

HOGYAN KEZDTE TANÍTANI EÖTVÖS LORÁND

A FIZIKÁT? – 2., befejező rész

Általános Kísérleti Természetan

Radnai Gyula
ELTE Fizikai Intézet

Akár szimbolikusan is tekinthetnénk, hogy az idei „Eötvös-évet” megelőző évben, mintegy nyitányként bukkant fel egy több mint 700 oldalas, kézírásos, litografált kiadvány talán utolsó, megmaradt példánya, az egykori első éves egyetemi hallgatók számára, Eötvös Loránd egyetemi előadása alapján készült jegyzet.¹

Címe:

Általános Kísérleti Természetan.

Méltóságos Dr. B. Eötvös Lóránd egyetemi tanár úr előadásai nyomán. (1880/81-dik tanévben.)

Előző, szeptemberi számunkban áttekintettük *Eötvös Loránd* fiatalkori éveit, amikor – három, egymást követő tanévben – a fenti címmel hirdette meg két féléves, heti 5 órás előadását az egyetemen. Most az ennek alapján készült jegyzetet fogjuk áttekinteni.

Eötvös Loránd a fizikát Heidelbergben *Gustav Kirchhoff*tól és *Hermann Helmholtz*tól tanulta, az ő előadásaiából, valamint Kirchhoff laboratóriumában szerette meg, sajátította el a fizikát. Königsbergben egy félévig *Franz Neumann* előadását hallgatta és az ő laborjába Kirchhoff tanácsára járt, aki maga is Neumann tanítványa volt annak idején Königsbergben. Neumann éppen 50 évvel volt idősebb Eötvösnél, Kirchhoff és Helmholtz életkora pedig kettőjük közé, majdnem középre esett. Ez három generáció, de hogy még érdekesebb legyen az összehasonlítás, volt egy korban Neumannhoz illő másik fizikus, *Wilhelm Weber*, akit pedig fiatal korában nem kisebb tudós vett maga mellé és fogadott el egyenrangú partnernek, mint a matematikusok fejedelme, *Carl Friedrich Gauss*. Közös kutatásuk eredménye az egyvezetékes távíró feltalálása, de a fizikai mértékrendszerek felállítására is nagyrészt hozzájuk köthető. Weber jelölte először *c*-vel az elektrosztatikus és az áramra alapozó elektromágneses töltésegység hányadosát, és

mérte meg ennek értékét *Koblrusch* segítségével 1852-ben. Évekkel később *Maxwell* hívta fel a figyelmet arra, hogy ez pedig egyenlő a fénysebesség mért értékével!

Az elektromosság és az optika fejlődésében különösen érdekes az az út, amely elvezetett Gausstól Weberhez és Neumannhoz, tőlük Kirchhoffhoz és Helmholtzhoz, tőlük pedig Eötvöshöz, s a vele együtt Heidelbergben tanuló diákokhoz, például a későbbi manchesteri híres kísérleti fizikushoz, *Arthur Schuster*hez, vagy a viszonylag fiatalon elhunyt hazai fizikatörténészhez, *Heller Ágost*hoz. De ne szaladjunk annyira előre, kezdjük az első félév tananyagával, a mechanikával és a hőtannal, de mindenekeelőtt a *Bevezetéssel*.

◆

A *Bevezetésben* Eötvös megfogalmazza: „Ha az összes természettudományok célját akarjuk kifejezni, ezek célja nem egyéb, mint a természetet megismerni és megérteni. E két utóbbi szóban a sorrend is benn van, mert a megismerés a megértést mindig meg fogja előzni.” Ezzel azonnal állást foglal a kísérleti természettudományok mellett, szembehelyezkedve azokkal a régi görög filozófiai nézetekkel, amelyek lebecsülték a tapasztalati kutatást. Később így folytatja: „A physikai tudományoknak a többi természettudományok felett még más előnye is van, mert míg a többi természettudós csak úgy képes a természetet vizsgálni, ha az előttük áll, addig a physikus az illető körülményeket, melyek közt a tünemény létre jő, maga állíthatja elő, és ekkor mondjuk, hogy ezen tünemény előállítására kísérlet útján történt. A kísérlet éppen az, ami a physikai tudományok nagy haladását lehetővé tette.”

Mechanica

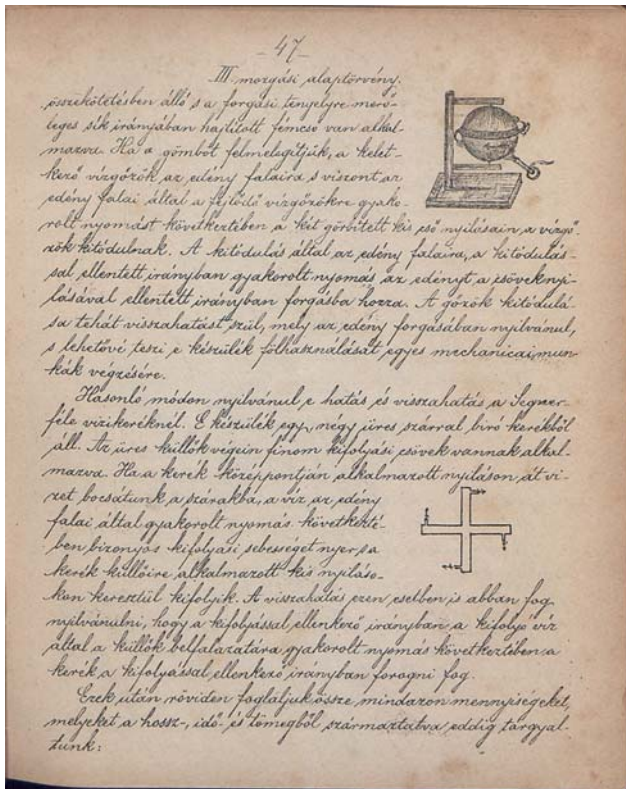
Nem véletlenül kezdi a mechanikát Eötvös a különböző mérőeszközök bemutatásával. Elmagyarázza a csavarmikrométer, a szferométer, a katetométer, a teodolit működését, külön elmagyarázza a nóniusz leolvasását, majd áttér az időmérő eszközökre. A T. Olvasó, ha ismeri az 1960-as évek óta kiadott, napjainkban is népszerű *Kísérleti fizika* egyetemi tankönyveket, nem kis meglepetéssel ismerhet rá az I. kötet első oldalaira.

Az egyenletes mozgással foglalkozva vezeti be Eötvös a sebesség fogalmát, mint a megtett út és az eltelt idő hányadosát, ahogy ez ma már középiskolában is szokásos. A jegyzet 33. oldalán kezd beszélni „A se-

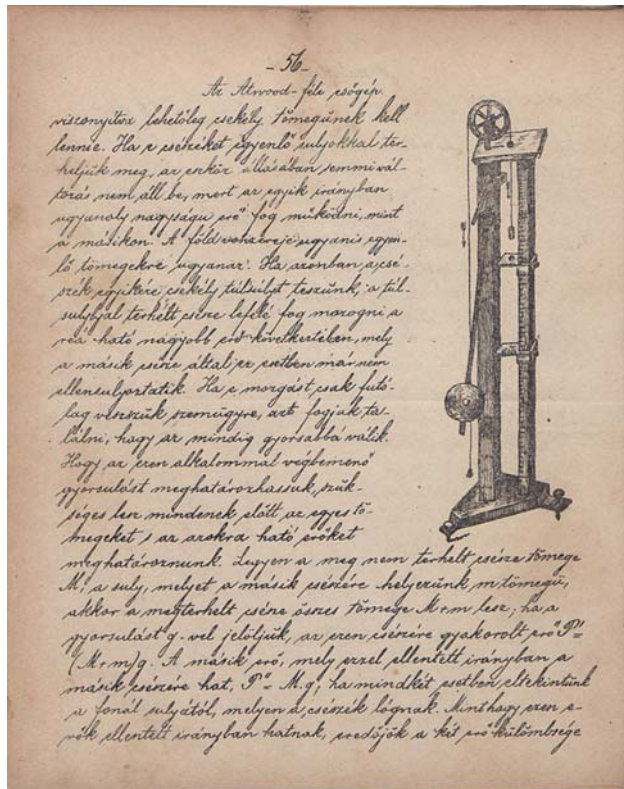
¹ A teljes jegyzet megtekinthető az ELTE honlapján: <https://edit.elte.hu/xmlui/handle/10831/39533> webhelyen.



Radnai Gyula ny. egyetemi docens, a fizikai tudományok kandidátusa, matematika-fizika tanári szakon végzett 1962-ben. Az ELTE Kísérleti Fizika tanszékén kapcsolódott be a tanárképzésbe, a fizika hazai kultúrtörténetének kutatásába pedig *Simonyi Károly* ösztönzésére fogott a '70-es években. *Physics in Budapest* című – *Kunfalvi Rezső*vel közös – könyve, valamint a *Fizikai Szemlében* és a *Természet Világában* megjelent számos, ma már az interneten is elérhető publikációja hitelesíti ezt a tevékenységét.



Newton III. törvénye.



Az Atwood-féle esőgép.

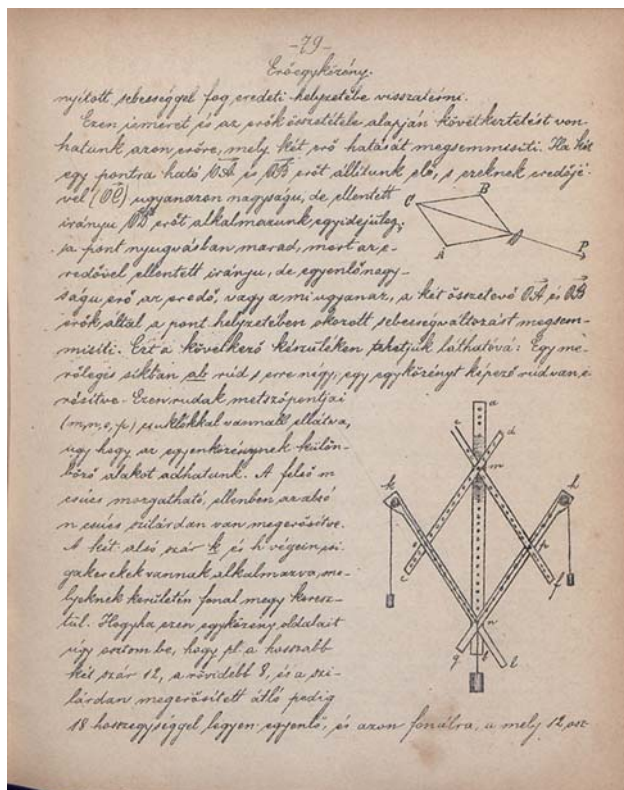
bességről a nem egyenletes mozgásnál”, majd a sebesség irányának és nagyságának diszkutálása után következik „A sebességek összetevése és szétbontása”.

A 41. oldalon új fejezet kezdődik: „A mozgási törvények”. Ez döntő újítás az akkor szokásos hazai tárgyalásokhoz képest; még *Jedlik* 1850-ben kiadott egyetemi tankönyvében, a *Súlyos testek természetében* sem szerepeltek mechanikából a Newton-törvények. Csak találgatni lehet, miért nem. Tény, hogy még Németország középiskolai tankönyveiben is leginkább csak az optikánál került elő *Newton* neve (Newton-gyűrűk), a magyar könyvek számára pedig a német könyvek voltak az irányadók. *Newton Principiáját* is csak 1872-ben fordították le németre! (Talán az infinitezimális számítás kezdő lépései során kialakult Newton–Leibniz prioritási vita kompromittálta Newtont a németek szemében? Franciául *Du Chatelet* asszony már jó 130 évvel előbb lefordította és megjelentette Newton latinul írt művét.) Heidelbergben természetesen megtanították a Newton-törvényeket, amelyeket Eötvös is olyan fontosnak ítelt, hogy még latinul is lediktálta ezeket az egyetemi előadásán! (Honnan tudta Eötvös latinul a Newton-törvényeket? Newton eredeti kiadású, latinul írt könyvéből! Még hivatkozott is rá egy másik alkalommal, amint az ebben a jegyzetben olvasható.)

A III. törvény (hatás-visszahatás) kapcsán kerül elő a Segner-féle vízikerék, de rakétákról persze nem esik szó. „A mechanikai egységek rövid összefoglalása” után kezdődik a szabadesés tárgyalása. Fontos szerephez jut az „Atwood-féle esőgép”. Táblázatba foglalt sebesség- és útadatokat segítségével, kétoldalu kö-

zelítéssel jutnak el az útképlethez, benne már *g*-vel jelöli Eötvös a nehézségi gyorsulást. A hajtások tárgyalását a függőleges hajtással kezdi, majd a vízszintessel folytatja és ez után jön a ferde hajtás. Közben

Az „Erő egykötény”, azaz erőparallelogramma.



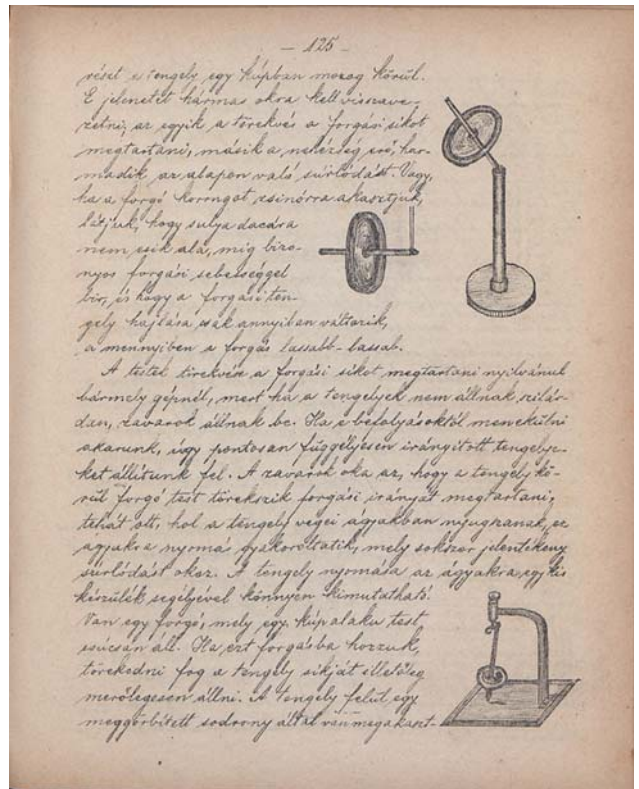
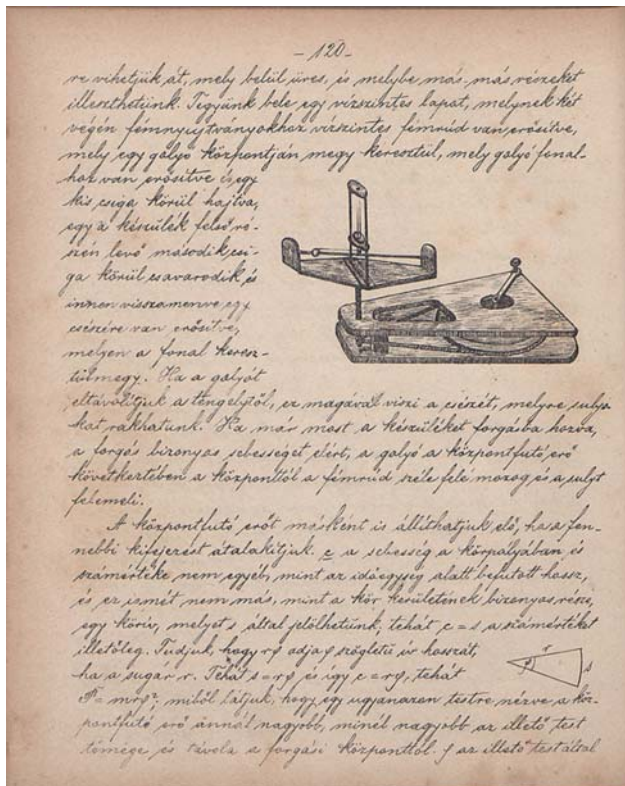
beveti a „Morin-féle hajító készüléket”, amellyel egy egyenletesen forgó hengerre felcsavart papírra lehet felrajzoltatni a függőlegesen mozgó, például a felhajított test pályáját. Levéve a papírt a hengerről és kismítva a táblán, jól látszik a parabola.

A hajítások tárgyalása után a 76. oldalon kezdődik „Az erők összetevése és felbontása”. Ennek kapcsán kerül elő az „Erő egyközény”. Mi lehet ez? Erőparallogramma – erőteljesen megmagyarosítva. „Mozgás a lejtősíkon” következik utána, ahol a nehézségi erő kell megfelelő irányú összetevőkre felbontani.

Eötvös ekkor látja megfelelőnek az időt, hogy megismertesse a hallgatóit egy fontos új fizikai mennyiséggel: itt következik „A munka fogalma”. Maga a „munka” szó nem is olyan régi, mintegy fél évszázaddal Eötvös előadása előtt vezette be Jean Victor Poncelet francia fizikus, az erőgépek dinamikájának tárgyalásához. Érdekesség: Eötvös a munkát *A*-val jelöli, ezzel is követve a német irodalmat (Arbeit), ahogy ma mindenütt *W*-vel jelöljük, az angol-amerikai szóhasználatot (work) követően. Közben volt egy időszak, amikor latinus műveltséggel *L*-lel jelöltük a munkát, ez a szép latin szó a labor szavunkban él tovább még ma is (laboratórium = munkahely).

Az egyensúlyról szóló fejezetben kerül elő az álló és a mozgó csiga, de itt kerül sor a „mennységtani inga” tárgyalására is. Eötvös nemcsak súlytalan fonalat, hanem súlytalan pálcát is használ, amelyre több kis testet is rá tud erősíteni, különböző távolságokra a forgástengelytől. Eljut a súlypont fogalmához, majd egy merész váltással áttér egyik kedvenc témájára, a „mérleg elméletének” tárgyalására.

A „központfutó (centrifugal)” erőt szemléltető forgattyús gép.



Pörgettyűk mozgása.

„A testek forgó mozgásáról” fejezet a 114. oldalon kezdődik. Előkerül az a még ma is sok középiskolai szertárban megtalálható, szíjjátéttel hajtott forgattyús gép, amelyet kézi erővel lehet forgásba hozni és a „központfutó (centrifugal)” erőt lehet vele szemléltetni. Tárgyalásában Eötvös alig használ képleteket, de a jelenségek közül számos érdekeset bemutat, a lejtőn való mozgástól kezdve egészen a pörgettyűk mozgásáig. Ez utóbbi „tüneményeket” ma is élvezettel bámulják meg a hallgatók az egyetemen.

A 130. oldalon kezdődik meg az ERÉLY fizikai fogalmának tárgyalása. Ezt a szép magyar szót találta meg Eötvös az energia kifejezésére!

Az energia szót Thomas Young vezette be 1806-ban, ezzel helyettesítette az „eleven erő” kifejezést, amelyet pedig Leibniz talált ki 1695-ben. Igaz, Leibniz latinul, a „vis viva” nevet adta ennek a fogalomnak, akkoriban még latin volt a tudomány nyelve. Newton is latinul írta meg fő művét, s már meg sem érte, hogy könyvét angol fordításban is kiadják. Eötvösre Helmholtz lehetett nagy hatással, aki 1847-ben *Über die Erhaltung der Kraft* (Az erő megmaradásáról) címmel jelentette meg az energia megmaradásának általános törvényét ismerető tanulmányát. Ezt az energiaként funkcionáló „erőt” nevezte el Eötvös Loránd erélynek. Sajnos az erély szó nem honosodott meg nálunk, néhány év múlva maga Eötvös is áttért az energia szó használatára. Napjainkra pedig „az energia” kifejezés már annyira átment a köznyelvbe, hogy „a zenergia” (!) formájában még a zenei propaganda szótárába is bekerült.

Az erély segítségével szépen lehet a bolygók mozgását tárgyalni, előkerülhetnek a Kepler-törvények.

Ezután következnek a jegyzetben azok a mérések, amelyekkel a Newton-féle gravitációs törvényben szereplő állandót lehet minél pontosabban meghatározni. Még csak az 1870-es években vagyunk, még szó sincs arról, hogy Eötvös Loránd saját torziós ingájával hozakodna elő, azt majd még ki kell találnia, több mint egy évtizeddel később. Mégsem lehet egészen véletlen, hogy Eötvös a gravitációs állandó meghatározását követően tér rá a szilárd testek rugalmasságára, amelyben külön figyelmet szentel a csavarásnak. Tudvalévő, hogy *Henry Cavendish* 1798-ban saját csavarási ingájával határozta meg a gravitációs állandót.

A mechanika zárásaként a szilárd testek után jöhetnek a folyadékok, különös tekintettel a felületi feszültségre, amelyet ekkoriban választ Eötvös saját kutatási témájának, és jöhet a folyadékok sűrűségének pontos mérése Mohr–Westphal-mérleggel. Ezután következhetnek a gázok, a légnyomás kimutatására és mérésére a Torricelli-kísérlet, de nem maradhat el az állandó hőmérsékletű levegő nyomásának logaritmikus magasságfüggése és gyakorlati alkalmazásként a légszivattyúk működésének megtárgyalása sem. A jegyzet első 250 oldala tartalmazza a mechanikát, ez után következik a hőtan, amellyel befejeződik az első félév.

Hőtan

Kézenfekvő lenne a gázok mechanikai viselkedésének tárgyalása után ezek hőtani viselkedésével kezdeni a témát, Eötvös mégse így jár el, hiszen ehhez hőmérőre lenne szükség. Kísérletileg vizsgálja meg előbb egy fémrúd, majd egy kapillárisban végződő gömblombikban lévő folyadék hő okozta tágulását, utána mutatja be a levegő hőtágulását egy másikat ötletes kísérlettel. Ezután tér rá a hő, illetve az általa először csak „hőmérsék”-nek nevezett hőmérséklet mérésére. Elméletileg bevezeti a „hőtani egység” fogalmát, gyakorlatilag pedig külön fejezetben foglalkozik a hőmérők készítésével és kezelésével, nem feledezve el a „léghőmérőről” sem.

Az elkészített hőmérők segítségével most már pontos mérésekkel lehet megvizsgálni a különböző szilárd anyagok és folyadékok „terjeszkedését”, összehasonlítva az ezeket jellemző állandókat. A vízzel külön foglalkozik. Gázok pontos vizsgálatára a 259. oldaltól kerül sor, itt jelenik meg *Mariotte (Boyle nélkül)* és *Gay-Lussac* törvénye. Utána hosszan foglalkozik a gázok fajsúlyával és sűrűségével, külön a „lég” sűrűségével.

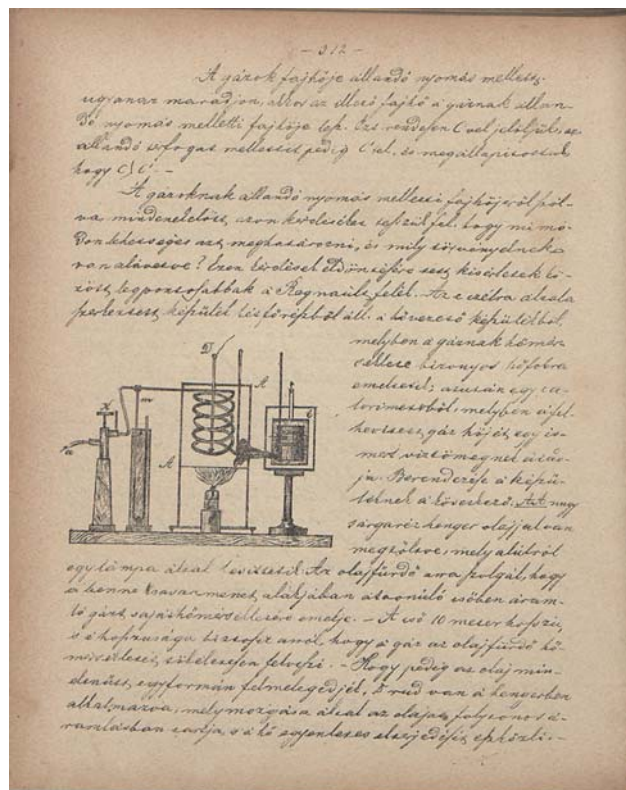
A 298. oldalon kezdődik „A hőegység megállapítása”. Érdekes módon Eötvös mindvégig „hőegységről” beszél, de a kalória szót meg se említi. A 300. oldaltól kezdve tárgyalja a fajhő meghatározását, míg végre a 309. oldalon eljut *Dulong* és *Petit* törvényéhez. A gázok állandó nyomás melletti fajhőjének mérésére *Regnault* összeállítását mutatja be.

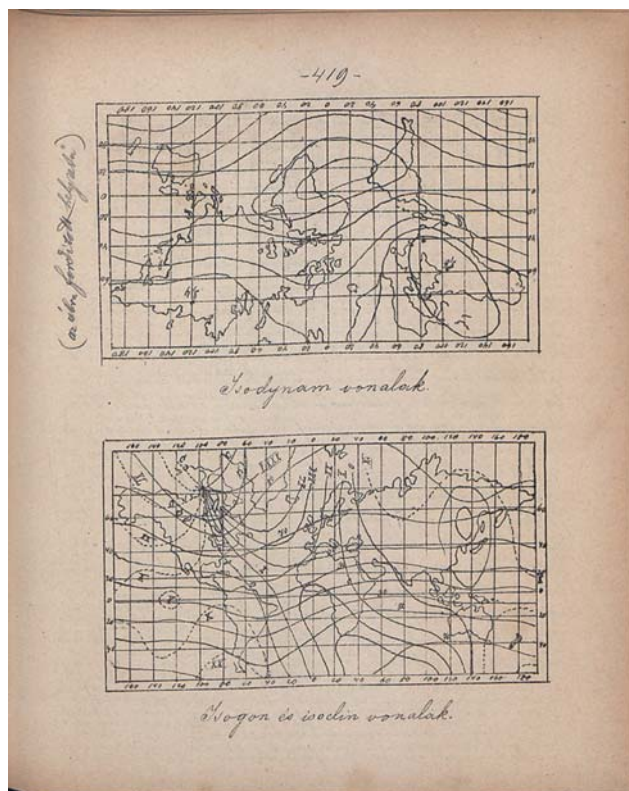
A 318. oldalon kezdődik a gőzök tárgyalása. Eötvös külön beszél a gőzök „feszültségéről” (így nevezi a

telített gőz nyomását, amely természetesen hőmérsékletfüggő), majd a gázok „folyósításáról”, míg végre a 325. oldalon jutunk el a párolgáshoz, s mindjárt a következő oldalon kezdődik a forrás tárgyalása. Ismereti *Regnault* mérőkísérletét a gőzök feszültségének meghatározására. Szó esik a folyadékok túlhevítéséről, a szilárd anyagok olvadásáról, az olvadáspont meghatározásáról. Kitér a Föld belsejének állapotára, de a jéghegyek létrejöttére, s ennek kapcsán az újrafagyás (regeláció) jelenségére is. Az olvadáshőt „lapangó hőnek” nevezi Eötvös, ismerteti ennek is a mérését. Előkerül a légnedvesség fogalma, az ennek mérésére szolgáló „hygrometer” és az „August-féle psychometer” is.

A hőtant lezáró, mintegy 20 oldalas fejezet „A hőtan erőműteni elmélete”. (Erőműtan a mechanikára kitalált magyar kifejezés volt.) Itt esik szó a Joule-kísérletről, a hő és a munka egyenértékéről. A hő és a munka egysége közötti összefüggést $[Q] = k[A]$ alakban adja meg, ahol k valamilyen 410 és 444 közötti érték a különböző mérések szerint, de „legközelebb a 425 áll hozzá” ... Előkerülnek „a hő forrásai”, ennek kapcsán „a nap sugárzó hője”, s az utolsó két és fél oldalon „a hőgépek munkája” is. Igazán nem jelentős terjedelem ez a két és fél oldal az egész hőtani fejezet 120 oldalához képest. *Carnot*-ról, *Clausius*-ról, a hőtan második főtételéről szó se esik, de hát ne felejtjük el: *Carnot* munkáját, valamint *Clausius* entrópiáját akkor még a fizika professorai egymás között vitatták meg, s ebben Eötvös csak távoli megfigyelőként vett részt. Igaz, 1872-ben *Helmholtz* és *Kirchhoff* mellett *Clausius* is tiszteleti tagjának választotta a Magyar

A gázok fajhője állandó nyomáson.





A magneticus görbék.

Tudományos Akadémia, de Clausius akkor Bonnban működött, vele nem is találkozott Eötvös Loránd. Tiszteleti tagnak talán Szily Kálmán javasolta Clausiust, miközben a második főtétel mechanikai megalapozásán fáradozott. Ez azután csak Boltzmann-nak sikerült.

Az első félév összesen 370 oldalt foglal el az Eötvös-jegyzetben. Szinte ugyanennyit tesz ki a második félév, benne a teljes elektromágnesség-tan és optika, sőt még a hangtan is. Mivel pedig a középkor óta az imponderábilis jelenségek között első helyen szerepeltek a mágneses jelenségek, Eötvös is ezzel kezdte a második félévet, íme a fejezet főcíme:

Delejesség

Semmi kétség – a mágnes szó is áldozata lett az erőltetett nyelvújítási törekvéseknek. Más helyen Eötvös maga is kikelt a túlzásba vitt magyarosítások ellen, például amikor Helmholtz népszerű tudományos előadásait fordította. Az 1874-ben megjelent könyv előszavában így fogalmazott: „Meggyőződésem az, hogy ha tudományos tárgyról írunk, akkor a tudomány érdekeit a nyelvtisztaság igényeinek feláldozni nem szabad... Így megtartottam az elektricitás és a magnetizmus elnevezéseket, és nem használtam azok helyett a villanyosság és a delejesség szavakat...” Itt azonban tankönyvről, egyetemi jegyzetről volt szó, amely a nemzeti öntudattól áthatott bölcsészeti kar hallgatói számára készült: ha csak lehet, mondjunk mindent magyarul!

Vasreszelékes kísérletekkel szemléltetve vezeti be Eötvös a „delejes pólusok” fogalmát, majd rögtön utána következik „A delejesség magyarázata”. Ez a magyarázat az a modell, melyet *Coulomb* nyomán Weber vezetett be, majd Neumann segítségével került tovább Kirchhoffhoz – tőle tanulta meg Eötvös. Eszerint a delejezett testekben kétféle „súlytalan mágneses folyadék” található, amelyeket akár a „delejes pólusokban” felhalmozódva is el lehetne képzelni. Azt a tapasztalatot viszont, hogy egy mágnesrudat kettétörve két újabb mágnesrúd keletkezik, úgy magyarázza Eötvös, hogy az anyagban „mágneses molekulák” (értsd: molekulák) képezik az említett mágneses folyadékot, s ezek a piciny részecskék egymás mellett sorba rendeződnek. Eötvös itt már vegyesen használja a „mágneses” és a „delejes” szavakat, de ami a legfontosabb: ez a modell az elektromosságra bevezetett kétféle fluidum mágneses megfelelője. A mágneses molekulákat később a súlytalan elektromos fluidum örvényeinek is elképzelték. „A delejes sarkok kölcsönös hatása” után következik a jegyzetben „A delejes távolhatás”.

Eötvös Loránd 1877-ben, a most tárgyalt egyetemi előadással nagyjából egyidőben a Magyar Tudományos Akadémián olvasta fel dolgozatát *A távolhatás kérdéséről*. Érdekes ez a dolgozat azért is, mert a tudomány akkori felfogását tükrözi, szép magyar nyelven megfogalmazva. A tanulmányt – gondosan ellátott (*Marx Györgytől* származó?) szerkesztői megjegyzésekkel – *Környei Elek* újra közölte *Eötvös Loránd, a tudós és művelődéspolitikus írásaiból* című, 1964-ben kiadott könyvében. Eötvös maga állítja itt a természettudományról: „A mágnes helyébe feltevésekre alapított képet helyettesít, mely különössége által valóban meglepő; s mert az elősorolt tények vizsgálata több tudományág körébe tartozik, ezek mindegyike hozzájárul valamivel a magyarázatot szolgáló képhez.”

E tudományos elképzelések megismertetése a különböző egyetemi előadások feladata, az előadások tartalma azután megjelenik az előadásról szóló jegyzetekben. Ebben az Eötvös-jegyzetben például a delejtű mechanikáját a delejes rúd mechanikája követi, majd a bevezetett mágneses nyomaték segítségével a delejes rúd lengésidejének meghatározása. A méréshez Coulomb-féle csavarási mérleget használ Eötvös, majd definiálja a „magn. folyadék egységet”. Ezután, a 400. oldalon tér át a Föld magn. erejének, mai kifejezéssel mágneses térerősségének a vizsgálatára. (A magn. rövidítés egyaránt olvasható mágnesesnek és magneticusnak.) Ezen hosszan elidőz, csak a 411. oldalon kezdődik „A declinatio meghatározása”, a 414. oldalon „Az inclinatio meghatározása”, majd a 419. oldalon láthatók a „magneticus görbék”. Ezekhez az érdekes, valahonnan szándékosan átmásolt görbékhez hasonlóak ma csak az egyetemi geofizika tankönyvekben fordulnak elő. Sajnos nem sikerült kideríteni, milyen forrásból dolgozott Eötvös, honnan vehették ezeket az érdekes grafikonokat. Még leginkább Gauss és Weber 1840-ben kiadott *Atlas des Erdmag-*

netismus, valamint Alexander Humboldt Kosmos című négykötetes munkájában találhatóak hasonlók, ha nem is ugyanazok. Ezek után tárgyalja Eötvös „a magn. folyadékok eloszlási módját”, majd a „magn. influenza törvényét”. A 438. oldalon tér át „a delejek hordképességének” vizsgálatára, majd a delejek készítésére, s végül még egyszer visszatér a Föld delejező erejére. Nem véletlenül számítjuk ma Eötvös Loránd munkásságától a hazai geofizikai kutatások kezdetét, ez ugyanúgy vonatkozik a Föld mágnességének, mint gravitációjának a vizsgálatára.

Elektricitás

Először is különböző testek „electr.” állapotának összehasonlítására kerül sor. A testek három osztályba sorolhatók: szigetelők, vezetők és félvezetők (!). Megkülönböztetjük az üveg- és a gyanta-elektromos állapotot és máris megjelenik a mérőműszer, az „electroskop”. Az elektromos távolhatás törvénye után következnek az „electricus – pozitív és negatív – folyadékok”, bevezetésre kerül az electricus folyadékegység. (Felírásra kerül a Coulomb-törvény Gauss-rendszerben.) „Az el. folyadékok eloszlása”, majd „Az el. folyadékok sűrűsége” után „Az electricus influenza” (= megosztás), majd „Az electricus gép” következik. A Winter-féle gép bemutatását követően pedig jöhetnek a demonstrációs kísérletek: harangjáték, elektromos szökökút, elektromos Segner-kerék, csúcshatás és villámhárító... „Az electricus influenza” jelenségét is kísérletek igazolják. A kondenzátorok elméletét a „duplicator” és az „electrophor” bemutatása követi, csak ezután kerül elő a „leydeni palack”.

Hosszú út vezet innen a „leydeni batteria” bemutatásáig, sokféle influenciagép, köztük a ma is használatos Holtz-féle gép bemutatásán keresztül. Érdekes kérdésként vetődik fel a kisütés, a „villamszikra” időtartama. Előkerülnek az elektromosság kiegyenlítő hatás kísérő hatásai: hő-, fény-, kémiai, élettani hatásokról esik szó. És ekkor, mint egyik hatás, felvetődik a „magneticus” hatás is, „A villámroham hatása a delejtűre” pedig már az elektromos áram mágneses hatásáról szól. Sőt, itt, a tulajdonképpeni elektrosztatikai tárgyalásban megjelenik már az indukció jelensége is, amint egy feltöltött leydeni palack kisütésekor egy hozzá közel elhelyezett „secunder” körben is szikra tud átvütni... Felbukkan a tekercs is, mint „multiplicator”.

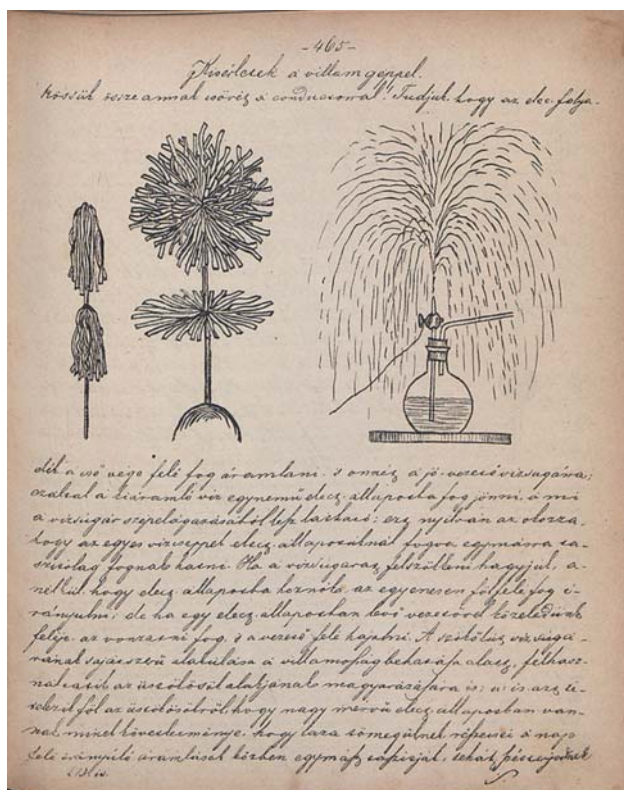
Ekkor, az 515. oldalon kerül sor a „Weber-féle törvény” felírására. Ez a törvény azt állítja, hogy két pontszerű elektromos töltés között ható erő nemcsak e töltések távolságától, hanem egymáshoz képesti mozgásuktól is függ. Olyan fontosnak tartotta Eötvös ezt a törvényt, hogy egyetemi előadásán felírta ennek matematikai alakját, az Akadémián tartott említett előadásában pedig egy * (csillag) alatti kiegészítésben részletesen is kitért rá. Szerencsére *Környei Elek* nem hagyta ki Eötvös Loránd tanulmányának újraközlésekor ezt az apróbetűs kiegészítést, és még *Simonyi*

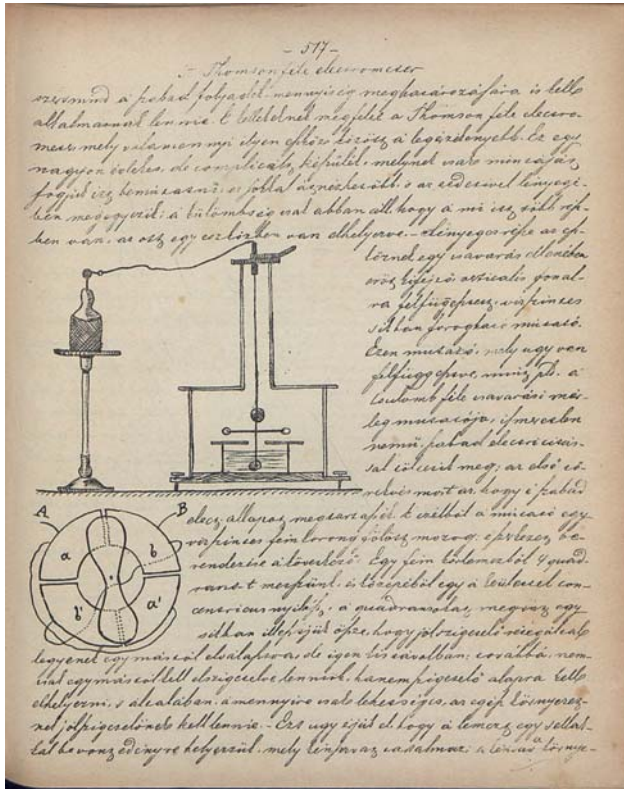


A Winter-féle elec. gép.

Károly is közölte Weber gondolatát *A fizika kultúrtörténete* című, alaposan átgondolt könyvében. Közölte, de hozzátette, hogy hibás. Száz évvel Eötvös előadása után ezt már biztosan lehetett tudni.

Kísérletek a villámgéppel.





A Thomson-féle electrometer.

Eötvös Loránd viszont még hitt benne. Ezt mondta az Akadémián 1877-ben: „Jogosan nevezhetjük a tudomány mai állása szerint Weber törvényét a távolhatás általános törvényének.” Majd így folytatta: „Igaz, hogy újabb időkben érvényességét több oldalról kétségbe vonták, így különösen Helmholtz elvetendőnek nyilatkoztatta, mint az erély megmaradásával ellenkezőt; de maga Weber s különösen a fiatalabb Neumann, ez ellentéteket megcáfolva, még biztosabb alapokra helyezték...” És megadta, most már ** alatt az e vitára vonatkozó legfontosabb értekezéseket: Helmholtzét, Weberét és Carl Neumannét, Franz Neumann elméleti fizikussá lett fiát.

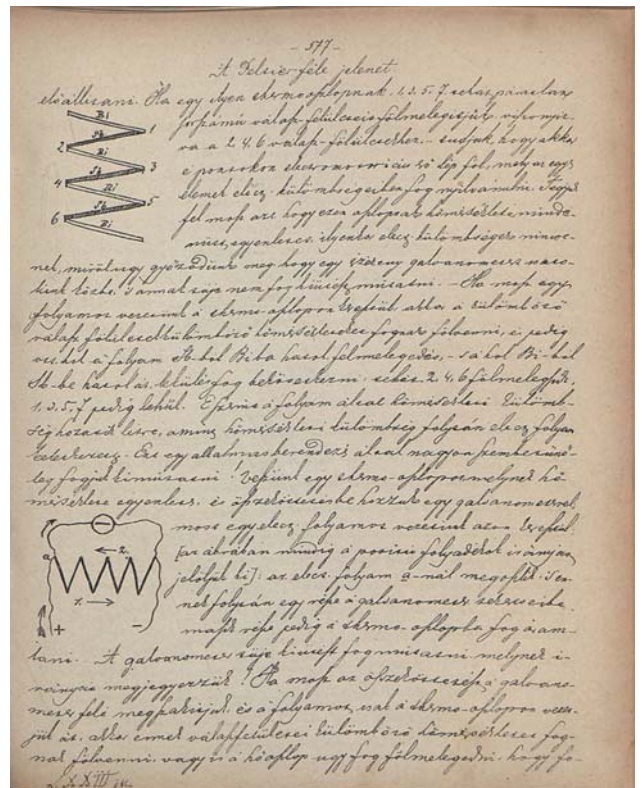
Később még hozzátette az Akadémián felolvasott tanulmányában: „Newton óta nem egy tudós kísérlette meg a két pont közötti erő kifejtését a közben lévő anyagban tovaterjedő mozgásokból magyarázni. * De mi volt a nyereség? Az eredeti feltevés helyett még összetettebb feltevések azon anyagot illetőleg, mely a hatás továbbvitelére szolgáljon.” Ez alatt az újabb * alatt, apróbetűvel pedig ezt olvashatjuk: „Ez irányban legjelentékenyebb James Clerk Maxwell: A treatise on electricity and magnetism, Oxford 1873.” Az ELTE Fizikus Könyvtárában ma is megvan Maxwellnek ez a könyve, benne Eötvös Loránd saját kezű szignójával...

De hogy milyen mélyen beivódott a szemléletbe az elektromágnesség Weber féle „két folyadék” elmélete, arra még két példát említünk. Az egyik, hogy a mágneses indukcióvektor felületi integrálját „fluxusnak”, vagyis magyarul áramlásnak nevezzük. Ez bizony a súlytalan (imponderabilis) mágneses folyadék áramlá-

sára utal! S mint tudjuk, a fluxus mértékegysége a ma is használatos SI rendszerben 1881 óta „weber” – nem véletlenül. A másik, hogy még az 1907/1908-as tanévben tartott *Az elektromosság és mágnesség általános elmélete* című egyetemi előadásában is ezt mondta Fröblich Izidor (Koren Dénes egyetemi hallgató fennmaradt jegyzete szerint): „Mi az elektromosságot a minőségre nem tekintve állapotnak vesszük. Alkalmos képet nyerünk, ha az elektromosságot súly nélküli folyadéknak tekintjük, mely a különböző anyagokban különböző gyorsan mozoghat (vezetők és szigetelők, dielektrikumok).”

Visszatérve az Eötvös Loránd előadása alapján készült jegyzetre, e jegyzet 517. oldalán kerül sor a „Thomson-féle electrometer” bemutatására. Ezt Budó Ágoston *Kísérleti fizika* tankönyvének II. kötetében kvadráns elektrométernek nevezi, de megemlíti, hogy Thomson találta fel 1860-ban. A légköri villamosság és a villámhárító működésének részletes elemzése után kerül sorra az „érintkezési villamosság”, de csak az 542. oldalon jelenik meg „Volta oszlopa” és az 560. oldalon kerülnek elő a „Stationar folyamatok”. Az „Electromotoricus erő”, majd a „Galvanismus” után a „Galvanometerek”, „Az Ohm-féle törvény”, majd „A Kirchhoff-féle tételek” következnek. Az 571. oldalon jutunk el „a rohamerősség meghatározásához”, majd néhány oldallal később „az electricus folyam hőhatásaihoz”. Ehhez kapcsolódóan kerül elő „A Peltier-féle jelenet”, és ennek alkalmazásaként „A villamos hőmérő”. Az „elektromos folyamatok” – más helyen „villamrohamok” – vegytani elméletét a „galvanicus elemek”, köztük a „Daniell-féle elem” bemutatása követi.

A Peltier-féle jelenet.

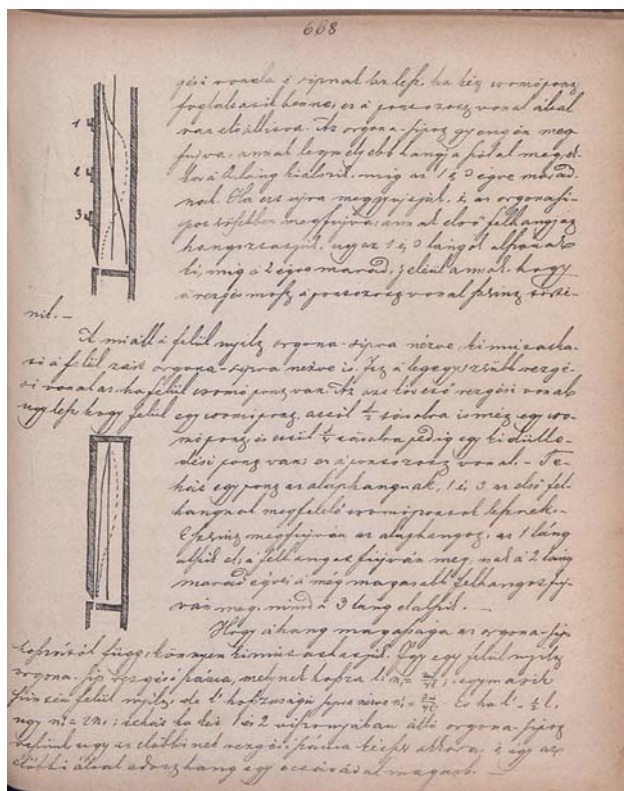


Az áramok kölcsönhatását *Ampère* nyomán tárgyalja Eötvös, fel is ír egy elég bonyolult térbeli összefüggést két áramelem kölcsönhatására, ezt azután „electrodynamikai alaptörvénynek” nevezi, és igyekszik összefüggésbe hozni a Weber-törvénnyel. Az egész gondolatmenet megérdemelne egy külön diszkusziót. Az elektromágnesek tárgyalása után áttekintést ad az elektromotorokról, majd a jegyzet 610. oldalán megjelenik „Az electromagneticus inductio”. Kiemelt figyelmet kap a Lenz-törvény, alkalmazását tekintve pedig a szikrainduktor. Ennek révén kerülnek elő a Geissler-csővek, amelyekkel valószínűleg hatásos demonstrációs kísérleteket lehetett bemutatni, s az egész elektromosságtant a Gramme-gép működésének diszkusziója zárja. Sajnos Jedlik Ányos nevét, találmányait a fiatal, pályakezdő Eötvös Loránd nem említi meg.

Hangtan

Első pillantásra meglepőnek tűnik, hogyan kerülhetett ilyen későre a hangtan tárgyalása, elkülönítve a mechanikától. Megfigyelve azonban a tananyag elrendezését a két félév között, jól látszik, hogy Eötvös mindkét félév első kétharmad részét egy-egy nagyobb témára szánta, s a megmaradó egyharmad részt fordította valamilyen ugyancsak fontos, de a fő témánál rövidebben elintézhető másik témára. Így került az első félév utolsó harmadára a hőtan, a második félév befejező harmadára pedig a hangtan és a fénytán. Ha a hangtan is az első félévre került volna, akkor a hőtant félbe kellett volna szakítani a félév végén, s a második félévet kezdeni a hőtan elmaradt részének pótlásával. Más, szakmai indok is felhozható a hangtan és a fénytán kiemelten egymás melletti tárgyalása mellett: mindkettő valamilyen módon a rezgéstanra épül, ezért elég sok közös vonást mutat – egyik segíthet megérteni a másikat. És van még egy szempont, amely talán leginkább vezette Eötvöst a tananyag ilyen elrendezésében: mind a hangtant, mind a fénytant Heidelbergben Helmholtz adta elő, ő szerettette meg a fizika ezen részeit Eötvös Loránddal.

Azon is látszik Helmholtz hatása, hogy Eötvös itt valamivel kevesebb időt fordít a demonstrációs kísérletezésre, és jobban elmerül az elméleti megfontolásokban. A hangsebesség tárgyalásánál hangsúlyozza a hőmérséklettől, levegőben pedig még a páratartalomtól való függést is, de mérést nem végez, csupán Párizsban végzett mérésekre hivatkozik. A hangforrások tárgyalását a szirénával kezdi, és nem maradhatnak el a hangvillák sem, „ráhangzó készülékekkel” együtt. A húrok rezgéseit monochordon elemzi, a hangmagasság tárgyalásánál azonnal rátér a zenei hangok („dur scala”) és hangközök (oktáv, quint, quart stb.) ismertetésére, felírja a rezgésszámok kis egész számokkal kifejezhető arányait. Amikor rátér a nyitott és zárt sípok tárgyalására, külön elemzi az orgona hangjait, a sípokban kialakuló állóhullámokat. A rezonancia tárgyalásánál többféle rezonátort is megemlít, köztük a nevezetes Helmholtz-féle rezonátorokat. A csövekben kialakuló álló-



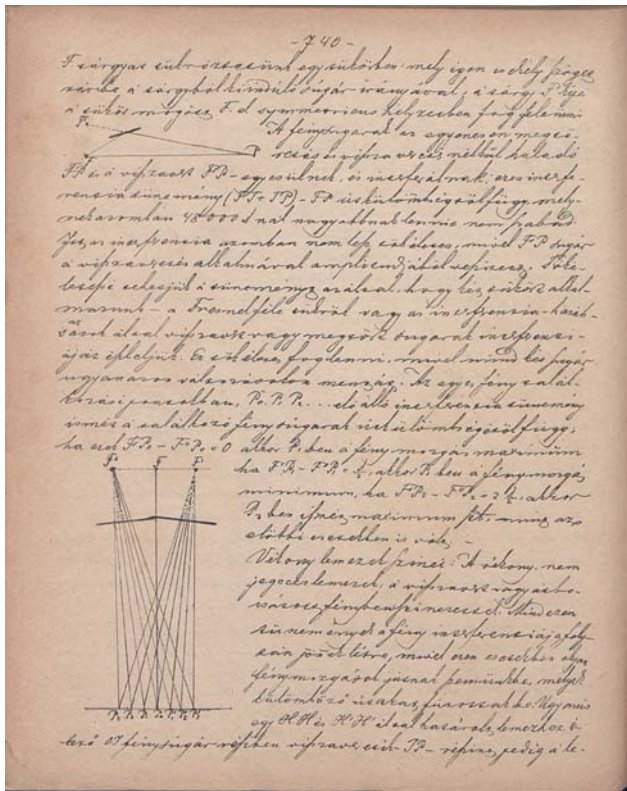
Hangtan – sípok.

hullámok demonstrálására a „König-féle manometrikus lángot” használja. Előkerül a hanglebegés jelensége is, ezt Eötvös találoan lüktetésnek nevezi. Részletesen beszél az emberi hangképzésről, majd az egész tárgykör befejezéseként arról, hogyan változik meg az észlelt hang magassága, ha a hangforrás közeledik felénk, illetve távolodik tőlünk. *Doppler* nevét sajnos nem említi, de a megfelelő formulákat levezeti.

Fénytan

E fejezet stílusa teljesen más, mint az előzőé. A hangtanról szóló rész folyamatosan írt szöveg, ritkán találunk benne képleteket, még bekezdéseket is alig, alcímeket pedig egyáltalán nem. A fénytán sokkal jobban áttekinthető, olvasását alcímek és bekezdések könnyítik meg, közben elég sok ábra, képlet, matematikai diszkuszió jelenik meg benne.

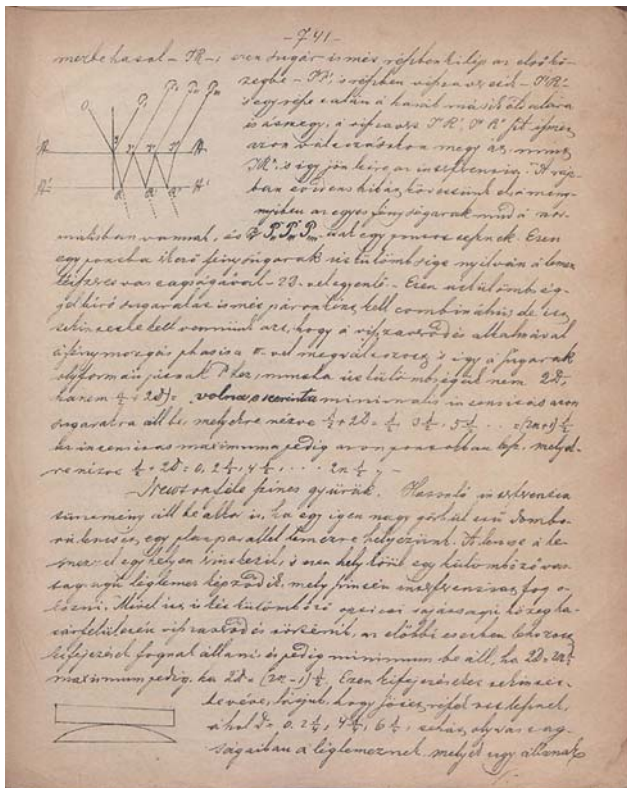
A fénysebesség mérését több forrásra hivatkozva, de csak röviden tekinti át Eötvös, nevezetesen *Römer*, *Bradley*, *Fizeau*, *Foucault*, *Cornu* módszerének és a kapott eredmények felidézésével. A fény intenzitásának kvalitatív mérésére *Rumford* és *Bunsen* fotometriai eljárását említi. A síktükör tárgyalását a gömbtüköré követi. Eötvös bevezeti a virtuális kép fogalmát, közelítő számítással határozza meg a gömbtükör fókusztávolságát. A fénytörés bevezetésekor a fénysugarat planparallel lemezek sorozatán vezet keresztül, kísérletekre hivatkozva definiálja a törésmutatót anélkül, hogy *Snell* vagy *Descartes* nevét megemlítené. Ezután tárgyalja a „hasáb” fénytörését. Mi lehet ez a hasáb? A prizma! A



Fénytan.

lencsék leképezését tárgyalva kitér a lencsehibákra is. A szem külön fejezetet kap, amelyet a nagyító és a mikroszkóp tárgyalása követ. Feltűnő, hogy a távcsövekre nem kerül sor. Erre nincs más magyarázat, mint az,

Newton-féle színes gyűrűk.



hogy a hallgatók számára külön csillagászati előadás lehetett a tanrendben, amelyen minden bizonnyal részletesen szerepeltek a különböző távcsövek – itt pedig vérszenes fogyott a tanévből még hátra lévő idő.

A fizikai optika tárgyalását a diffrakcióval kezdi Eötvös Loránd, majd az interferenciával folytatja. Matematikailag tárgyalja az azonos frekvenciájú, de különböző fázisállandójú rezgések összetételét, megmutatja, hogyan függ az eredő amplitúdó a fáziskülönbségtől. Csak ez után következik Huygens elve. Fresnel nevét itt még nem említi, de természetesnek veszi, hogy „hullámelemek” találkozásoként keletkeznek például a diffrakciós sávok. Fresnel neve az általa feltalált, kettős tükrös adta interferenciakép kapcsán kerül elő. A vékony lemezek színeinek magyarázatát a Newton-gyűrűk tárgyalása követi. Nem említi Eötvös, hogy ennek bemutatására Párizsból vásárolt eszköz áll rendelkezésére, de az egyetem szerencsére megőrizte ezt az eszközt és ma is megtekinthető a demonstrációs laboratórium féltve őrzött kincsei között.

Nagyon érdekes, hogy Eötvös Loránd végig „fényrezgésekről” beszél, az éter szót ki se ejti a száján. A mai olvasó számára is elgondolkodtatók lehetnek a jegyzet utolsó mondatai, amellyel Eötvös befejezte az előadást:

„...A rezgési elméletet nem kell úgy tekintenünk, mint az egyedül lehető, hanem mint egyikét a lehetséges elméleteknek, mely a tudomány mai álláspontjának legjobban megfelel. De nagyon téves törekvés az, ha a fénytant rezgéstannak akarják nevezni, mivel sikerül ugyan a tünetényeket az aether rezgéseivel kimagyarázni, de a feltevések, melyeket elfogadnunk kellett, kétségessé teszik azt, hogy a rezgési elmélet a fénytünetények igaz magyarázatát adná.”

Az az *Általános Kísérleti Természettan* jegyzet, amelyet a fentiekben áttekintettünk, Eötvös Loránd 1870-es években tartott előadása alapján készült. Húsz év múlva Eötvös (és a világ) már többet tudhatott az elektromágneses jelenségekről, a 80-as évek végén és a 90-es években váltak a Maxwell-egyenletek és Lorentz munkái a szakmában közismertekké. Simonyi Károly szerint „Maxwell egyenletei ugyancsak nehezen váltak a kortárs fizikusok mindennapos elméleti eszközévé annak ellenére, hogy a legnagyobbak közülük megsejtették benne az egész klasszikus elektrodinamika végső szintézisét”. Fontos volt Heinrich Hertz munkássága, akinek sikerült a Maxwell-egyenleteket könnyebben érthető matematikai nyelven megfogalmaznia, kísérletileg pedig 1886-ban a Maxwell-elméletből következő elektromágneses hullámok létét bebizonyítania. Az éter koncepció tarthatatlanságát Michelson és Morley kísérlete (1887) és Einstein relativitáselmélete (1905) bizonyította be.

A jegyzet pedig, amely Eötvös 1870-es évekbeli fel fogását tükrözi, szerencsére az ELTE rektora támogatásával, az Eötvös-év kapcsán, az Egyetemi Könyvtár tulajdonába került, sőt, digitalizálták is. Hozzáférhető, szabadon kutatható, erre akar ösztönözni, bátorítani ez a cikk is.