

Az energiafogalom kialakítása a 6. osztályos új fizika tankönyvben

Az energia a természettudományok (így a fizika) egyik legáltalánosabb elvont fogalma. Az energia fogalom teljes mélységében való tanítására ezért nem vállalkozhat az általános iskola. Meg kellett azonban vizsgálni, hogy e fizikai fogalomból mit, mennyit, hogyan dolgozzunk fel alapfokon. A vizsgálódáshoz a fizikatudomány által az energiafogalomra vonatkozó legfőbb megállapításokból lehetett kiindulni. Eszerint: *„Egy rendszer bármely állapotához az állapothatározók egyértékű skalár függvénye, az energiafüggvény rendelhető. Az energiafüggvény más és más állapothatározóktól függő tagjait más és más energiának nevezzük. A rendszer különböző állapotaiban más és más az energiafüggvény értéke, amit úgy mondunk, hogy más és más a rendszer energiája. A rendszer energiája extenzív, vagyis a rendszer tagjainak energiájából összetevődő mennyiség. A környezetével semmiféle kölcsönhatásban sem álló rendszer tagjainak energiái a rendszer tagjai között fellépő kölcsönhatások során úgy változnak, hogy összegük változatlan.”* (Bor-Halász-Kövesdi: Az energia és a munka fogalmának kialakítása . . . Fizika Tanítása, 1977. 4. szám, 110. lap.)

Megfontolt vélemények és a kísérleti tapasztalat alapján – definícióigény nélkül – már az általános iskolában megalapozható olyan általános energiafogalom, amely közép- és magasabb szinten jól továbbépíthető, illetve a társ-természettudományokhoz kapcsolódó tantárgyak keretében is hasznosítható. Kialakítható olyan szemléletmód is, hogy az energia nem önállóan létező objektív valóság, hanem az anyagi rendszer (test, mező) egy-egy állapotának mennyiségi jellemzője. Jól felismertethető, hogy a környezettől „elszigetelt” rendszerben a rendszert alkotó testek közötti kölcsönhatások miatt a rendszerben energiaváltozások mehetnek végbe, ezeknek az energiaváltozásoknak összegzése azonban nullát eredményez, mert a rendszeren belül fellépő energia-növekedés ugyanakkora energiacsökkenéssel jár együtt.

Az energia fogalmának kialakítása a kölcsönhatásokra épül. Az energia megismertetését azzal kezdjük, hogy felismertetjük, van a testeknek melegítőképessége, és tudatosítjuk, hogy ilyen képességgel nemcsak a magasabb hőmérsékletű test rendelkezik. Így pl. melegítőképességgel rendelkezik az éghető anyag, az elektromos hálózat, a napsugár, a mozgó test, a megfeszült rugó stb. Az említett testek melegítőképességét tapasztalatok és kísérletek alapján vetetjük észre.

A témakör második órájában tanuló kísérletekkel erősítjük azt a tapasztalati tényt, hogy a testek melegítőképessége általában különböző mértékű. Így pl. összedolgozó, csoportos munkavégzés keretében mennyiségileg vizsgálják – zárt rendszert tételezve fel – a 100 g 20 °C-os és 100 g 40 °C-os víz, a 100 g 20 °C-os és 100 g 60 °C-os víz, illetve a 100 g 20 °C-os és 200 g 40 °C-os víz hőmérséklet-változását eredményező kölcsönhatást. Megvizsgálják az ugyanazon szegre azonos sebességgel csapódó kisebb, illetve nagyobb tömegű, majd a különböző sebességgel ütköző kalapács, valamint gyengébben és erősebben megfeszített rugó melegítőképességét. A tapasztalatok és kísérletek elemzését követő általánosítás: A testek melegítőképessége különböző lehet. Közlés: A testek melegítőképességét mennyiségileg az *energiával* jellemezzük. A mérőkísérletek alapján a tanulók összehasonlítást tehetnek. Ugyanazon testnek magasabb hőmérsékleten nagyobb a melegítőképessége, nagyobb az energiája. Azonos anyagú és egyenlő hőmérsékletű testek közül a nagyobb tömegűnek nagyobb a melegítőképessége, nagyobb az energiája.

Tanulóink számára már ismert, hogy a test állapota – külső hatásra – kölcsönhatás közben változik. Ezen ismeret itt tovább bővül: a test állapotváltozásával egy időben változik energiája is. Az állapotváltozást, s így a velejáró energiaváltozást is valamilyen állapotjelző változása jelzi. Egy test különféle állapotjelzőkkel jellemzett állapotához különféle elnevezésű energiák tartoznak. Azt az energiát, amely a test sebességnövekedése közben nő, mozgási energiának, amely a feszítettség fokozódásával nő, rugalmas energiának, amely a hőmérséklet emelkedésével nő, belső energiának nevezzük. Ez utóbbinál tájékoztatásként ekkor csak annyit közlünk, hogy felmelegedéskor, illetve lehűléskor az energiaváltozás a test belsejében lejátszódó, közvetlenül nem látható változással kapcsolatos. (Mélyebb értelmezésre az anyagszerkezeti ismeretek feldolgozásakor kerülhet sor.)

A következőkben – Az energiaváltozások című tanítási egység feldolgozásakor – általánosítottan azt vetetjük észre, hogy „*a testeknek van olyan képességük, hogy kölcsönhatás közben más test hőmérsékletét emelhetik, sebességét növelhetik, vagy feszítettségét fokozhatják, esetleg másként változtatják meg állapotát. A testeknek ezt a képességét az energiával jellemezzük.*” (Fizika 6. munkatankönyv. Tankönyvkiadó, 1978. 69. lap.)

Az általánosítást megelőző munkáltatás elemző munkát igényel a tanulóktól. Pl.: mozgó golyó megtámasztott, laza rugónak ütközik. Elemezd a kölcsönhatást! Hogyan változik az állapotváltozás közben a golyó mozgási energiája, a rugó rugalmas energiája? Kalapáccsal üllőn fekvő szögre ütünk. Elemezd a kölcsönhatást! Hogyan változik ütközéskor a kalapács mozgási energiája, a szög belső energiája? Tolatáskor álló vasúti kocsinak mozgó vasúti kocsit ütközik. Elemezd az energiaváltozásokat! (Változik a kocsik mozgási energiája, az ütközők rugalmas és belső energiája.)

A kölcsönhatások vizsgálatánál felismertetjük a gravitációs mező létét, a gravitációs kölcsönhatás realitását. Mindennapos tapasztalat, hogy földi körülmények között mind a szabadon eső, mind a „felfelé” dobott test mozgásállapota változik (szabadon eséskor nő, felfelé dobás után pedig az elért legmagasabb pontig csökken a test sebessége). E változással a kölcsönhatás másik résztvevőjének, a gravitációs mezőnek is változik az állapota. Mindkét résztvevő állapotváltozásához energiaváltozás is tartozik. Pl.: miközben a szabadon eső test mozgási energiája nő, a gravitációs mező energiája vagy a Föld-gravitációs, mező-test gravitációs kölcsönhatási energiája csökken, avagy a felfelé dobott test mozgási energiájának csökkenésekor a gravitációs mező energiája, vagy a gravitációs kölcsönhatási energia nő. Jól látható, hogy e tárgyalásmódba nem illeszthető be azon régi megfogalmazás, hogy szabadon eső testnél amennyivel nő a test mozgási energiája, ugyanannyival csökken *ugyanazon* test helyzeti energiája. Az ellentétes jellegű változás itt is feltétlenül a kölcsönhatás *másik* résztvevőjén, illetve a rendszeren következik be.

A munka fogalmának kialakításakor azt is tisztázzuk, hogy a gravitációs mező energiaváltozása (a gravitációs kölcsönhatási energia változása) ugyanannyi, ha ugyanazon testet a földszintről feldobjuk az első emeletre, vagy pl. kötél segítségével egyenes sebességgel, lassan felhúzzuk azt. Ez utóbbi esetben nemcsak a test és a gravitációs mező, hanem a test és a felhúzó végző munkás kölcsönhatását is figyelembe kell venni. Ilyenkor az egyenesen emelkedő test (melynek mozgásállapota, és így mozgási energiája emelés közben nem változik) tulajdonképpen a „fogantyú” szerepét tölti be, segítségével változtatja a munkás a gravitációs mező állapotát, és így annak (ill. a rendszernek) az energiáját (emeléskor a munkás energiája csökken, a gravitációs mező energiája [a gravitációs kölcsönhatási energia] nő.) Így a munkavégzés az energiaváltozás egyik módja. A végzett munka, illetve az energiaváltozás mértékegységeként itt vezetjük be az $1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J-t}$ (1 newtonméter = 1 joule).

Amennyiben a kölcsönhatás erőhatással és elmozdulással kapcsolatos, akkor az energiaváltozás munkavégzés közben történik. Hamarosan kiderül azonban a tanulók számára is, hogy a munkavégzés csak egyik módja az energiaváltozásnak. Egy másik mód – a termikus kölcsönhatás – részletesebb feldolgozásához a legalapvetőbb anyag-szerkezeti ismeretekkel való foglalkozás nyújt segítséget.

Általános iskolai szinten bemutatható, illetve elvégezhető (és az eredményesség kockázatát nélkül el nem hagyható) kísérletek alapján azt állapítjuk meg, valószínűsítjük a tanulóknál, hogy minden test állandóan mozgó, még mikroszkóppal sem látható, kis részecskékből áll: egy adott anyag részecskéi egyformák, de különböznek más anyagú testek részecskéitől: az anyag részecskéi szakadatlan mozgásának az anyag különböző halmazállapotaiban minőségi különbségei vannak; a részecskék között igen kis hatótávolságú erőhatások működnek. Ennyi anyag szerkezeti ismeret elegendő ahhoz, hogy a belső energiaváltozás lényegét már a 6. osztályos gyermekek is megértsék.

Kiinduló kísérlet: Szobahőmérsékletű és 80–90 °C hőmérsékletű vízbe 1–1 mokkacukor és néhány kálium-permanganát-kristály helyezése. Elemző kérdések: Mi lökdöste szét a kálium-permanganát és cukorrészecskéket? Miért a meleg vízben lökdösdöttek szét hamarabb a szilárd testek részecskéi? A magasabb hőmérsékletű víz részecskéi sebességgel mozognak. Mivel a magasabb hőmérsékletű víz részecskéinek nagyobb a sebességük, nagyobb energiájuk is.

Általánosításként megállapítható, hogy a szilárd testek és folyadékok belső energiája részecskéik rezgésével kapcsolatos (adott test esetén a nagyobb tágasságú rezgés nagyobb belső energiával jár együtt), gázoknál pedig a belső energia a részecskék mozgási energiáinak összege (miután ott a részecskék között nem vesszük figyelembe a mező létezését).

Egy test belső energiáját sűrűdési munkavégzéssel növelhetjük. Hőmérő folyadéktartályán végzett sűrűdési munkavégzéssel megmutatjuk, hogy a sűrűdési munkával (belsőenergia-növekedéssel) arányos a bekövetkező hőmérséklet-emelkedés. Ez alapján általánosítunk: azonos halmazállapotú testeknél a belsőenergia-változására a hőmérséklet változásából következtethetünk. Leggyakrabban azonban különböző hőmérsékletű testek tartós érintkezésekor változik meg mindkét test belső energiája. A belső energia változásának azt a módját, amely különböző hőmérsékletű testek közötti munkavégzés nélkül jön létre, *termikus kölcsönhatásnak*, a bekövetkező belsőenergia-változást hőmennyiségnek (hőnek) nevezzük.

Kvalitatív bemutató kísérlet alapján állapítjuk meg, hogy egyenlő tömegű, különféle anyagú folyadékokon végzett egyenlő nagyságú sűrűdési munka, tehát egyenlő belsőenergia-növelés különböző hőmérséklet-változást eredményez. Különböző anyagú, egyenlő tömegű folyadékok azonos mérvű hőmérséklet-emelkedését különböző sűrűdési munka eredményezi. Az 1 kg tömegű különféle folyadékok hőmérsékletének 1 °C-kal történő emeléséhez szükséges sűrűdési munka, illetve belsőenergia-növekedés jellemző az anyagra. Így vezetjük be a fajhőt, ennek jelét és mértékegységét, majd értelmezzük a fajhőt tartalmazó táblázatot. A belső energia változása a tömeg, illetve hőmérséklet-különbség, valamint a fajhő közötti összefüggés értelmezésével eljutunk a $E_p = c \cdot m \cdot \Delta T$ képlet használatáig, a fajhő, a tömeg és a hőmérséklet-változás ismeretében a belső energia változásának kiszámításáig. Ez az összefüggés alkalmas arra, hogy a termikus kölcsönhatás eredményeként bekövetkező belsőenergia-változást kiszámítsuk. A számítási képlettel sohasem egy adott test összes változtató képességét, összes energiáját számítatjuk, hanem mindig csak a változást!

Nagyon tanulságos a tanulók számára, hogy fizikai gyakorlat keretében kétrésztvevős termikus kölcsönhatásnál a belsőenergia-növekedést, illetve csökkenést kiszámítják és összehasonlítják. 50 g szobahőmérsékletű vízbe 50 g – forrásban levő vízben –

100 °C-ra melegített fémdarabot helyezünk. A tömegek, fajhők, a hőmérsékletek kiegyenlítődéseiig tartó hőmérséklet-változások ismeretében kiszámíthatató és összehasonlítható a víz belső energiájának növekedése, a fémdarab belső energiájának csökkenése. A tanulói mérések és számítások tapasztalatai alapján e két mennyiség jó közelítésben megegyező, tehát igazolódik, hogy egy kölcsönhatásban a két résztvevőnél az energiacsökkenés, illetve energianövekedés egyenlő.

A belső energia termikus kölcsönhatás keretében történő változásáról tanultak mélyítését jól segíti pl. a következő gyakorlati feladat elemzése: Felmelegített acélt hideg olajba teszünk. Válaszolj a következő kérdésekre! Létrejön-e kölcsönhatás? Mi jelzi az állapotváltozást? Hogyan változik az olajrészecskék mozgása? Milyen energia változásával jár együtt ez az állapotváltozás? Hogyan változik a kétféle hőmérsékletű test energiája? Miért mondhatjuk, hogy a felmelegedett acélnak van energiája? Hogyan lehetne növelni pl.: a 80 °C-os acél belső energiáját? Megbeszéljük azt is, hogy pl. a 100 °C-os víz nemcsak hőmérséklet-változást tud létrehozni, hanem egyes műanyagokat meglágyít, a húst megpuhítja, a tojást megkeményíti, az emberi bőrön roncsolódást okoz stb.

Tapasztalatokra hivatkozva (napsugarak, befűtött kályha stb.) megemlítjük, hogy a láthatatlan hősugaraknak is van melegítő képessége, sugárzás elnyelődésekor is megváltozik a test belső energiája.

A halmazállapot-változásokat, a halmazállapot-változás közben bekövetkező belsőenergia-változásokat a tankönyv a III. témakörben dolgozza fel. Az olvadást, fagyást az eddigi fixírsós kísérlet helyett a gyógyszerárakban forgalmazott szalollal ($\text{HO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{C}_6\text{H}_5$ fenil-szalicilat) javasoljuk bemutatni. A fixírsó 48 °C-on nem olvad, hanem bomlik, és a kristály vizében oldódik, olvadáspontja ennél jóval magasabb hőmérsékleten van. A szalol olvadáspontja 41 °C. A szalolt vízfürdőben melegítjük, illetve hűtjük (a túlhűlést kavargatással előzzük meg), és a folyamat során mind a szalol, mind a víz hőmérsékletét mérjük. A víz hőmérséklet-változása jól mutatja a kölcsönhatás egyik résztvevője belső energiájának növekedését, illetve csökkenését. A másik résztvevő, a szalol belső energiájának változását 41 °C-nál sem melegítésnél, sem hűtésnél egy-egy időtartamig nem jelzi a hőmérő. Eddigi ismereteink alapján azonban a másik résztvevő – a víz – belső energiájának növekedéséből vagy csökkenéséből arra következtethetünk, hogy a szalol belső energiája eközben is csökken, illetve nő. Egyidejűleg megfigyelhetők, hogy ugyanezen időtartam alatt változik a szalol halmazállapota. Így a fagyás-, ill. olvadásponton, valamint a forrásponton a belső energia változására utaló „állapotjelző” a halmazállapotváltozás.

A tanulók ismeretei jól rendszerezhetők, mélyíthetők hőtani grafikonok elemzésével. Grafikonon ábrázolhatjuk pl. az 1 kg -20 °C-os jég 150 °C-os vízgőzzé alakításának folyamatát. A grafikon-görbe *a*)-val jelezhető szakaszán a víz belső energiájának növekedését a hőmérséklet-növekedés (0 °C-ig), *b*)-vel jelzett szakaszán (olvadás) a halmazállapot-változás, *c*)-vel jelzett szakaszán (0 °C és 100 °C között) a hőmérséklet-változás, *d*) szakaszán (100 °C-on) a forrás, *e*)-vel jelzett szakaszán (100 °C és 150 °C között) ismét a hőmérséklet-növekedés jelzi. Közben a másik partner, pl. a borszeszégő belső energiája folyamatosan csökken, és ez esetben a belső energia csökkenését nem a láng hőmérsékletének csökkenése, hanem a tüzelőanyag kémiai változás (égés) közben bekövetkező tömegcsökkenése jelzi.

A halmazállapot-változásoknál nem használjuk a „hőt vesz fel”, „hőt ad le” kifejezéseket, hanem helyette a belsőenergia-változásra utalunk. Pl. 1 kg 0 °C-os jég 0 °C-os vízzé alakulásakor 340 kJ-lal nő a test belső energiája (és ennyivel csökken a környezet, a másik résztvevő energiája). Az olvadáshő, fagyáshő, forráshő nem törzsanyag, ezeket csak a hőtani adatokat tartalmazó táblázat alapján elemezzük. Ugyan-

csak kiegészítő anyagként értelmezhetjük a halmazállapot-változással együttjáró belső-energia-változást anyagszerkezeti szempontból is. Pl. az olvadásra vonatkozóan: „Az olvadó test térfogatnövekedése azt jelenti, hogy a részecskék távolodnak egymástól. Ilyenkor a részecskék és a közöttük levő mező energiája (kölcsonhatási energia) nő. Az anyag részecskéinek olvadáskor való távolodása következtében annyira csökken a közöttük ható erő, hogy már nem képes helyhez kötni őket. A test cseppfolyósodik.” (Fizika 6. munkatankönyv, 140. lap.) A fagyásra vonatkozóan: „Fagyáskor az anyag részecskéi közelednek egymáshoz, az elektromos kölcsonhatási energia, és így a test belső energiája csökken.” (Fizika 6. munkatankönyv, 145. lap.) A párolgásra vonatkozóan: „A párolgás a folyadék-részecskék rendezetlen mozgásának a következménye. A folyadékfelszín közelében mindig vannak akkora sebességgel fölfelé haladó részecskék, amelyek a többi részecske vonzása ellenében is kilépnek a folyadékból. A magasabb hőmérsékleten több ilyen részecske van. Nagyobb felszínen keresztül több részecske képes kilépni. A gőzmentes tér több gőzrészecskét képes befogadni, mint az, amelyikben már van gőz. A párolgó folyadék azért hűl, mert benne a kisebb sebességű részecskék maradnak.” (Fizika 6: munkatankönyv, 149. lap.)

Összegezve: Az energia fogalmának a 6. osztályban történő bevezetése lényegében (a tanárok számára fogalmazottan) az alábbiakat jelenti: Az energia mennyiségi jellemző, mellyel az anyagi valóság egyik tulajdonságát, a változtató képességét jellemezzük. (Szokás ezt a képességet kölcsonható képességnek, változást létrehozó képességnek is nevezni.) Tehát a létező, a valóság – az anyagi objektum – egyik tulajdonsága jellemezhető az energiával. Az energia tehát nem önálló szubsztancia, hanem az anyagi rendszer egy tulajdonságának mennyiségi jellemzője. Ez a mennyiség a rendszer állapotától függ. Ha a rendszer állapota változik, akkor a rendszer energiája is változik. Az energiaváltozás két fő módja: a munkavégzés és a termikus kölcsonhatás.

Az eddigi tapasztalatok szerint ilyen terjedelemben és mélységben eredményesen alapozható a 6. osztályban az energia fogalma. A helyes szemléletmód kialakítása után nem okoznak a tanulóknál problémát az energiaátvitel, energiahordozó stb. félreérthető, de a köznapi szóhasználatban előforduló kifejezések sem.

