
Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar



A HŐ KÖZÉPISKOLAI ÉRTELMEZÉSÉNEK MÓDSZERTANI KÉRDÉSEI

Készítette:

Szabó Róbert

Fizika-történelem osztatlan tanárszak

V. évfolyam

Témavezető:

Sasvári László

Egyetemi docens

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

Budapest, 2018.

TARTALOMJEGYZÉK¹

BEVEZETÉS	3
1. A TÉMA MEGJELENÉSE A FIZIKA TANKÖNYVEKBEN	5
2. ALKALMAZOTT PEDAGÓGIA A SZAKIRODALOM ALAPJÁN	10
3. A JOULE-HŐ ÉS A FAJHŐ ÉRTELMEZÉSE	13
3.1. JOULE ELEKTROMÁGNESES KÍSÉRLETE	13
3.2. A FAJHŐ FOGALMÁNAK BEVEZETÉSE KÍSÉRLETI ÚTON	15
3.3. A MECHANIKAI ANALÓGIA FELISMERÉSE	18
3.4. SZÁMÍTÁSOS PÉLDA A JOULE-KÍSÉRLET ALÁTÁMASZTÁSÁRA	20
4. A LÁTENS HŐ ÉS A FÁZISÁTALAKULÁSI-HŐ ÉRTELMEZÉSE	22
4.1. KÍSÉRLET A LÁTENS HŐ FOGALMÁNAK BEVEZETÉSÉRE	22
4.2. A FÁZISÁTALAKULÁSI-HŐ KÍSÉRLETI ÚTON VALÓ ELLENŐRZÉSE	26
5. A PÁLYAMUNKA ALKALMAZÁSA AZ <i>ELTE TREFORT ÁGOSTON GYAKORLÓ GIMNÁZIUMBAN</i>	28
5.1. AZ ELSŐ TANÓRA	28
5.2. A MÁSODIK TANÓRA	34
5.3. SZEMÉLYES ÉLMÉNYEK, TAPASZTALATOK	37
5.4. A FELMÉRŐ KIÉRTÉKELÉSE	38
ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK	40
BIBLIOGRÁFIA	42
FÜGGELÉK	44
AZ ALKALMAZOTT ÓRATERVEK	44
A FELMÉRŐ	48

¹ A kivonatot (rezümét), illetve az előírás szerinti rövid összefoglalást a dolgozat végén jelenítettem meg, de mivel az nem szerves része a pályamunkának, így a tartalomjegyzékben sem jelöltem meg.

BEVEZETÉS

A mai természettudományos oktatás számtalan nehézséggel küzd, ugyanis a sokszor helytelenül vagy pontatlanul magyarázott jelenségek és kísérletek mellett túl nagy hangsúly van a számításos példákon, amelyek megnehezíthetik a szemléletes megértést is. Tudás alapú jelenünkben azonban elengedhetetlen, hogy minél többen részesüljenek a természettudományos ismeretekben.

A fennálló nehézségek egyféle megoldását jelentheti, ha integráljuk a tananyagot a más tárgyakban tanultakkal, hogy tudásunk ezáltal kiterjedtebb legyen. Ennek érdekében, az *Új Nemzeti Kiválóság Program* ösztöndíja (2017-2018) során megvalósult kutatásomban (Szabó 2018a) igyekeztem példát mutatni az interdiszciplinaritás, a társadalom- (történelem) és természettudományok (fizika) nem megszokott összekapcsolására. Mindezek oktatási környezetbe helyezése ugyanis egyértelműen támogatott a mai módszertani megközelítésekben.

Kutatásom célja ezáltal az volt, hogy a hőtan elméleti és kísérleti fejlődésének főbb elemeit történeti köntösbe helyezve mutassa be. Ennek háttérében az a motivációm állt, hogy eredményeimmel hozzájáruljak a középiskolai, természettudományos tananyag kiegészítéséhez, hiszen azáltal maga a középiskolai oktatás is izgalmasabb és szemléletesebb lehet. Előző kutatásaimban is arra törekedtem, hogy a fizika és történelem integrációjával tananyagokat készítsek; két pályamunkámból (*Pályán az ágyúgolyó* (Szabó 2017a); *Csernobil – a modern Pompeii* (Szabó 2017b)) pedig a *XXXIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencián* is megmértem magam. Ezekből rendre egy-egy cikket írtam a *Fizikai Szemlébe Történelmi szimuláció: a távolsági ágyúzás fizikája* (Szabó 2018b), illetve a *Természet Világába Csernobil és Paks a tananyagban* (Szabó 2018c) címmel.

E diákköri dolgozatom célja ugyanakkor az, hogy áttekintse ösztöndíjas kutatásom egyik legfontosabb elemét, vagyis a fajhő és ezen keresztül a fázisátalakulási hő tárgyalását. Ezért, e fizikai mennyiségeket dolgozatomban egy újszerű módon, a történeti vonatkozások alkalmazásával vezetem be, ezáltal adva hiánypótló értelmezést a két hőfogalom (hőmérsékletváltozással járó hő, látens hő) között fennálló, ám a tankönyvek által nem hangsúlyozott kapcsolatnak. Ezen túl ugyancsak megfogalmazom a hő-munka egyenérték univerzalitását, amelynek elhanyagolása szintén óriási hiányossága egyes fizika tankönyveknek.

Ennek megfelelően, elsőként a fajhő értelmezéséhez szükséges történelmi vonatkozásokat tárgyalom. E fejezetben főleg James Prescott Joule (1818-1889)

munkásságával foglalkozom, hiszen Joule hőtani eredményei alapján változtatták meg a fizika fejlődésének menetét. Ismert ugyanis, hogy Joule tevékenysége elsősorban nem azért kiemelkedően fontos a középiskolai fizikaoktatásban, hogy a munka, illetve energia SI-mértékegységét róla nevezték el, hanem mert az elektromágnesség és mechanika területén végzett kísérletei a hő-és a munka egyenértékűségének felismerésére vezettek. Utóbbi megértéséhez pedig középiskolában a Joule-hő, illetve a fajhő fogalmának ismerete szükséges. Ezen túl fontos még abból az okból is Joule hőtani tevékenységére koncentrálni, mivel ebben az évben születésének (1818. december 24.) 200. évfordulójára emlékezünk.

Ezután, Joule kísérlete és egy középiskolai körülmények között is elvégezhető kísérlet segítségével újszerű módon vezetem be a Joule-hő, majd ezt felhasználva a fajhő fogalmát. Ezt követően, megcsinálok egy számításos példát a fajhőre kapott számérték ellenőrzésére, amely lehetőséget teremt a hő-munka közötti általános kapcsolat megfogalmazására is. Ezután, Joule saját kísérleti eredményeivel ismét kiszámolom a fajhő nagyságát, s összevetem azt az irodalmi értékkel. Végül, hangsúlyozom, hogy fajhő fogalmának definiálása szorososan, szinte elválaszthatatlanul illeszkedik a történeti felfedezéshez, a tankönyvek viszont ezt figyelmen kívül hagyják. Emiatt lehet szükséges egy fizikatanár számára, hogy a dolgozatomban ajánlott módon, a történelmi háttér integrálásával kerüljön sor a kérdéskör tanítására.

A hőmérsékletváltozással járó hő értelmezése és a fajhő fogalmának tárgyalása azonban dolgozatomnak csupán az első részét alkotja. Munkám második része ugyanis a fajhő bevezetésével analóg módon értelmezhető olvadáshőt tárgyalja, s annak mérésére ajánl tanuló kísérletet. E fejezetben már történeti vonatkozások nélkül, a fajhő analógiáját kihasználva vezetem be a témát. A manapság használatos fizika tankönyvek egyike sem értelmezi ugyanis kielégítően a látens hőt, miután bevezette a hőmérsékletváltozással járó hő fogalmát. Az azonosság kimondása és hangsúlyozása viszont alapvető feladata lenne a tankönyvek hőtannal kapcsolatos leckéinek. Dolgozatom e fejezetében erre igyekszem hiánypótlást adni, azáltal, hogy egy, a középiskolai fizikaoktatásban sem alkalmazott kísérletet használok fel a problémakör értelmezéséhez, majd a kvantitatív eredményt egy másik kísérlettel is kiegészítem.

Pályamunkám említett szerkezetének kidolgozásakor az általam kidolgozott óratervek (lásd *Függelék*) felépítését követem. Az *ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziumban* a 11. fakultációs osztály két fizikaóráján ugyanis lehetőséget kaptam Varga György tanár úrtól, hogy kutatásom e dolgozatban tárgyalt fejezeteit a gyakorlatban is kipróbáljam. Az iskolai alkalmazás körülményeit, illetve személyes tapasztalataimat dolgozatom végén (lásd *4. fejezet*) foglaltam írásba, a *Függelékben* pedig a tanórákról tett következtetéseimet összegeztem.

A részletes elemzés előtt viszont hálámat fejezem ki Sasvári László egyetemi docensnek, hogy témavezetőként járult hozzá az *Új Nemzeti Kiválóság Program* (ÚNKP) során írt kutatás elkészítéséhez. Ugyancsak köszönet illeti Tél Tamás egyetemi tanárt, aki támogatta ezt a diákköri dolgozatot és szakmai, módszertani tanácsaival gazdagította azt. Emellett szintén hálás vagyok Ajtay Jánosnak, az ELTE *Anyagfizikai Tanszék* laboránsának, hogy hasznos megjegyzésekkel látta el munkámat a kutatásban feldolgozott kísérletek terén. Nem utolsósorban mondok köszönetet Varga György tanár úrnak, hogy hozzájárult kutatásom kipróbálásához az *ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziumban*. Szintén hálás vagyok a Tantárgypedagógiai és Oktatástechnológiai Kari TDK forduló (2018. december 17.) zsűrijének és Szabó Csabának kiváló szakmai és módszertani ötleteiért.

Végezetül, szintén hálás vagyok a *XXI. Tavaszi Szél Konferencia* (2018. május 4-6., Győr) szervezőinek, hogy dolgozatom témájából bemutathattam előadásomat. Zárásként még meg kell említenem az *Emberi Erőforrások Minisztériuma* által nyújtott, *Új Nemzeti Kiválóság Program* (ÚNKP) ösztöndíját (2017-2018), amely nélkül kutatásom sem valósulhatott volna meg.

1. A TÉMA MEGJELENÉSE A FIZIKA TANKÖNYVEKBEN

Joule munkásságának, illetve a fajhő fogalmának tárgyalásához és újszerű, kísérleti úton történő bevezetéséhez érdemes megvizsgálni néhány ma is használatos fizika tankönyvet, hogy lássuk, melyikük és hogyan törekedik a leghatékonyabb megértésre.

Joule tevékenységét például a *Mozaik* kiadó *Fizika 10.* című tankönyve igen csekély mértékben, a fajhő fogalmának értelmezése előtt tárgyalja. A „3.3. *A gázok belső energiája, a hőtan I. főtétele*” című leckében a hőtan I. főtételének értelmezése után, a „*Megjegyzések*” rész 4. pontjában esik csak szó James Prescott Joule (1818-1889) tevékenységéről. A tankönyv a „hőfolyadék” (kalorikum) fogalmát ismereti, majd Joule személyét állítja előtérbe, aki „*mérésekkel meghatározta a mechanikai munka és a hőmennyiség, valamint az elektromos munka és a hőmennyiség közötti megegyező kapcsolatot*” (Jurisits-Szücs 2002). Ezen kívül azt is leírja, hogy Joule névadója is lett az energia és munka mértékegységének. Ugyanakkor, hátrány, hogy a tankönyv a „*Feladatok*” között a tanulókat szólítja fel arra, hogy „*7. Keressünk irodalmat, és olvassunk Joule életéről és munkásságáról!*” (Jurisits-Szücs 2002).

Másrészt, a tankönyv a „3.4. *A gázok állapotváltozásainak energetikai vizsgálata*” című leckében, az izobár, izochor, izoterm és adiabatikus állapotváltozás értelmezését követően vezeti be az ideális gázok fajhőjének fogalmát. A tankönyv utal arra, hogy a tanulók már korábbi tanulmányaik során (itt vélhetően az általános iskolai ismeretekre gondol) is megismerkedtek a fajhővel, mint a termikus kölcsönhatásokban az anyagokra jellemző fizikai mennyiséggel. Ezután következik a fajhő definíciójának értelmezése, majd matematikai leírása: „*Egy adott anyag c fajhője megmutatja, hogy mekkora Q hőmennyiség felvételére vagy leadására van szükség ahhoz, hogy az 1 kg tömegű (m) anyag hőmérséklete 1°C -kal (vagy 1 K-nel) változzon*” (Jurisits-Szücs 2002). Ekkor a fajhő megadható a

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (1)$$

összefüggés szerint (Jurisits-Szücs 2002), ahol Q az m tömegű test által felvett hő, ha a test hőmérséklete ΔT hőmérséklettel megváltozik (Budó 1975). Ugyanakkor, a tankönyv a hőkapacitás fogalmát már kevésbé tartja említésre méltónak: a „*Megjegyzések*” 2. pontjánál szerepel ugyanis az a fizikai mennyiség bevezetése, „*mellyel a testek hőbefogadó képességét jellemezhetjük*” (Jurisits-Szücs 2002). Érdekes, hogy elsősorban nem a már bevezetett fajhő fogalmán keresztül, hanem a Q hőcsere és a ΔT hőmérséklet-változás hányadosaként értelmezi. Vagyis megadja, „*hogy a test hőmérsékletének 1 fokkal történő megváltoztatásához mekkora Q hőcserére van szükség*” (Jurisits-Szücs 2002). Ezután kerül csak sor annak felírására, hogy az

$$C = c \cdot m \quad (2)$$

kapcsolat áll fenn a c fajhő és a C hőkapacitás között. A könyv zárásként megemlíti, hogy ezen összefüggés csak homogén, azonos anyagból álló testeknél érvényes, és a fajhő elnevezés a fajlagos (tehát egységnyi tömegre vonatkoztatott) hőkapacitás rövidítéséből származik (Jurisits-Szűcs 2002).

Tekintsük ezután *Dégen-Póda-Urbán* által szerkesztett, emelt szintű kiegészítéseket tartalmazó *Fizika 10.* című tankönyvet, amely Joule kísérletét a „25. *A gázok belső energiája. A hőtan I. főtétele*” című leckében tárgyalja. A hőtan I. főtételének értelmezése után (izobár, izochor, izoterm eset) kerül sor a „*Melegítés munkavégzéssel*” című bekezdésben a kísérlet magyarázatára. Itt a tankönyv kifejti, hogy egy rendkívül egyszerű példa során is megérthető, hogy munkavégzéssel a testek hőmérséklete növelhető, vagyis a folyamat következtében hő fejlődik. Például, ha két tenyerünket megdörzsöljük, akkor meleget érzünk. Ehhez azonban súrlódás szükséges. Éppúgy, ahogy Joule kísérletében: a nehezek, miközben rajta a nehézségi erő munkát végez, forgatja a hőszigetelt edényben lévő lapátkerekeket, amelyek az edényben lévő vízzel súrlódnak. Ennek hatására a víz felmelegszik, amely hőmérséklet-emelkedést Joule az edénybe helyezett hőmérővel tudta mérni (Dégen-Póda-Urbán 2012).

Ezután a tankönyv, az előzőhöz hasonlóan, a „26. *A termodinamikai folyamatok energetikai vizsgálata*” című leckében tárgyalja a fajhő fogalmát. Itt is az adiabatikus állapotváltozást követően kerül sor a fogalom megismertetésére. Lényeges különbség viszont, hogy a tankönyv a hőkapacitáson keresztül jut el a fajhő értelmezéséhez. Kifejti, hogy laboratóriumi mérések szerint az egyes anyagok melegítéséhez szükséges Q hőmennyiség egyenesen arányos a hőmérséklet megváltozásával, amely hányados állandó, s jellemzi a gáz anyagi minőségét:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (3)$$

Ezt nevezzük hőkapacitásnak, aminek értelmezésére a könyv számos példát hoz fel. Például, hogy egy tányér ételnek kisebb a hőkapacitása, mint egy tele lábosnak, hiszen a tányér 1°C -kal történő felmelegítéséhez kevesebb hőre van szükség. Amennyiben viszont gázokat tekintünk, akkor a különböző anyagi minőségű gázok hőkapacitása akkor is különböző, ha tömegük egyenlő. Ezt a tulajdonságot, hogy azonos tömeg esetén különböző hőkapacitással van dolgunk, fajhőnek nevezzük. Ezután a tankönyv a *Mozai*khöz hasonló módon definiálja a fajhő fogalmát, megadja jelét és mértékegységét, majd kvantitatívan is értelmezi azt (Dégen-Póda-Urbán 2012).

Végül, érdemes tekinteni a szintén 2012-es NAT által meghatározott, *Oktatáskutató-és Fejlesztő Intézet* által kiadott *Fizika 9.* című tankönyvet, amely Joule kísérletét az „Energia” témakörben, a „29. Az élet és az energia, mi az a kalória?” című leckében, a „Hallottál róla?” oldalsávbán említi meg, majd röviden beszámol a kalorikum fogalmáról, és arról, hogy nincs szó önállóan mozgó hőről, hanem a fogalom egy energia-átadási folyamatot jelent. Ezen túl még egy fényképet is illeszt a Joule által használt, korabeli kísérleti elrendezésről, anélkül, hogy elmagyarázná pontos működését és megjelölné rajta a legfontosabb részeket.

Az OFI tankönyv Joule munkásságát azonban nem itt, hanem a *Fizika 10.* című kötetében említi meg. Ugyanis, a „Lakások, házak elektromos hálózata” című fejezetben, a „24. Zsebre megy a játék! Az áram ára” című leckében a „Mit gondoltak régen?” oldalsávbán esik szó Joule rövid életrajzi jellemzéséről. Ebben a tankönyv kifejti, hogy Joule apja sörgyárát öröklí meg, de a könyvben nem magyarázott okok miatt a tudományok felé fordul. Leírja, hogy magánlabort rendez be magának és önmagától tanul és kísérletezik, magántanárok segítségével (a tankönyv nem mondja ki az autodidaktizmus fogalmát). Végül megemlíti, hogy Joule „kimérte, hogy mechanikai munkavégzéssel miként lehet egy anyag belső energiáját növelni” (Horányi-Elblinger-Simon-Egri-Ádám 2015).

Ugyanakkor, a tankönyv a „29. Az élet és az energia, mi az a kalória?” című leckében tárgyalja a fajhő kérdéskörét. A lecke az egyes élelmiszerek tápérték-adatait használja ki a fogalom bevezetésére. Kifejti, hogy régen csakis a cal és kcal (kalória, kilokalória) mértékegységeket használták, ma már viszont a J és kJ egységek az elsősorban használatosak. A tankönyv az eddigiektől eltérő módon tér ki a fajhő fogalmára: mivel a kcal azt a hőt jelenti, ami 1 kg víz 1 °C-kal történő felmelegítéséhez szükséges, így kihasználva Joule hő-munka egyenértékre vonatkozó kísérletét, ez megegyezik azzal a munkával, ami szintén 1 kg víz 1 °C-kal történő felmelegítéséhez szükséges. Ha utóbbit viszont általánosítjuk, akkor értelmezhető a fajhő fogalma, amely „azt mondja meg, hogy mennyi energia szükséges egy test egységnyi tömegű darabjának egy Celsius-fokkal történő fellelegítéséhez” (Horányi-Elblinger-Simon-Egri-Ádám 2015). Utóbbi kijelentés ugyanakkor helytelenül alkalmazza az energia fogalmát, hiszen a fajhő fogalmának értelmezéséhez valójában munkavégzésről lenne szükséges beszélnünk.

A hőkapacitás értelmezése is egészen eltérő: a „Hallottál róla?” oldalsávbán számol be arról a tankönyv, hogy a hegyek – óriási tömegük következtében – nehezen melegszenek fel nyáron és nehezen hűlnek ki télen. Ekkor, az „ismert” (elsőként itt használt)

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (4)$$

összefüggésben a $c \cdot m$ szorzat az ún. hőkapacitás, amely „*azt mutatja meg, hogy egy adott test hőmérsékletét mennyi energia árán lehet 1°C-kal megnövelni*” (Horányi-Elblinger-Simon-Egri-Ádám 2015).

Ezen túl, dolgozatom másik részében a fázisátalakulással kapcsolatos látens hő fogalmát vizsgálom, s azt dolgozatom első részének analóg kísérlete alapján vezetem be. Ehhez azonban ismét látnunk kell a kérdéskör tárgyalását az egyes fizika tankönyvekben.

Az elemzést érdemes elsőként a *Mozaik* kiadó *Fizika 10.* tankönyvével kezdeni, amely szimplán hőcsereként mondja el a Q jelentését. Ugyanakkor, bár külön alfejezetben tárgyalja a „*4. Halmazállapot-változások*” című anyagot, nem ejt szót a hő-munka egyenérték fennállásáról sem (Jurisits – Szűcs 2002).

Ugyanakkor, a *Dégen-Póda-Urbán* által szerkesztett *Fizika 10. Emelt szintű kiegészítésekkel* című tankönyv bár megemlíti a fogalmat, de pontatlanul tér ki a látens hő és Joule-hő magyarázatára. A tankönyv a „*29. Olvadás, fagyás*” című leckében kezdi meg a halmazállapot-változások tárgyalását, s úgy fogalmaz, hogy „*Termikus kölcsönhatás közben az anyagoknak nemcsak a hőmérséklete, hanem a halmazállapota is megváltozhat*” (Dégen-Póda-Urbán 2012). Leírja, hogy hőközlés hatására melegíthetünk egyes anyagokat, illetve megváltozhat azoknak a halmazállapota is. Ennél részletesebben a könyv azonban nem tárgyalja a kérdést (Dégen-Póda-Urbán 2012).

Végül, az *OFI Fizika 10.* tartalmaz még kisebb-nagyobb megjegyzéseket a kérdéskörre vonatkozóan. Érdekes, hogy éppen a „*Vízkörnyezetünk fizikája*”, a „*3. Halmazállapotok és halmazállapot-változások*” című leckében a tankönyv az „*Emlékeztető*” résznél tárgyalja a fajhő fogalmát és az ennek megfelelő hő-összefüggést. Lehetőséget azonban nem nyújt, hogy kiterjessze ezt a látens hő fogalmára is, bár a fajhő előtt már megkezdte a halmazállapotok tárgyalását, majd a fajhő értelmezését követően a halmazállapot-változások értelmezését is (kezdve az olvadás és fagyás jelenségével). E hiányosságot erősíti az is, hogy a lecke végén, a „*Ne feledd!*” megjegyzésben a tankönyv megállapítja, hogy halmazállapot-változások során a rendszer energiája megváltozik. Ez az energiát, amennyiben egységnyi tömegre (1 kg) vonatkoztatjuk, úgy egy anyagi minőségtől függő állandó adódik, amely függ a halmazállapot-változás típusától is (Horányi-Elblinger-Simon-Egri-Ádám 2015).

2. ALKALMAZOTT PEDAGÓGIA A SZAKIRODALOM ALAPJÁN

A következőkben a dolgozatomban alkalmazásra kerülő pedagógiai, illetve szervezési módszereket mutatom be a releváns szakirodalmi vonatkozások alapján, majd azok gyakorlati alkalmazásairól számolok be. A három alapvető lehetőség ezek közül az „advance organizer”, az analógiás gondolkodás és a kérdve-kifejtés módszere lesz.

Elsőként szükséges megérteni az ún. „advance organizer”, vagyis az „emészthető” felvezetés fogalmát. E főként matematikához kapcsolt, ám a többi természettudományhoz (fizika, kémia, biológia) is társítható kifejezést elsőként David Ausubel használta, s lényegében egy, a tanítást megkönnyítő oktatási technikát jelent. Lényege, hogy a magasabb szintű absztrakt tananyag bevezetéséhez a tanár megtámogatja a megértés folyamatát. Hiszen, az oktatás legfontosabb feladata Ausubel szerint, hogy a fogalmakat, összefüggéseket minél világosabb és érthetőbb formában közvetítsük a tanulóknak, amihez alapvető segítséget nyújtanak a strukturáló elvek („advance organizers”). Dienes Zoltán e segítségnyújtást már úgy értelmezi, hogy a tanár „megtestesíti” az adott fogalmat, sőt abban hisz, hogy az absztrakt összefüggéseket többszörösen kell megtestesíteni, ami az ún. „multiple embodiment” eljárást eredményezi. Végül, Xin Ma a fogalom szerepét akképp rögzíti, hogy összekapcsolja azt a tanítás élvezetességének fokozásával, hiszen kísérletek bizonyítják, hogy egy tananyag tanításának élvezhetőbbé tételével az eredményesség, vagyis a tanítás hatékonysága is nő.

Az „advance organizer” alkalmazásának egyik legismertebb módja, amikor a bemutatásra kerülő fogalom, törvény, tétel stb. kimondása előtt az elmélet vagy kísérlet atyjának életrajzát veszi górcső alá a tanár. Ezáltal ugyanis személyesebbé, s így hatékonyabban és gyorsabban elsajátíthatóvá válik a tananyag (Szeibert-Zámbó 2016). E módszert alkalmaztam én is dolgozatomban, James Prescott Joule életrajzának és legfontosabb elektromágneses, illetve hőtani kísérleteinek tanítása során (lásd 3. fejezet).

Az „advance organizer” gyakorlati alkalmazása azért kiemelkedően fontos, mert a tanár a tanítás során felülírja a „gyermektudományt”, azt a tudáshalmazt, amit a gyerekek az iskola megkezdése előtt megalkotnak magukban a világról. Ugyanis, a tételekből és elméletekből álló gyermektudományról (Nahalka 2002) Piaget vizsgálatai (1993) nyomán kiderül, hogy milyen szoros kapcsolatban áll a tudománytörténetben felbukkant elképzelésekkel és elméletekkel. Utóbbiak közül jónéhány viszont már idejétmúlttá vált. Éppen ezért fontos egy tanár számára, hogy megfelelően ismerje a tudománytörténetet és az arra vonatkozó fogalmi rendszert, hiszen

általára lesz képes megcáfolni vagy igazolni az előzetes tudást, majd megtanítani az újonnan megismert fogalmakat (Radnóti 2017).

Emiatt nem lehet véleményem szerint a történelmi vonatkozásokat csupán akképp tárgyalni, hogy a fizikatanár vagy a fizika tankönyv kérésére a tanuló utána néz az interneten a felvetett érdekességeknek. Hiszen, a fizika tanításának egyik legfontosabb jellemzője, hogy legtöbbször túllép a szó szoros értelmében vett fizika határain, s tanári útmutatással, például történelmi kitekintéssel keresztül kiegészíti azt (Radnóti 2017). Természetesen, erősíti e megállapítást az is, hogy a fizika az egyetlen olyan természettudományos tantárgy, amelynek érettségi követelményében megjelenik a tudománytörténet. Emiatt fontos megismerni a fizika fejlődését, az egyes tudósok életpályáját és munkásságát (Radnóti 2017), amely „sztorit” nyújt az unalmasnak tűnő, kvantitatív leírás mellé. A történetiség integrációjának előnyeiről Pléh Csaba ekképp értekezik: *„Történeteket mindig könnyebb felidézni, mindig egyetemesebbek, mindig világosabb mintázatot adnak. Egy tankönyvi történet, amikor visszaadjuk, sokkal kevésbé válik zavarossá, mint egy leírás, vagy magyarázat”* (Pléh 2015).

A másik rendkívül fontos alkalmazási lehetőség az analógikus gondolkodás módszere volt, amely az induktív gondolkodás egyik összetevője, s az új sémák és az új tudás elsajátításában tölt be alapvető szerepet (Nagy-Antal 2004). E didaktikai módszer lényege az azonosítás és az összefüggő struktúrák transzfere a forrásból a célra, vagyis egy ismert rendszerből egy kevésbé ismertre. Arra már Halford is rámutatott (Halford 1992), hogy az emberi gondolkodás alapvetően analógiás típusú, a számára új jelenségeket tehát a már ismert struktúrák alapján próbálja megérteni. Sőt, Holyoak szerint a még közvetlenül tapasztalható jelenségek megértéséhez is funkcionális hasonlóságokat keresünk (Holyoak 1984). Ugyanakkor az is ismert, hogy a gondolkodás eme fajtája képes legjobban segíteni a megértést és fogalomelsajátítást.

Analógikus gondolkodásra való törekvés az oktatásban leginkább a tankönyvi leckék szövegében jelenik meg, egy-egy új fogalom bevezetése vagy magyarázata során. Például, hogy a tanulók az optikai tükrök nevezetes sugármenetei ismeretében, tanári útmutató kérdések alapján felismerik, hogy az optikai lencséknek milyen képalkotási lehetőségei vannak. Ebben az esetben tehát a diákok analógiákat állítanak fel, hogy megértsék a tükrök bemutatását követő leckében szereplő lencsék működését. Ugyancsak példa lehet erre az elektromos mező tanulságainak alkalmazása a mágneses mező leírásánál (Radnóti 2017). Dolgozatomban az analógikus gondolkodást a fájó és az egységnyi tömegre vett látens hő közötti analóg kapcsolat

felismerésére alkalmaztam, vagyis a dolgozat *4. fejezetében* használt fogalmak bevezetéséhez használtam fel.

Végül, harmadik elemként emelem ki a kérdve-kifejtés módszerét, mint szervezési módot vagy tanítási munkaformát. E módszer azt jelenti, hogy a tanár úgy halad előre a tananyagban, hogy az általa feltett kérdésekre a tanulók helyes válaszait megerősítve, a tanulókkal „mondatja el” a tananyagot. A módszer előnye, hogy minden osztályban van legalább néhány olyan tanuló, akik az adott témáról már hallottak, s nincsenek messze a fogalom vagy jelenség pontos leírásától sem. A módszer egyik hátránya viszont az, hogy az alkalmazás során a kérdezgetés a tanár és csupán néhány érdeklődőbb tanuló „belső ügyévé” válik. A módszer másik csapdája, hogy a tanár céltudatosan feltett kérdéseire a tanulók válaszolnak, miáltal sajátjuknak érezhetik a tananyag felfedezését. Eközben a tanár valójában kordában tartja a felvetett gondolatokat.

E hiányosságokat az alkalmazás során egyrészt úgy tudtam kiküszöbölni, hogy az ismétlések, illetve kísérlet előtti és utáni kérdezgetésekbe a csoport minden tagját igyekeztem bevonni (lásd *5. fejezet*). Ezáltal elkerülhettem azt, hogy csak a „jobbak”, vagyis kizárólag az aktív tanulók váljanak részesévé az új anyag elsajátításának, míg a többiek csupán passzívan fogadják be azt. Másrészt, azt is figyelembe vettem, hogy a szakirodalom alapján e módszer csak ott lehet sikeres, ahol a kérdve-kifejtés módszerének már gyökerei vannak (Radnóti-Nahalka 2002). Ez, mint a tanítást megelőző hospitálásokon kiderült (*Rövid tanítási gyakorlat*), már megvalósult az általam tanított csoportban, hiszen vezetőtanárom (Varga György tanár úr) is ezt a módszert alkalmazta a tananyag átadása során.

3. A JOULE-HŐ ÉS A FAJHŐ ÉRTELMEZÉSE

3.1. JOULE ELEKTROMÁGNESES KÍSÉRLETE

James Prescott Joule (1818-1889) a manchesteri serfőzde tulajdonosaként kezdte pályafutását, ám rendkívüli önszorgalommal, „autodidakta” módon, hamarosan magas szintű ismeretekre tett szert a tudományok terén is. Klasszikus kísérleteinek az volt a célja, hogy kvantitatív módon kapcsolja össze a munka és hőmennyiség fogalmát.

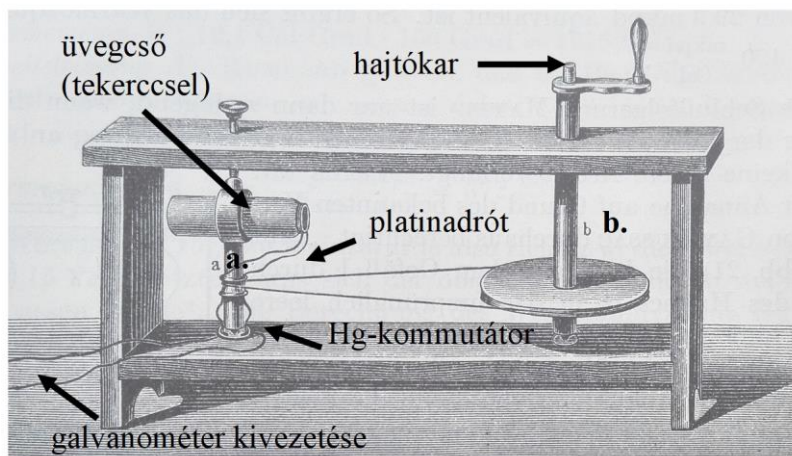
Joule első kísérleteit (1841) az elektromágnesség terén végezte el. Galvánelemekkel hozott létre elektromos áramot, amelynek hőfejlődését igyekezett megmérni kísérleti úton. A hőfejlődés pontos vizsgálatához azonban a galvánelemtől független kísérleti elrendezés volt szükséges, az indukált áram alkalmazása (*1. ábra*) pedig épp ideális volt erre (Kudrjavcev 1951).²

Joule egy olyan kísérleti elrendezést konstruált, amelyben egy fakeretbe két tengelyt illesztett. Az egyik tengelyhez egy hajtókart rögzített, amelynek a keretben lévő, forgatható korongját (*b. tengely*) a másik (*a.*) tengelyhez kapcsolta. Az *a.* tengelyre egy üvegcsövet telepített, amely vizet és egy másik üvegcsőbe helyezett, rézzel tekercselt vasmagot tartalmazott. Az üvegcsövet Joule platinadrótok segítségével Hg-kommutátorhoz kötötte, majd ezen keresztül galvanométert csatlakoztatott a rendszerhez. A teljes elrendezést ezután két elektromágnes pofája közé helyezte. Ekkor, a hajtókar megforgatásával az összeállítás úgy jött működésbe, akár egy generátor: a tekercsben a mechanikai forgatás hatására indukált áram keletkezett, ami a vízben hőmérséklet-emelkedést idézett elő. Az indukált áram nagyságát Joule az acélmágnessel ellátott galvanométerrel mérte, amelyet az áram egyenirányításáért felelős Hg-kommutátorhoz kapcsolt. A hőmérséklet-változás kvantitatív meghatározásához pedig egy érzékeny hőmérőt használt (Ramsauer 1953).

Mivel a kapcsoló segítségével Joule az áramkört negyedóránként nyitotta és zárta, a vezetőkön fejlődő (Joule-) hőt úgy tudta kiszámolni, hogy az áramfejlesztés (indukció) melletti munkából kivonta az áramfejlesztés nélküli munkavégzés értékét. (Eközben Joule végig forgatta a kart.) Ez a munka ugyanis az áram előállítására fordítódó munkával volt azonos. Joule megállapította, hogy a hő az indukált áram négyzetével arányos:

$$Q_{\text{Joule}} \sim I_{\text{indukált}}^2 \quad (\text{Kudrjavcev 1951}). \quad (5)$$

² E kísérlet két tanulsága közül az egyik, hogy a (6) szerinti összefüggés független attól, hogy mi az áram forrása (galvánelem, illetve indukált áram). A másik tanulság a hő-munka egyenérték felismerése, amelynek bemutatásához a 3.2. fejezetben tárgyalt kísérletet végzem el, visszautalva Joule ezen kísérletére.



1. ábra: Joule elektromágneses kísérletének elrendezése (Ramsauer 1953).

Joule elektromágneses tapasztalatait a tőle függetlenül kísérletező, német származású Heinrich Lenz tevékenysége egészítette ki (1844), aki az elektromos áram hőhatásával foglalkozott (Kudrjavcev 1951). Lenz, kísérletezése nyomán megmutatta, hogy a Joule-hő nem csak az indukált áramerősség négyzetével, hanem a vezető ellenállásával és az áram áthaladási időtartamával is arányos (Joule-Lenz törvény) (Kudrjavcev 1951):

$$Q_{\text{Joule}} = I_{\text{indukált}}^2 \cdot R_{\text{vezető}} \cdot \Delta t. \quad (6)$$

A (6) összefüggés ugyanakkor az

$$R_{\text{vezető}} = \frac{U_{\text{indukált}}}{I_{\text{indukált}}} \quad (7)$$

Ohm-törvény értelmében átírható a

$$Q_{\text{Joule}} = I_{\text{indukált}} \cdot U_{\text{indukált}} \cdot \Delta t \quad (8)$$

formára. Ez ugyanakkor, figyelembe véve, hogy az indukált áram és feszültség szorzata az elektromos teljesítménnyel egyenlő, a

$$Q_{\text{Joule}} = P \cdot \Delta t \quad (9)$$

formára egyszerűsödik (Litz 2005).

³ A (2) összefüggést Joule helyesen írta le már Lenz-től függetlenül is, ám mivel később Lenz is helyes eredményre jutott, ezért az összefüggést Joule-Lenz törvénynek nevezzük (Ramsauer 1953).

3.2. A FAJHÓ FOGALMÁNAK BEVEZETÉSE KÍSÉRLETI ÚTON

Joule-hőre kapott (6) összefüggés lehetőséget nyújt a fajhő fogalmának egy újszerű bemutatására, ha azt egy egyszerű, osztálytermi körülmények között is reprodukálható kísérlet segítségével értelmezzük. A kísérlet alkalmazásának újszerűségét az adja, hogy, bár előkerül a fizikatanári képzés során (*Demonstrációs Laboratórium 1-2.*), tapasztalat szerint kevésbé jelenik meg a valódi oktatási körülmények között (lásd 5. fejezet).

A kísérlethez egy vízforraló, egy stopper, egy hőmérő, valamint egy főzőpohár szükséges (2. ábra). Ugyancsak fel kell használnunk egy, a pillanatnyi teljesítmény mérésére alkalmas műszert, amelyet több elektronikai szaküzletben is beszerezhetünk.



2. ábra:⁴ A modern kísérleti elrendezés részei: elektromos fogyasztásmérő, hőmérő, stopperóra, vízforraló.

A kísérlet elvégzésének első lépése, hogy a főzőpohárba (csap)vizet engedünk, s feljegyezzük, hogy milyen mennyiséget töltöttünk bele. Annak érdekében, hogy a számolás elvégzése könnyebb legyen, célszerű például 1 liter vízzel dolgoznunk. Ezután a vizet a vízforralóba töltjük, majd a hőmérő segítségével megmérjük kezdeti hőmérsékletét. Ezt követően a vízforralót az elektromos fogyasztásmérő eszközön keresztül a hálózati dugaljba csatlakoztatjuk, a digitális eszközön pedig kiválasztjuk a fogyasztásmérő funkciót és azt W (Watt) egységre állítjuk be. Ezt követően, bekapcsoljuk a vízforralót, majd annak automatikus

⁴ A fényképet a Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziumban készítettem 2018. december 6-án.

lekapcsolása pillanatában feljegyezzük a vízforraló éppen mutatott pillanatnyi teljesítményét, miközben lekapcsoljuk a stoppert is. (A fogyasztásmérő által mutatott pillanatnyi teljesítményérték viszonylag állandó, így az ingadozásból származó leolvasási hibát, illetve pontatlanságot nem szükséges figyelembe vennünk a kiértékelés során.)

Ekkor minden, a fajhő számolásához szükséges adat rendelkezésünkre áll. Ugyanakkor, a kísérletben a hőmérsékletváltozásokor felvett hő egyenlő az elektromos áram következtében fejlődött hővel. Mivel, nyilvánvaló, hogy a hőfejlődés a vízforralóban lévő víz felmelegedésével járt, felírható az

$$Q \sim \Delta T \quad (10)$$

arányosság, amely arányossági tényező feloldásához bevezetünk egy C konstans tényezőt:

$$Q = C \cdot \Delta T \quad (11)$$

Ez a C konstans (hőkapacitás) ugyanakkor az anyagi minőség függvénye, hiszen mindennapi tapasztalatainkból tudjuk, hogy például a vizet és a tejet eltérő időtartamig kell forralnunk. Korábbi ismereteink alapján viszont azt is ismerjük, hogy a forralás időtartama a vízforralóban lévő folyadék mennyiségétől (tömegétől) is függ. A C konstans így tehát arányos az m tömeggel

$$C \sim m \quad (12)$$

szerint, az újabb c konstans (fajhő) bevezetésével pedig az

$$C = c \cdot m \quad (13)$$

egyenlet adódik.

Ekkor, felhasználva a (8) egyenletet, s figyelembe véve, hogy kísérletünkben vizet forraltunk, felírhatjuk az

$$C_{\text{víz}} \cdot \Delta T = Q_{\text{Joule}} = P \cdot \Delta t; \quad (14)$$

$$c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{víz}} \cdot \Delta T = P \cdot \Delta t \quad (15)$$

összefüggéseket. Ebből megfelelő rendezéssel a

$$C_{\text{víz}} = \frac{P \cdot \Delta t}{m_{\text{víz}} \cdot \Delta T} \quad (16)$$

arányossági tényező adódik. A víz fajhője esetünkben meghatározható a vízforraló teljesítményének és az eltelt időnek szorzatából, ha azokat a víz tömegével és a mért hőmérséklet-különbséggel osztjuk el.

A kísérlet végrehajtása előtt meghatározott paraméterek közül a forralt víz pontos térfogata (1 l) ismert, amiből $m = 1$ kg. A víz kezdeti hőmérsékletét ugyancsak meghatároztuk, erre $T_0 = 26,5$ °C adódott. Ugyanakkor, mivel a vízforraló lekapcsolásakor forrást tapasztalunk, közelítő módon felírható a $T = 100$ °C, s abból $\Delta T = T - T_0 = 73,5$ °C a keresett

hőmérséklet-különbség. A vízforraló lekapcsoláskor tapasztalt (pillanatnyi) teljesítményére $P = 2000 \text{ W}$ nagyságú értéket tudtam leolvasni; a melegítés pedig $\Delta t = 156 \text{ s}$ ideig tartott.

Adataink ismeretében számolható a víz fajhője:

$$c_{\text{víz}}^{\text{mért}} = \frac{2000 \text{ W} \cdot 156 \text{ s}}{1 \text{ kg} \cdot 73,5 \text{ }^\circ\text{C}} \sim 4244 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}. \quad (17)$$

A mért eredmény értékét összevetve az

$$c_{\text{víz}}^{\text{irodalmi}} = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \quad (\text{Hortobágyi – Rajkovits – Wajand 2005}).$$

irodalmi értékkel, tehetünk egy összehasonlítást a pontosság értékére. A relatív eltérés ekkor

$$\delta c = \frac{\Delta c}{c_{\text{víz}}^{\text{irodalmi}}} = \frac{c_{\text{víz}}^{\text{mért}} - c_{\text{víz}}^{\text{irodalmi}}}{c_{\text{víz}}^{\text{irodalmi}}} = \frac{4244 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} - 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}}{4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} = -0,015. \quad (18)$$

A mérésből adódó pontatlanság 1,5%, eredményünk tehát (a közelítő jellegű mérés ellenére) nagyságrendileg helyes. Ennek ismeretében fontos leszögezni, hogy a kísérlet megerősíti a Joule kísérletére vonatkozó tanultakat, hiszen egyszerű eszközök segítségével igazolja a Joule-hő formuláját és bevezeti a fajhő fogalmát.

A hiba abból származik, hogy Joule elektromágneses kísérletével ellentétben a vízforraló nem tekinthető zárt, hőszigetelt edénynek, mivel nem csak a benne lévő vizet, de az edény falát, illetve a környezetét is fűti. Vagyis a felvett hő nem fog teljes egészében a víz felforrálására fordítódni, s a kísérletben valójában a forraló és a víz hőkapacitását mérjük.

3.3. A MECHANIKAI ANALÓGIA FELISMERÉSE

Joule elektromágnességgel kapcsolatos tevékenységének bemutatására hozott kísérlet során felismertük, hogy a felvett hő nem csak a rendszerben kialakuló hőmérsékletkülönbséggel, de a melegített test tömegével is arányos. Ezt az arányossági tényezőt a fajhővel jellemezzük.

A gondolatmenet legfontosabb felvetése azonban mégsem a víz fajhőjének meghatározásban rejlik. Joule ugyanis, abból kiindulva, hogy első kísérletében mechanikai munkavégzés és indukált áram együttes hatásaként hozott létre hőt, úgy vélte, hogy az indukció kihagyásával, közvetlenül (csak mechanikai munkával) is képes megalkotni ugyanezt (Kudrjavcev 1951).

Alapul véve ezt a gondolatmenetet, a

$$Q_{\text{Joule}} = P \cdot \Delta t \quad (6)$$

összefüggésben szereplő

$$P \cdot \Delta t = W \quad (19)$$

elektromos munkavégzés helyett mechanikai munkavégzésről is lehet szó. Az említett analógia nyomán ugyanis Joule megsejtette, hogy mind az elektromos, mind a mechanikai munka hőközlést jelenthet, míg a közöttük fennálló univerzális kapcsolat lehetővé teszi a

$$Q = W \quad (20)$$

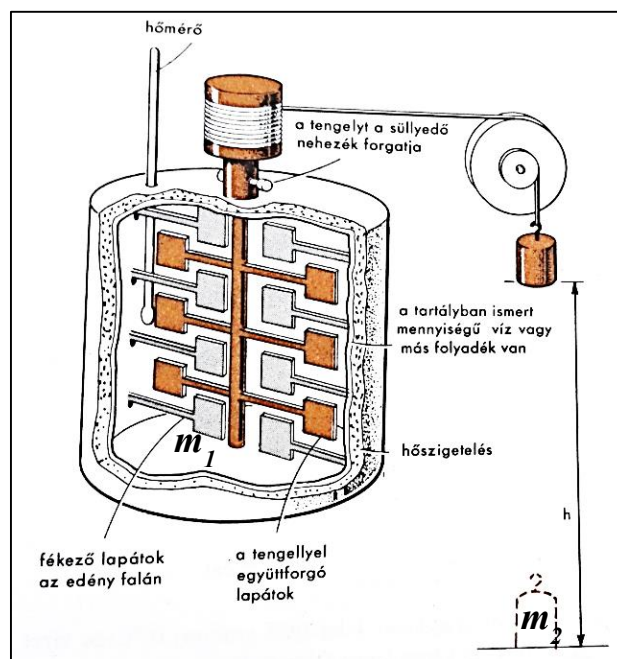
szerint értelmezett, ún. hő-munka egyenérték meghatározását. Ez azt jelenti, hogy ugyanazt a hőmérsékletváltozást hőátadással és mechanikai munkával is létrehozhatjuk, vagyis két különböző folyamatban mért mennyiséget teszünk egyenlővé.

A kérdéskör alapos vizsgálatával különben már Benjamin Thompson (1753-1814), más néven Rumford grófja foglalkozott, aki felismerte, hogy hőt közvetlenül is elő lehet állítani, méghezvá mechanikai munkával (súrlódással) (Holics 2009). 1789-ben megfigyelte, hogy egy ágyú csövének fűrásakor bármennyi hő fejleszthető (Budó 1980). (A gróf egy ideig a bajor fegyvertár vezetője volt, így érthető, hogy miért épp ágyúk csövében keresztül vizsgálta meg a kérdést.) Hiszen, ha egy testet folyamatosan dörzsölünk, úgy a folyamatosan dörzsölt test állandóan képes meleget adni (Holics 2009).

Thompson után Joule volt az, aki a következőkben elemzett, ún. keverő-lapátos kísérletével meghatározta, hogy mennyi munkával lehet egységnyi tömegű víz hőmérsékletét 1 fokkal emelni.

Kísérletében (3. ábra) egy hőszigetelt kaloriméter tartályt m_1 tömegű vízzel töltött meg, közepében egy nagy forgó tengellyel, amelyhez kisebb, a tengellyel együttforgó lapátokat csatlakoztatott. Annak érdekében azonban, hogy a tartályban lévő víz ne forogjon együtt a lapátokkal, az edény falára hasonló geometriai felépítésű lapátokat rögzített. A kaloriméter tengelyét egy állócsigán keresztül vetett, fonálon lógó m_2 tömegű nehezék forgatta meg, melynek h úton bekövetkező süllyedésével a nehézségi erő által végzett munka hővé alakult át a vízzel teli tartályban. Joule, ismerve, hogy mennyi utat tett meg a nehezék a süllyedése során, ki tudta számolni a mechanikai munka nagyságát. Ugyanakkor, egy hőmérő beiktatásával folyamatosan figyelemmel kísérte a víz hőmérsékletének emelkedését is.

Sokszor reprodukálva a kísérletet, Joule megfigyelte, hogy az elvégzett munka és a hőmérséklet-változás között egyenes arányosság van. Meghatározta emellett a két fizikai mennyiség közötti átváltás módját is (Simonyi 2011).



3. ábra: Joule kísérletének (oldalmetszeti) felépítése és legfontosabb részei (Gamow-Cleveland 1977).

3.4. SZÁMÍTÁSOS PÉLDA A JOULE-KÍSÉRLET ALÁTÁMASZTÁSÁRA

Joule eredeti kísérleti összeállításából kiindulva, mechanikai munkavégzés esetén is határozzuk meg a víz fajhőjének nagyságát! Számításunk során a munka-hő egyenérték kvantitatív, de nagyon szemléletes megfogalmazását vegyük alapul!

Joule szerint 1 Fahrenheit-fokkal emeli az 1 font tömegű víz hőmérsékletét az, ha az 1 font tömegű súly 772 láb magasról a földre érkezik. (Természetesen, meg kell említeni, hogy Joule nem ilyen hatalmas méretekben végezte a kísérletet (4. ábra), hanem úgy mért, hogy az m_2 tömeget 16-szor helyezte vissza az eredeti, talajtól számított kb. 36 láb (kb. 11 m) magasan lévő állapotába, így sokszori reprodukció alapján határozta meg ezeket az elméleti értékeket (Gamow-Cleveland 1977).) Amennyiben Joule megállapítása helyes, úgy a víz fajhőjének nagyságára a ma ismert irodalmi értékkel ismét pontos egyezést kell kapnunk. (Vegyük figyelembe, hogy Joule a Brit-szigeteken élt, ahol a levél megírásakor a *Fahrenheit-fok* volt használatos.)

A számolás első lépéseként átváltjuk a rendelkezésre álló adatainkat SI-egységre:

- $m_1 = m_2 = 1 \text{ font} = 453,6 \text{ g} = 0,4536 \text{ kg}$;
- $h = 772 \text{ láb} = 772 \cdot 30,48 \text{ cm} = 772 \cdot 0,3048 \text{ m} = 235 \text{ m}$;
- $\Delta T' = 1 \text{ }^\circ\text{F} = \frac{1}{1,8} \text{ }^\circ\text{C}$.

Ezután, felírható, hogy a nehezék süllyedéséért a reá ható nehézségi erő lesz felelős, az végez tehát munkát az m_2 tömegű, h utat megtett testen:

$$W_{\text{mg}} = m_2 g \cdot h. \quad (21)$$

(A gyorsulással és lassulással kapcsolatos munkát a számításban elhanyagoljuk, mert ez kicsi a teljes munkavégzéshez képest.)

Ekkor, a hő és mechanikai munka közötti arányosságot felhasználva, felírható, hogy a nehézségi erő munkája lesz felelős az ellenálláson (esetünkben a forgólapáton, s így közvetten a vízben) fejlődő hőért:

$$W_{\text{mg}} = Q. \quad (22)$$

Ez ugyanakkor megfelel a

$$m_2 g \cdot h = c_{\text{víz}} \cdot m_1 \cdot \Delta T' \quad (23)$$

összefüggésnek, ahol, mivel a súly és a víz tömege azonos ($m_1 = m_2 = 1 \text{ font}$), vele egyszerűsíthetünk. Ebből, a megfelelő rendezés után,

$$c_{\text{víz}}^{\text{számolt}} = \frac{g \cdot h}{\Delta T'}. \quad (24)$$

szerint kifejezhető a fajhő, s az adatok behelyettesítésével annak nagysága:

$$c_{\text{víz}}^{\text{számolt}} = \frac{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 235 \text{ m}}{\frac{1}{1,8} \text{ } ^\circ\text{C}} = 4230 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}. \quad (25)$$

Ha ezt összevetjük a víz $c_{\text{víz}}^{\text{irodalmi}} = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ fajhőjének ismert irodalmi értékével (Hortobágyi-Rajkovits-Wajand 2005), úgy kiszámolhatóvá válik a relatív eltérés mértéke is:

$$\delta c = \frac{\Delta c}{c_{\text{víz}}^{\text{irodalmi}}} = \frac{c_{\text{víz}}^{\text{számolt}} - c_{\text{víz}}^{\text{irodalmi}}}{c_{\text{víz}}^{\text{irodalmi}}} = \frac{4230 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} - 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}}{4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} = 0,012. \quad (26)$$

A számolás relatív hibája tehát 1,2%, vagyis megállapítható, hogy Joule 98,8%-os pontossággal határozta meg a számolt eredményt.

Az egyszerű, középiskolában is megoldható számítási példával tehát nem csak könnyen áttekinthető, helyes eredménnyel szolgáló példát nyújtunk a fajhő kiszámolására, de lehetőséget adunk arra is, hogy számolással igazoljuk a Joule által meghatározott adatok helyességét.

4. A LÁTENS HŐ ÉS A FÁZISÁTALAKULÁSI-HŐ ÉRTELMEZÉSE

A fajhő mérésének, illetve számszerű meghatározásának analógiáját felhasználva szükséges megismerni a hő értelmezésének másik formáját. Hiszen, mint látni fogjuk, hogy a tankönyvek egyik legfőbb hiányossága, hogy elmulasztják megállapítani: hő nem csak a hőmérséklet megváltozása esetén lép fel.

Ezt a tanulók számára úgy tehetjük világossá, hogy megkérdezzük őket: ismernek-e olyan folyamatokat, ahol hőközlés zajlik, ám még sincs hőmérséklet-változás? Mi a következménye ezeknek a hőtani folyamatoknak? Milyen fizikai mennyiséggel jellemezhetjük e változások mértékét? Miként teremt ez a mennyiség kvantitatív kapcsolatot az eddigiekben tárgyalt fogalmakkal?

A kérdésekre adott válaszok teszik lehetővé a látens hő fogalmának értelmezését, amelynek bevezetését most is kísérlettel kezdjük, és annak érdekében, hogy az középiskolai körülmények között is bemutatható legyen, azt egy újszerű módon, viszonylag egyszerűen beszerezhető eszközökkel végezzük el.

4.1. KÍSÉRLET A LÁTENS HŐ FOGALMÁNAK BEVEZETÉSÉRE

A kísérleti elrendezés az 5. ábrán látható: a két részből álló kísérlet (Juhász 1994) első lépése, hogy egy főzőpohárba adott mennyiségű, apróra tört tömegű jeget teszünk, majd e jég $m_{jég}$ tömegét és hőmérsékletét is meghatározzuk.

Mérésem során a jéggel töltött főzőpohár $m_2 = 289 \text{ g} = 0,289 \text{ kg}$ tömegéből vontam le az üres $m_1 = 167 \text{ g} = 0,167 \text{ kg}$ főzőpohár-tömeget, s ebből határoztam meg $m_{jég} = m_2 - m_1$ szerint a jég $m_{jég} = 122 \text{ g} = 0,122 \text{ kg}$ tömegét. Ezután megmértem e jég hőmérsékletét, ami $T_0 = 0^\circ\text{C}$ -nak adódott.

Ezután a jéggel töltött főzőpoharat Bunsen-égő fölé állított agyagos dróthálóra helyezük, s a ráhelyezés pillanatában elindítjuk a stoppert. Célunk, hogy megmérjük azt az időtartamot, amíg a teljes, rendelkezésre álló jég mennyisége elolvad. (Elegendő addig mérnünk, amíg a víz felszínén már elhanyagolhatóan kis mennyiségű jég van jelen. Ennek mennyiségét szemmérték alapján is meghatározhatjuk.) A mérési pontatlanság csökkentése érdekében az olvasztás során végig kavargatni kell a jég-víz elegyet, hiszen így elérhető, hogy a hőmérő még az utolsó jégkockák elolvadása előtt is kb. $T_0 = 0^\circ\text{C}$ -ot mutasson; hangsúlyozva, hogy a folyamat során nem melegedésről, hanem halmazállapot-változásról van szó.



5. ábra:⁵ A kísérleti elrendezés részei: főzőpohár jéggel, háromláb vasszitával, Bunsen-égő, hőmérő, stopper.

Az utolsó jégdarabok elolvadásakor leállítjuk az időmérést, feljegyezzük a stopper által mutatott időértéket, majd újraindítjuk a stoppert. A kísérlet második részét ugyanis az alkotja, hogy a (már csak tisztán) vizet ugyanannyi Δt ideig melegítjük, mint amennyi az olvasztás időtartama volt. Ennek végeztével leolvassuk a vízben lévő hőmérő által mutatott végső $T_1 = 68,4$ °C hőmérsékletet, amelyből mérésem során $\Delta T = T_1 - T_0 = 68,4$ °C adódott.

A tapasztalat magyarázatát érdemes a kísérlet második részének értelmezésével kezdeni. A hőmérséklet-változással járó folyamatra egyrészt már megismertük, hogy a melegítéshez szükséges hő nagysága a

$$Q = c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{jég}} \cdot \Delta T \quad (27)$$

összefüggés szerint írható le. Másrészt, a közölt hő és a melegítés Δt időtartama a hőközlés gyorsaságát jellemző P teljesítményt adja meg. Esetünkben nem vízforralóval, hanem Bunsen-égővel dolgoztunk, a melegítésre fordítódó hő

$$Q = P \cdot \Delta t \quad (28)$$

⁵ A fényképet a Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziumban készítettem 2018. december 6-án.

nagysága tehát a Bunsen-égő P teljesítményének és a melegítés időtartamának a szorzata. Ezzel azonban kihasználhatjuk azt a feltételt, hogy a mérés $\Delta t = 253$ s időtartama mindkét esetben megegyezik, miközben a Bunsen-égő teljesítménye a melegítés során állandónak tekinthető.

Ez azt jelenti, hogy a kísérlet első részében tapasztalt halmazállapot-változás oka sem más, mint egy hőátadásként értelmezhető fizikai mennyiség. A jelenség azonban a hőközlésnek egy, a hőmérséklet-változástól eltérő formájaként valósul meg: a kísérlet során nem tapasztaltunk melegedést, vagyis a megjelenő hő számunkra „rejtve maradt”. Ezért a hőközlés ezen formáját látens („rejtett”) hőnek nevezzük. (Az elnevezés különben Richmanntól származik (1762) (Kudrjavcev 1951).)

A látens hő fogalmának értelmezéséhez viszont, ahogy a Joule-hő bevezetésénél tettük, most is figyelembe kell vennünk: a jég olvadásának időtartama nyilvánvalóan függ az olvasztott anyag m tömegétől, sőt azzal egyenesen arányos a

$$Q_{\text{látens}} \sim m \quad (29)$$

szerint. Itt az arányossági tényező egy, a fajhőhöz hasonlóan értelmezett, anyagi minőségtől függő fogalmat, az egységnyi tömegre vonatkoztatott L fázisátalakulási hőt jelenti ($[L_0] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$). Mivel ennek neve utal a fázisátalakulás jellegére, a látens hő a halmazállapot-változás típusától (olvadás, fagyás, párolgás, forrás, lecsapódás, stb.) is függ; a kísérletre vonatkozóan pedig az L_0 olvadáshővel azonos:

$$Q_{\text{látens}} = L_0 \cdot m_{\text{jég}} \text{ (Holics 2009)}. \quad (30)$$

Felhasználva, hogy a kísérlet során a $P \cdot \Delta t$ szorzat ismert, felírható a

$$c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{jég}} \cdot \Delta T = L_0 \cdot m_{\text{jég}} \quad (31)$$

összefüggés, amelyből meghatározható az olvadáshő értéke. A jég $m_{\text{jég}}$ tömegével való egyszerűsítés után az

$$L_0 = c_{\text{víz}} \cdot \Delta T \quad (32)$$

formára egyszerűsödik le. A behelyettesítéssel az olvadáshő nagyságára

$$L_0 = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 68,4 \text{ } ^\circ\text{C} = 285,912 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (33)$$

adódik. Ennek az $L_0^{\text{irodalmi}} = 333,700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ irodalmi értékkel (Hortobágyi-Rajkovits-Wajand 2005) történő összevetése után számolható a relatív eltérés:

$$\delta L_0 = \frac{\Delta L}{L_0^{\text{irodalmi}}} = \frac{L_0^{\text{mért}} - L_0^{\text{irodalmi}}}{L_0^{\text{irodalmi}}} = \frac{285,912 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 333,700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{333,700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = -0,143\%. \quad (34)$$

A relatív hibára kapott, mintegy 15%-os eredmény teljesen kielégítő, hiszen, a mérésre vonatkozóan figyelembe kell vennünk, hogy a Bunsen-égő által szolgáltatott hő nem csak a jég megolvasztására, illetve a víz felmelegítésére fordítódott, hanem a környezetének is jelentős hőt adott át. Ugyancsak a veszteséget növelte a már folyadék halmazállapotú víz párolgása is a melegítés során.

Az alkalmazott kísérlet alapvető előnye, hogy kiegészítette és gazdagította a középiskolai fizikaoktatás tananyagát, hiszen újszerű módon tette lehetővé a jég olvadáshőjének mérését. E kísérletet a manapság használatos fizika tankönyvek sem tárgyalják, s ugyancsak nem alkotja részét az ELTE fizika-tanári szak *Demonstrációs Laboratórium 1-2.* kurzusának.

Ezért vélem különösen fontosnak a kísérlet tanórán történő bemutatását és az eredmény értékelését, s ezáltal a hőmérsékletváltozással járó hő és a látens hő között fennálló, ám a tankönyvek által nem hangsúlyozott kapcsolatának felismerését.

4.2. A FÁZISÁTALAKULÁSI-HŐ KÍSÉRLETI ÚTON VALÓ ELLENŐRZÉSE

Előző kísérletünkben meghatároztuk a jég olvadáshőjét, amelynek nagyságára kapott érték helyességét egy másik kísérlet közbeiktatásával akár ellenőrizhetjük is. Ehhez viszont elsőként az alkalmazott gázláng teljesítményét kell kiszámolnunk.

Az alkalmazott Bunsen-égő teljesítményét úgy határozhatjuk meg a legegyszerűbben, ha egy főzőpohárba töltött, adott mennyiségű vizet agyagos dróthálóra helyezünk, amit gázláng segítségével felmelegítünk, miközben mérjük a melegítéshez szükséges időtartamot a kezdő és végső hőmérsékleti érték leolvasása között.

Mérésem során a vízzel töltött főzőpohár $m_2 = 555 \text{ g} = 0,555 \text{ kg}$ tömegéből vontam le az üres $m_1 = 167 \text{ g} = 0,167 \text{ kg}$ főzőpohár-tömeget, s ebből határoztam meg $m_{\text{víz}} = m_2 - m_1$ szerint a víz $m_{\text{víz}} = 388 \text{ g} = 0,388 \text{ kg}$ tömegét. Ezt követően hőmérővel megmértem a víz hőmérsékletét, ami éppen szobahőmérsékletűnek, tehát $T_0 = 25,5^\circ\text{C}$ -nak adódott. Saját megfontolásaim alapján a melegítés felső határának a $T_1 = 55,5^\circ\text{C}$ hőmérsékletet választottam, amiből a fennálló hőmérsékletkülönbségre $\Delta T = T_1 - T_0$ szerint $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ adódott. (A viszonylag alacsony hőmérsékleti értékek alkalmazása azért volt szükséges, mivel így elérhettük, hogy a párolgásból adódó hőveszteség csekélyebb legyen; ennek nagysága ugyanis forrás-közeli állapotban már jelentősebb lenne.) A T_1 hőmérséklet eléréséhez szükséges melegítés időtartama $\Delta t = 329 \text{ s}$ volt.

Ezen adatok ismeretében már kiszámolható a melegítéshez szükséges

$$Q = c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{víz}} \cdot \Delta T \quad (35)$$

hő felhasználásával a Bunsen-égő felvett teljesítményének P nagysága:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{c_{\text{víz}} \cdot m_{\text{víz}} \cdot \Delta T}{\Delta t}; \quad (36)$$

$$P = \frac{4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,388 \text{ kg} \cdot 30^\circ\text{C}}{329 \text{ s}} = 147,89 \text{ W}. \quad (37)$$

Ez azonos a $Q_{\text{látens}}$ hő és az olvasztás $\Delta t = 290 \text{ s}$ időtartamának hányadosával, amelyből

$$Q_{\text{látens}} = P \cdot \Delta t \quad (38)$$

adódik. Ebből, az előző kísérletben szereplő adatok felhasználásával

$$L_0 = \frac{P \cdot \Delta t}{m_{\text{jég}}} \quad (39)$$

szerint az olvadáshő meghatározható:

$$L_0 = \frac{147,89 \text{ W} \cdot 253 \text{ s}}{0,122 \text{ kg}} = 306,690 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}. \quad (40)$$

Ezt az eredményt érdemes összevetni az $L_0^{irodalmi} = 333,700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ irodalmi értékkel (Hortobágyi-Rajkovits-Wajand 2005) és meghatározni a mérés relatív hibáját:

$$\delta L_0 = \frac{\Delta c}{L_0^{irodalmi}} = \frac{L_0^{mért} - L_0^{irodalmi}}{L_0^{irodalmi}} = \frac{306,690 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 333,700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{333,700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = -0,082\%. \quad (41)$$

A relatív eltérés 8% körüli, tehát megállapítható, hogy ezzel az eljárással egyrészt igazoltuk az olvadáshő nagyságára kapott érték helyességét, másrészt meghatároztuk az általunk alkalmazott Bunsen-égő P teljesítményét.

5. A PÁLYAMUNKA ALKALMAZÁSA AZ *ELTE TREFORT ÁGOSTON GYAKORLÓ GIMNÁZIUMBAN*

5.1. AZ ELSŐ TANÓRA

A pályamunkámban kidolgozott újszerű tanítási lehetőségeket az *ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziumban* alkalmaztam; a következőkben ennek megvalósításáról és személyes élményeimről számolok be. Az alkalmazást a 11. fizika fakultáció 16 tanulója körében végeztem el,⁶ náluk teljesítettem ugyanis a *Rövid tanítási gyakorlatomat* fizikából a 2018-2019/1. félévben.

A tananyag kipróbálására két tanórát használtam fel: egy szerdai (2018. december 5., 4. óra) órát választottam az első tanórának, míg a második tanóra megtartása az ezt követő pénteken (2018. december 7., 7. óra) történt meg.

Az első tanóra úgy kezdődött, hogy a tanulók első ízben megírták (6. ábra) a *Függelékben* található *Felmérőt*. A kérdések a *Felmérőben* úgy lettek kialakítva, hogy rejtve bár, de rákérdezzenek a dolgozatomban tárgyalt problémákra, vagyis megvilágítsák, hogy a tanulók ismerik-e a hő-munka egyenérték fogalmát, illetve a hőmérséklet-változással járó hő és a látens hő közötti kapcsolatot.



6. ábra: A felmérő megírása az első tanóra kezdetén.

⁶ A tananyag iskolai alkalmazása során külön kontrollesoporra nem volt szükségem, ugyanis az 5.4. fejezetben tárgyalt eredmények a tanulók két tanóra előtti tudását vetik össze a tananyag megtanítását követő ismereteikkel.

A felmérő megírását követően átismételtük az első téma tárgyalásához szükséges fogalmakat. Mivel 11. osztályos fakultációs csoportról van szó, a tanulóknak nem okozott nehézséget a 10. osztályban már tanult, főként mágnesség témaköréből ismert fogalmak (elektromágneses indukció, indukált áram, indukált feszültség stb.) átbeszélése.

Ezután a téma tárgyalását történelmi felvezetéssel, vagyis Joule életének és munkásságának tárgyalásával folytattam. Megkérdeztem a tanulóktól, hogy mit tudnak a tudós tevékenységéről, illetve mit tanultak róla ez ideáig. Elmondták, hogy Joule-t eddig csak, mint mértékegységet ismerték meg, illetve, hogy korábbi ismereteikből azt is tudják, hogy hőtannal kapcsolatos eredményei vannak. Utóbbira viszont már nem tudtak konkrétumot mondani. Mindezt, a dolgozatban tárgyaltak szerint úgy egészítettem ki, hogy feltártam előtük a tudós autodidakta voltát, vagyis azt, hogy sörfőzde-tulajdonosként önmaga látott hozzá a tudomány megismeréséhez, s az általuk említett hőtani eredményei mellett az elektromosságban is kiválóan szerepelt. Végül kifejtettem, hogy ennek megismerése azért volt szükséges, mivel a továbbiakban utóbbit használjuk fel az új fogalmak tárgyalásához.

Ugyanis, a Joule-féle elektromágneses kísérlet értelmezését csupán az elektromágneses indukció fogalmainak átisméltése, illetve Joule tevékenységének megismerése tette lehetővé. A gondolatkísérletet a projektor segítségével kivetített *1. ábra* értelmezésével magyaráztam el. Megállapítottam, hogy a kísérletben a mechanikai forgatás hatására indukált áram keletkezik, ami hőmérséklet-változást idéz elő a forgatott üvegedénybe öntött vízben. Mindezt arra használtam fel, hogy újszerű módon, a történelmi háttér felhasználásával vezessem be a Joule-Lenz törvényt, amely kimondja, hogy a fejlődő hő az indukált áram négyzetével arányos. Az összefüggés megismerése ugyancsak lehetővé tette az elektromos teljesítmény fogalmának bevezetését, illetve a galvanométer, Hg-kommutátor fogalmának megismerését a pályamunkámban tárgyaltak szerint.

Ezt követte a vízforralás kísérlet bemutatása és értelmezése. Elsőként a kísérleti összeállítás eszközeit mutattam meg és írtam fel a táblára, majd a kísérletben már ismert (víz tömege, kezdeti-és végső hőmérséklet, hőmérséklet-változás nagysága) és meghatározni kívánt (melegítés időtartama, elektromos teljesítmény nagysága) mennyiségeket rögzítettem. A kezdeti hőmérséklet meghatározásához egy tanuló segítségét kértem: *Marczika András* azonnal vállalkozott is a feladatra (*7. ábra*), majd gyors fejszámolással kiszámolta a hőmérséklet-változás nagyságát is.



7. ábra: *Marczika András* leolvassa a vízforralóba öntött víz kezdeti hőmérsékletét.

Ezt követően, anélkül, hogy ismertettem volna mi a kísérlet valódi célja, újabb két tanuló részvételével elindítottam a mérést. *Pelenczei Bálint* a vízforralóhoz kapcsolt elektromos fogyasztásmérőn figyelte a teljesítmény értékének változását, míg *Pap Bence* stopperrel mérte az eltelt időt (8. ábra). (A tanulók bevonása a kísérletbe nem csak tanári munkámat támogatta meg, hanem lehetőség adódott általa a tanulók felfrissülésére, miközben a többiek számára is izgalmat okozott.)



8. ábra: *Pelenczei Bálint* és *Pap Bence* tevékenykedése a kísérlet elvégzése közben.

A mérés közben kérdésekkel próbáltam rávezetni a tanulókat, hogy mi lehet a kísérlet célja és milyen összefüggésben van a Joule-Lenz törvénnyel. Többen jelentkeztek olyan válaszokkal, hogy „valamilyen hőtani mennyiséget” mérünk, ám senki sem tudta felismerni, hogy a fajhő méréséről van szó. Ebből azt a tapasztalatot szűrtem le, hogy a kísérletet ez ideáig még nem látták, vagyis az amúgy egyszerű eszközöket igénylő kísérletet a *Trefort Gimnáziumban* sem mutatták be tanáraik a fajhő mérésére.

A mérést követően a magyarázat (9. ábra) alapjául az szolgálta, hogy a tanulókkal közösen felismertük: a fejlődő hő egyenesen arányos a vízforralóban lévő víz melegítése (forralása) során fellépő hőmérséklet-változással. Függ azonban a melegített anyag tömegétől is, hiszen nem mindegy, hogy a kísérletben 0,5 l vagy 1 l vizet melegítünk fel. Ekkor, a melegített anyag tömegének és hőmérséklet-változásának szorzata, s a hő és e szorzat hányadosa az újszerű módon bevezetett fogalmat értelmezi, amelyet fajhőnek nevezünk. A fajhő és a tömeg szorzata pedig a hőkapacitás fogalmát adja meg.

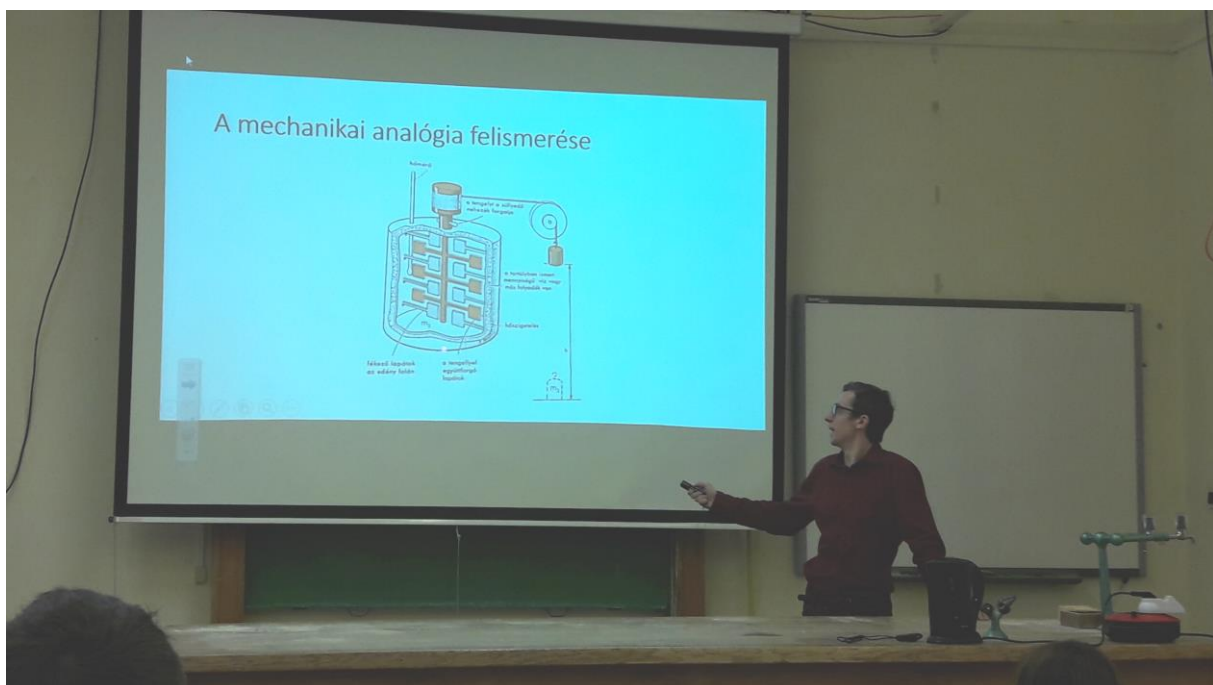


9. ábra: A kísérlet magyarázata.

Ezután, a méréssel meghatározott fajhő értékét összehasonlítottuk az irodalmi értékkel, úgy, hogy relatív hibát számoltunk. A relatív eltérés nagyságának meghatározása után megkérdeztem a tanulókat: mi az eredményben tapasztalt eltérés oka? A tanulók igen jól gyűjtötték össze a fajhő pontos mérését negatívan befolyásoló tényezőket: a vízforraló nem hőszigetelt edény, így az eszköz nem csak a vizet, hanem a környezetét is erőteljesen melegíti.

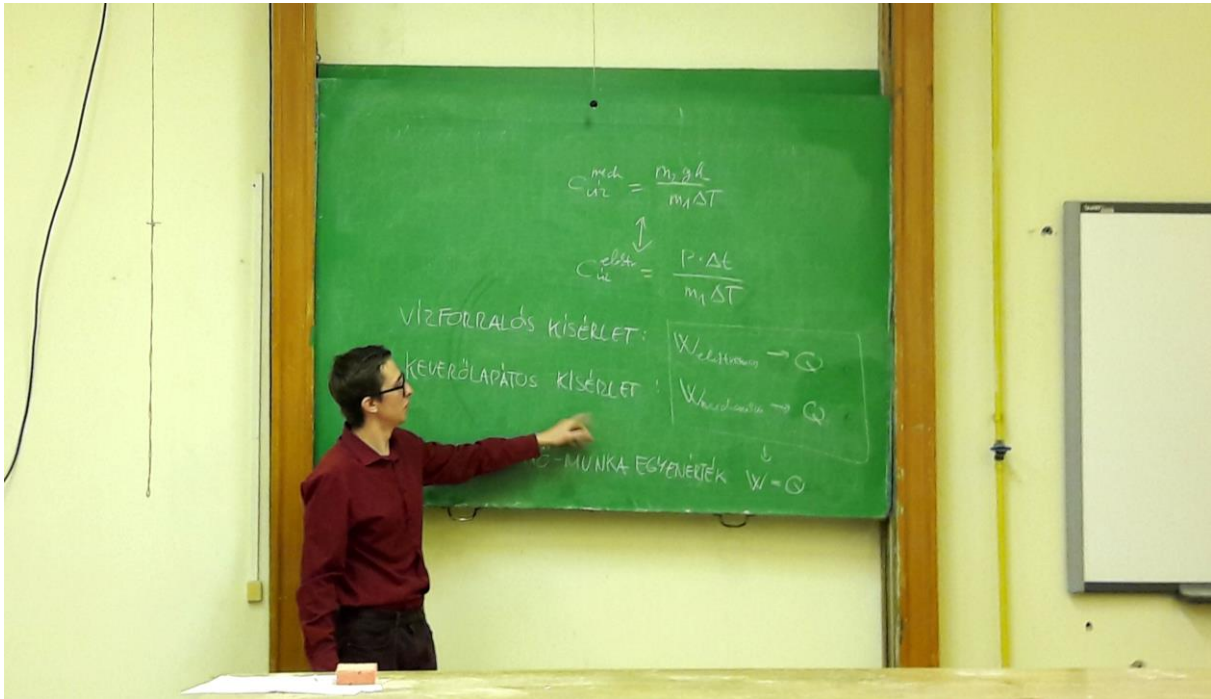
Végül, a kísérletre vonatkozó következtetésünk abban állt, hogy a már megismert elektromágneses gondolatkísérlethez hasonlóan, most elektromos munkával fejlesztettünk hőt, arányosságot állítva fel ezáltal a két fizikai mennyiség között.

A tanóra utolsó harmadában a mechanikai analógia felismerésére került sor (10. ábra). Ennek bevezetésére felvettem a kérdést, hogy vajon az elektromostól eltérő munkavégzés esetén is érvényes-e az említett arányosság. Ehhez ismét vetítést alkalmaztam, amikor a pályamunkában szereplő 3. ábrával szemléltettem, miként volt képes Joule nem csak az elektromos, de a mechanikai munkavégzés révén is hőt fejleszteni. A kísérlet végrehajtásának menetét elmagyarázva, arra sarkalltam a tanulókat, hogy együtt megfogalmazzuk: a nehezeék süllyedése során végzett mechanikai munka a víz hőmérsékletének növelésére, vagyis hőfejlődésre fordítódik. Ezt megértve már kvantitatívan is felírhattuk a mechanikai munkavégzés és a fejlődő hő között fennálló egyenletünket, amelyből ismét meghatározhatóvá vált a fajhő értéke. Mivel a gondolatkísérletet az órán csak paraméteresen értelmeztük, házi feladatként adtam fel azt a számolást, amelyben a Joule által mért mértékegységek segítségével adható meg a fajhő nagysága. A kihívást a példában ugyanis nem a behelyettesítés, hanem az angol mértékegységek megismerése (font, láb, Fahrenheit), illetve az átváltásukhoz szükséges internetes kutatás adta.



10. ábra: A mechanikai analógia felismerése a Joule-féle keverőlapátos kísérlet által.

Zárásként, összegeztem a tanóra legfontosabb megállapítását (11. ábra), amely a hő és munka közötti általános, univerzális kapcsolat felismeréséről szól. A vízforralós kísérletben ugyanis elektromos munka segítségével történt hőfejlődés, míg a keverő-lapátos gondolat-kísérletben mechanikai munka árán fejlődött hő. Ezt, a nemcsak elektromos és mechanikai, ám bármely munkavégzésre is érvényes arányosságot nevezzük a hő-munka egyenértéknek, amelynek meghatározása tehát James Prescott Joule nevéhez fűződik.



11. ábra: A hő-munka egyenérték megfogalmazása.

Az óra végén hangsúlyoztam, hogy a fajhő és a hő-munka egyenérték fogalmainak bevezetése a történeti háttér és Joule tevékenységének tárgyalása nélkül nem lett volna bevezethető. Hiszen, éppen az autodidakta személyiség és a sokoldalú tevékenység az, amely lehetővé tette Joule számára, hogy rendkívüli eredményeket mutasson fel az elektromágnesség és a hőtan területén is, megalkotva a tanulók által idáig nem ismert, univerzális kapcsolatot.

5.2. A MÁSODIK TANÓRA

A második tanórát rövid ismétléssel kezdtük, amely során a tanulók aktív közreműködésével elevenítettem fel a Joule-hőről és a fajhőről tanultakat. Ugyanakkor, meglepően tapasztaltam, hogy a tanulók közreműködése még jelentősebb volt, mint az első óra elején. Véleményem szerint ez annak tudható be, hogy az első tanóra felvetései után a tanulók „várták a befejezést”, abban az értelemben, hogy kíváncsiak voltak, mi lesz a második óra csattanója, s hogyan zárul a történelmi háttér integrációjával felvetett gondolatmenet.

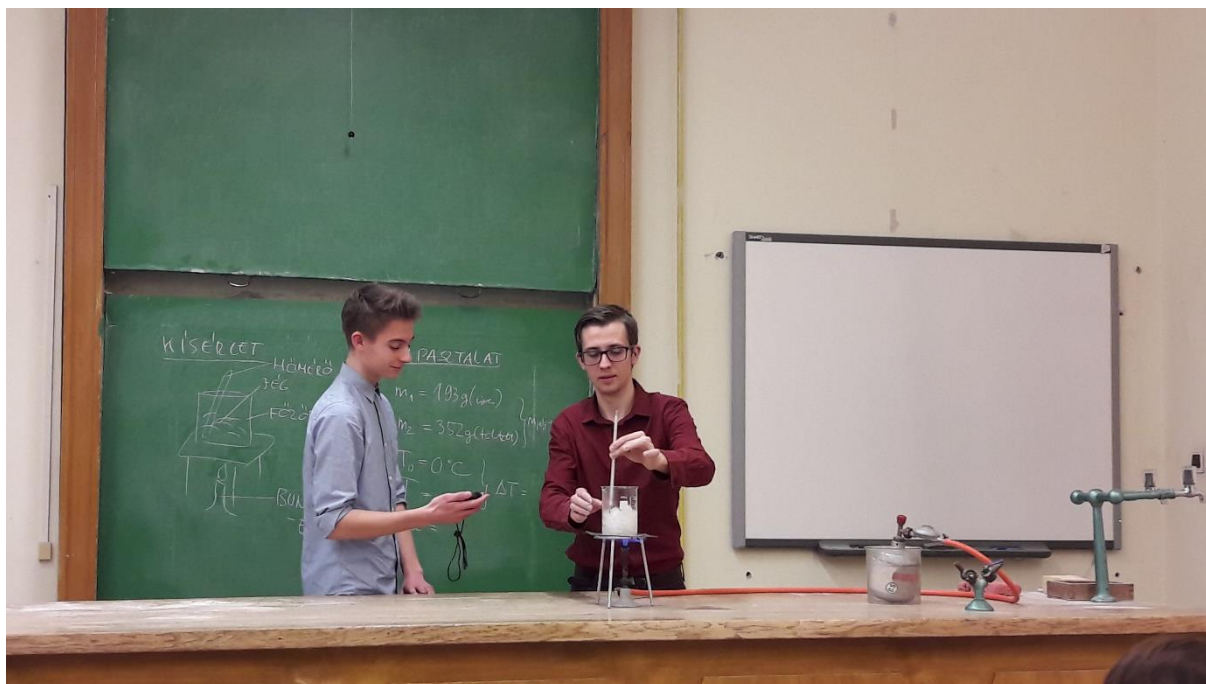
Az ismétlést követően a házi feladat ellenőrzésére került sor: *Czaun Boldizsár* ismertette a helyes végeredményt, amit a többiek – szinte egyöntetű – egyetértéssel elfogadtak. Ezután az eredményre vonatkozó hibaszámításra került sor, amelyben felismertük, hogy a Joule által eredetileg mért adatok felhasználásával ismét nagy pontossággal megközelítettük az irodalmi értéket, sőt a vízforralós kísérletben meghatározott fajhő nagyságát is. Ezáltal két úton, egy kísérleti és egy számításra alapuló módszerrel is megoldottuk a feladatot, s összehasonlítva azokat az irodalmi értékkel, meghatároztuk a két esetben a relatív eltérés nagyságát is. Végül, a feladat kapcsán hangsúlyoztam a múlt órán tanultakat: az általánosan tárgyalható hő-munka egyenérték nem csak elektromos munkavégzés, de mechanikai munkavégzés esetén is megfogalmazható.

Ezt követően került sor a pályamunka másik lényeges elemének, a halmazállapot-változással kapcsolatos látens hő fogalmának bevezetésére. Megkérdeztem a tanulókat, hogy vannak-e olyan hőtani folyamatok, ahol hőfejlődés történik, annak ellenére, hogy nincs hőmérséklet-változás? *Marczika András* volt az első, aki jelentkezett a válasszal: igen, vannak, ezek pedig a halmazállapot-változások. Ezt követően a halmazállapot-változásokkal kapcsolatban tettem fel néhány ismétlő kérdést (a témával ugyanis már 10. osztályban találkoztak), mint „*Milyen fizikai mennyiség változhat meg halmazállapot-változás során?*” vagy „*Milyen fizikai mennyiség állandó halmazállapot-változás során?*”

Ezeket a kérdéseket használtam fel arra, hogy a második tanóra első kísérletét bemutassam a diákoknak. Ahogy az első órán, úgy ezúttal sem fejtettem ki, hogy mi a kísérlet célja: a tanári asztalon lévő eszközök felmutatása, majd az azokról készült táblai rajz értelmezése után felírtam a kísérlet elején már ismert fizikai mennyiségeket (üres főzőpohár tömege, jég kezdeti hőmérséklete⁷). Ezt követően *Varga Eszter* jelentkezett, hogy a digitális mérleg segítségével megméri a már apróra tört jéggel megtöltött főzőpohár tömegét, majd

⁷ A kísérletben használt jeget már az óra kezdete előtt apróra törtem. A kísérlet megkezdésekor a jég hőmérséklete pontosan 0°C volt.

kiszámolja általa a jég tömegét is. Ezután a jéggel töltött főzőpoharat a háromlábra fölé helyeztem és meggyújtottam a Bunsen-égőt. *Mészáros Jakab* segített abban, hogy mérte a jég megolvasztásának időtartamát, miközben én óvatosan kevergettem a főzőpohárban lévő jeget (12. ábra).



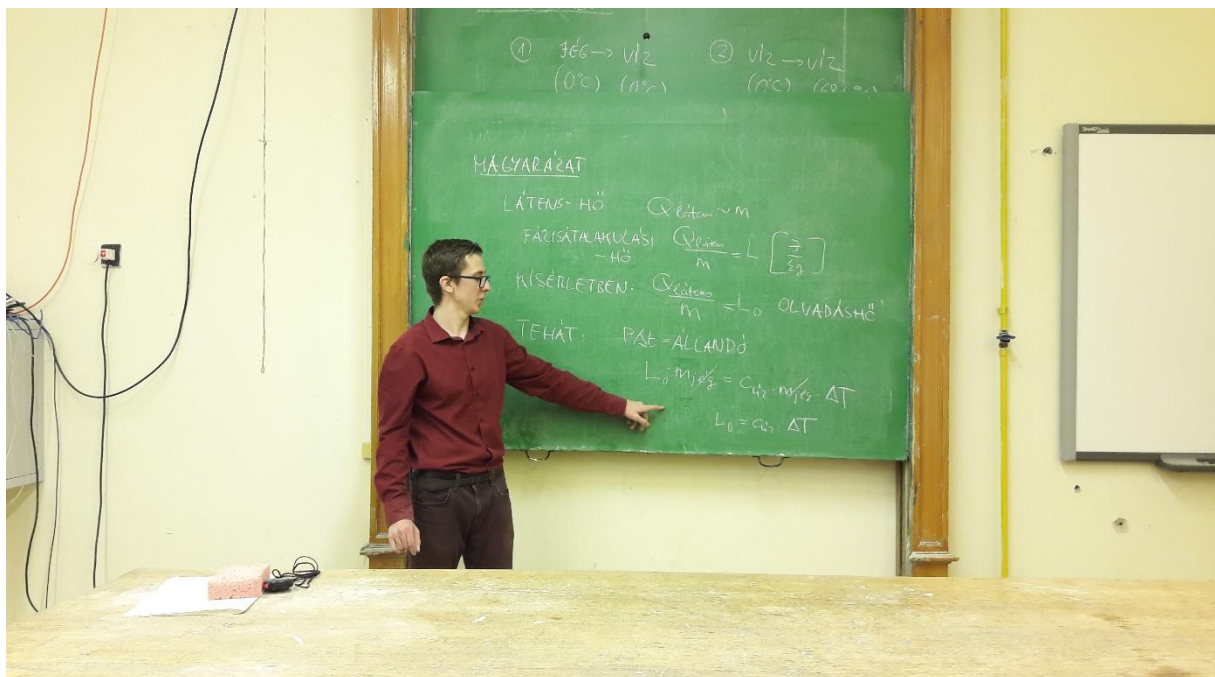
12. ábra: *Mészáros Jakab* az olvasztás időtartamát mérte, miközben én hőmérővel, óvatosan kevergettem a jég-víz elegyet.

Ezt követően, miután a jég (*Jakab* véleménye szerint is már) közelítőleg megolvadt, elindítottuk a második mérést, vagyis a víz melegítését. A teljes kísérlet során ismét ugyanazt a kérdést tettem fel, amit az előző órai kísérlet során is: Mi a célja a kísérletnek? Mit akarunk megmérni általa? A tanulók, felhasználva az előző tanóra analógiáját, megértették a célzást, s felismerték, hogy a fajhővel valamilyen analóg fogalomról lehet szó. (Többektől még az „olvasztási hő” kifejezést is hallottam; ami, bár terminológiailag helytelen, szemléletileg helyes gondolatot tükröz.)

Ezután került sor a tapasztalatok rögzítésére: a kísérlet első részében a 0°C -os jeget 0°C -os vízzé olvasztottuk, majd ugyanannyi ideig melegítettük 0°C -ról a teljesen vízzé vált jeget. Utóbbi a Joule-hőre megismert, a fajhőt, mint arányossági tényezőt tartalmazó összefüggéssel írható le, amely az előző tanóra tapasztalatai értelmében azonos a melegítés teljesítményének és az olvasztás időtartamának a szorzatával. Ez utóbbi mennyiség ugyanakkor állandó, hiszen a kísérlet mindkét részében azonos ideig mértünk, a melegítés teljesítménye pedig a kísérlet

során nem változott meg! Ez azt jelenti, hogy ez az összefüggés a kísérlet első részére is alkalmazható. Ez viszont lehetővé tette, hogy a tanulókkal együtt megállapítsuk: az ún. látens hő, ami az olvasztás során fejlődik, azonos módon értelmezhető a kísérlet második részében jelentkező, hőmérséklet-változással járó hővel.

Ezt követően, megállapítottam, hogy a hőmérséklet-változással járó hővel analóg módon ebben az esetben is definiálható egy állandó a látens hő és a tömeg hányadosaként. Ez az ún. fázisátalakulási hő, vagyis az egységnyi tömegre vett látens hő, ami – mivel függ a halmazállapot-változás típusától –, esetünkben olvadáshőként értelmezhető (13. ábra). Utóbbi nagysága viszont a kísérlet segítségével kiszámolható, amihez elegendő volt a víz irodalmi fajhőjének ismerete és a mért hőmérséklet-különbség nagysága. Ebből, ahogy az előzőekben is, kiszámítottuk a relatív eltérés nagyságát, majd a pontatlanság okát a tanulókkal közösen magyaráztuk meg (a gázláng nem csak a jeget melegíti, párologás stb.).



13. ábra: A látens hő és a fázisátalakulási-hő kvantitatív bevezetése.

Ezután, hogy a fajhő analógiáját felhasználva bevezettem a fázisátalakulási hő fogalmát, feltettem a kérdést, hogy mi szükség volt az időmérésre, ha a számolásnál nem is alkalmaztuk? Meglepő volt az egyik tanuló, *Mosoni Péter* helyes válasza, aki az eddigi analógiákból felismerte, hogy az időméréssel egy újabb számítást akarunk végezni, csak azt most a már számolt olvadáshő nagyságának ellenőrzésére. Ehhez azonban, ahogy elmondta, egy másik kísérletet kell elvégezni.

E kísérlet első lépésében ismét *Varga Eszter* segítségét kértem, aki lemérte az üres főzőpohár, majd a vízzel töltött főzőpohár tömegét, s abból meghatározta a melegíteni kívánt víz tömegét. Ezután *Jakab* volt a segítségemre abban, hogy megmérje a víz kezdeti hőmérsékletét, illetve mérje az időt, miközben én a Bunsen-égő meggyújtása után – az egyenletes melegítés érdekében –, kevergettem a vizet. Az időmérés addig zajlott, míg a hőmérő 30°C-kal többet nem mutatott a kezdeti hőmérsékletnél. Ezen adatok ismeretében ugyanis, a már megismert Joule-féle hő összefüggés ismeretében lehetővé vált a melegítés teljesítményének kvantitatív meghatározása is. Ez ugyanakkor azt is lehetővé tette, hogy *Péter* gondolatának megfelelően, ellenőrizzük az olvadáshőre kapott érték nagyságát. A tanulók maguk is felismerték, hogy a második kísérlettel számolt olvadáshő értékére az előzőnél is pontosabb értéket kaptunk, amely az ezután elvégzett hibaszámításból is látszott.

Végül, az óra végén összefoglaltam a két tanóra legfontosabb megállapításait. Eszerint, az első tanórán Joule tevékenységének megismerésén keresztül lehetővé vált a vízforralós kísérlet bemutatása, majd a mechanikai analógiát megismerve, abból a hő-munka egyenérték megfogalmazása. A második tanórán pedig a Joule-hő alapján tárgyalt fajhő analógiáját használtuk fel a látens hő esetében értelmezett fázisátalakulási-hő bevezetésére. Itt, emellett felismertük, hogy a látens hő tulajdonképpen azonos módon értelmezhető a hőmérséklet-változással járó hővel, ám előbbi folyamatnál a hőmérséklet állandó marad.

Az összefoglalást követően a tanulók megkapták a két óra tananyagát tartalmazó tesztet, ami legnagyobb meglepetésükre megegyezett az első tanóra kezdetén megírt kérdéssorozattal. Ezzel kívántam ugyanis ellenőrizni a tudásukban, illetve szemléletükben beállt változást a témával kapcsolatban.

5.3. SZEMÉLYES ÉLMÉNYEK, TAPASZTALATOK

Egyrészt, személyes élményeim közé tartozik, hogy – amint már említettem –, *Rövid tanítási gyakorlatomat* is e fakultációs csoportnál végeztem, így sem számomra, sem a tanulók számára nem volt idegen a tanításomból származó új felállás. Minden bizonnyal ennek köszönhető, hogy a tanulók e két tanóra megtartása során már nem hátráltak meg attól, hogy részt vállaljanak a kísérletek elvégzésében; sőt, aktívan jelentkeztek egy-egy feladat kiosztása során.

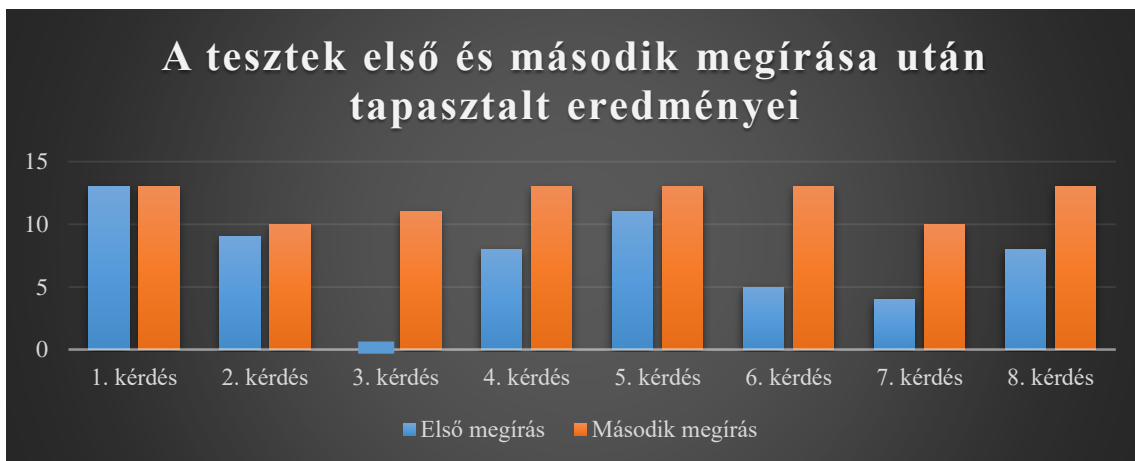
Másrészt, a gyakorlat megkezdése előtt tartottam attól, hogy a tanulók, illetve vezetőtanárom hogyan fogadja majd a történelem integrációját a fizika tanításában. Meglepően tapasztaltam a gyakorlat befejezése után, hogy mind tanárom, mind a csoport tagjai határozottan

kedvező véleménnyel voltak a tanítás során alkalmazott interdiszciplináris elemekre. Emiatt, már nem volt bennem félelem, amikor hozzáálltam a dolgozatban foglaltak gyakorlati alkalmazásába.

5.4. A FELMÉRŐ KIÉRTÉKELÉSE

A felmérő kérdéseit úgy állítottam össze, hogy azokban nem csak a dolgozatban tárgyalt fogalmakra vonatkozóan kívántam a változást látni, hanem a témával kapcsolatos, általános tudásra alapozó kérdéseket is feltettem. A következőkben megállapításokat teszek a két tanóra előtt, illetve a két tanóra után megírt felmérő eredményeiről, külön tárgyalva az egyes kérdéseket (14. ábra).

- Az 1. kérdés például Joule tevékenységére kérdezett rá, mégpedig arra, hogy a felsorolt tudományos eredmények közül melyik kapcsolódik Joule nevéhez. A négy válaszlehetőségből mindenki a „*hő-munka egyenérték felismerése*” válaszlehetőséget választotta ki, hiszen a másik három azonnal elvethető volt. Ezért e kérdésre adott válaszok hibátlanok lettek, s nem történt változás a második megírás alkalmával sem.
- A 2. kérdés egy általános hőtani problémára kérdezett rá, ám érdekes módon ezzel akadtak problémák nem csak az első (9 darab helyes válasz), de a második megírás (10 darab helyes válasz) alkalmával is. Ebből leszűrhető az a tapasztalat, hogy szükség van a hőtani tanulmányok elmélyítésére, hiszen a kérdés önmagában nagyon egyszerű volt.
- A 3. kérdés eredményeinek megváltozásában egyértelmű a helyzet: az első megírás során egyetlen tanuló sem ismerte fel, hogy a hő fogalma alatt nem csak a hőmérséklet-változással járó folyamatot értjük, hiszen a halmazállapot-változás jelensége is hasonlóan értelmezhető. E hibát ugyanakkor sikerült kompenzálni a második megírásnál, amikor a kérdésre a tanulók már nem adtak helytelen választ.
- A 4. kérdés az elektromos munkavégzés és hőmérséklet-változással járó hő közötti kapcsolatra kérdezett rá (8 darab helyes válasz), amelyet – bár az első kérdés még utalt is a hő-munka egyenértékre – a tanulók nem ismertek fel. Ez azt jelzi, hogy a tanulók már az 1. kérdésnél sem tudták, hogy mit jelent az általuk jelölt válasz, csupán a többi helytelenségéből következtettek annak helyességére. E tapasztalat a fogalom megismertetésének szükségességét támasztja alá, hiszen a második megírás alkalmával már mindenki helyesen válaszolt.



14. ábra: A tanulók által írt felmérő tesztek eredményei az egyes kérdések függvényében.

- Az 5. kérdés megválaszolásához ismét általános tudás szükségeltetett, ennek ellenére itt is volt két helytelen válasz. Azonban, a második megírás során már mindenki a helyes lehetőséget jelölte meg. Ez minden bizonnyal annak tudható be, hogy a második tanórán röviden átismételtük a halmazállapot-változásról tanultakat, mielőtt megkezdődött volna a jég olvadáshőjének mérése.
- A 6. kérdés esetében hasonló volt a helyzet, csak itt a változás még radikálisabb volt. A hőtani tanulmányok rendkívüli hiányosságaira utal az első ízben adott válaszok száma (5 darab), amit a második megírás alkalmával már sikerült hibátlanra fejleszteni.
- A 7. kérdés csupán magára a látens hő fogalmára kérdezett rá a 3. kérdésben már említett, azonos válaszokkal. Bár az első megírás csekély helyes eredményét (4 darab) a második megírás alkalmával sikerült javítani (10 darab), látszik, hogy a tanulók nem voltak tisztában a fogalom jelentésével, vagy egyáltalán nem hallottak róla, ami igazolja a témakör tanításának fontosságát.
- Végül, a 8. kérdés esetében visszatértünk a 4. kérdésre, ami csak a mechanikai munkavégzés és a Joule-hő kapcsolatára kérdezett rá. Érdekes módon az első megírás alkalmával a helyes válaszok száma (7 darab) eltér a 4. kérdésre adott helyes válaszok (9 darab) számával, vagyis két teljesen analóg kérdésre a tanulók másképp válaszoltak. Ez arra utal, hogy a hő-munka egyenérték fogalmát valóban nem ismerték vagy nem értették meg a tanulók, míg a második megírás során a 13 darab helyes válasz a fogalom mély elsajátításáról tanúskodik.

ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

Összegezve a dolgozatban foglaltakat, megállapítható, hogy kutatásom legfontosabb újszerűségét a történelmi kontösbe helyezett megközelítés nyújtja. Utóbbi alkalmazása ugyanis rendkívül fontos abból a szempontból, mert a fizika az egyedüli a természettudományos tantárgyak közül, amelynek érettségi követelményében nevesítve szerepelnek tudósok.

Ezt felhasználva, dolgozatomban lehetőséget adtam többek között arra, hogy a középiskolások számára addig ismeretlen fogalmakat (hő-munka egyenérték, látens hő stb.) e történelmi háttér segítségével tisztázzak vagy vezessek be. (Az utóbbiak iskolai tanítása során alkalmazott pedagógiai módszereket, szervezési módokat a 2. fejezetben mutattam be.)

Ennek megfelelően, egyrészt láttuk, hogy a dolgozat 1. fejezetében vizsgált tankönyvek kevésbé vagy egyáltalán nem teszik lehetővé a hőtan tanításában megjelenő egyes fogalmak (fajhő, stb.) szemléletes bevezetését. Ezáltal a legjelentősebb kritika, ami velük szemben megfogalmazható, az, hogy Joule tevékenységének tárgyalását elvonatkoztatják a fajhő fogalmának bevezetésétől. Emiatt, véleményem szerint az is megfogalmazható, hogy a kérdéskör tanítása kevésbé logikus és kevésbé követhető. Másrészt, az elemzett tankönyvek közül egyik sem tér ki a Joule-hő fogalmának értelmezésekor a nem hőmérséklet-változással kapcsolatos hőcserére. Nem említik meg azt, hogy a hőt nem csak úgy értelmezhetjük, hogy egy test melegedik vagy lehül, vagyis a hőmérséklete megváltozik. Ez viszont alapvető hiányosság, hiszen ennek következtében alkalmazható a Joule-hő fogalma hőmérséklet-változással nem járó folyamatokban is, mint például a halmazállapot-változásokban. Utóbbiaknál az olvadás-fagyás, forrás-lecsapódás, stb. említhető meg, és bár e változásokat a tankönyvek külön leckében tárgyalják is, nem készítik viszont a tanulókat a két hőfogalom azonos értelmezésére.

Ebből az okból alapvető fontosságú, hogy a hő fogalmát egy újszerű módon tanítsuk meg a középiskolában, amelynek egyik lehetőségét a történelmi háttér integrációja nyújtja. Dolgozatomban ennek megfelelően, Joule egyik kevésbé ismert, ám annál nagyobb jelentőségű kísérletét alkalmaztam az elektromos munkavégzésről tanultak felelevenítésére (3. fejezet). Utóbbival egyrészt egy vele analóg, osztálytermi körülmények között is elvégezhető kísérletet tudtam bemutatni, s általa bevezetni a fajhő fogalmát. Másrészt, a kísérletből megállapított kvantitatív (hő és munka között fennálló) kapcsolat értelmezésével lehetővé vált Joule keverőlapátos-kísérletének tárgyalása is, amely rávilágított az általánosan érvényes hő-munka egyenértékűség jelentőségére. Ezt követően a tanultak ismétlésére több számításhoz példát is alkalmaztam, s hogy igazoljam a történelmi integráció szükségességét.

Ugyanakkor, dolgozatomban második részében (4. fejezet) a 3. fejezet analógiáját használtam fel, hogy bevezessem a hőmérséklet-változással járó hővel ekvivalens látens hő fogalmát. A kvantitatív értelmezéshez egy olyan, középiskolai körülmények között is elvégezhető kísérletet választottam, amely során a jég olvadáshőjét (egységnyi tömegre vett látens hőjét) kellett mérésrel meghatározni. A mért eredményt ezután egy másik kísérlet végrehajtásával ellenőriztük. Ezáltal, a fejezet eredménye egyrészt úgy összegezhető, hogy egy, a középiskolai oktatásban eddig nem alkalmazott kísérleti összeállítást használtunk fel a látens hő fogalmának bevezetésére. Másrészt, az, hogy a kísérlet kvalitatív értelmezésével a tanulók is diszkutálhatták, hogy az állandó hőmérsékleten végbemenő halmazállapot-változás is hőátadásként értelmezhető, éppúgy, ahogy a hőmérséklet-változás esetén fejlődő hő. Ennek közvetett felismeréséhez viszont a történelmi háttér, s így Joule munkásságának megismerése volt szükséges.

A kutatási pályamunka megírása, illetve az említettek mellett másik eredményünk, hogy a dolgozat tartalmát már az *ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziumban* is kipróbáltam (5. fejezet), ahol újabb tapasztalatokat fogalmaztam meg. Kutatásom hiánypótló jellegét így a téma interdiszciplináris feldolgozása és újszerű tanítása mellett a már alkalmazott óratervek és saját következtetésem is igazolják.

BIBLIOGRÁFIA

Budó Ágoston 1975. *Kísérleti fizika I.* Tankönyvkiadó. Budapest. 379.

Budó Ágoston 1980. *Kísérleti fizika III.* Tankönyvkiadó. Budapest. 384.

Dégen Csaba – Póda László – Urbán János 2012. *Fizika 10.* Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest. 147-183.

Gamow, George – Cleveland, John M. 1977. *Fizika.* Gondolat. Budapest. 173.

Halford, G. S. 1992: Analogical reasoning and conceptual complexity in cognitive development. *Human Development* 35(4): 193-217.

Holics László 2009. *Fizika.* Akadémiai Kiadó. Budapest. 363-366.

Holyoak, K. J. 1984: Analogical thinking and human intelligence. In: Sternberg, R. J. (szerk.): *Advances in the psychology of human intelligence (Vo. 2.)*. Erlbaum. Hillsdale. 199-230.

Horányi Gábor – Elblinger Ferenc – Simon Péter – Egri Sándor, dr. – Ádám Péter, dr. 2015. *Fizika 10.* Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet. Budapest. 19-162.

Hortobágyi István – Rajkovits Zsuzsanna – Wajand Judit 2005. *Matematikai, fizikai, kémiai összefüggések. Névjegyű függvénytáblázatok.* Konsept-H Könyvkiadó. Budapest. 169-171.

Juhász András 1994. *Fizikai kísérletek gyűjteménye I. Mechanika, fénytan, hőtan.* Arkhimédesz Bt. – TYPOTEX Kiadó. Budapest. 443-444.

Jurisits József – Szűcs József 2002. *Fizika 10. Elektromosság, hőtan.* Mozaik Kiadó. Szeged. 41-56.

Kudrjavcev, P. Sz. 1951. *A fizika története. Az antik fizikától Mengyelejevig* (ford: Lovas György). Akadémia Kiadó. Budapest. 306-490.

Litz József 2005. *Fizika II. Termodinamika és molekuláris fizika. Elektromosság és mágnesség.* Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest. 396-397.

Nagy Lászlóné – Antal Erzsébet 2004. *Az analógiás gondolkodás fejlesztése a biológia tantárgy keretében*. Szegedi Tudományegyetem. Szeged. 4-7.

Nahalka István 2002: *Hogyan alakul ki a tudás a gyerekekben? Konstruktivizmus és pedagógia*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.

Pléh Csaba 2015. *A tanulás és gondolkodás keretei*. Typotex. Budapest. 88.

Radnóti Katalin 2017. *Óráról órára. Fizikaórák megjegyzésekkel ellátva*. Innovariant Nyomdaipari Kft. Szeged. 13-26.

Radnóti Katalin – Nahalka István 2002. *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 219-220.

Ramsauer, Carl 1953. *Grundversuche der Physik in historischer Darstellung*. Springer-Verlag. Berlin. 42-43.

Simonyi Károly 2011. *A fizika kultúrtörténete a kezdetektől a huszadik század végéig*. Akadémiai Kiadó. Budapest. 375.

Szabó Róbert 2017a. Pályán az ágyúgolyó. *Tudományos diákköri dolgozat*. Budapest.

Szabó Róbert 2017b. Csernobil, a modern Pompeii. *Tudományos diákköri dolgozat*. Budapest.

Szabó Róbert 2018a. A termodinamika történeti fejlődésének 150 esztendeje. A hőtan középiskolai tanítása történész szemmel. *Új Nemzeti Kiválóság Program (ÚNKP) pályamunka*.

Szabó Róbert 2018b. Történelmi szimuláció: a távolsági ágyúzás fizikája. *Fizikai Szemle* 758: 60-65.

Szabó Róbert 2018c. Csernobil és Paks a tananyagban. *Természet Világa* 9: 394-398.

Szeibert Janka – Zámbo Csilla Gyöngyvér 2016: Tanítási módszerek és értékelés – egy esettanulmány. *Tudományos diákköri dolgozat*. Budapest. 4-6.

FÜGGELEK

AZ ALKALMAZOTT ÓRATERVEK

1. óraterv

Az óra időpontja: 2018.12.05.

Osztály: 11. fakultáció

Az óra témája: A fajhő fogalmának bevezetése; a hő-munka egyenérték felismerése.

Előzetes ismeretek: A tanulók ismerik a nehézségi erő munkavégzését, illetve az elektromágneses indukció, az elektromágnes, valamint az indukált áram fogalmát.

Időkeret	A tanóra tartalma	Módszerek	Eszközök	Kulestartalmak
0-4 perc	A felmérő teszt megírása.		nyomtatott felmérő-lapok	
5-7 perc	Óra eleji ismétlés. A téma tárgyalásához szükséges fogalmak ismétlése, felelevenítése.	A tanulók kérdezgetése az ismételni kívánt fogalmakról.	Nem igényel különleges eszközöket (csak tábla, kréta).	elektromágneses indukció; elektromágnes; indukált áram
8-12 perc	Joule munkásságának és eredményeinek rövid ismertetése. Annak megállapítása, hogy Joule egy rendkívül sokoldalú tudósszemélyiség volt, eredményei pedig máig érvényesek.	Tanári munka a táblánál. A tanulók kérdezgetése: Mit tudnak Prescott James Joule munkásságáról?	Nem igényel különleges eszközöket (csak tábla, kréta).	autodidakta; Joule, mint mértékegység
13-17 perc	Joule elektromágneses kísérletének elemzése, mint gondolatkísérlet. Annak megállapítása, hogy a kísérletben mechanikai forgatás hatására indukált áram keletkezett, ami hőmérséklet-változást idézett elő a forgatott üvegedénybe öntött vízben. Joule megállapításának hangsúlyozása, miszerint a hő az indukált áram négyzetével arányos. A Joule-Lenz törvény kimondása, az elektromos teljesítmény fogalmának értelmezése.	Vetítés; tanári munka a táblánál.	laptop; projektor; tábla; kréta	Hg-kommutátor; galvanométer; Joule-Lenz törvény; elektromos teljesítmény
18-25 perc	A fajhő fogalmának bevezetése kísérleti úton. A kísérlet eszközeinek felmutatása, az összeállítás elmagyarázása. A kísérlet végrehajtása tanulói segítséggel: egy diák a kezdeti hőmérséklet méréséért, egy másik a (vízforraló lekapcsolása előtti) teljesítmény leolvasásáért felelős. A harmadik tanuló az időmérést	Tanulók bevonása a kísérlet végrehajtásába, eközben tanári munka a táblánál.	vízforraló vízzel; főzőedény; stopper; elektromos fogyasztásmérő ; hőmérő	hőkapacitás; fajhő

	<p>hajtja végre. A kísérlet végrehajtása közben annak felismerése, hogy a fejlődő hő a forralni kívánt vízben bekövetkező hőmérséklet-változással arányos. Ennek segítségével a hőkapacitás, majd a fajhő fogalmának bevezetése, majd a mért adatok segítségével a víz fajhőjének kiszámítása.</p>			
26-30 perc	<p>A fajhőre kapott eredmény összehasonlítása az irodalmi értékkel. Az eltérés okának megállapítása: a vízforraló nem hőszigetelt edény, így az eszköz nem csak a vizet, hanem a környezetét is erőteljesen melegíti.</p>	<p>Tanári munka a táblánál. A tanulók kérdezgetése: Mi az eredményben tapasztalt eltérés oka?</p>	<p>Nem igényel különleges eszközöket (csak tábla, kréta).</p>	<p>relatív eltérés számítása</p>
31-40 perc	<p>Annak felvetése, hogy a hőt az elektromostól eltérő munkavégzéssel is végre lehetne-e hajtani. Ezt követően Joule mechanikai kísérletének ismertetése: annak felismerése, hogy a nehezék süllyedése során végzett mechanikai munka a víz hőmérsékletének növelésére, vagyis hőfejlődésre fordítódik. A mechanikai munkavégzés és a fejlődő Joule-hő között tehát egy, az elektromoshoz hasonló arányosság van. Házi feladat feladása a Joule-féle keverőlapátos kísérlet eredeti adatai alapján.</p>	<p>Vetítés; tanári munka a táblánál. A tanulók kérdezgetése: Más munkavégzés is képes lenne-e hő fejlesztésére? A házi feladat feladása.</p>	<p>laptop; projektor; tábla; kréta</p>	<p>nehézségi erő munkavégzése; keverő-lapátos kísérlet</p>
41-45 perc	<p>Összefoglalás, lezárás. A tapasztalat hangsúlyozása, a tanóra eredményeinek értékelése a tanultak alapján. Az ún. hő-munka egyenérték fogalmának kimondása, ami azt jelenti, hogy a munkavégzés és a fejlődő hő között általános kapcsolat áll fenn. Annak felismerése, hogy a fogalom bevezetéséhez elengedhetetlen volt a történeti háttér, vagyis Joule munkásságának megismerése, s azon keresztül a két kísérlet értelmezése.</p>	<p>A tapasztalatok és eredmények ismertetése, s törekvés arra, hogy a tanulók az általánosan is érvényes tapasztalatot önmaguktól fogalmazzák meg.</p>	<p>Nem igényel különleges eszközöket (csak tábla, kréta).</p>	<p>hő-munka egyenérték</p>

2. óraterv

Az óra időpontja: 2018.12.07.

Osztály: 11. fakultáció

Az óra témája: A látens-hő és a fázisátalakulási-hő fogalma

Előzetes ismeretek: A tanulók az 1. tanórán már megismerkedtek a fajhő fogalmával, s tisztában vannak a Joule-hő értelmezésével is.

Időkeret	A tanóra tartalma	Módszerek	Eszközök	Kulcstartalmak
0-4 perc	Óra eleji ismétlés. A Joule-hőről és a fajhőről tanultak felelevenítése, átismétlése. A hő-munka egyenérték jelentésének ismétlése és jelentőségének hangsúlyozása.	A tanulók kérdeztetése az ismételni kívánt fogalmakról.	Nem igényel különleges eszközöket (csak tábla, kréta).	Joule-hő; fajhő; hőkapacitás; hő-munka egyenérték
5-7 perc	A házi feladat eredményének ellenőrzése. Relatív eltérés számítása az eredményre vonatkozóan: a víz fajhőjének összevetése az irodalmi értékkel. Annak megállapítása, hogy a nagyságrendileg helyes eredmény miatt igazolni lehet a Joule által meghatározott adatok helyességét. Hiszen a számolásban nem csak az irodalmi értékkel, de a vízforralós kísérletből származó eredménnyel is igen pontos egyezés kapható.	Tanári munka a táblánál. A tanulók kérdeztetése a számítás helyes eredményéről.	Nem igényel különleges eszközöket (csak tábla, kréta).	relatív eltérés számítása
8-16 perc	A halmazállapot-változások témakörére utaló kérdések felvetése, majd a jég olvadáshőjének mérése. A kísérlet első lépéseként a táblai rajz elkészítése, az összeállítás magyarázata. A kísérlet kezdetén már ismert fizikai mennyiségek felírása, majd egy tanuló segítségével a jég tömegének mérése. Egy másik tanuló segítségével az időmérésben, eközben a jég-víz elegy folyamatos kevergetése. A kísérlet második részében az időmérés és a kevergetés folytatása, majd a felmelegített víz hőmérsékletének leolvasása.	A tanulók kérdeztetése: Mi a halmazállapot-változás? Milyen mennyiségek maradnak állandók és milyen mennyiségek változhatnak meg halmazállapot-változás során? A tanulók bevonása a kísérlet végrehajtásába, eközben tanári munka a táblánál.	főzőedény jéggel; vasháromláb vasszitával; gázcsap; hőmérő; stopper	halmazállapot; halmazállapot-változás
17-22 perc	A tapasztalatok rögzítése és annak kimondása, hogy a kísérlet két részében a felmelegítés	Tanári munka a táblánál a tanulók aktív	Nem igényel különleges	látens-hő; fázisátalakulási-hő; olvadáshő

	teljesítményének és a melegítés időtartamának szorzata állandó. Ez alapján az ún. látens-hő bevezetése, ami azonos módon értelmezhető a kísérlet második részében fejlődő, hőmérséklet-változással járó hővel. Annak felismerése, hogy ebben az esetben is definiálható egy állandó a látens-hő és a tömeg hányadosaként. Ez az ún. fázisátalakulási hő, ami – mivel a halmazállapot-változás típusától függ –, esetünkben az olvadáshőként értelmezhető.	közreműködésével	eszközöket (csak tábla, kréta).	
23-26 perc	Az olvadáshő kvantitatív levezetése és kiszámítása. A relatív eltérés számítása az irodalmi értékkel történő összevetéssel, majd az eltérés okának megkérdezése és magyarázata: a gázlámpa nem csak a főzőpohárban lévő jeget melegíti, s a veszteséget még növeli a már vízzé vált jég párolgása is.	Tanári munka a táblánál. A tanulók kérdezgetése: Mi a tapasztalt eltérés oka?	Nem igényel különleges eszközöket (csak tábla, kréta).	relatív eltérés számítása
27-34 perc	Egy második kísérlet elvégzése az olvadáshőre kapott érték ellenőrzésére és a melegítés teljesítményének meghatározására.	Tanári munka a táblánál a tanulók aktív közreműködésével	főzőedény vízzel; Bunsen-égő; hőmérő; stopper	
35-38 perc	A kísérlet alapján az előzőekben számolt, olvadáshőre kapott érték ellenőrzése a relatív eltérés ismételt számolása és értékelése által.	Tanári munka a táblánál.	Nem igényel különleges eszközöket (csak tábla, kréta).	relatív eltérés számítása
39-40 perc	A két tanóra legfontosabb megállapításainak összefoglalása. Eszerint, az első tanórán Joule tevékenységének megismerésén keresztül a vízforralás kísérlet bemutatása, majd a mechanikai analógia alapján a hő-munka egyenérték megfogalmazása. A második tanórán a hőmérséklet-változással járó hő alapján bevezetett fajhő analógiájának felhasználása a látens-hő esetében értelmezett fázisátalakulási-hő bevezetésére.	Tanári munka a táblánál. A tanulók kérdezgetése, s törekvés arra, hogy a tanulók az elmúlt órák tapasztalatait önmaguktól fogalmazzák meg.	Nem igényel különleges eszközöket (csak tábla, kréta).	hő-munka egyenérték; hőmérséklet-változással járó hő és látens-hő kapcsolata; fajhő; fázisátalakulási hő
41-45 perc	A felmérő teszt megírása (másodszer).		nyomatott felmérő-	

FELMÉRŐ

Név, osztály:

FELMÉRŐ

*Az alábbi kérdések a következő két tanóra témájával kapcsolatosak.
Karikázd be az egyes kérdéseknél a helyes válasz vagy válaszok betűjelét!*

1) Mi fűződik az angol James Prescott Joule nevéhez?

- a) Villámhárító feltalálása.
- b) A hőmérséklet fogalmának bevezetése.
- c) Az abszolút hőmérsékleti skála meghatározása.
- d) A hő-munka egyenértékűség felismerése.

2) Melyik fizikai mennyiség változhat meg egy adott anyag felmelegítése során?

- a) A Boltzmann-állandó.
- b) Az anyag hőmérséklete.
- c) Az anyag tömege.
- d) Az anyag térfogata.

3) Hogyan értelmezhető az alábbiak közül a hő fogalma?

- a) Az áramerősség és a töltésáthaladás időtartamának szorzataként.
- b) A hőmérsékletváltozás, a tömeg és a fajhőnek nevezett arányossági tényező szorzataként.
- c) A fázisátalakulás során jelentkező, egységnyi tömegre vett hő és tömeg szorzataként.
- d) A munkavégzés és a hőmérséklet-különbség hányadosaként.

4) Elektromos munkavégzéssel egy testet melegítünk. Mekkora lesz a fejlődő hő nagysága?

- a) Az elektromos munkavégzés és a hőmérséklet-különbség szorzata a hő értékét adja meg.
- b) A fejlődő hő és a munkavégzés időtartamának hányadosa az elektromos munkavégzéssel egyenlő.
- c) A fejlődő hő a hőmérséklet megváltozásával lesz azonos.
- d) A hő (bizonyos körülmények között) megegyezik a végzett elektromos munkával.

5) Mit nevezünk halmazállapot-változásnak?

- a) Az atommagok atomból történő kiválását.
- b) Az állandó hőmérsékleten bekövetkező anyagszerkezeti változást.
- c) Azt a jelenséget, amikor 1°C -nál kisebb hőmérséklet-változás következik be.
- d) Például a víz 20°C -ról 40°C -ra történő felmelegítését.

6) Melyik fizikai mennyiség változhat meg egy adott anyag halmazállapot-változása során?

- a) A Boltzmann-állandó.
- b) Az anyag hőmérséklete.
- c) Az anyag tömege.
- d) Az anyag térfogata.

7) Hogyan értelmezhető az alábbiak közül a látens-hő fogalma?

- a) Az áramerősség és a töltésáthaladás időtartamának szorzataként.
- b) A hőmérsékletváltozás, a tömeg és a fajhőnek nevezett arányossági tényező szorzataként.
- c) A fázisátalakulás során jelentkező, egységnyi tömegre vett hő és a tömeg szorzataként.
- d) A munkavégzés és a hőmérséklet-különbség hányadosaként.

8) Mechanikai munkavégzéssel egy testet melegítünk. Mekkora lesz a fejlődő hő nagysága?

- a) A mechanikai munkavégzés és a hőmérséklet-különbség szorzata a hő értékét adja meg.
- b) A hő és a munkavégzés időtartamának hányadosa a mechanikai munkavégzéssel egyenlő.
- c) A fejlődő hő a hőmérséklet megváltozásával lesz azonos.
- d) A fejlődő hő (bizonyos körülmények között) megegyezik a végzett mechanikai munkával.

KIVONAT

A mai természettudományos oktatás számtalan nehézséggel küzd, ugyanis a sokszor helytelenül vagy pontatlanul magyarázott jelenségek és kísérletek mellett túl nagy hangsúly van a számításos példákon, amelyek megnehezíthetik a szemléletes megértést is. A fennálló nehézségek egyféle megoldását jelentheti, ha integráljuk a tananyagot a más tárgyakban tanultakkal, hogy tudásunk ezáltal kiterjedtebb legyen. Ennek érdekében, kutatásomban igyekeztem példát mutatni az interdiszciplinaritás, a társadalom- (történelem) és természettudományok (fizika) nem megszokott összekapcsolására. Utóbbi alkalmazása viszont rendkívül fontos abból a szempontból, mert a fizika az egyedüli a természettudományos tantárgyak közül, amelynek érettségi követelményében nevesítve szerepelnek tudósok.

Jelen diákköri dolgozatomban a történelem integrációját úgy használtam fel, hogy segítségével áttekintettem a hő, s így a fajhő és ezen keresztül a fázisátalakulási hő tárgyalását. E fizikai mennyiségeket dolgozatomban egy újszerű módon, a történeti vonatkozások alkalmazásával vezetem be, ezáltal adva hiánypótló értelmezést a két hőfogalom (hőmérséklet-változással járó hő, látens hő) között fennálló, ám a tankönyvek által nem hangsúlyozott kapcsolatnak. Utóbbihoz azonban elengedhetetlen volt, hogy megismertessem az idén 200 éve született James Prescott Joule munkásságát, s azon belül a legfontosabb elektromágneses, illetve hőtani kísérleteit. Ezeket felhasználva, munkámban ugyancsak megfogalmaztam a hőmunka egyenérték univerzalitását, amelynek elhanyagolása szintén óriási hiányossága egyes fizika tankönyveknek.

Kutatásom legfontosabb eredménye, hogy tudománytörténeti háttért alkalmaz hőtani fogalmak újszerű tanítására, melyet már egy gimnáziumban is kipróbáltam. Ekkor kiderült, hogy az interdiszciplináris tanításra nem csak a tanárok, de a diákok véleménye szerint is szükség van. Dolgozatom elkészítését, szerkezetének és témáinak felépítését saját ötleteim alapján végeztem el, míg témavezetőm pedig szakmai útmutatásával, az általam később feldolgozott irodalmak ajánlásával egyengette munkám.