

Hőtan előadás

Kurzuskód:	FBN203E-1
Tantárgykód:	FBN203E
Tanszék:	<u>Kísérleti Fizikai Tanszék</u>
Előadó:	Dr. Bohus János
Kredit:	3
Félév:	2.
Heti óraszám:	2+1
Előfeltétel:	Mechanika
Követelmény:	K, G

Ajánlott irodalom:

- Budó: Kísérleti Fizika I. kötet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
- Bor Pál: Fizika III. Hőtan, Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
- Litz József: Általános fizika, Hőtan, Dialóg Campus kiadó, Pécs, 2001.
- Tichy Géza, Kojnok József: Kísérleti Fizika, Hőtan, Typotex Kiadó, Bp., 2002.
- Atkins P. W.: Physical Chemistry, Oxford University Press, Oxford 1990
- Kurt Mendelssohn: Az abszolút zérus fok, Gondolat Kiadó, Bp., 1983.
- Tom Shachtmann: Az abszolút zérus és a hideg meghódítása, Magyar Könyvklub 2002.

A TANTÁRGY RÉSZLETES TEMATIKÁJA

*„A termodinamika nem egyszerűen hőtan,
hanem a fizika igazi alapja.” G. Falk)*

A kurzusról

A Hőtan tantárgy a Kísérleti fizika alapkollégium részeként kerül meghirdetésre. Az előadás a középiskolai ismeretek mellett az alapképzés Mechanika kurzusának tananyagát is felhasználja. Feldolgozási módszere a jelenségek kísérleti bemutatása, a termodinamikai folyamatok elsősorban fenomenológikus tárgyalása. A demonstrációs kísérletek mellett számítógépes szimulációk, videofilmek segítik a folyamatok elemzését (a tananyag leírásában ezeket *megkülönböztetett betűtípussal* jelöltük). A tematikához szorosan hozzátartozik a tananyagban szereplő legfontosabb fogalmak, törvények gyűjteménye, amelyhez a hallgatók a kurzus kezdetétől hozzájutnak a <http://www.physx.u-szeged.hu/modszertan/index.htm> címen. Ugyancsak itt elérhető a kollokviumi tételsor és a tematika. Az előadások anyagában hangsúlyos szerepet kap a termodinamika fő tételeinek, törvényeinek a természeti, technikai környezetünkben történő alkalmazása. Az előadáshoz szorosan kapcsolódó gyakorlaton az előadási ismeretek alkalmazására kerül sor, elsősorban számítós feladatokat oldanak meg a hallgatók.

Hőmérséklet, hőmérők: a hőmérséklet fogalom kialakulása (szubjektív hőérzet), fejlődése. A hőmérsékletmérés elvi kérdései (nincs halmazállapot változás, nincs kémiai reakció). A hőmérsékletmérés feltételei: a testek mérhető tulajdonsága változik a hőmérséklettel (pl. sűrűség, térfogat, nyomás, elektromos tulajdonság, rugalmassági állandó, törésmutató, szín, ...stb.), termikus egyensúly alakul ki, előállíthatók jól reprodukálható hő-állapotok (fix-pontok). Empirikus (tapasztalati) hőmérsékleti skálák (Galilei: 1592, II. Ferdinand Medici toszkán herceg: 1657, Amontons: 1703, Fahrenheit: 1720, Celsius: 1741, Kelvin: 1848) nemzetközi hőmérsékleti skála (International Practical Temperature Standards), jellegzetes alappontok, a hőmérséklet SI egysége. A termodinamika 0. főtétele, a termodinamikai egyensúly, mint ekvivalencia reláció (C. Carathéodory, 1909). A különböző *hőmérő típusok bemutatása*: folyadékos hőmérők, maximum-minimum hőmérők, gázhőmérő, fémeket tartalmazó hőmérő, az elektromos tulajdonság változásán alapuló hőmérők (termoelem, ellenállás-hőmérő, félvezetők, termisztor-típusok), különleges hőmérők: hőmérséklet változást jelző festékek, koleszterikus folyadékkristályok, termocolor vegyületek, Seger-gúlák, kvarckristály, infrasarkan hőmérséklet mérés, termogramok (hőfényképek) bemutatása, készítése, optikai pirométerek.

Szilárdtestek és folyadékok hőtágulása: kondenzált rendszerek állapot-egyenletei. Az állapotegyenlet, állapotváltozók bevezetése, extenzív és intenzív állapotváltozók, a termodinamikai rendszer fogalma, fajtái. Homogén izotróp szilárd testek hőtágulása. A *lineáris és a térfogati hőtágulás bemutatása kísérlettel*, a hőtágulási együttható függése az anyagi minőségtől. A hőtágulás értelmezése a potenciális energia-függvény segítségével, a hőtágulás gyakorlati alkalmazásai. Az izotermikus kompresszió modulus és az izobar *hőtágulási együttható mérése*. Tyndall féle kísérlet az összehúzódásnál (hűtésnél) fellépő feszültség (erő) bemutatására („vas-törő”). A $V=V(p,T)$ állapotegyenlet alakja szilárd testek és folyadékok esetében. A *folyadékok hőtágulásának kísérleti bemutatása, pl.: petróleum, víz, alkohol, benzin hőtágulásának összehasonlítása*. Folyadékok hőtágulási együtthatójának (β) mérése, Dulong-Petit módszere. A víz különleges viselkedése.

Ideális gázok, a termikus állapotegyenlet: Állapotváltozók, folyamat jellemzők, kvázisztatikus folyamatok, speciális folyamatok. Gázok hő okozta térfogat és nyomás változása, *izotermikus, izochor, izobar állapotváltozások kísérleti vizsgálata*. Boyle-Mariotte törvénye (1662), Gay-Lussac törvényei (1802). Az egyesített gáztörvény, Avogadro törvénye, a mol, mint az anyagmennyiség egysége, az R univerzális gázállandó bevezetése. Az ideális gáz modellje, megközelítése, tulajdonságok. Az ideális gázok termikus állapotegyenlete $f(p,V,T,n)=0$ grafikus ábrázolás a p-V síkon, jellegzetes folyamatok ábrázolása, *számítógépes illusztráció*. Az állapotváltozók közötti differenciális összefüggések. A reális gázok állapotegyenlete, a reális gázok viselkedését egyre pontosabban leíró elméletek áttekintése, kompresszibilitási együttható, viriál-együtthatós egyenletek, a nyomáskorrekció (a/v^2) és a térfogati korrekció

(b) bevezetése, számítógépes szimuláció (SOPE3) reális gázok, gőzök viselkedésének (pl. a széndioxid) tanulmányozására.

A termodinamika első főtétele: kísérleti tapasztalatok a belső energia változtatásra, a „kinetikusok” és a „calorikusok” gondolatmenetei, (Joseph Black (1728-1799), B. Thompson (Rumford grófja) az „ágyúfűró” (1810), H. Davy, a „jégdörzsölő” (1819), Robert Mayer a „hajóorvos (1841), J.P. Joule, a „serföző” (1841-45), H. Helmholtz (1847)), a hő és a mechanikai munka kapcsolata. Az első főtétel megfogalmazása, ($\Delta E=Q+W$), a belső energia, mint állapotváltozó, a hőmennyiség (Q) és a munka (W) mint energia transzportfajta, folyamat jellemzők definiálása. Az I. főtétel differenciális alakja, a hőkapacitás, fajhő bevezetése, kalorimetria. *Kísérletek különböző kaloriméter típusokkal* (súrlódásos, keverési), a kaloriméter vízértéke, *fajhő mérési módszerek* szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú anyagok esetén. *Kísérlet a Tyndall-csővel*, Joule kísérletének reprodukálása, számítógépes szimuláció. Az entalpia (hőtartalom), mint extenzív állapotfüggvény bevezetése. Az ideális gáz belső energiája és entalpiája. A két féle fajhő. *Gay-Lussac kísérlete*. Az első főtétel különböző megfogalmazásai, az első fajú peripetum mobile.

Valódi gázok belső energiája: állapotegyenlet alakja reális gázoknál, a belső energia változása, Joule-Thomson kísérlete (1853), izentalp változás, a fojtás szerepe, inverziós hőmérséklet értelmezése, *kísérleti bemutatás széndioxid esetén*. A jelenség hasznosítása gázok cseppfolyósításánál.

Ideális gázok speciális állapotváltozásai: a termodinamika első főtételének alkalmazása. Izotermikus, izochor, izobar és adiabatikus állapotváltozások energetikai jellemzése, az I. főtétel speciális alakjai, a folyamatok ábrázolása a p-V síkon. Az adiabatikus állapotváltozás részletes vizsgálata, Poisson egyenletek, *kísérlet a pneumatikus tűzszerszámmal*, adiabatikus tágulás és összenyomás a gyakorlatban (motorok). A κ kompresszibilitási tényező meghatározása különböző módszerekkel, a Clement-Desormes módszer részletezése.

A Carnot-féle körfolyamat: a hő munkává alakításának igénye a XIX. században, „hőanyag” elmélet. A nagy ötlet: körfolyamat, kvázisztatikus részfolyamatokból (két izotermikus, két adiabatikus), a folyamatok jellemzése hőfelvétel és munka végzés szempontjából. A folyamat ábrázolása a p-V síkon, *számítógépes szimuláció*. A körfolyamat termikus hatásfoka, a termodinamikai hőmérsékleti skála, jellemzése. A redukált hő fogalmának bevezetése, Clausius egyenlőség. Direkt, indirekt Carnot-gép, Clausius-gép, Kelvin gép, *hőerőgéptípusok bemutatása működő modellekkel*, hőszivattyúk. Jellegzetes periódikus folyamatok, belső és külső égésű motorok (Stirling (1816), Otto (1876), Diesel, (1892), gyakorlati vonatkozások.

A termodinamika II. főtétele: a természeti folyamatok irányáról, reverzibilis, irreverzibilis folyamatok, az entrópia, mint extenzív állapotváltozó bevezetése, reverzibilis, irreverzibilis körfolyamat jellemzése, Clausius egyenlőtlenség, az entrópia növekedés elve. A II. főtétel matematikai megadása,

különböző fenomenológikus megfogalmazások (Kelvin, Clausius, Planck). A Gibbs-féle fundamentális egyenletek, a termodinamikai egyensúly feltételei, újabb állapothatározók, a szabad energia és szabad entalpia bevezetése, Gibbs-Helmholtz egyenletek. A termodinamika III. főtétele (Nernst, 1906, Planck (1911)

„A második főtétel, különösen statisztikus megfogalmazásban, a természettudomány legnagyobb hozzájárulása az emberi szellem felszabadításához.” Peter W. Atkins

A kinetikus gázelmélet, a statisztikus fizika elemei: a nyomás, a hőmérséklet statisztikus értelmezése, az ideális gáz korpuszkuláris modellje, *modell-kísérletek*, (légpárnás asztal, rázógép) *számítógépes szimulációk* a makroszkópikus tulajdonságok mikroszkópikus értelmezésére. Kísérleti tapasztalatok, a *Brown mozgás vizsgálata*. A gáz-részecskék sebességének mérése, (Stern, Eldridge-Lammert módszere) a Maxwell-féle sebesség eloszlás. A Boltzmann állandó bevezetése, az ideális gáz állapotegyenletének statisztikus értelmezése, alakja. A Boltzmann állandó mérése. Az ekvipartíció tétele, a szabadsági fok fogalma. A hőkapacitás elméleti, kísérleti adatai, a Dulong-Petit szabály, eltérések, új utakra kényszerítő tapasztalatok. A II. főtétel statisztikus értelmezése, a termodinamikai valószínűség, makro- és mikroállapot fogalma, az entrópia statisztikus értelmezése. A Boltzmann eloszlás, a barometrikus magasságformula, szedimentáció. Ingadozási jelenségek, a Brown mozgás statisztikus értelmezése, közepes szabad úthossz, hatáskeresztmetszet fogalma.

Transzport jelenségek: a makroszkópikus inhomogenitás kiegyenlítődni igyekszik, az extenzív állapothatározót tartalmazó áramsűrűség arányos a folyamatért felelős intenzív állapothatározó megváltozásával. L. Onsager törvénye. Belső energia átvitel (pl. hővezetés), impulzus átvitel, (pl. belső súrlódás), anyag átvitel (pl. diffúzió) vizsgálata. A diffúzió jellemzése, *kísérleti megfigyelések* (bróm-levegő, rézszulfát-víz), *számítógépes szimuláció*, stacionárius és nem stacionárius diffúzió, a diffúziós együttható függése a hőmérséklettől, az anyagi minőségtől, Fick I. és II. törvénye. A termodiffúzió bemutatása, a diffúzió gyakorlati alkalmazása, szerepe az élő szervezetekben. Az ozmózis, mint speciális diffúzió. Az *ozmózisnyomás kísérleti szemléltetése*, Van't Hoff törvénye (1885). Az ozmózis szerepe az élő szervezetben, a természetben, *kísérletek vízüvegoldattal*.

Halmazállapot változások: fázisátalakulások osztályozása, példák elsőrendű és másodrendű fázis átalakulásokra. Jellegzetességük: az intenzív mennyiség (állapothatározó) változásával az extenzív mennyiség ugrásszerűen változik. Fázisegyensúly, átalakulási hő értelmezése. Olvadás (fagyás) jelensége, *melegedési görbe felvétele* szalól esetén, olvadáshő meghatározása (jégkaloriméter). A Clausius-Clapeyron egyenlet. Az olvadás korpuszkuláris értelmezése, a víz különleges viselkedése. A *regeláció jelensége*, az olvadáspont nyomás függése. Párolgás, forrás, szublimáció vizsgálata, párolgás zárt térben, *kísérlet krioforral*, telített, telítetlen gőzök különleges viselkedése. A párolgási

sebesség vizsgálata. Forralás melegítés nélkül, a forráspont nyomás függése. *Kísérletek széndioxiddal*, fázisdiagramok felvétele, jellegzetes görbéi: p-V, p-T síkon, p-V-T fázistérben való ábrázolás, *számítógépes szimuláció*. A hármaspont, a kritikus állapot jellemzése, *kísérleti vizsgálata víz, széndioxid, bután esetén*. Szublimáció vizsgálata jóddal, széndioxiddal. Lecsapódás (kondenzáció), ködképződés kísérleti vizsgálata, opaleszkálás (széndioxid sűrűségingadozás), ködkamra (alfa részecskék kimutatása) bemutatása. Polimorf átalakulások, elegyek, oldatok vizsgálata, híg oldatok forráspontjának, fagyáspontjának változása a koncentrációval, *kísérlet „emlékező” műanyaggal*.

Alacsony hőmérsékletek előállítása: Az alacsony hőmérsékletek előállításának különböző lehetőségei: hőmérséklet kiegyenlítődé, hűtőkeverék alkalmazása, párolgás, indirekt Carnot körfolyamat, Peltier-hatás, adiabatikus lemágnesezés, nukleáris hűtés. Kompressziós hűtőgépek. Gázok hűtése tágulással, a Joule-Thomson effektus alkalmazása, a Linde-féle (1895) levegő-cseppfolyósítási eljárás elve, kaszkád módszer, gyakorlati megvalósítás. *Kísérletek cseppfolyós nitrogénnel*, a szupravezetés termodinamikájáról, *a Meissner effektus bemutatása magas hőmérsékletű szupravezetővel*.

A hő terjedéséről: a hővezetés (belső, külső), mint a termikus energia transzportja, a stacionárius hővezetés *kísérleti vizsgálata*, a Fourier-féle hővezetési egyenlet (1811), a hővezetési együttható (λ) értelmezése, a nem stacionárius hővezetés. A Newton-féle lehülési törvény, a hőmérséklet csökkenés exponenciális jellege. A hő áramlás (konvekció) vizsgálata, termikus energia és anyag transzport, *kísérletek sűrűségváltozásra, hőcirkulációra folyadékok, gázok esetén*. A hőkonvekció matematikai leírása, az α hőátadási tényezőt befolyásoló paraméterek. Hőáramlás a gyakorlatban, központi fűtés, hőszigetelés, szél, tengeri áramlatok létrejötte. A hőszugárzás kísérleti megfigyelése, termoszkópok, radiométer. A hőmérsékleti sugárzás szerepe a modern fizika kialakulásában, a Stefan-Boltzmann törvény , $\frac{\Delta Q}{A\Delta\tau} = \varepsilon\sigma T^4$

az emissziós tényező, mint a kibocsátástól, illetve az elnyelő tulajdonságoktól függő tényező elemzése. Példák a hőszugárzás gyakorlati alkalmazására. A Nap hősugarai, üvegházhatás, bemutatása modell-kísérlettel.