

3.1. A kölcsönhatások típusai és azok megjelenése az oktatásban

Írta: dr. Radnóti Katalin

Kulcsszavak: elektromágneses kölcsönhatás, erős kölcsönhatás, felületi feszültség, gravitáció (tömegvonzás), gyenge kölcsönhatás, kémiai kölcsönhatás, mágneses kölcsönhatás, mechanikai kölcsönhatás, termikus kölcsönhatás

A természettudományok oktatási folyamata során gyakran beszélünk különböző kölcsönhatásokról, mint például mechanikai és termikus kölcsönhatás. Melyek ténylegesen az alapvető kölcsönhatások? Az alábbiakban bemutatjuk, hogy a természetben valójában négy alapvető kölcsönhatás létezik: a gravitációs, az elektromágneses, a gyenge és az erős kölcsönhatás.

3.1.1. A gravitációs és az elektromágneses kölcsönhatás

A gravitációs kölcsönhatás

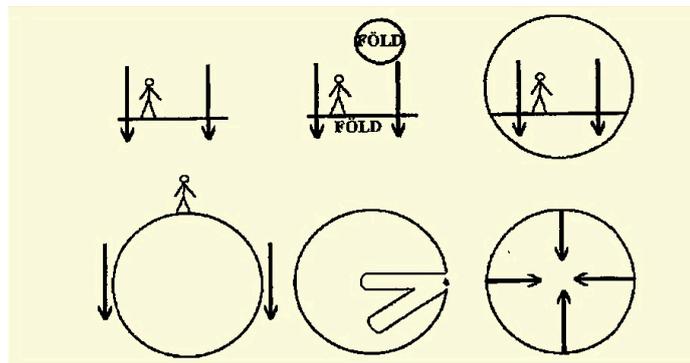
A **gravitáció (tömegvonzás)** a leggyengébb kölcsönhatás, mivel csak a testek tömegétől függ, hatótávolsága végtelen, és nem lehet úgy leárnyékolni, mint az elektromágneses kölcsönhatás esetén a negatív töltés terét egy pozitívval, ezért a nagyobb távolságok esetén (például a bolygók és a csillagok között) ennek a hatása a döntő. Végtelen hatótávolsága miatt a gravitáció felelős a nagy skálán kialakuló olyan alakzatok, mint a galaxisok, a fekete lyukak, a csillagködök szerkezetéért, a Világegyetem tágulásáért, a bolygók pályájáért, valamint a köznapi életben gyakran tapasztalt jelenségekért, mint például, hogy a testek leesnek, vagy ha felugrunk, akkor visszaesünk. A gravitáció volt az első kölcsönhatás, amelyet matematikai összefüggésekkel leírtak. *Isaac Newton* (1642–1727) egyetemes tömegvonzási törvénye (1687) nagyon jó közelítése a gravitációs kölcsönhatás viselkedésének. 1915-ben *Albert Einstein* (1879–1955) kidolgozta az általános relativitáselméletet, a gravitáció még pontosabb elméletét, amely azt a téridő geometriájaként írja le.

A gravitációs kölcsönhatásról szó kell, hogy essen a természetismeret tanulása során is. Azt kell kiemelni, hogy ez a kölcsönhatás a felelős azért, hogy a Földön lévő testek nem repülnek le róla. Mivel a mindennapi életünkben természetesnek vesszük a létezését, ezért az emberiség története során sokáig fel sem merült kérdésként, ahogyan a gyerekek számára sem kérdés. Éppen ezért a tanítás során fontos e ténynek problémaként történő

megfogalmazása. A téma feldolgozása szorosan kapcsolódik a gyerekek Föld-képének alakulásához is, amelynek több fő lépése különíthető el.

A tanulók gravitációval és a Földdel mint bolygóval kapcsolatos elképzelésének alakulása

A gyermekek Földdel kapcsolatos képzetének kialakulási folyamata hat, egymástól viszonylag jól elkülöníthető szakaszra osztható. Ezek a szakaszok azonban nem kihagyhatatlanok, vagyis egy-egy tanulónál nem biztos, hogy mindegyik szakaszt észlelhető. Az alábbiakban, annak érdekében, hogy segítsük a gyerekeket a gravitációs kölcsönhatás és az égitestek gömb alakja közötti kapcsolat megértésében, összefoglaljuk a **Föld-képzet változásának szakaszait** (3.1. ábra).



3.1. ábra. A gyermeki Föld-képzet alakulásának fázisai (forrás: Nahalka I. 2002)

1. A kisgyermek kezdetben laposnak gondolja a Földet, mely képzet a közvetlen tapasztalatok alapján alakul ki, hiszen például a leejtett tárgyak a felszínre merőlegesen esnek le, az égitestek pedig a Föld körül keringenek.
2. A lapos Föld-képzet hamar ellentmondásba kerül azzal, hogy napjainkban egyre több helyről (például a televízióból, idősebb testvérektől, szülőktől) a gyermekek tudomást szereznek arról, hogy a Föld egy gömb alakú test, amely lebeg a Világegyetemben. Ezek hatására érdekes képzet alakul ki. Amikor azt kérjük a gyerekektől, hogy rajzolják le a Földet a rajta lévő házakkal, fákkal stb. együtt, többen rajzolnak egy lapos és mellé egy gömb alakú Földet, vagyis mintegy megkettőzik a bolygónkat.
3. A következő fejlődési fokozatban a gyermekek egy része úgy képzei, hogy a Föld gyakorlatilag azonos a rá boruló égbolttal, a Világmindenséggel.
4. A következő érdekes képzet a Föld gömb alakjának elfogadása, ugyanakkor egy abszolút függőleges irány feltételezése. Sok gyermek rajzol már gömb alakú Földet, de házakat, fákat stb. csak a gömb tetejére rajzol. Ha megkérjük őket, hogy ugyanezt rajzolják le a Föld egy másik részére is, akkor új ábrát készítenek, de ott is csak felülre rajzolnak. Előfordul az a gondolati probléma, hogy a nagy mennyiségű víz (például az óceán, de a nagy folyó is) miért nem folyik le a Földről. Ez arra utal, hogy ekkor még egy abszolút függőleges irányban gondolkodnak a gyerekek, és még nem ismerik a gravitáció jelenségét.

5. Érdekes rajzokat kaphatunk, ha azt kérjük, hogy gondolatban dobjanak le egy tárgyat a Föld különböző helyeiről, és rajzolják le, hogyan fog esni. Rajzaikon a tárgy vagy kikerül a Világegyetembe, vagy „ferdén” esik, nem a Föld középpontja felé.
6. Végül kibontakozik a gömb alakú Föld képzete, ahol a leejtett tárgyak már a Föld középpontja felé esnek.

Erre a fejlődési fokozatra kell elérniük a tanulóknak a 6. évfolyam végére annak érdekében, hogy a 7. évfolyamon belépő fizika és földrajz tantárgy tanulása eredményes legyen. Például az alábbi feladat adható a gyerekeknek ezzel kapcsolatban:

Az ábrán a kör a Földet, vagyis az otthonunkat jelentő bolygót jelképezi. Képzeld el, hogy hatalmas üvegeket vagy műanyag flakonokat akarunk elhelyezni az Északi-és a Déli-sarkon, valamint a bolygó két átellenes (ellenlakó) pontjain!

Rajzold ezeket a képzeletbeli, hatalmas palackokat a Földre!

Ezután képzeld el, hogy a palackokat félig töltjük tintával! Színezd ki a palackokat úgy, ahogyan elhelyezkedik bennük a tinta!

A helyes „választ” az ábra alsó része mutatja.

A tudomány története során a gravitációs kölcsönhatás és a mágneses kölcsönhatás felismerése szorosan összekapcsolódott. *Johannes Kepler (1571–1630)* még azt gondolta, hogy a Föld és a Nap között ez a kölcsönhatás működik, és ezért maradnak a bolygók a Nap körül. E gondolat háttérében az állt, hogy ekkor már ismert volt, hogy a Föld egy nagy mágnesnek tekinthető, amit fel is használtak a tájékozódás segítésére az utazásokkor. A gyermekek tanulási folyamatában sok esetben jelennek meg a tudomány története során kialakult elképzelések, így van ez a kölcsönhatások megismerésével is. A gravitációs, az elektromos és a mágneses kölcsönhatásokat mintegy differenciálni kell a gyermekek tudásrendszerében. A világos elkülönítést meg kell tenni sok vizsgálattal, kísérlettel és azok tapasztalatainak az elemzésével.

Az elektromágneses kölcsönhatás

Az **elektromágneses kölcsönhatás** az elektromosan töltött részecskék között hat. Magában foglalja a két nyugvó töltés között ható elektrosztatikai erőt, valamint az elektromosság és a mágnesség összetett hatásait, amelyek az egymáshoz képest mozgó töltött testek között hatnak. Az elektromágnességet klasszikus esetben a Maxwell-egyenletek írják le, melyeket a 19. század második fele óta ismerünk. Az elektromágnesség elég erős, hosszú hatótávolságú kölcsönhatás, felelős sok köznapi jelenségért, mint amilyen az izzó, a lézer és a rádió működése, a fémek és a molekulák szerkezete, a sűrűdés és a szivárvány. A kémiai változás

az atomok és molekulák elektronszerkezetéhez köthető átalakulás, amely valójában elektromos és mágneses kölcsönhatás. Az élőlények számára is a kémiai folyamatok, azaz az elektromágneses kölcsönhatás biztosítja az energiatárolást és energiafelhasználást, tehát valójában a biológiai jellegű energiák is elektromágneses eredetűek.

A fenti elektromágneses kölcsönhatás a közoktatásban két külön elemre bomlik, ahogyan az a tudomány történetében is történt. A két kölcsönhatás összekapcsolódása csak az indukció jelenségének tanításakor jelenik meg a 8. illetve a 10. évfolyam fizika tananyagában. A természetismeret tanítása során, mint két különböző kölcsönhatást kell feldolgozni. Érdekesebbé tehető a vizsgálódás, ha gondolatban visszamegyünk abba a történelmi korba, amikor ezeket a kísérleteket, méréseket először elvégezték. A téma kiválóan alkalmas arra is, hogy egyben a tudomány természetéről, a tudományos ismeretszerzés módszereiről, a hipotézisek, kísérletek, tudományos eszközök, analógiák szerepéről, a tudományos ismeretrendszer alakulásáról, fejlődéséről is lehessen beszélgetni a tanulókkal (*Zemplén G. 2011*). Vázzuk fel dióhéjban az elektromos és mágneses jelenségek korai történetét, ami jó lehetőséget kínál a téma iránti érdeklődés felkeltésére és egyben a történelem tantárgyhoz való kapcsolódásra is.

A mágnesesség és az elektromosság jelenségét az ókori görögök óta ismerjük. *Milétoszi Thalész* (Kr.e. 624–546) felfedezte fel, hogy a mágnesvasérc vonzza a vasat és más mágnesvasérceket, a 17. század elejéig a mágnesvasérceket tekintették a mágneses erő egyetlen forrásának. Hozzá vezet vissza az a felismerés is, hogy a borostyánkő erős dörzsölés után képes könnyebb tárgyakat magához vonzani. (A régi görög „elektron” (magyarul borostyánkő) szó a mai napig utal erre a kapcsolatra.) Az ókorban általánosan ismert volt már, hogy míg a mágnesvasércek megtartják a maguk különleges tulajdonságait, addig a borostyánkő vonzási képessége általában rövid idő után kimerül, időnként újra és újra meg kell dörzsölni, hogy megtartsa különleges képességét. Az első iránytűk megalkotásának idején kifejezetten fontos lett vonzási tulajdonságuk, valamint az, hogy a mágnesvasércek és később a mágnesezett tűk egy határozott irányba (észak–dél) állnak (fordulnak) be. A jelenségnek fontos szerepe lett a tengeri navigációban és a földfelszín alatti tájékozódásban (például a bányászat során), továbbá elősegítette a földmérést és az ágyúk pontosabb irányzását. A borostyánkő és a mágnes különböző kölcsönhatásainak világos és egyértelmű elkülönítése mégis sokáig váratott magára. *Girolamo Cardano* (1501–1576) volt az első tudósok egyike, aki rámutatott, hogy nem csak hasonlóságok, de különbözőségek is megfigyelhetők a két különböző kőzet vonzási hatásában. A részletes, szisztematikus vizsgálatokat az angol *William Gilbert* (1544–1603) végezte el 1600 körül, amelyet latin nyelven le is írt a fejezet elején már említett „De Magnete” című könyvében, ami az elektromos és a mágneses jelenségek alapvető kézikönyvévé vált.

Gilbert kísérletei során sikeresen elkülönítette a mágnesvasérc vonzását az elektromosan töltött anyagok vonzásától. Kezdetben az **anyagok elektromos gerjeszthetőségével** kapcsolatban végzett vizsgálatokat, és az anyagokat két csoportba sorolta: dörzsölés által gerjeszthetők és nem gerjeszthetők. (Ezeket a vizsgálatokat könnyű anyagokon végezte, mint a szalma és a borsóhüvely.) Ő alkotta meg az elektromosság kifejezést is, amelyet arra használt, hogy leírja azt az érdekes tulajdonságot, amibe a megdörzsölt anyag kerül, amennyiben az elektromosan gerjeszthető. Az elektromosan gerjeszthető anyagokat „elektrikusnak”, a nem gerjeszthetőket pedig „nem elektrikusnak” nevezte el. Vizsgálta a fa és a fémek elektromos gerjeszthetőségét, ma úgy mondjuk, hogy elektromos állapotba hozásának lehetőségeit. A vizsgálatokhoz szerkesztett eszköze az úgynevezett „versorium” (magyarul „körülforduló”) volt. Ennek két változata ismert: fém vagy fa rudak egy selyemfonálra erősítve vagy egy tű tetejére helyezve. Ezek az eszközök kifejezetten érzékenyek voltak, mivel kis erőhatásokra elfordultak. *Gilbert* ezekkel igen sok vizsgálatot végzett, gyakorlatilag ezen eszközök „utódai” találhatóak meg a mai iskolai szertárakban is.

„Fiatal” tudományos diszciplínákban, amelyekre kifejezetten jellemző az elméleti keretek (és így a magyarázatok és előrejelzések) hiánya, kedvező lehet valamiféle kísérleti stratégia alkalmazása. A sokféle jelenség vizsgálata, tagolása, válogatása és osztályozása segítségével elkülöníthetők a különböző jelenségterületek egymástól, hiszen csak ezen a módon lehetséges világos tapasztalati szabályok kialakítása. *Gilbert* megközelítése egy korai szakaszban lévő tudományág jellegzetességeit mutatja: a vizsgálatok, kísérletek célja, hogy a tulajdonságok megkülönböztetésével és osztályozásával minél több hasonló új jelenségeket vizsgáljunk meg. *Gilbert* a következő jellegzetességek alapján tudta elkülöníteni egymástól a mágneses és az elektromos vonzást:

– Az elektromos vonzás kimutatása

Vizsgálatai során kiterjesztette azon anyagok listáját, amelyek dörzsöléssel gerjeszthetőek: a borostyánkőn kívül a gyémánt, a zafír, az opál, az üveg, a kén és a pecsétviasz is. Még nagyobb volt azonban azoknak az anyagoknak a listája, amelyek ugyan vonzhatóak voltak, de nem voltak dörzsöléssel gerjeszthetőek.

A fa és a fémek vonzását a következőképpen tesztelte: egy darab szabadon függő fonálra vízszintesen vékony rudakat függesztett fel, majd az elektromosan gerjesztett anyagokat vagy mágneseket a rudak valamelyik vége felé kezdte el közelíteni. Ha a rúd elfordult, az anyag nyilvánvalóan vonzható volt. Ebben az esetben jól látható volt a hasonlóság egy egyszerű, felfüggesztett iránytűhöz. *Gilbert* vizsgálatai kezdetén úgy bizonyosodott meg az első tesztelt anyagok elektromos gerjeszthetőségéről, hogy megdörzsölte azokat, majd ellenőrizte, hogy képesek-e vonzást gyakorolni azokra a könnyű tárgyakra, amelyek már korábban reagáltak a megdörzsölt borostyánkőre. Azokat az anyagokat használta a további kísérletek kiindulópontjául, amelyekről már így tudta, hogy elektromosan gerjeszthetőek. Így fokozatosan bővítette mind az elektromosan gerjeszthető, mind az elektromosan gerjesztett tárgyakkal vonzható anyagok listáját.

- Az elektromos vonzás és a mágneses vonzás elkülönítése

Gilbert a vonzás hatása szempontjából hasonlította össze az elektromosan gerjesztettként azonosított anyagokat a mágnesvasércekkel. Az elektromos kölcsönhatást és a **mágneses kölcsönhatást** megkülönböztető kritériumok a 3.1. táblázatban olvashatók.

Kritériumok	Elektromos kölcsönhatás	Mágneses kölcsönhatás
Milyen anyagokat képes vonzani?	Az elektromosan gerjesztett anyagok minden könnyű tárgyat vonzanak.	A mágneses tulajdonságok vasból készült tárgyakra és mágnesekre korlátozódnak.
A vonzás erőssége	Az elektromos vonzás úgy tűnik, pusztán kicsi és könnyű tárgyakra korlátozódik.	Még gyenge mágnesek is képesek megemelni hozzájuk képest nehéz tárgyakat.
A vonzás állandósága	Az elektromosan gerjesztett állapot bizonyos időtartam után megszűnik és dörzsöléssel kell megújítani.	A mágneses vonzás állandó jelenség, még a rálehelés sem váltja ki, hogy egy mágnes elveszítsa a vonzóerejét.
A vonzás megszüntetése	Amennyiben rálehelünk az elektromosan gerjesztett tárgyakra, a gerjesztett állapot megszűnik. A nedves-ség az elektromosan gerjesztett tárgyak vonzóerejének elvesztéséhez vezet.	A mágneseket még vízbe is lehet meríteni anélkül, hogy elveszítsék a vonzóerejüket.
A vonzás árnyékolása	Az elektromos vonzás hatását szinte minden anyag le tudja árnyékolni.	A mágneses vonzás megmarad.
Egyéb különbségek	Az elektromosan gerjesztett tárgyaknak nincs északi-déli pólusuk.	A mágneses tárgyaknak mindig van északi-déli pólusuk.

3.1. táblázat. Az elektromos kölcsönhatás és a mágneses kölcsönhatás jellemzői

A vonzás állandóságával kapcsolatban a tanár beszélhet a mágneses tulajdonság elvesztéséről hevítés vagy mechanikai hatások következtében, amennyiben a tanulók ilyesfajta kérdéseket tennének fel. A véletlenszerű rázkódás (például elejtés) az elektromosan gerjesztett tárgyak esetében is a vonzóképeség elvesztéséhez vezet (földelés), ami problémaként felvethető. A fenti történeti kísérleteket ki kell egészítenünk még az egyszerű áramkörök tanulmányozásával. Fel kell osztani az anyagokat abból a szempontból, hogy melyek vezetnek és melyek nem vezetnek az elektromos áramot. Mindennapi életünk során sok elektromos eszközt használunk, a gyerekjátékokban vannak elemek, motorok, izzók, huzalok, kapcsolók, esetleg még komolyabb elektronikus alkatrészek is. Már kisgyermek is végezhet olyan, elektromos árammal kapcsolatos műveleteket, mint az elektromos kapcsoló (például villanykapcsoló) használata, elemcsere (játékban, elektronikus háztartási eszköz távirányítójában stb.), játék elektromos jellegű játékkal (például autóval, mozgó, beszélő babával), „számítógépezés”, a telefon használata. Az elektromos árammal működő eszközök használata esetén is **energiaváltozások** figyelhetők meg. Az elektromos jelenségeknek az elektronok átrendeződésével kapcsolatos

magyarázatát már nem érinti a természetismeret tantárgy, az a felsőbb évfolyamok oktatási feladata.

Tekintsük át az alábbiakban leírt, tanulói tevékenységekre alapozott összefoglaló rendszerezést! A tanulók feladata az elektromos, a mágneses és a gravitációs kölcsönhatás megvizsgálása és rendszerezése hasonlóságuk és különbözőségük alapján, aminek tapasztalatait végül táblázatos formában rögzítik. A feldolgozás történhet csoportmunkában például úgy, hogy az egyes csoportok más-más témákat dolgoznak fel, végül frontális összegzés következik. A munkáról jegyzőkönyvet készítenek, amelyben leírják a hipotéziseket (nevezzük inkább előzetes várakozásoknak), a várakozások vizsgálatára elvégzett vizsgálatokat, kísérleteket és az azokból származó következtetéseket. Hívjuk fel a tanulók figyelmét arra, hogy a jegyzőkönyvnek olyannak kell lennie, hogy annak alapján rekonstruálni lehessen a kísérleteket! A kísérletezés megkezdése előtt a tanulók javasolhassanak csoportosítási lehetőségeket, amelyeket közösen vitassanak meg! Mindhárom kölcsönhatás esetében a kérdésekre keressük a választ, amelyek egyben csoportosítási szempontok is lehetnek (3.2. táblázat).

Kérdés	Elektromos kölcsönhatás	Mágneses kölcsönhatás	Gravitációs kölcsönhatás
Mire hat?			
Hogyan hat?			
Árnyékolható-e?			
Miként idézhető elő?			
Meddig tart a hatása?			
Hogyan lehet megszüntetni a hatását?			

3.2. táblázat. Az elektromos, a mágneses és a gravitációs kölcsönhatásokat összehasonlító táblázat tanulók számára

3.1.2. A gyenge és az erős kölcsönhatás

A gyenge és az erős kölcsönhatás nem témája a természetismeret tananyagának, csak a teljesség kedvéért írunk ezekről is néhány összefoglaló gondolatot, célja a tanári kitekintés.

A **gyenge kölcsönhatás** felelős az atomi skálán fellépő néhány jelenségért, mint amilyen például a béta-bomlás. A béta-bomlásban keletkező neutrínók csak ebben a kölcsönhatásban vesznek részt (a még sokkal gyengébb gravitációs kölcsönhatáson kívül), azért váratott magára sokáig a felfedezésük. Az elektromágnességről és a gyenge kölcsönhatásról felismerték, hogy az egyesített elektromágneses kölcsönhatás kétféle vetülete (ahogy az elektromágneses az elektromosság és a mágnesesség) – ez volt az első lépés a standard

modellnek nevezett egyesített elmélet felé. A gyenge kölcsönhatás folyamataiból, a radioaktív bomlásokból származó energia tartja fenn a Föld belső magas hőmérsékletét, így ebből a forrásból táplálkozik a geotermikus energia. Kisebb mértékben az árapály-erőkön keresztül a Föld belső hőmérsékletét a gravitáció is emeli, illetve a Nap energiatermelésének kisebbik része is gyenge folyamatokból származik.

Az **erős kölcsönhatás** a nukleonokat (a protonokat és a neutronokat) tartja össze az atommagban, amely nélkül például a hélium két protonja szétrepülne az elektromos taszítás következtében. Atommagok egyesülésekor a kötési energiának megfelelő nagyságrendű energia szabadul fel. Az ilyen magfúzió felelős a Nap és a csillagok energiatermelésének zöméért. A lassú fúzió során az elemek a vasig épülnek fel a csillagok belsejében, ez ugyanis az az elem, aminek egy nukleonra eső energiája a legkisebb (azaz kötési energiája a legnagyobb). A vasnál nehezebb elemek szupernóva robbanás idején végbemenő gyors magfúzió útján jönnek létre. Földi körülmények között kísérleti stádiumban vannak a fúziós reaktorok, amik hosszú távon megoldhatják az emberiség energiaproblémáit. Miután a földi időjárás és életet a Nap energiatermelése tartja fenn – ami a Földet elektromágneses sugárzás révén éri el –, lényegében ide vezethető vissza az emberiség által felhasznált összes földi energiafajta, a többi kölcsönhatás mintegy átmeneti energiátárolóként működik közben – például a gravitáció a vízenergiánál, az elektromágneses kölcsönhatás a fosszilis energiahordozók, a gyenge kölcsönhatás a geotermikus energia esetén.

A tudományos kutatások egyik célja, hogy minden kölcsönhatást egyetlen közös elmélettel írjon le, így lehetővé válna, hogy minden kölcsönhatást egyetlen alapkölcsönhatásra vezessünk vissza. Eleinte az elektrosztatika és az elektrodinamika is külön jelenségnek látszott. Azonban a Maxwell-elmélet egyesítette az elektromosságot és a mágnességet, később pedig a részecskefizikai standard modellt, a részecskék kvantummechanikai elmélete egyesítette a gyenge és az elektromágneses kölcsönhatást. A **nagy egyesített elmélet** jelenti azt az elméletet, amely a gravitáció kivételével a másik hármat egyesítené, tehát az elektrogyengét az erőssel. További lépés lenne a gravitáció beolvasztása, melyet a **minden dolgok elmélete** tartalmaz.

A fejezetrész bevezetőjében említett kölcsönhatások közül a kémiai kölcsönhatásról megállapítottuk, hogy az valójában elektromágneses eredetű. De mit mondhatunk a termikus és a mechanikai kölcsönhatásokról? A hőmérsékletváltozással járó kölcsönhatásokat szokták a termikus kölcsönhatások közé sorolni. A **termikus kölcsönhatás** az anyagot felépítő részecskék mozgási energiájával kapcsolatos változásokról ad felvilágosítást. A hőmérséklet fogalma a részecskék mozgási energiájából származtatható mennyiség, ezért ennek tárgyalására az energia témakör kapcsán (a 2.2. fejezetben) kerül sor. A mozgásállapot megváltozásával járó kölcsönhatásokat szokták a **mechanikai kölcsönhatás** körébe sorolni. Ilyen eset valójában akkor történik, amikor a testre erő hat. Az

erő fogalmával pedig a kölcsönhatásokat írjuk le, tehát bármelyik kölcsönhatásról szó lehet ebben az esetben. A mozgásszemlélettel a 4. fejezetben foglalkozunk.

3.1.3. Az anyagot felépítő részecskék közötti kölcsönhatások

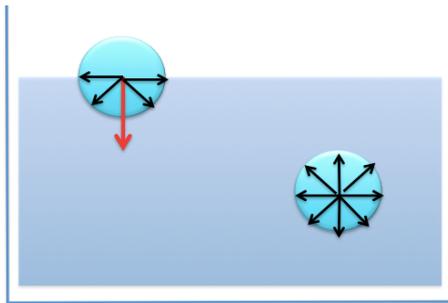
A **kémiai kölcsönhatás**, az első és másodrendű kölcsönhatás elektromágneses eredetű kölcsönhatások. Az anyagot felépítő részecskék közötti kölcsönhatások jellegükben és erősségükben igen eltérő erősségűek. Az anyagokban a kötési energia 10^7 – 10^3 eV tartományban található ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). A nukleonok (protonok és neutronok) közötti kötések a legerősebbek, a leggyengébbek pedig a hélium-atomok között ható diszperziós erők. A semleges molekulák között fellépő kölcsönhatások az elsőrendű kémiai kölcsönhatásoknál néhány nagyságrenddel gyengébbek. Az egymástól a kémiai kötés távolságánál távolabb lévő molekulák kölcsönhatását **van der Waals kölcsönhatásnak** nevezzük. A kvantumozás következtében az apoláros molekulák esetében is dipól-dipólus kölcsönhatás alakul ki. Emiatt bármely két atom vagy molekula Van der Waals-vonzást fejt ki egymásra.

A felületi feszültség

A **felületi feszültség** a folyadékok alapvető tulajdonsága, ami miatt a folyadékok a lehető legkisebb fajlagos felületű alakzatot (gömb) igyekeznek felvenni, ha külső erőtér nem hat azokra. Oka a folyadék részecskéi (atomok, egyszerű és összetett ionok, molekulák) között fellépő kohéziós erő. A felületi feszültség léte a molekuláris erőkkel függ össze, szép példája a részecskék közötti kölcsönhatásnak.

A felszínen lévő folyadékrészecskéknek az egyik oldalról nincsenek szomszédjaik, ezért ezek kevesebb kölcsönhatásban vesznek részt, mint azok, amelyek a folyadék belsejében vannak. Így a felszínen lévő részecskékre ható erők nem egyenlítik ki egymást, tehát a felszínen levő részecskékre befelé mutató eredő erő hat. A folyadékok belsejében lévő részecske több kölcsönhatásban vesz részt, mint egy felszínen lévő részecske, ezért a **kölcsönhatási energiája** a folyadék belsejében mélyebb, mint a felszínen (3.3. ábra). Ha a folyadék felületét növelni akarjuk, akkor ki kell húzni a részecskéket a folyadék belsejéből a felszínre, amihez munkát kell végezni, ezért a folyadék felszínének tulajdoníthatunk energiát is. A felületi energia arányos a felület nagyságával, tehát a felületi energia megváltozása arányos a felület megváltozásával. Az erő azonban nem függ attól, hogy mennyivel növeltük meg a hártát, mert a folyadékrészecskék kölcsönhatása rövid. Minél nagyobb egy folyadék felületi feszültsége, annál erősebb a részecskéi közötti kölcsönhatás. A felületi feszültség elnevezés csak részben helytálló, ugyanis nem feszültség jellegű a mennyiség, hanem a felületben, annak egységnyi hosszúságú vonalában ható erővel (N/m) vagy egységnyi nagyságú felület

létrehozásához szükséges munkával (J/m^2), az úgynevezett felületi munkával egyenlő (3.2. táblázat). A higany esetében atomok közötti kölcsönhatásról van szó, ezért a viszonylagosan magas érték. A többi anyagnál másodlagos kölcsönhatás van a részecskék között. Ebben az esetben pedig a víz felületi feszültsége emelkedik ki, mert a vízmolekulák között hidrogénkötés van, amely a legerősebb a másodrendű kölcsönhatások között. A felületi feszültség következménye, hogy bizonyos tárgyak és kis testű állatok (például a molnárka) nem süllyednek el a vízben, a felületén maradnak, bár a sűrűségük nagyobb, mint a folyadéké.



3.2. ábra. Kölcsönhatási energia a folyadékban és a felszínén

víz	0,0729 N/m
alkohol	0,0227 N/m
petróleum	0,0264 N/m
higany	0,3750 N/m

3.3. táblázat. Néhány anyag felületi feszültsége

Mi határozza meg, hogy mekkorák a víz- illetve folyadékcseppek? Mért nem nőnek akár mekkorára a cseppek? Mi lehet a magyarázata annak, hogy a különböző folyadékok esetében más és más egyetlen csepp térfogata? A felületi feszültségnek többféle meghatározási módszere van. Az egyik az úgynevezett csepegtetési eljárás, amely azon alapul, hogy a folyadék a pipettából (vagy bürettából) lassan kicsepegtetve a felületi feszültségétől és a sűrűségétől függő nagyságú cseppeket képez. A víz nedvesíti az üveget, ezért a vízmolekulák kölcsönhatása gyengébb, mint a víz és az üveg részecskéinek a kölcsönhatása. A cső kerülete mentén ható $F = \alpha \cdot l$ erő tartja a cseppet. Ahogy a csepp növekedik, egyre nagyobb a rá ható gravitációs erő. Akkor esik le a csepp, ha a víz-víz kölcsönhatás már nem bírja el a vízcsepp súlyát. A csepp lecseppenése előtt a súlyát a pipetta végén lévő kör mentén ható felületi feszültségből származó erő tartja.

Az úgynevezett kapilláráktív anyagok, mint például a kis szénatomszámú alkoholok és karbonsavak, de az olaj is, csökkentik a víz felületi feszültségét. A víz-levegő határfelületen orientáltan adszorbeálódnak (poláris részükkel a víz-, apoláris részükkel a levegőfázis felé). A kiömlött olajnak (például egy tankerből a tengerbe kerülő olaj) ezért van komoly környezeti kockázata.

Egyszerű tanulói mérési gyakorlat témája lehet a felületi feszültség (3.4. táblázat).

Tanulói tevékenységek	Segítő tanári kérdések, feladatok	Fejleszthető képességek
Előzetes tudás felmérése	Milyen alakú egy folyadékcsepp? Miért olyan az alakja? A Világegyetemben is olyan alakja van egy folyadékcseppnek, mint a Földön? Miért szakad le a folyadékcsepp? A Világegyetemben is leszakadna a folyadékcsepp a szemcseppentő végéről? Függ-e a csepp nagysága az anyagától?	A tanulók előzetes ismereteinek szóbeli megfogalmazása
Becsüljétek meg, mekkora lehet egy vízcsepp térfogata!	Csepegtessetek néhány csepp vizet szemcseppentővel egy tálba! Becsüljétek meg, hogy mekkora lehet egy vízcsepp térfogata! Írjátok fel a tippeket!	Szemcseppentő használata Becslési képesség, nagyságrend becslése
Dolgozzatok ki mérési eljárást egy csepp térfogatának becsléséhez!	Hány csepp térfogatát célszerű egyszerre megmérni? Milyen mérőeszközt használtok? Mely egyéb eszközökre van szükségetek? Hogyan fogjátok a mérés során kapott adatokat rögzíteni?	Laboratóriumi térfogatomérő eszközök megfelelő alkalmazása Az adatok rögzítésének tervezése
A mérés elvégzése	Hogyan olvassátok le a térfogatot? Hány mérést fogtok végezni?	Térfogatomérő eszközök megfelelő használata
A számítás elvégzése, a kapott eredmények összevetése az előzetes becsléssel, hibalehetőségek elemzése	Hogy számíthatok ki egy csepp térfogatát? Milyen mértékegységben adjátok meg? Különböznek-e az egyes csoportok eredményei? Hogy viszonyul a kapott térfogat az előzetes becsléshez? Mik lehettek a mérés hibái?	Matematikai, számolási képesség Előzetes becsléssel való összevetés, hibalehetőségek számbavétele
Mérés ismétlése más folyadékkal, pl. mosószeres vízzel, étolajjal, alkohollal, tejjel	Ugyanolyan értéket kaptok-e a különböző folyadékcseppek térfogatára? Mit vártok? Miért? Tervezzétek meg az adatfelvétel és az adatok rögzítésének módját!	Adatok rögzítésének tervezése különböző folyadékok esetében

3.4. táblázat. A csepptérfogat meghatározásának lépései

Mekkora egy csepp?

Sok folyadék halmazállapotú orvosság esetében található olyan utasítás, hogy abból egyszerre 20 vagy 30 stb. cseppet kell egy alkalommal bevenni. De mekkora lehet egyetlen csepp térfogata?

Lehetséges mérési módszer

Csepegtessétek a vizet (bármilyen folyadékot) egy tálból egy mérőhengerbe addig, amíg a víz térfogata eléri egy jól leolvasható értéket! Csepegtetés közben számoljátok a cseppeket!

Csepegtessetek ki ismert térfogatú, például 1 cm^3 folyadékot pipettából vagy bürettából, és számoljátok a keletkező cseppek számát!

A vízcsepp becsült térfogata: ml/cm^3 vagy mm^3 Karikázzátok be a megfelelő mértékegységet!

Az 1 cm^3 -ből keletkező vízcseppek száma: db

A mérőhengerbe összegyűjtött víz térfogata: ml/cm^3 vagy mm^3

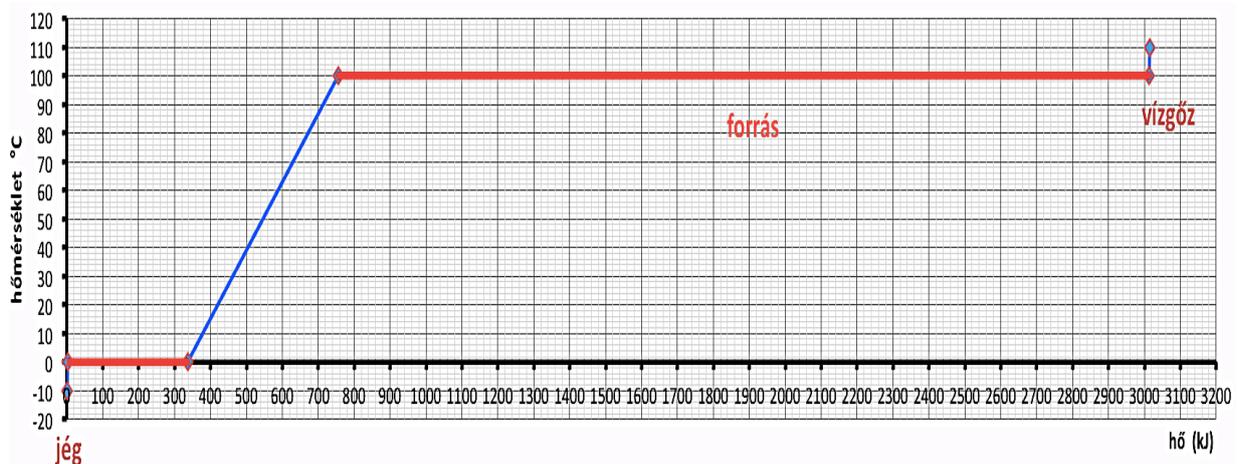
Egyetlen vízcsepp számítással meghatározott térfogata: ml/cm^3 vagy mm^3

Az anyagot felépítő részecskék közötti kölcsönhatás erősségével van kapcsolatban a különböző halmazállapot-változások lejátszódásához szükséges, anyagi minőségtől függő energiák nagysága, mint a párolgáshő, a forráshő és az olvadáshő. A forráshő minden anyag esetében nagyobb, többszöröse az olvadáshőnek (3.5. táblázat). Ennek oka az, hogy míg az olvadás esetében a kristályrács esik szét, de a részecskék együtt maradnak a folyadék halmazállapotban, addig a forrásnál a részecskék teljes mértékben elszakadnak egymástól, és az ehhez szükséges energiát is be kell fektetni.

Anyag	Forráshő (kJ/kg)	Olvadáshő (kJ/kg)
víz	2256,37	333,70
etil-alkohol	906,07	106,77
benzol	395,67	127,28
glicerín	1101,18	200,56

3.5. táblázat. Néhány anyag forráshője és olvadáshője

A 3.3. ábra a -25 °C-os víz egyenletes melegítése során bekövetkező hőmérsékletváltozást ábrázolja egészen 125 °C-ig. A víz által felvett energia a vízszintes tengelyen látható idővel arányos. Nagyon szépen látszanak az energia-felvétel arányai a különböző szakaszokon: a legtöbb energiát a forralás során kell közölni, hiszen ekkor bomlanak fel a vízmolekulák közötti kötések. Ez az ábra azért nagyon fontos, mert több tankönyv vagy csak az egyik (például az olvadási), vagy csak a másik (például a forralási) részt ábrázolja, de a kettő együtt kevés helyen szerepel, pedig az arányok így szemléletesek.



3.3. ábra. Hőmérsékletváltozás a víz egyenletes melegítése hatására

Hallgatói kérdések és feladatok

1. Vizsgáljon meg természetismeret tankönyveket, hogy miként dolgozzák fel a különböző kölcsönhatásokat! *Szempontok:* Milyen kísérleteket ajánlanak a feldolgozáshoz, milyen kérdések segítik a tanulást? Hogyan választják szét a különböző kölcsönhatásokat? Foglalkoznak-e ezzel egyáltalán vagy csak leírják a jellemzőket?
2. Készítsen foglalkozási tervet valamelyik kölcsönhatás feldolgozásához!
3. Készítsen foglalkozási tervet a különböző kölcsönhatások bevezető órájához és/vagy az összefoglaláshoz!
4. Vizsgáljon meg tankönyveket a halmazállapot-változások feldolgozása szempontjából! *Szempontok:* Milyen ábrákat mutatnak be a témához? Mennyire használják a részecskeképet, és a részecskék közötti kölcsönhatással kapcsolatos magyarázatot?
5. Kérdezzen meg tanulókat, hogy milyennek képzelik a Földet! Rajzoltassa le a Föld felszínén álló házakat a Föld különböző részein, mint például az Északi-sarkon, a Déli-sarkon, illetve a különböző földrészekben! Próbálja meg azonosítani, hogy a tanulók képzelete melyik fázisban van!

3.2. A kölcsönhatások és következményeik komplex megközelítése

Írta: dr. Róka András

Kulcsszavak: hatás, kölcsönhatás, erő, energia, hajtóerő, belsőenergia, a mozgás logikája, a folyamatok logikája

Ebben a fejezetben a kölcsönhatások áttekintése után a testek között ébredő kölcsönhatásból indulunk ki, és csak utána jutunk el a részecskék sokaságának (a halmazok, a rendszerek) kölcsönhatásáig, és annak a rendszer állapotának változásában megnyilvánuló következményeiig. A testek közötti kölcsönhatás érzékelhető megnyilvánulása az erő. Az erők tulajdonságainak megismerése után számba vesszük, hogy a lehetséges mozgástípusok kialakulása során mely erők játszanak szerepet, és ezek hogyan fedezhetők fel a táguló környezetben, a technika világában és a természeti jelenségekben (kiterjesztés). Az erők után térünk át az energia világára. A kölcsönhatástípusok és a hozzájuk tartozó energiafajták megismerése elősegíti a jelenségekben, folyamatokban történő megjelenésük és átalakulási folyamataik felismerését. A táguló környezetünkben megjelenő szerkezetek és folyamatok egymásra épülő jellegének megismerése egyúttal elősegíti a hozzájuk tartozó fogalmak, törvények logikus egymásra építését a tanítási-tanulási folyamatban.

3.2.1. A kölcsönhatás fogalmának bevezetése és bővítésének kezdeti szakasza

A. Egyirányú és kölcsönös hatás

Hatás – amikor csak élvezzük vagy elszenvedjük

„Óh, hát miféle anyag vagyok én, / hogy pillantásod metsz és alakít?” (József Attila: Óda)

Sok minden lehet ránk hatással: a táj szépsége, egy művészi alakítás élménye, egy mérnöki alkotás találékonysága vagy egy személy gátlástalansága. A Nap melegét élvezzük, de a megnövekedett ultraibolya sugárzást csak kerülni tudjuk, mert nem áll módunkban befolyásolni sem az energiatermelő folyamatot, sem annak következményeit, a Nap működésére nem tudunk visszahatni. Még egy szép koncertet is csak utólag (utóhatásként) tapasztalhatunk meg. A mindennapi személyes hatásokkal szemben általában szintén „kiszolgáltatottak” vagyunk, ezért válnak megismételhetetlen élménnyé vagy elfelejthető, sőt elfelejtendő eseménnyé. A hatás egyoldalú marad, amikor csak élvezzük vagy elszenvedjük, amikor tehetetlenek vagyunk vele szemben. Keressünk példákat egyre tágabb környezetünkben (3.6. táblázat)!

A kiterjesztés területei	Példák
gyermekkori tapasztalat	„Mikulás meglepetés”, büntetés
élelvilág	állati, növényi mérgek hatása
természetföldrajz	földrengés, földcsuszamlás, szökőár, növekvő UV-sugárzás
csillagászat	kozmosz sugárzások és következményeik
úrhajózás	robbanás és következményei a fedélzeten

3.6. táblázat. Példák a mindennapokban elszenvedett kölcsönhatásokra

Kölcsönösség – kölcsönhatás

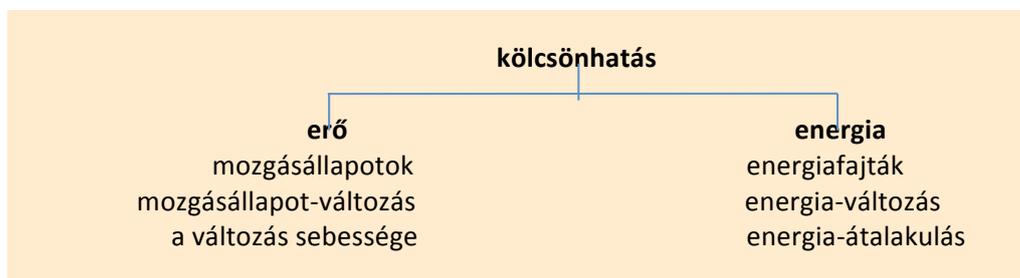
A környezet jelenségei, változásai érzelmeket keltenek, amelyek cselekvésre készítetnek bennünket. Ha a hatásra képesek vagyunk válaszolni, a hatás kölcsönössé, oda-vissza hatássá, **kölcsönhatássá** válik. Az érzelmek és az általa indított válasz-cselekvések biológiai kölcsönhatásnak nevezhetők, melyek sok fizikai és kémiai folyamat eredményeképpen alakulnak ki. Ettől lényegesen egyszerűbb az élettelen testek egymásra hatása, a „fizikai” kölcsönhatás. *Newton* fejtette ki először, hogy a testek között ébredő hatás is kölcsönös, mert a hatás ellenhatást vált ki (*Newton III. törvénye*). A színre lépő folyamatok számától és sokféleségétől függően a kölcsönhatásokat is csoportosíthatjuk, rangsorolhatjuk, megkülönböztethetünk fizikai, kémiai, biológiai, sőt társadalmi kölcsönhatásokat. Hány féle kölcsönhatás jelenik meg a következő versidézeten?

„Elmémbé, mint a fémbe a savak,/ ösztöneimmel belemartalak” (József Attila: Óda)

Fizikai kölcsönhatás például a hőmérséklet kiegyenlítődése, kémiai az oxigénmolekulák hemoglobin (makro-) molekulákhoz történő kötődése, talán a legismertebb biológiai kölcsönhatás a párválasztás folyamata, míg társadalmi szintű kölcsönhatás lehet az érdekek érvényesítése. Annak ellenére, hogy a „hierarchia” alapján a legegyszerűbbnek a fizikai kölcsönhatás tűnik, erre épül az össze többi.

B. A kölcsönhatás és az erő hatásának elemzése

A kölcsönhatást két szemléletben vagy két fogalomkörrel közelíthetjük meg, melyeket nem szabad egymással keverni (3.4. ábra). Az egyik a **kölcsönhatás során ébredő erők** hatásának elemzése, a másik a **kölcsönhatásokra jellemző energiafajták** átalakulásával, átalakításával kapcsolatos jelenségek, törvények.



3.4. ábra. A kölcsönhatás megközelítésének lehetősége

Kezdjük az egyszerűbb esettel, a közvetlenül érzékelhető erővel, ami a testek között ébredő „egyszerű” erőkől kezdve az élőlények mozgását lehetővé tevő izomerőn át a természet építő és olykor (ember feletti) romboló erejéig terjed. A valóban érzékelhető erők mellett a mindennapokban gyakran találkozunk a hatást kifejező jelképes erőkkel (a szó ereje, a meggyőzőerő, a kifejezőerő, a társadalmi erő stb.). A testek közötti kölcsönhatás egyik megnyilvánulási formája az **erők „ébredése”**. A színre lépő erők egyszerű esetben a vonzást vagy a taszítást érzékeltetik, leggyakrabban azonban a vonzás és a taszítás versengése jelenik meg. Az erők jellemzése, hatásuk elemzése a fizikán (mechanikán) belül ugyancsak a dinamika témaköréhez tartozik, de szűk és tág környezetünkben nincs olyan terület, ahol a kölcsönhatás és egyik következménye, az erő ne jelenne meg. A természetismeret tantárgy fontos feladata, hogy elősegítse a kölcsönhatások és az ébredő erők jelenség szintű felismerését egyre tágabb környezetünkben.

C. A közvetlen kölcsönhatás, a kölcsönhatás időtartama

A tartós érintkezés, a tapadás

A testek közötti kölcsönhatások közül a legegyszerűbb példa a **tartós érintkezés**. Hiába húzzuk vagy toljuk, a szekrény „ellenáll”. Amikor egyre erősebben próbálkozunk, egyszer

csak megmozdul. A szekrény lába és a felület között kölcsönhatás ébred. Amíg a személyes élmények érzelmeket keltenek, a testek közötti kölcsönhatás során erő ébred. A szekrény csak akkor mozdul meg, amikor az izomerő – az izmainkkal kifejtett tolóerő – legyőzi az egymással érintkező felületek mentén kialakuló, gyenge, elektromos (elektrosztatikus) jellegű **tapadási erőt** (3.7. táblázat).

Feladatok

Kövessük a csúszás és a tapadás szerepét a csúszva mászó élőlények (például férgek, csigák) esetében!

A kiterjesztés területei	Példák
gyermekkorai tapasztalatok	járás; csúszás gátló lábbeli; ragasztó, méz; homokvár és hóember építése; a lisztgyurma alkotóinak összetapadása
fizika	tapadási erők („tapadási súrlódás”)
technika	a kerekek elgördülése a tapadási pont mentén
közlekedés	téli-, nyári-, esőgumi (a Forma-1-ben), hólánc
kémia, technológia	felületi megkötődés, adszorpció; nedvszívó pelenka, gázálarcbetét
építészet	vert fal, vályogépítkezés, napon szárított téglá, kerámia
sport	csúszásgátló „magnézium”-por alkalmazása a szertornászoknál; a cipők tapadása a teremportoknál vagy a táncparketten
élővilág	a tapadás és a csúszás egysége a rovarok mozgásában; tapadókorongok (levelibéka); ragacsos folyadék termelése; kígyók haladása
természetföldrajz	vizes homok, agyag, hó, homokfal; a sár után kiszáradó „föld” (szilikát ásványok); csapadékképződés (pl. talaj menti csapadékok)
csillagászat	a bolygók keletkezése a kozmikus „porból”
úrutazás	a vízmolekulák az űrbázison is cseppet alkotnak

3.7. táblázat. Példák a tapadási erő megnyilvánulására

A tapadás nagyon fontos jelenség. A tapadási erők nélkül nem tudnánk járni, az állatok nem tudnának helyet változtatni. A kerekek ónos eső nélkül is csak csúsznának (kipörögnének), és nem gördülnének. Tapadási jellegű erők kialakulhatnak testek és részecskék között is, amikor például a hűtőszekrény „szagtalanító” felületén vagy a gázálarcbetéten molekulák kötődnek meg (adszorpció). Az agyagásványok mikroszkopikus kristályai között kialakuló tapadási erők tartják össze a sárból tapasztott falat vagy a napon szárított vályogtéglákat (vályogtéglából épült például a világ legnagyobb piramisa, a cholulai piramis Mexikóban). Sőt, a molekulák között is tapadási erő jellegűek a gyenge (másodlagos) kötőerők. A vízmolekulák a hőmérséklettől függően harmat-, köd- és esőcseppekké, zúzmarává, hópelyhekké „tapadnak” össze.

Kiterjesztés: közvetlen külső kölcsönhatás

Földi viszonyok között megszoktuk, hogy nyomjuk a széket, és érezzük, hogy a szék is nyom bennünket (**nyomóerő**). Csak a Föld körül keringő űrállomáson, a „súlytalanság” állapotában

nem érezhetnék ezeket az erőket. Az egyik test azonban még az Világegyetemben is elfoglalja a helyet a másiktól, mert az érintkezés ellenére függetlenek maradnak egymástól. Ha erőszakkal **összenyomjuk** azokat, akkor sem hatolnak egymásba. Az egymásra hatás kölcsönössé válik, és a nyomóerőnkkel szemben ellenerő, taszító erő ébred (hatás-ellenhatás, Newton III. törvénye). Annak ellenére, hogy a madarak látszólag belehatolnak a levegőbe vagy fürdéskor belemerülünk a vízbe, de valójában az anyagok részecskéi ekkor sem hatolnak egymásba. A **taszító erők** ébredése miatt a gázba, folyadékba merülő test egyszerűen kiszorítja a közeg részecskéit az általa elfoglalt térrészből, hiszen folyadékokban és gázokban a részecskék elmozdulhatnak (*3.8. táblázat*).

A kiterjesztés területei	Példák
gyermekkori tapasztalat	az egyik test elfoglalja a helyet a másiktól
fizika	az elektronburok taszításából származó taszító erők
technika	folyadékok összenyomhatatlansága; vízvezeték, kőolajvezeték; fékfolyadék, hidraulikus emelők
építészet	a felhőkarcolók, tévétornyok és átjátszó állomások stabilitása
élővilág	a vér keringése nyomás hatására; a magas fák sem rognak össze
sport	a biliárd és a tekegolyó tovapattanása ütközéskor
természetföldrajz	a legmagasabb hegyek sem rognak össze, (egy ideig) nem csúszik le a hó és a jég a meredek hegyoldalról
csillagászat	az égitestek becsapódása során a felszín roncsolódik, de az anyagok nem olvadnak össze

3.8. táblázat. Példák taszító erők ébredésére a testek vagy a részecskék összenyomódása során

Kiterjesztés: közvetlen kölcsönhatás – testek „mozgatása”, vontatása

A matchboxokat folyamatosan tolni kell, különben nyugalomban maradnak. A szerelvényt a mozdony, a pótkocsit a „vontató” vagy a traktor, az uszályokat a vontatóhajó, a vitorlázó repülőgépet a csörlő vagy a motoros repülő vontatja. A mozgásállapot megváltozását a testekre kívülről ható **húzó-, toló-, vontató-, emelő erő** idézi elő. Münchhausen-báró kalandjaiban a képtelenségek szórakoztatnak: „Gyorsan és nagy erővel megragadtam a varkocsomat, / ugyanakkor térdem közé szorítottam a lovamat, / könnyörtelen keménységgel szépen kirántottam magam paripástul a feneketlen sárból...”

D. A fogalom bővítése – az irány újra fontossá válik

A vontatás során az is kiderül, hogy a nyugalomban lévő test abba az irányba mozdul el, amerre a külső erő húzza, tolja vagy emeli, vagyis a sebességhez hasonlóan az erőnek a nagysága mellett az **iránya** is fontos jellemzője (*3.9. táblázat*). A mozgás (mozgásállapot-változás) szempontjából nem mindegy, hogy az erő milyen irányba hat.

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	héliumos léggömb elszabadulása; az eldobott labda leesése; a víz alá nyomott labda kiugrása a vízből; a szánkó húzása
fizika	az erők hatásvonala és iránya
technika	felvonó, leeresztő; repülés – felszállás, leszállás; járművek vontatása
élővilág	állatok irányt változtató futása, menekülése (pl. nyúl, antilop)
sport	vízisízó vontatása; jég sportok gyors irányváltása
természetföldrajz	csapadék hullás; szélirány, vízáramlási vagy folyásirány
csillagászat	üstökösök mozgásiránya
úrhajózás	mesterséges égitest fellövése

3.9. táblázat. Jelenségek, amelyekből az erő irányára következtethetünk

Kiterjesztés: közvetlen kölcsönhatás – közelhatás pillanatnyi érintkezéssel

A kölcsönhatás jellemzésére, az erő hatása szempontjából fontos tényező a hatás időtartama. A közvetlen érintkezés nem csak tartós, vagyis hosszú idejű lehet. Egy pillanat is elég, ha a hatás elég attraktív, mint például amilyen hatással Júlia volt Rómeóra:

*„Fehér galamb hollók közt úgy mutat, ahogy ő túlragyog más lányokat”, „Szerettem eddig?
Nem, tagadd le, szem. / Csak most látok szépet, ma éjjelen” (Shakespeare: Rómeó és Júlia).*

A **pillanatnyi közelhatás** egyik leglátványosabb példája a biliárdgolyók **rugalmas ütközése**, amikor a mozgásmennyiség egy pillanat alatt „költözik át” az egyik golyóról a másikra. Az várható, hogy a guruló golyó mozgásba hozza a nyugalomban lévőket. De miért áll meg, ha korábban még mozgott? Ez a momentum bizonyítja, hogy a hatás kölcsönössé válik! A golyók közötti taszítás megjelenésével ellenerő ébred. Ezért amikor a guruló golyó meglöki az állót, az álló visszalökve megállítja a korábban gurulót, miközben maga kezd gurulni. Nagyon fontos törvény, hogy a rugalmas ütközés során a mozgásmennyiség megmaradóan költözik át az egyik golyóról a másikra (a lendület vagy impulzus megmaradásának törvénye, Newton

A kiterjesztés területei	Példák
gyermekkori élmény, tapasztalat	a labda visszapattanása; a labda pattogtatása; dodzsemek ütközése
fizika	rugalmas ütközés (a mozgásmennyiség megmaradása)
technika	vasúti kocsik ütközése a rendezés során; a vasúti kocsik kerekének ellenőrzése ütéssel
hangtan – zene	hang keltése ütéssel, ütős hangszerek
technológia	ütve formázás; pattintás, kovácsolás, kalapálás
élővilág	ütközések a tulokfélék viaskodása során
sport	„ütős” sportok (tenisz, asztalitenisz, tollaslabda, röplabda, golf, baseball), ökölvívás, labdarúgás, biliárd, teke
természetföldrajz (csillagászat)	kráterek keletkezése égitestek (üstökösök, aszteroidák) becsapódásakor

3.10. táblázat. Példák a rövid idejű közvetlen kölcsönhatásra

III. törvénye). A rövid idejű erőhatás (ütés, ütközés) vagy megváltoztatja a test mozgásállapotát vagy deformálja a testet (például pattintáskor, kovácsoláskor, kalapácsoláskor, becsapódáskor) (3.10. táblázat). A deformáció mértéke függ a becsapódó test „méretétől” és sebességétől (tömegétől illetve mozgásmennyiségétől). Az ötvösök művészien formázó kalapácsa kicsi erőt fejt ki egy égitest becsapódásához képest.

Kiterjesztés: pillanatnyi érintkezések állandósuló sorozata – a szél nyomása

„Sok lúd disznót győz!” „Sok kicsi sokra megy.”

Egy-egy molekula ütközése icipici erőlkést fejt ki. De nagyon sok molekula egy idejű lökdösődése vitorlást mozgató erővé adódhat össze. Szélcsendben nem lehet vitorlázni. Ha a vitorla mindkét oldalán ugyanolyan módon ütköznek a levegő molekulái, a hajó nyugalomban marad. Amikor fúj a szél, az ütköző részecskesokaság csak az egyik oldal felől feszíti a vitorlát, ezért az áramló levegő a vitorlára tolóerőt fejt ki. A „szél ereje” tolja a vitorlást. Ha a szél folyamatosan fúj, a sok apró ütközés összeadódva éppúgy tartós erővé válik, mint amikor motorcsónak vontatja a hajót (3.11. táblázat).

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	járás, futás, biciklizés széllel szemben
fizika	áramlás, lökeshullám nyomóereje
technika	vitorlás hajók; a propellerekre kifejtett nyomóerő forgatóerővé válik (szélerőmű)
sport	szörf, vitorlázás, jégvitorlázás
élővilág	növények, fák hajladozása a szélben; a felfelé áramló levegő madarakat emelő ereje (termik)
természetföldrajz	széllökések

3.11. táblázat. Példák a pillanatnyi ütközések állandósult sorozatára

Feladat

Elemezzük, hogy mi a hasonlóság és mi a különbség a vitorla és a léggömb kifizülése között!

Kiterjesztés: pillanatnyi érintkezések állandósuló sorozata – a gázok nyomása

A léggömbben nem „fúj a szél”, mégis kifizül! A vitorlával szemben a léggömb minden irányból körbeveszi a bele fújt levegőt. Mivel a rendezetlen hőmozgás következtében a részecskék minden irányban repülnek, a fallal is minden irányból ütköznek. Ez az összeadódó és tartóssá váló minden irányú erő feszíti ki a lufi falát. Sőt, a lufi gömbszimmetrikus alakja bizonyítja, hogy a feszítő erő minden irányban ugyanakkora. A gázok nyomása tehát egészen más természetű, mint a szilárd testeké, vagy a víz (folyadék oszlop) hidrosztatikai nyomása (hiszen a nevében is benne van, hogy statikus). A gázok nyomásának erőlkésből származó

jellege magyarázza meg azt a kérdést is, hogy: miért lehet egyáltalán felfújni a lufit, ha – azt tanuljuk, hogy – a gázok összenyomhatók?

Van Helmont 1652 körül rendkívül szemléletesen fogalmazta meg, hogy mit kell gázon értenünk: nem lehet „látható testté alakítani”, vagyis nem lehet cseppfolyósítani. A vízgőz is légnemű, össze is nyomható, ám nyomás hatására cseppfolyósodik. A gázzá válás akkor következik be, amikor a részecskék mozgása olyan hevesse válik, hogy még a részecskék közötti távolság csökkentésekor is legyőzi a gyenge vonzó erőket. A gázok – szemben a szilárd testekkel és a folyadékokkal – erőszakkal valóban összenyomhatók. Azt azonban sokszor elfelejtik azonnal hozzátenni, hogy a gázokban is ébred ellenerő. Ez azért tűnik meglepőnek, mert a részecskék között nagy a távolság. A gázok ellenereje azonban nem is a részecskék taszításából származik, hanem a „mozgás bezártságának” köszönhető. A léggömb felfújásakor sok izgó-mozgó részecskét kényszerítünk kisebb térfogatra. Több részecske pedig többször ütközik a fallal, ezért nő a belső nyomás. A gázok összenyomásakor hasonló, és mégis más a helyzet, mert zárt rendszerben a részecskék száma nem változik. Ugyanannyi molekula a mozgástér csökkenése miatt ütközik gyakrabban a kisebb felülettel. Ha a kényszerítő erőt megszüntetjük, a külsőnél nagyobb belső nyomás visszatérítő erőként jelenik meg. Az összenyomással szemben ébredő ellenerő a gázok rugalmasságában nyilvánul meg, aminek több fontos következménye van. Az egyik a hang terjedése.

Kiterjesztés: a gázok rugalmassága következménye a hang keltése, terjedése, érzékelése

„Ezzel együtt azt is megfejtettük, hogy miért nem tudta a kocsis megfújni postakürtjét a hasadékbán. A hangok ugyanis belefagytak a kürtbe, de most a tűzhely melegétől felengedtek, és zengeni kezdtek. A kürt magától szólt, tisztán szárnyaló érces hangon...” (Münchhausen-báró)

A koppanás, pattogás, csattanás, pukkanás, durranás, éppúgy meglöki egy pillanatra a levegőt, mint a nagy erejű robbanás (detonáció). A hirtelen összenyomásra a rugalmas gáz hirtelen tágulással válaszol, ami a távolabbi réteget nyomja össze. A nyomás változása rétegről rétegre adódva (hullámszerűen) terjed tovább, amíg akadályba, például a dobhártyánkba nem ütközik. Amíg a koppanás csak hangérzetet kelt a fülünkben, a robbanás nagy erejű lökeshulláma még az ablakot is betörheti. Innen származik a szakszerű kifejezés, a „hangnyomás”. A keltett hang alapján különbséget tudunk tenni a zizegés, a zümmögés, a döngicsélés vagy a brummogás között, és látatlanul is tudjuk, hogy melyik rovar közeledik felénk.

A levegő olyan összetett nyomásingadozásokat is képes közvetíteni, mint amit egy szimfonikus zenekar egyszerre megszólaló hangszerei idéznek elő. A megszokás miatt persze már fel sem merül bennünk, hogy hogyan hallanánk a szimfóniát, ha a karmester intésére egyszerre belépő fagott és fuvola hangja más sebességgel érkezne hozzánk. A különböző (frekvenciájú) hangok azonos sebessége is a gázok különleges viselkedésének köszönhető. A

hang sebességét csak a közeg rugalmassága határozza meg, ezért a közegre jellemző tulajdonsága. A hallás kitűnő példa arra, hogy egy jelenségen belül hogyan **épülnek egymásra a különböző kölcsönhatások**. A hang keltése, terjedése és a dobhártya megrezgetése még az erők ébredésén alapuló fizikai kölcsönhatás. A hang által hordozott információ sejtek közötti átadódása kémiai jellegű kölcsönhatás. A hang felismerése, értékelése pedig már érzelmeket, sőt cselekvést is kiváltó biológiai kölcsönhatássá fokozódik (például a kutyák viselkedése a tűzijáték alatt) (3.12. táblázat).

A kiterjesztés területei	Példák
gyermekkor tapasztalat	dörög az ég; messze hangzó harang
fizika	a hang terjedési sebessége független a frekvenciától
technika, fegyverek	lőfegyverek hangja
technika, hangszerek	hangszerek nyomáskeltésének módjai
élvilág	állatok hangadásának, hangképzésének módjai
természetföldrajz	égzengés terjedése, földrengés hangja (morajlás), a tenger morajlása, a hullámok összeomlásának hangja

3.12. táblázat. Példák a hang keltése és terjedése során észlelhető erőhatásokra

A gázok rugalmasságának következménye: repülés a „semmiben”

Feladat

Hasonlítsuk össze a halak úszásakor és a madarak repülésekor ébredő erőket!

A gázok rugalmasságának másik fontos következménye a repülés élménye. Úszni tudunk, repülni nem. Annak ellenére, hogy a két mozgás azonos törvényen alapul (a mozgásmennyiség magmaradásának törvényén), a repülés különlegesebb jelenség, mint az úszás. Talán azért hihetetlen, mert a mi karunk akadálytalanul siklik a levegőben. Azonban egy nagy felületű legyezőt mozgatva már érzékeljük, hogy ott is van valami, ahol nem látszik semmi, mert megjelenik az ellenerő. A halak haladása könnyebben magyarázható, mert a vízben egymással érintkező részecskéket lök meg, amelyek visszalökéséből adódik a külső erőnek számító ellenerő. De a levegő részecskéi távol vannak egymástól. A levegő rugalmas viselkedése nélkül a madarak sem tudnának repülni. Amikor a szárnyak hátra lendülnek, a részecskék sokaságával ütköznek, ami lokális „sűrűsödést”, és ezzel nyomásnövekedést idéz elő a levegőben. Ha elég nagy a szárny felülete és elég gyors a lendítés, akkor nemcsak hang keltődik, hanem a madár az ellentétes irányban fel is emelkedik. A levegő számára a szárnyak lendítése, a madár számára a levegő rugalmasságából származó ellenerő adja azt a külső erőt, ami mindkettő mozgásállapotát megváltoztatja.

Az első szárnycsapás – A vállalkozó fióka az alkalmas pillanatot keresve széttárt szárnyakkal tipicgél a fészek szélén. Nagyra nőtt szárnyaival egyet legyint lefelé, egy pillanatra már a többiek feje fölött van, amikor a nehézkedésnek engedelmeskedve visszahuppan. De ez is elég volt ahhoz, hogy ráérezzen az élményre. (Róka A.)

A felszállás a nehéz. Repülni már könnyű, csak a megfelelő sebességet kell elérni, hiszen a papírrepülő csapkodás nélkül is siklik a levegőben. Azért esik le, mert a közegellenállás miatt csökken a sebessége (3.13. táblázat). A madarak esetében a repülési sebesség elérése után éppúgy működésbe lép a szárnyakra ható „fenntartó erő”, mint a papírrepülő esetében (dinamikus felhajtóerő). Ettől kezdve csak a sebesség fenntartása vagy az irányváltoztatás érdekében kell „legyezni”. A repülőgépek szárnya merev. A lopakodó bármennyire hasonlít, nem tud olyan finom „szárnycsapásokat” végezni, mint a rája. A tolóerő – származzon az csillagmotor által hajtott propellerektől vagy sugárhajtóműtől – az utazási sebesség fenntartására, a közegellenállás legyőzésére kell. Az élővilág izommeghajtásában pedig minden előfordul. Tréfásan mondhatjuk, hogy amíg a rája „repül” a vízben, a repülő halak „úsznak” a levegőben.

Feladat

Hasonlítsuk össze az élőlények és a technikai eszközök repülési módjait!

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	papírrepülők, modellek, sárkányeregetés
fizika	dinamikus felhajtóerő
élővilág	termések repülése röptető szerkezetekkel; vitorlázó- és siklórepülők; rovarok, madarak repülése szárnyakkal, emlősök repülése bőrredőkkel
repülő szerkezetek	a repülési sebesség elérése szabadeséssel; vitorlázó repülők, siklórepülők
	a repülési sebesség elérése motorral, motoros sárkányrepülők
	a repülési sebesség elérése, fenntartása sokhengeres motoros propellerekkel
úrhajózás	a repülési sebesség elérése és fenntartása sugárhajtóművekkel
	a repülési sebesség elérése rakétamotorral

3.13. táblázat. Példák a repülésre

A távolhatás élménye – a Föld vonzóereje

Newton talán valóban a fáról lepottyánó alma döbbsentette rá arra, hogy az almát nem mozgatja senki, ezért a bolygók keringéséhez sem kell mozgató. A fán csüngő alma nyugalomban van mindaddig, amíg nem szakad el a fától. Vajon mi az a hatás, ami „leszakítja” és megváltoztatja a mozgásállapotát? Hiszen az almának nincs szárnya, amivel lökhetné magát a levegőben. Sőt, amíg a madarak tetszőleges irányban repülhetnek, az alma mindig csak lefelé esik. Ez a törvényszerűen kitüntetett irány a Föld déli félgömbjén érdekes módon éppen ellenkezője az északinak. Vagyis a lefelé és a felfelé viszonylagos, és minden a Föld középpontja felé esik. Ezért képzelhették a geocentrikus világgépet védelmezők azt, hogy a Föld a Világegyetem középpontja. Talán ugyanezért gondolta *Newton*, hogy a vonzóerőt maga a Föld fejt ki. A látszat száműzése egy új típusú kölcsönhatás felfedezéséhez vezetett. A Föld közvetlen érintkezés nélkül is hatással van az almára. Ezzel született meg a

„távolhatás”, élménye és vele a Föld vonzóereje. A Föld vonzása egyoldalú, „elszenvedett” hatásnak tűnik, mert mi csak a testekre gyakorolt erőt érzékeljük, és a testek által a Földre kifejtett erőt nem. Csak azt érezzük, hogy a testek lefelé húzzák a kezünket, nehezek, súlyosak, súlyuk van. Így lett, ezért lett az érzékelt erő **nehézségi erő** vagy súlyerő.

3.2.2. Az erők világa

A. A kölcsönhatás következménye, a mozgás

Akár rövid idejű, akár tartós, akár közvetlen, akár távolhatástól alakul ki, a következmény ugyanaz: az ébredő erő hatására változik meg a mozgásállapot. **Az erő az ok, és a mozgásállapot-változás az okozat.** A korábban megismert mozgástípusokat rendszerezhetjük a fellépő erők száma és iránya szerint is. Lépésről lépésre haladva kezdjük újra a legegyszerűbb esettel!

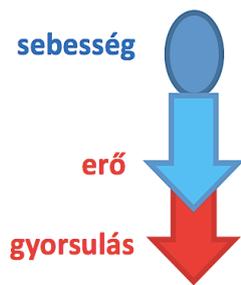
Egyetlen erő hatása – a szabadesés

*„...szemed kékjét csodáltam épp az égen, / de elborult s a bombák fönt a gépben / zuhanni vágytak ...”
(Radnóti Miklós: Levél a hitveshez)*

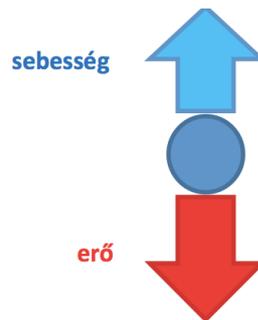
Az erők száma szempontjából a legegyszerűbb mozgás a szabadesés. Amikor az alma pottyan, egyetlen erő hatása alatt mozog. Ha a test nyugalmi állapotból indul, a Föld vonzóereje meghatározza a mozgás, a sebesség, sőt még a sebesség változás irányát is. Az alma (a test) egyre gyorsabban és gyorsabban zuhan, vagyis folyamatosan növekszik a sebessége. Éppúgy gyorsul, mint az autók a gyorsulási versenyeken, amikor álló helyzetből indulva a minél nagyobb végsebesség elérése a cél (3.14. táblázat). Állandó nagyságú és irányú erő hatására a gyorsulás is állandó, és a test sebessége egyenletesen változik (**egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás**) (3.5. ábra).

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	minden lefelé esik
fizika	szabadesés; egyenes vonalú, egyenletesen gyorsuló mozgás
technika	cölöpverő; akrobatikus zuhanó repülés
élővilág	lepottyanó termések; ragadozó madarak zuhanó repülése
sport, extrém sport	ugrások; bungee jumping; sztratoszféra ugrás
földrajz (meteorológia)	csapadékok, jégeső
csillagászat	„hulló csillagok”, meteorok szabadesése
űrhajózás	visszatérő egységek szabadesése; „űrszemét” lezuhanása; a Rosetta Föld és Mars közeli gyorsítása

3.14. táblázat. Példák a szabadesés megjelenésére és jelentőségére



3.5. ábra. Az erő és az általa okozott gyorsulás iránya



3.6. ábra. Az erő ellentétes irányú a test sebességével

Egyetlen, de a sebességgel ellentétes irányú erő – a függőleges hajítás

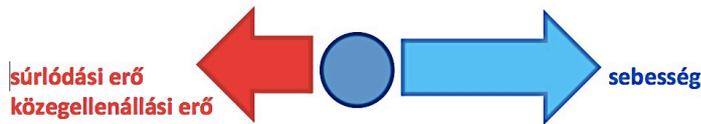
Miért fontos az erő iránya? Egyedül a Föld vonzóereje hat a függőlegesen felfelé hajított labdára, kőre is, csak ekkor az erő a kezdeti sebesség irányával ellentétes irányú (3.6. ábra). A labda egyre lassabban mozog, csökken a sebessége, lassul. Végül a holtpontra meg is áll. A kezdeti sebesség irányával ellentétes irányú erő lassít, lassulást okoz. Minél nagyobb sebességgel indítjuk el a testet, a nehézségi erő annál hosszabb idő alatt lassítja le, vagyis annál magasabbra jut. Csak a rakétahajtás felfedezése tette lehetővé az első kozmikus sebesség elérését. A Föld vonzóereje határt szab a molekulák mozgásának is. A kisebb tömegű Hold vonzóereje nem tudta fogva tartani a molekulákat, ezért nincs légköre.

Egyetlen, de a sebességgel ellentétes irányú erő

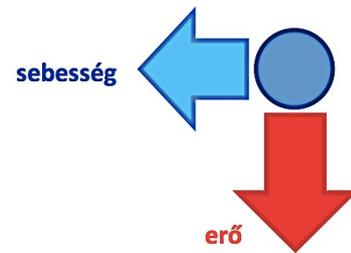
A feldobott kőhöz hasonlóan a vízszintes felületen elgurított golyó is megáll, amikor a mozgás „elvész”. A mozgás logikája alapján arra gyanakodhatunk, hogy egy sebességgel ellentétes irányú lassító erő jelentkezik, ami persze nem lehet azonos a Föld vonzóerejével. Az egymáson csúszó, az érdességük miatt mégis ütköző felületek között **súrlódási erő** ébred, ami a sebességgel mindig ellentétes irányú. A levegőben vagy vízben közlekedő testek szükségszerűen lökdösik az útjukba kerülő részecskéket, ami lassító **közegellenállást** fejt ki (3.9. ábra, 3.15. táblázat).

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	az esernyő kifordul a szélben
fizika	nagysága a sebességgel arányos
technika	áramvonalas test kialakítása
élvilág	áramvonalas testek
sport	súrlódást csökkentő versenyruhák
csillagászat	a „hulló csillagok” felizzása
űrhajózás	hővédő pajzs

3.15. táblázat. Példák a közegellenállás megjelenésére



3.7. ábra. A sebességgel ellentétes irányú súrlódási erő lassítja a mozgást



3.8. ábra. A sebességre merőleges irányú erő körpályára kényszerít

Egyetlen, a sebességre merőleges erő (körmozgás, ingamozgás)

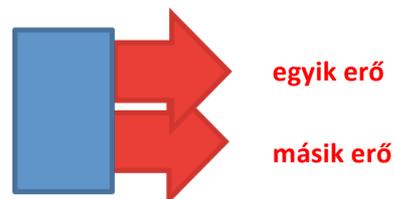
Régen tejeskannákban vittük haza a kimért tejet. Látványos és néha költséges mutatvány volt függőleges irányban megforgatni a teli kannát. Akkor még csak tapasztalatból tudtuk, hogy kellően nagy sebességgel forgatva a tej a kannában marad. A kalapácsvető forgással gyorsítja a repülési sebességre eszközét. A kalapácsot a kötelék kényszere mindaddig körpályán tartja, amíg a sportoló el nem engedi. A körmozgás feltétele a sugár irányába ható erő. Ilyenkor az erő merőleges a sebesség irányára. Ezért csak a sebesség irányát képes változtatni, de azt folyamatosan, pontról pontra a középponttól azonos távolságra lévő pályára kényszeríti (3.8. ábra). A távolható erők esetében nincs szükség kötelékre. A Föld vonzása a légüres térben is pályán tarja a Holdat, a Nap vonzása pedig a bolygókat. A műholdak és az űrszemét azonban még annyira közel vannak a Földhöz, hogy a nagyon „ritka” (kis sűrűségű) légkörben fékeződnek, ezért évek múltán a Föld vonzóerejének engedelmessé spirális pályán keringve végül lezuhannak.

B. Két erő hatásai

Két, azonos irányú erő – egymást erősítő, összeadó erők

Az egyszerű ember is tudta, hogy két igavonó állat több terhet képes elhúzni, mint egy (3.9. ábra). Keressünk példákat az összeadó, egymást erősítő erőkre (3.16. táblázat)!

„Amint kiérnének az erdőből, találkoznak a gróffal,
s a falubíróval. Ezek majd hanyattég estek, mikor látták,
hogy a két kis pirinkó ökör mekkora szekér fát viszen.”
(A két bors ökröcske, magyar népmese)



3.9. ábra. Két azonos irányú erő segíti egymást

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	„közös erővel”
fizika	összeadódó erők, eredő erő
technika	tandem kerékpár, vízi bicikli; 2, 3, 4 illetve több hengeres motorok, csillagmotor; több hajtómű tolóereje; a súrlódás és a közegellenállás összeadódó ereje
technológia, építészet	összehangolt szállítás, emelés (pl. a piramisok építése során)
élvilág	„közös erővel”; izomszálak összeadódó húzóereje
sport	fogathajtó verseny
űrhajózás	több gyorsító rakéta (pl. űrsiklók) fellövése

3.16. táblázat. Példák egymást erősítő erőkre

Két, egyenlő nagyságú, de ellentétes irányú erő

Azt képzelhetnénk, hogy a nyugalmi állapot legegyszerűbb esete az, amikor nincs kölcsönhatás, ezért egyetlen erő hatásával sem kell számolni. Ilyen azonban talán nincs is! Az az igazság, hogy egyetlen kölcsönhatás, és azzal egyetlen erő megjelenése is ritka, speciális eset. Az ejtőkamrákból például kiszivattyúzzák a levegőt, hogy a közegellenállás ne befolyásolja a szabadesést. A bolygók közötti térben valóban nem kell számolni a közegellenállással. Ennek köszönhető például az, hogy a Rosetta űrszondát még gyorsíthatta is a Föld és a Mars vonzó ereje, hogy utolérje a Csurjumov-Geraszimenko üstököst. Az asztalon lévő testre hiába hat a Föld vonzó ereje, nyugalomban marad, nem esik lefelé, mert a testek taszítása nyomán azonos nagyságú **ellenelő** „ébred” (3.10. ábra).



3.10. ábra. Erő és ellenereje



3.11. ábra. A magdeburgi féltekék, és a rájuk ható erők

A fán csüngő almára éppúgy hat a Föld vonzó ereje, mint a lepottyanóra. Mégsem esik le. Csak addig maradhat nyugalomban, amíg oda köti az ellenelő, ami a vonzó erő ellenére tartja. Vagyis az erők szempontjából az alma függeszkedése összetettebb jelenség, mint a lepottyanás. Mert amíg a szabadon eső almára csak egyetlen erő hat, a függeszkedőt két, egymással ellentétes irányú, de azonos nagyságú erő tartja nyugalomban. A nyugalmi állapot tehát általában két vagy több ellentétes irányú erő egymást kioltó hatásaképpen alakul ki. Az ellentétes irányú erők látványosan jelentek meg Otto von Guericke, Magdeburg polgármesterének nagy közönség előtt bemutatott, tudománytörténeti jelentőségű kísérletében. Két, egymáshoz jól illeszkedő réz félgömb közül kiszivattyúzta a levegőt. A légnomás olyan erővel préselte össze a félgömböket, hogy 8-8, ellentétes irányba húzó ló

sem tudta azokat szétválasztani. Guericke ezzel a kísérletével bizonyította be a levegő nyomásának „erejét” (3.11. ábra). A különböző irányú erők egyensúlyán (a statikán) alapul a művészetté fejlődő építészet.

A kiterjesztés területei	Példák
gyermekkori tapasztalat	a felegyenesedés, állás
fizika	az erők (és forgatónyomatékok) egyensúlya
építészet	építmények stabilitása; a megalit-építészet csodái; épületek, tornyok, vázszerkezetek
technika	a járművek vázszerkezete
élvilág	csontvázak
természetföldrajz	természet által alkotott kőalakzatok egyensúlya (pl. ingókö)

3.17. táblázat. Példák az erők egyensúlyára, az egyensúlyozásra

Két, ellentétes irányú erő – „ki az erősebb?”

Ha az ellentétes irányú erők nem egyenlők, a kisebb erő csak gyengíti a nagyobb hatását, de nem tudja hatástalanítani. A kötélhúzás hiába áll döntetlenre egy ideig, az erősebb végül győzedelmeskedik. A súrlódás és a közegellenállás szerencsére csak módosítja a hajtóerőt, de csak akkor lassítja le a testet, ha megszűnik a meghajtás. Az ellentétes irányú erők tehát általában „vetélkednek” egymással. Amíg a kerékpárok, motorok, autók fékberendezésekkel növelik a súrlódási erőt, az állatoknak fékezni és megállni is izomerővel kell. Mennyire változatos az uszonyok és a szárnytollak mozgáslehetősége, hogy a halak és a madarak gyorsítani és fékezni egyaránt tudnak vele.

A közeg ereje, a felhajtóerő

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	héliumos lufi
fizika	a test által kiszorított levegő vagy víz súlya
technika	hőlégballon, léghajó; csónakok, hajók vízkiszorítása; tengeralattjárók merülése és emelkedése; a sztratoszféra-ugrás kabinját emelő léggömb
élvilág	halak merülése és emelkedése
sport	a bűvárokra ható erők
földrajz	úszó jégtáblák, jéghegyek; a felmelegedett levegő felfelé áramlása; rétegződés a sűrűségkülönbség alapján; meteorológiai léggömbök

3.18. táblázat. Példák a felhajtóerő megjelenésére

A víz alá nyomott labdát vonzza a Föld, mégis „kiugrik” a vízből. *Arkhimédész* figyelt fel arra, hogy a vízben könnyebbé válnak a testek. Egyetlen erővel ezek a jelenségek nem magyarázhatók meg. Ébrednie kell egy másik, ellentétes irányú erőnek is, ami „vetélkedik” a nehézségi erővel. *Arkhimédész* ezt erőt találóan felhajtó erőnek nevezte el. Ez a test és a

közeg részecskéinek kölcsönhatásából származó erő látványosan akkor jelenik meg, amikor a test sűrűsége kisebb a közeg sűrűségénél. A **felhajtó erő** nagysága a test által kiszorított víz vagy levegő súlyával egyezik meg. „Minden vízbe mártott test, a súlyából annyit vesz...” / „... mint amennyi az általa, kiszorított víz súlya.”

Egyenlővé váló ellentétes irányú erők – egyenletessé váló mozgás, az egyenletes mozgás feltétele

A folyadékban süllyedő golyó vagy az ereszkedő ejtőernyős (a felhajtóerővel csökkentett súlyerő hatására) kezdetben gyorsul. A **közegellenállástól származó erő** érdekessége, hogy változhat a nagysága. Értékét a mindenkori (pillanatnyi) sebesség határozza meg, vagyis nem nőhet határtalanul, a sebességtől függetlenül. Ezért a gyorsulás során a sebesség, és általa a közegellenállás csak addig növekedhet, amíg egyenlővé válik a vele ellentétes irányú gyorsító erővel. Ettől a pillanattól kezdve azonban a sebesség nem változik tovább, és a golyó, illetve az ejtőernyős „tehetetlenül”, állandó sebességgel süllyed. A mozgás minden esetben egyenletessé, állandó sebességűvé válik, ha a testre ható erők kioltják egymás hatását. Általában, amikor megszűnik a külső erő hatása, a test „tehetetlenül” megtartja a mozgásállapotát (Newton tehetetlenségi törvénye).

Egymással versengő ellentétes irányú erők – a rezgőmozgás oka

A rugóra akasztott test nyugalomba kerül, amint a nehézségi erő és az azzal ellentétes irányú rugóerő egyenlővé válik. A két erő közül most a rugóerő nagysága változhat. Annál nagyobb, minél nagyobb a rugó megnyúlása. Kilendítve a testet az egyensúlyi, a nyugalmi állapotból a rugóerő és a nehézségi erő „verseng” egymással. A rugó maximális megnyúlásakor a rugóerő a nagyobb, ezért a test felfelé mozog, gyorsul. A felső holtpontra az összehúzódás – a legkisebb megnyúlás - miatt a rugóerő lecsökken, és a nehézségi erő válik nagyobbá. Ezért a mozgás iránya ismét megváltozik. Minden fázisban megjelenik egy, a sebességgel ellentétes irányú visszatérítő erő, ezért a test oda-vissza mozgást, harmonikus rezgőmozgást végez.

Forgató erő, illetve erők – különböző hatásvonalú erők forgatónyomatéka

„Egyedül nem megy, egyedül nem megy...” – Egyedül nem lehet libikókázni. – *„Mióta százkilencven kilós vagyok, közösségi tevékenységgé vált a lipityókázás.”* Ha az ellentétes erők nem egy egyenes mentén hatnak, a testet (képzelt vagy valós tengely mentén) forgásba hozzák. A **forgató hatás** (forgató nyomaték) nagysága, függ az erő nagyságától és a forgástengelytől mért távolságától.

Gyermekkorunk történetét elemezve hamar rájöhettünk, hogy hosszú kapcsolatunk volt az erők forgató hatásával (a forgatónyomatékkal). A történet az első kerék meghajtású, háromkerékű pedálgának taposásával kezdődött, majd egy ideig a hátsókerék meghajtású, kétkerekű nem hagyta magát, mert rendre felborult, vagy

a forgó mozgást átvivő lánc kapta be a ruhánkat. Mire rájöttünk, hogy gyorsabban kell hajtani, megkaptuk az első sebességváltós biciklit, amivel nem kellett annyit erőlködni. Tapasztalhattuk, hogy ha nagyobb fogaskerékre ugrattuk a láncot, könnyebb volt hajtani (könnyebb volt a forgató hatást kifejteni). A BMX valahogy mindig könnyen gurult, pedig nem is volt váltója. A 18 sebességgel pedig már majdnem a falat is meg lehetett mászni. (Róka A.)

Nem mindig gondolunk rá, de a csukló, a könyök és a váll forgástengelyek. Más-más forgató hatást (forgatónyomatékot) fejthetünk ki csuklóból, könyökből vagy nyújtott karral indítva.

„Azzal a nehéz fát könnyeden forgatja, / Mint csekély botocskát, véginél ragadja;
Hosszan, egyenesen tartja félkezével, / Mutatván az utat, hol Budára tér el,
S mintha vassá volna karja, maga válva, /Még csak meg se rezzen a kinyújtott szálfá.”
(Arany János: Toldi)

A kiterjesztés területei	Példák
gyermekkori tapasztalat	libikóka; jojó; három kerekű bicikli
fizika	(az erő és az erőkar szorzata); mérlegelv; örvények keletkezése, turbulens áramlás
technika	áttétel; sebességváltók kerékpáron, motorokon, autókon
élvilág	végtagok (forgás jellegű) mozgatása
sport	ütések, lendítések indítása; pingpong, tollaslabda, tenisz, röplabda
természetföldrajz	örvények, ciklonok keletkezése
csillagászat	nagyobb égitestek becsapódásának hatása a forgásra
úrhajózás	megfordító manőverezés

3.19. táblázat. Példák az erők forgató hatásának (forgatónyomaték) megjelenésére

3.2.3. A kölcsönhatásokra jellemző energiafajták értelmezése

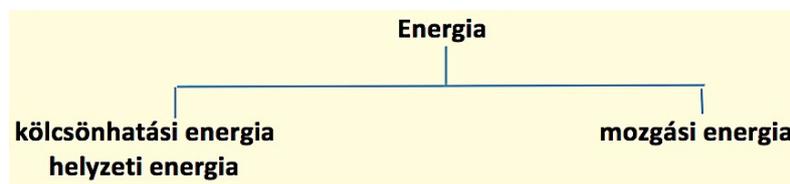
A. Az energia változása és átalakulása

Amikor a labdát felfelé hajítjuk, a holtpontra egy pillanatra megáll. Bármilyen rövid ideig is tart a nyugalomi állapot, addig nulla a sebessége és a mozgásmennyisége. Mégis rendelkezik „valamivel” a földön heverő labdához képest. A fán függő alma hosszú ideig is lehet nyugalomban, de szintén rendelkezik „valamivel” a földre már lepottyanttal szemben. Szükségszerű tehát bevezetni egy új fogalmat erre a „valamire”, ami a példák alapján különbözik a mozgásmennyiségtől (lendülettől, impulzustól). A kölcsönhatás jellemzésére ezért szükséges egy új fogalmat, az **energiát** bevezetni.

A kölcsönhatás elkülönülő fogalomkörei

Ha a labdát nem dobjuk, hanem ugyanabba a magasságba emeljük, ugyanúgy képes leesni, mint a holtpontról visszainduló. A földön guruló labda éppúgy megáll, mint a feldobott a holtponton, de úgy is marad. Nem tesz szert az újbóli mozgás képességére. A két eset a felszíntől mért távolságban különbözik egymástól. A heverő labda a lehető legközelebb van a Földhöz, míg a magasban lévő esetében nagy a távolság. Vagyis az az energia, amivel a magasban lévő alma, labda egyaránt rendelkezik a Föld és a test egymáshoz viszonyított helyzetéből következik, és a közöttük lévő távolságtól függ. Ezért **kölcsönhatási vagy helyzeti energiának** nevezik. Az energia közvetlenül nem érzékelhető olyan közvetlen módon, mint az erő. Legfeljebb a következményei. Tapasztalatok árán tanuljuk meg, hogy mikor, milyen formában „rejtőzködik”, vagy jelenik meg, de nagyon egyszerű törvény vonatkozik rá: a megmaradás. „Az energia nemvész el, csak átalakul!” (törvény és szlogen)

A labdának a felfelé haladás során is van „valamije”, ami fokozatosan elfogy, de a földön heverőhöz képest helyzeti energiára tesz szert. A függeszkedő alma még hosszú ideig őrzi, raktározza ezt az energiát, még ha nem is látszik rajta („rejtőzködő” kölcsönhatási energia). A holtpontról lefelé induló labda egyre közelebb kerül a Földhöz, egyre kisebbé válik a helyzeti energiája. A becsapódás előtti pillanatban mégis rendelkezik „valamivel”, amivel a földön heverő nem. A lefelé induló labda, alma helyzeti energiája folyamatosan átalakul a mozgásban rejlő energiává, rövidebben a test mozgási energiájává (3.12. ábra).

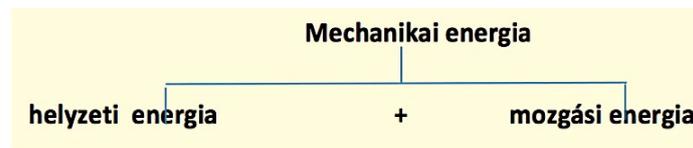


3.12. ábra. Az energia fajtái

Mivel az elgurított golyónak nem változik meg a földhöz viszonyított helyzete, a **helyzeti energiája** sem változhat meg. A kölcsönhatásban energia rejlik. A kölcsönhatási energia raktározódik, de át is alakulhat mozgási energiává. A mozgási energia viszont szükségszerűen előbb-utóbb „elvész”. A lökdösődő súrlódás következtében ugyanis átadódik a részecskéknek. Amikor az egymáson súrlódó felületek felmelegszenek, röviden azt mondjuk, hogy hő fejlődik. A mozgási energia semvész el, csak hővé alakul. A hő mögött viszont szintén mozgási energia, a részecskék rendezetlen mozgásának energiája rejlik. A súrlódás, közegeellenállás bármennyire veszteséges, bizonyítja a részecskék létezését. A **test mozgási energiájának átalakulása** inkább az energia eloszlását jelenti a test és környezete a részecskék között.

A mechanikai energia és megmaradása

Leibniz a szabadesés és a hajítás helyett az inga lengését tanulmányozta. A jelenség szembetűnő érdekessége, hogy az inga a holtpontra visszafordul, és az egy pillanatra „elveszni látszó mozgás” újraszületik. Ezáltal a mozgás megismétlődővé, periodikussá válik. Érdekesség, hogy ezt az elveszni látszó, mégis megújuló „valamit” Leibniz a mozgási energia helyett még „eleven erőnek” nevezte. Azt azonban helyesen állapította meg, hogy az inga lengése során a mozgási energia helyzeti energiává alakul, és a folytonos egymásba alakulás miatt csak a két energia összege marad meg. Egyszerre születik meg a mechanikai energia fogalma, és megmaradásának törvénye (3.13. ábra).



3.13. ábra. A mechanikai energia fajtái

Új fogalom bevezetése – a munka

Az erővel és az energiával kapcsolatos területek ugyanazokat a törvényszerűségeket írják le, csak más szavakkal. A testek abban az értelemben is tehetetlenek, hogy maguktól nem változik meg sem a helyzeti, sem a mozgási energiájuk (a mechanikai energiájuk). Az iskolatáska nem kerül fel magától az emeletre és a labda sem repül magától a kapuba. Mindennapi nyelven is azt mondjuk, hogy munkát kell hozzá végeznünk. A szél, az áramló víz amikor az erőműveket hatja meg, szintén munkát végez. Valójában a munkavégzés mögött is energiaátalakulás – a mi esetünkben tudatos energiaátalakítás – rejlik. Az emelés, a cipekedés vagy a lendítés során az izmaink végeznek munkát, miközben „biológiai energia” alakul át a test helyzeti vagy mozgási energiájává. A végzett munka a test mechanikai energiájának megváltozására fordítódik. Amikor az áramlásban rejlő mozgási energia az

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	a helyzeti és a mozgási energia változása, átalakulása a labda pattogása, a hinta lengése során
fizika	a mechanikai energia megmaradásának törvénye
technika	gravitációs elven működő siklók; vitorlázó repülőek repülése, leszállása
élővilág	vadászó madarak zuhanó repülése; madarak „vitorlázása”
sport	„ugró” és „lesikló” sportok
természetföldrajz	a természetes folyóvizek mozgása (áramlása)
csillagászat	a mechanikai energia megmaradása a bolygók mozgása során
úrhajózás	lezuhanó alkatrészek, egységek

3.20. táblázat. Példák a helyzeti és a mozgási energia átalakulására, átalakítására, a mechanikai energia megmaradására

erőművekben elektromos „energiát termel”, valójában elektromos energiává alakul, akkor röviden azt mondjuk, hogy a szél vagy a víz végez munkát (3.20. táblázat).

B. Kölcsönhatások hatótávolsága

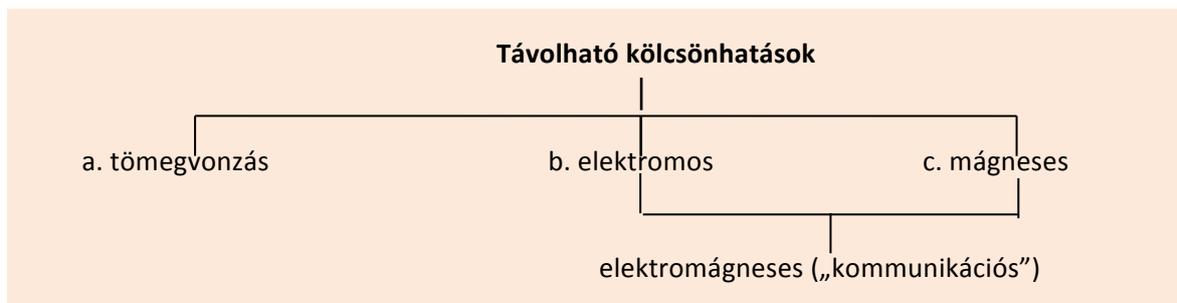
A jelenségek során a testek – rendszerek között kölcsönhatások jelennek meg, és az azokra jellemző energiák átalakulásai játszódnak le. A kölcsönhatások csoportosíthatók a hatótávolság szerint is.

„Közelhatás” – nukleáris kölcsönhatás

Azt gondolnánk, hogy két test attól közelebb már nem kerülhet egymáshoz, mint amikor összetapadnak. Pedig az atommagok még mindig sokkal távolabb vannak egymástól, mint a magot - az azokat - felépítő elemi részecskék, a protonok és a neutronok. A földi körülmények között az elektronburok taszítása miatt az atommagok sohasem lépnek kölcsönhatásba egymással. Ilyen esemény csak a részecskegyorsítókban fordulhat elő, ahol sok-sok energia árán atommagokat ütköztetnek egymással egy új elem felfedezése reményében. Ezzel a módszerrel jutottunk napjainkra a 118. elemig. Azt a kölcsönhatást, ami ilyen hihetetlenül kis távolságban is képes legyőzni a pozitív töltések rendkívül nagyra váló taszítását, a fizikusok erős kölcsönhatásnak nevezték el. A hatótávolság olyan kicsi, hogy a mesterségesen előállított atommagokban már nem tudja összetartani az alkotó részecskéket, ezért rövid idő alatt elbomlanak. Az erős kölcsönhatásnak tulajdonítható az atommagok stabilitása, és ezen keresztül a vegyületek, a kőzetek, sőt a genetikai program (a DNS) stabilitása.

Távolhatás – távolható kölcsönhatások

A távolra ható kölcsönhatások (3.14. ábra) közül a szabadesésnél már érintettük a Föld vonzóerejét, de nem elemeztük, hogy a testek között ébredő vonzás nem olyan egyoldalú, mint amilyennek látszik.



3.14. ábra. A távolható kölcsönhatások fajtái

Tömegvonzás – gravitáció

Eötvös Loránd az általa tervezett nagyon érzékeny műszerrel, a torziós ingával mutatta ki, hogy a testek között ébredő vonzó erő nemcsak a bolygókat tartja a Nap körüli pályán, hanem kicsiny testek között is megjelenik. Az egymással összemérhető méretű testek esetében bizonyosodott be, derülhetett ki, hogy ez a vonzás kölcsönös. kölcsönösen vonzzák egymást, vagyis a hatás nem egyoldalú. *Newton* óta a kölcsönhatást a **gravitáció** mellett **tömegvonzásnak** is nevezik. Sajnos, a **tömeg** is azok közé a fogalmak közé tartozik, amit csak tapasztalatok árán ismerünk meg, de eredetét nem tudjuk megmagyarázni. Csillagászati tapasztalatok szerint az erő az anyag mennyiségével arányos, a gravitáció esetében tömeg az anyag mennyiségét jellemzi. Ezt legjobban talán az bizonyítja, hogy ugyanannyi anyagnak más bolygón eltérő a súlya. Egy zacskó lisztre (1 kg) más vonzóerő hat a Holdon és a Naprendszer bolygóin (3.21. táblázat).

Égitestek	Egy 1 kg liszt súlya (N)
Merkúr	3,70
Vénusz	8,87
Föld	9,81 ~ 10
Hold	1,66
Mars	3,68
Jupiter	23,12
Szaturnusz	8,96
Uránusz	8,69
Neptunusz	11,15

3.21. táblázat. Az 1 kg lisztre ható erő nagysága a Naprendszer bolygóin

A világ sokoldalúságának és sokféleségének az a következménye, hogy a testekre nem egyetlen kölcsönhatásból származó erő hat, nemcsak a nehézségi erő jelenik meg külső erőként. Ennek az a következménye, hogy a tömeg fogalma (sajnos) egyszerre több kölcsönhatásban, ennek megfelelően több funkciót lát el. A testek nemcsak abban az értelemben tehetetlenek, hogy nem képesek külső erő nélkül önmaguk mozgásállapotát megváltoztatni. A **tehetetlenség** azt is kifejezi, hogy a testet könnyebb vagy nehezebb gyorsítani, hogy kisebb vagy nagyobb erő szükséges az ugyanakkora sebesség eléréséhez. A tömegvonzás és a „mozgatás” (mozgásállapot-változtatás) egymástól eltérő jelenségek. Ugyanakkor mindkettő arányos az anyag mennyiségével, amit mindkét esetben a tömeg hordoz. A tömeg az egyik esetben a kölcsönható képességet fejezi ki, míg a másik esetben erővel szembeni „ellenállást”, a tehetetlenséget érzékelteti.

Nem számít, hogy „könnyű vagy nehéz – Hihetetlennek tűnik, mégis igaz, hogy a különböző súlyú testek egyszerre esnek le. A nagyobb tömegű testet hiába vonzza jobban a Föld, hiába nagyobb a súlya, ha nagyobb a tehetetlensége is. Ezért ugyanúgy esnek, egyszerre esnek le. Ugyancsak *Eötvös Loránd* mutatta ki, hogy ugyanaz a „tömeg” bármilyen erővel szemben ugyanolyan mértékben tehetetlen. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a ló, az ember, a mozdony és a traktor vonóereje egyenértékű egymással, bármennyire is különböző a működésük.

... és nem számít, hogy miből van! – Eötvös Loránd bizonyította be azt is, hogy a tömegek között ébredő vonzóerő független az anyagok minőségétől. A vonzóerő szempontjából érdektelen, hogy a test üvegből, vasból vagy műanyagból készült. Ma már tudjuk, hogy az anyag mennyiségét végső soron a nehéz részecskék (a protonok és a neutronok) száma határozza meg, függetlenül attól, hogy hányasával vannak csoportosítva. Vagyis függetlenül attól, hogy milyen elemeket alkotnak. A **tömegvonzás azért válik függetlenné az anyagi minőségtől**, mert minden anyagot ugyanazok az elemi részecskék építik fel. Másrészt, az azonos részecskék között végső soron az erők is azonos kölcsönhatásra vezethetők vissza, ezért a különböző erők is egyenértékűek egymással.

Elektromos kölcsönhatás – rejtőzködő tulajdonságok, rejtőzködő kölcsönhatás

A vonalzó, a fésű, a műszálas textília dörzsölés hatására szokatlan jelenséget mutat. A távolság ellenére vonzani kezdi a környező anyagokat, a papírszeletkéket vagy a hajunkat. Ez a távolhatás nem származhat a tömegvonzástól, mert korábban nem jelentkezett. A dörzsölés hatására új tulajdonság, és ezzel együtt új kölcsönhatás jelenik meg. Kezdetben a vonalzó magához vonzza a papírszeletkét, de attól a pillanattól, hogy egymáshoz érnek, az erő taszítóvá válik, és a papírszeletke lepattan a vonalzóról. Időnként az állapotváltozás odáig fokozódik, hogy a testek között parányi szikra üt át.

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	„égnek álló a haj”; táncoló papírszeletkék; villámlás
fizika	dörzs elektromos jelenségek; elektromos erőter, mező; rejtőzködő elektromosság: a testek között ébredő tapadási és taszító erők
technika	tapadási erők; a benzines motorok gyújtó szikrájának keltése
élővilág	elektromos rája
sport	teremsportok esetében a feltöltődés lehetősége
természetföldrajz	felhők elektromos jelenségei, villámlás, szmog stabilizálódása
csillagászat	a Napból érkező protonok elektromos tere

3.22. táblázat. Példák az elektromos kölcsönhatás megjelenésére

Beavatkozás híján, a testek nem „delejesek”, nem mutatnak elektromos tulajdonságot, annak ellenére, hogy a felépítő (elemi) részecskék rendelkeznek elektromos töltéssel. Ha a pozitív és negatív töltések száma megegyezik, kompenzálják egymás hatást. Ilyenkor az elektromos kölcsönhatás és tulajdonság rejtve marad. Az ellentétes töltések vonzzák egymást, ezért az eredeti állapot előbb-utóbb visszarendeződik. Az azonos töltések pedig taszítják egymást. Ebből adódik többek között a testek taszítása. Az ellentétes töltések vonzásának legyőzése érdekében munkát kell végezni. A töltések azonban már súrlódás hatására is szétválhatnak. Ezáltal a testek elektromos töltésre tesznek szert. Ma már tudjuk, hogy a dörzsöléskor csak a negatív töltésű elektronok lépnek át az egyik anyagról a másikra.

Mivel az elektron negatív töltésű, az elektronhiányos test pozitívvá válik, és az elektron többletet hordozó lesz a negatív (3.22. táblázat).

Mágneses kölcsönhatás – a mágneses vonzás és taszítás

Az iránytű csak az alátámasztó tűskével érintkezik, mégis beáll az „északi” irányba. Az állandó mágneseknek sem kell egymáshoz érni ahhoz, hogy a vonzó és taszító erőt érzékelhessük. A mágneses kölcsönhatás is távolható, de különbözik az elektromos (elektrosztatikus) kölcsönhatástól, mert például a mágnes a papírszeletkét nem vonzza (3.23. táblázat).

A mágnes csak mágnessel vagy mágnesezhető anyaggal, például a vassal kerül kölcsönhatásba. Az azonos mágneses pólusok ebben az esetben is taszítják egymást, míg az ellentétesek között vonzó erő ébred. Fontos különbség, hogy egyetlen mágneses pólus nem jelenik meg. Mivel a mágnesesség egy-egy anyaghoz kötött, azt gondolnánk, hogy különleges, ritka tulajdonság. Valójában minden anyagban jelen van, csak a részecskeparók képződése miatt rejtőzködik. A ferromágnesek érzékelhető mágneses tere nagyon sok elektron parányi mágnesességének összeadódásával alakul ki. Egyetlen részecske mágnesessége csak műszerekkel mutatható ki. A proton (hidrogénatommag) mágnesességének érzékelésén alapul például egy modern diagnosztikai eljárás, az MRI. Az iránytűt a Föld mágneses magjának erőtere állítja irányba.

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	iránytű, állandó mágnesek
fizika	magnetosztatika, felmágneseződés; ferromágnesesség; ferromágnesek, neodímium mágnesek; az elemi részek saját mágnesessége
technika	vasszerkezetek mágneses összetartása; „mágneses” vonatok
élővilág	állatok mágneses tájékozódása
természetföldrajz	mágneses ásványok (pl. magnetit); mágneses vihar a légkörben
csillagászat	a Nap és a Föld, a bolygók mágneses tere; „mágneses viharok”

3.23. táblázat. Példák a mágnesség megjelenésére a mindennapi életből

Távolhatás – „kommunikációs” kölcsönhatás, fény (sugárzások) és az anyag kölcsönhatása

A távolhatás különleges, nagyon gyakori és nagyon hasznos módja a **távokra hatás**, vagy ahogy mindennap használjuk, a **„kommunikációs” kölcsönhatás**. A mobiltelefon segítségével akár a Föld túlsó felével is kapcsolatot létesíthetünk, ráadásul pillanatok alatt. A GPS a műholdakon keresztül másodpercnyi pontossággal követ bennünket, hogy utat mutasson, amikor szükséges. A „jel”, amivel az információ cserélhető, fénysebességgel „közlekedik” a beszélgető partnerek között. Így óriási távolságból is kifejtheti a hatását a születésnap köszöntő, illetve óriási távolság megtétele után is időben ér célba az útmutató segítség. A lehetőség mögött a sugárzások és az anyag kölcsönhatása rejlik, ami az egymástól már

elválaszthatatlan formában megjelenő elektromos és mágneses kölcsönhatásnak, az **elektromágneses kölcsönhatásnak** köszönhető.

Ez a két kölcsönhatás csak addig jelenik meg ilyen elkülönülően egymástól, amíg a töltések vagy a mágnesek nyugalomban vannak. Amikor a „*villany felkapcsolásakor*” a vezetőkben „*áram folyik*”, vagyis töltés áramlik, akkor a vezeték mentén a mágneses kölcsönhatás is kimutatható (az elektromos áram mágneses hatása). Ennek a rokon jelensége is bekövetkezhet: amikor a LED-es görkorcsolya vagy a dinamóra csatlakoztatott kerékpár-lámpa világítani kezd, a periódikusan változó mágneses erők keltenek elektromos áramot. Ezekben a jelenségben mindkét kölcsönhatás megjelenik (3.24. táblázat).

Ha a töltéseket egyenletes mozgás helyett rezgő mozgásra kényszerítjük, vagyis állandóan gyorsulnak és lassulnak, akkor egy különleges jelenség következik be. Az elektromos és mágneses tér már nemcsak elválaszthatatlan egymástól, hanem önállósul, és sugárzás formájában hagyja el a sugárforrást. Ugyanez történik, amikor a LED és az izzó világítani kezd, amikor beszélünk a mobiltelefonon, vagy amikor világít a Nap. A napfény 149 600 000 km távolságból, a légüres téren keresztül, a legnagyobb sebességgel jut el a Földre, hogy végül valamiben elnyelődjön. Éppúgy célba ér, mint a „*mobilhívás*”, csak nem egy mérnökök által tervezett szerkezetben, hanem a növények zöld színtesteiben vagy a szemünk fényérzékelő sejtjeiben.

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	a Nap sugarai; mobiltelefon; mikrohullámú sütő; távirányítók
fizika	az elektromágneses sugárzás típusai, fény; fényforrások
technika	fényforrások; hírközlés, GPS-adó; lézer- és UV-színház
élővilág	világító algák, krillek, halak, szentjános bogár; fotoszintézis
sport	lézeres célzás
természetföldrajz	tűzhányók
csillagászat	csillagok; a bolygókról, holdakról vagy az űrbázisról visszaverődő fények; fedélzeti adórendszer

3.24. táblázat. Köznapi példák sugárforrásokra

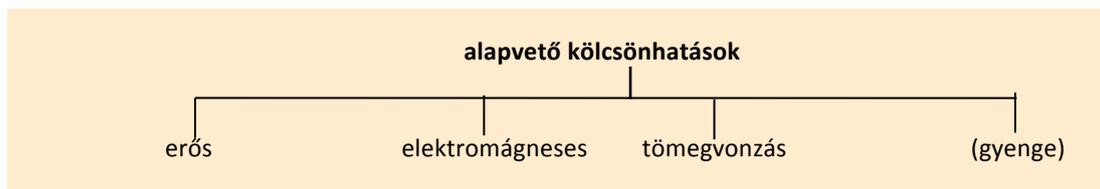
A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	a Nap melengető sugarai; mobiltelefon; az étel a mikrohullámú sütőben; a távirányítást lehető tevő érzékelők (szenzorok, infraszenzorok)
fizika	elnyelés (abszorpció); a színek kialakulása
technika	napelemek; vevőantennák, GPS-vevő
élővilág	fotoszintézis; az élővilág színei (növények, rovarok, más állatok); fényérzékelés, szem, látás
természetföldrajz	ásványok, kőzetek színei; a felszín fényelnyelő képessége
csillagászat	a csillagközi anyag fényelnyelése; távoli csillagok fényének elemzése; napelemek; fedélzeti vevőrendszer

3.25. táblázat. Köznapi példák a sugárzás és az anyag kölcsönhatására

A sugárzás tehát kapcsolatot létesít a forrás és az elnyelő között, akármilyen távol vannak egymástól. A több éven át „utazó” fény információt hoz a távoli csillagokról (3.25. táblázat).

Az alapvető kölcsönhatások – az elemi részek sokoldalúsága

Az eddig számításba vett kölcsönhatások és az ezekhez tartozó tulajdonságok sokszor függetlenül jelennek meg környezetünkben, ezért általában különállóknak is képzeljük azokat. Világunk sokoldalúsága azonban éppen abban rejlik, hogy az elemi részek ezeket a tulajdonságokat egyszerre hordozzák, és ennek megfelelően egyszerre több kölcsönhatásra is képesek. Az elektronok, a protonok egyedi, jellemző tulajdonsága a tömeg, a töltés és a mágnesesség. Ezeket a tulajdonságokat, melyeket híres tudósok ismerték meg, ma már mi is félreérthetetlenül ismerjük fel. Mégsem tudjuk származtatni azokat, nem tudjuk megmagyarázni az eredetüket. Ezért ún. **alapvető kölcsönhatásokká** váltak (3.15. ábra).



3.15. ábra. Az alapvető kölcsönhatások fajtái

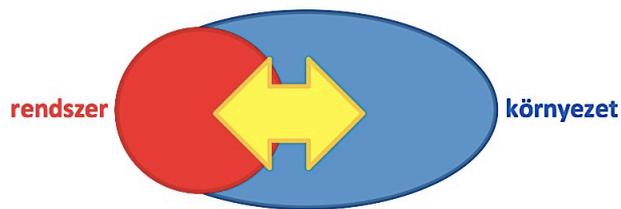
A teljesség kedvéért meg kell említenünk, hogy létezik még egy negyedik alapvető kölcsönhatás is. A gyenge kölcsönhatásnak az elemi részecskék, többek között a neutron átalakulásában van szerepe.

3.2.4. A kölcsönhatás kiterjesztése a halmazokra (a részecske sokaságra)

A mozgástípusok elemzése során nem foglalkoztunk a testeket felépítő részecskékkel. Elhanyagoltuk, hogy valójában ezekkel is történik valami. A halmazok kölcsönhatásának vizsgálata során változik a helyzet. A jelenségek megértése érdekében már nem tekinthetünk el a „belső” következményektől, a halmazt alkotó részecskék kölcsönhatásának és belső mozgásának változásától. Tapasztalati szinten ezt már az ősember is tudta: addig dörzsölt egymáson két fadarabot, amíg az oda helyezett tapló meg nem gyulladt. A mozgatással hőt tudott fejleszteni. A mozgások értelmezésekor igyekszünk a súrlódást figyelmen kívül hagyni. A tűz gyújtása szempontjából viszont mekkora szerencse, hogy van súrlódás!

Színre lép a hierarchia – fontossá válnak a részletek

A jelenségek során valójában egyszerre jut szerephez a makroszkopikus és a mikroszkopikus világ. Ezért megosztott figyelemmel egyszerre kell foglalkoznunk a halmaz szintű történésekkel és a háttérben lejátszódó részecske szintű eseményekkel. A nyomon követhetőség érdekében célszerűen el kell különítenünk egymástól a megfigyelt térrészt, az általunk vizsgált rendszert és az azt körül vevő környezetet. A környezet a kölcsönhatás módja, típusa miatt fontos, mert csak azt vizsgáljuk, hogy ennek nyomán a rendszerben mi történik (3.16. ábra).



3.16. ábra. Kölcsönhatás a rendszer és környezete között

Rendszer – anyagi halmaz, részecske sokaság, testek sokasága

Rendszer lehet egyetlen atom, egy pohár víz, egy felfújt léggömb, egy papucsállatka, egy teknős, egy sziget, maga a Föld, a Naprendszer vagy a Tejútrendszer. Minél nagyobb, annál több kölcsönhatás, és az azokhoz rendelhető folyamat jelenik meg benne. Rendszerré válik a súrlódó test is, ha odafigyelünk arra is, hogy mozgás közben (az asztallal együtt) felmelegszik, ami egyúttal azt jelenti, hogy intenzívebbé vált az alkotó részecskék mozgása. A rendszer lehet zárt (mint például egy üveg felbontatlan, szén-dioxiddal dúsított ásványvíz), lehet nyitott (mint például egy pohár „bubis” víz). Lehet nyitható és csukható (mint az ásványvizes palack, egy belső égésű motor vagy mint egy élőlény) (3.26. táblázat).

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	az akvárium és a szoba
fizika (termodinamika)	rendszer és környezet kölcsönhatása
technika	a motor lelke, a henger a benne mozgó dugattyúval és a hűtőközeg; a repülőgép és a légkör
élvilág	egy sejt és a többi sejt; egy élőlény és az élettelen környezet; egy élőlény és az élő környezet (populáció, társulás, élőhely); az élőlények és a szennyeződő élettér
természetföldrajz	a légkör és a Nap sugárzásának kölcsönhatása; a Nap által felmelegedő felszín és a vele érintkező levegő
csillagászat	a Föld és csillagászati környezete
úrhajózás	az űrhajó, űrsikló és a külső tér

3.26. táblázat. Példák nyílt és zárt rendszerre és környezetére, illetve kölcsönhatásaikra

A részecskék típusai az anyag fejlődéstörténete alapján

Az anyag fejlődéstörténete egyszerre több szálon játszódott le, és játszódik ma is. Az Univerzum szintű folyamatok csillagászati, majd földtörténeti eseményekkel folytatódtak, miközben a háttérben részecske szintű folyamatok sokasága zajlott az aktuálisan megjelenő részecskék főszereplésével. Az Ősrobbanást követő milliomod másodpercre a kvarkokból kialakultak az anyagi világunkat jelenleg is felépítő elemi részecskék (erős kölcsönhatás). Csillagászati méretben megkezdődik a csillagok kialakulása (tömegvonzás), míg a csillagok magjában beindul az atommagok képződése (erős kölcsönhatás, magfúzió). A csillagok fejlődéstörténetében számunkra a szupernóva robbanás a fontos, hiszen a Naprendszer feltehetően a szétrepült anyagból állt össze (tömegvonzás). A részecskék szintjén az atommagokat ekkor vette körbe az elektronburok, és kialakultak az atomok (elektromos és mágneses kölcsönhatás). Ettől kezdve az elektronburok taszítása már megakadályozta az atommagok találkozását (elektromos és mágneses taszítás), és a továbbiakban az elektronburok kölcsönhatása szabályozza az atomok-ionok között lejátszódó vegyülést (kémiai reakciókat, kémiai kölcsönhatásokat). Elkezdődött a bolygók kialakulása, miközben a kihűlő és megszilárduló felszínen (termikus kölcsönhatás) a vegyületekből ásványok, az ásványokból ásványtársulások, azokból kőzetek, a kőzetekből kezdetben egységes földkéreg jött létre, ami később kőzetlemezekre darabolódott. A hőmérséklet csökkenésével a légkörből kivált a víz, és kialakultak a Föld szférái: a kőzetburok, a vízburok és a légkör. Megkezdődött a felszínt és a légkört alkotó ősi anyagok átalakulása. Az életet megelőző kémiai fejlődéstörténet az anyag átalakulásának azon korszaka, amikor a Napból érkező sugárzások hatására kialakulnak az élet kialakulásához nélkülözhetetlen vegyületek. A Nap melengető hatásának köszönhetően Földünk nemcsak elkerülte a fagyhalált, hanem élet is születhetett rajta. Egyre fejlettebb szervezetek jelentek meg az őstengerekben, amik hamarosan birtokba vettek minden szférát, az egész Földet.

Részecsketípus	Példák a környezetünkből
elemi részek, protonok	Napból érkező nagy energiájú részecskék a sarkok felé térülve fényt keltenek; részecske gyorsító (CERN)
atommagok	Szabadon (mint a csillagok magjában) a Földön nem fordulnak elő, kivétel az alfa-sugárzás (nagy mozgási energiájú hélium atommagok)
atomok	a légkörben kis mennyiségben előforduló nemesgázok; higanyatomok a higanygőz lámpákban
molekulák	a légkör többi alkotójának molekulái: oxigén, ózon, nitrogén, szén-dioxid, víz; cukor, ecet
makromolekulák	a növények vázanyaga a cellulóz; a tej, a tojás, a hús alkotói a fehérjék; a gumi; a műanyagok
„molekula-kristályok” (molekularács)	jég, hópehely, jégvirág, kristálycukor
„ion-kristály” (ionrács)	konyhasó, mézskő, oltott mész, szóda, szódabikarbóna, sütőpor
„atom-kristály” (atomrács)	gyémánt, homok, agyag
„fém-kristály” (fémrács)	aranyrögök

3.27. táblázat. Példák a különböző részecskék megjelenésére az anyag szerveződési szintjein

3.2.5. Egymásra épülés – a rendszerek hierarchiája

Szerveződési szintek és kölcsönhatások

A rendszereket csoportosíthatjuk a bennük megjelenő részecskék, folyamatok szervezettsége alapján is (3.28. táblázat). A kvarkokat protonná és neutronná, majd az protonokat és neutronokat atommaggá az **erős kölcsönhatás tartja össze**, miközben a részecskék elektromos töltéssel és mágneses sajátsággal is rendelkeznek, és ilyen kölcsönhatásokra is képesek. Az atommagot és az elektronburkot az **elektromos kölcsönhatás** tartja egyben, de az atomok egymással is kölcsönhatásba kerülhetnek (ld. nemesgázokban), vagy külső elektromos és mágneses térrel, sőt sugárzásokkal is kölcsönhatásba léphetnek. Mivel a kialakuló elektronburok már „elszigeteli” egymástól az atommagokat, az atomok szintjén az erős kölcsönhatásnak már nincs szerepe, a „rejtőzködő” atommagokkal a nukleáris kölcsönhatás is „rejtőzködik”, és csak az instabil atommagok esetében ad jelt magáról (a radiaktív bomlás és sugárzás típusai).

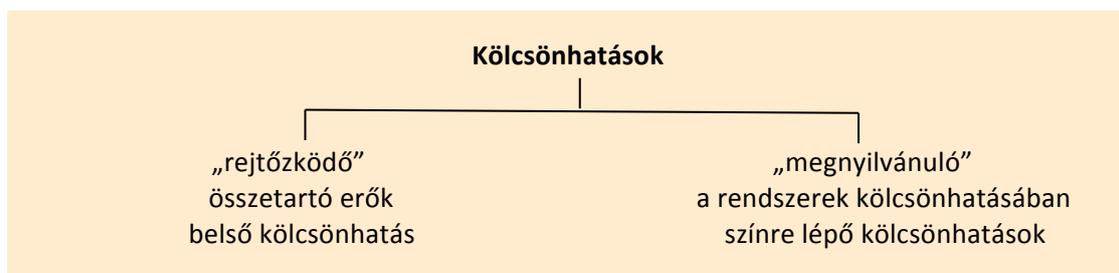
Az alkotó szerveződések típusa	Az alkotott rendszer
kvarkok	az Univerzum korai szakasza
elemi részek (protonok, neutronok, elektronok)	fiatal csillagok
atommagok és elektronok plazmaállapota	öregedő csillagok, szupernóvák
atomok, ionok	a szupernóva robbanást követő lehűlés pillanatai
kristályok, porszemek	kozmosz „por” a kozmosz gázban; vegyületek keletkezése
molekulák	bolygók kialakulása; a különböző halmazállapotú anyagok szétválása; a légkör kialakulása; szilárd anyagok, folyadékok, gázok
atomok, ionok, molekulák	a földkéreg megszilárdulása; ásványok, kőzetek; kőzetlemezek kialakulása
víz-molekulák	a víz cseppfolyósodása (kondenzációja); természetes vizek
makromolekulák	az élet megjelenése; élő szervezetek kialakulása
sejtek	szövetek, szervek
szervek	szervrendszerek
szervrendszerek	egyed és territórium
egyedek	populáció és élettere
különböző populációk	társulások és életterük
társulások	bioszféra
a Föld és a bolygók	Naprendszer
csillagok	a Tejútrendszer, galaxisok
galaxisok	az Univerzum mai állapota

3.28. táblázat. Az alkotók és a rendszerek hierarchiája

Az atomokat a tulajdonságaik által meghatározott **kémiai kötések kötik össze** molekulákká, makromolekulákká vagy kristályokká, miközben a kialakult szerkezetek – az atomokkal megegyező módon – külső kölcsönhatásra is képesek. Az atomok, a molekulák elektromos szempontból már semlegesek, az elektromos töltések egymás hatását kompenzálva rejtőzködnek. Ezért az elektromosság és a mágnesesség is rejtőzködik. A molekulákat, makromolekulákat már csak **gyenge (másodlagos) kötőerők** tarthatják fogva a folyékony és szilárd halmazállapotban, miközben a folyadékok és a kristályok a rájuk jellemző további kölcsönhatásokba léphetnek (áramlás, melegedés-lehűlés, halmazállapot-változás). A halmazállapotot meghatározó másodlagos kötőerők mellett a kémiai kötésnek közvetlenül már nincs szerepe, ezért **rejtőzködő kölcsönhatássá** válik mindaddig, amíg az anyag kémiai reakcióba nem lép (például a gyertyát égetjük, az agyagot kiégetjük, a fából faszenet gyártunk, a cukrot az élesztő hasznosítja).

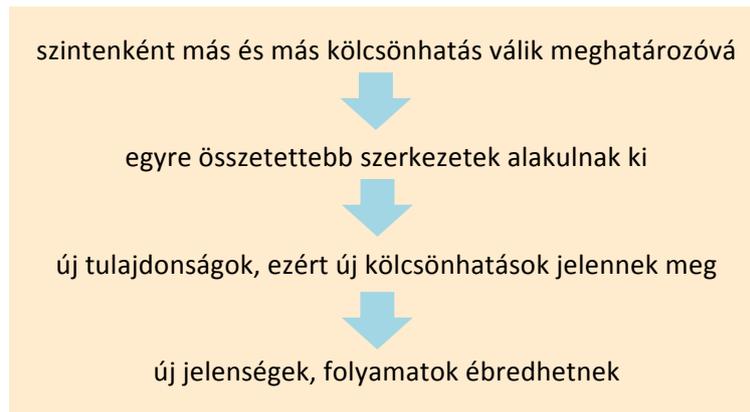
Végül, legalább az egyik „halmaz” tömegének növekedésével egyre nagyobb szerepet kap a **tömegvonzás**. Miközben a víz az évszakoktól függően az összes halmazállapot-változáson átmehet, sorsát alapvetően a tömegvonzás határozza meg. A hőmérséklet növekedésével a molekulák hiába győzik le a gyenge, másodlagos kötőerőket (a hidrogénkötéseket), a tömegvonzás a parányi vízmolekulákra is hat. Akkor is kicsi az esélyük a „megszökésre”, ha a felhők magasságában lévő „hidegcsapdán” túljutnak. Ezért marad meg a Föld légköre.

Akár a laboratóriumokban végzett kísérletekben, akár a természetben lejátszódó jelenségekben egyszerre mindig több kölcsönhatás jelenik meg. A megnyilvánuló kölcsönhatások mellett mindig rejtőzködik az összetett részecskék belső, összetartó kölcsönhatása (3.17. ábra).



3.17. ábra. A kölcsönhatások csoportosítása a megnyilvánulásuk szerint

Az anyag szerveződési szintjein szintről szintre lépve más és más kölcsönhatás játszik szerepet a megjelenő részecskék alkotóinak összetartásában. Az egymásra épüléssel egyre összetettebb szerkezetek alakulnak ki, melyek az új tulajdonságaikkal új kölcsönhatási lehetőségeket kínálnak fel. Ennek köszönhetően új, csak az aktuális szintre jellemző jelenségek, folyamatok jelennek meg (3.18. ábra).



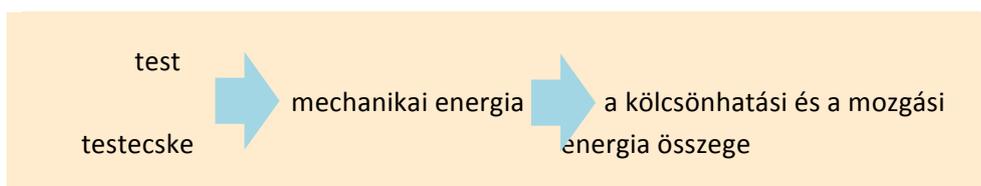
3.18. ábra. Szerveződési hierarchia

Az újabb és újabb szerveződési szintre jellemző jelenségek-folyamatok leírása a korábbiaktól eltérő, új fogalmakat, törvényeket igényel. Ezért a szerkezetek valódi egymásra épülése mellett a fogalmak, törvények is egymásra épülnek. A különböző szervezettségű részecskék tulajdonságai végső soron visszavezethetők az elemi részecskék tulajdonságaira. Ezért egy-egy fogalom végigvezetésekor a fogalmak **logikai láncot**, a szintek egymásra épülő fogalmainak sokasága pedig már **logikai hálót** alkot.

A kölcsönhatás és következménye a halmazokban

A. Az energia kiterjesztése a részecskék sokaságára

A részecskék parányi testecskék. Ezért a részecskék sokaságát tartalmazó rendszer energiája egyszerűen származtatható a testekre jellemző energiafajtákból. Csak össze kell adni a részecskék „mechanikai energiáját” (3.19. ábra, 3.29. táblázat).

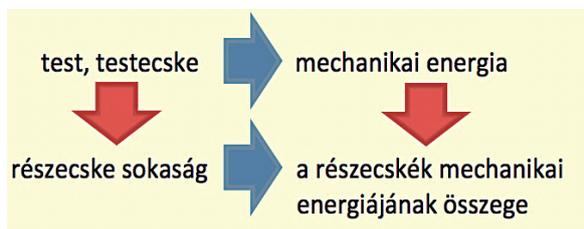


3.19. ábra. A „testecskék” részecskék mechanikai energiája

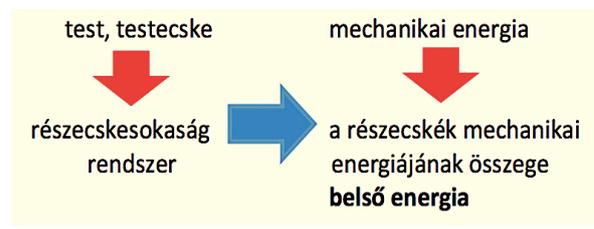
Amíg a testek kölcsönhatási energiája a tömegvonzástól származik, a részecskék kölcsönhatási energiája a kötéstípusokban rejlik, melyek az elektromágneses kölcsönhatásra vezethetők vissza (kovalens, ionos és fémes kötés, másodlagos kötőerők). Mivel a részecskék minden halmazállapotban szüntelenül mozognak, a testecskék is rendelkeznek mozgási energiával. A rendszerre nézve azonban ez a részecskék össze-vissza, céltalan, rendezetlen mozgásának az összes energiája, amit a rendszer termikus energiájával vagy hőtartalmával azonosíthatunk (3.20. ábra).

Test – egyszerű	Testecske	Rendszer – összetett részecskesokaság
kölcsönhatás		belső kölcsönhatás
a gravitációtól származó helyzeti energia	kölcsönhatási energia az elektromágneses kölcsönhatásra visszavezethető kötésekéből	a részecskék összeadódó kölcsönhatási energiája, a megjelenő kötés típusok kötési energiája
mozgás	belső mozgás	rendezetlen belső mozgás, hőmozgás
mozgási energia	mozgási energia	a részecskék rendezetlen mozgásának összeadódó energiája, ami megfelel a rendszer termikus energiájának, hőmennyiségének
mechanikai energia, (összes energia), a helyzeti és a mozgási energia összege	a részecske összes energiája, a kölcsönhatási és a mozgási energia összege	a rendszer belső energiája a részecskék belső kölcsönhatásának és belső mozgási energiájának összege
a mechanikai energia megváltozása		a belső energia megváltozása
a helyzeti és / vagy a mozgási energia megváltozása		a kölcsönhatási és / vagy a termikus energia megváltozása
munkavégzéssel		munkavégzéssel és hőcserével

3.29. táblázat. Az energiafajták megfeleltetése részecskék sokaságára



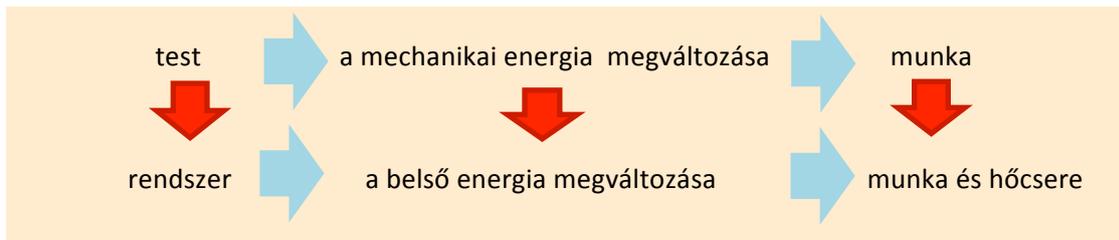
3.20. ábra. A részecskesokaság mechanikai energiája



3.21. ábra. A test belső energiájának értelmezése

B. A belső energia és megváltozása

Amíg a testek esetében a helyzeti és a mozgási energia összege a mechanikai energiát képezi, a rendszer esetében a részecskék belső kölcsönhatásának és belső, rendezetlen mozgásának összes energiája **a rendszer belső energiáját** adja (3.21. ábra). A testek mozgása esetében nem érdekel bennünket a részecskék belső mozgása, és ezen keresztül a test hőmérséklete, ezért a mechanikai energia csak egyetlen módon, munkavégzéssel változtatható meg. A rendszerek a részecskék mozgásának figyelembe vétele miatt sokoldalúbban viselkednek: a belső energia a **munka** mellett a hőcserével, a **cserélt hő** mennyiségével is változtatható (3.22. ábra).

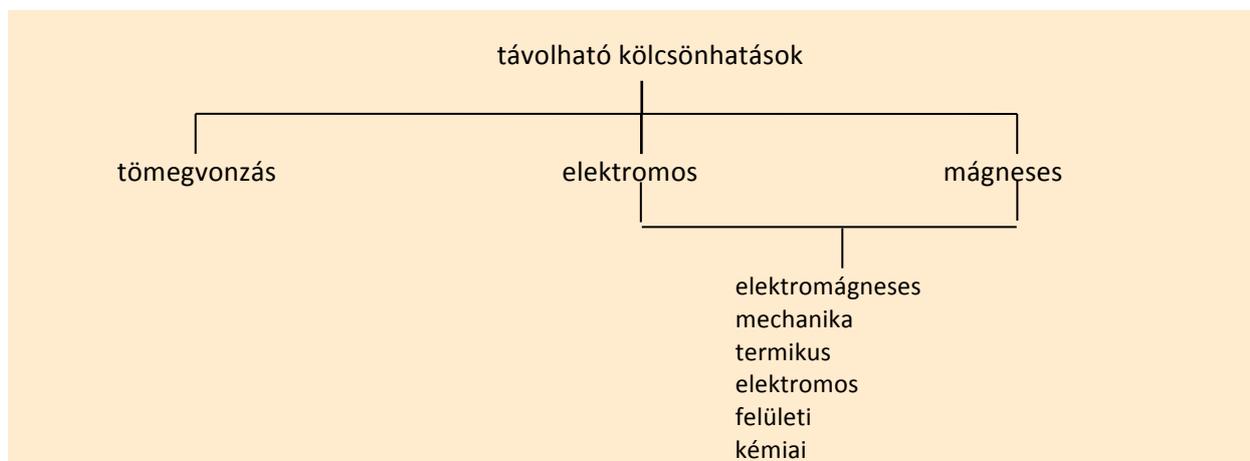


3.24. ábra. A test és a rendszer energiaváltozása

A testek esetében is többféle kölcsönhatással végezhetünk munkát (izommunka, gépi munka). A rendszerek esetében bármely kölcsönhatás megváltoztathatja a rendszer belső energiáját. Ezek a kölcsönhatások azonban általában származtatott kölcsönhatások, és visszavezethetők az elektromágneses kölcsönhatásra. A munkavégzés során energiaátalakulás történik. Amikor felfújatjuk a labdát, felmelegítjük a vizet, feltöltjük a lemerült akkumulátort, elporítjuk a kristálycukrot, a fából faszenet „égetünk” (gyártunk), a rendszeren végzünk munkát az aktuális kölcsönhatás segítségével. Amikor a sűrített levegő meghajt egy szerszámot, a termostasok felmelegíti a kezünket, az akkumulátor működteti a telefonunkat, a felfújt lufi elrepül, a benzingőz hajtja az autót, a gepárd üldözi kiszemelt áldozatát, akkor a rendszer végez munkát, és a rejtőzködő (kölcsönhatási) energia átalakul a megnyilvánuló kölcsönhatás energiájává. A törvény pedig megint rendkívül egyszerű: **energia nemvész el, csak átalakul!**

C. Halmazok, rendszerek között kialakuló kölcsönhatás típusok

Egy-egy kölcsönhatás önállóan talán sohasem jelenik meg. Egy-egy jelenségben azonban meghatározó szerepet játszhat, mert folyamatot indít vagy egy folyamat eredményeként jelenik meg. A halmazok, rendszerek között a 3.23. ábrán látható, az elektromágneses kölcsönhatásra visszavezethető kölcsönhatások jelenhetnek meg.



3.23. ábra. Az alapvető és a származtatott kölcsönhatás típusok

A mechanikai kölcsönhatás – a „vízesés elv”

A természetes vizek „fentről lefelé folynak”. Ilyenkor a helyzeti energiájuk alakul át a víz mozgási, pontosabban áramlási energiájává, ami a vízimalmokban és a vízerőművekben munkavégzésre hasznosítható. Sík terepen azonban magától nem jön áramlásba a víz, szélcsendben nem mozog a levegő. Ahhoz, hogy valamit felfújjunk, felfújtassunk, hogy csövekben (például a kőolaj- és földgázvezetékben) áramlást keltsünk, nyomáskülönbséget kell létrehozni. Az áramlási jelenségekben tehát a **nyomás** a főszereplő. Mivel a nyomás erő jellegű mennyiség (a felületre kifejtett nyomóerő), ezekben a folyamatokban a mechanikainak nevezett kölcsönhatás jelenik meg. A folyadékok összenyomhatatlanok, a gázok rugalmasak, ezért a külső **nyomás áramlást indít**, aminek határozott iránya van: mindig a nagyobb nyomású helyről a kisebb nyomású felé tart. Az áramlás során a rendezett mozgás energiája a súrlódás miatt előbb-utóbb a részecskék rendezetlen mozgásának energiájává, röviden hővé alakul. Ezért az áramlás folyamatossága érdekében fenn kell tartani a nyomáskülönbséget. Az áramlási energia nem vész el, csak eloszlik a részecskék között.

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	felfújás, felfújtatás
fizika	folyadékok, gázok mechanikája; nyomáskülönbség
élővilág	az összehúzó és elernyedő szív áramlásban tartja a vért; a bordaközi izmokkal csökkentjük a mellkason belüli nyomást, és a nagyobb nyomású külső térből a levegő beáramlik
orvoslás	injekció, infúzió során le kell győzni a „vérnyomást”
technika, modellezés	sűrített levegővel/gázzal működő járművek, modellek
természetföldrajz	a szél, a folyók, a tengeráramlások áramlási iránya

3.30. táblázat. Példák a mechanikai kölcsönhatás megnyilvánulására

A termikus kölcsönhatás – a hőcsere

Érthető, hogy a szelet a nyomáskülönbség kelti, de nem érintettük, hogy egyáltalán miért, és hogyan alakul ki a nyomáskülönbség. Amikor a Nap sugarai felmelegítik a felszínt, színre léphet a **termikus kölcsönhatás**, a **hőcsere**. A magasabb hőmérsékletűvé váló felszín már melegíti a légkört. A hőtágulás következtében csökken a levegő sűrűsége, ezért felhajtóerő ébred. A felfelé emelkedő meleg levegő helyén csökken a nyomás, ami megindítja az áramlás a nagyobb nyomású, hideg levegő irányából. A szél keltésében tehát egyszerre több kölcsönhatásnak van szerepe. (A gravitáció híján csak a hőtágulás következne be.)

A termikus kölcsönhatásban a **hő**, a részecskék rendezetlen mozgásában rejlő energia a főszereplő. A keltett folyamatok során a hőmérséklet változik. A meleg testek csak akkor hűlnek le, ha a környezetük hidegebb, és csak akkor melegszenek fel, ha a környezetük

hőmérséklete magasabb. A környezetével azonos hőmérsékletű víz (ha nem éri napsütés) magától sohasem melegszik fel. A hő önként, mindig meghatározott irányba vándorol. Ezért gondolták nagyon sokáig, hogy a hő folyadékszerű anyag, „fluidum”. A hő önként mindig a melegebből a hidegebb irányába áramlik, miközben a **hőmérséklet kiegyenlítődik**. Ellenkező esetben a hő elvonása érdekében munkát kell végezni. A hűtőszekrényekben például az energiaigényes párolgás vonja el belülről a hőt, és a gőzként viselkedő gáz cseppfolyósításakor kell munkát végezni.

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	a forró kanál ugyanúgy néz ki, mint a hideg
fizika	termikus energia, a rendezetlen hőmozgás energiája; hő, hőkapacitás, hőmérséklet
technika	első égésű motorok; repülőgép hajtóművek; rakétamotorok
élővilág	fiziológiás hőmérséklet; hüllők melegedése; állatok hóleadása
sport	„kimelegszünk”; hőtermelődés az izommunka során
természetföldrajz	geotermikus energia; a légkör hőelnyelő és hővisszatartó képessége, az üvegházhatás; a Föld hóleadása, kisugárzása
csillagászat	a bolygók felszíni hőmérséklete

3.31. táblázat. Példák a termikus kölcsönhatás megjelenésére

Az elektromos kölcsönhatás – a „vízesés elv” kiterjeszhetősége

A dörzsölés hatására kialakuló töltésfelesleg az azonos töltések taszítása miatt egyenletesen helyezkedik el a test felületén, és magától nem jön áramlásba. Az elektromosan feltöltött testekben nem folyik elektromos áram. Ezért nevezik sztatikusnak a jelenséget. A töltések szétválasztása munkát igényel. Ezt fedezheti például a dörzsölés során kifejtett munka. A többlet elektronok taszítják egymást, ezért nagy a **kölcsönhatási energiájuk**. A pozitív töltésű testen maradónak viszont kedvezőbbé vált a helyzete, kisebb lett a kölcsönhatási energiája.

A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	elektromos játékok új elemmel és az elem „lemerülése” után
fizika	az elektromos áram hatásai más-más kölcsönhatást ébresztenek (hőhatás, mágneses hatás, kémiai hatás)
technika	elektromotor, elektromos meghajtás
élővilág	ingerületvezetés
természetföldrajz	villám – elektromos áram
csillagászat	„napszél” – protonokkal töltésáramlás

3.32. táblázat. Példák az elektromos áram megjelenésére

A kölcsönhatási energia különbsége, röviden **feszültség** éppúgy biztosítja az áramlás feltételét az elektronok számára, mint a helyzetienergia-különbség a vízesés számára. A feszültség az elektromos töltések meghatározott irányú áramlását indítja, a nagyobb kölcsönhatási energiájú (potenciálú) helyről a kisebb irányába. Az elektromos feszültség

áramot kelt. A kölcsönhatási energia a töltések mozgási energiájává alakul. A töltést azonban részecskék hordozzák, melyek az áramlás során „ütköznek”, ezért az áramlásban rejlő energia a részecskék között eloszlik. A vezető felmelegszik, érzékeltetve az elektromos áram hőhatását. Az áramlási energia a részecskékre történő eloszlása izzítja fel a lámpák izzóinak wolframszálát, továbbá a vasalók és elektromos melegítők fűtőszálát.

A felületi kölcsönhatás

A kristálycukrot, a búzát meg kell őrölni, a húst le kell darálni, a szappanbuborékot, a lufit fel kell fújni, a habot fel kell verni, a tésztát ki kell nyújtani, e tevékenységek közben munkát végzünk. A felület sem változik önként. A felület növelésekor nő a rendszer felületi energiája. A felfújott lufi, ha nem kötjük be a száját, elrepül, mert a rugalmas felület összehúzódik. Az apró kristályok összetapadnak, mert tapadási erők ébrednek közöttük. A folyamatok önként a felület csökkenése irányába játszódnak le.

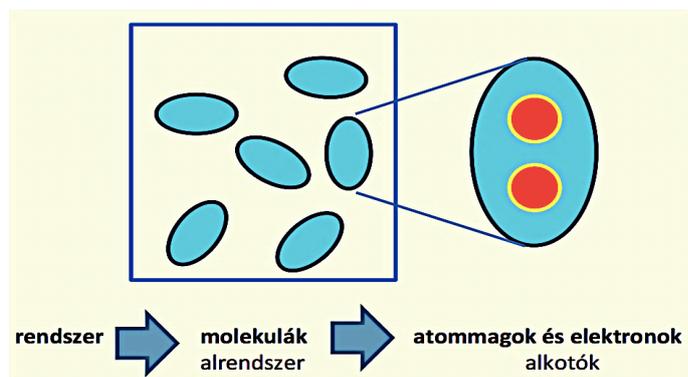
A kiterjesztés területei	Példák
gyermeki tapasztalat	szappanbuborék fújása
fizika	felületi energia, felületi feszültség; merev és rugalmas felületek
technika, technológia	hengerezés, nyújtás
élővilág	halak úszóhólyagjának térfogatváltozása; békák felfúvódó hanghólyagja; a méh összehúzódnása szüléskor
természetföldrajz	a kőzet aprózódása, felszíni erózió; a hó átalakulása (átkristályosodása)
úrhajózás	a vízcsepp gömb alakúvá válik az úrhajóban (törekvés a legkisebb felületű állapot elérésére)

3.33. táblázat. Példák a felületi kölcsönhatás megjelenésére

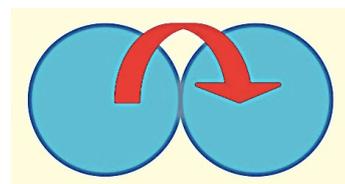
A felületi kölcsönhatás jelentőségének érzékeltetésére az egyik legszebb példa a szülés folyamata (3.33. táblázat). Hajdani „bölcsőnk”, az anyaméh csak látszólag zárt rendszer, hiszen a magzat növekedéséhez szükséges létfontosságú molekulák a méhlepényen keresztül mindvégig eljutnak hozzá. A szülés előtti pillanatokban, amikor ennek a transzportnak már csak az oxigénellátás szempontjából van jelentősége, a méh zárt rendszernek tekinthető. Ezért a méhizomzat összehúzódnását jelző tolófájások jelentkezésekor csökkenni próbál a méh felülete, miáltal növekszik a belső nyomás. A folyadékok összenyomhatatlansága miatt a magzatvíz a méhszájat kezdi tágítani. A fokozódó feszítő erő hatására a magzatburok előbb-utóbb megreped, kinyílik a „rendszer”, és az összenyomhatatlan magzatvíz az összenyomhatatlan magzattal együtt távozhat a szűk „kijáraton”. A fizika fogalmaira korlátozva a jelenséget, a méh izomzata által végzett felületi munka a magzatvíz és a magzat mechanikai energiájának megváltoztatására fordítódik.

A kémiai kölcsönhatás

Az olvadás, a párolgás, a forrás, az ionizáció, a kémiai kötés felszakítása, bármilyen kötés felszakítása energiát igényel. Fagyáskor, kristályosodáskor, le- és kicsapódáskor, kondenzációkor, kémiai kötés kialakulásakor pedig energia szabadul fel. Az említett folyamatok a **kémiai kölcsönhatás** körébe tartoznak.



3.24. ábra. A „Matrjoska-elv”, az egymásba skatulyázott rendszerek



3.25. ábra. Elektron átadása-átvétele közvetlen érintkezéssel kémiai reakcióban

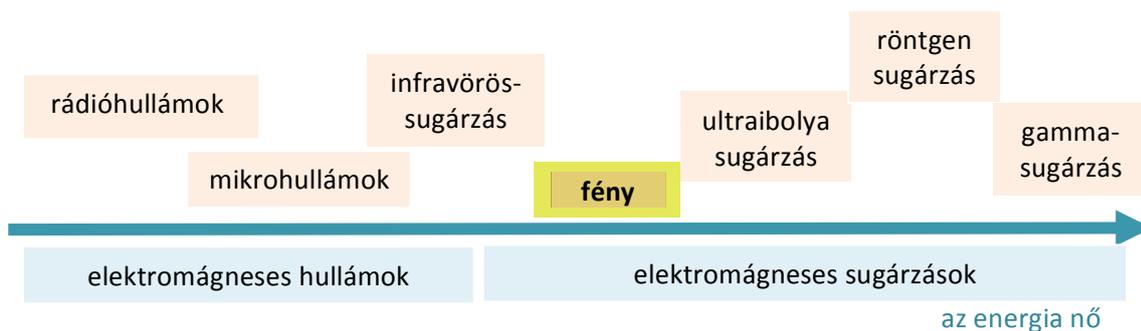
A **kémiai reakció** a folyamatoknak az a típusa, amelyben az anyag szerveződésének egyszerre több szintje jelenik meg (halmaz – részecske – elemi részecske). Ebben az esetben nem a rendszer részecskéi a fontosak, hanem e **részecskéknak a belső mozgása** válik a reakciót meghatározó tényezővé. A kémiai reakciókban ugyanis nem az atomoké, a molekuláké, hanem az elektronoké a főszerep! A kémiai reakciók során éppúgy **elektronok vándorolnak**, mint az elektromos áram esetében. A különbség csak annyi, hogy nem tömegesen és nem akár több száz kilométeres távolságra, hanem a szigorúan meghatározott számban, és részecskéről részecskére történő közvetlen átadással és átvétellel (3.25. ábra).

Ez a szigorú töltéscsere a kémiai reakciók lényege, jellegzetessége. E nélkül nem is tekinthetnénk önálló kölcsönhatásnak, mert a kémiai reakciókban az elektron-átrendeződést megelőző és kísérő folyamataiban egyszerre akár az összes kölcsönhatás megjelenhet, hiszen a reakciópartner megolvadhat és elpárologhat, mint a gyertya égése során a paraffin. A kémiai reakcióknak éppúgy van iránya, mint az elektromos áramnak. Az elektronok ebben az esetben is a nagyobb kölcsönhatási energiájú helyről, pontosabban részecskéről a kisebb felé haladnak. A felszabaduló energia azonban úgy oszlik el a részecskék között, hogy nemcsak az elektronok, hanem az atommagok is részesülnek belőle. A kötések átrendeződése során az atommagok rezgő mozgásba jönnek. Ennek egyszerre több következménye van: az intenzívebb rendezetlen mozgás következtében növekszik a hőmérséklet, a töltéssel rendelkező részecskék rezgő mozgása pedig egyúttal sugárzást kelt. Ezért az energiefelszabadulással járó reakciók esetében a hőfejlődést általában fénytűnemény is

kíséri. Természetes körülmények között az energia egy része mindig elektromágneses sugárzás formájában távozik a rendszerből.

A „kommunikációs” kölcsönhatás – elektromágneses sugárzás és anyag kölcsönhatása

Az elektromágneses kölcsönhatás éppen a sugárzás formájában terjedő „mozgási” energia miatt válhat „kommunikációs” kölcsönhatássá. Mobiltelefon hívás esetén az érkező energia munkát végez, és működésbe hozza a telefont. Az **elektromágneses sugárzás és az anyag kölcsönhatása** három lépésre bontható (3.26. ábra). Az elsőben a sugárforrás kibocsájtja az energiát. A másodikban az energia elektromágneses sugárzás formájában fénysebességgel, még a légüres térben is terjed. A harmadik fázisban az energia elnyelődik és hasznosul.



3.26. ábra. Az elektromágneses sugárzások fajtái

A fényforrások, sugárforrások – az adó antennák

Az energia kisugárzása következtében a belső mozgás intenzitása csökken, ezáltal a rendszer (a sugárforrás) belső energiája csökken. A szerveződés bármely szintjén megjelenő szerkezet betöltheti a sugárforrás szerepét (3.34. táblázat).

Szerkezet	A kibocsájtott sugárzás típusa	Példák
atommagok	gamma-sugárzás	a legveszélyesebb radioaktív sugárzás
atomtörzsek	röntgensugárzás	röntgen készülékekben keltett sugárzás
atomok	UV- és látható sugárzás	hélium-, neon-, argon-lézerek; xenonlámpák; csillagok
molekulák	UV-, látható- és infravörös	északi fény (világító N- és O-molekulák)
makromolekulák	látható	világító élőlények fényforrásai
halmazok	látható és hőszugárzás (IR)	izzó testek, folyadékok; lehűlési folyamat (termoszok)
fém szerkezetek hírközlő adó antennák	mikrohullámú sugárzás, rádióhullámok	mirohullámú sütő, mobiltelefonok, rádióadó-tornyok
csillagok	röntgen, UV-, látható, IR	a Nap
Univerzum	kozmosz sugárzás	

3.34. táblázat. Részecskék és az általuk kibocsájtott sugárzás típusa

A sugárzáselnyelők – a vevőantennák

A szerveződés szintek bármelyikén megjelenő szerkezet sugárzás elnyelővé, vevő antennává is válhat (3.35. táblázat).

Részecskék, szerkezet	Érzékenységi tartomány	Példa
atommagok	gamma-sugárzás	szerkezetvizsgálat
atomok	UV- és látható sugárzás	szerkezetvizsgálat; nemesgáz lézerek gerjesztése
molekulák	UV-sugárzás	oxigénmolekulák az ózonzépződés során; ózon-molekulák; fluoreszcenciára képes molekulák (fluoreszcein)
	látható fény	a növények és a vér fényelnyelő anyagai (a klorofill és a hemoglobin)
	infravörös sugárzás	üvegház-gázok; víz-, szén-dioxid-, metánmolekulák
halmazok felszín, víz, légkör	UV-sugárzás, látható fény és infravörös sugárzás	színek kialakulása; felmelegedés
fémkristályok félvezető-kristályok	látható fény	fotocella; napelemek
hírközlő vevő antennák	mikro- és rádióhullámok	rádióantennák, mobiltelefonok; rádiócsillagászati távcsövek
élőlények kültakarója	UV-, látható fény és infravörös sugárzás	élőlények színe, a kültakaró érzékenysége

3.35. táblázat. Részecskék és az általuk elnyelt sugárzás típusa

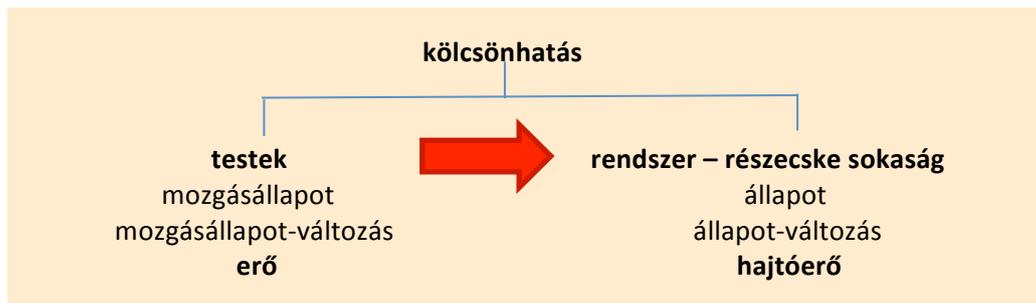
A **sugárzás elnyelődésének feltétele** rendkívül hasonlít az automaták és a bevásárlókocsik működéséhez: csak a megfelelő egység hozza működésbe. A szerkezet csak azt az energiát képes elnyelni, amilyen energiaváltozást a belső mozgás lehetősége megenged. A szabály egyszerű: amit kibocsájt, azt nagy valószínűséggel el is nyeli, hiszen pont az az energiaváltozás valósul meg a szerkezetben. Az üvegben, a gyémántban a látható fény nem képes mozgásállapot-változást előidézni, ezért átlátszóak. A koromban és a grafitban olyan gazdag a mozgáslehetőségek száma, hogy a látható tartomány összes színű sugárzását elnyeli, ezért fekete. A növények zöld színtest a vörös és a kék fényt nyeli el a legnagyobb mértékben, a visszaverődő maradék színek a zöldet alkotják.

D. A kölcsönhatás következménye a halmazokban

A folyamatok logikája

A **testek mozgásállapotának** a rendszer állapota felel meg. A testek időben változatlan nyugalmi állapotának az egyensúlyi állapot felel meg, míg a mozgásállapot-változást a rendszer állapotváltozásával azonosíthatjuk. Amíg a mozgásállapotot a mozgásmennyiség és

változása jellemzi, a rendszer állapotát a nyomás, a hőmérséklet, a térfogat és a részecskeszám, illetve az abból származtatott anyagmennyiség segítségével jellemezzük. A rendszer makroszkopikus jellemzőit azonban a háttérben a részecske szintű tulajdonságok határozzák meg, mint például a nyomást a részecskék mozgásmennyisége, a hőmérsékletet a részecskék mozgási energiája. A testekkel megegyezően a rendszer is tehetetlen, mert önmagától nem változik meg az állapota, a belső energiája. Önként nem ébred és nem is játszódik benne semmilyen folyamat. A részecskék szüntelen, rendezetlen hőmozgása az anyag elválaszthatatlan tulajdonsága, önmagában nem tekinthető folyamatnak.



3.27. ábra. A fogalmak megfeleltetése

A **testek mozgásállapot-változásával** a rendszerben lejátszódó folyamatokat azonosíthatjuk, ami a rendszer állapotának változásához vezet. Az állapotváltozást a makroszkopikus jellemzők (paraméterek), a nyomás, a hőmérséklet, az elektromos feszültség változásával jellemezhetjük. A rendszerben bekövetkező (állapot-) változásoknak éppúgy van iránya, mint a testek esetében a sebességnek, a mozgásmennyiségnek vagy ezek változását előidéző erőknek. Az önként lejátszódó folyamatokban a nyomás, a hőmérséklet, valamint az elektromos vagy a kémiai kölcsönhatási energiák különbözősége kiegyenlítődik. Ilyenkor a folyamat éppúgy leáll, mint amikor a mozgás a súrlódás következtében „elvész”. A folyamatok indításához illetve fenntartásához tehát éppúgy „külső erőre” van szükség, mint a testek mozgásállapot-változása esetén. A **hajtóerő** szerepét a testecskék sokasága esetében a nyomás-különbség, a hőmérséklet-különbség, az elektromos feszültség (potenciál-különbség) tölti be. Kémiai reakció is csak azok között az anyagok között várható, amelyeknek különböző a kémiai energiája (a kémiai kölcsönhatásban rejlő energiája). A folyamatoknak éppúgy van logikája, mint a mozgásállapot-változásnak. A rendszerek állapotváltozásában az erő logikai szerepét a hajtóerő veszi át.

A rendszer állapotváltozásához vezető folyamatot a hajtóerő indítja (3.28. ábra). A különböző áramlások (folyadékok, gázok, töltések) esetén az áramlásban rejlő energia éppúgy eloszlik a részecskék között, mint a testek súrlódása esetében. Ezért a folyamatok fenntartása éppúgy hajtóerőt igényel, mint ahogy a motornak hajtania kell az autót a már állandósult sebesség esetén is. Ahány kölcsönhatás, annyi hajtóerő és annyi féle folyamat! A

megismert kölcsönhatások mindegyikéhez tartozik hajtóerő, ami a kölcsönhatásra jellemző folyamatban a rendszer állapotváltozását okozza (3.36. táblázat).



3.28. ábra. Az ok-okozati összefüggés kiterjesztése a rendszerek állapotváltozására

Kölcsönhatás	A hozzá tartozó hajtóerő	Folyamat
mechanikai	nyomás-különbség	folyadékok, gázok áramlása (szél)
termikus	hőmérséklet-különbség	hőcsere, hőtadás (a légkör felmelegedése)
elektromos	feszültség (potenciál-különbség)	elektromos áram (villám kialakulása)
kémiai	kémiai kölcsönhatásban rejlő energia különbsége	kémiai reakció (a gyertya égése)

3.36. táblázat. Az egyes kölcsönhatás típusokhoz tartozó hajtóerő és az általuk keltett folyamat

A hajtóerő szerepét az áramlások keltésében és fenntartásában a nyomáskülönbség, a hőcserében a hőmérséklet-különbség, az elektromos áram indításában és fenntartásában a feszültség tölti be. Amíg az erő arányos a mozgásállapot-változás sebességével, a hajtóerő arányos a keltett, fenntartott folyamat sebességével. Minél nagyobb a nyomáskülönbség, annál nagyobb a folyadék vagy gáz áramlási sebessége, minél nagyobb a hőmérséklet-különbség, annál gyorsabb a hőcsere, minél nagyobb a feszültség, annál nagyobb áram folyik, és minél nagyobb a kémiaienergia-különbség, várhatóan annál gyorsabb a reakció (3.37. táblázat).

Jelenség	Hajtóerő
a felszín felmelegedése	a napsugárzás „erőssége”, intenzitása
vízésés	szintkülönbség, helyzeti energia különbség
folyóvizek áramlási sebessége	szintkülönbség, helyzeti energia különbség
szélesebesség	a nyomáskülönbség nagysága
lecsapó villám	a felhő és a felszín között megjelenő feszültség nagysága
villámlások a felhőkben	a felhőben kialakuló feszültség nagysága
izzók fényereje	a feszültség változása
felszálló légáramlás	a felmelegedés hatására kialakuló sűrűségkülönbség

3.37. táblázat. A természetben lejátszódó jelenségek hajtóereje

A folyamatok egymásra építése, egymásra épülése – egyetlen folyamat, egyetlen hajtóerő, egyetlen kölcsönhatás

Egyetlen kölcsönhatás, és ennek megfelelően egyetlen folyamat egyetlen hajtóerővel ritkán jelenik meg. Inkább csak nem vesszük figyelembe a kísérő folyamatok ébredését, ha csak az áramlásra, a hőátadásra, az elektromos áramra koncentrálnak, és a kísérő jelenségekkel nem foglalkozunk. Még a szél kialakulásában is egyszerre több kölcsönhatásnak van szerepe, hiszen az okot, a nyomáskülönbséget a Nap elnyelődő energiáján keresztül (elektromágneses kölcsönhatás) a termikus kölcsönhatás hozza létre. A felhajtóerő azonban nem ébred tömegvonzás nélkül. Földi körülmények között a gravitáció mindig jelen van, de lehet, hogy nem befolyásolja a jelenség lényegét. A szél mellett az égési jelenségek esetében azonban nem tekinthetünk el tőle. Már a szél keletkezésének figyelmes elemzése során rádöbbenhetünk, hogy világunk sokoldalúsága nem abban áll, hogy a természeti jelenségekben vagy a technikai-technológiai folyamatokban egyszerre több kölcsönhatás jelenik meg, hanem abban, hogy a kölcsönhatások nem függetlenek egymástól.

Kölcsönhatás kölcsönhatást kelt.

Kölcsönhatás-vetélkedő kölcsönhatást kelt – két hajtóerő, két folyamat

Az ellentétes irányú erők „vetélkedéséhez” hasonlóan az ellentétes irányú hajtóerők vetélkedésére az egyik legszebb példa az indukció jelensége. A mágnes mozdítása során hiába kényszeríti a vezető elektronjainak egy részét a tekercs egyik végéhez (mágneses töltésmegosztás), az elektronhiányossá váló pozitív pólus úgy is visszavonzza az elektronokat. A változó mágneses tér ideiglenes feszültséget (indukált feszültséget) hoz létre, vagyis a mágneses kölcsönhatás elektromos kölcsönhatást kelt. A mágnes vagy a tekercs periodikus mozgata oda-vissza folyó, váltakozó áramot hoz létre a kerékpár dinamójától kezdve az autók generátorán keresztül a villamos erőművek ipari méterű generátoraiig. Ha a keltett kölcsönhatás „vetélkedő” kölcsönhatást kelt, akkor az ébredő hajtóerő ellentétes irányú folyamatot indít, és a folyamat visszafelé is lejátszódik. Két ellentétes irányú folyamat végül az időben állandósuló **dinamikus egyensúly kialakulásához vezet**. Ez azt jelenti, hogy a részecskék szintjén a folyamatok ugyan szüntelenül játszódnak, csak makroszkopikusan nem észlelünk semmit. Ilyen dinamikus egyensúly alakul ki zárt rendszerben minden halmazállapot-változás esetében (3.29. ábra).



3.29. ábra. Zárt rendszer dinamikus egyensúlya halmazállapot-változáskor

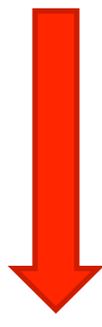
Dinamikus egyensúly áll fenn a szén-dioxid és a víz kölcsönhatása során is mindaddig, amíg nem bontjuk fel az ásványvizes palackot, vagy amíg a vízcsepp le nem cseppen a barlang mennyezetéről. A dinamikus egyensúly megbomlása vezet az ásványvíz kifutásához, illetve a barlangokban a cseppkövek kialakulásához. A kölcsönhatások „vetélkedésének” köszönhető az egyensúlyi folyamatok szabályozhatósága, ami alapja az élőlények alkalmazkodásának.

„Közreműködő” kölcsönhatások – a folyamatok szerveződése

„Alig tudom az alkalmazkodás szebb példáját elképzelni. A legjobb eredmény kedvéért a gyertya minden egyes része szolgálatra kész társa a másíknak.” (Faraday: Miről mesél a gyertya lángja)

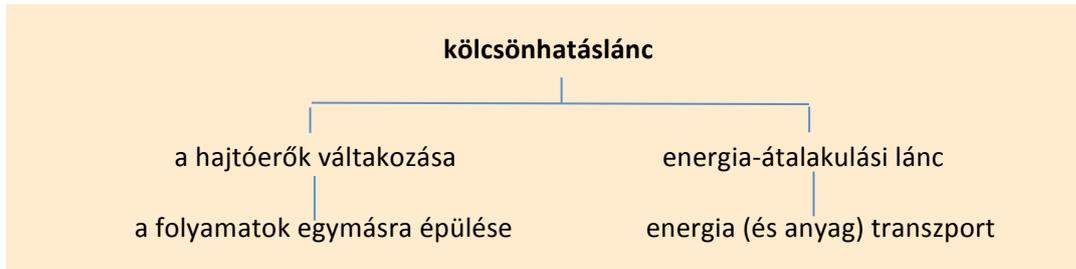
Az anyag szerveződéséhez hasonlóan a folyamatok is egymásra épülnek. Az elemi részecskékhez hasonlóan a jelenségben megjelenő folyamatokat is tekinthetjük elemi folyamatoknak. Faraday idézett mondatában nem a paraffin és a kanóc a gyertya „szolgálatra kész” része, hanem az égés során lejátszódó elemi folyamatok. A folyamatok egymásra épülésekor nem a megjelenő „szerkezetek” fennmaradása a cél, hanem a „működés” fenntartása. „*Ami elromolhat, az el is romlik.*” – A járművek a hosszan tartó működés során előbb-utóbb meghibásodnak, mégis használjuk azokat, mert a működésükre szükségünk van. A működés megértése érdekében számba kell vennünk a színre lépő kölcsönhatásokat, a hozzájuk tartozó hajtóerőket és a keltett folyamatokat, és meg kell vizsgálnunk ezek egymáshoz fűződő viszonyát, egymásra épülésükből következő logikai kapcsolatot.

A gyertya égése során az alábbi elemi folyamatok épülnek egymásra, amelyek egy-egy kölcsönhatáshoz tartoznak:

	elemi folyamat	és a hozzá tartozó kölcsönhatás
	felmelegszik	termikus
	megolvad	termikus
	felszívódik	hajszálcsovesség, tapadási erők
	elpárolog	termikus
	bomlik	termikus, kémiai
	elég	kémiai
	energia szabadul fel, ami eloszlik	termikus és elektromágneses termikus, tömegvonzás és elektromágneses

E. A kölcsönhatáslánc

Amikor a kölcsönhatások sorba állnak, akkor – a gyertya égéséhez hasonlóan – hosszabb vagy rövidebb láncot alkotnak (3.30. ábra). A kölcsönhatásláncban a hajtóerők váltakozása mellett egyúttal a megjelenő energiafajták átalakulása is lejátszódik. Ezért a folyamatok egymásra épülése – vagy egymásra építése – során az energia vándorlása (transzportja) is bekövetkezik, ami az agyagok vándorlásában (transzportjában) is megnyilvánulhat.



3.30. ábra. A kölcshatáslánc megközelítései

Egymásra építés a technikában és a technológiában

A kölcshatások és a hozzájuk rendelhető folyamatok láncszerű **egymásra építésére** és az energiák átalakulási láncára látványos példa a villamos energia atomerőmű által történő „termelése”. Az egymást követő lépésekben az energia valójában nem termelődik, csak sok-sok veszteséggel átalakul. A kölcshatások és a folyamatok egymásra építése az „atomerőmű” működése során:

elemi folyamat	a hozzá tartozó kölcshatás
maghasadás	erős, vagy nukleáris
sugárzások keletkezése	erős, vagy nukleáris
sugárzások elnyelődése	elektromágneses
a hűtővíz felmelegedése	termikus
hőcsere	termikus
a gőz előállítás	termikus
a turbina meghajtása	mechanikai
a generátor meghajtása	mechanikai
indukció(periodikus mágneses töltésszétválasztás)	elektromos és mágneses
villamos vezetés	elektromos
fogyasztó	elektromos, mechanikai, termikus, kémiai

Az urán ($^{235}_{92}\text{U}$) hasadásából származó sugárzási energia egy hányada a reaktor hűtésére szolgáló vízben elnyelődik. A hő egy része a hőcserélőn keresztül a gőz fejlesztésében hasznosul. A gőz összes energiájából az áramlásban rejlő része a turbinák forgásában rejlő mechanikai energiává alakul. Amikor a turbina meghajtja a közös tengelyre szerelt generátort, a mechanikai energia egy része elektromos energiává alakul. A „termelt” elektromos energia kis veszteséggel a távvezetéseken jut el a háztartásokba, ahol a fogyasztó olyan energiává alakítja, amilyenre éppen szüksége van. Hiszen az elektromos áram hő- és mágneses hatását kihasználva melegíthet, világíthat, üzemeltethet. Sőt, az áram kémiai hatásával még a mobiltelefon lemerült lítium-akkumulátorát is „feltöltheti” (elektrolízis).

A folyamatok egymásra épülés a természetben – a tápláléklánc

A kölcsönhatások és a hozzájuk rendelhető folyamatok láncszerű **egymásra épülésére**, és az energiák átalakulási láncára a természetben a legszebb, és egyúttal legfontosabb példa a tápláléklánc. A kölcsönhatások és a folyamatok egymásra épülése a tápláléklánc kialakulása során:

elemi folyamat	és a hozzá tartozó kölcsönhatás
magfúzió	erős, vagy nukleáris
fény születése	elektromágneses
a fény vándorlása	
a fény elnyelődése a zöld színtestekben	elektromágneses
fotoszintézis	kémiai
a növények fejlődése	biológiai
a növényevők táplálkozása	biológiai
a ragadozók táplálkozása	biológiai

A Nap sugárzási energiája a növényekben a fotoszintézis során (többek között) cukor és a párhuzamosan termelődő oxigén formájában a táplálékláncban élőlényről-élőlényre vándorol. Egy része a létfenntartás érdekében közvetlenül hasznosul (biológiai „*energiatermelés*”, energiaátalakítás), a másik része az élő szervezetek által átalakítva raktározódik („*raktározott tápanyag*”, glikogén, zsírok, olajok). A táplálékláncban olyan anyagok vándorolnak, amelyek kémiai átalakulása a Nap rejtőzködő energiáját újrahasonosíthatóvá teszik. Az élőlények a reakcióban rejlő energiát közvetlenül olyan energiává alakítják, amelyet az adott élettani folyamat éppen igényel. Az idegrendszer elsősorban a töltések áramlásában rejlő bio-elektromos energiává, az izmok mechanikai energiává, az anyagcserében a lebontó és felépítő folyamatok igényét kielégítő energiává, szükség esetén a szervezetet belülről melegítő hővé (láz).

„Gondoskodás” – visszahatás – visszacsatolás

Szinte hihetetlen, hogy a folyamatok egymásra épülésében már megjelenik a „gondoskodás”! Vegyük észre, hogy a gyertyát nem kell külön melegíteni, magától melegszik és olvad meg. Az azonban látszólag érthetetlennek tűnik, hogy ha a fejlődő hó által felmelegített „füstgázok” – az ébredő felhajtóerő miatt – felfelé szállnak, akkor miért olvad meg a láng alatt a gyertya. Hiszen a felfelé szálló „hő” nem olvaszthatja meg. Az elektromágneses sugárzás keletkezésekor azonban már említettük, hogy az energia-felszabadulással járó reakciók esetében az energia egy része sugárzás formájában távozik. A látható és az infravörös sugarak terjedése számára azonban nincs kitüntetett irány. Vagyis minden irányban terjednek. Következésképpen a gyertya testében is elnyelődhetnek, ezáltal fedezik a megolvadás energiaszükségletét. A reakcióban keletkező energia egy része

„gondoskodik” a folyamat fennmaradásáról. Az ilyen típusú visszahatást **visszacsatolásnak** nevezik. A visszacsatolás megjelenésével a folyamatok lánc **körfolyamattá** zárul. A folyamat megismétlődővé, önfenntartóvá válik. A periodikusság megjelenésével – a körmozgáshoz hasonlóan – kialakul a jelenség saját ideje, a körfolyamat periódus ideje. A gyertya körfolyamattá záruló elemi lépései annyira szabályosan követik egymást, hogy időt lehet velük mérni (gyertya óra).

Körfolyamat a természetben – a víz körforgása

A természetben megjelenő legegyszerűbb körfolyamat a víz körforgása. Az egymást követő halmazállapot-változásokban elsősorban a termikus kölcsönhatásnak van szerepe. A Nap energiája fedezi a párolgás és a magasba jutás energiaszükségletét. A hidegcsapda magasságában annyira alacsony a hőmérséklet, hogy a molekulák mozgási energiája már nem vetélkedik a másodlagos kötőerőkkel, és a halmazállapot a korábbival ellentétes irányba változik. Bekövetkezik a kondenzáció, alacsonyabb hőmérsékleten a vízmolekulák kifagyása. A felületi erőknek engedelmessé válnak egyre nagyobb cseppek vagy kristályok képződnek, melyek hőmozgása nem győzi le a tömegvonzást. Mivel a hó és a jég is képes szublimációra, a tömegvonzás hiányában a vízmolekulák előbb-utóbb megszöknek. A visszacsatoló lepattanás, a körfolyamattá szerveződés a gravitációnak köszönhető.

A vízkörforgás elemi lépései és a hozzájuk tartozó kölcsönhatások:

elemi folyamat	a hozzá tartozó kölcsönhatás
felszíni melegedés	elektromágneses
felszíni párolgás	termikus
felfelé vándorlás	termikus, gravitációs
lehűlés, hóleadás	termikus
halmazállapot változás (kondenzáció)	kémiai
méretnövekedés	felületi
leesés	gravitációs visszacsatolás

Körfolyamattá szervezés jelenik meg a motorok folyamatos működésében is. A mechanikai visszacsatolást a mérnöki találékonyság folyamatosan fejlesztette tovább. Az egyhengeres motorokban még a lendítő kerék tehetetlen forgása állította vissza a kiindulási helyzetet. A modern motorokban a közös tengely kiképzésével érik el, hogy a hengerek működése ne legyen független egymástól. Az éppen működő henger „gondoskodóan” visszaállítja a másikat a kiindulási állapotot. A motorokban a reakció során felszabaduló energia egy része éppúgy a működés fenntartására fordítódik, mint a gyertya égése esetében.

A folyamatok egymásra épülésének hierarchiája – a biológiai szerveződés szintjei

Az élet a legegyszerűbb egysejtűek szintjén a körfolyamattá és láncná szerveződő folyamatok önszerveződésével alakulhatott ki. Az evolúció ettől kezdve a már „működő egységek”, élő szervezetek egymásra épüléséről szól.

A működő szervezetek egymásra épülése, a biológiai szerveződés szintjei:

egymásra épülő folyamatok	– sejtszervecskék
közreműködő sejtszervecskék	– sejt (eukarioták)
közreműködő sejtek	– szerv, a rá jellemző szövetel, szövetekkel
közreműködő szervek	– szervrendszer
közreműködő szervrendszerek	– egyed
közreműködő egyedek	– populációk, társulások, életközösségek
kölcsönható életközösségek	– bioszféra

Az egyre magasabb szervezettségű szervezetek együttműködése mögött molekuláris szinten olyan körfolyamat rejlik, amit a Nap sugárzási energiája tart fenn. A legkülönbözőbb egyedek, a különböző területeket, kontinenseket meghódító életközösségek a közös energiaellátás, a közös légkör, az egységes anyagi felépítés és az egységes (univerzális) molekuláris folyamatok miatt végső soron nem függetlenek egymástól. Minden élőlényre igaz, hogy az energiát a sejtek szintjén, sejtszervecske erőművekben (a mitokondriumokban) „termeli”, és melléktermékként minden esetben szén-dioxid és víz keletkezik. Az ehhez szükséges „tápanyagot” pedig az összes növény ugyanazzal a folyamattal, a fotoszintézissel állítja elő, amihez a növények „molekuláris gépezetén” és a nap energiáján kívül éppen szén-dioxidra és vízre van szükség. Ezek az anyagok átalakulásuk, majd a legkülönbözőbb típusú és hosszúságú táplálékláncon történő vándorlás után újra termelődnek, és visszakerülnek a légkörbe. A szén-dioxid és a víz biológiai körforgása a bioszféra egyik, de talán legfontosabb körforgását jelenti.

A szférák harca

A Föld fejlődéstörténetében a lito-, az atmo- és a hidroszféra kialakulása után megjelent az élet, és ezzel a három szférára ráépült a bioszféra. Az élet zavartalan fejlődését vagy éppen az alkalmazkodás szükségességét támasztja alá az élővilág sokfélesége. Az ember színre lépése egy ideig nem sokat változtatott a természetes állapoton. Az értelem, a találékonyság azonban a faj evolúciós előnyéhez, elszaporodáshoz vezetett. A megnövekedett igények kielégítése érdekében az emberiség új szférákat hozott létre. Táplálkozása biztosítása érdekében a természetes élőhelyek rovására kialakította a saját, fenntartott „bioszféráját”, ami napjainkra a nagyüzemi mezőgazdasággá és állattenyésztéssé fejlődött. Az igényeket, majd a profitéhséget kielégítő fejlesztések pedig kialakították azt a technikai-technológiai szférát, ami nemcsak tovább csökkent, hanem a felfutott termelés melléktermékeivel

szennyezi is az életteret. Napjainkra a népek már hagyományossá vált harca mellett megjelent a „szférák harca” is.

Hallgatói kérdések és feladatok

1. Gyűjtse ki az érvényes kerettantervből a kölcsönhatásokkal kapcsolatos fogalmakat! Rendezze azokat megismerési logikai sorrendbe a fejezetben olvasottaknak megfelelően! Mely fogalmak hiányoznak a rendszerből?
2. Mik a felépített rendszer megvalósításának nehézségei? Hogyan lehet azokat feloldani?

A fejezetben felhasznált és ajánlott irodalom

1. *Berend M. et al (2009–2011):* Biológia I–IV. Műszaki Könyvkiadó
2. *Csákányné – Károlyházy F. (1996):* Fizika 6. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 124 p.
3. *Duclaux, L. T. (1984):* Kemény energia – lágy energia. Fizikai Szemle. XXXIV. évf. 3–4. pp. 117–124.
4. *Henke, A. – Höttecke, D. (2011):* William Gilbert – Elektromos jelenségek elkülönítése mágneses jelenségektől. Iskolakultúra. XXI. évf. 10–11. pp. 98–112.
5. *Henke, A. – Höttecke, D. (2011):* Otto von Guericke – Analógiák, erők és tudományos eszközök. Iskolakultúra. XXI. évf. 10–11. pp. 113–124.
6. *Korom E. (2005):* Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 192p.
7. *Nahalka I. – Wagner É. (1996):* Természetismeret. Tanterv 1–6. osztályosok számára. KOMP Iskolamodell, Budapest, 75 p.
8. *Nahalka I. (1997):* Konstruktív pedagógia – egy új paradigma a láthatáron I–III. Iskolakultúra. VII. évf. 2. pp. 21–33.; VII. évf. 3. pp. 22–40.; VII. évf. 4. pp. 21–31.
9. *Nahalka I. (2002):* Hogyan alakul ki a tudás a gyerekekben? Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest. 143 p.
10. *Radnóti K. (szerk. 2014):* A természettudomány tanítása. Szak módszertani kézikönyv és tankönyv. MOZAIK Kiadó, Szeged, 575 p.
11. *Simonyi K. (1978):* A fizika kultúrtörténete. Gondolat Kiadó, Budapest, 616 p.
12. *Wagner É. (2008):* A gyermeki elképzelésekkel és változásaikkal kapcsolatos ismeretek és alkalmazásuk a konstruktivista szemléletű fizika tanítás során. PhD értekezés. ELTE PPK, Budapest, 141 p.
13. *Zemplén G. (2011):* Mi a haszna a természettudományos tárgyak oktatásában a tudománytörténet és a tudományfilozófia diszciplínáinak? Iskolakultúra. XXI. évf. 10–11. pp. 55–97.