratfordba, hogy Shakespeare-darabokat nézzenek meg, és útközben az autóban végig fizikáról beszélgettek. Ugyancsak nagy hatással voltak rá Paul Dirac kvantummechanika előadásai, valamint Hermann Bondy relativitáselméleti és kozmológiai és S. W. P. Steen matematikai logikai előadásai, amelyeken Alan Turing és Kurt Gödel munkáiról is hallott. Mindent elolvasott, amit Erwin Schrödinger írt, különösen részben népszerűsítő írásait. Később Penrose maga is írt „népszerű” tudományos könyveket. Megkérdeztük tőle, hogy azokat valóban olyan sokan elolvassák-e, mint ahányan megveszik. Tisztában van azzal, hogy az eladási sikerek még nem garantálják a nagy olvasottságot.

A cambridge-i évek után posztdoktori munkára Penrose Princetonba ment. Ott John Archibald Wheeler (1911–2008) volt a mentora. Wheeler előszeretettel emlegette, hogy Roger posztdoktori ösztöndíját annak köszönhette, hogy akkoriban a NATO nagy erőfeszítéseket tett azért, hogy a tudományos kutatásokban utolérje a Szovjetuniót. Penrose azonban saját érdeklődése miatt választotta Wheelert, aki a geometria jelentőségét hangsúlyozta a fizikában, és az ő révén ismerkedett meg Penrose a relativitáselmélettel foglalkozó kutatókkal.

Penrose szerint a közvéleményben valószínűleg túlzott hangsúlyt kaptak a közte és Stephen Hawking (1942–2018) között folytatott tudományos viták. Ezeket szokták a híres Einstein–Bohr-vitákhoz hasonlítani, pedig még vitának is túlzás nevezni őket. Voltak közös cikkeik, amelyekben együtt alakítottak ki elképzeléseket a szingularitásról. Topológiai érveket használtak fel annak leírására, hogy a gravitációs összeomlás nyomán hogyan jöhetett létre a világegyetem szinguláris állapota, ami aztán a Nagy Robbanást eredményezte. Közös könyvük egymást követő előadásait tartalmazta, amelyeket lehet véleménykülönbségként értelmezni, de ezek nem voltak valóságos viták. Penrose felfogása szerint a kvantummechanika változik, de ezt Hawking nem tudta elfogadni. Ez a kérdés sokáig foglalkoztatta Penrose-t. Tisztázásához egy csillagászati méretekben és tíz év alatt elvégezhető kísérletet is kidolgozott, amihez hatalmas eszközrendszert kellene mozgósítani, nyilván hatalmas költségekkel.

## EGY KRISZTALLOGRÁFIAI DOGMA ÖSSZEOMLÁSA

A tudománytörténetben olyan óriásokat, mint Albrecht Dürer és Johannes Kepler is foglalkoztatta a pentagon és a pentagonális dodekaéder különlegessége, valamint az ötös szimmetria kizártsága kiterjedt szerkezetekben. Penrose egyik barátjának levélfejlécén észrevett egy pentagonális emblémát, amely felkeltette az érdeklődését.



A legegyszerűbb Penrose-mintázat kialakítása.

Balra a kiindulási ötszög a köré írt ötszögekkel, középen egy hetedik ötszög feldarabolva, jobbra a Penrose-mintázat

Az embléma egy szabályos ötszöget ábrázolt, amelynek minden oldalához egy ugyanolyan ötszöget illesztettek, és az így kirajzolódó nagyobb ötszögben maradt öt üres kis háromszög. Ezek az üres háromszögek utalnak arra, hogy a síkot nem lehet maradéktalanul – vagyis üresen maradó részek nélkül – lefedni azonos méretű szabályos ötszögekkel. Ennek megfelelője a klasszikus krisztallográfia nevezetes szabálya, amely szerint kiterjedt szerkezetekben nem valósulhat meg az ötös szimmetria. Penrose az említett dizájnt úgy fejlesztette tovább, hogy felszabott egy hetedik ötszöget, és kipótolta az üres részeket, majd ezt folytatta a mind nagyobb és mind kisebb pentagonok felé. Így hozta létre az első ún. Penrose-mintázatot. Erről egy alig ismert matematikai folyóiratban adott hírt sokatmondó címmel: *The Role of Aesthetics in Pure and Applied Mathematical Research* (Penrose, 1974). Akkor még nem számított arra, hogy az általa kialakított mintázatok milyen nagy karriert futnak majd be. Ezzel főleg arra a szerepre utalunk, amit a klasszikus krisztallográfia ötös szimmetriát tiltó dogmájának leöntésében játszott.

Az eredetileg alig ismert matematikai lapban közölt Penrose-mintázat el is merülhetett volna az ismeretlenségben. Volt azonban a nagyon is ismert és népszerű *Scientific American* lapnak egy szemfüles rovatvezetője, Martin Gardner, aki matematikai rejtvények bemutatásával foglalkozott. A filozófus képzettségű Gardner felismerte a mintázat különlegességét, és címlapra tette. A vonatkozó ábrát nem Penrose eredeti közleményéből vette át, hanem a híres matematikus, John Conway rajzolta meg számára (Gardner, 1977). A *Scientific American* népszerűségének köszönhető, hogy a Penrose-mintázat egyik napról a másikra óriási ismertségre tett szert.

A folytatásban Penrose már inkább az érdeklődő tanú volt, semmint aktív résztvevő. A brit krisztallográfusnak, Alan L. Mackay-nek jutott eszébe 1982-ben, hogy fényvel diffrakciós képet szimuláljon egy Penrose-mintázatról. Az így létrehozott diffrakciós kép valóban ötös szimmetriát mutatott, ami a klasszikus krisztallográfia szerint lehetetlen. Ez a szimulációs kísérlet hónapokkal megelőzte az izraeli Dan Shechtman ugyancsak 1982-ben tett (és 1984-ben publikált, Shechtman et al., 1984) megfigyelését, amely szerint egy bizonyos összetételű alumínium/mangán ötvözet elektrondiffrakciós képe ugyanilyen szimmetriát jelez.

Hazai vonatkozása is volt a történetnek. Mackay 1982 szeptemberében a Trefort-kertben, az MTA Kémiai-Szerkezeti Kutató Laboratóriumában (KSZKL) az ötös szimmetriáról tartott két előadást. Ezekben jelentette be az ötös szimmetria lehetőségét kiterjedt szerkezetekben, a Penrose-mintázattal kapcsolatban végzett szimulációs kísérletei alapján. Mackay arra figyelmeztette hallgatóságát, hogy ha eleve kizárjuk az ötös szimmetria lehetőségét, akkor vakon elmehetünk mellette még akkor is, ha valamilyen kísérletünkben szemünk elé kerülne.

Mackay vizsgálatairól menet közben is tájékoztatta Penrose-t. Később Penrose elismerően nyilatkozott Mackay úttörő kezdeményezéséről.<sup>1</sup> Csak két évvel később derült ki, hogy ugyanazon év áprilisában Shechtman már a valóságban megfigyelt ilyen szerkezetet. Szerencsére Shechtman hitelt adott kísérleti megfigyelésének, de hosszú küzdelmébe került, hogy mások is elfogadják (Hargittai B.–Hargittai I., 2012).

A Penrose-mintázat meglepően közel volt ahhoz, hogy kristályszerkezetnek lehessen tekinteni. Szabályos volt, tehát meg lehetett adni a pontos leírást, amely szerint Penrose létrehozta, de nem volt periodikus – pontosan megfelelt a később felfedezett kvázikristályok jellemzésének. A klasszikus krisztallográfia kristályszerkezetei szabályosak és periodikusak. Az amorf anyagok szabálytalanok és

<sup>1</sup> Amikor 2011 októberében kihirdették Dan Shechtman Nobel-díját, Roger Penrose Alan Mackay-nek küldött levelében többek között azt hangsúlyozta, hogy egyértelműen Mackay érdeme annak felismerése, hogy az ötös kváziszimmetria a krisztallográfia teljesen új területének alapjául szolgál, és hogy az ilyen anyagok jellemző diffrakciós képükkel azonosíthatók. Robert H. Mackay magánközlése 2020. október 9-én.



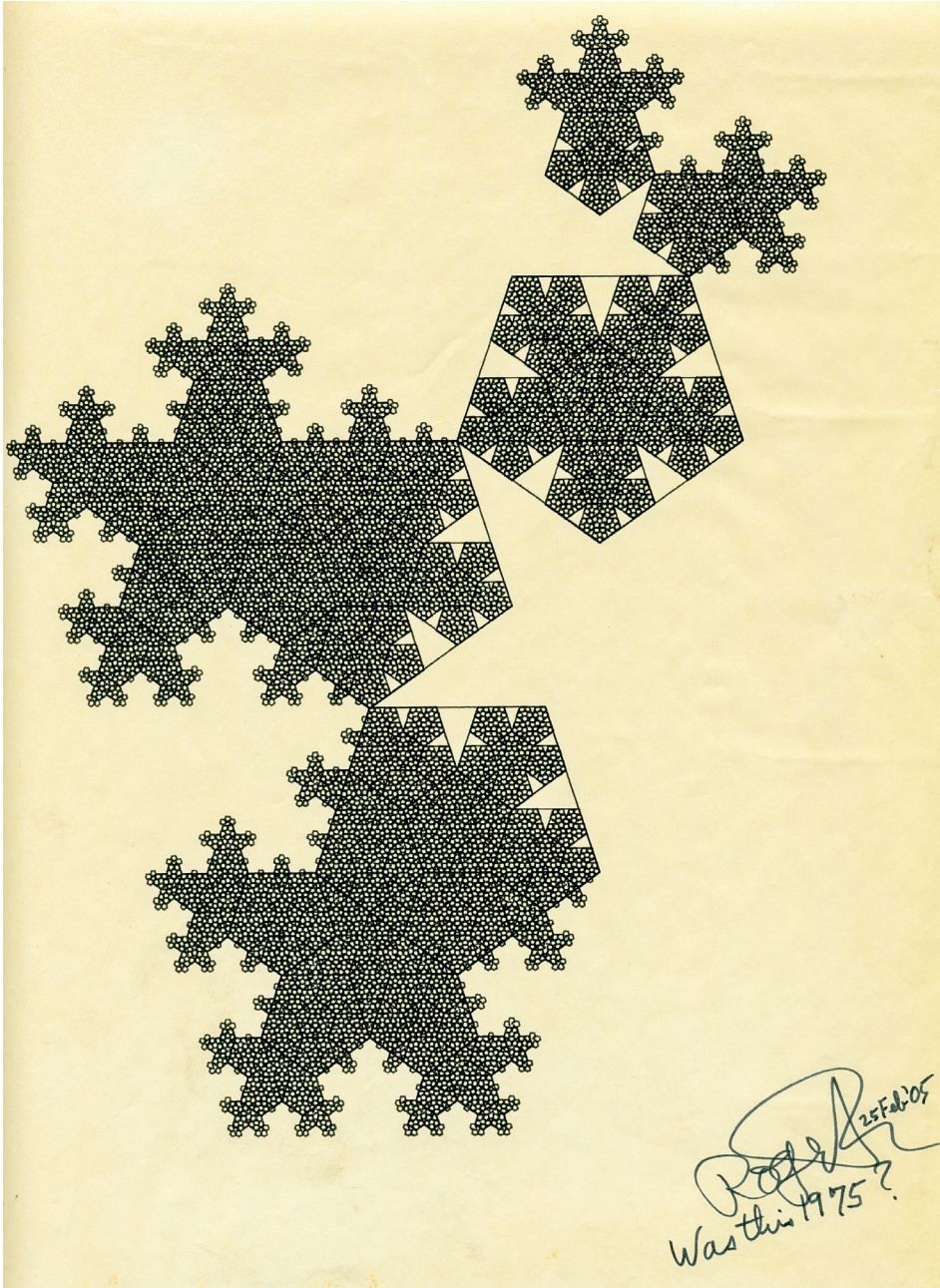
természetesen nem periodikusak. A kvázikristályok szabályosak, de nem periodikusak. Ma már ezek is a krisztallográfia körébe tartoznak, mert a kristály fogalma elsősorban Penrose, Mackay és Shechtman munkái nyomán kitágult. Ebben végül szerepet játszott az elméleti fizikus Paul Steinhardt és Dov Levine munkája is (Levine–Steinhardt, 1984). Ők még a kísérleteket megelőzően kidolgoztak egy elméleti modellt, amely megfelelt annak a szerkezetnek, amelyet ma kvázikristálynak nevezünk. Azonban az ötös szimmetriára vonatkozó tiltó dogma szigora miatt eredményükkel nem mertek előállni – ez is aláhúzza Alan Mackay tudományos bátorságát. Steinhardt és Levine csak Shechtman kísérleti felfedezésének megjelenését követően, de akkor azonnal, publikálták modelljüket. Elméleti értelmezés nélkül Shechtman felfedezése a szemétdombon végezhetett volna. Két és fél évig tartott, míg megjelentethette felfedezését, és harminc évig, míg Nobel-díjjal elismerték (Hargittai, 2011). A felfedezés paradigmaváltást jelentett a kémiában, a fizikában és az anyagtudományban, és még művészi alkotásokban is megjelenítették.

Kepler *De nive hexangula* című, 1611-ben kiadott könyvecskéjében (Kepler, 1666) dicsőítette a hópolyhek jellegzetes hexagonális alakját. A könyv tudománytörténeti mérföldkő, mert benne szerepelt először az a megállapítás, hogy a kristályok külső megjelenését építőkövek belső rendezettsége határozza meg. Alan Mackay és Roger Penrose 1975-ös találkozásakor, amelyen Mackay ismertette szimulációs kísérletét, jelen volt Alan fia, az akkor még diák Robert H. Mackay. Robertet annyira fellelkesítette az ötös szimmetria lehetősége, hogy a hexagonális hókristályok mintájára számítógépes segítséggel pentagonális szerkezetet alkotott. Harminc évvel később, 2005-ben a grafikát aláíratta Roger Penrose-zal.

Érdekes azon elgondolkozni, hogy eredetileg mennyire véletlenül ragadta meg Penrose képzeletét a levélfejléccen látott pentagonális embléma. Kicsit általánosabban megfogalmazva, lehet, hogy itt érzékelhetünk valamilyen példát arra, hogyan indul el valaki egy kutatásban. A példa azért is érdekes, mert nem valamilyen megrendelt kutatásról beszélünk, és még csak nem is súlyosnak tűnő probléma megoldásáról. De valamiről, ami később anyagtudományi jelentőségű lett, új, adott tulajdonságú anyagok felkutatását eredményezte, amihez végül a kvázikristályok felfedezése vezetett.

Penrose ismerte Dürer próbálkozásait, hogy pentagonokkal lefedje a síkot, de Dürer rajzai nem inspirálták további próbálkozásra. Penrose sokat gondolkozott ezen, és érdeklődésének megalapozását Keplerhez vezeti vissza. Kepler rajzaival, amelyekkel ötös szimmetriájú síkbeli térkitöltéssel próbálkozott, először apja egyik könyvében találkozott (Caspar, 1940). Bár ez a találkozás még nem indította további vizsgálódásra, megszerettette vele az ötszöget.

Annak előtte sokakban, főleg olyanokban, akik a geometriában és a krisztallográfiában valamennyire otthonosak, az a nézet alakult ki, hogy az ötszögnek a térkitöltésben (sokan használják azt a kifejezést, hogy a csempézésben) nincs haszna.



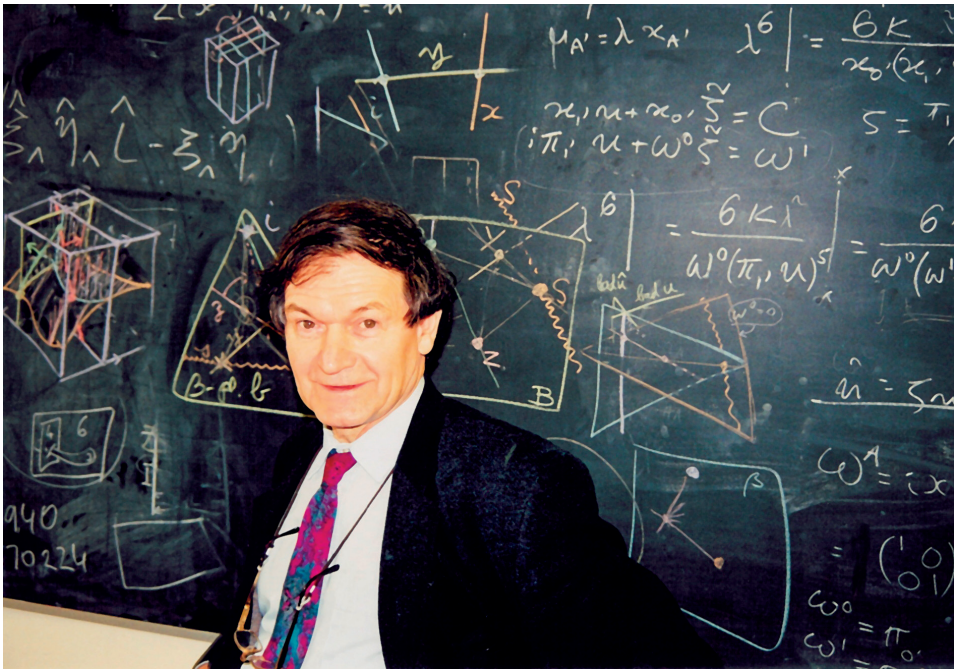
Robert H. Mackay „pentagonális hókristály” grafikája 1975-ből  
Roger Penrose 2005-ös aláírásával

(Robert H. Mackay szívességéből és engedélyével)



Penrose-nak azonban, éppen mivel már barátságot érzett az ötszög iránt, nem volt ilyen előítélete, és hajtotta a kíváncsiság, hogy mire lehet jó az ötszög a térkitöltésben? Konkrétan nem emlékezett Kepler rajzaira, de jóindulattal közeledett a kérdéshez, és nem tartotta eleve megoldhatatlannak. Idővel Penrose-ban felmerült, hogy Keplert is izgathatta a periodicitás hiánya, hogy vajon nem periodikus rendszerben is kialakítható-e valamilyen szabályosság? Mindez a munka folytatására ösztönözte Penrose-t. Bár valójában nem tudhatta, hogy mi járt Kepler fejében, amikor az ötszöggel kísérletezett, úgy tűnik, mintha Johannes Kepler két és fél évszázad távlatából segédkezet nyújtott volna Roger Penrose-nak kíváncsisága kielégítésében.

### HŐSÖK ÉS NÉZETEK



Roger Penrose 2000-ben oxfordi irodájának táblája előtt

(Hargittai István felvétele)

Penrose hősei Arkhimédész, Galilei, a német matematikus Bernhard Riemann és Isaac Newton, legalábbis 2000-es találkozásunkkor őket említette. Fiatal korában Galilei volt rá legnagyobb hatással. Különösen az ragadta meg, hogy ellen tudott szegülni kora uralkodó nézeteinek. Sokan tartják Penrose-t különutas tudósnek. Különösen az emberi tudattal kapcsolatos munkái verik ki sokaknál a biztosítékot.

Szerinte az, amit észlelünk, az a valóság, ami akkor is ott van, ha mi nem vagyunk ott, hogy észlelhessük. Érdekes véleménye van arról a nézetről, amely szerint a kvantummechanikát azért nehéz megérteni, mert az az isteni valóság része.

Amikor Penrose kijelenti, hogy nem vallásos, ez azt jelenti, hogy nem fogadja el a vallásos doktrínákat, de nem azt, hogy pusztán redukcionista lenne, vagyis hogy a természeti törvényekkel, pusztán a fizika törvényeivel magyarázná a világot. Maga a redukcionista szónak sem eléggé tisztázott az értelme. Van, aki abban az értelemben használja, hogy tudományos és ez ellen nem lehet kifogás. De ez nem jelenti azt, hogy a nagy és komplikált dolgokat pusztán kisebb és egyszerű dolgok viselkedésével értelmezzük. Penrose hangsúlyozza, hogy még sok mindent nem értünk a világunkból, és lehet, hogy új fizikára lesz szükség a megértéséhez. Itt visszautalhatunk a fekete lyukakban lejátszódó vagy feltételezhetően lejátszódó történésekhez, mert ezzel kapcsolatban ugyancsak felvetődik egy új fizika szükségessége. Penrose különütasságát abban látja, hogy szerinte a világ működéséből még sokkal kevesebbet tudunk és értünk, mint ahogy sokan ezt feltételezik és vallják. Vannak, akik például az agy működését egy szuperkomputerben lejátszódó folyamatnak képzelik el, de Penrose szerint ennél többről van szó.

Széles körű érdeklődése miatt Penrose nehezen tudta magát meghatározni. Mindig szeretett kideríteni dolgokat, megérteni jelenségeket. Apjához hasonlóan nem húzott éles határt a komoly és a szórakoztató témák között. Ugyancsak nem húzott éles határt a matematikai és fizikai érdeklődése között. Szerinte a brit akadémiai élet különösen jól viseli el az ilyen bizonytalanságokat. A fizikusok Penrose-t matematikusnak gondolják, a matematikusok fizikusnak. Penrose viszont úgy gondolja, hogy szorosan egyik csoporthoz sem tartozik, de azt leszögezte, hogy nem tartja magát üzletembernek.<sup>2</sup> Népszerű tudományos könyveiben egyetemes kérdésekkel foglalkozik, az univerzumot tárgyalja részleteiben és egészében. Könyveit olvassák mindazok, akik számára ez szinte további egyetemi képzést jelent, és polcukon tartják olyanok is, akik szemében a Penrose-könyvek birtoklása a műveltség státusszimbólumát jelenti.

<sup>2</sup> Ezt a megjegyzést a humor megnyilvánulásának is tekinthetjük, de Penrose-nak valóban volt üzleti érdeklősége. A Pentaplex vállalatot annak idején azért alapították, hogy Penrose matematikai elképzelései alapján kifejlesztett termékeket hozzon létre és forgalmazzon, többek között rejtvényeket és játékokat. Ezzel kapcsolatban volt egy bírósági ügy, amely óriási publicitást kapott. Penrose erről nem sokat mondhatott, mert végül tárgyalás nem lett belőle, peren kívül megegyeztek. Ennek része volt az is, hogy nem beszélhetett róla. Az történt, hogy egy másik cég jó minőségű, Penrose-mintázatos díszítéssel nyomott WC-papírt gyártott és forgalmazott. Érdekes jogi problémákat vetett fel az ügy. A matematika, amely a Penrose-mintázatot létrehozta, köztulajdon, a matematikát nem lehet magántulajdonná nyilvánítani. A kérdés az volt, hogy adott mintázatot, amit mások hoztak létre, mennyire pontosan másoltak le. Magát a mintázatot lehet szabadalmaztatni, a mintázatot létrehozó matematikát nem. A peren kívüli egyezség szerint a vállalat, amely megsértette a Pentaplex és ezzel Penrose jogait, továbbra is gyárthatta és forgalmazhatta a Penrose-mintázatú WC-papírt, de most már anyagi térítés ellenében.

## IRODALOM

- Caspar, M. (ed.) (1940): *Johannes Kepler Gesammelte Werke*, Vol. VI. München: C.H. Beck Verlagsbuchhandlung
- Gardner, M. (1977): Extraordinary Nonperiodic Tiling That Enriches the Theory of Tiles. *Scientific American*, 236, 110–121.
- Hargittai B. – Hargittai I. (2005): *Candid Science*, Volume V: Conversations with Famous Scientists. London: Imperial College Press, Chapter 3, Roger Penrose, 36–55.
- Hargittai B. – Hargittai I. (2012): Quasicrystal Discovery – from NBS/NIST to Stockholm. *Structural Chemistry*, 23, 301–306. DOI: 10.1007/s11224-012-9953-x, [https://www.researchgate.net/publication/257666170\\_Quasicrystal\\_discovery-from\\_NBSNIST\\_to\\_Stockholm](https://www.researchgate.net/publication/257666170_Quasicrystal_discovery-from_NBSNIST_to_Stockholm)
- Hargittai B. – Hargittai I. – Hargittai M. (2000–2006): *Candid Science*, Volumes I–VI. London: Imperial College Press
- Hargittai I. (2011): Dan Shechtman’s Quasicrystal Discovery in Perspective. *Israel Journal of Chemistry*, 51, 1144–1152. DOI: 10.1002/ijch.201100137
- Kepler, J. (1966): *De nive hexangula*. Angol fordításban: *The Six-Cornered Snowflake*. Oxford: Oxford University Press
- Levine, D. – Steinhardt, P. J. (1984): Quasicrystals: A New Class of Ordered Structures. *Physical Review Letters*, 53, 2477–2480. <http://habana.qfa.uam.es/~lmc/ref/old/PhysRevLett.53.2477.pdf>
- Mackay, A. L. (1981): De Nive Quinquangula: On the Pentagonal Snowflake. *Soviet physics / Crystallography*, 26, 517–522.
- Mackay, A. L. (1982): Crystallography and the Penrose Pattern. *Physica*, 114A, 609–613. DOI: 10.1016/0378-4371(82)90359-4
- Penrose, R. (1974): The Role of Aesthetics in Pure and Applied Mathematical Research. *Bulletin of the Institute of Mathematics and Its Applications*, 10, 2, 266–271.
- Penrose, R. (1989): *Emperor’s New Mind*. Oxford University Press
- Penrose, R. (2010): *Cycles of Time: An Extraordinary View of the Universe*. The Bodley Head
- Shechtman, D. – Blech, I. – Gratias, D. et al. (1984): Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry. *Physical Review Letters*, 53, 20, 1951–1953. DOI: 10.1103/PhysRevLett.53.1951, <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.53.1951>