

Braun Tibor

■ ELTE Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Információs Központ | braun@mail.iif.hu

Cserenkov-sugárzás

Egy nukleáris kémiai eponíma viszontagságos keletkezése és sokat ígérő jövője

Előszó

Előző dolgozatainkban aránylag részletesen foglalkoztunk már *eponímákkal* és az *eponímiával* a tudományban és a tudományos kutatásban. Talán nem felesleges ezekből néhány fontos jellemzést itt felidézni [1–4].

„Az *eponíma* kifejezés a görög *epi* (jelentése: -ról, -ről) és *onyma* (jelentése: név) szavakból származik. A tudomány területén számos híres elmélet, törvény, hatás, elv és így tovább *eponim*, vagyis azokról a kutatókról van elnevezve, akik javasolták vagy felfedezték azokat. Az *eponímia* az a szokás, hogy a kutató nevét odaillesztjük a felfedezéshez vagy annak egy részéhez, például kopernikuszi rendszer, Hook-törvény, Planck-állandó vagy Halley-üstökös. Az *eponímia* számos funkciót szolgál, ráirányítja a figyelmet a jelzett fejlődésre, követendő példaként nevezi meg a tudomány hőseit és motiválja a kutatást az elért eredmények jutalmazásával. Habár az *eponímák* a tudomány minden területén megtalálhatók, néhány tudományterület több *eponímát* hozott létre és őrzött meg, mint egy másik.”

Szabályként kimondható, hogy a nevet a tudományos felfedezéshez nem a tudománytörténész vagy a felfedező kapcsolja hozzá, hanem a gyakorló kutatók közössége. Hasonlóképpen *eponim* elnevezést ritkán adnak vagy hagynak jóvá, hacsak az elnevező (vagy a név elfogadója) térben és/vagy időben távol áll a megtisztelni kívánt kutatótól. Az *eponímát* nemcsak a tudományos érdek vagy eredetiség alapján ítélik meg, hanem a kutatók közösségének fel kell ismernie, hogy az valódi érdemen alapszik, nem pedig személyes barátság, nemzeti hovatartozás vagy tudományos iskolák politikai nyomásának hatására jött létre. A fentiekhez halkán még hozzá kell tenni, hogy e dolgozat szerzője szerint az *eponíma* a legnagyobb elismerés, amit egy

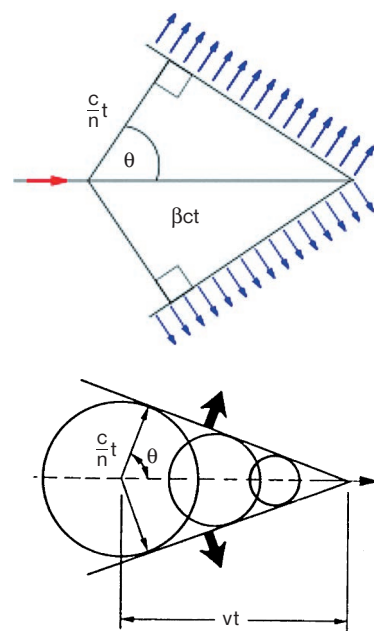
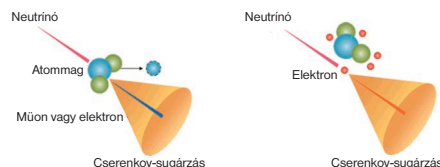
egyéni kutató megkaphat. Talán szentségtörésnek hangzik, de bizonyos tudásterületeken és témákban az *eponíma* jelentősebb minden bizottság, kormány, hatalom által világszerte adományozható díjnál, beleértve a Nobel- és az Abel-díjakat is.

Bevezetés

Mint e dolgozat címéből is kiderül, egy nukleáris kémiai, *eponímaként* is elismert felfedezésnek, a *Cserenkov-effektusnak* és felfedezőjének, *Pavel Alekszejevics Cserenkov*nak az útját szeretnénk körüljárni. Etimológiailag alkalmaztuk a név magyarosítását, mint ahogyan tették már a hazai szakirodalomban [5]. Az *eponímát* még *Cserenkov-sugárzásként* is használják, sőt magát az *eponímát* helytelenül *Vavilov-Cserenkov-effektusként* vagy *-sugárzásként* is említik [6]. Ezen *eponíma* lényegének és múltjának vázolásán túlmenően a *Cserenkov-sugárzás* jelenével, de főként a jövőjével is érdemesnek tartottuk foglalkozni, ugyanis az alapját képezi egy egyesült államokbeli, WATCHMAN néven jelenleg is folyó nagy kutatási projektnek, ami arra irányul, hogy titkolt és titkos helyen, nem igazán békés célokkal épített, illetve működtetett atomreaktorok helyét és működését azonosítsák. Nem szeretnénk itt e kérdés politikai aspektusaira is kitérni, ezért csak futólag hangsúlyozzuk a detektálási lehetőség világbiztonsági jelentőségét.

A Cserenkov-sugárzás múltja

A *Cserenkov-sugárzás* [5] elektromágneses sugárzás, amely akkor keletkezik, amikor töltött részecskék adott közegben gyorsabban haladnak, mint az elektromágneses hullámok fázissebessége ugyanabban a közegben. Például vízben a fény sebessége csak 225 000 000 m/s, míg vákuumban



1. ábra. A Cserenkov-sugárzás [26–28]

289 792 458 m/s. Amikor egy töltött részecske dielektromos (nemvezető) közegben mozog, töltése folytán rövid ideig polarizálja az útja mentén található atomokat, és ezáltal elektromágneses hullámokat hoz létre. A szomszédos atomok elektromágneses hullámjai általában destruktívan interferálnak, azaz kioltják egymást, így makroszkópos sugárzás nem jelentkezik. Amennyiben azonban a töltött részecskék gyorsabban mozognak, mint a fénysebesség az adott közegben, a szomszédos atomok hullámjai már nem tudják egymást kioltani – ilyenkor mindig kúp alakú hullámfront alakul ki. Ez tulajdonképpen a *Cserenkov-sugárzás*. A repülési út hosszán kibocsátott sugárzás úgynevezett Mach-kúpot ír le (1. ábra). A részecske útvonala és



a sugárzásirány közötti θ szög a részecske v sebessége és a $c' = c/n$ fénysebesség közötti aránytól függ, n törésmutatójú közegben ($\beta = v/c$):

$$\cos \theta = \frac{c'}{v} = \frac{1}{n\beta}$$

Ezáltal a Cserenkov-sugárzás annak az ultrahangkúpnek az optikai analógja, amit repülőgépek vagy más tárgyak levegőben a hang sebességénél gyorsabban haladva hoznak létre. A Cserenkov-sugárzás során létrejött elektronok száma egy ω körfrekvenciájú és x útvonalhosszú z töltésű részecske esetén a Frank–Tamm-képlet alapján (α finomszerkezeti állandó):

$$\frac{\partial^2 N}{\partial \omega \partial x} = \frac{z^2 \alpha}{c} \sin^2 \theta$$

A legkisebb energia, ami elektronok által vízben Cserenkov-sugárzás létrejöttéhez szükséges, 263 keV.

A Cserenkov-sugárzás kék színű, mert a helyükre visszazökkent és fényt kibocsátó elektronokat nagy energiájú (nagy sebességű) részecske zavarta meg. A nagy energiák itt rövid hullámosságokat, vagyis kék spektrumszínt jelentenek. Ezért látjuk kék színűnek a Cserenkov-sugárzást.

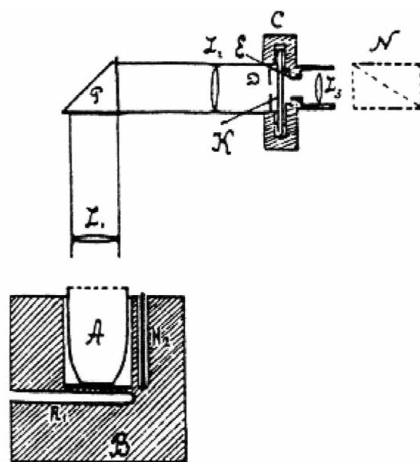
Mint csaknem minden felfedezésnek a tudományban, a Cserenkov-sugárzásnak is voltak előzményei. Így például elméletileg már előre látták a tizenhetedik század végén [7]. Mint az édesanyjáról, a kétszeres Nobel-díjas Marie Curie-ről lánya, Eve Curie által írt közismert életrajzból [8] kiderül, Marie és férje, Pierre a rádium felfedezésével járó, a 20. század elején végzett vizsgálatok közben is megfigyelték a kék fényt, ami főleg rádiumsókat tartalmazó üvegedényeikből sugárzott a sötétben.¹ E megfigyelésen túlmenően ők nem vizsgálták részletesebben a vitathatatlanul Cserenkov-sugárzásnak mondható jelenséget, de évekre rá, 1928–29-ben Malet már alaposnak ítéltető méréseket is végzett annak a sugárzásnak a hullámhossz-meghatározásakor, ami különböző átlátszó tárgyakból emittálódott radioaktív sugárforrás közelében. Malet–Fabry-féle spektrométerrel és fotografikus módszert használva – rájött, hogy a spektrum folyamatos, és a 370 nm-ig terjedő mérési lehetőségeig meg is mérte [9,10]. Azonban ennél tovább Malet sem jutott, így nem figyelte meg a sugárzás polarizálódását és

az emisszió sajátosan fontos aszimmetriáját sem. A Cserenkov-sugárzásról részletes beszámoló található Jelley monográfiájában [11].

Mielőtt rátérnénk Cserenkov kutatási tevékenységének részletesebb ismertetésére, dióhéjban érdemes eletrajzi adatainál is röviden elidőzni. Pavel Alekszejevics Cserenkov Oroszországban született 1904-ben Novaja Csigla (jelenleg Voronyezsi terület) helységben. 1928-ban diplomázott a Voronyezsi Állami Egyetem fizikai és matematikai karán. 1930-ban nősült, felesége Marija Putyinceva, két gyermekük született (Alekszej, Jelena) [12]. Cserenkov 1933-ban Leingrádban kezdte el kutatási tevékenységét a nemlineáris optika atyjaként nyilvántartott Sz. I. Vavilov akadémikus vezetésével, és folytatta azt Moszkvában, miután Vavilovot és csoportját az ott létesített Lebegyev Intézetbe helyezték át. Az intézetben folytatott kutatási tevékenysége alatt szülőföldjén, Voronyezsben édesapját, Alekszejt kulákként kivégezték és professzor apósát, A. M. Putyincevet politikailag megbízhatatlanként két évig munkatáborba zárták. Mindezek mellett bátyja, egy jelentős genetikus börtönben vesztette életét, miután Liszenko tanait tagadó véleményéért halálra ítélték. A sorsnak, vagy a véletlennek köszönhetően a fentiek ellenére Cserenkovot dolgozni hagyták végig a sztálini időkben (Sztálin 1953-ban hunyt el), és ez

2. ábra. A Cserenkov által tervezett és saját kezűleg kivitelezett fotométer [29].

A: a luminofor anyagot tartalmazó üvegedény; az üvegedény falvastagsága áteresztette az α - és β -részecskéket, valamint a γ -fotonokat; B: az üvegedényt tartó faalap; N_1 és N_2 : 103,6 mg rádiumot tartalmazó ólomédényt befogadó nyílások; N: a polarizációs mérésekhez használt Nicol-prizma; L_1 : kollimátor; P: prizma; L_2 , L_3 : teleszkópot képző lencsék; E: optikai szűrőket tartó keret; K: optikai ék; D: látómező



¹ Érdemes megjegyezni, hogy ez az 1937-ben franciául megjelent, de minden világnyelvre, így magyarra is lefordított, mindmáig számtalan kiadásban megjelent könyv az idők folyamán sok fiatalnak, így e sorok szerzőjének is ifjúkora alapvető olvasmányát képezte.

alatt bántódása nem esett. Cserenkov 1990. január 6-án Moszkvában hunyt el. A Vavilov által Cserenkovnak javasolt és általa elfogadott kutatási téma és kísérleti eljárás szerint különböző uranil-só-oldatokat kellett 10 mg-ot tartalmazó kénsavoldatos rádiumforrásból származó elektronokkal besugározni. Cserenkov első kísérletei szabad szemes mérések voltak sötét helyiségben, ahol a sugárzás felvillanását és intenzitását kioltásos (quenching) eljárással mérte. Ezek a nehéz és kényes mérések nagy türelmet és kísérleti ügyességet igényeltek. A mérés során előbb a kísérletezőnek 1–2 órát teljesen sötét helyiségben kellett eltöltenie, hogy szemét minél érzékenyebbé tegye a megfigyelt fényvillanások érzékelésére a saját tervezésű és kivitelezésű fotométeren (2. ábra). Cserenkov felfedezte, hogy a fénykibocsátás akkor is megtörtént, amikor az edény csak az uranil-só oldószerét, a kénsavat tartalmazta. Azt is megfigyelte és le is írta, hogy a sugárzás egy sor más oldószerben is megfigyelhető volt [13]. A vizsgálatok igazán áttörő eredményekhez akkor vezettek, amikor Cserenkov felfedezte (valószínűleg véletlenül), hogy a sugárzás kibocsátása aszimmetrikus és csak előrefelé, a Huygens-elvnek megfelelően történik a behatoló gamma-sugárzás irányához viszonyítva (1. ábra). A sugárzás aszimmetriája kizárta a Vavilov által javasolt magyarázatot, miszerint a megfigyelt sugárzás a gamma-besugárzás által és a folyadék által lelassított Compton-elektronokból származik, azaz az optikai sáv „Bremsstrahlung”-jából. Mint utólag kiderült, és mint fentebb már említettük, ez helytelen volt, és valószínűleg ezért később tévedésként Vavilov nevét is említették a Cserenkov-effektus felfedezése kapcsán [11].

Külön hangsúlyozni kell, hogy Vavilov rögtön felismerte tévedését, sőt azt is, hogy a jelenség nem lumineszcenciából származik, és a továbbiakban messzemenően támogatva Cserenkov kutatásait. Sőt felkérte a szintén optikai kutatásokat végző Ilja Frank és Igor Tamm kitűnő fizikusokat, hogy segítsenek Cserenkovnak a sugárzás elméleti magyarázatában. Az elmélet, aminek alapját a sugárzás aszimmetriája képezte, előbb meghozta Vavilovnak, Cserenkovnak, Franknak és Tammnak 1946-ban a Sztálin-díjat, majd 1958-ban Cserenkovnak, Franknak és Tammnak a fizikai Nobel-díjat [14] (3. ábra). Vavilov előzőleg 1943-ban, majd 1951-ben és 1953-ban is Sztálin-díjat kapott. Meg kell azonban jegyezni, hogy a Cserenkov-felfedezés elfogadása nem ment könnyen világviszony-



3. ábra. 1958 természettudományos Nobel-díjasai (balról jobbra): George Beadle (orvosi), Edward Tatum (orvosi), Igor Tamm (fizikai), Frederick Sanger (kémiai), Pavel Cserenkov (fizikai), Ilja Frank (fizikai), Joshua Lederberg (orvosi) (profiles.nlm.nih.gov)

latban, de még a Szovjetunióban sem, ahol Cserenkov kollégái eleinte szellemfény-kutatónak és a sötétszobás kutatást spiritizmusnak is nevezték. Megemlíthető még, hogy akadémiai tagként való megválasztása is szokatlanul későn, hat évvel Nobel-díja után, 60 éves korában, 1964-ben következett be, ami jelentős kontrasztban volt Vavilov akadémikussá választásával, már 1932-ben, 41 éves korában. Orosz nyelven a felfedezés publikálása már 1934-ben megtörtént [13]. Ez valószínűleg Vavilov állandó és önzetlen támogatásának is köszönhető volt. Érdekességként említhető azonban, hogy Cserenkov „Visible Radiation Produced by Electrons Moving in a Medium with Velocities Exceeding that of Light” című angol nyelvű kéziratát 1937 közepén a *Nature* folyóirat visszautasította. Azonban a cikket ugyanabban az évben közlésre elfogadta és meg is jelentette a *Physical Reviews* [15].

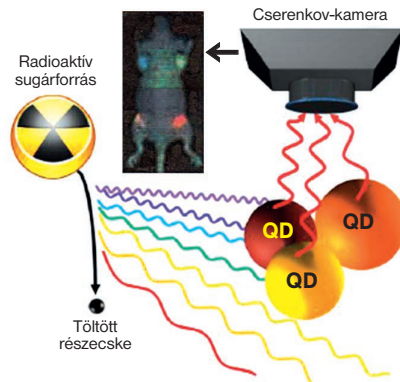
A Cserenkov-sugárzás jelene

Gondolunk itt a fentiekben leírt Cserenkov-sugárzás jelenlegi gyakorlati alkalmazására, amiről jelentős méretű szakirodalom áll rendelkezésre [például 6, 11], és aminél itt nem szeretnénk részletesebben elidőzni, de néhány példát azért megemlítenénk. Ahogy a címlap mutatja, a kék színű Cserenkov-sugárzás vízzel hűtött atomreaktorokban szabad szemmel is jól látható, de érzékeny detektorokkal pontosabban detektálható, és ezáltal meghatározható a reaktor fűtőelemeinek elhasználtsága, il-

letve kimerülése. Amikor egy nagy energiájú (TeV) gamma-foton vagy kozmikus sugárzás kölcsönhatásba lép a földi légkörrel, óriási sebességű elektron-positron párokat hozhat létre. Az ezekből a töltött részecskékből létrehozott Cserenkov-sugárzást használják a kozmikus vagy a gamma-sugárzás forrásának és intenzitásának meghatározására, de alkalmazzák a Cserenkov-sugárzást számos részecskefizikai méréshez is [6]. A Cserenkov-sugárzás egyik legérdekesebb és legújabb felhasználása a biomolekulák in vivo detektálása és meghatározása (4. ábra). Ugyanis például a foszfor-32 könnyen építhető be enzimatisztikus módszerrel biomolekulákba, így ezek útja és kölcsönhatása az élő szervezetben Cserenkov-detektorokkal [16] jól meghatározható és követhető [17, 18].

4. ábra. Cserenkov-sugárzás alkalmazása biomolekulák nyomkövetésére élő szervezetekben [17].

QD: kvantumpont (jelzett molekula)

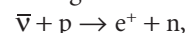


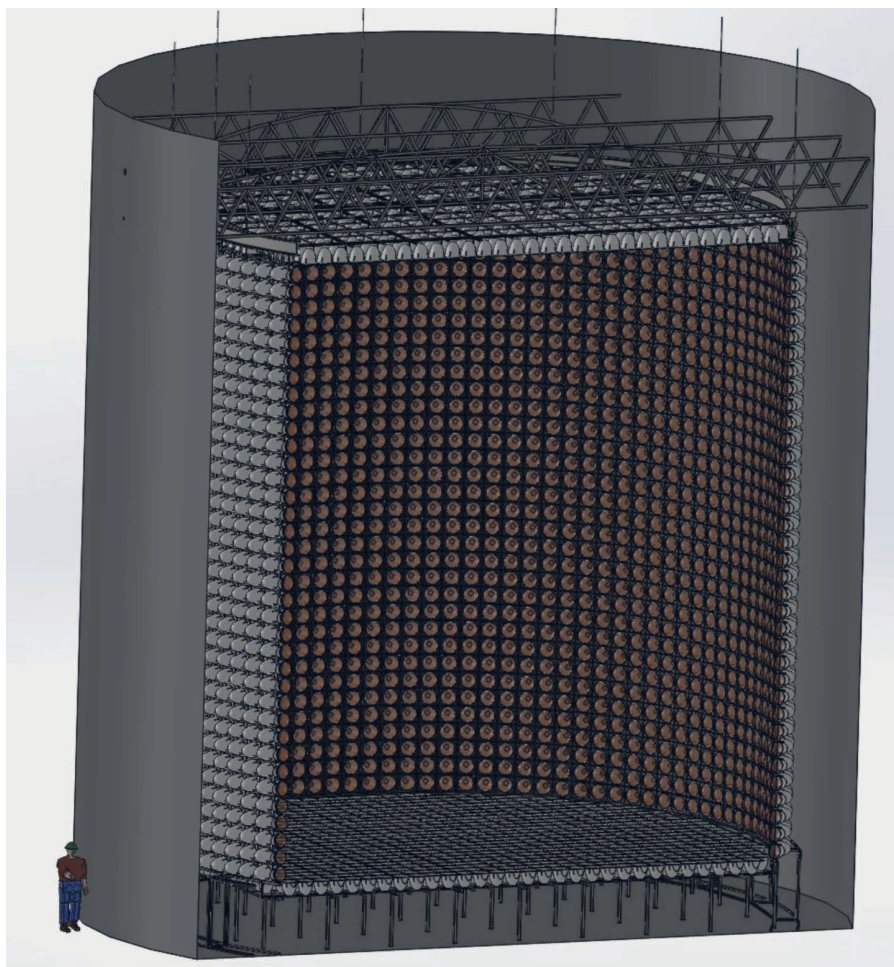
A Cserenkov-sugárzás jövője

A Cserenkov-sugárzás egyik legújabb és világbiztonsági szempontból legérdekesebb és legbiztatóbb alkalmazása az Egyesült Államokbeli US National Nuclear Security Administration [19] által indított és folyamatban lévő WATER CHERENKOV Monitor of AntiNeutrinos (WATCHMAN) projektje [20].

Mint elnevezése is mutatja, a WATCHMAN Cserenkov-sugárzás alapján működő neutrínó-, pontosabban antineutrínó-detektorrendszer. A neutrínók és antineutrínók nagyon kis tömegű, töltés nélküli elemi részecskék, amelyek a töltéssel rendelkező elektronokkal, a müonokkal és a tau-részecskékkal együtt leptonoknak tekinthetők [21, 22]. A neutrínók gyakoribbak, mint minden más részecske, kivéve a fotonokat, de olyan gyengén kerülnek kölcsönhatásba más anyagokkal, hogy minden másodpercben hihetetlen nagy számban áramlanak át általában észrevétlenül a Föld minden négyzetcentiméterén. Bár nem tartozik közvetlenül jelen dolgozatunk témájához, feltétlenül megemlítendő, hogy a 2015. évi fizikai Nobel-díjat *Takaaki Kajita* japán és *Arthur B. McDonald* kanadai kutatónak ítelték a neutrínók oszcillációjának felfedezéséért, ami bizonyítja, hogy a neutrínóknak van tömegük. A neutrínók óriási mennyiségben képződnek csillagokban, például a Napban, szupernóvák robbanásakor az űrben és atomreaktorokban a Földön, de ezek, mint említettük, nagyon gyengén kerülnek kölcsönhatásba az anyag más formáival. Például egy fényév vastagságú (körülbelül 9 trillió kilométer) ólomdarab (fal) is átengedi az áthaladó neutrínók nagy részét. Ezek szerint nincs olyan védelem, árnyékolás, akadály, ami a neutrínók útját állná az űrből vagy az atomreaktorokból való kiszabadulásukkor. Amennyiben lehetséges lenne annak megállapítása, megmérése, hogy ezek a neutrínók honnan jönnek és hogy a kibocsátás forrása természeti vagy mesterséges, akkor lehetetlenné válna egy atomreaktor elrejtése vagy titokban való működtetése.

A WATCHMAN tervezői gadolíniumot tartalmazó hatalmas (több megatonná) víztartályokkal (5. ábra) tervezik a neutrínók detektálását. Ugyanis gadolíniumsókat tartalmazó víztartályokat már régebben is javasolták nagyméretű neutrínó- és antineutrínó-detektorokként [23, 24]. A gadolíniumtartalom az antineutrínó-proton szóródás által keletkezett neutrínók detektálására szolgál:





5. ábra. Több kilotonna gadolíniumsót tartalmazó, vízzel töltött WATCHMAN neutrínó-detektortartály keresztmetszete [20]

itt $\bar{\nu}$ az antineutrínó, p a célproton, és e^+ és n a végső reakciótermékek, azaz a pozitron és a neutron. A tiszta vizet tartalmazó Cserenkov-detektorhoz hasonlítva a gadolínium-jelenlét a végső termékként jelentkező neutrínó detektálásának körülbelül hatszoros növekedését teszi lehetővé (6. ábra). Ezt a gadolíniummag két hasznos jellegzetessége hozza létre, a termikus neutronok befogását megkönnyítő nagy hatáskeresztmetszete (49 000 barn) és a befogás utáni gerjesztett gadolíniummagból származó aránylag nagy energiájú gamma-sugár-kibocsátás. Még 0,1% gadolíniumsó-tömegszázalékot tartalmazó víz is befogja a fordított béta-bomlásból származó neutrínók körülbelül 85 %-át. A befogás utáni ~ 8 MeV-os gamma-kaszád erős Cserenkov-impulzust hoz létre, ami a mindenütt jelen lévő sugárhátérnél jelentősen erősebb. A neutronok által kilökött elektron által előidézett Cserenkov-sugárzás iránya a gadolíniumot tartalmazó nagy víztartályok falaiba szerelt érzékeny fotodetektorokkal határozható meg.

Azonban ez a módszer nem képes különbséget tenni a neutrínók és az antineutrínók között.

Mint fentebb említettük, erre való a gadolínium. Antineutrínók képesek néha úgy viselkedni, ahogyan a neutrínók nem, azaz egyesülnek egy neutronnal és egy pozitronnal. A pozitron azután nagy sebességgel halad, ami Cserenkov-impulzust hoz létre. A neutron eközben ütközik ide-oda, míg eltalál egy gadolíniumatomot. A nagy befogási keresztmetszetű, mondhatnánk neutronokra nagyétkű gadolíniummagok egy második fényvillanást generálnak. Az egymást gyorsan követő két villanás (6. ábra) jelzi, hogy a készülék egy antineutrínót fogott be. Ennek értelmében a kettős villanások az antineutrínók fluxusát mutatják, míg a visszalökődő villanások jelzik azt az irányt, ahonnan a fluxus érkezik. Meg kell azonban jegyezni, hogy a WATCHMAN projekt még a kutatási fázisban van, és a gyakorlati alkalmazása csak a 2016–2020 közötti időszakra várható.

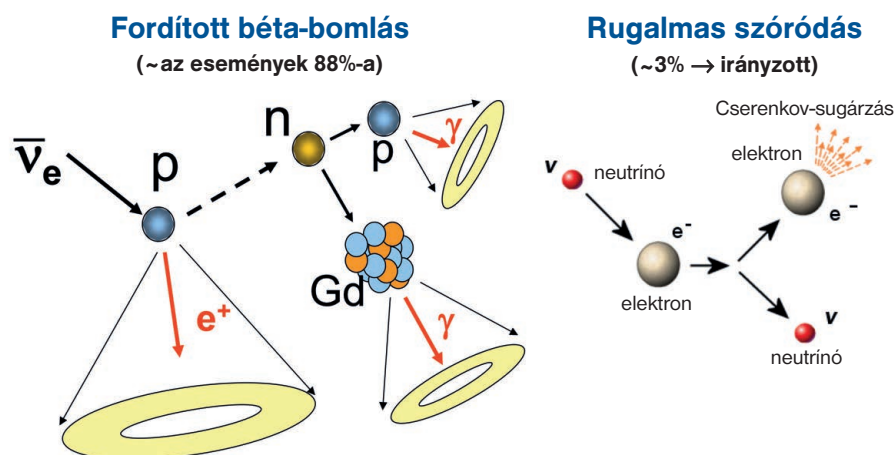
Utószó

Nagyon nehéz, sőt valószínűleg lehetetlen egészen pontosan megállapítani az időpontot, amikor Cserenkov felfedezése Cserenkov-effektusként, vagy Cserenkov-sugárzásként eponimává vált. Ez akkor történhetett, amikor első ízben 1938-ban [30] Collins és Reiling, majd 1943-ban Wyckoff és Henderson [31] megismételték és igazolták Cserenkov méréseit és nevét eponimaként használták. Ezek után a Cserenkov-sugárzás eponimaként általános használatúvá vált.

IRODALOM

- [1] Braun Tibor, Pálos Andrea, Eponimák és eponímia a természettudományban, Magyar Tudomány (1999), 11, 1350.
- [2] Braun Tibor, Pálos Andrea, Eponimikus ismeretek nyomai a kémiai tankönyvekben, Magy. Kém. Lapja (2000), 55, 106.

6. ábra. A WATCHMAN Gd-víz neutrínódetektor működési mechanizmusa [25]





- [3] T. Braun, Á. Klein, Szpol'skii fluorimetry: the anatomy of an eponym, Trends Anal. Chem. (1992) 11, 200.
- [4] T. Braun, A. Pálos, Textbook trails of eponymic knowledge in analytical chemistry, Trends Anal. Chem. (1989) 8, 158.
- [5] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Cserenkov-effektus>
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Cherenkov_radiation
- [7] https://books.google.hu/books/about/Oliver_Heaviside.html?id=e9wEntQmA0IC&redir_esc=y
- [8] Eve Curie, Madame Curie, William Heinemann Ltd., 1937. 177.
- [9] L. Malet, C.R. Acad. Sci. (Paris) (1926) 183, 274.
- [10] L. Malet, C. R. Acad. Sci. (Paris) (1928) 222.
- [11] J. V. Jelley, Cherenkov radiation and applications, Pergamon Press, 1958.
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Pavel_Cherenkov
- [13] P. A. Cherenkov, Visible emission of clean liquids by action of gamma radiation, Dokl. Akad. Nauk SSSR (1934) 2, 451. (orosz nyelven)
- [14] A.E.Chudakov, Obituaries, Pavel Alexeyevich Cherenkov, Phys.Today (1992) December, 106.
- [15] P. A. Cherenkov, Visible Radiation Produced by Electrons Moving in a Medium with Velocities Exceeding that of Light, Phys. Rev. (1937) 52, 378.
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Cherenkov_detector
- [17] H. Liu, X. Zhang, B. Xing, P. Han, S. S. Gambhir, Z. Cheng, Radiation-Luminescence-Excited Quantum Dots for in vivo Multiplexed Optical Imaging, Small (2010) 6, 1087.
- [18] C. M. Carpenter, C. Sun, G. Pratz, H. Liu, Z. Cheng, L. Xing, Radioluminescent nanophosphors enable multiplexed small-animal imaging, Optics Express (2012) 20, 11598.
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/National_Nuclear_Security_Administration
- [20] M. Askins, M. Bergevin, A. Bernstein, S. Dazeley, S. T. Dye, T. Handler, A. Hatzikoutelis, D. Hellfeld, P. Jaffke, Y. Kamyshkov, B. J. Land, J. G. Learned, P. Marleau, C. Mauger, G. D. Orebi Gann, C. Roecker, S. D. Rountree, T. M. Shokair, M. B. Smy, R. Svoboda, M. Sweany, M. R. Vagins, K. A. van Bibber, R. B. Vogelaar, M. J. Wetstein, M. Yeh, The Physics and Nuclear Nonproliferation Goals of WATCHMAN: A Water Cherenkov Monitor for Antineutrinos, arXiv:1502.01132v1 [physics.ins-det] 2015. február 4.
- [21] <https://en.wikipedia.org/wiki/Neutrino>
- [22] <http://www.universetoday.com/51645/antineutrino/>
- [23] A. Bernstein, T. West, V. Gupta, An assessment of antineutrino detection as a tool for monitoring nuclear explosions, Science and Global Security (2001) 9, 235.
- [24] GADZOOKS! Anti-neutrino spectroscopy with large water Cherenkov detectors, FERMILAB-PUB-03-249-A
- [25] <http://indico.ipmu.jp/indico/getFile.py/access?contribId=61&sessionId=15&resId=0&materialId=slides&confId=34>
- [26] <http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/detector/cherenkov-se.gif>
- [27] <http://t2k-experiment.org/wp-content/uploads/Cherenkov.png>
- [28] <http://www-zeuthen.desy.de/~kolanosk/astro0910/skripte/cosmics02.pdf>
- [29] E. P. Cherenkova, The discovery of the Cherenkov radiation, Nucl. Instr. Meth. (2008) A595, 8.
- [30] G. B. Collins, V. G. Reiling, Čerenkov Radiation, Phys. Rev. (1938) 54, 499.
- [31] H. O. Wyckoff, J. E. Henderson, The Spatial Asymmetry of Cherenkov Radiation as a Function of Electron Energy, Phys. Rev. (1943) 64, 1.

Független, nemzetközi tudásközpont jelentheti a magyar kutatóközösség útját az európai élvonalhoz

Szathmáry Eörs evolúcióbiológus, akadémikus, az Academia Europaea tagja hosszú ideig oktatót az ELTE-n elméleti evolúcióbiológiát, továbbá fontos evolúcióbiológiai műhelyt alapított a korábbi Collegium Budapest falai között. Jelenleg a müncheni Ludwig Maximilians Universitát vendégprofesszora, valamint a Parmenides Alapítvány egyik intézetének igazgatója. A következő interjú az mta.hu portálon jelent meg, és az MTA Sajtóosztálya engedélyével közöljük.

– Tervezi-e, hogy hazajön?

– Nem Németországban szeretnék megöregedni, azonban úgy látom, hogy jelen pillanatban semmiféle intézményesített módja nincs annak, hogy a senior kutatók hazatelepülését segítsék. Létezett egy ideig a Lendület III. program, azonban annak már vége. A Nemzeti Kiválóság Program befutott kutatóknak szánt Szent-Györgyi Albert Hazahívó Ösztöndíjára sem lehet már pályázni. Ez pedig, azt hiszem, a személyemen túlmenően is komoly probléma – örömmel értesültem viszont róla, hogy a helyzet a közeljövőben változhat. Mindez szorosan összefügg a fiatal kutatók mentorálásának kérdésével is. Nemrég itt járt az Európai Kutatási Tanács (ERC) elnöke, és hallhattuk, hogy Magyarország egyelőre jól teljesít, vagyis a régióhoz képest egész szép számú ERC-ösztöndíjat nyertünk el: 47-et a 106-ból. Összességében azonban ez még kevés. A Lendület-pályázatok kiírásánál komoly súlyllyal esik latba egy elnyert ERC-ösztöndíj. Jelenleg azonban kevés kivételtől – középük tartozik tanítványom, a nemrég Bolyai-díjjal kitüntetett Pál Csaba – eltekintve nem tudnak ilyesmit felmutatni a pályázók. Ha ígéri is – hiszen az ERC-pályázat benyújtása a Lendület-program alapfeltétele –, a legtöbbször nem nyerik el.



– Ezeknek a pályázóknak segíthetnének a (gyakran külföldön) befutott kutatók, akik már tudják, hogyan kell pályázatot nyerni?

– Igen, így van, ezt aktívan szervezni kellene. Az ERC elnökének is javasoltam, hogy a nyertesek kötelező jelleggel – persze észszerű határokon belül – vegyenek részt a pályázati rendszer működtetésében. Sajnos, tudok olyan – nem magyar – kutatóról, aki csak addig volt bizottsági tag, amíg maga is nem nyert, akkor rögvest lemondott, és bírálni sem volt hajlandó. Ez szerintem tűrhetetlen.

Vissza szeretnék azonban térni a már nyertes magyar ERC-pályázók ügyére. Sajnos, Magyarországon eleve nem divat a „matching fund” intézménye, vagyis a „ha elhoztál egy zsák pénzt külföldről, akkor, ha nem is ugyanakkora a zsákot, de leg-



Az IST Austria központi épülete Klosterneuburgban

(© IST Austria)

alább egy nagyobbacska szütyőt illik mellérakni” gyakorlata. Ezt nem véletlenül találták ki, hiszen jelentős multiplikatív hatása van, az erkölcsi megbecsülésről nem is beszélve. Példaként mondom, hogy Norvégiában az, aki csak pénzhány miatt maradt le az ERC-díjazásról, automatikusan megkapja otthon az összeg felét. Nagyon észszerű dolog ez! Gondoljuk csak meg: az ilyen jelöltek anyaga lényegében már sikeresen átment egy nagyon szigorú, nemzetközi bírálaton, ami nem került magyar pénzbe. Nos, ez a rendszer Magyarországon alig ismert – a némileg hasonló célú magyar támogatás messze elmarad a pályázatonkénti norvég dotációtól, hiszen ez utóbbival a projekt jelentős része meg is valósítható, nem csak elkezdhető –, de a probléma talán még általánosabban is megfogalmazható, mert kapcsolódik egy másikhoz.

Véleményem szerint Magyarország nem tud kitörni a részleges provincialitásból, hacsak nem investál – többek között – egy olyan jelentős kutatói centrum létrehozásába, ahol kritikus tömegben dolgoznak együtt magyar és külföldi élvonalbeli kutatók. Ezt nyilvánvalóan nem én találtam ki, ilyen másutt már hosszú ideje létezik. Ilyen például a Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA) Triesztben. Ezek a kutatóhelyek általában csak PhD-képzéssel foglalkoznak, és bármely országban működjenek is, általános elvárás, hogy a tanárok, kutatók közel fele külföldi, fele pedig helybeli kiválóság legyen.

– *A külföldiek vendégkutatóként vannak jelen?*

– Nem, állásban – és ez a lényeg! Odaköltöznek a családjukkal együtt, és ott élnek, erősítve az illető nemzet tudományos közösségét. A SISSA már régen, 1978-tól működik, de vannak fiatalabbak is, mint a 2000-ben alapított barcelonai Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA). Tanulásképpen megemlíteném, hogy ez utóbbi intézményt nem más, mint a katalán pénzügyminiszter hozta létre. Nem úgy gondolta tehát, hogy ez majd elviszi a pénzt – sőt, azzal a feltétellel vállalta el a pénzügyminiszterséget annak idején, hogy a kulturális minisztériumot is megkapja, mert úgy gondolta, hogy a helyzet kritikusává vált. Az ICREA hatékony központi adminisztrációval rendelkezik, a kutatók azonban eloszlának Katalóniában a különböző egyetemek között. Ez a létesítmény gyakorlatilag annyi pénzt hoz be, amennyi támogatást kap a kormánytól – pályázatokból és a sokat emlegetett spinoffok révén. Az olasz és a katalán példa mellett említhetném a néhány éves osztrák intézményt, az Institute of Science and Technology (IST) is, amely szintén sikertörténet. Megjegyzem, hogy – talán meglepő módon – erős politikai erők álltak mögé.

– *Ezek a nemzetközi példák általában alkalmazott kutató-sokra épülnek?*

– Nem, a fő irány mindenhol az alapkutatás, bár ma az élvonalbeli alapkutatás az élvonalbeli technológiai fejlesztéssel kart karba öltve folyik – azonban ehhez hathatós támogatásra van szükség, magától nem indul el.

A tanulság az, hogy ilyen intézmények nélkül manapság egy ország a tudomány területén legalábbis megmarad a viszonylagos provincialitás szintjén, amiből egyszer-egyszer némely szűkebb szakma vagy itt-ott valaki fel tudja emelni a fejét. Olyan mechanizmusokat kellene létrehozni, amelyek szignifikánsan megemelik ezt a szintet, és persze nem szabad arról sem megfeledkeznünk, hogy versenyhelyzetben is vagyunk a többi országgal. A nyugati államok ebben a versenyben már előttünk járnak. Olaszországban nem csak egy ilyen intézmény működik. Ha Magyarország felismerné egy ilyen intézmény fontosságát, tudomás szerint mi lehetnénk az elsők a régióban – és akkor valóban jobban teljesítenénk.

– *Hogyan látná egy ilyen intézményben a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal, illetve a Magyar Tudományos Akadémia szerepét?*

– Egy ilyen intézmény csak akkor működik jól, ha autonóm. Magyarországon persze ez a felvetés merész gondolatnak számít, de a tapasztalat az, hogy csak akkor van esély a sikerre, ha a vezetésben csak és kizárólag kiváló senior kutatókból áll, nemzetközi összetételű kuratóriumok vesznek részt. A finanszírozás érkezhethet állami hivataltól, csak el kell viselni, hogy bárki adja is a pénzt, nem ő rendeli a nótát: a minőséghez lehet és kell ragaszkodni, a tartalomhoz nem szabad. Ne feledkezzünk meg arról, hogy ha az intézmény nem így működik, annak híre megy, és akkor nem tolonganak majd ide a színvonalas kutatók.

– *Elképzelhetőnek tartaná, hogy az NKFIH adná az intézmény finanszírozását, és az MTA szerveznék a szakmai munkát, tekintettel arra, hogy az Akadémia mégiscsak független a kormányzattól, vagy legalábbis nincs közvetlen kapcsolat közöttük?*

– Úgy gondolom, hogy az Akadémiának szellemi értelemben részvényesnek kellene lennie – legyen benne a kuratóriumban, ajánljon saját köreiből kutatókat –, de afelől kétségeim vannak, hogy helyes lenne-e, ha az irányítópakettet az Akadémia – vagy akárki más – birtokolná, akár szellemi értelemben is. A jó működés garanciája szerintem csakis egy nemzetközi testület lehet. De az aztán tényleg minőségi emberekből álljon, mert hasonló a hasonlót vonzza! Ettől még az intézmény bejárata fölött nyugodtan díszelgethetne az MTA neve. Ezek az intézmények általában rövid idő alatt nagy büszkeségre adhatnak okot.

– *Ha megalakulna egy ilyen intézmény, oda vissza lehetne hívni a külföldön dolgozó kutatókat.*

– Természetesen, mint ahogy a katalán intézetnek is az volt a fő célja, hogy a szerte Európában és Amerikában dolgozó élvonalbeli spanyolokat visszacsábítsa – és lőn! Csakhogy ehhez nyugat-európai vezető fizetéseket kell adni. Ezt a békát bizony szintén le kell nyelni. És még egy kellemetlen dolog: ezek az intézmények felismerték, hogy az odacsábított kutatókat méltó módon kell elhelyezni és rendkívül hatékony adminisztrációval kell segíteni – tehát olyan feltételekre van szükség, amelyeket nemhogy a hazai, de a külföldi egyetemek sem tudnak „csípőből” teljesíteni, eltekintve egyes kivételes, elszigetelt esetektől. Nehogy valaki félreértse: ez nem oldaná meg a magyar felsőoktatás összes problémáját, de igen látványosan emelné a magyar tudományosság nemzetköziségét és színvonalát. Példát adhatna, hogy az ilyesmit jól is lehet csinálni. Kell hozzá pénz, de nem csak az. ●●●

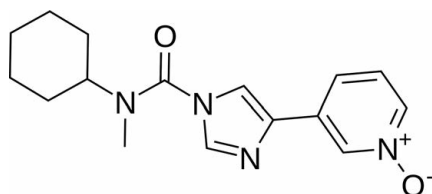


Egy balul végződött gyógyszerkipróbálás margójára

2016 januárjában tragikus hírt közöltek a lapok: egy franciaországi gyógyszervizsgálat során hat embert szállítottak kórházba központi idegrendszeri zavarokkal. Egy közülük agyhalott állapotba került (ő pár nap múlva meghalt), a többiek eltérő mértékű agykárosodást szenvedtek.

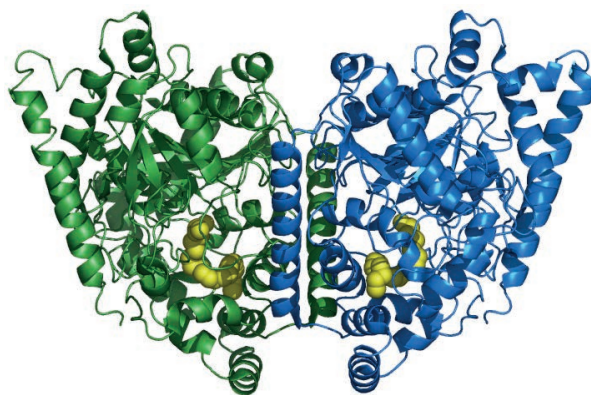
Eddig nagyjából minden tudósítás megegyezett, de hogy pontosan mi történt, az első híradásokból nem derült ki. Volt, aki emberkísérletről/gyógyszerkísérletről értekezett, volt, aki kanna-biszból készült gyógyszert gyanított a háttérben, más szerint agyban jelen lévő anyagot adagoltak a szerencsétlenül jártaknak. Pár napon belül több fontos részletre fény derült. Tisztázódott, hogy a vizsgálat során adagolt vegyület a BIA 10-2474 kódjelű imidazolszármazék, amelyet szintetikusán állítottak elő (tehát nincs köze a kenderhez és az emberi agyban sem található meg). Alkalmazásának célja egy enzim gátlása lett volna: a zsírsavamid-hidroláz enzim (FAAH) az agyban az endokannabinoidok lebontását végzi. Amennyiben az enzim működését gátolják, az endokannabinoidok szintje nő. Az endokannabinoidok neve a kanna-biszra emlékeztet, és nem véletlenül: a kanna-bisz (*Cannabis sativa*, magyarul kender) egyes vegyületei (pl. a tetrahydro-kanna-binol, azaz a THC) ugyanazonokon az agyi receptorokon hatnak, amelyeken az endokannabinoidok. A THC és az endokannabinoidok közé azonban nem tehető egyenlőségjel: utóbbiak a normál agyi működésben kulcsszerepet játszó, rendhagyó módon „működő” ingerületátvivő anyagok. Az endokannabinoidok az idegi ingerületátvivő anyagok többségével ellentétes irányban fejtik ki a hatásukat: „visszafelé haladva” gátolják meg, hogy az idegsejtekben más transzmitterek felszabaduljanak. Az agy működésében betöltött szerepük nagyon összetett, mennyiségük változtatásával többek között a fájdalomérzet, a memória, a hangulat és az éhségérzet befolyásolását látják lehetségesnek (a kenderfogyasztók által tapasztalt központi idegrendszeri hatások elérése nem cél...). Ebből indult ki a most tragédiával zárult kutatás: a FAAH gátlásával, az endokannabinoidok szintjének növelésével fájdalomcsillapító és kedélyjavító hatást szeretett volna elérni a molekulát gyógyszerre fejleszteni kívánó cég. Hosszú távú terveik között a szorongás, a Parkinson-kór, a szklerózis multiplex, az elhízás és a magas vérnyomás esetén történő felhasználás vizsgálata is szerepelt.

Hogy fordulhat elő, hogy egy vizsgálat ilyen balul végződik? Mi történt? Ki hibázott? Válaszok még nincsenek, csak találgatni lehet. Ami biztos: hasonló módon ható gyógyszer még nincs forgalomban, így nem rendelkezünk hosszú távú tapasztalatokkal az ilyen hatású anyagokról. Elképzelhető, hogy a FAAH-nak más, még nem ismert szerepe is van a központi idegrendszerben, így gátlása nem várt követ-



A BIA 10-2474 szerkezeti képlete

(Roadster29, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bia102474_corrected.svg)



FAAH-dimer – a BIA 10-2474-től eltérő – metoxi-arachidonil-fluorofoszfónát inhibitorral (Wikipédia, közkinccs)

kezmenyekkel járt. Az is előfordulhat, hogy a most vizsgált szer a FAAH-on kívül más enzimre/receptorra is hatott, és ez okozta a galibát. Ezt a feltevést erősíti az a hír, amely szerint a molekulával elvégzett, a szerkezet-hatás összefüggésekre irányuló számítógépes vizsgálatok szerint ez a vegyület elvileg más enzimekre is hat. Az is lehet, hogy a probléma a túlságosan magas dózisból adódott (a károsodott betegek a többiekénél nagyobb adagot kaptak). És az is előfordulhat (bár véleményem szerint ennek a legkisebb az esélye), hogy az alkalmazott készítmény minőségével volt gond, például mérgező hatású szennyezőst tartalmazott. Magyar szempontból ez lenne a legkevésbé kívánatos, ugyanis *állítólag* a hatóanyag gyártásában hazai cég is érintett.

Bár sok helyen *kísérletről* beszélnek, nem árt leszögezni: a gyógyszerekkel embereken nem kísérleteznek, hanem vizsgálatokat végeznek. És ez nem játék a szavakkal, ugyanis a vizsgálat azt jelenti, hogy nem öletszerűen próbálgatnak ki vegyületeket az embereken, azaz nem kísérletezgetnek, hanem alaposan megtervezett vizsgálatok folynak. Mire egy gyógyszerjelölt molekula eljut addig, hogy beadják az embereknek, számos sejtvonalon, állatfajon vizsgálják biztonságosságát, és ha bármelyik lépcsőfokon elbukik, soha nem jut el addig, hogy emberen alkalmazzák. Ez az egyik oka annak, hogy kb. 10 000 gyógyszerjelöltből csak egy válik gyógyszerre, s ez az oka annak is, hogy a gyógyszervizsgálatok során ritka az ilyen tragédia. Nagyon-nagyon kis eséllyel, de elvileg előfordulhat, hogy az állatkísérletekben semmilyen káros hatás nem látszik, az emberek egészsége mégis károsodik – ez is megtörténhet(ett), de a reális rizikó igen csekély. Amint az az OGYÉI friss közleményéből is kiderül, évente ezerszámra folynak hasonló vizsgálatok probléma nélkül (az EU-ban 2007 óta mintegy 12 500). A jelenlegi vizsgálat ún. fázis I. vizsgálat volt, amely az embereken végzett kipróbálás első lépcsője. Ennek keretében egészséges önkénteseken azt vizsgálják, hogy az állatkísérletekből átszámolt adagolást mellékhatások nélkül tolerálják-e az emberek (a hatásossággal ebben a stádiumban nem foglalkoznak). Ha ez sikeres (azaz a szer ártalmatlan), akkor kezdődhet a vizsgálat betegeken (ez az ún. fázis II. vizsgálat). Ebben az esetben erre már nem került sor.

Csupor Dezső