

<http://ael.physic.ut.ee/tammet/soojus>

2002. a. kevadsemester

Füüsika üldkursuse kolmas osa

# Soojusõpetus

(Thermal Physics)

Õppeaine FKKF.03.022, 3.5 AP

Professor Hannes Tammet

**16 kahetunnilist loengut: 12. märts - 09. mai 2002. a.**

**Esimene kontrolltöö: 04. aprill 2002. a.**

**Referaadi teema: Elamu soojamajandus  
füüsiku vaatekohalt**

**Referaadi tähtaeg: 30. aprill 2002. a.**

**Teine kontrolltöö: 07. mai 2002. a.**

**Järeltöö: 16. mai 2002. a.**

**Eksam (esimene katse): 30. mai 2002. a.**

**Eksam (viimane katse): 20. juuni 2002. a.**

# 1. SISSEJUHATUS

## 1.1. Töökorraldus

Loengutest osavõtt on formaalselt vabatahtlik, kontrolltööd aga kohustuslikud. Kontrolltöö ajal peab kaasas olema isiklik kalkulaator.

Teadmiste põhiallikaks on raamatud. Loengute eesmärk on aidata õpitavast aru saada ja harjutustundide eesmärk õpetada teadmisi kasutama. Arusaamise aitamine ühtaegu teadmisi omandamata pole tulus. Tegevusplaan, et algul kuulame ära loengud ja enne eksamit hakkame raamatuid lugema, lõpeb reeglina läbikukkumisega. Loengute kuulamine ilma paralleelse õppimise ja raamatute lugemiseta osutub peaaegu et raisatud ajaks ja täiesti iseseisev õppimine hiljem märksa suuremaks tööks kui loengutega paralleelne õppimine.

Erandiks on loengute teine peatükk, milles esitatut ei ole esimese aasta üliõpilasele jõukohastest raamatutest võimalik leida. Teiste peatükkide materjal on (väheste eranditega) erinevates õpikutes esitatud kas ligikaudu samal tasemel või põhjalikumalt kui meie loengukavas. Raamatutest õige koha otsimine on igapähe enda ülesanne. See oskus väärrib ja vajab harjutamist.

## 1.2. Kursuse kava

Järgnev kava võib loengute käigus vähesel määral muutuda, täpsustuva kava tundmine on kohustuslik ka loengult puudunuile. Kõige olulisemad alalõigud on kavas alla kriipsutatud, neid peavad eksamil oskama ka hindegga E leppivad üliõpilased ehk *e-tudengid*.

### 1. SISSEJUHAATUS

### 2. FÜÜSIKALISE SUURUSE MÕISTE

2.1. Mõõtmisteooria. 2.2. Loodus ja mudel. 2.3. Ekvivalentsi mõiste. 2.4. Fundamentaalne füüsikaline suurus. 2.5. Füüsikaline liitmine. 2.6. Homomorfism ja isomorfism. 2.7. Aditiivne füüsikaline suurus. 2.8. Arhimedese protseduur. 2.9. Mõõtskaalad. 2.10. Tuletatud füüsikalised suurused. 2.11. Loodusseadused ja kokkulepped.

### 3. ENERGIA JA SOOJUSHULK

3.1. Termodünaamiline süsteem ja termodünaamilised protsessid. 3.2. Mehaanilise energia mittejäävus ja energia ülekandevormid. 3.3. Kalorimeetria ja soojushulga mõiste. 3.4. Soojuse ja töö varude individuaalse määratlemise võimatus.

3.5. Termodünaamika I seadus. 3.6. Siseenergia ja termodünaamika esimese seaduse võrrand. 3.7. Soojushulga mõiste degradeerimine.

## **4. TEMPERATUUR**

4.1. Termodünaamiline tasakaal. 4.2. Temperatuuri mõiste. 4.3. Termodünaamika teine seadus. 4.4. Paisumistermomeetrid. 4.5. Ideaalne gaas. 4.6. Gaastermomeeter ja Clapeyroni võrrand. 4.7. Soojusjõumasin, soojapump ja pööratav soojusmasin. 4.8. Teist liiki perpetuum mobile. 4.9. Termodünaamika teise seaduse käsitlusi. 4.10. Carnot teoreem. 4.11. Pööratava soojusmasina kasutegur. 4.12. Kahe pööratava soojusjõumasina kompositsioon. 4.13. Termodünaamiline temperatuuriskaala. 4.14. Termodünaamika kolmas seadus. 4.15. Praktilised temperatuuriskaalad

## **5. HOMOGEENSE SÜSTEEMI TERMODÜNAAMIKA**

5.1. Homogeense süsteemi kirjeldamine. 5.2. Olekudiagrammid. 5.3. Isotermiline protsess. 5.4. Isokooriline protsess. 5.5. Isobaariline protsess. 5.6. Robert Mayeri võrrand. 5.7. Joule'i katse. 5.8. Robert Mayeri mõtteline katse. 5.9. Adiabaatiline protsess ja Poissoni võrrand. 5.10. Carnot' masin. 5.11. Carnot' masina kasutegur. 5.12. Clement'-Desormes'i katse. 5.13. Polütroopne protsess. 5.14. Helikiirus. 5.15. Isotermiline baromeetriline valem. 5.16. Atmosfääri konvektsioon. 5.17. Kuivadiabaatiline temperatuurigradient. 5.18. Kuivadiabaatiline

baromeetiline valem. 5.19. Taandatud soojushulk ja Clausiuse võrratus.  
5.20. Termodünaamilised potentsiaalid. 5.21. Entroopia. 5.22. Entroopia kasvu seadus. 5.23. Entalpia. 5.24. Vabaenergia.

## **6. GAASI MOLEKULAARKINEETILINE MUDEL.**

6.1. Atomaar-molekulaarmudeli päritolu. 6.2. Elektronmikroskoopia. 6.3. Osakeste joa rõhk. 6.4. Gaasi rõhu lihtsustatud arvutus. 6.5. Mitme joa ühisrõhk. 6.6. Gaasi rõhu täpsustatud arvutus. 6.7. Ideaalse gaasi olekuvõrrandi molekulaarkineetiline kuju. 6.8. Temperatuuri molekulaarkineetiline tõlgendus. 6.9. Molekulide kiirused. 6.10. Sterni katse. 6.11. Energia jaotus vabadusastmete järgi. 6.12. Molekulide vabadusastmete arv. 6.13. Gaasi siseenergia ja soojusmahtuvused. 6.14. Soojusmahtuvuste teooria katseline kontroll. 6.15. Eksperimentaalsete soojusmahtuvuste seletus kvantühüpoteesi abil. 6.16. Skalaarse juhusliku suuruse tõenäosusjaotus. 6.17. Boltzmanni jaotus. 6.18. Perrin'i katse. 6.19. Molekuli kiiruse tõenäosusjaotus. 6.20. Maxwelli jaotus kiiruse komponendi jaoks. 6.21. Maxwelli jaotus kiirusvektori jaoks. 6.22. Maxwelli jaotus kiiruse mooduli jaoks.

## **7. ÜLEKANDENÄHTUSED GAASIDES**

7.1. Ülekandenähtuste olemus. 7.2. Ülekandenähtuste võrrandid. 7.3. Molekulidevahelised jõud. 7.4. Molekulide pörkeristlõige ja vaba lennu tee. 7.5. Difusioon.

7.6. Sisehõõre. 7.7. Soojusjuhtivus. 7.8. Ülekandetegurite omadused.  
7.9. Primitiivse mudeli vead. 7.10. Molekulide mõõtmed. 7.11. Osakeste liikuvus ja difusioon. 7.12. Termodifusioon. 7.13. Vaakumi omadused.

## **8. FAASID JA AGREGAATOLEKUD**

8.1. Faasi ja agregaatoleku mõisted. 8.2. Van der Waalsi võrrand. 8.3. Van der Waalsi isotermid ja gaasi kriitilised parameetrid. 8.4. Reaalse gaasi isotermid, agregaatolekud ja kriitiline olek. 8.5. Metastabiilsed olekud ja kriitiline olek. 8.6. Van der Waalsi gaasi siseenergia. 8.7. Joule'i-Thomsoni efekt. 8.8. Gaaside veeldamine ja krüogeenika. 8.9. Vedeliku pindpinevus. 8.10. Tilgad ja mullid. 8.11. Märgamine ja kapillaarsus. 8.12. Kristalli struktuur. 8.13. Kristalli soojusmahtuvus. 8.14. Faasisiirded. 8.15. Clapeyroni ja Clausiuse võrrand. 8.16. Küllastatud auru omadused. 8.17. Faasidiagramm ja kolmikpunktid.

## **ORIENTEERIV AJAKAVA**

- 12. märts: peatükid 1 ja 2
- 14. märts: peatükk 3
- 19. märts: peatükk 4 p. 1–9
- 21. märts: peatükk 4 p. 10–15
- 26. märts: peatükk 5 p. 1–8
- 28. märts: peatükk 5 p. 9–15
- 02. aprill: peatükk 5 p.16–24
- 04. aprill: esimene kontrolltöö
- 09. aprill: peatükk 6 p. 1–8
- 11. aprill: peatükk 6 p. 9–16
- 16. aprill: peatükk 6 p. 17–22
- 18. aprill: peatükk 7 p. 1–7
- 23. aprill: peatükk 7 p. 8–13
- 25. aprill: peatükk 8 p. 1–7
- 30. aprill: peatükk 8 p. 8–13
- 02. mai: peatükk 8 p. 14–17
- 07. mai: teine kontrolltöö
- 09. mai: valitud küsimused

### 1.3. Füüsika üldkursus ja õpikud

Tartu Ülikoolis on käibel argootermin “üldfüüsika”. See on lühend korrektsest terminist “füüsika üldkursus”. Lühendamine poleks paha, kui see ei tooks kaasa väärtõlgendusi. Levinud väärtõlgendus on ”üldfüüsika” vastandamine konkreetsetele füüsika harudele. Vaadake õpikute pealkirju, need väldivad argood.

Füüsika üldkursusele järgnevad füüsika erikursused. Füüsika kui õppeaine liigendamise üldfüüsikaks ja teoreetiliseks füüsikaks on teatud mõttes desorienteeriv sest see pole kuigi heas kooskõlas füüsika kui teaduse sisemise liigendusega. Küsimus “mis on teoreetiline füüsika” jääb vastamiseks hiljem.

Eesti kultuuri kujunemisel on eriline koht Saksa ja Vene kultuuritraditsioonidel. Vene füüsikakoolkond on hargnenud Saksa koolkonnast. Saksa ja Vene kultuuride vahel seisvad väikekultuurid jälgivad reeglina Saksa traditsioone.

Füüsika üldkursuse klassikalise saksa struktuuri näidiseks on Grimsehli õpik. Järjestus: mehaanika, akustika, soojusõpetus, elekter, optika, aine ehitus. Ameerika traditsioonis (Berkeley Physics Course) järgneb tavaliselt mehaanikale kohe elekter ja soojusõpetus on kursuse lõpus.



Ülikooli raamatukogus on sadu erinevaid füüsikaõpikuid. Peale õpikute väärivad tähelepanu mitmesugused käsiraamatud, kõigepealt aga viieköiteline “Fizicheskaya entsiklopedia”.

Kohustuslikud õpikud on:

- I. Saveljev, Füüsika üldkursus 1, lk. 233-387. Tallinn, 1978.
- D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentals of Physics. pp. 453–536. John Wiley&Sons, 1997.
- K. Rebane, Energia, entroopia, elukeskkond. Tallinn, Valgus, 1980.

Täiendavatest õpikutest väärivad tähelepanu eelkõige:

- D.B. Sivuhhin, Obshchii kurs fiziki II. Termodinamika i molekulyarnaya fizika. Moskva, 1979/1990.
- R.W. Pohl, Mehanika, akustika i uchenie o teplote. Moskva, 1971.
- M. Alonso and E.J. Finn, Fundamental University Physics I, pp. 441-498. Addison-Wesley, 1980.
- H.D. Young and R.A. Freedman, University Physics, pp. 460–592. Addison-Wesley, 1996.

## 1.4. Hindamine:

Semestri jooksul kujuneb iga üliõpilase jaoks semestrihinne mille skaala on 0..60 punkti. Kirjaliku eksamitöö hinded skaala on 0..70 punkti. Eksamiprotokoll ja õpin-guraamatusse kantava kokkuvõttehinde leidmiseks liidetakse need punktid (summa 0..130 punkti), tulemuste järgi koostatakse pingerida ja alles siis määratakse hinnete A..F piirid lähtudes nii ametlikest hindamisnormidest kui ka varasemate aastate kogemusest ja punktisummade jaotusest.

**SEMESTRIHINNE** kujuneb järgmiselt:

y1: esimese kontrolltöö hinne 0..55 punkti,

y2: teise kontrolltöö hinne 0..55 punkti,

y3: referaadi hinne 0..5 punkti,

y4: harjutustundide hinne taandatud skaalasse 0..20 punkti.

Semestri kokkuvõtteinne: kui y1..y4 hulgas on null, siis  $y = 0$  punkti, vastasel korral  $y = 3 * (y1 + y2) / 11 + 2 * y3 + y4 = 0..60$  punkti.

## **EKSAMITÖÖ** struktuur ja hindamine:

viis teemat a 24 minutit, iga teema 0..9, kokku 0..45 punkti,  
test 25 küsimust 0..25 punkti.

Kontrolltööd saab korrata ainult üks kord, kas esimest või teist tööd, kuid mitte mõlemat. Eksamitöö esimesele katsele võib ilmuda iga üliõpilane sõltumata semestrihindest. Teisele katsele pääseb aga ainult nullist erineva semestrihinde korral. Eksam kestab kuni 3 tundi, millest tööks on aega 2,5 tundi. Eksamitööd võib teha üks või kaks korda. Korduskatse tulemus hinnatakse 10 punkti alla ja see jääb lõpptulemuseks ka siis, kui on esimese katse tulemusest halvem.

## 1.5. Soojusõpetuse osad ja meetodid

Soojusõpetuse olulised osad on:

Termodünaamika (tegelikult staatika).

Statistiline füüsika.

Füüsikaline kineetika.

Tehniline soojusõpetus.

Küsimus: mis on molekulaarfüüsika?

Soojusõpetuse olulised meetodid on:

Fenomenoloogiline meetod.

Molekulaarkineetiline meetod.

Soojusõpetuse kursuse ülesehituse ja rõhuasetuste üle on palju vaieldud ning õpikute vahel on suuri erinevusi. Nõukogudeaegsetele õpikutele jättis jälgi ka füüsika ideologiseerimine, mille näideteks on pseudovõitlus flogistoniga ja termini “molekulaarfüüsika” sagedane väärkasutus.