

The background is a solid green color. There are five spheres: three orange and two blue. One orange sphere is at the top center. Another orange sphere is on the left side, slightly below the top one. A third orange sphere is on the right side, slightly below the top one. A blue sphere is on the left side, below the orange sphere. Another blue sphere is on the right side, below the orange sphere. A horizontal light green band is in the lower half of the image, containing the text.

U. Kivi

Termodynamiikka

Ideaalikaasun perusteoria

TERMODYNAMIIKKA,
ideaalikaasun perusteoria

U. KIVI

**TERMODYNAMIIKKA,
ideaalikaasun perusteoria**

© 2020 U. Kivi

Taitto ja kansi: Books on Demand

Kustantaja: BoD – Books on Demand, Helsinki, Suomi

Valmistaja: BoD – Books on Demand, Norderstedt, Saksa

ISBN: 978-952-80-5582-2

SISÄLTÖ

ESIPUHE	7
1. JOHDANTO.....	9
2. NOSTETAAN KISSA PÖYDÄLLE.....	11
3. ENTROPIA.....	13
4. PERUSTEITA	15
5. IDEAALIKAASU	19
6. TERMODYNAAMISET PROSESSIT IDEAALIKAASULLA	27
6.1 Johdanto	27
6.2 Fortran ohjelma.....	28
6.3 Paine (p) ja tilavuus (V) annettu ajan funktiona.....	30
6.4 Paine (p) ja lämpötila (T) annettu ajan funktiona.....	35
6.5 Tilavuus (V) ja lämpötila (T) annettu ajan funktiona	40
6.6 Tilavuus (V) ja lämpöenergian siirto (Q) annettu ajan funktiona.....	45
6.7 Paine (p) ja lämpöenergian siirto (Q) annettu ajan funktiona.....	50
6.8 Lämpötila (T) ja lämpöenergian siirto (Q) annettu ajan funktiona.....	56
6.9 Carnotin prosessi	61
7. REAALISET AINEET.....	67
LIITE 1	69
LIITE 2	75

ESIPUHE

Uintiharrastukseeni kuuluu oleellisena osana kahvi, sämpylä ja sudoku joko uimahallin kahviossa tai jossakin yleisessä kahviossa. Noin viitisen vuotta sitten sudoku alkoi korvautua yleisen suhteellisuusteorian laskennalla. Muutokseen oli eräänä syynä se, että asuntoni alapuoliseen asuntoon muutti lapsiperhe, joka metelöi melko sietämättömällä tavalla, joten minä roikuin usein kahvioissa pitkälti iltaan ja laskin fysiikkaa. Parissa vuodessa metelöinti väheni oleellisesti – käsittääkseni naapureitteni valitusten perusteella, mutta minä jatkoin uuden laskuharrastukseni parissa nyt enenevässä määrin jo kotonakin. Olin toki harrastanut suhteellisuusteoriaa (ja muuta fysiikkaa), mutta lähinnä vain lukemalla alan kirjallisuutta. Omaksi yllätyksekseni sain mielestäni uutta tulosta aikaiseksi ja siksi kirjoitin aiheesta kirjan U. Kivi 'Painovoima, Newtonin ja Einsteinin teoria helpolla tavalla' ja tein myös englanninkielisen käännösversion U. Kivi 'Gravitation, Exact calculation of Newton and Einstein theory'. En tiedä vielä ovatko 'Painovoima' –kirjassa esittämäni tulokset minkään arvoisia, mutta jos ovat, ne eivät kuitenkaan ole ensimmäiset saavutukseni matematiikan/fysiikan alueella. Vaikken olekaan julkaissut mitään, sain merkittäviä tuloksia aikaiseksi jo 80-luvulla aloittellesani työuraani. Liitteeseen 1 olen koonnut tärkeimmät aikaansaannokseni Jorakleen urotöinä. Tämä kirja liittyy urotyöhön nro 1. Tämän 'urotyön' tekemisessä oli alullepanijana ja suurena apuna silloinen pomoni. Osasin teoreettisen fyysikon ja matemaatikon koulutuksen saaneena pukea hänen höyrytaulukoida tutkimalla saamansa ajatukset matemaattisten algoritmien muotoon. Tuloksena oli uudenlainen tapa laskea ilma-vesi-höyry –seoksen paine. Menetelmä on hyvin vakaalla pohjalla, koska sen lähtökohtana ovat massan ja energian säilymislaite. Menestys luo menestystä ja saavutuksesta itsevarmuutta saaneena (ja pomoni tukemana) tartuin myös muihin työalani matematiikan ongelmiin ja pääsin hyviin tuloksiin, kuten liitteessä 1 on esitetty.

Ilman liitteessä 1 esitettyjä onnistumisia tuskin olisin rohjennut tarttua puolittosisani yleisen suhteellisuusteorian ratkomiseen. Suhteellisuusteorian ratkomisella ei ole sellaista taloudellista merkitystä kuin liitteessä 1 esitetyillä matemaattisilla algoritmeilla, mutta jonkin verran omaperäisenä näkemyksenä gravitaatiosta se toivottavasti edistää fysiikan kehittymistä tieteenä (tai sitten ei, jos se osoittautuu täysin vääräksi). Painovoima kirjan innoittamana päätin tehdä kirjan myös termodynamiikasta.

Suhteellisuusteoria ei liity mitenkään ammattiini, mutta termodynamiikan parissa olen viettänyt suuren osan ensimmäisistä työvuosistani.

Aikoinaan minulle oli suurehko pettymys, kun Teknillisen Korkeakoulun tilastollisen fysiikan kurssin suorittuani en ymmärtänytään muuta kuin hämäästi klassisen termodynamiikan rakennetta. Työelämään siirryttyäni sain yhdeksi ensimmäisistä tehtävistäni Loviisan ydinvoimalaitoksen suojarakennuksen paine- ja lämpötilakäyt-täytymisen tutkimisen sellaisessa onnettomuustilanteessa, jossa suojarakennukseen tulee höyryvuoto. Eli kyseessä oli termodynamiikan alaan kuuluva probleema. Tällai-nen tilanne oli toki laskettu tietokoneohjelmalla voimalaitoksen suunnitteluaineistoa varten, mutta siihen aikaan jopa yksittäiset tietokoneajot olivat kalliita, joten tilanteen tarkemmaksi kartoittamiseksi päätimme silloisen pomoni kanssa tehdä oman termo-dynamiikkaa laskevan ohjelman. Ohjelma saatiin aikaiseksi ja sillä voitiin varioida mm. vuotokokoa, rakenteisiin siirtyvän lämmön määrää, jäälauhduttimessa sulavan jään määrää ja suojarakennuksen ruiskutuksen toimintaa. Ohjelmalla voitiin kartoittaa tilannetta varioiden eri suureita laajemmin kuin suunnittelulaskuissa oli tehty ja samalla voitiin verifioida suunnittelulaskujen tulokset. Mainittakoon, että meidän saamiemme tulosten mukaan suunnittelulaskut oli tehty varsin varman päälle eli konservatiivisesti, kuten ammattitermi kuuluu. Koska termodynamiikan teoria ei ollut minulle mitenkään helposti ymmärrettävää (tuskin muillekaan), jouduin ohjelmaa tehdessä miettimään myös itse teorian perusteita. Teorian perusteiden ymmärtämisessä on usein tehok-kainta käyttää fysikaalisesti yksinkertaisinta mahdollista mallia, joka termodynaamisen systeemin tapauksessa on ideaalikaasu. Tässä kirjassa on esitetty silloiset ja myöhem-min kypsyneet ajatukset termodynamiikan teoriasta soveltaen lähinnä ideaalikaasun laskentaan.

Helsinki 31.1.2020

Jorakles alias Uuno Kivi alias Jorma Rantakivi

1. JOHDANTO

Termodynamiikassa käsitellään kaikille tuttujen suureiden (lämpötila, paine, tiheys) välisiä suhteita. Tarve ymmärtää lämpövoimakoneiden (mm. höyrykone) toimintaa antoi sysäyksen teorian kehittämiseksi. Teorian perussuureeksi muodostui energia, joka lämpöenergian tai mekaanisen energian muodossa hallitsee aineen termodynaamisia ominaisuuksia. Lämpövoimakoneessa lämpöenergiaa pystytään muuttamaan mekaaniseksi energiaksi. Termodynamiikan teoriaa tarvittiin optimoimaan lämpövoimakone siten, että lämpöenergiasta saataisiin maksimaalinen määrä mekaanista energiaa. Osoittautui, että edellä esitetyt suureet eivät riittäneet toimivan teorian luomiseksi, vaan aineen termodynaamisen tilan kuvaamiseksi tarvittiin lisäksi uusi abstraktimpi suure, jolle annettiin nimeksi entropia. Termodynamiikan teoria ja kineettinen kaasuteoria kehitettiin 1800 -luvulla ja 1900 -luvun alussa. Keskeisessä asemassa kehitystyössä oli uusi suure entropia ja sen fysikaalinen tulkinta. Entropia osoittautui systeemin järjestäytyneisyyden mitaksi. Mitä pienempi entropia sen järjestäytyneempi systeemi on ja koska fysikaaliset prosessit menevät luonnostaan kohti suurempaa epäjärjestystä, entropian todettiin aina joko kasvavan tai pysyvän vakiona. Entropia saadaan vähenevän suuren järjestelmän osajärjestelmässä, mutta kun tarkastellaan koko järjestelmää entropia joko kasvaa tai pysyy vakiona. Jos meillä on esimerkiksi kaksi erillämpöistä kaasusäiliötä kontaktissa toisiinsa, lämpöä virtaa lämpimämmästä kaasusta kylmempään ja jäähtyvän kaasun entropia vähenee, mutta tämä väheneminen kompensoituu sillä, että lämpenevän kaasun entropia kasvaa.

Tilastollisessa fysiikassa minua häiritsi erityisesti se, että jopa ideaalikaasun termodynamiikkaa tutkittaessa käytössä oli vain eri suureiden osittaisderivaattojen välisiä yhteyksiä, mutta suureiden funktionaalista riippuvuutta ei tunnettu. Tämän vuoksi teoria tavallaan roikkui ilmassa ja sen hallitseminen tuntui vaativan pitkäaikaista kokemusta kaavojen pyörittelyssä. Yritin siis tosissani johtaa funktionaalisen riippuvuuden eri suureiden välille saadakseni teoriaan konkretiaa. Tämä onnistuikin ihmeen helposti ja funktionaaliset riippuvuudet on esitetty kappaleessa 5 'Ideaalikaasu'. Nyt täytyy todeta, että tunnen termodynaamista kirjallisuutta sen verran huonosti, etten voi mennä väittämään, että nämä kaavat olisivat täysin uusia, mutta ne tuntuvat puuttuvan ainakin vanhemmista termodynamiikan oppikirjoista,

Kappaleessa 6 'Termodynaamiset prosessit ideaalikaasulla' esitän tarvittavat kaavat ja kuvaan termodynaamisen prosessin kulun, kun kaksi suureista paine, tilavuus, lämpötila ja lämmönsiirto on annettu ajan funktiona. Tästä kappaleesta toivon olevan hyötyä erityisesti opiskelijalle, joka aloittaa tutustumisensa termodynamiikkaan. Prosessia lasketaan numeerisesti pieni aika-askel kerrallaan. Erikoisuutena käytetyssä algoritmossa on, että tarvittavat kaavat on johdettu niin, että molemmat annetut suureet muuttuvat aika-askeleen aikana yhtäaikaaisesti lineaarisesti. Normaalistihan laskut tehdään niin, että yhtä suuretta pidetään vakiona, kun toista muutetaan. Tulos on aika-askeleen suuruudesta riippuvainen ja tarkkaan tulokseen pääsemiseksi on käytettävä riittävän pientä aika-askelta. Voisi olettaa, että tässä teoksessa käytetyllä menetelmällä tulos ei riipu aika-askeleen suuruudesta niin voimakkaasti kuin laskettaessa normaalimenetelmällä. Jos annettujen suureiden riippuvuus ajasta on epälineaarista, mielivaltaiseen tarkkuuteen päästään pienentämällä aika-askel sopivan pieneksi. Kirjan liitteessä 2 on myös esitetty Fortran-kielinen tietokoneohjelma, joka laskee ideaalikaasun tilan, kun kaksi suuretta on annettu ajan funktiona. Kullekin ajan funktiona annetulle suureparille on esitetty esimerkki inputti ja tulostus käyrinä. Lopuksi ohjelmalla on laskettu kuuluisa Carnotin kiertoprosessi.

Kirjassa käsitellään termodynamiikan perusteoriaa lähinnä ideaalikaasun laskennan kannalta. Suureen entropia merkitys käsitellään kirjassa selkeästi. Kirjassa on johdettu analyyttiset lausekkeet suureiden tilavuus, paine, lämpötila ja entropia välille ideaalikaasun tapauksessa. Ideaalikaasun termodynaamiset prosessit kahden suureen muuttuessa ajan funktiona on käsitelty perusteellisesti. Prosessien perusteellisesta käsitelystä uskon oleven hyötyä erityisesti sellaiselle opiskelijalle, joka aloittaa tutustumisensa termodynamiikkaan. Kirja sisältää listauksen tietokoneohjelmasta, joka laskee ideaalikaasun termodynaamiset perusprosessit. Esimerkkinä kustakin prosessista on annettu tietokoneohjelman alkuarvotiedosto ja vastaava tulos käyrinä. Prosessin tulos on selostettu sanallisesti.

BoD



ISBN 978-952-80-5582-2