

ban a mechanika matematikai elméleteit újra és újra alkották, vizsgálták, alkalmazták, átalakították. Ennek eredményeként a mechanika precízebb, rövidebb, könnyebben megtanulható és tágabban alkalmazható lett.” Nem úgy a termodinamika.

Ennek a termodinamikában is elérkezett az ideje. Erről szól majd a második rész.

Irodalom

1. Harvey S. Leff: What if entropy were dimensionless? *Am. J. Phys.* 67(1999) 1114–1121.
2. Clausius, R., *Annalen der Physik und Chemie* CXXV(1965) 390.
3. Gibbs, J. W.: *The scientific papers of Willard Gibbs*. Dover, New York, 1961.
4. IUPAC-IFCC Terminology PAC. 68 (1996) Recommendations. 972.
5. Atkins, P. W.: *Physical Chemistry*. Oxford Univ. Press, 1990.
6. Truesdell, C.: *Rational Thermodynamics*. McGraw, 1969.
7. Truesdell, C.: *Tragicomedy of the Classical Thermodynamics*. Springer, 1971.
8. Leff, H. S.: Thermodynamic entropy: the spreading and sharing of energy. *Am. J. Phys.* 64(1996) 1261–1271.
9. Fényes Imre: A termodinamika fejlődésének áttekintése. – előadás, 1955. dec. 9. Szakosztályi füzetek (TTTT), Fizikai kémia.
10. Boltzmann, L.: *Lectures on Gas Theory*. Barth, Leipzig, 1896.
11. Dirac, P. A. M., *Proc. Roy. Soc.: 106 A* (1924) 581–596.
12. Planck M.: *The Theory of Heat Radiation*. Dover, New York (1991) 172–173, eredeti: (1901) 216.
13. Lavenda, B. H.: *Statistical Physics: „A probabilistic Approach”*. Wiley (1991) 14–15.
14. Lavenda, B. H.: What is entropy? *Il Nuovo Cimento B* 110(1995) 433–439.
15. Harvey S. L.: Thermodynamic entropy: The spreading and sharing of energy. *Am. J. Phys.* 64(1996) 1261–1271.
16. Baierlein, R.: Entropy and the second law. *Am. J. Phys.* 62 (1994) 15–26.

NEUTRÍNÓ – ÁLTUDOMÁNY?

A *Fizikai Szemle* 2012/5 számában (két további szerzőtársunkkal) [1] bemutattuk a neutrínó sebességének mérésére vonatkozó OPERA-kísérletet, amely előbb fénynél gyorsabb neutrínókról számolt be, majd néhány hónap múlva visszavonta eredményeit, mert hibát találtak az időmérésben. Cikkünk befejezéseként amellet érveltünk, hogy bár a mérés hibásnak bizonyult, mégis előremutató hatással volt a fizika fejlődésére. Cikkünket követően *Patkós András* megírta véleményét *Neutrínó – Áltudomány* címmel [2]. Kifejtette, hogy a kísérlet vezetői helytelenül jártak el amikor olyan kísérleti eredményt tettek közzé, amely nyilvánvalóan hibás volt, hiszen alapvető elméleti megfontolásoknak mond ellen. Jelen írásunkban szeretnénk vitába szállni e véleménnyel, és megerősíteni, hogy nem volt szó volt áltudományról, annak ellenére, hogy az események utólagos ismeretében valóban felmerülhet a gyanú, hogy a kísérlet résztvevői nem végeztek el minden ellenőrzést az esetleges hibák kiszűréséhez.

Az OPERA-kísérlet előtt már történtek próbálkozások a neutrínó sebességének mérésére. Cikkünkben is beszámoltunk a MINOS-kísérletről, amely ugyan fénynél gyorsabb neutrínósebességet mért, de a mérés szisztematikus bizonytalansága olyan nagy volt, hogy fénysebességnél gyorsabb neutrínókra vonatkozó állításuk nem lehetett szignifikáns. Az OPERA-kísérletben gondosan végigelemezték, hogyan lehet a MINOS-kísérletet úgy megismételni, hogy a szisztematikus hibát minden lehetséges módon csökkentsék. Valóban sikerült is szellemes megoldásokkal jelentősen (közel tizedére!) csökkenteni a szisztematikus hibát, és így a mérés pontosságát jelentősen javítani. Minthogy a tudományos felfedezéseket a méréseink pontosságát célzó technikai fejlesztések teszik lehetővé, az OPERA mérését semmiképpen nem nevezhetjük áltudománynak.

Az OPERA-kísérlet kiértékelése vakon történt. A korszerű részecskefizikai kísérletek e nagyon lényeges feltevése azt jelenti, hogy a szisztematikus bizonytalanságokat – igazi mérési adatok nélkül – a legapróbb részletekig kidolgozzák. A OPERA-kísérletben részt vevők – bizonyosok lévén szisztematikájukban – az adatok gyűjtése után rögtön közölték az eredményt, még ha az ellent is mondott az elméleteknek. Gondoljunk bele: ha nem így tennénk, akkor nem tehetnénk olyan új felfedezést, amely a már ismert elméletek érvényességének határait feszegeti. A kísérletező feladata éppen az, hogy eddigi ismereteinket megkérdőjelezve, saját mérésének pontosságát tárgyilagosan, a lehető legjobban meghatározva adjon új mérési eredményeket. Az OPERA ezt tette, de sajnálatos módon elcsúsztak egy banánhéjon. Talán elfogadhatjuk azt a kritikát, hogy igazán nagyszabású eredmények különlegesen gondos ellenőrzést kívánnak. Ugyanakkor az is tény, hogy a bejelentés készítette az ICARUS-kísérletet a mérés megismétlésére, és az ő negatív eredményük után az OPERA gyorsan megtalálta a hibát, amit nyilvánosan el is ismertek. Ez utóbbi mozzanat nem jellemző az áltudomány terjesztőire.

Vajon veszített-e a tudomány bármit az OPERA-bejelentést követő gondolatviharban? Bizonyosan állíthatjuk, hogy nem. Születtek ugyan kétes értékű munkák nagy számban, azonban ezek szinte nyomtalanul tűntek el, a hivatalos bírálatot követően többségük nem jelent meg szakmai folyóiratokban. Ugyanakkor születtek érdekes gondolatok, amelyek kiállták a kételkedő kérdezők próbáját, megjelentek nyomtatásban, és gazdagították a fizikát.

A Standard Modellen (SM) túlmutató elméleti elképzelések nagy része úgy próbált magyarázatot adni a fénynél gyorsabb neutrínókra, hogy közben ne sértse a Lorentz-szimmetriát – legalábbis ne a Coleman–Glashow-cikkben [3] megfogalmazott közvetlen módon –, és ezzel kerülje meg a Cohen–Glashow-közle-

ményben [4] írott feltételeket. Fontos kiemelni, hogy az új elméleti modellek egyrészt nem mondanak elent az eddigi mérési eredményeknek, másrészt felvetik a modell további kísérletekkel történő ellenőrzését. Ezek közül csak érintőlegesen említünk kettőt.

Például a hipotetikus steril neutrínók az elhanyagolhatóan gyenge tömegvonzáson kívül nem hatnak kölcsön más SM-részecskékkal, és az SM-neutrínók is csak oszcilláció révén csatolódnak hozzájuk. Ha feltételezzük, hogy a steril neutrínók extra térdimenziókban is mozoghatnak, akkor repülési idejük rövidebb lehet a fénynél. Ha megköveteljük azt is, hogy sem a steril, sem a szokásos neutrínók nem léphetik túl a fénysebességet a szokásos 3+1 dimenzióban, akkor a Lorentz-szimmetria nem sérül, ellenben az oszcilláció miatt – a szokásos neutrínók esetén is – a fénynél gyorsabb repülést tapasztalunk. Ekkor a Cohen–Glashow-cikk megszorítása nem érvényes, hiszen nem szükséges, hogy a szokásos 3+1 dimenzióban a fénynél gyorsabb legyen a neutrínó.

Egy másik példa szerint az ötödik erő feltételezése alapján létezhet olyan új fizikai mező, amely más módon csatolódik a neutrínókhoz, mint a többi SM-részecskéhez. Az új mező és a neutrínók közti kölcsönhatás a neutrínók számára úgy módosíthatná a téridő geometriáját, hogy lehetővé válna a fény vákuumban mért sebességénél gyorsabb terjedés a Lorentz-szim-

metria közvetlen sértése nélkül. Tehát ismét azt kapjuk, hogy az elmélet megkerüli a Cohen–Glashow-közleményben kirótt feltételeket.

Volt azonban más hozománya is a történetnek. Egyrészt összehozta a fizika különböző részterületein dolgozó kutatókat. Olyan kutatók között indult eszmecsere, akik általában nem szoktak egymással érintkezni. Másrészt a történet tanulságos lehet a fizikát kedvelő diákok és nagyközönség számára is. Példát mutatott arra, hogy az igazi tudományban semmi sincs bebetonozva, mindennek meg lehet kérdőjelezni, sőt rendszeresen meg is kérdőjelezzük az érvényességét. Előfordulhat, hogy kevésbé ismert fizikai egyedek viselkedésének megértése céljából a jelenleg biztosnak gondolt tudományos tézisek érvényességi körét felül kell vizsgálni, ismereteinket új elméletekkel szükséges bővíteni. Ez alól nem kivétel a Lorentz-szimmetria sem.

Nándori István, Trócsányi Zoltán

Irodalom

1. Horváth D., Nagy S., Nándori I., Trócsányi Z.: A fénynél gyorsabb neutrínók tündöklése és bukása. *Fizikai Szemle* 62/5 (2012) 145–152.
2. Patkós A.: Neutrínó – Áltudomány. *Fizikai Szemle* 62/5 (2012) 152–153.
3. S. R. Coleman, S. L. Glashow: High-energy tests of Lorentz invariance. *Phys. Rev. D* 59 (1999) 116008.
4. A. G. Cohen, S. L. Glashow: Pair Creation Constrains Superluminal Neutrino Propagation. *Phys. Rev. Lett.* 107 (2011) 181803.

A FIZIKA TANÍTÁSA

DERMESZTŐ HAJTÓSUGÁR ÉS 120 N TOLÓERŐ

Sugárhajtómű a rakétaindító sínen

Joó Árpád

MH 43. Nagysándor József Híradó és Vezetéstámogató Ezred, Székesfehérvár

A középiskolai fizikaoktatásban vagy a tanárképzésben nem jellemző, hogy a szifonpatronon vagy a pille palackból készült rakétán kívül más eszközzel demonstrálnák a sugárhajtást. Mindezek hiába készíthetők el egyszerűen, nem alkalmasak mérési feladatok elvégzésére, hiszen pusztán a reaktív hajtás elméletét igazolják a gyakorlatban.

Minden fontosabb, gazdaságilag prosperáló térségben a válság ellenére is zajlik az űrkutatás és ahhoz kapcsolódóan a rakétatechnika fejlődése. A világűr meghódításában pedig a reaktív hajtásnak nincsen alternatívája: „Minden nebezgség nélkül felismerhető (...), hogy a légüres térben mint hajtóeszköznek páratlan jelentősége van.” [1]

A sugárhajtás, rakétahajtás és az ezekhez szükséges alapvető technikai megoldások a fizikaórákon és előadásokon fontosságukhoz mérten több megbeszélést és minőségben más kísérleteket érdemelnének.

Demonstrációs célokra, sőt kooperatív oktatási módszer központi eszközeként komplex mérési feladatok végrehajtására egy olyan eszköz fogadható el, ahol az üzemidő percekben mérhető és nincsenek a mérést nehezítő, forró füstgázok; ahol nem zajlik kémiai reakció, amely nyomásnövekedés során ellenőrizhetetlenül felgyorsulhat. A hajtóművet inert gázzal célszerű megtáplálnunk, vagy például – a látványos üzem és a mérhető paraméterek biztosítása érdekében – megfelelően nagy kamranyomást és térfogatáramot nyújtó (inert gázt tartalmazó) sűrített levegővel.

Munkacsoportunk a sugárhajtást kívánta bemutatni, működését mérésekkel kicsit közelebből is megvizsgálni. Berendezésünket tágabban értelmezve autogén sugárhajtóműnek is tekinthetjük, hiszen ez a berendezés is egységes rendszerként foglal magába mindent, ami a hajtósugár előállításához szük-