

AZ ENERGIAMEGMARADÁS TÖRTÉNETÉHEZ

Julius Robert Mayer a 19. század Galileije vagy dilettáns fizikus?

Martinás Katalin
ELTE TTK

Egyetemista korom óta izgatott *Robert Mayer*. Ténylegesen mit és hogyan fedezett fel? Szokásos zanzásított életrajza szerint észrevette, hogy a hajósok vénás vére a trópusokon élénk piros, ebből rájött, hogy az erő (energia) megmarad. Cikkét először elutasították, később a konzervatív tudósok (a hőanyagelmélet hívei) e felismerése miatt elmeogyintézetbe zárták. Számomra ez a történet lehetetlennek tűnt.

A mostani tankönyvek az állandó nyomású és állandó térfogatú fájhő arányból történő hő-munka egyenérték számítását említik. Egy fizikát nem tanult orvostól ez szép, de érthetetlen.

Pár évvel ezelőtt *Ropolyi László*val Robert Mayerről azt írtuk *Simonyi: A fizika kultúrtörténete* alapján [1], hogy elképzelése azért nem válhatott népszerűvé, mert azt a romantikus természetfilozófia szellemében fejtette ki [2]. Nemrég megtaláltam magyarul két részletes Robert Mayer-életrajtot: *Czögler Alajos* művét [3] és *Wilhelm Friedrich Ostwald* írását [4]. Ezen kívül 2008-ban közelebbről megismerkedtem a romantikus természetfilozófiával [5]. Ezek együtt érthetőbbé teszik Robert Mayer életét és munkásságát. A romantikus természetfilozófia nemcsak formailag jelent meg Mayer műveiben, hanem ez a szemléletmód tette lehetővé az energia megmaradásának és magának az energiának a felismerését. Mayer rájött, hogy a természetfilozófiai megközelítés egységes szemléletmódjában szereplő metafizikai „erő” (energia) lehozható a Földre, kiszámítható, és egy új fizikát (mai szóhasználatlaltal a termodinamikát) kapunk.

Mayer felfedezése: az erő megmaradása

Robert Mayer (1814–1872) autodidakta fizikus orvosnak készült. Az egyetemen nem is tanult fizikát, mert éppen akkor, amikor a tübingeni egyetem hallgatója volt, a fizikaprofesszori állás nem volt betöltve. Híres felismerése után nagyon rövid idő alatt sajátította el a szükséges ismereteket barátai, elsősorban a radikális teológus, *Baur* segítségével.

1840-ben hajóorvosként Jáva felé utazott egy holland hajón, amikor megfigyelte, hogy a matrózok vénás vére a trópusokon vörösebb, mint a mérsékelt égöv alatt. Arra következtetett, hogy a szervezetben ilyenkor kisebb mértékű oxidációs folyamat zajlik le, minthogy az életműködéshez szükséges hő egy részét a természet szolgáltatja, és ez csökkenti a vénás és artériás vér közötti színbeli különbséget. Innen eljutott ahhoz a gondolathoz, hogy az élelmiszer oxidációjából származó kémiai energia, a test hője, és az emberi test által végzett munka egymásba átalakíthatók, s eközben az erő (energia) nem vész el, nem is keletkezik, csak átalakul.

Mai ismereteink, fogalmaink alapján nehéz követni felismerését. Az energia köznapi szó lett, és már gyerekkorban megtanuljuk *az energia nem vész el, csak átalakul* frázist. A fizika (termodinamika) története szerint az energia megmaradása a hőanyag (kalorikum) elmélet tagadásával alakult ki. Ez a folyamat nehezen alkalmazható Mayer esetében. Valószínűleg nem is ismerte a hőanyagelméletet. Ha ismerte volna, akkor segítségével megmagyarázhatta volna a jelenséget. A kalorikumelmélet alapján a hő „anyag”, amely egyik testből a másikba áramlik a hőmérséklet-különbség hatására. A munkával (dörzsöléssel) keletkező hőt úgy értelmezték, hogy ekkor a környezetből viszünk be hőt a testbe. *Sadi Carnot* ezzel a képpel írta le a gőzgép működését. Így a vér színének megváltozása értelmezhető lett volna egy, a Carnot-éhoz hasonló gondolatmenettel.

Czögler Alajos így összegezte Mayer munkásságát és felfedezését [3]:

„Egy oly törvénynek a fölkeresése, melynek szigora alól egy természeti tüneményt sem lehet kivonni, a legméltóbb tárgya lehetett az olyan tudománynak, mint a milyen a fizika. Hogy ez a tárgy, mely most, miután feltaláltatott, olyan nagyon egyszerűnek látszik: mégis egyike volt a legnehezebbeknek, arról meggyőzően tanúskodik az a körülmény, hogy feltalálása csak a fizika egyes ágainak nagy kifejlődése után sikerült, hogy e találmányt a tünemények benső összefüggését kimutató experimentális és raczionális bűvülatok nagyszámú specziális eredményeinek kellett megelőzniük.

Az erő megmaradása elvének felállítása a Mayer halhatatlan érdeme. Ez az elv, mely nem csupán a fizikára, hanem a természettudományok valamennyi ágára új fényt vala derítendő, egyike a legnagyobb tényeknek, melyekkel a fizika Galilei óta gazdagodott, mert míg egyszerűt ezen elv által az ismert tények elvies jelentőségű törvényei általános igazságnak alárendelt, de egymással – épen ez általános igazság következményei által – szorosan összefüggő tagjaivá lettek, másrészt ez az elv maga is a specziális bűvülatok új mezejét nyitotta meg, oly mezejét, mely emez alapigazság nélkül, mint a föltétlen kiinduló pont nélkül, eddig sem vala, s ezután sem lett volna átkutatható. A Mayer megnyitotta mezőnek teljes megmívelése még sok nemzedék munkáját fogja igénybe venni.”

Az erő fogalma a 19. században

Robert Mayer szerepét és munkásságát csak akkor érthetjük meg, ha történelmi perspektívában vizsgáljuk. Mayer az erő megmaradásáról beszélt. Az erő a mai szóhasználatban egyértelműnek tűnik: A newtoni erő az impulzus (lendület) vektorának idő szerinti

differentiálhányadosa, megmaradása nem értelmezhető. Az erőnek a mai jelentése csak a 19. század második felében terjedt el. A század közepéig egy diffúz fogalom volt, amely talán a változóképességnek feleltethető meg. Sok mindent jelentett, és nagyon sok szót használtak hasonló jelentésben. A problémát természetesen felismerték. *David Hume* már 1740 körül így jellemezte a fogalomzavart: „I begin with observing that the terms efficacy, agency, power, force, energy, necessity, connexion and productive quality, are all nearly synonymous.” Sajnos, nem ismerek olyan 18. századi magyar nyelvű művet, amely ezzel a problémával foglalkozott volna, ezért a fenti mondat hiteles fordítását nem tudom megadni, a modern fordítás pedig már a mai szóhasználatot tükrözné. A fordítás helyett inkább egy összefoglalást adok az általam ismert jelentésekből:

Mai fogalmakkal kifejezve a régi *erő* fogalmat, legalább ötöt azonosíthatunk. Ezek

- a newtoni vonzó-taszító erő;
- a hajtóerő (kémia, termodinamika) – a különbségekből eredő változtatás képessége;
- az impulzus (lendület) – elsősorban a skolasztikában és a kartézianusoknál;
- a megmaradó energia;
- a felhasználható energia (exergia) – amely nem teremthető, átadódik és disszipálódik.

Az erőfogalom a tudomány történetében

Arisztotelész szerint a világot felépítő négy őselem a tűz, a víz, a levegő és a föld. A dolgok természetét kialakító alapvető aktív minőségek, szervező elvek a meleg és a hideg. Ezek egyszerre szerepelnek szervező elvekként és konkrét termikus hatásaikkal is: például a meleg melegségénél fogva meggyógyíthat (rendbe tehet) beteg testrészeket. Tehát általában nem pusztán elvont elvekként működnek, hanem nagyon konkrétan is. Az *Arisztotelész*-féle tűz nem elsősorban éget, hanem inkább a mai hő, energia és *exergia* fogalmak antik megfelelője. Az irreverzibilitás világnézeti és termodinamikai szerepének összekapcsolódására talán a legszebb példa a mozdulatlan mozgató (vagy a hőhalál) problémája.

Az arisztotelészi rendszerben a természetes mozgások eredménye egy egyensúlyi helyzet volna, például a felhőkben lévő víz nehéz természete miatt eső formájában leesik, a tengerbe jut. De nem marad ott, ugyanis a Nap ismét elpárologtatja. De mi mozgatja ezt a mechanizmust, honnan ered a Nap melege? A Nap mozgatóerejét a szférák súrlódása révén szerzi, s így képes a vizet elpárologtatni.

De mi tartja fenn ezt a mechanizmust, honnan származik a szférák mozgása? A szférák egymáson súrlódó mozgását az első szféra mozgása váltja ki, amelyik viszont közvetlenül a mozdulatlan mozgató beavatkozására jön létre. Vagyis: a természetes mozgások révén kialakuló egyensúly folytonosan megbomlik a mozdulatlan mozgató állandó beavatkozása miatt. A



Julius Robert Mayer

mozdulatlan mozgató akadályozza a stabil egyensúly beálltát, a rendet folytonosan összezavarja, állandó keletkezésre készíti. Ez egy entropikus Isten: éles ellentétben áll a 17. és 18. század mechanikus Istenével, aki majd a rend létrehozójaként a nagy konstruktív szerepét fogja játszani.

Így az arisztotelészi rendszerben nincsen hőhalál, ez egy nyílt rendszer. A mozdulatlan mozgató ilyen módon való bevezetésével *Arisztotelész* rendszerét logikailag zárttá, fizikailag, energetikailag pedig nyílttá tette.

Történetileg a skolasztikánál kezdhetjük a középkor leírását, ahol még minden mozgót valami mozgat. Az eldobott tárgyat az impetus (impulzus) mozgatja. Az impetuselmélet első megfogalmazását a hatodik századi alexandriai filozófus, *Philoponosz Grammatikosz* adta. A skolasztika szerint minden egyes „erő” mozgása közben „elhasználódik”, csak addig képes bármit is mozgatni, amíg el nem használódik – az impetus (impulzus) mozgás közben elfogy.

Descartes-nál a természet törvénye az impetusmegmaradás formájában jelenik meg, amely az impulzusmegmaradás proto-megfogalmazásának is tekinthető, mivel az irány nem (csak az $m \cdot v$ abszolút értéke) jelenik meg. *Descartes* a tömeg és a sebesség szorzatát tekintette impetusnak. Érdekes, hogy Mayer a legelső változatban, amelyet a *Poggendorff Annales*-ébe küldött be, szintén az impetusmegmaradás alapján érvelt. Erre a dolgozatra azonban még választ sem kapott. Az impulzusmegmaradás törvényét *Newton* fogalmazta meg; a III. axióma, a hatás-ellenhatás törvénye azt jelenti, hogy kölcsönhatásban a teljes impulzus nem változik. A modern fizika az impulzusmegmaradást a Világegyetem eltolás invarianciájával kapcsolja össze.

Leibnitz a *vis viva* és a *vis mortua* fogalmát vezette be – ezt szokás a proto-energiafogalomnak tekinteni. A *vis viva* a tömeg és a sebesség négyzetének szorzata. (A kettes osztó lényeges koncepcionális különbséget jelent.) A *vis viva* változása nem kapcsolható össze a munkavégzéssel. A munka fogalma a fizikában csak 1830-ban, *Coriolis* művében jelent meg, aki megmutatta, hogy a kinetikus energia megváltozása megegyezik a munkavégzéssel.

A mechanikai energia megmaradását, mint matematikai eredményt (integrációs állandót) felismerték, de a fizikusok számára nem volt fontos. Ahogy a munka, ugyanúgy a mechanikai energia is megjelent a matematikai eredményekben, de nem kapott önálló nevet. A fizikusok nem foglalkoztak a metafizikai problémával, az univerzális megmaradó mennyiség kérdésével.

Joseph Black 1770-ben felismerte, hogy a hőközlés mérhető, bevezette a fajhő fogalmát, és ezzel megalakította a kalorimetriát, amelynek elméletét *Lavoisier* dolgozta ki részletesen. A vizsgált jelenségekben hőátadás történt, ezért a jelenségek magyarázatára *Lavoisier* a kalorikum (hőanyag) elméletet javasolta. A termikus jelenségek magyarázata így hasonló lett az elektromos jelenségekéhez. Érdekességként érdemes megjegyezni, hogy a termodinamika elnevezés is ezt a szemléletet tükrözi: a termikus (hő) jelenségek vizsgálatát sugallja a név, nem a természet fenomenológus leírását, amely pedig a tényleges tartalma.

Az energiamegmaradás

Az energiamegmaradás felismerése a metafizikai és a fizikai eredmények egyesítéséből származott. *T. S. Kuhn* 1959-ben írt *Az energia-megmaradás, mint példa a szimultán felfedezésre* című cikkében rámutatott arra, hogy az energiafogalom megszületése három különböző folyamat együttes eredménye.

Először is volt az angol út: a hő – munka – elektromosság átalakítása törvényszerűségeinek vizsgálata, *James Prescott Joule* (1818–1889) mérései, *Thomson* (a későbbi *lord Kelvin*) munkássága és *Rankine* eredményei, akinek az energia szó elterjedése köszönhető. Az erő (energia) megmaradás állt a középpontban. Idézem *Joule* fajhős cikkének kezdetét: „Believing that the power to destroy helongs to the Creator alone, I entirely coincide with Roget and Faraday in the opinion that any theory which, when carried out, demands the annihilation of force, is necessarily erroneous.” (Abban a hitben, hogy a pusztítás ereje egyedül a Teremtő birtoka, teljességgel egyetértek Roget-val és Faraday-jel azon véleményüket illetően, hogy bármely elmélet, amely a gyakorlatba ültetve az erő megsemmisítését kívánja meg, szükségszerűen téves.)

Joule gondos méréseivel meghatározta a hő-munka egyenértéket, és megmutatta, hogy a kalorikumelmélet jóslatával szemben a munka-hő átalakítás nem függ a hőmérséklettől, hanem egy univerzális állandó. Tiszteletünk jeleként róla neveztük el az energia mértékegységét, és így – a mai egységekkel – *Joule* gon-

dos méréseinek eredménye: 1 joule munka melegítő hatása megegyezik egy joule hő melegítő hatásával. Eredményei nem keltek érdeklődést egészen addig, amíg *Kelvin* közvetítésével a német eredmények az erő megmaradásáról meg nem érkeztek Angliába. *Joule*-nál hiányzott a metafizika, és mérései egy speciális eredményt fejeznek ki, amelyek a számszerű adatok nagy szórása miatt nem voltak meggyőzőek, nem voltak bizonyító erejűek.

Másodszor ott volt a racionális francia mérnöki iskola, amelynek egyik célkitűzése a lehető legjobb gép készítése volt. Először a vízi erőgépek elvi működését vizsgálták. Elsősorban *Nicolas Carnot* nevét kell megemlíteni, a hőerőgépek elemzését már fia, *Sadi Carnot* végezte. Ez a kutatás vezetett a perpetuum mobile lehetetlenségének kimondásához (1775) és a körfolyamatok vizsgálatához. Meg kell még említeni *Coriolis* és *Poncelot* nevét, akik bevezették a munka fogalmát a fizikába, és megadták a mozgási energia megváltozása és a munkavégzés a kapcsolatát.

Sadi Carnot a hő-munka átalakítást vizsgálta, és annak a feltételezésével, hogy a hő megmarad, (azaz a magasabb hőmérsékletű helyről átmegy a hidegebbre) és perpetuum mobile nem készíthető, megmutatta, hogy a maximális munkavégzés csak a hőmérsékletektől függ. Talán a mai szóhasználattal azt kellene mondanunk, hogy *Carnot* „mozgató ereje” az exergia volt.

Harmadszor volt a metafizika, a német út, amely az élő szervezetekben lejátszódó folyamatok vizsgálatából indult ki. Két főbb irányzat emelhető ki: a *vis vitalis* elmélet, amely szerint a fizika és kémia törvényei az élő szervezetekre nem érvényesek, valamint a természet egységét valló romantikus természetfilozófia. Az általános erő – a természeti hajtóerő – megmaradását, mint a természet egységének kifejezőjét érett formában a romantikus természetfilozófia fogalmazta meg. *Schelling* a természetet egyetlen szellemi princípium megnyilvánulásának tartja, amely a maga képére formálja az anyagot. Minden természeti forma ugyanahhoz a mintához, ideálhoz közelít.

Robert Mayer és *Hermann Helmholtz* ugyan más úton közelítették meg, de ugyanazt a kérdést, az állati hő eredetét vizsgálták. Mindketten orvosi egyetemet végeztek, és a felismerés idején ténylegesen orvosként dolgoztak. *Mayer* a későbbiekben is megmaradt orvosnak, *Heilbronn*-ban volt főorvos, míg *Helmholtz* később fizikaprofesszor lett. *Helmholtz* munkája 1847-ben jelent meg *Über die Erhaltung der Kraft* címmel. *Helmholtz* stílusán is érződik a romantikus természetfilozófia hatása, de tárgyalásmódja már teljesen fizikusi.

Mayer érdeme a metafizika és a fizika egyesítése. Felismerte, hogy az erő mérhető, kvantitatívan jellemezhető. A felismerés folyamata *Mayer* megfogalmazásában:

„1840 nyarán a Jáva szigetére újonnan megérkezett európaiakon végrehajtott érvágásoknál azt tapasztaltam, hogy a kar vénájából eresztett vérnek majdnem kivétel nélkül föltűnően vörös színe volt. Ez a jelenség magára vonta teljes figyelmemet. Kiindulván a

Lavoisier égés-elméletéből, mely az állati hőt égés-folyamatnak tulajdonítja, azt a kettős színváltozást, melyet a vér a kicsiny és a nagy körfutás hajszaledényeiben szenved, úgy tekintetem, mint a vérrrel végbemenő oxidációnak érzékileg észrevehető jelét, látható reflexusát. Az emberi test állandó mérsékletének megtartására kell, hogy annak hőfejlesztése a hővesztésével, tehát a környező médium mérsékletével is szükségképen bizonyos értékviszonyban álljon s ennél fogva kell, hogy mind a hőtermelés és az oxidáció-folyamat, mind pedig mind a két vérnemnek színelkülönbsége a forró égőv alatt egészben véve kisebb legyen mint a hidegebb vidékeken.”

1842-ben közölt írásában,¹ amely a vegyész *Liebig* által szerkesztett évkönyvben jelent meg, nem hivatkozik filozófusokra, de a német romantikus természetfilozófia szemléletmódjának hatását egyértelműen felfedezhetjük. Mayer értekezése megpróbál megfelelni ama kérdésre, hogy mit értünk erők alatt, és hogy ezek egymással hogyan függnek össze. Mayer arra törekszik, hogy az erő fogalmát ép oly szabotossá tegye, mint az anyagét. Egy részlet a 42-es cikkből:

„Az erők okok, és így azokra teljes mértékben alkalmazható az alaptétel: *causa aequat effectum*. Ha a *c* ok okozata *e*, akkor $c = e$; ha *e* ismét az oka egy másik *f* okozatnak, akkor $e = f$ stb. $c = e = f \dots = c$. Az okok és okozatok egy láncolatában, mint ahogy az egy egyenlet természetéből következik, sohasem válhat egy tag vagy egy tag egy része nullává. Minden ok első tulajdonsága tehát az elpusztíthatatlansága.

Ha az adott *c* ok létrehozta a vele egyenlő *e* hatást, ezzel *c* egyúttal megszűnt létezni; *c* tehát *e*-vé vált. Ha *e* létrehozása után *c* egészen vagy részben még megmaradt volna, úgy ezen visszamaradó oknak további okozat kellene hogy megfeleljen; *c* okozata tehát *e* kellene hogy legyen ellentétben $c = e$ feltevésünkkel. Így, minthogy *c* *e*-be, *e* *f*-be stb. megy át, ezeket a mennyiségeket egy és ugyanazon objektum különböző megjelenési formáinak kell tekintenünk. Az a képesség, hogy különböző formákat tud felvenni, a másik lényeges tulajdonsága minden oknak. A két tulajdonságot összefoglalva mondhatjuk: az okok kvantitatíve elpusztíthatatlanok és kvalitatíve változékony objektumok.”

Ez a rész ma nehezen érthető, de akár Schelling is írhatta volna. Mayer ezzel meghatározta az erők (energia) fő tulajdonságát: átalakulhatnak és elpusztíthatatlanok.

„A természetben az okok két nagy osztálya létezik, amelyek között a tapasztalat szerint nincs átmenet. Az egyik osztályt azok az okok alkotják, amelyek ponderábilisak és impenetrábilisak: az anyagok; a másik osztályt azok az okok teszi ki, amelyeknél hiányoznak ezek a tulajdonságok: az erők ... Az erők tehát: elpusztíthatatlan, változékony, imponderábilis objektumok.

Az esési erő, a mozgás és hő között fennálló természetes összefüggést az alábbi módon tehetjük szemléletessé: tudjuk, hogy a hő úgy lép előtérbe, hogy a test egyes anyagrészei egymáshoz közelebb igyekeznek; az összenyomás hőt fejleszt; ami most már a legkisebb anyagrészekre és a köztük levő legkisebb térre igaz, alkalmazható kell, hogy legyen nagy tömegekre és mérhető térrészekre is. Egy teher süllyesztése a Föld számára tényleges térfogatcsökkenést jelent, minden bizonnyal kapcsolatban kell, hogy álljon az ilyenkor fellépő hővel; ennek a hőnek a teher nagyságával és a távolságával pontosan arányosnak kell lennie.”

Ez a rész a zseniális autodidakta írása. Az érvelés nem felel meg a mai ismereteinknek, de a végeredmény jó. Mai megfogalmazásban a helyzeti energia alakul át ilyenkor hővé, és ténylegesen a hőhatás a tömeg és a magasság szorzatával arányos.

„Téziseinket, amelyek szükségszerűen következnek a »*causa aequat effectum*« alaptételből, és amelyek tökéletes összhangban állnak az összes természeti jelenséggel, egy gyakorlati következtetéssel zárjuk ... meg kell határozunk, hogy milyen magasra kell a Föld felszíne fölé emelni egy meghatározott súlyt, hogy az esési ereje ekvivalens legyen az azonos súlyú vízmennyiség 0-ról 1 °C-ra való melegítésével. Hogy egy ilyen egyenlet a természetben gyökerezik, tekinthető az eddigiek rezüméjének.”

Ez a mérés így kivitelezhetetlen, de Mayer megtalálta a kiszámítás módját.

„A gázokra vonatkozó ismert hő- és térfogatviszonyok alkalmazásából ... az atmoszferikus levegő állandó nyomáson és állandó térfogaton mért kapacitásának hányadát 1,421-nek véve, az adódik, hogy egy súly lesüllyedése körülbelül 365 m magasságból megfelel egy hasonló súlyú víz 0-ról 1 °C-ra való melegedésének.”

A helyes (pontos) eredmény 418 m. A számítás eredménye csak azért téves, mert pontatlan adatokból indult ki.

Az egyenértéket kifejező szám tette föl Mayer eszméire a koronát. Enélkül az egész elmélkedés metafizika maradt volna, ettől viszont fizika lett. Mayer felismerése, hogy a metafizikai „erő” állapotjelző és mérhető, kiszámolható. A természet egysége a „mozgató erő” átalakíthatósága, és nem teremthetősége.

(Művének nem volt visszhangja, de szerencsére testvére, aki patikus volt, támogatta. A későbbi műveit saját költségén adta ki.)

Közelebb jutunk a megértéshez, ha a Baurhoz írt levelének a vonatkozó részét olvassuk (a levél a gyűjteményes kiadásban található, *Gesammelten Schriften* 1867, 1874 Stuttgart):

„A vegyésznek az az alapelv az irányítója, hogy maga a »szubsztancia«, az anyag lényege elpusztíthatatlan, és hogy az alkotóelemek a létrejött összetétellel a legszükségesebb vonatkozásban állanak; ha H és O eltűnik (minőségileg elértéktelenedik) és HO lép fel, a kémikusnak nem szabad azt feltételeznie, hogy H és O tényleg semmivé lett, s HO véletlenül és kívülről kép-

¹ Robert Mayer: (Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur [Megjegyzések a szervetlen természet erőiről] *Annalen der Chemie und Pharmacie* 43 (1842) 233.



Megjegyzések a hő mechanikai egyenértékéről, 1851.

zódott; ennek a tételnek szigorú érvényesítésén épül fel az újabb kémia, amely nyilvánvalólag csak így vezethetett határozott eredményekhez. ... Az erők [energiákra] is ugyanezeket az alapelveket kell alkalmaznunk; szintén elpusztíthatatlanok, mint a szubsztancia, szintén kombinálódnak egymással, régi alakjukat elvesztik (mennyiségileg semmivé lesznek), új formában lépnek fel s a régi [valamint] új formák összefüggése épp oly lényeges, mint a H és O, valamint a HO között. Az erők (amelyeknek szigorúan tudományos kifejlődését nem fogom magyarázatlanul hagyni) mozgásból, villamosságból és melegből állanak.”

Mayer felismerése az első főtétel, az energia megmaradása. Az a fontos többlet Schellinghez képest, hogy kvantitatív összefüggés van a változások között. Mai szóhasználatlálva, felismerte, hogy az erő (energia) állapotjelző. Felismerte, hogy egy szigorú könyvelővel van dolgunk; csak olyan változások mehetnek végbe, amelyekre a megmaradás teljesül. Megsejtette a

$$dU = dQ + dL$$

formát, és ehhez megtanulta a fizikai alapokat.

Elméletének bizonyítéka (következménye) a hő egyenérték meghatározása. Először a leeső test (víz) melegedésével tervezte a meghatározást, azután meg-

ismerte *Gay-Lussac* eredményét, hogy a vákuumba kiterjesztett gáz hőmérséklete nem változik. Ebből levonta következtetést, hogy a gáz fajhője nem függ a sűrűségtől, és így az állandó nyomású és az állandó térfogatú fajhők arányából az egyenérték meghatározható.

Az organikus mozgás az anyagváltozással kapcsolatban; természettudományi tanulmány című könyvében² található az energia ismeretes alakjainak első táblázatos kimutatása, valamint arra való utalás, hogy a földön elhasznált minden energia a Nap sugaraiból ered, és a növényekben kémiai energia alakjában halmozódik fel. Itt is megtalálhatók teljesen szakszerűen és világosan azok az alapelvek, amelyek szerint a tápanyagok kémiai energiája az állatok és emberek minden tevékenységének általános energiaforrásául tekintendők.

Ugyancsak Mayer végezte az első számításokat abban az irányban, vajon hogyan aránylik az emberek-nél és állatoknál a teljesített mechanikai munka a tápanyagok égési melegéből kiszámítható összes energiavesztéséhez. Mindez *Népszerű tanulmány a világregrendszer dinamikájáról* cím alatt 1848-ban *Landherr*-nél jelent meg Heilbronnban.³

Mayer tragédiája

Mayer kisvárosi polgár volt. Nem szerezhetett magának és gondolatainak rajongókat és tanítványokat. Bátyja támogatta, de a felesége már csak azt látta, hogy a pénzét műveinek kiadására költi. Munkájának első visszhangja Joule támadása volt.

Joule 1843-ban közölte első eredményeit, amelyek 1847-ben már kiérlelt formában jelentek meg, és 1847-ben ismertette ezeket a francia akadémiához benyújtott, és a *Comptes Rendus*-ban megjelent tanulmányában is, ahol nem említette Mayert.

Mayer írását, amelyben elsőségére hivatkozik, közzölték. De Joule 1848-ban megtámadta Mayert. Azt állította, hogy Mayernek 1842. évi értekezése „nem érdemelte meg a tudósok figyelmét”, mert az ő (Joule) kísérletei előtt senki sem tudhatta, hogy a fajhő a sűrűséggel nem változik. Más stílusban ugyan, de Joule is az erő megmaradásából indult ki, és ezt kísérletileg felhasználta az egyenérték kiszámításához. Nem közismert, hogy gázokkal is végzett méréseket.

Mayer a következő, 29. kötetben (1849. nov. 12. szám) elég udvariasan figyelmeztette Joule-t, hogy a fajhő eme tulajdonságát már *Gay-Lussac* kísérletei kétségtelenül eldöntötték. Érdekes, hogy az angol-szász irodalomban ez később is felbukkant, sőt nemrég *P. Mirowski* Mayert, mint a zseniális autodidaktát mutatta be, aki nem tudta, hogy a fajhő függhet is a térfogattól, és így ráhibázott a jó eredményre.

² Robert Mayer: *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel*. Heilbronn, 1845.

³ Robert Mayer: *Beiträge zur Dynamik des Himmels*. Landherr, Heilbronn, 1848.

Helmholtz 1847-ben közölt dolgozatában csak Joule nevét említi, Mayert nem. Mayer talán ezért határozta el, hogy a nyilvánossághoz fordul. 1849-ben az *Augsburger Allgemeine Zeitung*ban is ismertette elméletét *Lényeges fizikai felfedezés* (Wichtige physikalische Erfindung) címen, és leírta, hogy hogyan határozható meg a hő mechanikai egyenértéke kísérletileg. Erre már kapott választ, egy professzor, *Seyffer* írt egy cikket, amelyben Mayert fantasztának nevezte, aki nem érti az igazi tudományt. Aki az angol eszméktől elmaradó dilettáns. Mayer kénytelen volt röpiratot kiadni, mert választ nem közölték. *Megjegyzések a hő mechanikai egyenértékéről* című írása⁴ 1851-ben felfedezésének elméleti fontosságát tisztán és teljesen megvilágítja.

1850 májusában súlyosan megsérült, amikor egy álmatlan éjszakán delíriumos állapotban második emeleti lakásáról az utcára ugrott. A betegséget követő több hónapos pihenés után tudott csak tovább dolgozni.

1851 szeptemberében agyhártyagyulladásra kapott, amelyből ugyan gyorsan felgyógyult, de családja elmeorvosintézetbe záratta, hogy gyógyítsák ki abból a rögeszméből, hogy jelentős felfedezést tett. Ez nem sikerült; 1853-ban elhagyta az intézetet, de ezután sem orvosi praxisát, sem tudományos tevékenységét nem folytatta.

Mayer csak 1862-ben lépett ki újra a nyilvánosság elé, a lázról írt értekezésével (*Über das Fieber*) amely az *Archiv der Heilkunde*ben jelent meg, és lényegében régi szempontjainak újabb és bővített kifejtését foglalja magában.

Az első nyilvános elismerést a baseli természetvizsgáló társaság tiszteletbeli tagjává történt megválasztása jelentette 1858-ban. 1867-ben kiadták összegyűjtött műveit. 1872-ben jelent meg *Dühring A mechanika általános elveinek kritikai története* című könyve, amelyben Mayert az energetika többi művelője fölé helyezte. 1874-ben *Tyndall* lefordította angolra Mayer műveit és megjelentette őket a *Philosophical Magazine*-ban.

Mayer történetét *Dühring* műveiből ismerjük, aki egy érdekes előadásban, majd írásban is nyilvánosságra hozta véleményét, és Mayert a 19. század Galileijének nevezte.

Mayer hatása

A termodinamika kialakulásával egy máig tartó polémia kezdődött a mechanikai hőelmélet és a fenomenologikus (axiomatikus) termodinamika között. A vita lényege, hogy az irreverzibilis termodinamika visszavezethető-e a reverzibilis mechanikára. Ebben a megfogalmazásban világos a válasz: aki reverzibilis egyenletekből irreverzibilis megoldást származtat, az más bűnökre is képes.

⁴ Robert Mayer: *Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme*. Landherr, Heilbronn, 1851.

A mechanikai hőelmélet célkitűzése volt a newtoni mechanikából leszarmaztatni a főtételeket. Az irányzat nagy sikere a statisztikus mechanika, nagy vesztese a termodinamika. A mechanikai szemléletmódnak megfelelően a fizikában nincs szükség metafizikára, ezért *Planck* csodálatos nemegyensúlyi termodinamikája is teljes érdektelenséggel találkozott. Max *Planck* önéletrajzában leírta, hogy dolgozatát, amely az irreverzibilis termodinamika megalapozásának tekinthető, nem fogadták megértéssel. „A tartózkodás oka valószínűleg a tudományban a század közepe óta – Schelling és Hegel természetfilozófiai munkásságának »köszönhetően« – jelenlévő ellenszenv a spekuláció iránt, amivel az elméleti kutatást is könnyen meggyanúsíthatták.”

Mayer munkásságát, szellemiségét az energetizmus vitte tovább, ez tekinthető a természetfilozófia örökösének [6]. Miután az energetizmus, mint irányzat, *Ostwald* halálával megszűnt, inkább csak hibáit ismerjük. Például azt, hogy tagadta az atomok létezését. Pedig, ha elolvassuk az eredeti írást [7], akkor látjuk, hogy nem az atomok létezésének tagadása szerepel benne, hanem annak megkérdőjelezése, hogy minden makroszkopikus (megfigyelhető) viselkedés leszarmaztatható-e az atomok mozgásának leírásából, vagy szükség van a fenomenologikus leírásra.

„... vajon milyen előnyünk származik abból, ha a természeti jelenségek törvényeit valóban visszavezetjük az energia megfelelő formáinak törvényeire? Először is, ami rendkívül fontos, lehetségessé válik a hipotézisektől mentes tudomány megteremtése. Nem keresünk tovább olyan erőket, amelyek feltevést nem bizonyíthatjuk az atomok között, melyek létéről nem szerezhettünk tudomást, ehelyett az eltűnő és a megjelenő energiák fajtája és mennyisége alapján alkotunk véleményt a folyamatokról. [Ezeket] megmérhetjük, és ezzel a módszerrel mindent kifejezhetünk, amit tudni kell. Mindenki, akinek tudományos érzéke szenvedett a tények és hipotézisek ama folytonos összeolvastásától, amelyet a fizika és a kémia ma ésszerű tudományként kínál nekünk, megérti, hogy ez milyen óriási és általános érvényű előny. Az energetika olyan eszközt kínál, ... amelynek révén a természet úgynevezett magyarázatát a jelenségek leírásával helyettesíthetjük.”

Irodalom

1. Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*. Budapest, Gondolat, 1978.
2. Martinás K., Ropolyi L.: A termodinamika korai története. *Fizikai Szemle* 36 (1986) 288–295.
3. Czöglér Alajos: *A fizika története életrajzokban*. II. kötet, Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1882.
4. Wilhelm Ostwald: *Feltalálók, felfedezők, nagy emberek*. (ford.: Kósa Miklós) Révai, Budapest, 1912.
5. Gurka Dezső: *A schellingi természetfilozófia és a korabeli termodinamika viszonya*. Gondolat, Budapest, 2006.
6. Bognár Gergely: *Energetizmus*. szakdolgozat, Budapest, 2006, <http://martinas.web.elte.hu/bg.html>
7. Wilhelm Friedrich Ostwald: Emancipálódás a tudományos materializmusból. *Science Progress* IV/24 1896., <http://www.kfki.hu/chemonet/hun/olvaso/histchem/mol/ostwald.html>