

A kísérleti tudományoknak – melyek közé a fizika is tartozik – céljuk, hogy a körükbe eső természeti jelenségeket pontosan leírják, a jelenség törvényét megállapítsák s magyarázatát megadják. A legelső teendő a jelenség lehető pontos megismerése; minél pontosabban ismerjük a jelenséget, annál pontosabban oldható meg a másik két feladat. A jelenségek magyarázatának keresése közben igen sokszor föltevésekhez, hipotézisekhez kénytelen folyamodni a tudomány, oly tételekhez, melyeket közvetlen kísérletekkel bebizonyítani nem lehet, hanem a mely hipotézisek helyessége azzal állapítható meg, hogy belőlük következtetéseket vonunk, a mely következtetések helyességét már ellenőrizhetjük. A hipotézisek elfogadhatósága lehetőleg mindig kísérleti alapon döntendő el.

Igen tanulságos a kísérleti eredmények s az egyes hipotézisek ezen egymásba kapcsolódását megfigyelni, a mint azt a fizika története élénk tárja. Célunk, hogy egynéhány rövid czikk keretében összeállítsuk ily módon a hő, az elektromosság és mágnesség s a fény fizikai elméletének történetét.

Fizikai jelenségekről s így egyes hőjelenségekről is az embereknek igen régen volt már tudomásuk. Fel is használtak egyeseket gyakorlati célokra, de azoknak megfejtésével, megmagyarázásával vagy éppen nem törődtek, vagy jóformán minden jelenséget más alapon magyaráztak. Ez a korszak, a melyben tehát a jelenségek egységes magyarázatáról szó sincs, a hótan történetében körülbelül a 17. századig tartott.

Ezen században lesz teljesen elfogadott az ún. "anyagi elmélet", mely szerint a melegség a testekben levő igen finom, láthatatlan anyag s ez okozza a hőjelenségeket. A hőanyagnak természetével azonban nem tudtak tisztába jönni. Egyes tudósok súlyosnak tartották, mások súlytalannak, némelyek negatív súlyt tulajdonítottak neki; elemnek is gondolták, láthatóvá is iparkodtak tenni. Az elmélet ellen azonban, melynek már alapjára nézve ennyire ellentétes nézetek uralkodtak, mindig több nézet emelkedett később s az új irány azt iparkodott kimutatni, hogy a hő mozgási tünete. Különösen az akkori idők filozófusainál találjuk ez eszmét kifejezve (Bacon, Descartes, Hobbes, Locke); a fizikusok közül *Boyle* mondja ki, hogy a meleg nem anyag, hanem mozgás s hivatkozik a sűrűlődnél keletkező melegre; *Hooke* szerint a meleg a testek molekuláinak mozgása s ezen elmélet alapján foglalkozik is néhány kérdés megoldásával (üveggöngyök, kova és tapló összeütéséből eredő meleg).

Új elmélet megalapítójának azonban e kor tudósai közül egyet sem tekinthetünk. Az okoskodások jelentősége eddig csak az volt, hogy megmutatták, hogy a hőjelenségeket úgy is el lehet képzelni, mint a test molekuláinak mozgását. Persze a fölött jogosan lehet vitatkozni, vajon könnyebb-e elképzelni, hogy a hőjelenségeket a molekulák mozgása okozza, vagy azt-e, hogy a hő súlytalan, láthatatlan, a testeket átható anyag. Azt is meg kell gondolni, hogy valamely elmélet megdöntésére nem elegendő valamely ellenkező nézet lehetőségét kimutatni; be kell kísérletileg bizonyítani, hogy a régi elmélet helytelen következtetésekhez vezet, melyek az új elmélet alkalmazása mellett nem lépnek föl. Ez az első lépés az elmélet megdöntésére s ezt csakis *kísérlet* teheti meg. Eme kísérletet az angol születésű *Benjamin Thompson*-nak köszönhetjük, ki később sokáig Bajorországban működött s ott a *Rumford* gróf nevet kapta kitüntetésül. A kísérletet, melyet kiváló fontossága mellett pontos, körültekintő kivitel jellemez, következőkben ismertetjük.

Rumford a müncheni fegyvergyárban volt főfelügyelettel megbízva; e működése közben jutott egy fontos tapasztalathoz, mely későbbi döntő kísérleteihez vezette. Azt észlelte, hogy az ágyúcső a lövés után jobban megmelegszik, ha nem volt golyóval megtöltve, mint, ha golyó volt benne. A tünete megfejtésénél következőleg okoskodott. Az ágyúcsövet a lövésnél a puskapor lángja nem melegítheti meg, mert annak nincs elég ideje erre; továbbá, ha a csövet megmelegítené, akkor a papírfújtást is megmelegítené, pedig ez elégtelenül jön ki a csőből. Itt a meleget csak azon sűrűlődnél idézhette elő, melyet a puskapor elégéséből származó gázrészecskék az ágyúcső belső falával történő érintkezésük által okoztak. Ha most az ágyú golyóval van megtöltve, a gázok lassabban terjedhetnek ki s így a csövet kevésbé melegítik meg, mintha a kiterjedést nem akadályozza a golyó. A mint pl. ha egy ólomgolyóra kalapáccsal ráütünk, megmelegszik, míg, ha ráteszünk bármily nagy súlyt, nem fog megmelegedni. Ezen jelenség (melyet 1778-ban figyelt meg) buzdította, hogy a sűrűlődnél jelentkező melegfejlődést behatóbban megvizsgálja; kísérleteit 1798-ban ismertette meg.

Mint leírja, a fegyvergyárban végzett ágyúfúrások alkalmával azt tapasztalta, hogy a megfűrt ágyúcsövek nagyon megmelegsznek. Honnan ered ez a meleg? A következő esetek voltak lehetségesek: a hőt vagy a fűrásnál levált fémforgácsok megváltozott hőkapacitása okozta, vagy a levegő oxydációjá, vagy a cső a környezettől kapta a meleget, vagy a sűrűlődnél okozta a nagy hőfokemelkedést.

Először is megvizsgálta a keverési módszerrel az ágyúról lefűrészelt fémdarabnak s aztán a fűrés által levált fémforgácsoknak fajhevét s mindkét esetben ugyanazon értéket kapta. *A fém fajheve tehát nem változott meg.*

További kísérleteihez belül üres fémhengert vett; a henger aljának közepébe, merőlegesen a henger tengelyére, kis lyukat fűrt, melybe hőmérőt tett, hogy a henger hőmérsékletét megmérhesse. A henger üregébe paralelepipedon alakú tompa fúró nehezedett körülbelül 10,000 font súllyal (4536 kgr súlya); a fúró majdnem oly széles volt, mint a henger s élei le voltak kerekítve. Hővesztesség elkerülése végett a fémhengert vastag flannellel takarta be.

A kísérlet kezdetén a henger hőmérséklete $60^{\circ} F$ ($15,56^{\circ} C$) volt; működésbe hozta a fűrőt, mely percenként 32 fordulást tett, 30 perc alatt tehát 960-szor fordult meg; ekkor megállította a készüléket, a hőmérőt belétette a számára fűrt nyílásba s a henger hőmérsékletét $130^{\circ} F$ -nak ($54,45^{\circ} C$) találta. A levált fémforgácsok súlya a hengersúlyának $\frac{1}{948}$ -ad része volt. Utalva előzetes kísérletére, mely szerint a fémforgács fajmelege nem változott, az első kérdés el volt döntve: *az előállott meleg nem keletkezhetett a fém fajmelegének megváltozásából.* Mert, még ha meg is változott volna a fémforgácsok fajmelege, az csak oly csekély mértékben történhetett, a mit az experimentum nem mutathatott ki, s az lehetetlen, hogy ily csekély mennyiségű fém fajmelegének oly csekély változása azon nagy tömeg hőfokát $70^{\circ} F$ -kal ($38,89^{\circ} C$) megváltoztassa.

Hogy a levegő ne juthasson oda, a hol a sűrűlódás végbemegy, a henger üregébe jól illő dugót préselt be; a dugó közepén a fúró nyelének megfelelő nyílás volt, melybe a nyél szintén pontosan beillett. A kísérletet ismételte s ugyanazon eredményt kapta, mint előbb, tehát *a levegő szerepe is ki volt zárva a hő létrehozásánál*.

Vajon nem a körülvevő testektől kapta-e a fémhenger a meleget? Ennek megvizsgálására faszekrényt készített, melybe a hengert pontosan úgy illesztette be, hogy mindkettőnek tengelye összeessen s hogy a fúró működése közben a szekrény ne rázódjék. Ekkor az edényt vízzel töltötte meg s a fúrót működésbe hozta.

A kísérlet kezdetén a víz hőfoka $60\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($15,56\text{ }^{\circ}\text{C}$) volt; 1 óra múlva $107\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($41,67\text{ }^{\circ}\text{C}$); 2 óra múlva $178\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($81,12\text{ }^{\circ}\text{C}$); 2 óra 20 perc múlva $200\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($93,34\text{ }^{\circ}\text{C}$), 2 óra 30 perc múlva $210\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$), s a víz forrott. Itt oly jelentékeny hőmennyiség keletkezett, hogy a víz, a henger, a szekrény, s a vasrúdnak a szekrénybe nyúló része, melyeknek súlya több, mint 147,15 font (66,75 kgr) volt, mind $210\text{ }^{\circ}\text{F}$ -ra melegeedett. A kísérletet még azzal módosította, hogy a hengerből kivette a bepréselt dugót s így a víz szabad bejárást nyert azon helyre, a hol a sűrűlódás keletkezett, de az eredményben nem észlelt változást.

Ez a kísérlet azt is eldöntötte, hogy a fémhenger a meleget nem kaphatta környezetétől, mert hiszen a víz a készüléktől kapta melegét s így nem adhatott annak meleget.

Más eset nem lehetséges, minthogy itt *a meleg a két fémfelületnek*, a henger aljának s a fúrónak *sűrűlódásából keletkezett* és pedig, mint a kísérletekből következtetni lehet, *kimerülés nélkül*. A hő anyagi hipotézise tehát nem magyarázhatta meg a meleg keletkezését, egyszersmind, ha a hő anyag volna, azt nem lehetne előidézni egy testből határ nélkül; a *hő* tehát *csakis a sűrűlódás által keletkezhetett*.

Valamivel későbbben (1799-ben) egy angol tudós *Humphry Davy* szintén végzett ez irányban kísérleteket; a sűrűlódás által keletkezett meleg okának megmagyarázásánál ő is azon eseteket vizsgálja meg, melyeket *Rumford*. Két paralelepipedon alakú $29\text{ }^{\circ}\text{F}$ -ú ($-1,67\text{ }^{\circ}\text{C}$) jégdarabot drótkkal vasrudakhoz erősítve, egymáshoz dörzsölt; a dörzsölés következtében $35\text{ }^{\circ}\text{F}$ -ú ($+1,67\text{ }^{\circ}\text{C}$) víz keletkezett, a *melynek fajheve nagyobb, mint a jégé*. Következő kísérleteihez egy óraművet alkalmazott, melynek egyik kereke viasszal bevont fémlaphoz dörzsölődött; az óraművet jégtuskóra állította, melynek tetejébe kis csatornát vájt s ebbe vizet öntött. Végre az óraművet a jégtuskóval együtt légszivattyú borítója alá tette; a borítót szén-savas gázzal töltötte meg s alája még maró kálit is tett. Így a szivattyúzás s az absorptió után teljesen légüres tért kapott. Ezután az óraművet kívülről mozgásba hozta s ekkor az óramű a fémlapra kent viaszt megolvasztotta s az egész szerkezet hőmérsékletét $1\text{ }^{\circ}\text{F}$ -kal ($\frac{5}{9}\text{ }^{\circ}\text{C}$) emelte. A levegő itt teljesen ki volt zárva s a meleget a fémlap csakis a jégtől kaphatta volna; de a csatornában levő víz nem fagyott meg, ha pedig a jég hőanyagot adott volna ki magából, a víznek meg kellett volna fagni. Végeredményül tehát itt is azt kapjuk, hogy a meleg pusztán a két felület sűrűlódásából keletkezett.

Rumford és *Davy* kísérletei a vitás kérdést véglegesen eldöntötték; a kísérletek megczáfolásáról nem lehetett szó, ennek lehetetlensége pedig egyértelmű volt annak elismerésével, hogy *hőanyag nem létezik*.

Az anyagi elmélet tehát meg volt döntve, új elmélet felállításáról lehetett és kellett is gondolkozni. *Rumford* és *Davy* közlik is saját nézeteiket a hő mibenlétére nézve; azonban e téren új dolgokat alig mondanak. Az elmélet – melyben a hőt mozgásnak tekintik – nem mond oly dolgokat, melyeket már előttük is nem mondtak volna s ezeket sem kapcsolja össze rendszeres mozgási elméletbe. *Rumford*-ot tehát, kié a prioritás *Davy*-vel szemben, nem tekinthetjük új hőelmélet megalapítójának; de nagy érdeme van neki s ez az, hogy *ő döntötte meg az anyagi elméletet*. Nem új hőelmélet megalapítója ő, hanem *az anyagi elmélet megdöntője* s ez, azt hiszem, teljesen kifejezi és méltányolja a fizika terén örökké tartó érdemeit.

Mayer és *Joule* névéhez fűződik egy új elvnek, a *meleg és munka aequivalentiája* elvének felállítása; a két tudós majdnem ugyanazon időben, egymástól függetlenül haladva jutott ugyanazon eredményre. Megjegyezzük, hogy e tételnek a hőtán határain messze túlterjedő következményei lettek, melyekkel czikkünk keretében nem foglalkozhatunk.

Mayer Róbert német születésű orvos volt; mint hajóorvos, utazásai közben tette azon tapasztalatot, melyre az akkori gyógyításmódoknál használatos érvágások vezették, hogy a tropikus vidéken az emberi vér világosabb színű. Mi lehet a jelenség oka? A gondolatmenetet, mellyel a kérdésre feleletet keres, a következőkben kíséreljük meg összefoglalni. A tápláló anyagok az élő test belsejében lassú égési processusnak vannak alávetve s ennek eredménye a test melege, mely normális állapotban eléggé állandó értékkel bír.

A test melegfogyasztása s az égési meleg közt bizonyos összefüggés van, a mennyiben, ha több a melegvesztés, a belső égés intenzitásának gyarapításáról is kell gondoskodni; a hol – mint a tropikus vidékeken – a hővesztés csekélyebb, a belső hőfejlődés is kevésbé intenzív. Minél intenzívebb a belső égés, annál nagyobb a különbség az arteria és véna vér színe közt; a tropikus vidékeken, ezen ok miatt, a színkülönbség csekélyebb. Fölvetette most a kérdést, nem található-e valami összefüggés az égésnél felhasznált anyag mennyisége s a keletkezett meleg között? Vagy, mivel a test meleget mechanikai úton is létrehozhat – pl. dörzsölés által – nem található-e valami összefüggés az organismus által közvetlenül, vagy mechanikai úton fejlesztett meleg s a belső égés effektusa közt? Ha ez így van, akkor a meleg létrehozására felhasznált munka s a belső égés melege közt számbeli összefüggésnek kell lenni.

Ezen gondolatmenet teszi alapját további megfontolásainak, melyeket mi részleteiben itt nem követhetünk s melyeknek végső eredményében kimondja a *meleg és a munka egymásba való átváltozhatóságát* s ezen átváltozás aequivalensét is meghatározza. Meghatározása új experimentum nélkül, akkor ismeretes számadatok segélyével adja meg az eredményt. Egy szilárd falakkal bíró, 1 m^3 térfogatú kockában, melynek határlapjai közül a felső dugó módjára mozoghat, levegő van. Ha a levegőt 0° -ról 1° -ra hevítjük, *Gay Lussac* törvénye szerint, a mozgékony lap $\frac{1}{273}$ m-rel

kifelé halad; mivel a ránehezedő súly normális légnyomásnál $0,76 \cdot 13,596 \cdot 1000$ kgr, a mozgás közben végzett munka $10332,96 \times \frac{1}{273}$ m kgr. Ha most a mozgó lapot is megrögzítjük s így melegítjük a levegőt 0° -ról 1° -ra, a fölmelegedéshez kevesebb meleg szükséges. A két esetben közlött hőmennyiség $1,2932$ C kgr cal, ill. $1,2932$ c kgr cal, a hol $1,2932$ az 1 m^3 levegő tömege, C és c a fajhő állandó nyomás ill. térfogat mellett; a különbség tehát $1,2932(C-c)$ kgr cal. Az újabb kísérletek szerint $C = 0,23750$ $c = 0,16844$, a különbség $0,08931$ kgr cal. Ennyi meleg volt szükséges a $37,85$ mkgr munka legyőzésére s így az equivalentia tétele szerint: $0,08931$ kgr cal = $37,85$ mkgr, s így 1 kgr cal = $423,8$ mkgr. Ezen számérték (Mayer 365 mkgr-ot kapott) adja a *meleg mechanikai aequivalenciát*; 1 kgr cal. meleggel végezhetek $423,8$ mkgr munkát, viszont $423,8$ mkgr munka kell, hogy 1 kgr cal meleget létrehozassak.

Mayer első értekezése 1842-ben jelent meg; majdnem ugyanakkor (1843-ban) jöttek nyilvánosságra az angol *Joule* kutatásai. Ő a vezetőnek az elektromos áram által történt felmelegedésének törvényét kutatta s első eredményképpen azt nyerte, hogy a vezetőben a galvánáram által fejlesztett meleg arányos a vezető ellenállásával s az áramerősség négyzetével. Azonban a galvántelepben végbemenő kémiai processus is meleget fejleszt s így kérdés volt, hogy az áram tényleg fejleszti-e a meleget, vagy talán itt a melegnek pusztá átviteléről van szó. Megvizsgálta ezért a viszonyokat az induktív áramoknál is.

Dróttekerccsel körülvelt vasmagot vízzel telt edénybe helyezett s jól megvédte a hőszugárzás és hővezetés hatásai ellen; a vasmagot elektromágnes sarkai közt forgatta. A dróttekerccs végei commutátorral voltak egybekötve, mely az áramot mindig egyenlőirányúvá tette. A víz hőmérsékletét a forgatás előtt és után finom hőmérővel pontosan megmérte. A kísérletet többféleképpen variálta; az áramkörbe galvanométert kapcsolt, máskor azt kikapcsolta; változtatta az áramerősséget, az említett törvény minden esetben helyesnek bizonyult. Végre az áramkörbe egyidejűleg galvántelepet kapcsolt be, a mikor az induktív áram a galvánáramot gyöngíti, vagy erősíti, a szerint, mi a forgatás iránya. Legyen q_1 az időegységben az egységnyi áram által létrehozott kémiai meleg, i_1 az áramerősség, ω a vezető ellenállása; első kísérleténél megállapította, hogy az áramkörben keletkező összes meleg, melyet a galvántelepben keletkező kémiai változás létrehoz, egyenlő; az egységek megfelelő választása után tehát:

$$q_0 i_1 = \omega_1^2.$$

A második esetben a keletkező chem. meleg legyen q_2 , az induktíváram erőssége i_2 , akkor a tapasztalati eredmény szerint:

$$q_2(i_1 \pm i_2) = \omega(i_1 \pm i_2)^2; \quad q_2 = \omega(i_1 \pm i_2) = q_1 \pm \omega i_2;$$

azaz: $q_2 \leq q_1$. Vagyis induktív által tényleg lehet meleget létrehozni, vagy elpusztítani.

Közelfekvő kérdés, van-e a fejlesztett, vagy elpusztított melegmennyiség s a felhasznált vagy nyert munka közt határozott számbeli viszony? Hogy ezt megállapítsa, a vasmagot függőleges irányban mozgó súlyokkal hozta forgásba s így közvetlenül összehasonlíthatta a két mennyiséget. Első kísérlete szerint – a mi mértékegységeinkben kifejezve – 1 kg víz hőmérsékletének 1° -sal való felmelegítésére $439,49$ mkg munka kellett. Még számos más kísérletet végzett e számbeli összefüggés pontos meghatározása végett (1845–49. években); középértékül a mechanikai hőaequivalensre a $423,55$ mkgr értéket kapta.

Az elv helyessége tehát meg volt állapítva; a meleg s a munka egymásba átváltoztathatók s az átváltozás számbeli tényezőjének meghatározása is sikerült.

Összefoglalva az eddigieket, két fontos eredményre utalhatunk: a meleg nem lehet anyag; a meleg s a munka egymásba átváltozhatnak.

Mivel a meleg nem lehet anyag, a másik lehetőség lép előtérbe, mely szerint a meleg mozgási tűnemény. Mayer és Joule tárgyalásaiban a meleg mivoltáról legfőlebb másodsorban volt szó; az elméletet két német fizikus *Krönig* (1856) és *Clausius* (1857) állapították meg. *Krönig* a gázalakú testekre állapította meg az elméletet (kinetikus gázelmélet), *Clausius* kiterjesztette ezt mind a három halmazállapotra. Az elmélet kiinduló pontja azon alapfeltevés, hogy a testek atomokból, ill. molekulákból állnak, melyek egymást bizonyos erővel vonzzák; a melegség a molekulák mozgásának eredménye. Az elmélet több vonásait az olvasók előtt ismereteseznek tételvezhetjük fel s így ezeknek ismertetésébe nem bocsájtkozunk.

Két elméletről volt szó az elmondottakban: az anyagi s a mozgási elméletről. Láthattuk, hogy az anyagi elmélet, – mely a hőjelenségek bizonyos körére nézve elfogadható magyarázatokat adhatott – miként dőlt meg, a mint a behatóbb kutatások közben, a jelenségkört jobban megismerve, magyarázatai elégteleneknek bizonyultak. A hipotézis érvényessége mindig problematikus s csak véges időre szól; helyesnek tartjuk, míg a jelenségekre kielégítő magyarázatokat tud adni s míg a belőle vont következtetések igazaknak bizonyulnak. A mint azonban a jelenségkört jobban és jobban megismerjük s a hipotézis szerint alkotott magyarázatok a mi tökéletesebb ismereteinknek nem megfelelők, vagy a hipotézis következtetései helytelensége kiderül, fellép a szüksége a hipotézis javításának, a mely javítás eredménye az egész hipotézis elvetése lehet. A mozgási elmélet sem szól örök időkre: ennek is vannak hiányai, melyek a behatóbb kutatások folytán felmerültek s melyek miatt az elméletet több irányban kellett változtatni, javítani. Mindenesetre lesz idő, midőn a mai hőelméletet egy más, tökéletesebb elmélet fogja föl váltani.