

Dr. Róka András

Az energia sokfélesége és sokoldalúsága

Amíg az előző század az ANYAG évszázada volt, a XXI. az ENERGIA százada lesz. 1997-ben volt „száz éves” az elektron (Thomson 1897), és nagyjából száz éve ismerjük az atom szerkezetét. Az anyag századában derült ki, hogy léteznek makromolekulák, sikerült megismerni az egyedfejlődés lépéseit átörökítő DNS szerkezetét. A XX. században jelentek meg olyan szerkezeti anyagok, amelyek lehetővé tették az űrutazást, a napenergia hasznosítását vagy az idegsejtek műveleti sebességét túllépő számítógépek kifejlesztését.

Az ENERGIÁNAK az anyag, az élet és az emberiség történetében egyaránt meghatározó szerepe volt. Háborúk folytak érte és vesztek el hiányában. Az ókorban piramisokat emelt, a középkorban a mágiát és a máglyahalált szolgálta, a gőzgépek korában ipari forradalmat, míg a legújabb korban a tudományos és technikai forradalom nyomán informatikai forradalmat hozott. Hozzáértők szerint a jövő az INFORMÁCIÓ százada lesz. Miért lenne akkor az energiának a korábbiaktól is fontosabb szerepe?

Az ember a többi élőlényel szemben nemcsak létfenntartásához igényel energiát, és az energiaínség ellenére sem akar lemondani kényelméről. Ezzel szemben az élet, legyen az egyedi vagy társulás szintű, ritkán pazarló. Éppen az a fantasztikus benne, hogy mennyire gazdaságosan épülnek egymásra a folyamatok. A növények és az állatok nem hasznosíthatnak több energiát, mint amennyi közvetlen vagy közvetett módon jut számukra a Nap energiájából.

Az ember az ipari forradalom óta folyamatosan tanulja, hogy hogyan termelje meg többlet energiaszükségletét, miközben folyamatosan csökkenti "bioenergiája" hasznosítását, az izommunkát. Az emberiség az elkényelmesedett és sokszor pazarló fogyasztói társadalom modelljével változatlanul növekvő mennyiségű energiatöbbletet igényel. Éppen a növekvő mértékű energiatermelés melléktermékei és következményei károsítják a természetes környezetet. A „fenntartandó fejlődés” olyan mértékben vonja el az anyagot és az energiát a közös élettérből, hogy az lassan nemcsak más fajok, hanem az emberiség számára is veszélyes. Századunk azért lesz az energia százada, mert a megnövekedett igények következtében az emberiség lassan lehetőségei határához érkezett! Az

információ csak akkor INFORMÁCIÓ, ha van lehetőség a feldolgozására. Csakhogy önmagában még az információcseréhez is energia szükséges, legyen az biológiai vagy technikai eredetű. Vagyis a jövő csak akkor lehet az információ százada, ha úgy tudjuk megoldani növekvő energiagondjainkat, hogy közben nem pusztítjuk el saját élőhelyünket.

Mi köze mindehhez a kémiának? Amit a hétköznapi életben energiatermelésnek nevezünk, az valójában energiaátalakítást jelent. Hiszen az energia „nem keletkezik és nemvész el, csak átalakul”. Ezek az energia átalakítási folyamatok vagy egyenesen kémiai reakciókon alapulnak, vagy megjelennek bennük kémiai folyamatok. Hiszen a lignit, szén, pakura, földgáz vagy éppen hulladék tüzelésű hő- és villamos erőművek, a hordozó rakéták, az űrsiklók, a belső égésű Otto- és Diesel-motorok éppúgy „kémiai” energiát alakítanak át az éppen szükséges energiafajtává, mint az anaerob vagy aerob körülmények között élő szervezetek. Egyenként egyszerűnek tűnő kémiai reakciók sorozatával alakítják át a zöld színtestek is a Nap életet fenntartó sugárzási energiáját. Elektrokémiai reakciókon alapul a „tartós” elemek működése is, amelyek nemcsak a műszerek, hírközlő és szórakoztató eszközök vagy éppen a telefon mobilitását, hanem a szívritmus-szabályozók működését is biztosítják.

A jövő energiatermelésében a kémiának és a kémiai technológiának még fontosabb szerepe van! Nem pusztán a környezet védelme, a káros melléktermékek átalakítása, gazdaságosabb esetben termékként történő újrahasznosítása, hanem az energia átalakítás hatásfokának növelése. Mert a fokozódó energiahány ellenére energiatermelésünk az élő szervezetek energiahasznosításához képest még mindig rendkívül pazarló. Nemcsak azért, mert számtalan helyen lehetne gazdaságosabb, hanem azért, mert az esetek többségében megjelenik a legnagyobb veszteséggel járó lépés, a hőtermelés. A jövő feladatai közé tartozik olyan kémiai-elektrokémiai reakciókon eljárások kidolgozása, amelyek az élőlényekhez hasonlóan az energia átalakulási lépések során kikerülnek a termikus energiát. Ehhez azonban nagyon jól kell ismerni az energia fajtáit, tulajdonságait és az átalakulás-átalakítás lehetőségeit.

„Energiarendszertan”, az energia sokfélesége

Nap mint nap hallunk nap-, szél-, vízi-, atom- sugárzási-, elektromos-, mágneses-, felületi-, termikus-, geotermikus-, kémiai- és biológiai energiáról. Vajon valóban ennyiféle van belőle vagy ugyanakkor a

valaminek különböző megnyilvánulásaival találkozunk? Egyáltalán, mi is az energia? Alapvető, mégsem tudjuk mi az. Csak használjuk. Éppolyan, mint a „gyümölcs”, van és mégse létezik.

Az ember régóta észleli, hogy környezetében az anyagi világ alapvetően két részre bontható: a mindennapi értelemben vett, testet öltő anyagra, és a megfoghatatlan, csak hatásain keresztül érzékelhető energiára. Mégis rendkívül hosszú idő telt el, míg ezek tulajdonságait valamelyest megismerhettük és rájöttünk, hogy a megfigyelt, önként lejátszódó vagy az előidézett jelenségeink az anyag és az energia kölcsönhatását jelentik.

A megismerés folyamata azért volt olyan hosszú, mert az energia éppoly sokoldalú, mint az anyag, és ráadásul nem olyan kézzelfogható. Nemcsak sok fajtája létezik, hanem nagyon változatosan viselkedik. Hol megmarad, hol elvészni látszik, pedig csak átalakul. Akár egyszerre is képes megmaradóan átalakulni és visszanyerhetetlenül eloszlani.

Persze az anyag tulajdonságainak megismerésében a kézzelfoghatóság sokat segített. Proust, Dalton és Avogadro mérései, és nem utolsósorban ötletei nyomán az 1800-as évek elejére már tisztázódtak a vegyülés aránytörvényei, míg az energia terén csak kialakulóban voltak a fogalmak. Ezért nem véletlen, hogy Newton az érzékelhető és jól mérhető erő oldaláról közelítette meg a kölcsönhatást, és nem bonyolódott bele az "eleven erőről", vagyis az energiáról folytatott vitákba.

Lavoisier 1777-ben hiába látta tisztán az égés feltételeit és folyamatát, a kémia a hőmérséklet mérhetőségéig, valamint a fajhő és az átalakulási hő fogalmának kialakulásáig a felhasználáson kívül nem nagyon tudott mit kezdeni a reakciók során felszabaduló energiával. A flogiszonelméletet megbuktató tömegmegmaradás kimondása pedig egy időre elterelte a figyelmet a valóban távozó energiáról. Így az energiát még a XIX. században anélkül hasznosították, hogy tudták, értették volna, hogy mi is az. Ennek ellenére igen sokféle átalakítását fedezték fel.

A megértés folyamata több szálon indult el, és a tapasztalat sokáig előzte meg a magyarázatot. Hosszú idő telt el, amíg az egymástól függetlennek látszó jelenségekben felfedezik a hasonlót, az általánosítható, vagyis a törvényszerű viselkedést. Ezért nem véletlen, hogy az energiával kapcsolatos fogalmaink kialakulása ipari forradalom korára esett. Az egymástól függetlenül kialakuló és fejlődő tudományterületeket pedig tulajdonképpen az energiafajták egymásba történő átalakíthatósága fonta össze.

Az 1. táblázat az energia felhasználásának, az energiafajták átalakításának valamint az energiával kapcsolatos fogalmak fejlődésének legnevezetesebb történelmi eseményeit foglalja össze. A bekezdések elősegítik nyomon követni egy-egy tudományterület fejlődését is.

1. táblázat: Az energia fogalmának rövid fejlődéstörténete

kb. 700 ezer éve (*alkalmazás*) az ember elkezd használni a TÜZET.

Kr.e. 3600 körül (*alkalmazás*) a fémkohászat kezdete

Kr.e. 2400 körül(*alkalmazás*) Egyiptomban fűjtatót alkalmaznak a tűz hőmérsékletének emelésére.

Kr.e. 495-435 (*hőtan*) Empedoklész a szeretet és a gyűlölet elvével értelmezi a kémiai reakciók során bekövetkező átalakulásokat.

Kr.e. 340 körül(*hőtan*) Arisztotelész négy őseleme közül az egyik a TŰZ, ami mai szemmel az energiát testesíti meg.

1044 (*alkalmazás*) Huo'pan a salétromos lőpor robbanása során keletkező gázok feszítő erejét alkalmazza a korabeli fegyverkészítésben.

1600 körül (*hőtan*) Bacon arra a következtetésre jut, hogy a hő nem lehet más, mint mozgás.

1644 (*mechanika*) Descartes körvonalazza a mozgásállapot megváltozásának törvényszerűségeit

1666 (*mechanika*) Newton az erő segítségével leírja a mozgásállapot-változás törvényét. Felfedezi a testek egymásra hatásának kölcsönösségét és az első alapvető kölcsönhatást, a tömegvonzást. A kölcsönhatást inkább a mérhető erő / ellenerő segítségével értelmezi, és nem az energiával. A testek tehetetlensége elvében valójában már az energiamegmaradás elve is ott rejlik.

1682 (*sugárzás*) Mariotte felfedezi, hogy a hő nemcsak vezetéssel, hanem sugárzással is terjedhet. A különböző elméletek azonban sokáig elterelik a figyelmet a később hőmérséklet sugárzásként megismert jelenségről.

1686 (*mechanika*) Leibniz megkülönbözteti egymástól a helyzeti és a mozgási energiát és kimondja az összegük, a "force vive absolute" (abszolút eleven erő), mai szóval a mechanikai energia megmaradásának tételét.

(*hőtan*) A rugalmatlan ütközések során a mozgási energia látszólagos elvesztését már az energia átalakulásával, pontosabban

- az energiának a testet alkotó részecskékre történő eloszlásával értelmezi.
- 1689 *(technika)* Papin felfedezi a gőz tágulásában rejlő lehetőséget, és megalkotja az első dugattyús gőzgépet, amely a molekulák rendezetlen hőmozgását képes rendezett mozgássá alakítani.
- 1714-42 *(hőtan)* Fahrenheit, Réaumur, Celsius a hőtágulás jelenségét alkalmazva hőmérőt készítenek. Ezzel lehetővé válik a hőmérséklet mérése, ami a hőtan megkészt, de gyors fejlődéséhez vezet.
- 1756-66 *(hőtan)* Black mérései alapján bevezeti a fajhő és az átalakulási (latens) hő fogalmát, megkülönbözteti egymástól a hőt és a hőmérsékletet, de a hőt még a folyadékokhoz hasonló fluidumnak, vagyis „anyagnak” és nem energiának tekinti.
- 1760-69 *(technika)* Watt tökéletesíti a gőzgépet (ipari forradalom).
- 1781 *(elektromosság)* Galvani felfedezi, hogy a két különböző fémrel megérintett bécacomb rángásba jön.
- 1783 *(technika)* (technika) A Montgolfiére testvérek sikeresen bemutatják az első hőlégballont. Ezzel megvalósítják a termikus energia (gravitációs) helyzeti energiává alakítását.
- 1793 *(elektromosság)* Volta létrehozza az első galvánelemet, ami a kémiai energiát elektromos energiává alakítja.
- 1798 *(mechanika)* Thompson (Lord Rumford) híres ágyúfűrási kísérletével a mechanikai energiát mérhető módon alakítja hővé.
- (hőtan)* Megállapítja, hogy a „hőanyag” súlya mérhetetlenül kicsi, ezért a hőt a részecskék belső mozgási energiájának tulajdonítja.
- 1799 *(hőtan)* Davy a jeget összedörzsöléssel olvasztja meg, ezzel is a mechanikai energia hővé alakíthatóságát igazolja
- 1807 *(technika)* Fulton megépíti az első gőzhajót („Clermont”).
- 1810 körül *(termokémia)* Berthollet kísérletei a kémiai átalakulásokat kísérő termikus jelenségekkel (a "kémiai" energia hővé alakulása).
- 1814,1829 *(technika)* Hedley majd Stephenson gőzmozdonyt épít („Puffing Billy” ill. „Rocket”).
- 1821 *(technika)* Faraday létrehozza az első elektromotort, amely az elektromos energiát mechanikai energiává alakítja.
- 1824 *(hőtan)* Carnot a vízi erőgépek működésének analógiájára megadja a "hőanyag" mechanikai munkavégző képességének (mai megfogalmazással a hő mechanikai energiává alakíthatóságának) mértékét, a gőzgépek (később pedig a hőerőgépek) hatásfokát. Ez

- a hatásfok csak a hőcsere folyamatára vonatkozik. A helytelen alapokon nyugvó elképzelés a megmaradási elv alkalmazása miatt vezet mégis helyes végeredményhez.
- 1827 *(molekuláris háttér)* Brown a víz felszínére helyezett pollenek mozgását a vízmolekulák rendezetlen hőmozgásával értelmezi.
- 1829 *(mechanika)* Poncelet megfogalmazza a munkatételt, mely szerint a külső erők munkája a mechanikai energia megváltozására / megváltoztatására fordítódik.
- 1833 *(elektromosság)* Faraday felfedezi az elektrolízis törvényszerűségeit. Ezzel megvalósul az elektromos energia kémiai energiává történő átalakítása.
- 1839 *(technika)* Grove megalkotja az első tüzelőanyag-cellát.
- 1840 *(termokémia)* Hess kimondja, hogy az összességében felszabaduló termikus energia (hő) független a reakció sebességétől és attól, hogy hány lépésben játszadjuk le a reakciót. Ezzel valójában már az energia megmaradás elvét fogalmazza meg a kémiai reakciókra (a "kémiai" energia átalakulása hővé).
- 1841 *(hőtan)* Joule felállítja az elektromos áram hőtermelésére, vagyis az elektromos energia hővé történő átalakítására vonatkozó törvényét.
- 1843 *(hőtan)* Kiméri a mechanikai energia hőegyenértékét, felismeri az energiamegmaradás törvényét.
- 1842 *(hőtan)* Robert Mayer megfigyeli, hogy a trópusi vizekenpirosabb a matrózok vére, mint a hidegebb éghajlatú területeken. Ebből a „biológiai” energiatermelés különböző mértékére következtet.
- 1845 *(hőtan)* Értelmezi a gázok kiterjedése során bekövetkező hőmérsékletváltozást, vagyis a végzett mechanikai munka és a hő viszonyát. Felfigyel arra, hogy állandó térfogaton kevesebb hő szükséges ugyanazon hőmérséklet eléréséhez, mint állandó nyomáson. Az állandó térfogaton és az állandó nyomáson mért fajhők különbözőségéből következtet a mechanikai energiává alakuló hő mennyiségére. Felismeri az energiamegmaradás törvényét.
- 1847 *(termodinamika)* Helmholtz a sokféle energiaátalakulás ismeretében általánosítja az energiamegmaradás törvényét. Megfogalmazza a termodinamika első főtételét.

- 1848 *(technika)* Lundström a vörös foszfor alkalmazásával elkészíti az iniciálás, vagyis az egymást követő exoterm folyamatok elvén működő biztonságos gyufát.
- 1851 *(termodinamika)* Thomson (Lord Kelvin) kimutatja, hogy a Carnot által alkalmazott megmaradási elv az energiára vonatkozik, ezzel ő is kimondja az energiamegmaradás törvényét.
- 1860 *(technika)* Leclanche létrehozza a "száraz" elemet.
- 1861 *(technika)* Jedlik Ányos megalkotja a dinamót. Az indukció segítségével a mechanikai energia elektromos energiává alakítható.
- 1852 *(technika)* Giffard léghajót szerkeszt.
- 1862 *(technika)* Lenoir belsőégésű gázmotort szerkeszt.
- 1863 *(technika)* Nobel felfedezi az iniciáló-gyújtást; mely során például az ütésre beinduló exoterm folyamat a másik, robbanáshoz vezető reakciót indítja be.
- 1865 *(termodinamika)* Clausius törvénnyé emeli azt a tapasztalatot, hogy egy test hőmérséklete önként sohasem csökken környezete hőmérséklete alá. Vagyis a hő magától nem áramlik a hidegebb testről a melegebb felé. Ebből arra következtet, hogy a termikus energiának van egy el nem vonható, „kötött” hányada. Az energiamegmaradás törvényének következményeként megállapítja, hogy ha egy adott (állandó) hőmérsékleten a „kötött” termikus energia mennyisége állandó, akkor az átadható hányadnak is állandónak kell lennie.
- 1866 *(molekuláris háttér)* Maxwell összefüggést talál a nagy számú részecske egyedi sebessége, átlagos mozgási energiája és a gáz egészének makroszkopikus viselkedése között. Megállapítja, hogy annak ellenére, hogy a molekulák sebessége különböző, az egymástól független mozgásirányokra ill. mozgáslehetőségekre (szabadsági fokokra) átlagosan ugyanannyi energia jut (az ekvipartíció elve).
- 1877 *(molekuláris háttér)* Boltzmann a részecskék között kialakuló energia-eloszlást a valószínűségszámítás oldaláról közelíti meg. Megállapítja, hogy a termikus folyamatok önként a rendelkezésre álló (kötött) energia legvalószínűbb eloszlása irányában játszódnak le. Érthetővé válik, hogy a folyamatok irányát az energia eloszlása is befolyásolja.

- 1879 *(sugárzás)* Stefan és Boltzmann összefüggést talál a testek hőmérséklete és a testek által kisugárzott energia között (a hőmérsékleti sugárzás törvényszerűsége).
- 1880 *(technika)* Edison kifejleszti a hőmérsékleti sugárzáson alapuló izzólámpát.
- 1882 *(termodinamika)* Helmholtz a kötött energia ellentétéként bevezeti a szabadon átalakítható energia fogalmát (szabad energia).
- 1883 *(termodinamika)* van't Hoff már nemcsak a hőcsere hatásfokára kíváncsi, hanem az energia átalakulás folyamatát kiterjeszti magát a hőt termelő kémiai reakcióra is. Ezáltal először alkalmazza az energiamegmaradás és Clausius törvényét egymást követő folyamatokra. A sorozatos energiaátalakulási lépések esetében egyenesen a kémiai reakcióból / energiából vezeti le a munkavégzésre hasznosítható energiahányadot, a maximális hasznos munkát. Bevezeti a szabad entalpia fogalmát. Ettől kezdve a hőtán és a kémia elválaszthatatlan egymástól.
- 1885 *(technika)* Benz első benzinmotoros autója.
- 1886 *(elektromosság)* Hertz a töltések nagyfrekvenciájú rezgőmozgásával az elektromos energiát sugárzási energiává (elektromágneses sugárzássá) alakítja.
- 1895 *(elektromosság)* Röntgen felfedezi a róla elnevezett sugárzást, ezzel megvalósul az elektromos energia nagyenergiájú sugárzássá alakítása.
- 1900 *(sugárzás)* Planck tisztázza, hogy a sugárzás formájában terjedő energia a látszattal ellentétben nem folytonos eloszlású, hanem meghatározott energiájú adagokból, kvantumokból áll, melyeket Einstein a látható fény esetében, a fényelektromos effektus nyomán fotonoknak nevez el.
- 1900 *(technika)* Einthoven létrehozza az első bioelektromosságot mérő készüléket, az elektrokardiográfit (EKG).
- 1901 *(technika)* Marconi létrehozza a rádiót.
- 1903 *(technika)* Wright fivérek repülése az első benzinmotoros repülőgéppel.
- 1903 *(technika)* Ciolkovszkij ismerteti a rakétameghajtás elvét, amely az áramló reagensekkel megvalósított magas hőmérsékletű kémiai reakción és az impulzusmegmaradás tételén alapul. A nagy sebességgel kiáramló égéstermék molekulák egyirányú (rendezett) mozgása ellentétes elmozdulást biztosít.

- 1906 (*termodinamika*) Fletcher és Hopkins felismeri a szőlőcukor lebontás és a biológiai energiatermelés (az izommunka) kapcsolatát.
- 1930 (*technika*) Van de Graaff megalkotja a róla elnevezett töltésfelhalmozó generátort, melyek az első generációs részecskegyorsítókka váltak.
- 1930 (*technika*) Pabst ill. Whittle feltalálják a sugárhajtóművet
- 1934-38 (*bioenergetika*) Embden, Meyerhof és Parnas összefoglalja a szőlőcukorból anaerob körülmények között történő energiatermelés egymásra épülő reakciósorozatát (glikolízis).
- 1937 (*bioenergetika*) Szent-Györgyi és Krebs kutatásai nyomán ismertté válik az aerob energiatermelő folyamatsor glikolízist követő, citromsavciklusnak nevezett szakasza.
- 1938 (*anyaszerkezeti háttér*) Weizsacker, Bethe és Critchfield megfejtik a csillagok energiatermelő fúziós folyamatait.
- 1942 (*technika*) Fermi vezetésével első ízben sikerül szabályozott módon lejátszatni a maghasadási láncreakciót. Ezzel megnyílik a lehetőség az atomreaktorok tervezésére, a nukleáris energia termikus ill. elektromos energiává történő átalakítására.
- 1945 (*technika*) Az első atombomba, amelyben a nukleáris láncreakciót egy egymásra épülő, iniciáló reakciósor indítja be.
- 1957 (*technika*) Az első szputnyik fellövése.
- 1961 (*technika*) Gagarin űrrepülése.
- 1961 (*technika*) Az emberi test hőmérsékleti sugárzását észlelő termográfiai módszer kidolgozása.
- 1961 (*bioenergetika*) Hatefi, Green valamint Mitchell kutatásai alapján kialakulnak az aerob energiatermelés mitokondriumokban lejátszódó, befejező szakaszára, a terminális oxidáció lépéseire vonatkozó elképzelések.
- 1965 (*sugárzás*) Penzias és Wilson felfedezik a legkisebb energiájú kozmikus hőmérsékleti sugárzást, a mikrohullámú háttérsugárzást.
- 1967 (*technika*) Wankel létrehozza a bolygódugattyús belsőégésű motort.
(*technika*) Hounsfield hozzákezd a rétegenként felvett röntgenfelvételek számítógépes feldolgozásának megoldásához (computeres röntgentomográfia).
- 1976 (*technika*) Az első diesel VW Golf

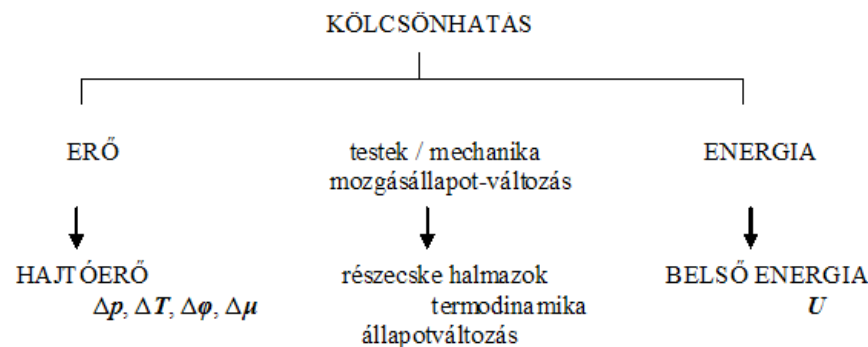
- 1981 (*technika*) Az első űrsikló repülése, nagyteljesítményű hordozórakéták kifejlesztése.
- 1982 (*technika*) Az első turbo-diesel VW Golf
- 1984 (*technika*) Az első személyi sugárhajtómű alkalmazása az űrséta során.
- 2000-es évek (*technika*) Kísérletek a hidrogén üzemű, tüzelőanyag-cellás meghajtásra.

A tudománytörténeti események elemzésével az alábbi tanulságok vonhatók le.

A kölcsönhatást először a mechanika írta le. Mivel ez eredményesnek bizonyult, a mechanika szemlélete minden más tudományágban megjelenik.

A mechanika a kölcsönhatást az erő (Newton) és az energia (Leibniz) oldaláról közelíti meg. Ez a tárgyalási mód az összes kölcsönhatás (mechanikai, termikus, elektromos, kémiai) esetére általánosítható. Így minden kölcsönhatáshoz erőt, illetve hajtóerőt és energiafajtát rendelhetünk (termikus energia, elektromos energia, kémiai energia stb.).

Amíg a testek mozgásállapot változását egy külső erő /eredő erő idézi elő, addig a halmazok (a részecske sokaság) világában az állapotváltozás oka egy hajtóerő (nyomáskülönbség Δp , hőmérsékletkülönbség ΔT , elektromos potenciálkülönbség $\Delta \varphi$, kémiai potenciálkülönbség $\Delta \mu$) megjelenése.



Amíg a testek mechanikai vagy összenergiája a gravitációs kölcsönhatásból származó helyzeti energiából (mgh) és a mozgási energiából ($\frac{1}{2}mv^2$) tevődik össze, a részecske halmazok összenergiája, vagyis belső energiája (U) a parányi testecskék kölcsönhatásából és mozgási energiájából adódik össze.

$$\text{mechanika} \quad E(\text{össz}) = E(\text{mechanikai}) = E(\text{helyzeti, vagy kölcsönhatási}) + E(\text{mozgási}) \\ E(\text{mechanikai}) = mgh + \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{halmazok} \quad E(\text{össz}) = U(\text{belső energia}) = \Sigma E(\text{kölcsönhatási}) + \Sigma E(\text{mozgási})$$

A testek esetében a mozgásállapot-változás energiaigényét a végzett munka (W) fedezi (munkatétel, Poncelet). A halmazok energiaváltozása sokoldalúbb: A rendszer belső energiája (ΔU) a munkavégzésen (W) túl hőcserével (Q) is változhat (Helmholtz, a termodinamika első főtétele).

$$\text{mechanika} \quad W = \Delta E(\text{össz}) = \Delta E(\text{mechanikai}) = \Delta E(\text{helyzeti}) + \Delta E(\text{mozgási})$$

$$\text{halmazok} \quad Q + W = \Delta U = \Delta E(\text{össz}) = \Sigma \Delta E(\text{kölcsönhatási}) + \Sigma \Delta E(\text{mozgási}) \\ \text{makroszkopikus fogalmak} \quad \text{„}W\text{”} \quad \text{mikroszkopikus háttér} \quad \text{„}Q\text{”}$$

A termodinamikai rendszerekben lejátszódó folyamatokat a sebesség oldaláról, a hajtóerőkkel is megközelíthetjük. A forró tea, kakaó, étel kihűl, a bekötetlen léggömb, a kilyukadt labda leenged, a tartós elem is kimerül, a folyamatok előbb-utóbb leállnak. A forró tea azonban sohasem lesz hidegebb a környezeténél, a leeresztett léggömbben is marad valamennyi levegő (a fala nem lapul össze), és a lemerült elemben önként nem választódnak szét újra a töltések. A folyamatok önként csakis addig játszódnak le, amíg a hőmérséklet, a nyomás ill. az elektromos potenciál (a kölcsönhatásra jellemző fizikai mennyiség) ki nem egyenlítődik. Az önként lejátszódó folyamatok hajtóerejét tehát kiegyenlítődéssre törekvő (intenzív) állapotjelzők különbözősége jelenti.

A testek, halmazok, amelyek egyúttal részecskékből álló rendszerek is, nemcsak külső, hanem belső mozgásállapotuk (belső energiájuk) megváltozása szempontjából is tehetetlenek. Ahogy külső erő hiányában a testek megőrzik mozgásállapotukat, hajtóerő hiányában a részecskerendszerek állapota sem változik. A „tehetetlen” rendszerek az aktuális kölcsönhatás szempontjából egyensúlyba kerülnek. Kiegyenlített

nyomás esetén mechanikai-, hőmérséklet esetén termikus-, elektromos potenciál esetén elektromos-, kémiai energia (potenciál) esetén pedig kémiai egyensúlyba.

Mechanikai kölcsönhatás

A szén-dioxid patronban összesűrített gáz kiterjedése során modelleket mozgat, a nagy nyomású gőz gépet, mozdonyt, turbinát hajt meg, a robbanómotorok hengerében kiterjedő gáz járműveket hoz mozgásba. A nagy nyomású gáz tágulása során (térfogati) munkát végez, a tartósan fenntartott nyomáskülönbség pedig energiát raktároz (például a szén-dioxid patron, a sűrített levegő). A halmazok mechanikai kölcsönhatásában a nyomás és a térfogat játszik szerepet. A nyomás kiegyenlítő (intenzív), a térfogat összeadó (extenzív) mennyiség. A térfogati munka ($p\Delta V$) során a nyomáskülönbségben rejlő energia alakul át mechanikai energiává.

Termikus kölcsönhatás

Amíg a mechanikai kölcsönhatás során impulzus- (lendület) változás történik, a termikus kölcsönhatás során a részecskék mozgási energiája a főszereplő. Boltzmann nyomán a részecskék átlagos mozgási energiája arányos a (kelvinben megadott) hőmérséklettel: –

$$E(\text{átlagos mozgási energia}) = 3/2 kT$$

Ez alapján az ideális gázok belső energiája egyenlő a részecskék mozgási energiájának összegével: –

$$U = \Sigma E(\text{mozgási}) = N_A E(\text{átlagos mozgási energia}) = 3/2 N_A kT = 3/2 RT$$

Mivel a molekulák összetettek, nemcsak a testekhez hasonló haladó és forgó mozgást végeznek, hanem a „belső mozgásuk” (például rezgő mozgás, esetleg elektrongerjesztés) is megjelenhet. A forgás és a rezgés, vagy az elektronok energiája azonban csak adagokban, kvantumosan változhat. Ez a magyarázata annak, hogy a hő kettős természetű. A Boltzmann-féle rendezetlen mozgási energia és a Planck-féle sugárzási energia ($E = h\nu = hc/\lambda$) formájában is cserélhető. Az ütközések során a mozgásmennyiséggel a mozgási energia is változik, míg a megfelelő energiakvantumok (fotonok), vagyis a hő- vagy infravörös sugárzás elnyelésével ill. kibocsátásával a belső mozgás intenzitása változik meg.

A termikus kölcsönhatásban a rendszereket a hőmérséklettel és a rendelkezésre álló energiának a szabadsági fokokon történő eloszlásával (az entrópiával) jellemezzük. Amíg a hőmérséklet intenzív mennyiség, az entrópia a szabadsági fokok összeadásán keresztül additív, extenzív mennyiség.

Elektromos kölcsönhatás

Az elektromos töltések vonzásából és/vagy taszításából származó kölcsönhatási energiát az elektromosságtan röviden potenciálnak nevez. Az ellentétes töltések szétválasztása - a közöttük ébredő vonzóerő miatt - munkát igényel (dörzselektromosság, influenciagép, van de Graaf-féle generátor). A tartósan szétválasztott töltések elektromos energiát tárolnak (feltöltött kondenzátor). A töltésvándorlásnak (az elektromos áramnak) a helyzeti energia különbség / potenciálkülönbség, röviden a feszültség a hajtóereje. Ezért az elektromos kölcsönhatásetben a potenciál a kiegyenlítő és a töltés az összeadó jellegű mennyiség.

Kémiai kölcsönhatás

Mi a helyzet a kémiai reakciókkal? A kémiai reakciók között viszonylag ritka az önként lejátszódó folyamat. Az esetek többségében a reakciót be kell indítani és csak ezután folytatódik önként, mint pl. az asztali vulkán, az ammónium-bikromát termikus bomlása esetében. A nitrogén-monoxid a levegővel (oxigénnel) érintkezve önként barnul meg. De a gyufa (amióta vörös foszforral gyártják) sohasem gyullad meg magától.

Egyes kémiai reakciók során rendkívüli mértékben megnőhet a nyomás (ld. robbanószerek alkalmazása). Még egy egyszerűnek látszó sav-bázis reakció, a mész oltása során is változik a hőmérséklet. No és ott vannak az ionreakciók, amikor elektromos töltéssel rendelkező részecskék reagálnak egymással (pl. az ólom-nitrát vagy a higany-nitrát és a kálium-jodid oldatok összeöntésekor lejátszódó ionreakciók).

A kémiában éppen az a szép, hogy nemcsak az anyag, hanem a kémiai reakció is sokoldalú! Pontosabban fogalmazva: Az anyag sokoldalú tulajdonságaiból következően szükségszerű, hogy a kémiai reakciók mögött is sokoldalú változás rejlik. Egyszerre jelenhet meg a mechanikai, a termikus, az elektromos kölcsönhatás, és a kémiai kölcsönhatás mégsem azonos egyikkel sem! Nem, mert a lényegi változás az alacsonyabb szerveződési szinten, az elektronok szintjén következik be. És miután a lényeg, az elektronok átrendeződése befejeződik, elkezdődik az energia átalakulási sorozata, hogy végül olyan formában jelenjen meg, amelyet a környezet vagy a feltalálók által tervezett rendszer „kényszere” engedélyez (ld. gőzgép, robbanómotor, rakétamotor ill. energia átalakító eszközök). Mindez azt jelenti, hogy valójában egyetlen kémiai reakció is összetett folyamat, amelyben az elektronátrendeződést megelőző és követő lépések egymásra utaltak, ezért szorosan egymásra épülnek. Ezért a

„kémiai energia”, szükségszerűen összetett fogalom, ami a színre lépő kölcsönhatásokon kívül a rendszerre és az energia eloszlására vonatkozó információkat is hordozza. Hiszen a kémiai kölcsönhatás intenzív paramétere a kémiai potenciál ($\mu = G/n$), amit a munkavégzés céljából maximálisan hasznosítható energiából (a szabadentalpia-változásból) származtatnak. Az ehhez tartozó energia jellegű fogalom a van't Hoff által bevezetett szabadentalpia, ami az izoterm és nyílt rendszerre a mechanikai és termikus kölcsönhatására vonatkozó energiatagokat tartalmazza:

$$G = U + pV - TS, \quad \text{illetve} \quad \Delta G = \Delta U + p\Delta V - T\Delta S.$$

A belső égésű motorok esetében a gőzgéphez képest a hengerben kémiai reakció játszódik le, mely következtében megváltozik a munkát végző gáz anyagi minősége, szerkezete. Ezzel megváltozik a molekulák belső mozgásának lehetősége (szabadsági foka), ezen keresztül az energia eloszlásának lehetősége, amit a termikus kölcsönhatásra jellemző tag, az entrópiatag ($T\Delta S$) vesz figyelembe.

Az energia sokoldalúsága

A kezdeti félelmét legyőző ősember még csak azt tudhatta, hogy mértékkel érdemes a közelébe húzódni. Nem is tudott róla, de már átalakította egyes fajtáit. A kő, a lándzsa elhajításakor a szőlőcukor biológiai oxidációja fedezte a végzett munka energiaszükségletét.

A megmaradó energia

Az új lehetett az első energia átalakító eszköz. A megmaradó átalakulást még csak tapasztalták, amikor a megfeszített íjban a célzás időtartamára raktározódó energia (izommunka) az ellövés pillanatában a nyílveendőbe költözött. Az energia fontossága, alkalmazhatósága hamar tudatosult. Az egyiptomiak (a Nap energiáját) istenként tisztelték. Arisztotelész (a tüzet) az egyik őselemnek tekintette. Leibniz eleven erőnek, Boyle találóan „tűzrészecskéknek”, Stahl az égés során távozó flogiszonnak vélte. A szántó-vető, a kovács, a bányász praktikus munkavégző képességnek tekintette. A XIX. századtól válik egységesen energiává, de még ma sem tudjuk megmagyarázni, hogy mi az. Történetéhez hasonlóan, mi is csak a használat közben, a tapasztalatok gyűjtögetésével alkotunk fogalmat róla. A zavarba ejtően sokféle megjelenés ellenére szerencsére az azonos viselkedés, a közös tulajdonság mégis átláthatóvá tette/teszi a sokoldalú viselkedést. Bár egyelőre sem

létét, sem tulajdonságait nem tudjuk okokra visszavezetni, tulajdonságai olyan alapvetők, hogy megismerésük óta természeti törvényekké váltak.

Az elveszni látszó energia

A látszat rabságában az energiát jelképező mozgás elvész. Az arisztotelészi világképben ez úgy fogalmazódik meg, hogy a mozgás fenntartása érdekében még az égitesteket is mozgatni kell.

A megmaradást - a mozgásállapot megmaradását - először Newton mondja ki. Igaz ugyan, hogy a tehetetlenség törvényében az energia még nem szerepel, de a mozgásállapot "megtartása" egyúttal a sebesség, és ezen keresztül a mozgási energia állandóságát is jelenti. A tehetetlenség törvénye tehát (az energia szemléletben) a mozgási energia megmaradásával egyenértékű.

Az átalakuló energia

Az energiatípusok egymásba történő átalakulását először szintén a mechanikai jelenségekben, például a sokat vizsgált inga mozgása során követték nyomon. A helyzeti és a mozgási energia átalakulása során összegük, a mechanikai energia állandóságát, ezzel az átalakulás megmaradó jellegét Leibniz ismerte fel.

A mechanikai energia megmaradása azonban csak ideális esetben teljesül, ha a súrlódásból vagy közegellenállásból adódó veszteségektől eltekintünk. A felismerésnek mégis van valóságtartalma. Hiszen légüres térben a Nap körül keringő bolygókra vagy az atommag által fogva tartott elektronokra nem hat sem súrlódás, sem közegellenállás.

A súrlódás közben elveszni látszó energiát Rumford mutatta ki. Úgy gondolta, hogy fúrás közben a mozgási energia nem vész el, csak átalakul, hővé válik. Ezért melegszik fel az ágyúcső. Mivel a „hőanyag” tömegét mérhetetlennek találta, úgy gondolta, hogy a hő nem lehet más, mint a testet felépítő részecskék mozgási energiája.

A XVII-XVIII. század technikai vívmányai az energia sokoldalú átalakulási lehetőségeinek felfedezéséhez vezetnek. Már megszületik a hőerőgép, a galvánelem, az elektromotor, a dinamó, amikor a hőről még mindig keveset tudnak. A tudományterületeken párhuzamosan folynak az aprólékos mérések. Kezdetben csak a kísérletek megismételhetőségét, a mért adatok közötti összefüggések állandóságát fedezték fel. De hamarosan kiderült, hogy a mérések minden esetben az energia megmaradását bizonyították.

A Boyle-Mariotte törvény ($pV = \text{állandó}$, ha T állandó) egyelőre rejtett formában, a gázokra mondja ki a mechanikai energia (pV), vagyis a

belső energia állandóságát. Hiszen a hőmérséklet állandósága miatt a részecskék átlagos mozgási energiája, és ezzel az összegük is állandó. A Gay-Lussac törvények feltárt állandósága mögött ($V/T = \text{állandó}$, ha $p = \text{állandó}$ ill. $p/T = \text{állandó}$, ha $V = \text{állandó}$) a megismételhetőség, az energia megmaradó átalakulása rejlik.

A hőerőgépek megjelenésével munkába fogják a hőt. A hő mozgási energiává történő alakítása során a mechanikai energia megmaradásának elvét Carnot alkalmazza először. Az energiamegmaradás törvényét a tágulási jelenségekre azonban Robert Mayer mondja ki, a Gay-Lussac törvények elemzése alapján. De még ez a törvény sem általános érvényű, hiszen csak a hő átalakítására, mechanikai hasznosítására vonatkozik.

Az energia történetében a kémia megkésve, csak a gőzgépek megjelenésekor lép színre. Mert hiába nevezik ezeket hőerőgépeknek, ha a hőt kémiai reakció termeli, és kémiai energiahordozóktól származik. Az atomok kölcsönhatásában rejlő kémiai energia hővé történő átalakulására Hess mondja ki a megmaradás törvényét.

Joule az elektromos áram hőtermelésére igazolja az energia megmaradó átalakulását. Rumford elképzelésének befejezéseként pedig kiméri a mechanikai munka hőegyenértékét is.

Miután az elődök kölcsönhatás páronként bebizonyították az átalakulás megmaradó jellegét, Helmholtz általánosítja az energiamegmaradás törvényét. Ekkor születik meg az energia kölcsönhatástól már elvonatkoztatott fogalma.

A cserélhető energia

Leibniz, majd Rumford feltételezte, hogy az elveszni látszó energia a testet alkotó részecskék mozgási energiájává alakul, és a részecskék között oszlik el. Maxwell és Boltzmann (a kinetikus gázelmélet kidolgozásakor) a sorozatos ütközések során bekövetkező impulzuscserével képzelte el a mozgási energia változását, ezzel az energia átadását és fokozatos eloszlását. A cserélhető energiával megjelenik az energia-eloszlás lehetősége és kiderül a fontossága is (entrópia).

Az osztható energia

Ha valami eloszlik, akkor annak oszthatónak kell lennie. Már Mariotte feltételezte, hogy a hő sugárzással is terjedhet. Boyle megfigyelte, hogy a „tűzrészecskék” az üvegen áthatolva is képesek tüzet gyújtani. Az energia ilyen típusú megjelenését azonban csak akkor

kezdték komolyan venni, amikor Hertz előállította az elektromágneses hullámokat, és ezzel az elektromos energiát sugárzási energiává alakította.

Az elektromágneses hullámok felfedezése után Planck a testek által kibocsátott hőmérsékleti sugárzás keletkezését is a töltéssel rendelkező részecskék rezgő mozgására vezette vissza. Elképzelése szerint - a rezgő húrhoz hasonlóan - minden egyes rezgési állapothoz meghatározott frekvencia és energia tartozik. Az alapállapotba történő visszatéréskor, vagyis a rezgési gerjesztett állapot megszűnésekor ez az energia sugárzódik ki a meghatározott energiájú adagokban ($E = h\nu$). Mariotte sugárzásában terjedő Boyle-féle „tűzrészecskéket” Planck nyomán Einstein fotonoknak nevezte el. Ezzel kiderült, hogy az energia nemcsak eloszlik, hanem kvantumokban is osztható. Az elektromágneses sugárzásban rejlő energia a kvantumok elnyelődésével „költözik” az anyagba.

A biológiai energiatermelés megismerése során derült ki, hogy nemcsak az elektromágneses sugárzás formájában terjedő energia kvantált. Hiszen az élő szervezetek egységesen az ATP (foszforilációs) reakciói során felszabaduló energiát, a „biológiai energia kvantumát” hasznosítják.