

kossági sugárterhelés átfogó vizsgálatának, és jelentős szerepet kapott a berendezés az élelmiszerláncban keresztül történő ^{137}Cs izotópkinetika ellenőrzésénél.

Pécsett, a Mecseki Ércbányászati Vállalat Egészségügyi Szolgálatánál 1966-ban üzembe helyeztek egy úgynevezett shadow-shield típusú ólomárnyékolással ellátott, nagy szcintillációs detektorral működő egészszteszámológót, mindenképp az uránbányában dolgozók radon leányelemektől eredő sugárterhelésének rendszeres ellenőrzésére. A mérőrendszer árnyékolását 1970-ben továbbfejlesztették, és a mérőelektronikát modernizálták. Az 1981-ig tartó üzemeltetés során mintegy 50 000 ellenőrző mérést végeztek, számos esetben igen nagy radon-expozíciót találtak. Az eredményeket szigorúan titkos adatként kellett kezelniük, így publikálásukra nem kerülhetett sor. Később, 1983-ban az anyagi támogatás megvonása miatt a berendezést lebontották.

Meg kell még említeni, hogy az elmúlt években a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen is létrehoztak egy kisebb teljesítőképességű egészszteszámológós mérőrendezést, amelyet elsősorban oktatási célokra használnak.

Minőségbiztosítási programok keretében az országban rendszeresen üzemeltetett egészszteszámológós mérőhelyek, de mindenképp a KFKI AEKI és az OSSKI laboratóriumai gyakran részt vesznek hazai és nemzetközi szervezésű összehasonlító mérési akciókban, amelyek bizonyítják az alkalmazott módszerek és a mérési eredmények megbízhatóságát.

A 2. táblázatban összefoglaltuk a hazánkban létesített egészszteszámológós mérőrendszerek legfontosabb paramétereit: az üzembe helyezés évét, az árnyékolás, a detektor és a mérési geometria jellemzőit, valamint a jelentősebb alkalmazási területeket.

SZÁZ ÉVE HALT MEG LUDWIG EDUARD BOLTZMANN, A STATISZTIKUS FIZIKA MEGALAPOZÓJA

Iglói Ferenc

MTA SZFKI, SZTE Elméleti Fizikai Tanszék

Száz éve, 1906. szeptember 5-én a Trieszt melletti Duinóban meghalt *Ludwig Boltzmann* osztrák fizikus, a 19. század elméleti fizikájának egyik legnagyobb alakja. Eredményei közül elsősorban a statisztikus mechanika megalapozását, a termodinamika második főtételének mikroszkopikus értelmezését, a nem-egyensúlyi és transzportfolyamatok leírását, valamint a feketetest-sugárzásra vonatkozó Stefan-féle T^4 -es empirikus törvény mikroszkopikus levezetését szokás megemlíteni. Nevét a fizikában többek között a Boltzmann-állandó, a Maxwell-Boltzmann-eloszlás, a Boltzmann-tényező, a Boltzmann-féle transzportegyenlet és a Stefan-Boltzmann-törvény viseli. A 19. század egyik legnyitottabb, a konvenciókhoz nem ragaszkodó gondolkodója volt. Elméleti megfontolásait az anyag atomos, molekuláris felépítésének feltételezésére építette egy olyan időszakban, amikor az a tudományos közfelfogással szöges ellentétben állt. Elméletének jelentőségét saját korában nem ismerték fel, és eredményei tudományos viták keresztüztüében álltak. Ez is hozzájárult egyre inkább elhatalmasodó depressziójához, mely végül is öngyilkossághoz vezetett.

Ludwig Eduard Boltzmann 1844. február 20-án született Bécsben, a Landstrasse nevű kerület főutcájának

egyik házában. Apja császári adóhivatalnok, nagyapja pedig, aki Berlinből költözött Bécsbe, órásmester volt. Anyja *Katharina Pauernfeind*, akinek családja salzburgi illetőségű. A család nem sokkal Ludwig születése után Felső-Ausztriába költözött, előbb Welsbe, majd Linzbe. Itt járt Ludwig középiskolába is, ahol a tehetséges fiú osztályelső volt. 15 éves korában elvesztette apját, de anyja anyagi lehetőségeivel továbbra is biztosította, hogy csak a tanulmányaira kelljen koncentrálnia. 1863-ban a bécsi egyetemre iratkozott be fizikát tanulni, ma az egyetem fizikai intézete a Boltzmann-gassén található. Tanárai között volt a magyar származású *Petzval József*, a fotografiai lencsék tökéletesítője, *Andreas von Ettingshausen* és *Josef Stefan*. Stefan, akinek neve a feketetest-sugárzással kapcsolatban volt ismert, irányította a Boltzmann doktori értekezésével kapcsolatos vizsgálatokat is, melynek eredményeként 1866-ban a gázok kinetikus elmélete témakörben doktori címet nyert el.

1867-ben magántanári habilitáció után még két évig Stefan intézetében dolgozik, majd 25 évesen a grazi egyetem matematikai fizika professzorának nevezik ki. Közben több hónapig Heidelbergben (*Robert Bunsen* és *Leo Königsberger* mellett) és Berlinben (*Gustav Kirchhoff*



Ludwig Eduard Boltzmann (1844–1906)



Boltzmann (középen) és munkatársai Grazban 1887-ben. Az álló sorban balról az első Nernst, a harmadik Arrhenius.

és *Hermann von Helmholtz* mellett) dolgozik. Jellemző módon nem marad sokáig egy helyen. (Ő maga félig tréfásan ezt azzal magyarázta, hogy farsang utolsó éjszakája után, hamvazószerda hajnalán született.) Az 1873 és 1876 közötti időszakot követően, amikor Bécsben a matematika professzora, visszatér Grazba, ezúttal mint a kísérleti fizikai intézet vezetője. Itt egy viszonylag hosszabb, 14 éves boldog időszak következik. 1876-ban köt házasságot *Henriette von Aigentler*rel, három lányuk és két fiúk születik, és ekkor alakítja ki a természet statisztikus leírására vonatkozó elméletének alapjait is. A nyolcvanas években a nagy tudományos tekintélyt szerzett tudóst számos fiatal tehetség keresi fel, hogy tanuljon tőle, többek között *Svante Arrhenius* Svédországból, valamint *Walther Nernst* és *Wilhelm Ostwald* Németországból. A szakmai elismerést jelzi, hogy 1885-ben a Császári Tudományos Akadémia tagjának választja és a kormányzat is kitünteti, az egyetem rektora (1887) és udvari tanácsos (*wirkliche Hofrat*, 1889) lesz.

1890-ben Boltzmann a Münchener Egyetem elméleti fizika professzora lesz. Innen 1893-ban visszatér Bécsbe és egykori tanárának, Josef Stefannak lesz utódja az egyetem Elméleti Fizikai Intézetében. Bécsben azonban nem érzi jól magát, hiányzik a müncheni baráti társaság, és professzortársaival sem felhőtlen a viszonya. Különösen az 1895-ben a filozófia és tudománytörténet professzorának kinevezett *Ernst Mach*hal nem értik meg egymást: az atomok létevel kapcsolatosan vannak nagyon éles vitáik. Azért, hogy a Machhal való munkakapcsolatot elkerülje 1900-ban Wilhelm Ostwald hívására Lipcsébe megy. Ostwalddal ugyan tudományos vitáik vannak, de a személyes viszonyuk jó. Ennek ellenére Lipcsében kísérlet meg először öngyilkosságot.

1901-ben Machot egészségügyi problémái miatt nyugdíjazzák, ezért 1902-ben Boltzmann visszatér a bécsi intézet élére, még üresen álló korábbi pozíciójába. *Ferenc József* császár azzal a feltétellel nevezi ki újra professzornak, hogy Boltzmann becsületszavát adja, hogy a továbbiakban nem vállal állást a birodalmon kívül. Bécsi tanítványai közül megemlíthjük *Paul Ehrenfest*, *Lise Meitner* és *Philipp Frank* nevét. Bécsben, fizika mellett, Mach óráit átvéve filozófiát is oktatott. Filozófia előadásai, különösen az első évben, nagyon népszerűek voltak, olyannyira, hogy annak megtartásához a legnagyobb előadóterem

is kicsinek bizonyult. Ennek hírére még *Ferenc József* császár is kihallgatáson fogadta a tudóst.

Élete utolsó éveiben komoly egészségi problémái voltak. Szeme úgy meggyengült, hogy sem írni, sem olvasni nem tudott, tudományos cikkeit feleségének diktálta. Emellett asztma és gyakran erős fejfájás kínozta, depressziójáról pedig már korábban szóltunk. Az 1906. szeptember 5-i halálát követően szeptember 8-án nagyszabású megemlékezést tartottak, melyen a korabeli tudományos élet vezető személyiségei is részt vettek. Bécs városa díszsírhelyet biztosított számára, és az 1933-ban a Zentralfriedhofban felállított sírkövön ott áll bevésvé az entrópia (S) és a termodinamikai valószínűség (W) közötti $S = k_B \ln W$ egyenlet, ezzel Boltzmann legnagyobb tudományos felismerését örökítve meg.

Boltzmann élete során mintegy 140 tudományos közleményt jelentetett meg. Munkásságában alapvető szerepet játszik a kinetikus elmélet, amelynek első alkalmazásai között gázok molekuláinak sebességeloszlását határozza meg. Ebben a témakörben mintegy 16 közleménye jelent meg. A *Maxwell* által korábban talált és pontszerű, szabad részecskék leírására alkalmas összefüggést általánosítja külső erők esetére és többatomos molekulákra. Ennek során bevezeti a Boltzmann-tényezőt és felírja a Maxwell–Boltzmann-féle eloszlásfüggvényt. Számolásai során megalkotja a sokaság („Inbegriff”) fogalmát (olyan azonos rendszerek összessége, amelyek csak a kezdeti feltételek eltérő megadása miatt különböznek), és megfogalmazza az ergodikus hipotézist (amely az időre és sokaságra vett átlagolás ekvivalenciáját jelenti).

(A sokaság fogalmát Boltzmanntól függetlenül *Maxwell* és *J. Willard Gibbs* is bevezette. Míg Boltzmann-nál

Boltzmann sírja a bécsi Zentralfriedhofban.



az alapvető módszert a kinetikus és mechanikus megfontolások jelentik, Gibbs elméletében a különféle sokaságok játsszák a főszerepet (a boltzmanni sokaság fogalom Gibbsnél a „mikrokanonikus” típusnak felel meg). A Gibbs-féle formalizmus az egyensúlyi rendszerek esetén általában egyszerűbben használható, kvantumrendszerekre történő általánosítása is viszonylag könnyen kivitelezhető. A Boltzmann-féle megközelítést a modern fizikában elsősorban a nem-egyensúlyi, az egyensúlytól távoli rendszerek leírásánál tudjuk felhasználni.)

Másik fontos és Boltzmann egész életét végigkísérő probléma, amelyről 18 közleménye jelent meg, a termodinamika 2. főtételének mikroszkopikus értelmezésére vonatkozik. Először 1872-ben, mechanikai alapon, a Boltzmann-féle transzportegyenlet és a H-tétel felhasználásával érvel. A H-tételt alkalmazó eljárás szépsége, hogy a 2. főtételnek mind az egyensúlyi, mind a nem-egyensúlyi aspektusát magyarázni tudja. Az 1877-es tárgyalás már

tisztán statisztikus alapon áll, és nem tartalmaz semmilyen mechanikai megfontolást. Ebben a munkában jelenik meg először az entrópia és a termodinamikai valószínűség kapcsolata, amelyre Boltzmann sírkövével kapcsolatban már utaltunk.

Boltzmann tudományos elismerése már életében elkezdődött, a Royal Society tagjának választotta és az Oxfordi Egyetem díszdoktori címet adományozott neki. Ugyanakkor tudományos eredményeinek igazi fontosságát és értékét csak halála után ismerte fel a tudományos világ. Ebben nyilvánvalóan szerepet játszott az a tény is, hogy az anyag atomos szerkezetét, mely Boltzmann elméletének kiindulási pontja volt, csak halála után lehetett kísérletileg igazolni. Ma Boltzmann elsősorban a statisztikus fizika megalapozójaként tiszteljük.

A statisztikus fizikai kutatásokért háromévenként adományozott legnagyobb kitüntetés, a Boltzmann-medál, az ő nevét viseli.

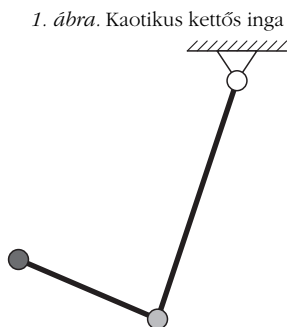
A FIZIKA TANÍTÁSA

IZGALMAS MÉRÉSEK A MÉRNÖK-FIZIKUS HALLGATÓI LABORATÓRIUMBAN

Vankó Péter
BME, TTK, Kísérleti Fizika Tanszék

A kísérleti fizika laboratóriumi gyakorlatokon I–II. éves mérnök-fizikus hallgatók a fizika legkülönbözőbb területeiről összeválogatott mérési gyakorlatok keretében ismerkednek a fizikai mérések, a számítógépes adatgyűjtés és kiértékelés, valamint a hibaszámítás alapjaival. A legtöbb hallgató mindenféle mérési tapasztalat nélkül érkezik a középiskolából, de a háromórás mérések elvégzése, a táblázatokat, képleteket, számításokat és grafikonokat tartalmazó jegyzőkönyvek megírása a gyakorlattal rendelkezőknek sem könnyű feladat.

A mérési gyakorlat megszerzéséhez lényegében bármely mérés megfelelő lehet. A kísérletezésnek és a mérésnek azonban a rutin megszerzése mellett nagyon fontos szerepe van a fizikai szemlélet megalapozásában is. Ehhez alapvető fizikai jelenségekhez kapcsolódó, a hallgatókat motiváló, érdekes, izgalmas mérésekre van szükség.



ség. A mérési feladatok korszerűsítésekor és új mérések tervezésekor ez a pedagógiai szempont az elsődleges.

A két alapozó félév gyakorlatai, a mérések leírásai megtalálhatóak az [1] internetcímen. Ebben az írásban két olyan mérést ismertetek, melyek a fizika izgalmas, modern területeit vizsgálják, ugyanakkor – a mérési feladat szintjén – a kezdő, még csak minimális elméleti ismeretekkel rendelkező hallgatóknak is érthetőek.

Kaotikus kettős inga vizsgálata V-scope-pal

Kettős ingát úgy készíthetünk, hogy egy fizikai inga végéhez csuklóval egy másik fizikai ingát erősítünk (1. ábra). A kettős inga az egyik legegyszerűbb mechanikai rendszer, ami kaotikusan viselkedik. A kaotikus rendszer viselkedése hosszú távon megjósolhatatlan. Ennek oka a kezdőfeltételekre való rendkívüli érzékenység: ha a rendszert a legcsekélyebb mértékben különböző kezdeti feltételekkel hagyjuk magára, akkor véges időn belül teljesen eltérően fog viselkedni. Ugyanakkor *pontosan* ugyanazt a kezdőállapotot soha nem tudjuk megvalósítani.

Mikor lehet egy rendszer kaotikus? Ha a rendszernek legalább három szabad paramétere van, és a rendszert leíró egyenletek nemlineáris tagot is tartalmaznak [2]. A legalább három szabad paraméter azért szükséges, mert ekkor a fázistérben kialakulhat olyan trajektória, amely