

Mérlegen a Karlsruhei Fizikaoktatási Program

F. Herrmann

Institut für Theoretische Festkörperphysik

Universität Karlsruhe

76128 Karlsruhe

1 Bevezetés

A karlsruhei egyetem Fizika Szakmódszertani Részlege hozzávetőlegesen 20 éve foglalkozik a középiskolai és főiskolai fizikaoktatás fejlesztésével. A gimnáziumi, 13–16 éves tanulók oktatására kidolgozott kurzus kifejlesztése és kipróbálása befejeződött, a következőkben erről a kurzusról számolunk be.

A tanulókat és a tanárokat a program oktatási segédanyagokkal látja el [1]. A tanári segédkönyv tartalmazza a tanítási folyamat megalapozását, a kísérletek leírását, a tanulók munkafüzetében előforduló feladatok megoldását. Az oktatási segédanyagok német nyelvűek. Egy fejezet — a termodinamika — angol és szlovén nyelven, a mechanika, a termodinamika, az energia és informatika pedig spanyol nyelven is hozzáférhető.

A következő szakaszban kifejtjük, miért van szükség a hagyományos fizikaoktatás reformjára. A harmadik szakaszban a Karlsruhe Projekt lefolyását, szervezési kérdéseit ismertetjük. A 4. szakaszban a kurzus alapjait képező fizikai gondolatokat, az 5. fejezetben a tanítás során előadódó sajátosságokat mutatjuk be. E cikk keretében nincs lehetőség a kurzus részletes bemutatására.

2 Miért van szükség egy új fizikaoktatási koncepcióra?

A probléma régi: más tudományterületekhez hasonlóan, a fizika ismeretanyaga is folyamatosan gyarapszik, ugyanakkor a fizika óraszámai változatlanok maradtak. A probléma lehetséges megoldása az lehet, hogy a sokasodó új területeket, jelenségeket megpróbáljuk azok közös vonásait felfedő

A cikket a szerző bocsátotta a Fizikai Szemle rendelkezésére, németből fordította Erdélyi Gábor, KLTE Szilárdtestfizikai Tanszék.

nézőpontból szemlélni. Ez kétségtelenül tudományos módszer, amellyel a jelenségek és a megfigyelések sokféleségét kezelni lehet. Minden elmélet arra szolgál, hogy a sokféle, egyedi tapasztalatot összefoglalva jelenítse meg. A híradástechnika nyelvén megfogalmazva az elmélet az adattömörítést teszi lehetővé. Ami a szaktudomány számára tehát trivialitás, annak kell lennie a tanításban is, tehát a tanított anyag terjedelmében is csökkenthető, amennyiben látszólag különböző dolgokat úgy mutatunk be, hogy közöttük analógiát, hasonlóságot vagy azonosságot ismerünk fel. A szakmódszertani kutatások egyik célja éppen az ilyen összefoglaló leírási módszerek megtalálása.

Amennyiben nem követjük a természettudományos ismeretek feldolgozásának ezt a módját, olyan tananyagot kapunk, amely a szaktudomány történeti fejlődését követi, lényegében annak fejlődéstörténeti leírása. A valóságban a tanított fizika nagymértékben ilyen jellegű.

Igen érdekes az összehasonlítás egy másik szaktárggyal, a történelemmel. A tananyag itt is növekszik, ugyanakkor annak a kihívásnak, amelyet a nem növekvő óraszám jelent, úgy lehet megfelelni, hogy a történelmi fejlődés struktúráira koncentrálunk. A fizikában azonban nem a természettudomány struktúrái fejlődésének vizsgálatáról van szó: a tanítás célja nem a struktúrák fejlődésének, hanem sokkal inkább ezen fejlődés végtermékeinek bemutatása, leírása. A struktúrák tehát a végtermékben, vagyis a mai felfogásunknak megfelelő fizikában keresendők.

Az embernek természetesen lehet az a véleménye, hogy a fizika tanítása szempontjából a legjobb módszer a történeti útnak valamilyen erősen rövidített formában történő bejárása lenne. Ez a felfogás — bár pszichológiai érvekkel alátámaszthatónak látszik — véleményünk szerint téves. A történeti út nem csupán hosszú, de a közben tett kerülők tanításpszichológiai szempontból többnyire feleslegesek. A történeti út követése általában nehezebb, mint a közvetlen úté.

A hagyományos fizikatanítás a történeti utat követi — és nemcsak nagyvonalakban. Alaposabb vizsgálatánál azt látjuk, hogy az részleteiben is tele van a régmúlt maradványaival, amelyeket leginkább a kövületekhez hasonlíthatunk. A biológiai fossziliákhoz hasonlóan, a fizika tudományos rendszerében meglévő fossziliák is pozitív szerepet játszottak valaha, mára azonban feleslegesek, sőt zavarók. Az említett kövületek mind a tananyagban, mind a tanítási módszerekben előfordulnak. Néhány ilyen kövület az alapkérdéseket, szemléletet érinti, mások csak egyes szavakra, szóhasználatra vonatkoznak. Bizonyos témák a természettudományos világkép megváltozásával, mások a kísérleti technika fejlődésével váltak kövületekké. Az általunk valaha megtanult fizikának a megszokása akadályoz bennünket abban, hogy a fizika gondolati rendszerében lévő kövületeket észrevegyük. Észrevételük, azonosításuk az új tantervek kidolgozásának egyik legfontosabb előfeltétele [2]. A Karlsruhe-i Fizikakurzus kifejlesztése a kövületeknek a fizikából történő eltávolítására tett kísérlet.

3 A projekt időbeli lefolyása

A fizika egyes részterületeinek a feldolgozása mindig az adott téma logikai áttekintésével kezdődik. Ebben a fázisban konkrét, célzott korcsoport még nem kerül szóba. Miután ez a lépés befejeződött, akkor kezdődik a kurzus összeállítása, mindenekelőtt fizika szakos egyetemi hallgatók számára. Ezután hozzuk létre a különböző iskolai korcsoportoknak szóló elemi változatokat. Ez az eljárás szavatolja, hogy az elemi változat ne csak egyfajta gyerekeknek szánt fizika legyen, hanem egyúttal szilárd alap is a későbbi kurzusok számára. Ilyen fejlesztés keretében alakultak ki a karlsruhei egyetemen a fizika szakos egyetemi hallgatóknak szánt előadások a következő témakörökben: mechanika, elektrodinamika, optika, atomfizika, termodinamika.

A cikk témáját jelentő gimnáziumi kurzusok kifejlesztése újra két szakaszban történt. Az első szakaszban a kipróbálandó kurzust az intézet munkatársai több alkalommal is tanították gimnáziumokban. Ebben a kipróbálási fázisban keletkeztek a jegyzetek a tanulók számára, valamint a tanári segédkönyvek.

Ezután következett a kurzus bemutatása a honi és a külföldi tanárto-vábbképző akadémiákon, pedagógiai főiskolákon.

A kipróbálás második szakaszában igazolni kívántuk, hogy

- a tárgyat azok a tanárok is tudják tanítani, akik a kifejlesztésében nem vettek részt,
- a tanterv megvalósítható,
- a kurzus közben bekövetkező esetleges iskolaváltás vagy tanárcsere nem okoz nehézséget a tanulóknál,
- nincsenek problémák, amikor a tanulók felsőbb osztályba lépnek.

A második fázis keretében a legnagyobb projekt Baden-Württemberg tartományban indult. Az új koncepció szerinti tanítás az 1988/89 tanévben 20 nyolcadik osztályban (14 éves korosztály) hozzávetőleg 15 tanár részvételével kezdődött el. Ezeket az osztályokat tanáraik a Karlsruhei Kurzus alapján a tizenegyedik osztályig (17 éves korosztály) tanították.

A tanárok felkészítése a soron következő tanítási feladatokra a 6 héten tartott szemináriumainkon történt. A projektet az oktatásért felelős minisztérium figyelemmel kísérte és támogatta.

A kipróbálás második fázisának sikeres befejezése után a minisztérium engedélyezte a Karlsruhei Koncepció szerinti oktatás folytatását. Azok a tanárok, akik a kísérletben részt vettek, a jövőben is a koncepció szerint tanítanak, számos új kollégával együtt, akik időközben csatlakoztak a programhoz. Eddig mintegy 5000 tanuló vett részt a programban.

4 Fizikai alapok

4.1 Szubsztancia jellegű mennyiségek

A fizikai mennyiségek egy csoportjáról igen egyszerűen alkothatunk szemléletes képet. Ezeket a mennyiségeket szubsztancia jellegű mennyiségeknek nevezzük [3,4,5]. A fizikai mennyiségeknek e csoportjába tartozik a tömeg, az energia, az elektromos töltés, az anyagmennyiség, a lendület, a perdület, az entrópia stb.. Egy adott X mennyiség e csoportba tartozását az jelzi, hogy X a következő típusú egyenletnek tesz eleget:

$$\frac{dX}{dt} = I_X + \sum_X \quad (1)$$

Az egyenlet egy meghatározott tértartományra fogalmaz meg állítást. $\frac{dX}{dt}$ az X mennyiség értékének időbeli változását írja le az említett tértartományon belül. A $\sum_X$ a tartomány belsejére vonatkozik, az első tag (I_X) pedig a tartomány felületére. Az (1) egyenletnek, illetve a benne szereplő mennyiségeknek szemléletes jelentést tulajdoníthatunk: az X mennyiséget egyfajta anyagnak vagy fluidumnak képzelhetjük el. Az „elképzel” ige úgy értendő, hogy fizikailag korrekt módon járunk el, ha a mennyiségről mint egy anyagfajtáról beszélünk. Ugyanazt a szókészletet használhatjuk, mint amit a köznap beszédben az anyagmérleggel kapcsolatban használunk. Ennélfogva $\frac{dX}{dt}$ a tartományban található X időbeli változását, $\sum_X$ pedig azt adja meg, hogy az X -ből időegységenként mennyi keletkezik, vagy tűnik el a tekintett térrészben, végül I_X a tartomány határán átfolyó áram erősségét jelenti. Az X értéke két ok miatt változhat: az X mennyiség keletkezik, vagy megsemmisül a tartomány belsejében, továbbá X árama átfolyhat a tartomány felületén [6]. Az (1) egyenlet tehát az X mennyiség mérlegegyenlete.

A $\sum_X$ tag néhány szubsztancia jellegű mennyiség esetén mindig zérus. Az ilyen fizikai mennyiségek értéke a tartományon belül csak akkor változhat meg, ha a tartomány határain áramok folynak át. Az ilyen mennyiségeket nevezzük megmaradó mennyiségeknek. Példaként említhetjük az elektromos töltést és az energiát. Az (1) egyenletet elektromos töltésre felírva kapjuk:

$$\frac{dQ}{dt} = I, \quad (2)$$

ahol I az elektromos áramerősség. Az energiára vonatkozó hasonló egyenlet:

$$\frac{dE}{dt} = P, \quad (3)$$

ahol P az energiaáram erőssége vagy „teljesítmény”.

Egy szubsztancia jellegű mennyiség nem feltétlenül megmaradó mennyiség. Az előbbi átfogóbb, szélesebb körű, mint a megmaradó mennyiség

fogalma. Nagyon fontos azonban rávilágítani arra, hogy egy mennyiség megmaradó, illetve nem megmaradó jellegéről beszélni csak szubsztancia jellegű mennyiségek esetén van értelme.

Egy szubsztancia jellegű mennyiség nem feltétlenül skaláris mennyiség. Az impulzus, illetve az impulzusmomentum például vektoriális szubsztancia-szerű mennyiségek. Rögzített koordináta-rendszerben egy vektoriális szubsztancia jellegű mennyiség 3 skaláris mennyiségként képzelhető el úgy, hogy az egyes vektorkomponensek mindegyikére az (1) mérlegegyenlet érvényes.

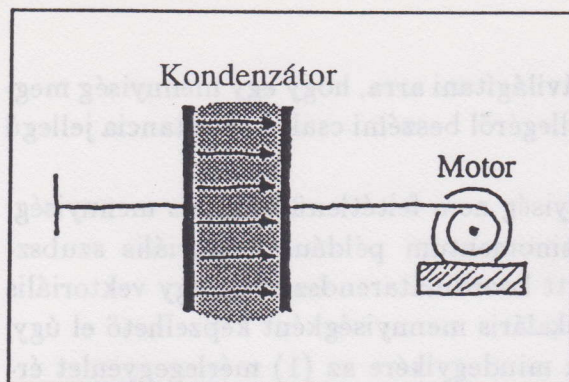
Annak a ténynek, hogy bizonyos mennyiségekről úgy beszélhetünk, mint anyagféleségekről, mint például a vízről, vagy a levegőről, a tanítás során kiemelkedő jelentősége van.

Általában, amikor egy új fizikai mennyiséget megismerünk, el kell sajátítanunk a mennyiséghez kapcsolódó nyelvi környezetet is, vagyis meghatározott igéket, jelzőket, határozószókat stb. Olyan mondatok alkotásánál, amelyekben olyan mennyiségek, mint például erő, munka, feszültség szerepelnek nem sok választási lehetőségünk van: egy testre lehet erőt „kifejteni“, az erő „hat“ a testre, a munkát „végezzük“, a feszültség „ébred“, „felépül“, „van“. Ezzel ellentétben, a szubsztancia jellegű mennyiségekkel kapcsolatban választhatjuk a köznapi nyelv anyagmérlegekkel kapcsolatos fordulatait. Mondhatjuk például hogy, „egy testnek meghatározott mennyiségű impulzusa van“, ugyanígy használhatjuk azonban a „a testben impulzus rejlik“, „a test impulzussal rendelkezik“, vagy „ennyi és ennyi impulzus van a testben“ kifejezéseket. Hasonlóan megengedett a „sok“ és a „kevés“ határozószók használata: egy rendszer energiája lehet sok vagy kevés (sok vagy kevés hőmérséklete azonban nem). Mondhatjuk továbbá, hogy egy rendszernek „nincs töltése“ vagy „nincs impulzusa“, azt kifejezendő, hogy a töltés vagy az impulzus értéke zérus. (Ezzel ellentétben nem mondhatjuk, hogy egy adott pontban nincs hőmérséklet vagy nincs potenciál.) Egy szubsztancia jellegű mennyiség áramlását a legváltozatosabb módon lehet kifejezni: az elektromos töltés A-ból B-be „áramlik“, „folylík“. Azonban azt is mondhatjuk, hogy az elektromos töltés A-ból B-be „megy“, „elhagyja“ A-t, B-be „érkezik“. Az energiával, az impulzussal vagy az entrópiával kapcsolatban használhatók a „felhalmoz“, „koncentrálni“, „szétoszt“, „elveszít“, „összegyűjt“ igék, és még sok más ige is.

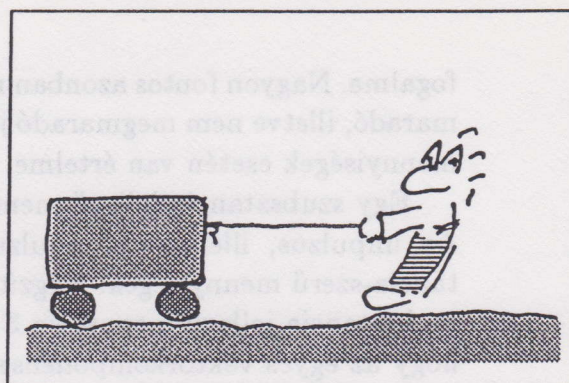
Az itt használt nyelv minden tanuló számára jól ismert, még akkor is, ha először vesz részt fizikaórán. Éppen ezért ezen mennyiségek szubsztanciális karakterének a hangsúlyozása nagy segítséget jelent a tanítás során.

A hagyományos fizikatanítás nem mindig használja ki ezeket a lehetőségeket. Csak a tömeget és az elektromos töltést vezetik be a szubsztancia jelleg hangsúlyozásával. Az energiát és az impulzust ezzel szemben más mennyiségekből származtatják, így azok szubsztancia jellegének a felismerése nehezebb.

Az energiáról alkotott szokásos elképzelésünk szerint az energia nem



1. ábra A kötélén és a jobboldali kondenzátorlemezen keresztül energia áramlik a kondenzátor terébe.



2. ábra A kötélén át impulzus áramlik a kocsiba.

szubsztancia jellegű mennyiség, amely megnyilvánul az 1. ábrán bemutatott folyamatot leíró, energiával kapcsolatos, tipikus mondatszerkesztésben: „a motor a jobboldali kondenzátorlemezen munkát végez, így a jobboldali lemez potenciális energiája a baloldali lemez terében növekszik”. Ugyanezt a tényt az energia extenzív karakterének figyelembevételével így fejezhetjük ki: „a motortól a kötélén és a jobboldali kondenzátorlemezen keresztül energia áramlik a kondenzátor terébe”.

Az impulzus szokásos, nem szubsztanciális karakterét tükrözi a hagyományos fizika tanításra jellemző mondatszerkesztés (2. ábra): „az ember a kötélén keresztül erőt fejt ki a kocsira, ennek következtében megváltozik a kocsik impulzusa. Egyidejűleg az ember az előbbi erővel azonos nagyságú, de ellentétes irányú erőt gyakorol a Földre, miáltal változik a Föld impulzusa”. Az impulzus szubsztancia-karakterét elfogadva a helyzet így is kifejezhető: „az ember a kötélén át impulzust továbbít a Földtől a kocsik felé”.

4.2 Energiaformák és energiahordozók

Az energia fogalma gyakran jelzőkkel vagy előtagokkal összekapcsolva szerepel. Beszélünk kinetikus, potenciális, elektromos, kémiai és szabadenergiáról, továbbá mag-, hő-, nyugalmi-, és sugárzási energiáról. Az energiának különböző energiaformák szerinti osztályozása azonban elvi alapok nélküli, meglehetősen különböző szempontok szerint történik. A jelzők némelyike egyszerűen csak arra a rendszerre, testre vonatkozik, amelyben az energia jelen van. A sugárzási energia például nem jelent mást, mint a szemügyre vett sugárzás teljes energiáját, éppen úgy, mint ahogy az elektromos töltés egy kiszemelt elektron töltését, a naptömeg a Nap tömegét jelenti. A legtöbb esetben azonban az energiaformák megnevezése távolabbi mutató szándékot is tükröz.

Közvetlenül az energiafogalom múlt század közepén történő bevezetése után merült fel annak igénye, hogy az energiát energiaformák szer-

int osztályozzák. Akkor következtetni lehetett egy új fizikai mennyiség létezésére, jóllehet a fizikai mennyiség általános tulajdonságai, a mennyiségre vonatkozó mérési eljárások még nem voltak ismertek. Az energia jelenléte a különböző rendszerekben, folyamatokban a legkülönbözőbb módon vált nyilvánvalóvá. Hogy a különböző esetekben ugyanarról a mennyiségről van szó, abból lehetett következtetni, hogy a folyamatok során más fizikai mennyiségek kombinációi szigorúan meghatározott arányok szerint változtak. Meghatározott, úgynevezett váltószámok voltak a mennyiségek kombinációi között, az un. ekvivalensek. Ezek közül a legismertebb volt a mechanikai hőekvivalens. Nagy tudományos teljesítmény volt annak felismerése, hogy a fizikai mennyiségek kombinációi egyetlen, energiának nevezett új fizikai mennyiségnek a megnyilvánulásai.

Az új mennyiségnek kedvező tulajdonsága volt a nagyon általános jelleg. A fizika legkülönbözőbb területein kapott szerepet, megteremtve a kapcsolatot a különböző részdiszciplínák között. Volt azonban egy apró hibája: nem mindig volt ugyanazon módon felismerhető, amint az egy „normális” fizikai mennyiségtől elvárható lett volna. Emiatt a fizikusok közül is néhányan úgy tekintették, mint egyfajta matematikai segédmennyiséget. Mindenesetre racionálisnak tűnt a különböző mennyiségek kombinációit — amelyek az energia különböző megnyilvánulásait reprezentálják — energiaformáknak nevezni. Az energia nem mindig egyféleképpen, hanem a „formák” valamelyikében manifesztálódik. Nem rendelkezik olyan tulajdonsággal, amely alapján mindig felismerhető és mennyisége minden esetben meghatározható.

Hozzávetőleg ez volt a dolgok állása századfordulóig. Később kimutatjuk, hogy a XX. század fizikájának fényében az energiaforma fogalma feleslegessé vált, amely éppen olyan felesleges, mint ahogy felesleges lenne az impulzus- és az entrópiaformák fogalma is.¹ Az energiaformák fogalma azonban máig fennmaradt, sőt a fizikatanításban az utóbbi években felértékelődött, ezért szeretnénk néhány megjegyzést fűzni az energia energiaformákra történő felosztásának fizikai alapjaihoz.

Az energia energiaformákra történő felosztásánál kétféle eljárást kell megkülönböztetni [3, 7]: az egyik eljárás szerint a tárolt energiához, vagyis a rendszerben vagy annak egy részrendszerében lévő energiához rendelünk nevet; a másik eljárás szerint energiaváltozások és energiaáramok szerint csoportosítunk. Az első módszer vezet el olyan kategóriákhoz mint a kinetikus energia, potenciális energia, belső energia, rugalmas energia stb.. A második kategorizálás szerint kapjuk az elektromos energia, kémiai energia, hő, munka stb. fogalmakat. Most csak az energiaáramok osztályozására szolgáló módszert kívánjuk diszkutálni. Abból a tapasztalatból indulunk ki,

¹ A szerző a német illetve az angol nyelvben használt terminológiát kritizálja. A magyar terminológia korrekt: a munka illetve a hő nem energiafajta vagy energiaforma, hanem *energiaközlés* lásd Fényes Imre: Termosztatika és termodinamika, Műszaki Könyvkiadó Bp. 1968. (A fordító megjegyzése)

mely szerint minden energiátanszport a következő alakú egyenlettel írható le:

$$P = yI_X \quad (4)$$

ahol P az energiaáram erőssége, I_X az X szubsztancia-jellegű mennyiség áramának erőssége, y pedig az X mennyiséghez konjugált intenzív mennyiség. A (2) egyenlet konkrét mennyiségekkel:

$$P = \vec{v}\vec{F} \quad (5)$$

$$P = TI_S \quad (6)$$

$$P = UI \quad (7)$$

$$P = \mu I_n \quad (8)$$

ahol $\vec{v}$ a sebesség, $\vec{F}$ az impulzusáram erőssége, T az abszolút hőmérséklet, I_S az entrópiaáram erőssége, U elektromos feszültség, μ a kémiai potenciál.

Az energiáról elmondható, hogy meghatározott formában transzportálódik aszerint, hogy a fenti egyenletek közül melyik írja le a transzportot. Az (5-8) egyenletekhez tartozó energiafajták rendre a munka, a hő, elektromos energia, kémiai energia.² A (4) egyenlet egyszerű, fontos, explicit formában sajnos csak ritkán megfogalmazott tényt közöl: az energia áramlásával mindig együtt jár legalább egy, másik szubsztancia jellegű mennyiség áramlása. Ez az állítás egyszerű módon megfogalmazható: „az energia sosem áramlik egymagában”.

Amennyire érthető volt a múlt század szemléletmódját tekintve, hogy az egyes kifejezéseket energiafajtáknak, energiaformáknak, a készülékeket pedig amelyek az energiát egyik formában felveszik és egy másik formában leadják energiaátalakítóknak nevezzék, annyira szerencsétlen ez a tárgyalásmód a mai szemlélet szempontjából, hiszen azt sugallja, hogy az energiafajtákkal kapcsolatban különböző fizikai mennyiségekről van szó, amelyek azzal a különleges tulajdonsággal rendelkeznek, hogy egymásba átalakulni képesek.

Mióta a speciális relativitáselméletet ismerjük tudjuk, hogy az energia önálló fizikai mennyiség, nem csupán levezetett matematikai fogalom. Ezért ma az energia formáiról beszélni ugyanolyan megalapozatlan, mint amilyen megalapozatlan lenne az elektromos töltés különböző formáinak létezéséről beszélni, aszerint, hogy a töltést elektronok, protonok vagy müonok hordozzák [8]. Az energiaforma fogalma tehát szintén a kövületek közé sorolandó. A relativitáselmélet közli velünk azt, hogy milyen általános jellemzőkkel bír az energia. A tömeg-energia ekvivalenciából ugyanis következik, hogy az energia pontosan ugyanazokkal a

² A szerző a saját maga által kritizált terminológiát használja, az elektromos energiának, illetve kémiai energiának nevezett mennyiségek elnevezése: az elektrosztatikus töltésátvitel munkája, illetve a molekulák transzportjához szükséges munka vagy energiaköltség. (a fordító megjegyzése)

tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyeket a tömeggel kapcsolatban megismertünk, nevezetesen a nehézkedéssel és a tehetetlenséggel. Az (5-8) egyenletekben szereplő, különböző kifejezésekkel jellemzett energiaszállítási módok megkülönböztetéséhez nem szükséges az energia különböző formáiról beszélni. Elegendő annak közlése, hogy az energia transzportja mellett melyik szubsztancia-jellegű mennyiség transzportja folyik. Ahelyett, hogy az energiának hő formájában történő közléséről beszélnénk, mondhatjuk egyszerűen azt, hogy olyan energiaközletről van szó amelyben az energiaáram mellett entrópiaáram is folyik.

Az (5-8) egyenletek, továbbá az energiatranszport-folyamatok leírására nagyon egyszerű képet sugallnak: a kurzus során az energiaáramot „kísérő” szubsztancia-jellegű mennyiséget nevezzük „energiahordozónak”. Szemléletesen szólva tehát az energiát az entrópia, az elektromos töltés, az impulzus, az anyagszám stb. „hordozza”. Azokban az eszközökben, amelyeket hagyományos szóhasználatnál energiaátalakítóknak nevezünk, az energia „hordozót cserél”. Az energia beáramlik a készülékbe valamilyen hordozón, ott hordozót „vált”, majd ezzel hagyja el a berendezést.

4.3 Struktúrák a fizikában

Az (5-8) egyenletek alapján felismerhető a fizika felépítésében meglévő szisztematika. Az yI_X tagok mindegyike hozzárendelhető a klasszikus fizika egy-egy területéhez, mivel az egyes tagokban csak a megfelelő területre jellemző mennyiségek fordulnak elő. Ez a hozzárendelés látható az 1. táblázatban.

1. táblázat Fizikai mennyiségek hozzárendelése a fizika részterületeihez és a kémiához.

	extenzív mennyiség	áramerősség	intenzív mennyiség
mechanika	impulzus $\vec{p}$	erő F	sebesség $\vec{v}$
elektromosság	elektromos töltés Q	elektromos áramerősség I	elektromos potenciál φ
termodinamika	entrópia S	entrópiaáram I_S	hőmérséklet T
kémia	anyagszám n	anyagáram I_n	kémiai potenciál μ

A táblázatban bemutatott kapcsolatrendszer az alapja a fizika részterületei között fennálló analógiának, amely sokkal mélyebb annál, mint amilyennek első pillantásra tűnik. Az analógia alapján lehetséges a fizikai mennyiségek, relációk, folyamatok, jelenségek, eszközök egymásra történő leképezése. A leképezés, amely matematikailag utal a fizika részterületeinek strukturális hasonlóságára, lehetővé teszi, hogy a fizika különböző területein egységes szemléletmódot alkalmazzunk. Ezt a lehetőséget a kurzus során teljes mértékben kiaknázzuk, a kurzus kompaktsága nagymértékben az analógia kihasználásának tulajdonítható.

Amint már láttuk, az 1. táblázatban felsorolt részterületek mindegyikén két, szubsztancia-szerű mennyiségnek van kulcsszerepe: az egyik az energia,

a másik az adott területre jellemző, a második oszlopban megadott mennyiség. A két szubsztancia-szerű mennyiség a mechanikában az energia és az impulzus, az elektromosságtanban az energia és az elektromos töltés. Ugyanezen párok a termodinamikában az energia és az entrópia, a kémiában pedig az energia és az anyagmennyiség. A területek bármelyikének jellemzése problematikus lenne, ha csak egyetlen szubsztancia jellegű mennyiséget használnánk, bár ennek belátása meglehetősen hosszú ideig tartott. Descartes és Leibniz követőinek vitája az „igazi erőmértékről” mai nyelven szólva arról folyt, hogy a mechanikában az impulzus, vagy a kinetikus energia az „igazi,” a használandó mennyiség. Nyilvánvalóan csak az egyik kizárólagos használatára gondoltak a vitázók. A termodinamikában bár mindkét szubsztancia jellegű mennyiség, jelesül az energia és az entrópia is már több mint 100 éve ismert, a tárgy oktatásában sokan még ma is azon fáradoznak, hogy a termodinamika lehetőség szerint nagyobbik részét az entrópia fogalom nélkül tárgyalják. A tradicionális, iskolai hőtan elriasztó felépítését ennek a körülménynek köszönheti. Az 1. táblázat szerint látható, hogy a hőtan entrópia nélküli tárgyalása olyan, mintha az elektrodinamikát elektromos töltés és elektromos áram nélkül, a mechanikát pedig az impulzus és az erő fogalma nélkül tárgyalnánk [9].

Eddigi megfontolásaink azt mutatják, hogy az energiafogalom a fizikában átfogó jellegű, egyformán fontos a mechanikában, a hőtanban és az elektromosságtanban. Az energia mellett van azonban egy másik mennyiség, amelynek az energiához hasonlóan interdiszciplináris szerepe van: ez a shannoni értelemben vett információ, az adatmennyiség, amelynek mértékegysége a bit.

Hasonlóan az energiatranszport „energiahordozók” szerinti osztályozásához, az adatok transzportja a megfelelő „adathordozók” szerint csoportosítható. Ahogy az energiahordozók mindegyike a fizika egy-egy részterületére volt jellemző, ugyanúgy minden „adathordozóhoz” tartozik egy-egy területe a fizikának. A fényvel mint adathordozóval történő adattranszporthoz, adatátvitelhez rendelhető terület az optika. A hanghoz mint adathordozóhoz tartozik az akusztika, míg az elektronika az a terület amelynek az adathordozója az elektromosság. Fizikailag jól megalapozható továbbá az energia és az információ között fennálló analógia [10,11].

4.4 Áram, hajtóerő, ellenállás

Az intenzív mennyiségekről kialakított szemléletes kép jól ismert, elterjedt, használata azonban főleg csak az elektromosságtanra korlátozódik. A szemléletmód ereje abban rejlik, hogy hasonló hatékonysággal alkalmazható a mechanikában, a termodinamikában és a kémiában is. A következőkben egy jól ismert elektromosságtani példával élünk. Egy ellenálláson keresztül, amely nem feltétlenül ohmos ellenállás, elektromos áram folyik. Már a szavak is amelyeket a helyzet leírására használunk, a szóban forgó

szemléleten alapulnak: „áramról” beszélünk amennyiben az I mennyiség értéke nem zérus, azt a tárgyat, eszközt pedig amelyben entrópia keletkezik „ellenállásnak” nevezzük. Azt a tényt, amely szerint az ellenálláson átfolyó áram annál nagyobb, minnél nagyobb a $\Delta\varphi$ potenciálkülönbség, úgy interpretáljuk, hogy a potenciálkülönbség az áram hajtóereje. E szemléletmód szerint az áram nem „magától” folyik, mivel a testnek az ellenállása amelyen keresztül folyik, az áramot akadályozza. A szemlélet önkényes voltát az ohmos ellenállás példáján világítjuk meg. Erre az esetre érvényes a

$$U = RI$$

egyenlet, amely szerint U és I arányosak egymással, vagyis minnél nagyobb U , annál nagyobb I és fordítva. Az egyenlet azonban nem mond semmit a mennyiségek oksági viszonyairól, vagyis arról, hogy a feszültség hozza-e létre az áramot, vagy fordítva. Tehát a feszültséget megjelölni az áram okaként meglehetősen önkényes dolog. A feszültség okként való megjelölését általában természetesebbnek találjuk, ennek az az oka, hogy a feszültséget könnyebben lehet „szolgáltatni”. Abban az esetben, ha az áramot szolgáltatjuk, például áramstabilizátor segítségével, hajlamosabbak vagyunk az áram által okozott feszültségesésről beszélni.

A fenti önkényesség, bizonytalanság ellenére a hajtóerőről, áramról, ellenállásról kialakított kép nagyon hasznos a tanulóknak, mivel az elektromosságtan jelenségeinek megértésénél vagy elektrotechnikai problémák megoldásánál is ráismerhetnek a folyadékok és gázok, konkrétan víz és levegő áramlásával kapcsolatos jelenségekre, vagyis arra a területre, ahonnan a kérdéses szemléletmód ered. A szemléletmódot mindenekelőtt azért használjuk, mert nemcsak az elektrodinamikában, hanem a mechanikában, a hőtanban és a kémiában is alkalmazható.

A szemléletes kép kialakítása, gyakoroltatása érdekében a kurzus legelején tárgyaljuk a gázok és folyadékok áramlását. A kurzus során előkerülő legfontosabb fogalmak többsége már ebben a szakaszban feldolgozásra kerül. Látható, hogy a hajtóerővel és az ellenállással kapcsolatos kép illeszkedik a fizika egységes fogalmi struktúrájához, amelyet az előző szakaszban említettünk, és hozzájárul a fizikatanítás egyszerűsítéséhez.

5 A program néhány jellegzetessége

Miután az előző fejezetekben leírtuk és indokoltuk a kurzus általános felépítését, a következőkben ismertetjük ennek a fizika egyes területeire vonatkozó következményeit, természetesen csak néhány kiválasztott területre szorítkozva.

5.1 Az erő mint az impulzusáram erőssége.

A mechanikában az impulzus az első órán bevezetésre kerül. Magától értetődő mivel a mechanika struktúránk szerint a fizikának az az ága amelynek tárgya az impulzus és annak áramlása [12,13]. Az impulzust mint a mozgás mennyiségét descartesi értelemben vezetjük be, az erő pedig nem más mint az impulzusáram erőssége. Ez a tárgyalásmód a következő előnyökkel jár:

- az 1. táblázatnak megfelelően a mechanika fogalmi struktúrája az elektromosságtan és a hőtan fogalmi struktúrájának felel meg.
- a mechanika hagyományos, newtoni bevezetése szerint távolható mechanika, olyan elképzeléseken alapul, amely a fizikában Faraday és Maxwell óta meghaladtak, tehát kövületnek tekinthetők.
- azok a nehézségek, amelyekkel a tanulóknak meg kell küzdeniük a hagyományos tárgyalásmód esetén, egyszerűen eltűnnek. A Newton-féle alaptörvények triviálissá válnak, alaptétel formájában történő megfogalmazásuk szinte felesleges;
 1. Egy test impulzusa nem változik, amennyiben a testbe nem áramlik be, illetve nem áramlik ki belőle impulzus.
 2. Egy test impulzusának a változási gyorsasága egyenlő az impulzusáram erősségével, $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$.
 3. Amikor egy A testből egy B testbe impulzus áramlik, az A testből kifolyó áram erőssége megegyezik a B testbe befolyó áram erősségével.

A fenti állítások tartalma triviális, mihelyt megértjük, hogy impulzus nem teremthető és nem semmisíthető meg. Az állítások formába öntése éppoly felesleges, mint ahogy szükségtelen az elektromos töltéssel kapcsolatos analóg állítás kimondása, (vagyis, amikor egy A testből kiáramló töltések B testbe folynak, az A-t elhagyó áram erőssége megegyezik a B testbe befolyó áram erősségével).

5.2 Entrópia kezdettől fogva

Amint a mechanikában az impulzus, úgy a termodinamikában az entrópia a főszereplő, így az entrópiafogalom bevezetése a hőmérséklettel együtt a hőtan oktatásának első óráján megtörténik. Az entrópia annak a mértékeként kerül bevezetésre amit a köznapi nyelv „hőnek” nevez [14]. A valóságban a köznapi nyelv hőfogalma sokkal jobban egyezik az entrópiának mint állapotfüggvénynek a fogalmával, mint a hagyományos fizika „hő” fogalmával. A hőmérsékletkülönbség mint az entrópiaáram hajtóereje kerül

bevezetésre. Így nagyon gyorsan eljutunk a hőtan olyan fontos témáinak tárgyalásához, mint amilyenek hőszivattyúk vagy a hőerőgépek.

Az entrópiának a használata nagyon nagy előnyökkel jár a gázok termodinamikájának és a fázisátalakulások tárgyalásánál is. Amikor például vizet párologtatunk el, entrópiát kell közölnünk, a vízgőz tehát annnyival több entrópiával rendelkezik, amennyit az elpárologtatáskor hozzávezettünk. Ugyanez nem mondható el a hagyományos párolgáshőről, vagyis nem igaz, hogy az elpárologtatáskor közölt hőt a gőz tartalmazza. Ez egyébként nemcsak a tanulók, hanem még a fizikushallgatók számára is nehezen érthető.

5.3 A mezők mint fizikai rendszerek

A mezőket éppen olyan reálisan létező fizikai rendszerként vezetjük be, mint például a merev testeket, vagy a gázokat. Szokásos módon a mezőt úgy vezetik be, mint a „tér azon tartományát, ahol erők hatnak“, ez azonban könnyen megértési nehézségekhez vezethet. A tanuló az ilyen tértartományt „üresnek“ képzei el, ha pedig üres, hogyan rendelkezhet bizonyos tulajdonságokkal? Ilyen módon természetesen nehezen elfogadható az a gondolat, miszerint egy mező ugyanazokkal a fizikai mennyiségekkel írható le, mint egy test, tehát az energia, impulzus, entrópia, nyomás, hőmérséklet stb. segítségével, továbbá, hogy egy mező semmivel sem titokzatosabb valami, mint például a levegő.

5.4 Fizikai kémia

A kurzusnak részét képezi a fizikai kémia című fejezet. Ennek felépítése hasonló az elektromosságtan és a hőtan című egységekhez. Ahogy az elektromos potenciálkülönbség az elektromos áram, vagy a hőmérsékletkülönbség az entrópiaáram hajtóerejeként, úgy a kémiai potenciálkülönbség a kémiai reakció hajtóerejeként jelenik meg. Az elektromos ellenállás analogonjaként bevezetjük a „reakcióellenállást“. A katalizátor egyfajta kapcsolóként jelenik meg, amellyel egy reakciót lehet „bekapcsolni“. A fűtőanyag- és elektrolízis-cellákat olyan készülékeként mutatjuk be, amelyekben az energia anyagmennyiség-hordozóról töltés-hordozóra kerül, vagy éppen megfordítva.

5.5 Adatok és adathordozók

Az adatok és adathordozók című fejezet célja az, hogy az optika, akusztika, informatika, elektronika hasonlóságait világossá tegyünk. Olyan eszközöket, jelenségeket, amelyeknek látszólag semmi közük egymáshoz, azonos nézőpontból tárgyalunk. Így sajátítják el a tanulók, hogy a

hangszóró, a videokamera, az antenna, olyan eszközök, amelyekben az adatok egyik hordozóról a másikra történő „átrakása”, „áttöltése” zajlik. A hanglez, a könyv, a fénykép, a kulcs, a DNS, az agy stb. funkciója közös, mindegyik adattárolásra szolgál. Fontos segédeszköz az adatátvitellel, adattárolással. adatfeldolgozással kapcsolatos jelenségek átfogó leírásánál a shannoni információ.

6 Befejező megjegyzések

Az előző évben előfordult, hogy a az egyik felsőtagozatos³ osztályban a mechanika és a hőtan tanítására összesen 20 óra állt rendelkezésünkre. Ez alkalommal különösen pregnáns módon mutatkoztak meg a kurzusunk előnyei. Megállapíthattuk, hogy még ilyen extrém rövid tanítási óraszámok mellett is nagyon fontos tanítási célok érhetők el. Azáltal, hogy a mechanika az impulzussal indul, a dinamika lényeges elvei kidolgozhatók, alkalmazhatók, a termodinamikában pedig az entrópia korai bevezetése révén eljutunk a hőerőgépekkel kapcsolatos fontosabb tételekig.

Az az óraszám, amelyet a tömörséggel nyerünk jól jön a megkerülhetetlen modern fizika tanításához. A helyzet az, hogy a 20. századi fizika oktatására a tanterv által előírányzott óraszám rendkívül kevés, ha figyelembe vesszük, hogy mekkora részét képezi a modern fizika mai teljes fizikai tudásunknak és mekkora a modern fizika jelentősége társadalmunkban.

A Karlsruhei Fizikakurzus modern fizika része a felsőtagozat részére még nem befejezett. Már elkészült a hullámokkal, ezen témakörön belül is főleg az elektromágneses hullámokkal foglalkozó fejezet. Az atomfizikával, kvantumfizikával, szilárdtestfizikával foglalkozó részek a kipróbálás fázisában, a magfizika, részecskefizika, asztrofizika pedig még a tervezés fázisában vannak.

Mégegyszer utalunk a kezdetben elmondottakra: a fizikatanítás megújítása sürgető szükségszerűség, hogy a szüntelenül jelentkező új témák kezelése lehetséges legyen. A Karlsruhei Fizikakurzus egy javaslat, próbálkozás a tantárgyi programok egyszerűsítésére. Természetesen ez nem az egyetlen megoldása a problémának, elképzelhető a fizika tömörítésének teljesen más rendezőelveken alapuló megoldása is.

³ Az eredeti szövegben szereplő Sekundärstufe I az 5-10. iskolaévet jelöli. (a fordító megjegyzése.)

Irodalom

- [1] Herrmann, F.: Der Karlsruher Physikkurs. Ein Lehrbuch für den Unterricht der Sekundarstufe I, Teile 1 und Unterrichtshilfen.
- [2] Herrmann, F., Job, G.: Altlasten der Physik. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, MNU 46/6, 366-368 (1993).
- [3] Falk, G.: Theoretische Physik, Band II, S.48. Springer Verlag, Berlin (1968).
- [4] Falk, G.: Was an der Physik geht jeden an? Phys. Blätter 33, 616-626 (1977).
- [5] Falk, G.: Die Begriffliche Struktur der Physik. Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 3, S.7-23. Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover (1979).
- [6] Herrmann, F.: Is an energy current energy in motion? Eur. J. Phys., 7, 198-204, (1986)
- [7] Falk, G., Ruppel, W.: Energie und Entropie, Springer Verlag, Berlin (1976)
- [8] Falk, G., Herrmann, F., Schmid, G.B.: Energy forms or energy carriers? Am. J. Phys., 51, 1074-1077 (1984)
- [9] Fuchs, H.: A surrealistic tale of electricity, Am. J. Phys., 54, 907-909 (1986)
- [10] Herrmann, F., Schmälzle, P.: Daten und Energie, J. B. Metzler und B.G. Teubner, Stuttgart, (1987)
- [11] Herrmann, F., Schmid, G.B.: An analogy between information and energy. Eur.J. Phys., 7, 174-176 (1986)
- [12] Herrmann, F., Schmid, G.B., Analogy between mechanics and electricity, Eur.J. Phys., 6, 16-21 (1985)
- [13] Herrmann, F., Schmid, G.B.: Statics in the momentum current picture, Am.J.Phys., 52, 146-152 (1984)
- [14] Job, G.: Neudarstellung der Wärmelehre Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main, (1972)
- [15] Herrmann, F.: Energy density and stress: A new approach to teaching electromagnetism, Am.J.Phys., 57, 707-714 (1989)

- [16] Job. G.: Das chemische Potential im Physik- und Chemie-Elementarunterricht. Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 2, S.67-78, Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover (1978)
- [17] Job, G.: Chemische Reaktionen physikalisch beschreiben. S.14-31, Reaktionen in der Biologie. S.84-94 Die Werte des chemischen Potentials. S.95-100, Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 4, Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover (1978)
- [18] Herrmann, F.: Die Begriffe der Physik. Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 3, S.7-33 Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover (1979)
- [19] Herrmann, F.: Is an energy current energy in motion? Eur. J. Phys. 7, 198-201 (1986)
- [20] Falk, G., Ruppel, W.: Energie und Entropie, Springer Verlag, Berlin (1970)
- [21] Falk, G., Herrmann, F., Schmid, G.B.: Energy forms or energy carriers? Am. J. Phys. 51, 1074-1077 (1984)
- [22] Buche, H.: A statistical tale of electricity, Am. J. Phys. 54, 907-909 (1986)
- [23] Herrmann, F., Schmälzle, P.: Daten und Energie, J. B. Metzler und B.G. Teubner, Stuttgart, (1987)
- [24] Herrmann, F., Schmid, G.B.: An analogy between information and energy, Eur. J. Phys. 7, 174-176 (1986)
- [25] Herrmann, F., Schmid, G.B.: Analogy between mechanics and electricity, Eur. J. Phys. 6, 16-21 (1985)
- [26] Herrmann, F., Schmid, G.B.: Statics in the momentum current picture, Am. J. Phys. 52, 146-152 (1984)
- [27] Job, G.: Neodarstellung der Wärmelehre Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main, (1973)
- [28] Herrmann, F.: Energy density and stress: A new approach to teaching electromagnetism, Am. J. Phys. 55, 707-714 (1987)