

Valomylly

Mikko Marsch

(tunnetaan myös Crookesin radiometrinä)

Pieni välipala nykyisin lähinnä leluksi jääneen laitteen historiasta



Valomylly

(tunnetaan myös Crookesin radiometrinä)

Pieni välipala nykyisin lähinnä leluksi jääneen laitteen historiasta

- Levyt ovat kiinni neulan päällä herkästi pyörivässä kannattimessa
- Sisällä osittainen tyhjiö (n. 10^{-5} bar)
- Valon osuessa levyihin, se alkaa pyörimään
- Alkuperäinen tarkoitus oli toimia mittarina säteilyn voimakkuuksille (valo)



Paljon väärää käsityksiä laitteen toimintaperiaatteesta

- Laitteen keksijä, Sir William Crookes, itse oletti lapojen pyörimisen johtuvan valon paineesta (n.1870)
 - Helppo kumota vilkaisemalla pyörimissuuntaa (pyörii vaalea puoli edellä)
- Valo irrottaa kaasua tai elektroneja mustasta maalista
 - Valomylly pyörii toiseen suuntaan, kun se viedään nopeasti viileään, joka ei sovi tähän arvaukseen
- Tummempi puoli kuumenee ja lämmittää kaasua aiheuttaen painetta
 - Maxwell osoitti että paine kumoutuu, koska molekyylien törmäykset harvenevat samalla
 - Einstein myöhemmin osoitti, että voimat lapojen reunalla ei täysin kumoudu, ja tämä on osaselitys toiminnalle

Kuinka se sitten toimii?

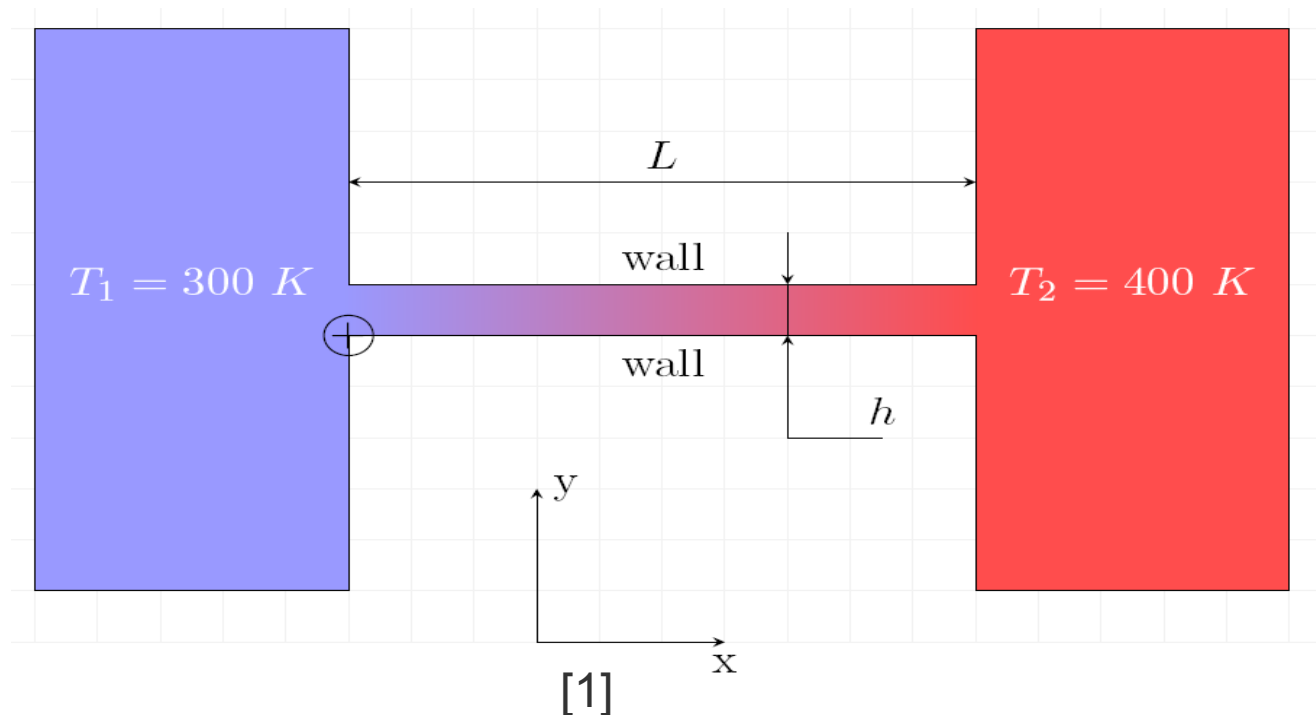
Lisää fysiikan suuria nimiä asiaa miettimään

- Osborne Reynolds oivalsi ensimmäisenä ilmiön "thermal transpiration" tai "thermal creeping"
- James Clerk Maxwell ehti kuitenkin julkaista ensin 1879
 - Ja ennätti jo kritisoimaan Reynoldsin keskeneräistä matemaattista esitystä
- Kaasu virtaa kylmemmältä puolelta kuumemmalle aiheuttaen levyä työntävän voiman (yhdessä Einsteinin osoittaman voiman kanssa)

Thermal transpiration

Enemmän tai vähemmän heuristinen ”selitys”
yksinkertaistettuna

- Oletetaan, että kahta erilämpöistä kaasusäiliötä yhdistää hyvin ohut putki
- Alkutilanteessa paine on sama molemmin puolin
- Putkessa on lämpötilagradientti



Thermal transpiration

- Oletetaan kaasu lähes törmäyksettömäksi
 - Liikemäärän keskimääräinen x-komponentti määräytyy suunnasta, josta partikkeli tulee
- Kaasun lämpötila asettuu törmäillessä putken lämpötilan mukaiseksi ja nopeusjakauma tasoittuu isotrooppiseksi
 - Liikemäärän x-komponentti pienenee kylmään päin liikkuvilla hiukkasilla ja kasvaa kuumaan päin liikkuvilla
 - Putki kohdistaa nettovoiman kaasuun kohti kuumaa säiliötä, jolloin kaasun täytyy alkaa kokonaisuudessaan virrata kuumempaa säiliötä kohti
(lukija voi arvoida itse onko ”selitys” järkevä)
- Ideaalitapauksessa, olettaen hyvin ohuen putken, maksimipaine-ero noudattaa yhtälöä, joka on helppo nähdä liikemäärän, lämpötilan ja paineen yhteydestä kineettisessä kaasuteoriassa [1]

$$\frac{P_1}{P_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

Thermal transpiration

- Aihe näyttää olevan aktiivisen tutkimuksen alla muissa yhteyksissä
- Knudsenin tyhjiöpumppu (n.1910->) perustuu lämpötilaeroon huokoisen materiaalin eri puolilla
 - Reynolds osoitti jo ilmiön olemassaolon alkeellisemmalla versiolla
 - Maksimipaine-eron suuruutta ennustaa Knudsenin luku $Kn = \lambda/D$, jossa λ on keskimääräinen vapaa matka ja D putken halkaisija [1]
 - Suuri $Kn (>1)$ lähempänä ideaalia
 - nanomateriaalit
 - Useilla peräkkäisillä kerroksilla, jossa on vapaata tilaa välissä, saadaan kokonaispaine-eroa kasvatettua
 - Hyvä eristävyys auttaa suurempien lämpötilaerojen käytössä ohuempaa materiaalia käyttäen
 - aerogeelit
- Teoreettinen mallintaminen haastavaa käytännön tapauksissa, ja ennustetut paine-erot erilaisilla rakenteilla ovat yleensä hieman yläkanttiin
 - Erilaisia tarkastelutapoja ovat kineettinen teoria ja kontinuumimallit (hydrodynamiikka jne.)
 - Hydrodynamiikka sisältää usein esim. oletuksia termodynaamisesta tasapainosta jne, joten on syytä olla tarkkana mitä yhtälöitä käyttää

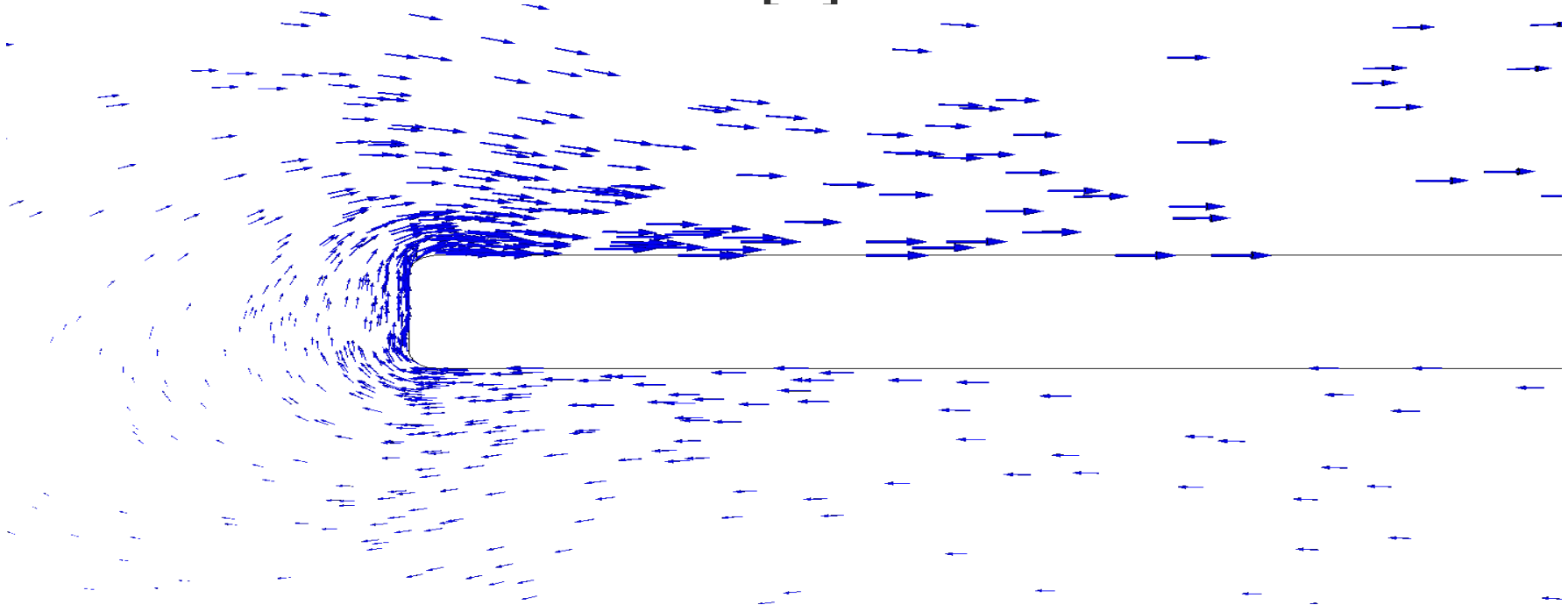
Takaisin valomylyyn

- Ilmiö sama, mutta putken sijaan vuorovaikutus tapahtuu pinnassa eri lapojen puoliskojen välillä
- Suuri λ ja aika törmäysten välillä
 - Termodynaaminen tasapainoehto ei toteudu hyvin edes paikallisesti
- Maxwell laati pintavuorovaikutukseen sopivan hydrodynaamisen mallin
 - Simulointiin soveltuu 1.kertaluokan approksimaatio[1]
 - σ : kaasun sironnaparametri
 - u_x/n : nopeus, tangentialinen/seinän normaalin suuntainen
 - μ : viskositeetti, ρ : tiheys

$$u_x = \frac{2-\sigma}{\sigma} \lambda \left(\frac{\partial u_x}{\partial n} - \frac{\partial u_n}{\partial n} \right) + \frac{3\mu}{4\rho T} \frac{\partial T}{\partial x}$$

Takaisin valomylyyn

- Lisäksi tarvitaan yhtälöt lämpötilajakauman ja viskositeetista aiheutuvien voimien kuvaamiseen [1]
- Lopulta kokonaisvoima saadaan viskositeettivoimista [1]



Simuloitu nopeusjakauma lavan reunalla [1]

Lähteet

[1] <http://moritz-nadler.de/studium/tctalk.pdf>

- Muu historiikki löytyy nopeasti googlettamalla
- Lisää luettavaa tyhjiöpumpuista mm.

hakusana "Lattice Boltzmann model for thermal transpiration G. H. Tang* "

<http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/10141/1/02-2086.pdf>