

A svéd kutatási struktúra különbözik sok más országtól. Nálunk a kormány anyagi támogatását elősorban az egyetemek kapják, és nem az intézetek, ami lehetővé teszi, hogy sok területen elérjük a kutatószemélyzet „kritikus tömegét”.

Az érem másik oldala azonban, hogy az egyetemorientált szervezet miatt különleges gondok adódnak akkor, amikor az ismereteket át akarják adni az iparnak, illetve az üzleti szektornak. Készítettünk ezért egy programot, melynek célja az egyetemek és az ipar kapcsolatának kiszélesítése és elmélyítése, azonban nem változtattuk meg az egyetemek állami támogatásának alapvetését, és nem fenyegetjük a tudományos intézmények autonómiáját.

A programpontok a következők:

– A svéd iparban növelni kell a doktori diplomával rendelkezők számát azért, hogy magának az iparnak legyen lehetősége igényelni a tudományos eredményeket és módszereket. Az egy év alatt letett doktori vizsgák számát 2000-re meg kell kétszerezni – és itt a műszaki tudományoknak kell elsőbbséget biztosítani. Megnöveljük az ismeretközlés lehetőségét azáltal, hogy az ipart képessé tesszük annak befogadására.

– Az egyetemekhez kapcsolódó speciális kutatócsoportokat fogunk alapítani. A feladat olyan témák kutatása kiváló egyetemi intézetek közreműködésével, amelyeket az ipar közvetlenül tud hasznosítani. Ezek az iparral nagyon szoros kapcsolatban lesznek anélkül, hogy az egyetemeket gátolnák alapvető feladataik végrehajtásában.

– Fejlesztetni kell azokat a közvetítő szervezeteket, amelyek a kutatási eredmények kereskedelmi értékesítését végzik. Egy milliárd svéd koronát szándékozunk befektetni ezekbe a szervezetekbe. A közvetítő szervezetek résztulajdonosi jogokat is szerezhetnek az említett kutató társaságokban.

– A már fennálló svédországi kutatóintézetek szervezetét az egyetemi és ipari kutatások összekapcsolása céljából úgy kell tökéletesíteni, hogy az említett intézetek és az egyetemek között szorosabb együttműködés alakulhasson ki. A kutatási rendszer egyes részei kapcsolatuk szorosabbá tételének másik rugalmas módszere, hogy az intézetekben kötelezővé tesszük diplomatémák kítűzését.

– Ki kell tűzni ipari jellegű diplomatémákat azért, hogy már korán szoros kapcsolat alakuljon ki a hallgatóság és az ipar között.

Több kutató alkalmazása rendkívül fontos feltétele annak, hogy a kormány kutatási programja sikeres legyen. Az évszázad végére meg kell kétszerezni az egy év alatt letett doktori vizsgák számát, ami fontos egyrészt a svéd ipar fejlődése szempontjából, másrészt pedig azért, hogy ezzel is emeljük az oktatás és kutatás színvonalát.

Svédországban folyamatban van a felsőoktatási rendszer kapacitásának bővítése. Az egyetemi oktatásban résztvevő hallgatók száma az 1991-es 130000-ről 1995-ben 180000-re nő. Célul tűzte ki a kormány azt is, hogy minden oktatónak doktori fokozata és pedagógiai alapképesítése legyen. A programok már beindultak annak érdekében, hogy a célkitűzéseket teljesítsük.

Svédországban válaszúthoz érkezett az oktatási és kutatási politika. Stratégiánkkal elérjük, hogy szoros összefüggés lesz az iskolák, az egyetemi képzés, illetve a kutatás politikája között. Alapkonceptciónk, hogy a kormány ne avatkozzék be az oktatási és kutatási rendszerbe olyan módon, hogy kis részletkérdéseket szabályoz, illetve ilyen kérdésekben maga dönt. Arra fog törekedni, hogy bátorítsa az egyén minőségi munka végzésére irányuló tevékenységét – a kormány feladata az, hogy a hallgatók és kutatók ambícióit serkentse.

Csak a pluralizmus és az egyéni szabadság hozza meg azt a minőségi fejlődést, amelyet országunk igényel élet színvonalának emelése érdekében.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

Rovatvezető: Gecső Ervin  
Országos Közoktatási Intézet

## A KARLSRUHEI KONCEPCIÓRÓL

Légrádi Imre  
Széchenyi Gimnázium, Sopron

1987 májusának végén részt vettem a krakkói és a karlsruhei egyetem közös rendezésében Zakopanében megtartott, „Új elgondolások a fizikaoktatásban” című, egyhetes konferencián, ahol mindkét egyetem előadói ismertették elgondolásaikat.

Erről a fizikaoktatási koncepcióról a Fizikai Szemle 1994/7. számában *Friedrich Herrmann*, a karlsruhei egyetem tanárának összefoglaló ismertetése jelent meg. Ez utóbbi ismertető teljes áttekintését nyújtja a szóban forgó német egyetem újszerűen alapozó fizikaoktatási kísérletének. Nincs is mit hozzátenni. Legfeljebb tömörségét volna érdemes oldani valamennyire.

Mivel 1987-ben én magam is jelen voltam a zakopanei konferencián, ahol mindezek előfutárai elhangzottak, talán nem haszontalan, ha – jórészt ottani jegyzeteimre hagyatkozva – megkísérellem az említett tömörség valamelyes oldását. Mondanivalóm ettől persze elbeszélészerű lesz, amiért elnézést kérek.

A konferencián a vendéglátó Jagelló Egyetem részéről tizennégy résztvevő, Lengyelország egyéb intézeteiből tizenhat résztvevő, míg egyéb külföldről, úgymint Szlovéniából, Csehszlovákiából, Magyarországról, Ausztriából, Belgiumból összesen tizenöt résztvevő volt jelen. Az alábbi beszámoló szempontjából főszerepet vivő karlsru-



hei egyetemről pedig a következők voltak ott: *Georg Falk, Friedrich Herrmann, Georg Job, Petra Moravietz, Inge Falk, Günter Heiduck.*

A résztvevők közé kell sorolnom azt a mintegy tíz-tizenkét lengyel diákot, akik angol nyelvismeretük alapján különböző iskolákból kiválogatva kerültek oda. Ők voltak a „kísérleti nyulak” a karlsruhei csoport tanítási óráin.

Az alább elmesélendők jobb megértéséhez feltétlenül hozzájárul, ha az érdeklődő előbb elolvassa a Fizikai Szemle hivatkozott Herrmann-cikkét. Természetesen az 1987-es konferencián az események nem a mostani cikk sorrendjében történtek. Számunkra, tanárok számára (s itt most azt kell érteni, hogy inkább egyetemi szakmódszertani tanszéki oktatók számára, mivel azt hiszem, csak magam voltam ott igazán középiskolai tanár) bevezetőként Falk professzor tartott két délelőtnyi előadást, amelyben körülbelül azt a koncepciót ismertette, amelyet például *Fényes Imre* „Termosztatika és termodinamika” című könyvéből lehet megismerni. Ezek után F. Herrmann a gyerekekkel foglalkozott, bemutatva, hogy már korán be lehet vezetni az entrópia fogalmát, minden különösebb mennyiségi leírás nélkül is.

Ez történt az „órán”:

Bevezető szavaiban elmondta a gyerekeknek, hogy most nemcsak fizikát, de néhány új szót is meg kell tanulniok. Ezután főzőpohárban meleg vizet mutatott fel.

Tanár: *Itt van ez a pohár víz. Meleg. Mi az, hogy meleg? Le akarjuk írni ezt az ismeretünket. Hogyan tesszük ezt?...?...*

Gyerekek: *Nagyobb a hőmérséklete, mint a környezeté...*

Tanár: *Helyes. Mennyi lehet ezé? – Megméri hőmérővel, 80 °C-t mér.*

– *Ismeritek azt a szót, hogy hő. Mondjátok meg, mi az. Csak egyszerű, hétköznapi szavakkal!*

Gyerekek: *...?...*

Tanár: *No jó. Egyelőre nem mondtunk semmit sem.*

– *Most átöntöm ebbe az üres pohárba a felét ennek a meleg víznek. – Hány fokos most ez a két pohárban lévő víz?*

Gyerekek: *Mindegyik ugyanannyi, 80 °C-os... (Persze, az egyik gyerek túl okos akar lenni: A második picit melegebb – mondja –, mert az öntéskor meg energiátöbblete lett. Ezt viccnek tekintik...)*

Tanár: *Úgy van, mindegyik 80 °C-os. De mégis megleződött valami.*

Gyerekek: *A tömege.*

Tanár: *Igen, a tömege megleződött. De ezen kívül még más dolog is megleződött.*

Gyerekek: *...?... A melegen energiája... a hőenergiája...*

Tanár: *Igen, igen, ti most ezt mondjátok, de csak azért mondjátok, mert ti már nagyok vagytok, és már tanultatok fizikát, régen ismeritek ezeket a dolgokat, a hőenergia kifejezést is régen ismeritek. De ha kicsinyek volnátok, és most először láttatok volna ilyet, akkor nem tudtatok volna többet mondani... Nos, vegyük úgy, mintha most ballanátok ezekről először. Akkor én azt mondanám, hogy az átöntéskor a tömegen kívül egy másik dolog is megleződött. Ez a dolog olyan, amit nem lehet látni, de van. Nevezzük el entrópiá-nak. Jelöljük S-sel!*

Átöntéskor tehát a vízben lévő entrópia is megleződött.

– *Hallottatok már ilyen mennyiségekről, mint az előbb említett tömeg, meg a most kitalált entrópia. Ezeket lehet felezni, meg összeadni; általában úgy beszélünk róluk, mintha benne volnának valamiben, vagy rajta lennének valamin.*

– *Mondjátok még ilyeneket.*

Gyerekek: *...?... Nyomás... energia...*

Tanár: (Fejéhez kap...) *A nyomás! Nos mit gondoltok, ha a termet elfelezem, akkor itt a levegő nyomása megleződik? Ugye nem. A nyomás tehát nem ilyen mennyiség.*

– *Az energia... Igen, ez valóban elfelezhető. Azt lehet mondani, hogy hasonló a tömeghez, meg az entrópiához, de hozzáteszem, hogy ez kicsit nehezebb dolog...*

– *Nézzük, mi van a hőmérséklettel. Mibez hasonlít az, hiszen azt sem tudtuk elfelezni az átöntéskor?*

Gyerekek: *A nyomáshoz hasonlít.*

Tanár: *Így van. Tehát két csoportot fedeztünk fel a dolgok között.*

– *Folytassuk a kísérleti vizsgálatot!*

*Most a kis pohárban meleg víz van, a másik, nagyobb pohárban pedig ugyanannyi hideg víz van. Ki mondja meg, mennyi entrópiája van egyiknek és másiknak?*

Gyerekek: *Biztosan a melegebbnek van több...*

Tanár: *Helyes. Állapodjunk meg abban, hogy minél melegebb egy test, annál több entrópiát tartalmaz. Az entrópia az, amit a köznyelvben hő-nek mondanak. [Itt F. M. eltér fizikatanításunk „hivatalos” hőértelmezésétől.]*

– *Most a kis poharat beleállítom a hidegvízbe. Mi történik?*

Gyerekek: *Átmegy a belsőből a külsőbe... a melegebből a hidegebbre...*

Tanár: *Mondjátok ezt pontosabban!*

Gyerekek: *Az entrópia a nagyobb hőmérsékletű helyről a hidegebb helyre megy.*

Tanár: *Igen. De még nem elég szép. Mit jelent, hogy megy? Gondoljátok a vízre. Az sem megy, hanem...?*

Gyerekek: *... folyik... áramlik...*

Tanár: *Helyes. Úgy fejezzük ki, hogy entrópiaáram jön létre, ha hőmérsékletkülönbség van két hely között. Az entrópia magától átfolyik a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű helyre. Ha a hőmérsékletkülönbség nulla lesz, megáll az entrópia áramlása. Termikus egyensúly jön létre. Tehát láttuk, hogy a hőmérséklet kiegyenlítődik, s közben az entrópia spontán átmegy egyik testről a másikra. Ezzel kapcsolatban felvetődik valami: Mondhatjuk, hogy bamarosan minden hőmérséklet kiegyenlítődik a világban?*

Gyerekek: *...?...*

Tanár: *Ez bizony nehéz kérdés. Egyelőre ne foglalkozzunk vele... Inkább mondok mást: A vízesésben a víz minden gépi segítség nélkül is lezuhog, sőt ezt még hasznosítani is szoktuk. – Ha viszont vissza akarjuk vinni a vizet, akkor „pumpa” kell hozzá.*

*Ugyanígy van az entrópiával is. Ennek az „emeléséhez” is pompa kell – hőpumpa. Ilyen működik például a hűtőszekrényben. Hogy tehát entrópiát alacsony hőmérsékletű helyről magasabb hőmérsékletű helyre vigyünk, ahhoz hőpumpa, entrópiapumpa kell.*



Körülbelül ezek hangzottak el az első diákfoglalkozáson.

Ezek után F. Herrmann a könyvükről beszélt nekünk tanároknak, arról a könyvről, amelyben az *energiát* tárgyalják kisebb gyerekek számára. A címe: „Energia-könyv”. E könyv lényegében azt hivatott bemutatni sok-sok gyakorlati és természetből vett példán, amit számunkra, tanárok számára a Fizikai Szemle cikkében is összefoglalt, vagyis:

Vannak *szubsztanciális jellegű mennyiségek*, amelyeket a fizika területein előszeretettel használunk, úgymint: tömeg, elektromos töltés, lendület, entrópia, részecskeszám. Ezeket könnyű használni, mert szótárszerűen megfeleltethetők közönséges szubsztanciálisoknak, mint a víz, amely áramlik, lehet több, lehet kevesebb...

Van továbbá az energia. Ez azonban nehezebb dolog...

A fentebb említett szubsztanciális jellegű mennyiségek mindegyikéhez található egy-egy intenzív jellemző, amint azt a Szemlebeli cikk (5) – (8) kifejezései, illetve táblázata is mutatja, és megállapíthatjuk, hogy az *energia sohasem megy egyedül, hanem mindig valamelyik szubsztanciális jellegű mennyiséggel együtt áramlik egyik helyről a másikra*. Ennek leírására tehát egységes egyenletet írhatunk fel:

$$P = \xi \cdot I_X,$$

ahol (amint az a mostani cikkben is szó szerint olvasható),  $P$  az energiaáram erőssége,  $I_X$  az  $X$  szubsztancia-jellegű mennyiség áramának erőssége, továbbá  $\xi$  az  $X$  mennyiséghez tartozó intenzív mennyiség.

Egyszerű szavakkal tehát: Látjuk, hogy itt *folyik valami* ( $X$ ), és *szállítja* az energiát ( $P$ ).

Például központi fűtésnél az energia az entrópiával áramlik együtt, és a hőmérséklet az intenzív mennyiség.

Az iskolában tudatosítani kell (és erről szól az Energia-könyvünk):

1. Az energia és az energiahordozó létét, vagyis hogy energia nem létezik hordozó nélkül.

2. Energiaforrások és nyelők szerepét. Bemutatáskor a forrást jó hosszú vezetékkel célszerű összekötni a nyelővel, hogy jól elkülönüljenek.

3. Konkrét energiahordozókat mutassunk, a maguk technikai valóságában.

4. Nem visszatérő és visszatérő energiahordozókat egyaránt mutassunk be. Mutassuk be, hogy a nyelőben az energia kiürül a hordozóból.

5. Külön mutassuk be az energiahordozó elektromosságot.

6. Elemezzük az energiahordozók áramait. (Víz a Rajnában, autók száma az utcán.)

7. A hordozó feltöltése energiával visszatérő és nem visszatérő hordozók esetén.

8. A fény mint energiahordozó.

9. A láthatatlan energiahordozók kérdése. Első kérdés, hogy visszatérők-e.

Ezekkel kapcsolatban az előadó *kísérleti eszköze* egy kis tekerős zenegép (miniverkli) és egy elemes kis villanymotor volt. Mindegyik egy kis alaplapra volt erősítve.

A zenegép forgatótengelyét és a motor tengelyét vékony, hosszú (körülbelül 30 cm) csővel összekapcsolta.

Az volt a kérdés, hogy a motor áramát bekapcsolva, vagyis rotort forgásba hozva, mely esetben hallunk zenét.

a) A motort alaplapostul egyik kezébe fogta, és a zenegépet nem fogta meg. – Zene nem volt, mert az egész zenegép forgott.

b) A zenegépet fogta meg és a motort nem. – Zene ismét nem volt, mert most meg a motor sztátora forgott az álló rotor körül.

c) Megállapítottuk, hogy *egyszerre* mindkettőt kell fogni, hogy zene legyen. Vagy pedig *két* összekötő rúd kell, s az egyiknek a két gépecske alaplapját kell összekötnie, a másiknak pedig a forgó tengelyeket. Így már akkor is volt zene, ha az egész együttes készüléket a zenegép kurblijánál fogva lóbálta...

E kísérlet arra szolgált, hogy megmutassa, miszerint a láthatatlan hordozó itt a perdület, amely a tengelyeket összekötő rúd mentén szállítja az energiát, majd a másik rúdon tér vissza.

E kísérlettel a perdületet mint áramlásra képes dolgot egyszerűen vezettük be, hasonlóan az elektromos töltéshez. (A túl absztrakt  $L = r \times p$  definíció alapján igen nehéz volna tudomásul venni, hogy képes áramlani is – mondta Herrmann prof.)

10. Az energiaátvivő berendezések gyakran úgynevezett energiaátalakítók egymásutánjából tevődnek össze.

Itt arra kell felhívni a figyelmet, hogy az energiaátalakító kifejezés nem helyes, mert bennük nem az energia lesz más, hanem csak a szállítói változnak meg.

A mechanikával kapcsolatban alapvető megállapítás a karlsruhei iskola szerint az, hogy a mechanika szerkezete hasonló az elektromos áramtanéhoz.

Érvényesülnie kell benne a helyi okokkal való leírásnak.

A lendületet és az energiát kell alapmennyiségnek tekinteni. Ennek megfelelően az erő = lendületáram. (Ezt már *Planck* felvetette, de *Landau* és *Lifsic* is.)

A lendület önmagában való dolog, szubsztanciaszerű. Lehet róla beszélni, mint folyadékról.

Itt felhívta a figyelmet arra, hogy a  $p = m \cdot v$  a lendületre nem elég jó definíció. Ez inkább csak a tömeg definiálására jó. A tömeg = lendületkapacitás. Ugyanis az elektromosságban  $Q = C \cdot U$  kifejezéssel összehasonlítva juthatunk erre a gondolatra.

A szubsztanciaszerű lendület egységül az 1 Huygens (1 Hy) választható. 1 Hy = 1 Ns.

A mechanika bevezető tanítása során megállapítják, hogy a mozgó testnek lendülete van. Ennek jele  $p$ . Egysége 1 Hy.

A szemléltetésre, szoktatásra szolgáló kísérletek:

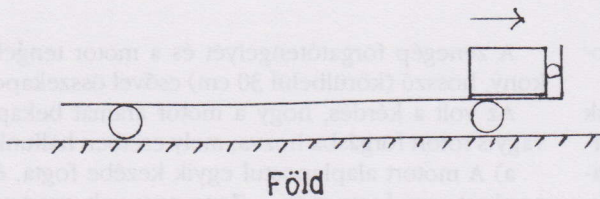
a) Mozgó kiskocsi. Ennek van – mondjuk – 100 Hy lendülete.

b) Légpárnás sínen rugalmasan ütköző testek. A 10 Hy lendülettel futó egyik test nekifut az álló másik testnek. Az továbbhalad 10 Hy lendülettel, s az első megáll. Átfolyt a lendület az egyikből a másikba.

c) Rugalmatlan ütközés. Magyarázat: A lendület eloszlik a két testen...

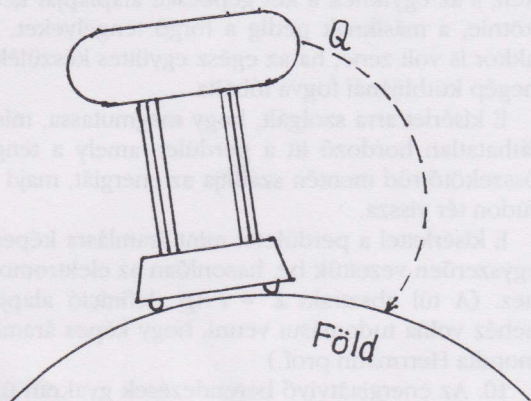
d) Hosszú kocsi tetején végiggyurul egy kicsi kocsi, s az elején lévő falba ütközik. Gurulás, leállás... (1. ábra)





1. ábra.

Lépésről lépésre eljutnak odáig, hogy a lendület átadódik végső soron a Földnek is! Itt hasonlóságot felhózzák, hogy a Van de Graaff-féle generátor gömbjét földelve, az elektromos töltés is átáramlik a Földbe... (2. ábra)



2. ábra.

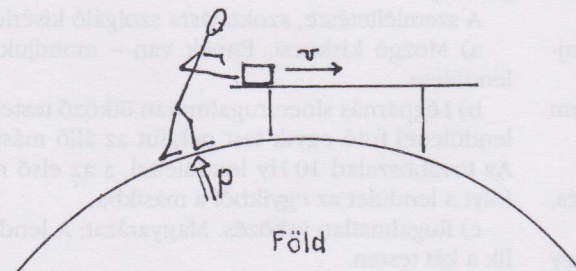
e) Súrlódásos kocsi meglökése, lassuló gurulása. Megállapítják, hogy „kifolyik” belőle a lendület.

f) Két 10 Hy lendületű kocsi ütközik egymással szemben. Eredmény: nulla lendület. Itt kiderül, hogy a lendületnek előjelet kell tulajdonítani. A lendület tehát előjelesen összeadható.

g) Fontos kérdés, miként kerül a lendület a testbe, honnan szerzi a test lendületét. A test „feltöltése” lendülettel – volt a következő kísérletek célja.

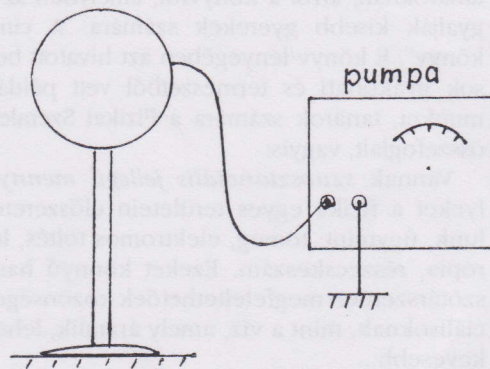
Az asztalon gurulni képes kocsit az ember löki el, „adva” neki ezáltal például 10 Hy lendületet. Mi történik még ugyanekkor?

Nyilván a Föld „ellenkező értelmű” lendületbe jut talpunk révén, azaz  $-10$  Hy lendületet juttatunk neki, vagyis „veszít” lendületéből 10 Hy-t. Ez a 10 Hy lendület az emberen keresztül feláramlik az ellökött kiskocsiba, vagyis az feltöltődik 10 Hy lendülettel az ember által. Az ember tehát egy „lendületpumpa”: A Földből lendületet pumpál át a kiskocsiba (3. ábra).



3. ábra.

Elektromos hasonlóságot tekintve ez megfelel annak, amikor az elektromos tápegység segítségével feltöltünk egy szigetelő állványon álló fémgömböt. Itt a tápegység a pumpa (4. ábra).



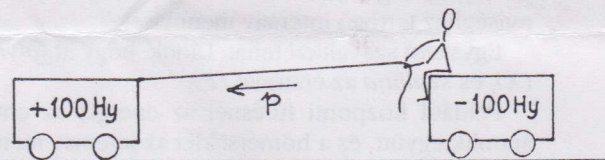
4. ábra.

Miféle lendületpumpákat ismerünk?

1. Természetes lendületpumpa maga az ember, vagy az állat.

2. Mesterséges lendületpumpák a különféle motorok.

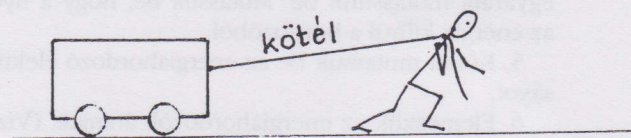
Kísérlet: Két álló kocsi. Egyikre ember ül, és a másik kocsihoz erősített kötél segítségével azt a kocsit maga felé húzza. Eredmény az, hogy mindkét kocsi egymás felé mozog. Ennek megfelelően az egyik kocsi például  $+100$  Hy lendületet, a másik viszont  $-100$  Hy lendületet nyer. Más szavakkal ez azt jelenti, hogy az ember a 100 Hy lendületet átpumpálja a kötélen keresztül egyik kocsiról a másikra (5. ábra).



5. ábra.

E kísérlettel kapcsolatban felvetődik, hogy mely testek jó vezetők a lendület számára. (A kísérletben a kötél volt a lendületvezető.)

Rögtön kiderül, hogy a kötélen csak húzni lehet a kocsit, tolni nem (6. ábra). Ez azt jelenti, hogy csak egy irányban jó lendületvezető. Azaz a kötél „egyenirányító”-ként viselkedik a lendületárammal szemben.



6.a ábra.



6.b ábra.



Természetesen egy rúd, vagy más szilárd test mindkét irányban jó lendületvezető.

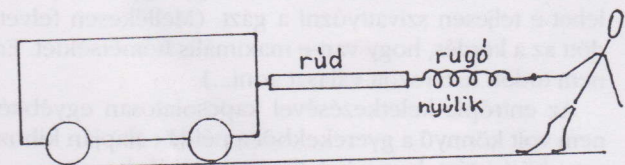
Ezzel szemben például a levegő ebben a konkrét példában lendületszigetelőnek számít.

További példák lendületáramokra:

A lendületvezetőkben összenyomódás (nyomófeszültség), megnyúlás (húzófeszültség) és csavarodás (csavarófeszültség) léphet fel egyszerűbb esetekben.

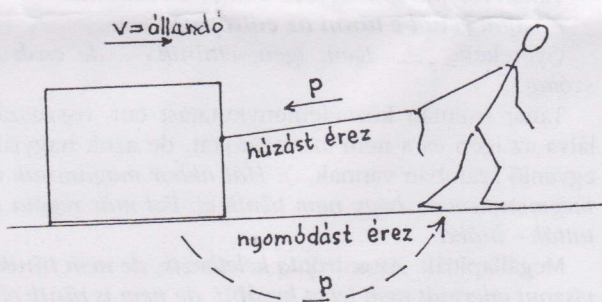
Az ember érzi-e, hogy lendületáram folyik át rajta? – Igen. A deformálható vezetőn is meg lehet ezt látni. Ez arra jó, hogy mérésre ad lehetőséget (Rugós erőmérő:  $1 \text{ N} = 1 \text{ Hy} / 1 \text{ s}$ ) (7. ábra).

A lendületáramláshoz zárt áramkörre van szükség. (Ezt már előzőleg a miniverkklis kísérlet igazolta.) Erre szolgáló rajzos példák a következők.



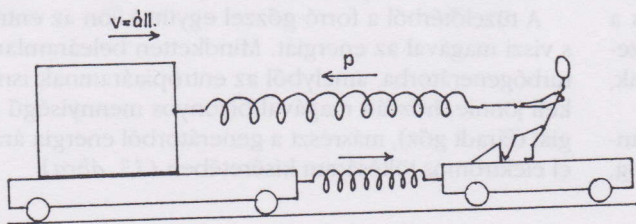
7. ábra.

a) A talajon állandó sebességgel ládát húzunk kötéll segítségével. Ilyenkor a lendületpumpa a húzást végző ember. A lendület belőle a ládába áramlik a kötél keresztül; a ládából visszaáramlik a Földbe; a talajon visszajut az ember talpa alá... Ilyenkor a kötéln nyilván húzást „érez”, a talajnak a láda és az ember közé eső része pedig összenyomást (8. ábra).



8. ábra.

b) A talaj „összenyomódás-érzetét”, illetve a kötéln „húzásérzetét” demonstrálhatjuk, ha az előbbi ládát kocsira tesszük, mi magunk egy másik kocsira állunk és a két kocsi közé hengeres csavarrugót teszünk, amely az összenyomást érzékelteti, míg a kötelet szintén hengeres csavarrugóval helyettesítve az megnyúlásával a húzást jelzi. Ha a ládát a kocsin a súrlódás ellenére állandó sebességgel húzzuk, akkor megállapíthatjuk, hogy egyenletes lendületáram kering (9. ábra).



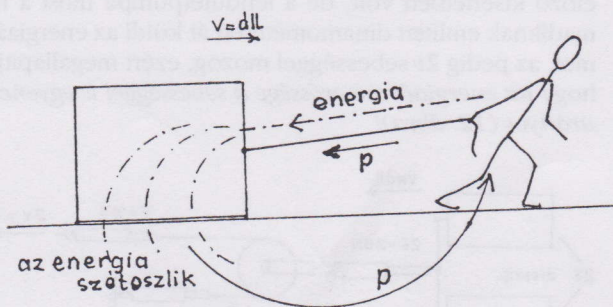
9. ábra.

A lendületáram erősségét a fentiek szerint rugó vagy gumiszalag megnyúlásával mérhetjük. Minthogy a lendületáram szubsztanciális jellegű, a párhuzamosan kapcsolt rugós mérőkön együttesen olyan erős lendületáram folyik át, mint amennyi az egyes rugók megnyúlásából kapott áramok összege.

Összefüggés a lendületáram és az energiaáram között.

Itt most már annak ismeretében gondolkodunk, hogy a lendületáramnak zárt áramkörre van szüksége, hogy állandóan fennmaradjhasson. (Hasonlóan a zseblámpa-elem, huzalok és izzólámpa alkotta zárt áramkörhöz.)

Példa: A talajon húzzuk a ládát egy kötéll. Az emberből, aki a lendületpumpa, lendület és energia áramlik egyszerre a kötélén keresztül a ládába. A láda a talajon súrlódik, ott az energia „szétszóródik”; a lendület is átfolyik a ládából a talajba ugyanitt, de utána visszatér az összenyomást érző talajon át a lendületpumpába... (10. ábra)



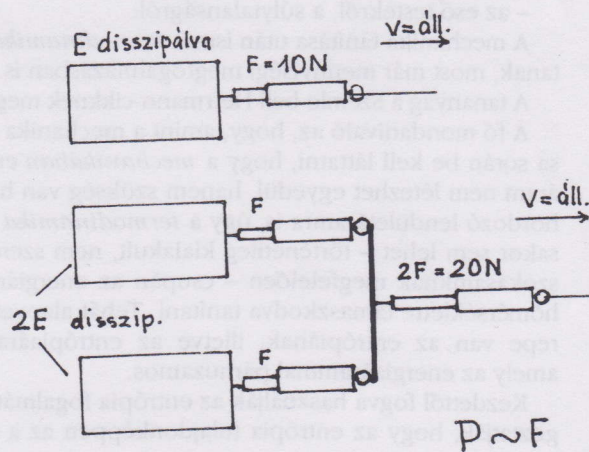
10. ábra.

Ennek a példának rendszeres kibővítésével juthatunk el a Szemle-beli Herrmann-cikk (5) egyenletéhez:  $P = v \cdot F$ , ahol  $P$  az energiaáram erőssége,  $v$  a sebesség és  $F$  a lendületáram intenzitása, azaz az erő.

Az idetartozó kísérletek röviden:

a) Egy dobozt húznak dinamométerrel,  $F$  (10 N) erővel, állandó  $v$  sebességgel. A súrlódásnál  $E = P \cdot t$  energia disszipálódik.

b) Az előbbi dobozból két példányt húznak párhuzamosan, mindegyikre egy-egy dinamométert kötve, amelyek  $F$  (10 N) erőt mutatnak az állandó, az előbbivel egyenlő  $v$  sebesség esetén. A két dinamométer egy rúd



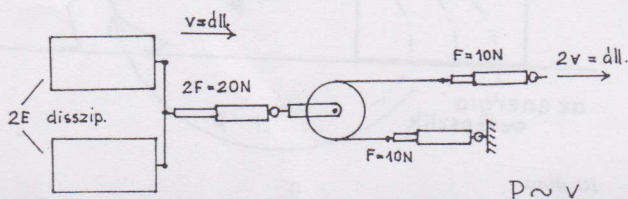
11. ábra.



két végéhez csatlakozik, amely rúd közepéhez harmadik dinamométer van erősítve, s amely  $2F$  (20 N) erőt mutat húzás közben. Megállapítják, hogy a két doboz súrlódó felületénél  $E+E$ , összesen  $2E$  energia disszipálódik. Ugyanakkor a fő dinamométeren is  $2F$  erő leolvasható (11. ábra).

Ebből a lendületpumpából a dobozokhoz szállított energia *egyenes arányban áll* a húzóerővel, vagyis a *lendületáram erősségével!*

c) Újabb kísérletben az előbbi két dobozt ismét egymás mellett húzzák a talajon dinamométer közbejöttével, amely dinamométer  $v$  sebesség esetén, természetesen most is,  $2F$  (20 N) erőt mutat. De ezt a dinamométert egy mozgócsiga tengelyéhez kapcsolják, s ennek a csigának a kötelét egy második dinamométeren át rögzítik az asztal egy pontjához. Ez a dinamométer  $F$  (10 N) erőt mutat, miközben a kötel másik végét egy harmadik dinamométerrel húzzák, mégpedig  $2v$  sebességgel, akkor e harmadik dinamométer is  $F$  (10 N) erőt mutat. Mivel az energiadisszipáció másodpercenként ismét ugyanannyi, mint az előző kísérletben volt, de a lendületpumpa most a harmadiknak említett dinamométeren át küldi az energiaáramot, az pedig  $2v$  sebességgel mozog, ezért megállapítják, hogy *az energiaáram erőssége a sebességgel is egyenesen arányos* (12. ábra)!



12. ábra.

Ezek után a kísérletek után rögzítik azt a megállapítást, hogy  $P = v \cdot F$ . Itt megemlékeznek arról, hogy ez teljes analógiában áll az elektromos áramkörökben felírható  $P = U \cdot I$  egyenlettel, továbbá

- az energiárólól  $E = 1/2 m \cdot v^2$ ,  $E = 1/2 D \cdot x^2$
- lendületáramokról mágneses mezőkben (a mágneses mezőt előzőleg nagyon kézzelfoghatóan megismertette)
- kinematikáról
- súlyról és gravitációs mezőről ( $F = m \cdot a$ )
- a gravitációs mező energiájáról
- az eső testekről, a súlytalanságról.

A mechanika tanítása után ismét *termodinamikát* tanítanak, most már mennyiségi megfogalmazásban is.

A tananyag a Szemle-beli Herrmann-cikknek megfelelő.

A fő mondanivaló az, hogy, amint a mechanika tanítása során be kell láttatni, hogy a *mechanikában* energiaáram nem létezhet egyedül, hanem szükség van hozzá a hordozó lendületáramra is, úgy a *termodinamika* tanításakor sem lehet – történetileg kialakult, nem szerencsés szokásainknak megfelelően – csupán az energiára és a hőmérsékletre támaszkodva tanítani. Tehát alapvető szerepe van az entrópiának, illetve az entrópiaáramnak, amely az energiaárammal párhuzamos.

Kezdetől fogva használják az entrópia fogalmát. Hanгоztatják, hogy az entrópia tulajdonképpen az a dolog,

amit a köznapi nyelvben hőnek neveznek. (Ennek a gondolatnak második szülőatyjaként a zakopanei konferencián is jelenvolt Georg Job-ot mutatta be Friedrich Herrmann. Állítólag *Callendar* már 1910-ben szintén így vélekedett...)

A diákokkal tartott újabb foglalkozásokon is erről volt szó, illetve megállapodtak az entrópia egységében: Ez 1 carnot (1 Ct).  $1 \text{ Ct} = 1 \text{ J/K}$ . Például 1 kg víz  $20^\circ\text{C}$ -ról  $21^\circ\text{C}$ -ra melegedésekor körülbelül 14 Ct jön létre.

Fontos kérdés az, hogy miként keletkezik az entrópia.

Megállapítják, hogy például égéssel, de súrlódással is kelthető entrópia. Több példa felsorolása után megállapítják, hogy *az entrópia előállítható, és ez a folyamat irreverzibilis. Az entrópiát nem lehet megsemmisíteni.*

Itt felvetődött, hogy mennyi az entrópiatartalma egy testnek az abszolút zérus hőmérsékleten. Ezt zérusnak tekintik. Hogy el lehet-e venni minden entrópiát a testtől, azt hasonlónak tekintik ahhoz, hogy egy tartályból ki lehet-e teljesen szivattyúzni a gázt. (Mellékesen felvetődött az a kérdés, hogy van-e maximális hőmérséklet. Erre nem tudott határozott választ adni...)

Az entrópia keletkezésével kapcsolatosan egyébként nem volt könnyű a gyerekekből a példák alapján kihozni azt a kijelentést, hogy „keletkezett”. Például:

Tanár: *Miből jön az entrópia, ha összedörzsölöm a tenyeremet?*

Gyerekek: *...az izmainkból.*

Tanár: *Rendben.*

- *Ráteszem ezt a fadarabot erre a lejtőre. Lecsúszik. Súrlódás van, felmelegedés van. Mi van az entrópiával?*

Gyerekek: *...? (Nem merik azt mondani, hogy keletkezik.)*

Tanár: *Az entrópia egyszerűen keletkezni tud.*

- *Vajon el tud-e tűnni az entrópia?*

Gyerekek: *...?... Igen, igen, eltűnik, ... de csak látószólag...*

Tanár (miután közvéleménykutatást tart, összeszámálva az igen és a nem szavazatokat, de azok nagyjából egyenlő számban vannak...): *Hát akkor magamnak kell megmondanom, hogy nem tűnik el. Ezt már régóta kuttatták – hiába.*

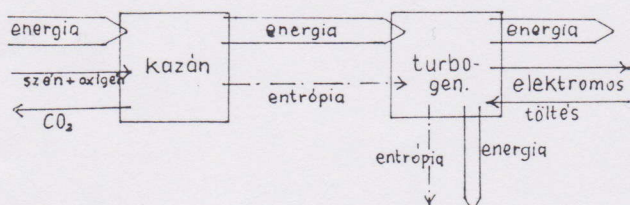
Megállapítják: *Az entrópia keletkezik, de nem tűnik el; viszont energiát nem lehet kreálni, de nem is tűnik el!*

A hőgépekkel kapcsolatosan értelmezték a Szemle-beli Herrmann-cikk (6) egyenletét:  $P = T \cdot I_s$ . Ezzel kapcsolatban abban maradtak, hogy ez a hőmérséklet definíciójával is kapcsolatban van, vagyis úgy kell definiálni a hőmérsékletet, hogy ez az egyenlet teljesüljön vele! (Mint ahogyan a  $P = U \cdot I$ -ben is az  $U$  definiált mennyiség!)

A villamos erőmű vázlatát úgy értelmezték, hogy a tüzelőtérbe energia jön be, természetesen megfelelő hordozóval együtt, ami a szén és az oxigén. A tüzelőtérből persze kimegy a hordozó árama széndioxid formájában. A tüzelőtérben entrópiatermelés folyik!

A tüzelőtérből a forró gőzzel együtt kijön az entrópia, s viszi magával az energiát. Mindketten beleáramlanak a turbógenerátorba, amelyből az entrópiaáramnak ismét ki kell jönnie, hozván magával bizonyos mennyiségű energiát (fáradt gőz), másrészt a generátorból energia áramlik el elektromos töltésáram kíséretében (13. ábra).



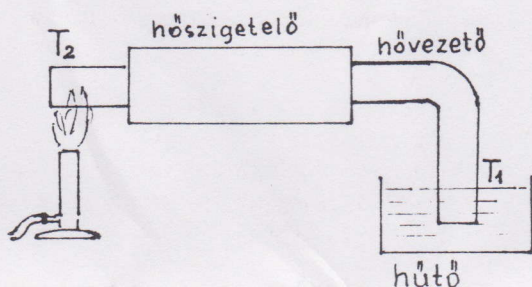


13. ábra.

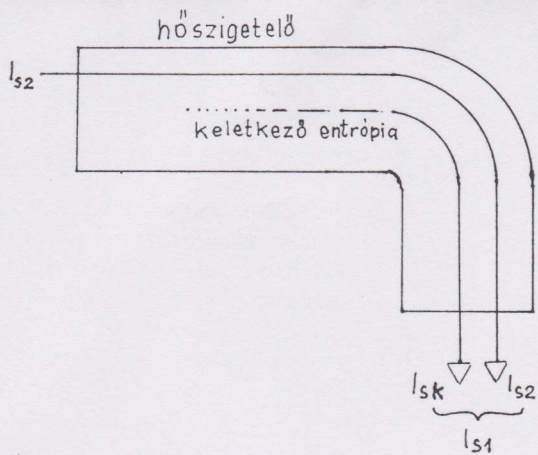
Tehát mindenütt megvan a (hordozó + energia) pár...

A hatásfok számszerű kifejezése a  $P = T \cdot I_S$  gondolattal így néz ki:  $\eta = (T_m \cdot I_S - T_a \cdot I_S) / T_m \cdot I_S$ , ahol  $T_m$  a bemenő magas hőmérséklet,  $T_a$  a kimenő alacsony hőmérséklet. Mivel az entrópia nem vész el,  $I_S$ -sel lehet egyszerűsíteni, s a megszokott formulát kapjuk:  $\eta = (T_m - T_a) / T_m$ .

A tanárok számára F. Herrmann foglalkozott még azzal a példával is, hogy ha a hőszigetelők entrópiát nyomunk át, akkor az új entrópiát produkál (hasonlóan a sűrűdéshez) (14. és 15. ábra). Ez a produkált új entrópiarész annál nagyobb, minél nagyobb a bemenő entrópia, továbbá minél nagyobb a szigetelő két oldala közötti hőmérsékletkülönbség:



14. ábra.



15. ábra.

A szigetelő bemenő oldalán  $T_2$  nagy hőmérséklet van, kimenő oldalán  $T_1$  kisebb hőmérséklet van. A szigetelő átáramló energiaáram erőssége a két oldalon egyenlő,  $P_2 = P_1$ . Ezek szerint  $T_2 \cdot I_{S2} = T_1 \cdot I_{S1}$ . Az  $I_{S1}$  kimenő entrópia a szigetelőben keletkező  $I_{Sk}$  entrópiával nagyobb a bemenőnél:  $I_{S1} = I_{S2} + I_{Sk}$ . Ezt az előbbi energiaáram egyenletbe beleírva, majd abból  $I_{Sk}$ -t kifejezve kapjuk:  $I_{Sk} = I_{S2} (T_2 - T_1) / T_1$ .

Hallgatói közbevetésre szóba kerültek az áramerősségek, illetve az ellenállások a különböző „áramkörökben”. Ohm törvényéhez hasonlóan, ahol az elektromos töltésáram erőssége a feszültséggel és az elektromos ellenállással van kifejezve, ( $I = U / R_Q$ ), a mechanikai lendületáram erősségét, az erőt szintén kifejezhetjük  $F = \Delta v / R_p$  alakban, ahol a számlálóban lévő sebesség-differencia lehet a súrlódási erő oka, de a fizika nem szokta megadni az okot.

Ha a sokszor használt – összetartozó – extenzív és intenzív mennyiségpárokat tekintjük (lásd a Szemle-cikk táblázatát), akkor a következő „ellenállásokat” fejezhetjük ki velük:

Elektromos töltésáram-ellenállás:  $R_Q = \Delta \phi / I_Q$ ; termodinamikai entrópiaáram-ellenállás:  $R_S = \Delta T / I_S$ ; kémiai anyagáram-ellenállás:  $R_n = \Delta \mu / I_n$ ; mechanikai fékezési ellenállás:  $R_p = \Delta v / F$ ; mechanikai forgási ellenállás:  $R_l = \Delta \omega / M$ .

Hasonló analógiás gondolkodással „kapacitásokat” is értelmezhetünk;

Lendületkapacitás = mechanikai tömeg; töltéskapacitás = az elektromos kapacitás; entrópiakapacitás = amit a hőmérséklettel szorozva entrópiát kapunk.

A termodinamika második főtételének megállapítása előtt tapasztalati megállapításokat tesznek:

– A megfigyelt világban szimmetriákat találunk. Ezt fejezik ki a megmaradási törvények.

– Ezek a szimmetriák részben megsérülnek! Ezt látjuk például abban, hogy múlt nem ismétlődik meg...

Észreveszik, illetve gyanítják, hogy az a tény, hogy az időnek iránya van, összefüggésben áll(hat) az entrópiával:  $\dot{S} \geq 0$ .

Ezután még az optikáról és az információról volt szó, de ezekről a Szemle-beli Herrmann-cikkben is olvashatunk.

A fenti – lehet, hogy talán aprólékos – beszámolómmal F. Herrmann tömören megírt cikkét szerettem volna némileg oldottabbá tenni, vállalva még a pongyolaság vádját is, viszont remélve azt, hogy kollégáim közül így többen elgondolkoznak az olvasottakon. A méltató elgondolás, még ha elutasítással végződik is, biztosan hasznunkra válik.