

NÉHÁNY ISMERETELMÉLETI MEGJEGYZÉS FIZIKUS INDÍTTATÁSRA

Wiedemann László
Budapest

Az egzakt tudományok filozófiai-ismeretelméleti kitekintésre sarkallnak. Különösen áll ez a fizikára. Gondolkodási módszere, az elért eredmények és történelmi beágyazottsága involválja az identitás keresést. De azt is, amikor helytelenül hamar lezárja az ismeretelméleti vizsgálódást és nem tesz fel filozófiai kérdéseket, mondván, hogy irrelevánsak a tudományos gondolkodás szempontjából, ahogy ezt a pozitívizmus teszi.

Hangulatfestő elemként néhány szakmai konkrétumot kívánunk itt egy szára felfűzni. A kiszámítás nem cél, hanem ami mögötte van, azt felfedni, jelezve ezzel az alkotás feszültségét és az általánosítás erejét, amint ezt nagy elmék végigvitték. Ez elvezet a természettudomány egzaktságához.

Többeket irritál a természettudományos gondolkodás ilyen magabiztossága. Fennhéjzásnak tekintik, de nem veszik észre, hogy a tudós elme önmagával szemben is kritikus és az igazat keresi, tévedéseit elismeri, mindig is egy drámai feszültséget él meg. Nem ismerik ők a tudományt belülről, nem is tudják, nem is értik. Az ilyen kritika komolyságát kérdőjelezi meg, mikor például a neves író, *Hamvas Béla* nem éppen elismerő szavait olvashatjuk: „Az egzakttság a természettudományos kinyilatkoztatás biblikus pátosza.”

Egy átlátható, egyszerű problémából indulunk ki és ezt építjük több irányban és elmélyítve. A konkrétumok segítik a filozófiai tisztánlátást is. A központi gondolat a villamos erők potenciálja, amellyel az erőtér szinte teljesen jellemezhető.

Legyen kondenzátor lemezei között homogén erőtér és vákuum. Ekkor az E térerősség állandó és az U potenciál lineáris. A munkatétellel kiszámíthatjuk például, hogy mekkora sebességre tesz szert egy töltéshordozó, ha befutja ezt az U potenciálkülönbséget: $eU = 1/2 mv^2$. Hogyan alakul ez az alapszituáció, ha a lemezek között n sűrűséggel egyenletes eloszlásban töltéshordozók vannak jelen (például azonos nagyságú és előjelű töltéshordozók)? Képzeljük, ezek mintegy oda vannak szögezve, a lemezek közötti térben rögzítettek. Most már más lesz az elektromos tér szerkezete, amelyet a helyfüggő $\varphi(x)$ potenciálfüggvény ad meg. Tértöltéssel van dolgunk, amelyet a Poisson-egyenlet ír le:

$$\Delta\varphi(x, y, z) = -\frac{\rho}{\epsilon}.$$

Itt Δ a Laplace-operátor, $\rho = en$ a térfogati töltéssűrűség, ϵ a teret kitöltő anyag dielektromos állandója. E parciális differenciálegyenlet megoldása a keresett

potenciál-eloszlás. Ha az egyetlen változó az x koordináta és ρ nem függ a helytől, akkor a Poisson-egyenlet könnyen integrálható:

$$\varphi(x) = ax^2 + bx + c$$

egy másodfokú görbe. A parabolát a peremfeltételekkel lehet illeszteni.

Impozáns, ahogy a fizika a tértöltés hatását a matematika segítségével kezelni képes. Az elméletből adódó numerikus eredmények egyeznek a mérésekkel, vagyis az empiriával. Így van ez a mechanikában is; például fonálinga lengésideképlete, vagy valamely bonyolult erőrendszer vektori eredőjének kiszámítása és közvetlenül a dinamóméterrel mért eredmény azonossága.

Figyelmünket fordítsuk továbbra is a tértöltési jelenségek által létrehozott potenciál-eloszlásra. Folytatva az előbbieket, most már ne legyenek rögzítve az elektromos erőtérben a töltések, de külső áramot még ne engedjünk meg. Igen összetett jelenség áll elő. Az erőtérben a statisztikus mozgást végző töltéshordozók (a hőmérsékletnek köszönhetően is) egyenként $-e\varphi$ potenciális energiával rendelkeznek, amely a Boltzmann-eloszlás szerint determinálja a helyi $\rho = en$ térfogati töltéssűrűséget. (Elektronok esetén a Fermi-eloszlás érvényes.) Ez viszont a Poisson-egyenlet szerint meghatározza a helyi $-e\varphi$ energiát, így kölcsönösen meghatározzák egymást; $n \leftrightarrow \varphi$, egy önfenntartó tér jön létre bonyolult matematikai törvényszerűség szerint. Ha egydimenzióban vizsgálódunk, mint a kondenzátorlemezek közötti tér esetén, akkor az önfenntartó tér potenciálja közelítő feltevésekkel integrálható. Ha azonban gömbszimmetrikus elrendezésre gondolunk; központi ion, körülötte ellentétes töltésű ionfelhő és erős elektrolitunk van, akkor előbb-utóbb a modern elektrolitelmélet Debye–Hückel-féle alapvető differenciálegyenletére jutunk. Ez írja le az erős elektrolitok minden alapvető tulajdonságát. Az ilyen típusú differenciálegyenlet megoldása, mint az előbbi egyszerűbb egydimenziós eset is, úgy történik, hogy a Boltzmann-eloszlást kombináljuk a tértöltési egyenlettel, majd közelítést vezetünk be a sinus-hiperbolikus függvény sorából csak néhány tagot figyelembe véve. A Boltzmann-eloszlást most ilyen alakban írjuk:

$$n_{\pm} = n_0 e^{\pm \frac{e\varphi}{kT}},$$

ahol n_0 az átlagos térfogati sűrűség, k a Boltzmann-állandó, T a rendszer kelvinben mért hőmérséklete.

Ha ezt a tértöltési egyenletbe tesszük, kapjuk a megoldandó parciális differenciálegyenletet a potenciáloszlásra: $\Delta\varphi = \kappa^2\varphi$, ahol κ egy konstans. Ha erős elektrolit ionfelhőről van szó, akkor az előbbi konstans reciproka az úgynevezett Debye-hossz. A megoldás konkrét alakja:

$$\varphi = -\frac{e}{\varepsilon} \frac{1 - e^{-\kappa r}}{r}.$$

Érdekes a potenciál viselkedése $r = 0$ -nál, a centrális ion helyén.

Ha még egy lépéssel továbbmegyünk az előbbieken felvetett, egymásra épülő tértöltési problémában, akkor rákérdezhetünk még egy lépcsőre; mi történik, ha áramot is megengedünk? Hogyan határozhatjuk meg a tértöltésben kialakuló áramot? (Ez esetben eredeti, kondenzátoros modellünket úgy változtatjuk meg, hogy áramkörre alakítjuk.)

Itt ugyanis belép egy újabb tényező: a tértöltési mennyiségek időbeli változása. Erre két út kínálkozik. Az egyik egy fenomenologikus megközelítés. Ilyenkor kiegészítő egyenletként megadjuk a j áramsűrűség és a helyi térerősség közötti kapcsolatot és ezt az egyenletrendszert oldjuk meg. Így például egyik eset az, hogy a töltéshordozó-mozgékonyaság állandó, vagyis

$$j = en(x)uE(x),$$

itt u az ionmozgékonyaság. A másik út statisztikus megfontolás, amikor is a Boltzmann-eloszlás időbeli kiterjesztését kell elvégezni. Új, iterált eloszlásfüggvényt kell létrehozni az úgynevezett ütközési integrál bevezetésével. Eddig az f_0 egyensúlyi eloszlással dolgoztunk, ezután az f_1 első iterált eloszlással, amely már tartalmazza a statisztikus sokaság időbeli változását. Így kapjuk a Boltzmann-féle transzportegyenletet, amelynek egyik integrálja adja az áramsűrűséget. Az egyensúlyi Boltzmann-eloszlás, amelynek időbeli változását írja le a transzportegyenlet, ilyen alakú:

$$f_0 = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{kT}}.$$

Itt m a rendszer egy részecskéjének tömege, v pillanatnyi sebességének nagysága. Az áramot most mint stacionárius jelenséget kívánjuk meghatározni. Ezt úgy juttatjuk kifejezésre, hogy az f_1 -re felírt transzportegyenletben az idő szerinti parciális deriváltat zérussal tesszük egyenlővé, amely eljárás a matematikai tömörség szép példája. Végül a j áramsűrűsége a következő formula írható fel:

$$j = e \int v f_1 d\Omega,$$

ahol $d\Omega$ az elemi fázistérfoghat. Ha ezt kiszámítjuk, megkapjuk a differenciális Ohm-törvényt: $j = \sigma E$, ahol σ a vezetőképesség. Ha a számolást fémek elektromos vezetésére végezzük el, akkor a kiinduló f_0 a Fermi-eloszlás. Erre kell alkalmazni a Boltzmann-

transzportegyenletet. Látható a fizikai és matematikai tömörség, ami ezt a tudományt nem csak egzakttá, hanem exkluzívá is teszi.

Ismeretelméleti elemzések

Az előbbieken felvázolt villanásnyi kép az a panoráma, ami itt élénk táru a természet világából, további analízist involvál a gondolkodás szerkezetére vonatkozóan. Az effajta fogalmi konstrukciókat, háttérben az empiriával a fizika nagyjai dolgozták ki. A sok részletmunka mögött a gondolkodás azonos struktúrája állhat. Figyelemre méltó, hogy a fokozatosan megszülető elmélet és a mérési eredmények fedik, sőt kölcsönösen meghatározzák egymást a kutatás folyamatában. Mondhatjuk, hogy a fogalmi gondolkodás (hipotézis, modell és axióma rendszer együttes létrehozása) és az empirikus megközelítés a mérések és mérőeszközök kidolgozásáig korrelációban vannak. Ezen azt értjük, hogy a tudat struktúrája olyan, hogy elmélet és empiria e kontextusában a valóságot jeleníti meg. A valóságra vonatkozó evidencia élményt nyújt, ezt éljük meg. De milyen ez az evidenciaélmény és a benne feltáruuló valóság? A tudat önmagára való reflexiója, vagy egy tudaton kívüli valóság üzenete? Ez sarkalatos kérdés, vízvonalasított.

David Hume (1711–1776) munkásságával kezdődően (*Treatise of Human Nature*) a pozitívizmus pragmatikus választ ad. Nem teszi fel magát a kérdést, hogy mi a valóság, de felhasználja a tudomány eredményeit. Minden, a külvilágra vonatkozó ilyen kérdést metafizikusnak tart, így a kauzalitás elvét is belemagyarázásnak és nem genetikus elvnek. Kétségtelen, a pozitívizmusnak van katartikus attitűdje; csak a tudat által közvetített tények számítanak, vagyis a tudat megszürésében lehet képünk az önmagában definiálhatatlan külső világról. A realizmus eszelős keresésében maga a realizmus válik kezében irreálisá. Világképi lezárást nem ad, e nélkül viszont elvész a tudomány referencijellege és költőisége is, amely paradox módon alkotó eleme az egzaktaságnak. Lezárás, világképi kitekintés? Semmit sem kell lezárni, az erre való igényről van szó, egy limes-élmény. Ez jelenlente a hajtó erőt. Érdekes, hogy pozitívista mozzanatok már *Kopernikusz* munkásságának méltatása és a Galilei-per kapcsán is jelentkeznek. Kopernikusz fő műve: *De revolutione orbium coelestium* (1543). Ehhez írt előszót barátja *Osiander* teológus és filozófus. Így ír a meghirdetett heliocentrikus rendszerről: „Szükségtelen, hogy ezek a hipotézisek igazak legyenek; csak egy dologra van szükség, arra, hogy olyan számításokat eredményezzenek, amelyek megegyeznek a megfigyelésekkel.” A Galilei-perben *Bellarmino* bíboros, *Galilei* fő vitapartnere hasonlóképpen érvelt. Azt mondta, hogy bár a heliocentrikus feltevés helytálló megfigyelésekhez és a számítások egyszerűsödéséhez vezet, ebből a heliocentrikus kép igaz volta még nem következik; a tudomány pusztán hasznos kalkulációs eszközzel, instrumentummal gyarapodott,

a megszokott világgép akár érvényben is maradhat. Az instrumentalizmus azt fejezi ki, hogy a világ olyan, mint amilyennek látszik, nincsen a jelenségek mögötti lényege, illetve, mivel hozzáférhetetlen, érdektelen.

A tudományos eredmények ismeretelméleti elemzésének egy másik releváns vonulata régebbi, mint a pozitivizmus. Mindig is kereste az ember egzisztenciájának biztonságát, amelyet itt abban talált meg, hogy posztulálta a világ embertől független létezését, vagyis elfogadta, magáévá tette, hit formájában tovább nem analizálható élménnyé avatta a világ objektív létezését. Ez metafizika ugyan, racionálisan nem bizonyítható, de azért nem von le semmit a tudományos gondolkodás értékéből. Ezután most már az objektivitás jegyében értelmezzük a tapasztalatot és a teóriák ilyen alapon nyugszanak. Így oda jutunk, hogy megismerésünk, az egzakt tudományos megismerés is metafizikai gyökerekre utal. Ezt tudatosítva kiléphetünk a tudományban is megbúvó káros redukcióból; a sokféleséget egyféle ségre redukálni. Ilyen káros redukció az immanencia elve is, vagyis az a nézet, hogy a világ önmagából magyarázható, vagy az az elképzelés, hogy a tudomány választ adhat az egzisztencia valamennyi kérdésére. Ez a redukció a gondolkodás minden területén fenyeget. E kizárólagosság végső állomása egy mítosz; racionalista mítosz, más néven tudományos mítosz.

Visszatérve a világ objektív létezésének elfogadására, a kapcsolatos hitről *Spengler* frappánsan nyilatkozik: „Der Glaube ist eine innere Gewissheit.” (A hit belső bizonyosság.) Ilyen a vallásos hit is. *Heisenberg A mai fizika világgépe* című művében új mozzanatra utal. Eszerint a hit bizalom kérdése; amiben hiszünk, arra rábízunk magunkat. Összekapcsolja a híres skolasztikus jelmonddal; cselekvésre a hit sarkall és cselekvés közben születik a megértés: „Credo ut agam, ago, ut intelligam.” (Hiszek, hogy cselekedjem, cselekszem, hogy értsek.) Hit-cselekvés-értés, ez adja az emberi egzisztencia lényegét (*Szt. Anselmus*, 1033–1109).

Más kontextusban világítja meg *Nietzsche* az ismeret akarását, amikor kifejti [1], hogy megismerési igényünk lényege valami idegent otthonossá tenni, valamilyen szokatlant visszavezetni a már szokott kapcsolatokra, vagyis a már ismert axiómákba illeszteni. De továbbmegy, tenni kell ezt, mivel ezzel az új már nem idegen, nem nyugtalanít, így ismét visszanyerjük biztonságérzetünket. Felteszi a kérdést, vajon nem a félelem ösztöne munkál a megismerés mélyén?

Térjünk vissza arra, hogy metafizikus vonás, amikor az ember elfogadja, hiszi az objektív világ létezését. De az ember itt nem áll meg, hanem nyitottságánál fogva e metafizikai átjárón keresztül, mint látomás megjelenhet előtte egy másik létsík is, a Transzcendens. Ez a továbblépés már a vallásos mozzanat irányába mutat, ami szintén releváns életérzés. Tovább már nem ismeretelméleti kérdéstről van szó. Ezt részletezendő, többször elhangzik a vád, hogy a katolikus egyház mindig is tudományellenes volt.

Nézzünk néhány részletet! A keresztény filozófia és teológia kezdeteinél ott magaslik egy nagy egyéniség, *Szt. Ágoston* (354–430), Hippo püspöke. Világosan

kifejti, ha a természettudomány valamit igaznak tart, azt kell elfogadni teológiai spekulációk helyett. Ebben az időben a csillagászok már megállapították, hogy a Föld nem lapos korong, hanem gömb formájú s ez nem egyezett a *Biblia* ezzel ellenkező megállapításával. *Jáki Szaniszló* bencés szerzetes, fizikus és tudománytörténész professzor (Seton Hall egyetem, New Jersey) ezt úgy interpretálja, hogy a „katolikus teológusok még ma sem látják, hogy a Galilei-ügybe belekeveredett vezető egyházi embereknek meg kellett volna szívlelniök *Szt. Ágoston* ezer évvel korábbi tanítását” [2]. Meglepőek *Ágoston* gondolatai az időről, amelyek a modern felfogással egyeznek: „Non in tempore, sed cum tempore fixit Deus mundum.” (Nem az időben, hanem az idővel teremté Isten a világot.)

A skolasztika a tudományos gondolkodás útjait kuttatta, a dialektika törvényeit dolgozta ki, természetesen Istennel, mint centrummal. Jelentős egyéniségek: *Abe-lard* és *Bernard de Chartres* (chartres-i naturalizmus.) A skolasztika nevezetes jelmondata: „A hit a természetfeletti, az értelem a természetre vonatkozó ismereteket nyújtja.” – *Albertus Magnus* (1206–1280).

Ebben a rövid tanulmányban a helyzet bonyolultságát csak hézagosan lehet elemezni, mégis egy fő momentumra rá kell mutatnunk. Ez az individuum térnyerése, folyamatos szóhoz jutása az 1300-as évektől kezdődően. Hasonlóan fontos, hogy a panteizmus megjelenéséig ez az Isten-eszmén belül ment végbe. A nominalizmussal kezdődött és megindítója *Ockham* ferences rendi szerzetes volt. Ő mondta ki, hogy a tapasztalat az egyedüli ismeretforrás és hogy a fogalom csak jel. Hasonlóan új gondolatok: *Nicolaus Cusanus* brixeni bíboros (1401–1466) világra nyitottsága a vallások ellentéteit igyekszik enyhíteni (a vallások alapvető egységéről ír), és megjelenik nála a végtelen anélkül, hogy végest, végtelent és Istent összemosná. Kimondja az ellentétek egybeesését, a via negatívát, új horizontot nyitva a keresztény teológia számára [3, 4].

A skolasztika hanyatlásával valójában olyan szellemi mozgalom indult meg, amely a szent és a profán szétválását vetíti előre. *Aquinói Szt. Tamásban* a keresztény filozófia csúcspontját érte el. Ő elkerülte a tiszta teologizmust, ugyanúgy a pusztá racionalizmust is; egy nagy egység lebegett előtte. Amikor a profán felé való eltolódás kezdetei mutatkoztak, egyházi részről is ellenállás jelentkezett, ezzel éppen ellenkező hatást váltott ki. Az előbb jelzett egyensúly megbomlott. Így például Párizs érseke, *Etienne Tempier* 1270-ben elítélte Arisztotelész egyes tételeit, holott *Szt. Tamás* igyekezett Arisztotelészt beépíteni a keresztény filozófiába. Így az univerzálék vitája (nominalizmus-realizmus) nem csendesedett [5].

Új momentumként rá kell mutatni a keresztény deszakralizációra, ami részben ószövetségi gyökerekre vezethető vissza. A pogány mitológia istenei benépesítették az ember világát; ligetek, fák, erdők, források istenei, sőt ide tartozik a kozmikus tárgyak kultusza, a Hold, Nap és a csillagok. A keresztény deszakralizáció kimondja, hogy Isten külön áll a világtól és egyedül tartja azt fenn. A világ egészen világi, Isten

egészen isteni. Ily módon a világ szabadon kutatható, a megismerés tárgya lehet dogmatikus megszorítások nélkül. Visszatérve az ószövetségi gyökerekre, a babiloni fogság idején az említett pogány kultusz behatolt a nép közé. Illés és Jeremiás próféták szenvedélyesen ostromozták és bálványimádásnak nevezték. Illés próféta szavai: „A szélvészben nincs az Úr, a földrengésben nincs az Úr, a tűzben nincs az Úr.” Itt jól mutatkozik a világ és Isten szétválasztása. Kétezer évvel később figyelemre méltó *Kepler* meglátása a természet megragadását illetően, amelyet alapvető művében, a *Mysterium Cosmographicum*ban fejt ki, miszerint az emberi szellem a mennyiség segítségével ragadja meg a természetet. Ezt írja: „A világ alkotóeleme a mennyiség, s az emberi szellem semmit sem fog fel olyan jól, minek felismerése nyilvánvalóan teremtett.” A mennyiség így fogalmi meghatározás kiinduló pontja, általa mintegy létbe emelődnek a dolgok.

Újabb jelenséget említünk az egyház és a tudomány kapcsolatára nézve. A modern ember számára a táguló Világegyetem közhely. Ennek tudományos megalapozását, világképi megformálását – többek között – három jelentős személynek köszönhetjük: *Einstein*, *Lemaître* és *Hubble*. *Lemaître* belga katolikus pap és fizikaprofesszor mutatott rá az orosz *Friedmann*-nal együtt *Einstein* gravitációs egyenleteinek diszkussziója alapján egy táguló Világegyetem lehetőségére (1927). *Hubble* e hipotézist igazolta a galaxisok vöröseltolódásának a Földtől mért távolság függvényében való megmérésével [6].

Mégis, mindezeknek ellentmondani látszik a Galilei-per (1633). *Bolberitz Pál* katolikus teológus is foglalkozik ezzel a kínos ügygel. Azt írja, hogy ez a dátum mintegy az egyház és a modern tudomány szétválásának dátuma. Galilei elítélésének alapja, ahogy *Bolberitz* nyilatkozik [7]: „Úgy látszott, hogy az eddigi világkép tagadása egyben a Szentírásnak és a kereszténység alaptételeinek a tagadását is jelenti.” Érdekes, Galilei többször kijelentette, hogy állításai nem mondanak ellent a Szentírásnak. Végül is az új szemlélet alappillérei, hogy a Földet nem helyezi középpontba és a kozmosz határtalan, egyben nem hierarchikusan rendezett. Figyelemre méltó, hogy ezeket már *Nicolaus Cusanus* is állította Galilei előtt. Azóta, a Galilei-per hatására is az egyház és a természettudomány kölcsönösen egymásra hatva egy tisztulási folyamaton ment keresztül és nem a végleges szétválás felé. Közös kérdésfeltevésre sarkall a kozmikus lét drámaisága, ahogy a természettudomány ma élénk tárja.

Az eddig hivatkozott szemelvényekből nem az látszik, hogy az egyház hatalmi eszközökkel korlátozta volna a természettudományt, inkább vitapartnerként tekintette az új szemlélet képviselőit.

Folytatva a gondolatmenet fő irányát, *Kant* (1724–1804) fogalmazta meg az objektív létezés kérdését más oldalról. Először is kijelenti, hogy racionális metafizika nem létezik, mint a skolasztikában. Egyben kijelenti, hogy a tudatnak vannak úgynevezett regulatív eszméi, amelyek feladatokat rónak az emberre, így egy kötelező etikát határoznak meg. Ezzel a metafizi-

ka mint az Értékek metafizikája újra megjelenik. Másrészt a régi filozófia a dolgok felől közeledett az észhez, a *Kant* szerinti verzióban a ráció felől közeledünk a dolgok világához, kifejezvé azt, hogy mindig csak az ész által formált alakban ismerhetjük meg a dolgokat és nem önmagukban, hiszen a tapasztalatot a tudat dolgozza fel. Ezután távolodik el a pozitívizmustól, amikor kimondja, hogy a dolgok önmagukban is léteznek, csak egyetlen megismerési aktusban nem fogjuk fel azokat. Így a megismerés *Kant* szerint tapasztalattal és észtevékenységgel kezdődik és az értelem ítéletalkotásában szintetizálódik. Az értelem viszont rendelkezik e szintézishez szükséges rendező elvekkel. Ezek az a-priori elvek (elvévelünk született elvek), így a kauzalitás, az okság elve is. Ezek segítik a tapasztalatot, az empiriát, vagyis az a-posteriori elemeket az ész számára rendezni. Végül állítja a dolgok embertől független létezését és ezt a szférát egy nagy jelentőségű terminus technikussal jelöli, ez a Ding an sich. Szinte újra visszanyeri az ember egzisztenciájának biztonságát! A kauzalitás is újra visszakapja létjogosultságát. Differenciáltabb formában, a Heisenberg-relációkat nem ellentételezve, a kvantummechanikában is újra fogalmazták az események valószínűségének bevonásával, szigorú matematikai alapokon, így megszabadulva a kvantummechanika kezdeti pozitívista értelmezésétől. *Kant* mint természettudós is nagy jelentőséget tulajdonított a matematikának. A tudat leképezi a valóságot és a matematika által még predikciót is lehetővé tesz. *Kant* így magasztalja a matematikát: „Ich behaupte, dass in jeder besonderen Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist.” (Állítom, hogy minden egyes természettudomány valójában csak annyi tudományt tartalmaz, amennyiben abban matematika található.)

Számomra a megvilágosodás erejével hat *Max Planck* (1858–1947) megfogalmazása, amikor a természettudomány feladatáról és filozófiai értelmezéséről nyilatkozik. Ezt most szó szerint idézzük [8].

„A következetesen keresztülvitt pozitívizmus tagadja az objektív, azaz a kutató egyéniségétől független fizika fogalmát és szükségszerűségét. Kénytelen ezt tenni, mivel elvileg nem ismer el más valóságot, mint az egyes fizikusok élményeit. Felesleges mondanom, hogy ezzel a megállapítással a kérdés (hogy tudni illik elegendő-e a pozitívizmus a fizika tudományának felépítéséhez) egyértelmű választ nyert; mert egy tudomány, amely maga elvben lemond az objektivitás követelményéről, kimondja magáról az ítéletet. Az alap, amelyet a pozitívizmus a fizikának nyújt, szilárdan megalapozott ugyan, de túl keskeny, meg kell toldani; ennek jelentősége abban áll, hogy a tudományt lehetőleg meg kell szabadítani olyan véletlenektől, amelyek az egyes emberekkel kapcsolatban bekerülhetnek. Ez pedig nem formális logikai, hanem a józan értelem nyújtotta, elvileg metafizikai lépés útján történik meg. Ez pedig egy hipotézis, amely szerint nem maguk az élményeink alkotják a világot; ezek csupán hírnökei egy másik világnak, amely mö-

göttük áll és tőlünk független, más szóval létezik reális külvilág... Mindenesetre most új ismeretelméleti nehézség bukkan fel. Abban ugyanis a pozitívizmusnak mindig igaza lesz, hogy a megismerésnek nincs más forrása, mint az érzetek. Az egész tudományos fizika sarkalatos pontját e két mondat alkotja: Létezik a reális, tőlünk független külvilág és: A reális külvilág közvetlenül nem ismerhető meg. Ezek azonban némiképp ellentétben állnak egymással és így azonnal felszínre kerül az irracionális elem, amely a fizikához épp úgy hozzátapad, mint bármely más tudományhoz, és abban nyilvánul meg, hogy valamely tudomány sohasem képes feladatát teljesen megoldani.”

Irodalom:

1. F. Nietzsche: *Válogatott írások*. Gondolat kiadó, Budapest (1984) 209. old.
2. Jáki Szaniszló: *A tudomány és vallás kapcsolatának ábécéje*. Kairosz kiadó, Budapest, 2007.
3. Kecskés Pál: *A bölcsélet története*. Szent István Társulat kiadó, Budapest, 1981.
4. Mircea Eliade: *Vallási hiedelmek és eszmék története, III*. Osiris kiadó, Budapest (1996) 175. old.
5. Lásd 4., 165. old.
6. Horváth Dezső: A világ keletkezése: Ósrobbanás = teremtés? *Fizikai Szemle 60/7–8* (2010) 217–223.
7. Bolberitz Pál: *Lét és Kozmosz*. Ecclesia kiadó, Budapest (1985) 181. old.
8. Max Planck: *Válogatott Tanulmányok, II*. Gondolat kiadó, Budapest, 1965.

A FIZIKA TANÍTÁSA

TERMOAKUSZTIKUS HANGHATÁS VIZSGÁLATA RIJKE-CSŐ SEGÍTSÉGÉVEL

Beke Tamás

Nagyasszonyunk Katolikus Általános Iskola és Gimnázium, Kalocsa

Iskolánkban néhány évvel ezelőtt elindítottunk egy termoakusztikához kapcsolódó projektfeladatot, amelyben a gimnazista diákok megismerkedtek a termoakusztika alapfogalmaival, és méréseket végeztek különböző Rijke-csővekkel. A termoakusztikus projektben az alapfogalmak megértésére fektettük a hangsúlyt; csak néhány képletet használtunk, olyanokat, amelyek a középiskolai fizika tanítás során is előkerülnek. A projektfeladat néhány részletét már bemutattam [1]; itt csak azokat a részeket írom le újra, amelyek a folyamat megértéséhez szükségesek.

Mivel foglalkozik a termoakusztika?

A termoakusztika a hő hatására létrejövő hanghatást vizsgálja; a termoakusztika fontos szerepet játszik számos technikai alkalmazásban [2].

A Rijke-cső egy mindkét végén nyitott cső, amelynek belsejében egy fémrácsot helyeznek el. Ha a rácsot felmelegítjük, akkor bizonyos esetekben a cső hangot bocsát ki. A Rijke-cső az egyik legegyszerűbb termoakusztikus eszköz [3].

Termoakusztikai instabilitásnak nevezzük, ha egy termodinamikai rendszerben a nyomás oszcillációja párosul az egyenetlen hőátadással; a fűtött rendszerben a kialakuló hang olyan oszcilláló hőátadást eredményez, ami a hangrezgéseket felerősíti. Ha a termikus rendszer által kibocsátott hő függ a nyomás és a rendszerben áramló gáz sebességének fluktuációjától, akkor egy visszacsatolási hurok jön létre, ami „destabilizálhatja” a rendszert. A Rijke-cső esetében a sebes-

ség és a hőmérséklet fluktuációja játszik szerepet a termoakusztikus instabilitás kialakulásában.

A Rijke-csővekben alapvetően két különböző típusú fűtést szoktak alkalmazni: gázlángos vagy elektromos fűtést. A gázlángos fűtés megvalósítása sokkal egyszerűbb, viszont kevésbé kontrollálható; az elektromos fűtés ezzel szemben nehezebben megvalósítható, de jobban szabályozható. A dolgozat célja a Rijke-csővel végzett termoakusztikus kísérletek népszerűsítése, ezért most csak a gázfűtésű Rijke-csővekkel foglalkozom. A mérések során különböző Rijke-csővekkel dolgoztunk. Alumínium-, acél-, réz- és üvegcsőveket is használtunk; egy-egy tanulói csoport vizsgálta az egyes csövek viselkedését.

A mérésorozat

A Rijke-csővek alapesetben függőleges helyzetben voltak. (A következőkben az L hosszúságú Rijke-cső hosszanti tengelyét x tengelynek nevezzük. Az $x = 0$ a cső alját, az $x = L$ a cső tetejét jelenti.) Egy adott cső esetén először a cső aljánál helyeztük el a rácsot, majd adott teljesítménnyel adott ideig melegítettük a rácsot, ezután kihúztuk a gázégőt és figyeltük, hogy keletkezik-e hang. A továbbiakban a melegítés idejét növeltük (körülbelül másodperces ugrásokkal), majd ezt követően növeltük a gázégő teljesítményét is. Ha egy adott rácshelyzetnél megvizsgáltuk a különböző fűtőteljesítményekhez és fűtési időkhöz tartozó eseteket, akkor egy kicsivel feljebb toltuk a rácsot és előlről kezdtük a tesztelést.