

A modellek szimmetriái nagymértékben egyszerűsítik a leírást (és nem utolsó sorban a kutatók számára esztétikai élményt nyújtanak). A szimmetriákhoz többnyire megmaradó mennyiségek tartoznak, és a szimmetriához tartozó transzformációk segítségével osztályozhatjuk a Standard modell elemi részecskéit és származtathatjuk az alapvető kölcsönhatásokat. A Lorentz-invariancia következtében a vákuumbeli fénysebesség értéke minden inerciarendszerben megegyezik.

Ha a fénysebességnél gyorsabb részecskét keresünk, akkor meg kell sértenünk a Lorentz-szimmetriát. Ennek egyik lehetséges módja az, hogy új, a szimmetriát explicit módon sértő tagokat adunk a mozgásegyenlethez. Általában megköveteljük a bevezetett új tagoktól, hogy a szimmetrikusak legyenek a CPT (töltés-, paritás- és idő-) tükrözéssel és a forgatással szemben. A mérések felső határt szabnak arra vonatkozóan, hogy mennyivel haladhatja meg egy adott részecske a vákuumbeli fénysebességet és ez az explicit Lorentz-szimmetriasértő tagok nagyságára is felső határt ad. Az új tagok megváltoztatják az energia, a tömeg és a lendület összefüggését, azaz a diszperziós relációt az adott részecskére:

$$p^2 = E^2 - \mathbf{p}^2 = m^2 + f(\mathbf{p}, E),$$

ahol  $p = [E, \mathbf{p}]$  az energia-impulzus négyesvektor,  $m$  a részecske tömege és  $f(\mathbf{p}, E)$  a kis anomális összetevő, amely sérti a Lorentz-invarianciát. A módosított diszperziós reláció leírhat a fénynél gyorsabb részecskéket. A hatás új tagjai a neutrínótér új típusú kölcsönhatását írja le a Standard modell részecskéivel vagy újonnan bevezetett (többnyire skalár) terekkel, de az új tagokat létrehozhatják gravitációs, sötétenergia-, vagy akár sötétanyag-kölcsönhatások is. Ezek más-más energia- és impulzusfüggést adnak az  $f(\mathbf{p}, E)$  anomális tagban.

Vannak olyan elméleti elképzelések is, amelyek szerint a Lorentz-szimmetria egy bonyolultabb szimmetria alacsonyenergiás megjelenési formája, amely akár spontán módon is sérülhet, például Finsler-féle téridőmetrika bevezetésével (amely a Lorentz-metrika általánosítása) szintén kaphatunk a fénynél gyorsabb elemi

részecskéket. A Lorentz-szimmetria spontán sérülhet akkor is, ha fermionkondenzátum jelenik meg modellben. Más elképzelések szerint a fizikai állapotokon ható Lorentz-szimmetria deformált, anizotróp lehet, és szintén adhat fénynél gyorsabb neutrínókat.

## Zárszó

Az OPERA-kísérlet közleménye a fénynél gyorsabb neutrínók megfigyeléséről óriási izgalmat váltott ki a tudományos közvéleményben. Habár a megfigyelés maga hibás volt, a tévesnek bizonyult kísérlet valóságos gondolatvihart gerjesztett (e cikk megírásának pillanatában, mintegy fél évvel a bejelentés után több, mint 230 közlemény hivatkozta a hibás mérésről szóló OPERA-cikket). Sokan számbavették a kísérletek buktatóit, a kísérleti és elméleti ellenvetéseket és végiggondolták a lehetséges következtetéseket. Kitűnő példája a gondolatébresztő tudományos tévedéseknek.

## Irodalom

1. Fényes Tibor: Neutrínóoszilláció, leptogenezis, neutrínógyarak. *Fizikai Szemle* 62/2 (2012) 37–45.
2. P. Adamson és mtársai (MINOS Collaboration): Measurement of neutrino velocity with the MINOS detectors and NuMI neutrino beam. *Phys. Rev. D* 76 (2007) 072005.
3. D. N. Schramm, J. W. Truran: New physics from Supernova SN1987A. *Physics Reports* 189 (1990) 89–126.
4. OPERA Collaboration (T. Adam és mtársai): Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam. arXiv: 1109.4897 (2011)
5. OPERA Collaboration (N. Agafonova és mtársai): Observation of a first  $\nu_\tau$  candidate in the OPERA experiment in the CNGS beam. *Phys. Lett. B* 691 (2010) 138.
6. A. G. Cohen, S. L. Glashow: Pair Creation Constrains Superluminal Neutrino Propagation. *Phys. Rev. Lett.* 107 (2011) 181803.
7. ICARUS Collaboration (M. Antonello és mtársai): Measurement of the neutrino velocity with the ICARUS detector at the CNGS beam. arXiv: 1203.3433 (2012)
8. *LNGS results on the neutrino velocity topic*. Mini-workshop, Gran Sasso, 2012 március 28. <http://agenda.infn.it/conference/Display.py?confId=4896>
9. A témakör tudományos irodalma előhívható a következő böngészős címen: <http://inspirehep.net/search?ln=en&p=refersto%3A928153> és angolul részletes leírás található a Wikipédiában: [http://en.wikipedia.org/wiki/Faster-than-light\\_neutrino\\_anomaly\\_%28OPERA\\_experiment%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Faster-than-light_neutrino_anomaly_%28OPERA_experiment%29)

# NEUTRÍNÓ-ÁLTUDOMÁNY – Vélemény

A szerzők javaslatára a *Fizikai Szemle* szerkesztője véleményemet kérte *Horváth Dezső* és szerzőtársai a *Fénynél gyorsabb neutrínók tündöklése és bukása* című írásáról. Az írás tartalmasan és részletekre is kiterjedően elemzi a CERN–OPERA nagytávolságú neutrínóterjedési kísérletet. A kísérlet fő célját, a neutrínók oszcillációjának vizsgálatát háttérbe szorító melléktermék, a neutrínóterjedés sebességének méréséről szóló cikk elkészültével, de annak szakmai bírálatát nem várva meg, a CERN főigazgatója enge-

délyezte, hogy a szenzációs következtetésekre vezető mérési eredményeket a sajtónak is nyilvános előadáson taglalják. Felmerül a kérdés: valóban kötelessége-e CERN-nek a sajtó számára előzetesen bejelentve „az OPERA együttműködésnek lehetővé tenni, hogy a tudományos közösség elé tárja megvitatásra, amit látott”? Nem inkább a tudományos bírálat hozszadalmas útját megkerülő, az OPERA-kísérlet egyes vezetői számára oly áhított közfigyelmet biztosító önreklámozásnak engedtek utat?

A cikknek az arXiv-adattárba való felkerülését követő napon megjelent *A. D. Cohen* és *S. L. Glashow* igen részletes okfejtéssel megírva is csak 4 oldalas elemzése,<sup>1</sup> amelynek kikerülhetetlen konklúziója, hogy a kísérlet rossz. E munka érveit a történetet bemutató kollégáim korrektül felsorolják, jelezve, hogy a gyors elemzés *S. Coleman* és Glashow egy korábbi cikkének<sup>2</sup> egyszerű alkalmazásával volt lehetséges. Felmerül a kérdés, lehetséges-e, hogy a Lorentz-szimmetria sérülésének nyilvánvaló következményét hordozó „felfedezés” 179 szerzője közül senki nem ismerte a 20. század második fele két vezető elméleti részecskefizikusának a legjobb tudományos hagyományokat követő, körültekintő elemzését? Nem szándékosan hagyták-e figyelmen kívül azt a cikket, amelyből konkrét adataik behelyettesítése után kétsoros számítással rádöbbenhettek volna, hogy a megelőző tapasztalatokra épülő természetes várakozásnál 5-6 nagyságrenddel nagyobb, óriási „effektust” vélnék látni?

Coleman és Glashow abból a tényből indult ki, hogy a Lorentz-szimmetria mélyen és sikeresen beépült részecskefizikai folyamatok nagy pontosságú értelmezését nyújtó Standard modell kvantumtérelméleti keretébe. Ha ez a szimmetria akár egyetlen részecske esetében sérül, a hatás nem szigetelhető el, mert a kvantumtérelmélet lényegének köszönhetően a neutrínó anomális terjedése beépül a vele kölcsönható összes részecske tulajdonságaiba a gyenge kölcsönhatást közvetítő terek révén. Ezért az egyetlen tudományosnak tekinthető megközelítés a Lorentz-szimmetria esetleges sérüléséről a Standard modell olyan kiegészítéseinek vizsgálatát jelenti, amelyek a Lorentz-szimmetriát csak kis mértékben sértik.

Coleman és Glashow felírták a legáltalánosabb Lorentz-szimmetriát sértő kiegészítést és a hatás kicsinyességét feltételezve a perturbációs számítás legalacsonyabb rendjében megnézték, milyen anomális folyamatok lépnek fel. Mindaddig, amíg a szabadon repülő elektronból nem méri Cserenkov-fotonok kibocsátását, vagy a szabadon repülő neutrínó nem emittál elektron-pozitron párt, a Lorentz-szimmetriát sértő kiegészítések erősségére pusztán felső korlátokat lehet állítani. Cohen és Glashow a kidolgozott esetek egyikével azonosította az OPERA-folyamatot (az őket meghívó középiskolásokkal tábla előtt beszélgetve) és rámutatott, hogy a kísérlet vélt eredménye durván sérti az előzetesen ismert megfigyeléseket és önmagával sem konzisztens.

Kollégáim ismertetésük további részében komplikált konstrukciókat tartalmazó cikkek sokaságáról számolnak be, amelyek igyekeztek megkerülni a Coleman–Glashow-elemzés következményeit. Egy igazán szemléletes próbálkozás a neutrínók extra dimenzióbeli („lerövidített úton haladó”) terjedésének

feltételezésén alapszik. Csak az a baj, hogy ez a sajátos terjedés hatással van az összes, a neutrínóteret akár virtuálisan tartalmazó folyamatra, amelyekben az OPERA-eredményt reprodukáló extra-dimenziós terjedési függvénnyel jelentős eltérés adódna a Standard modellnek a kísérletekkel mindeddig egyező jóslataitól. A kölcsönható terek elméletének az összes többi próbálkozást is korlátozó lényege, hogy a szimmetriasértés következményei nem lokalizálhatók a tűnékeny neutrínókra, hanem megjelennek az alaposan kézben tartható elektronokon is.

Mindezt a körültekintő, a tudományos haladás összefonódottságának tapasztalatát tiszteletben tartó kutatók figyelembe veszik. Így nem kerülnek feloldhatatlan hitelvesztés állapotába azokban az elég gyakran bekövetkező esetekben, amikor egy kísérletben a várakozásoktól eltérő eredményeket tapasztalnak, majd ezeknek a „felfedezéseknek” a nagyobb mérési statisztika elérésével, a pontosabb elemzés végén nyomuk vész. Kutatók körében közzismert, hogy a nagy eredményeket agresszíven hajszoló személyiségeknél a felfedezési vágy rendszeresen előidéz ilyen helyzetet. (Kiváló példája ennek a később Nobel-díjjal kitüntetett *Carlo Rubbia*, aki „rámenős” kutatóként csoportjával a hetvenes években legalább 2-3, később feledésbe merült anomáliáról adott hírt.)

Meggyőződésem szerint fentebb feltett (ál)kérdéseimre az a válasz, hogy az OPERA-kollaboráció, bár része a tudományos kutatási szervezetnek, mégis az áltudományos megközelítés megszokott módszereivel elemzte méréseit és kommunikálta következtetéseit:

- figyelmen kívül hagyta a tudományos irodalomban meglévő releváns vizsgálatokat;
- nem vizsgálta, hogy következtetéseit a Standard modellben összefoglalt tudományos eredményhalmaz milyen mértékű korrekciójával járnak;
- a szakmai diszkusszió szokásos csatornáit megkerülve (sajtóértekezletét szemináriumnak álcázva) a széles nyilvánosság elé lépett.

Ezért, szemben azoknak a tudományos vizsgálódásoknak a résztvevőivel és vezetőivel, akik időnként hibás eredményekre jutnak, az OPERA-kísérlet felelős vezetőinek el kellett hagyniuk a tudományos kutatást.

Kollégáimtól eltérően úgy látom, hogy az OPERA-kísérlet megcáfolt pontjaiból nem nyerhető semmiféle, a továbbiakban tudományosan hasznosítható következtetés. Eddig is végeztek, ezután is végeznek a Lorentz-szimmetria esetleges sérülésére vonatkozó kísérleti/elméleti elemzéseket, de azokban nem vizsgálják az ismert korlátokat. A nagy elméletalkotó túlkedésben a Coleman–Glashow-megközelítésen túllépő, maradandó gondolat nem született.

Ha van bármiféle „haszon”, az elsősorban a részecskefizikusok, különösképpen pedig a CERN vezetői tudományetikai érzékenységének fokozása. A globálissá vált, független ellenőrzéssel egyre nehezebben kontrollálható részecskefizikai kutatások hitelességét nem veszélyeztethetik hírnév-vadász kalandorok.

*Patkós András*

<sup>1</sup> A. G. Cohen, S. L. Glashow: Pair Creation Constrains Superluminal Neutrino Propagation. *Phys. Rev. Lett.* 107 (2011) 181803.

<sup>2</sup> S. Coleman, S. L. Glashow: High-energy tests of Lorentz invariance. *Phys. Rev. D* 59 (1998) 116008.