

ABSOLUUTTISEN NOLLAPISTEEN MÄÄRITTÄMINEN

2-2009

JOHDANTO

Kaasujen yleinen tilanyhtälön

$$pV = nRT = NkT \quad (1)$$

perusteella vakioainemäärän ideaalikaasua sisältävässä, vakiopaineisessa systeemissä kaasun tilavuus riippuu lineaarisesti sen lämpötilasta. Ilmiön molekulaarisessa tulkinnassa lämpötilan kohottaminen lisää kaasumolekyylien keskimääräistä nopeutta ja ne törmäilevät astian seiniin laajentaen sen tilavuutta. Mittaamalla kaasun tilavuuksia eri lämpötilan arvoilla voidaan siten ekstrapoloimalla määrittää se lämpötilan arvo, jossa tilavuus on nolla eli kaasulla ei ole lainkaan kineettistä energiaa. Tämä lämpötila on kaikilla kaasuilla sama eli on saavutettu absoluuttinen nollapiste ($0 \text{ K} = -273,15 \text{ °C}$). Käytännössä vakiopaineessa tilavuutta pienentäessä reaalikaasut kuitenkin nesteytyvät ennen kuin absoluuttinen nollapiste voidaan saavuttaa.

Normaali huoneilma on kaasujen (mm. N_2 , O_2 , Ar , CO_2 , H_2O) seos. Daltonin lain mukaan ideaalisen kaasuseoksen kokonaispaine on kunkin ideaalisen seoskaasun osapaineen summa eli

$$p = p_A + p_B + \dots = \sum_J p_J \quad (2)$$

missä

$$p_J = \frac{n_J RT}{V} \quad (3)$$

Daltonin lakiin perustuen voidaan määrittää tietyssä lämpötilassa kuivan huoneilman osapaine p_{ilma} , joka saadaan vähentämällä veden höyrynpaine $p_{\text{H}_2\text{O}}$ ulkoisen ilmanpaineen p_u arvosta

$$p_{ilma} = p_u - p_{\text{H}_2\text{O}} \quad (5)$$

Tällöin vesihöyryn osittaistilavuus on

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_u} \quad (6)$$

missä V on kaasuseoksen kokonaistilavuus. Edelleen kuivan huoneilman osittaistilavuus saadaan määritettyä kaasuseoksen kokonaistilavuuden ja vesihöyryn osittaistilavuuden avulla

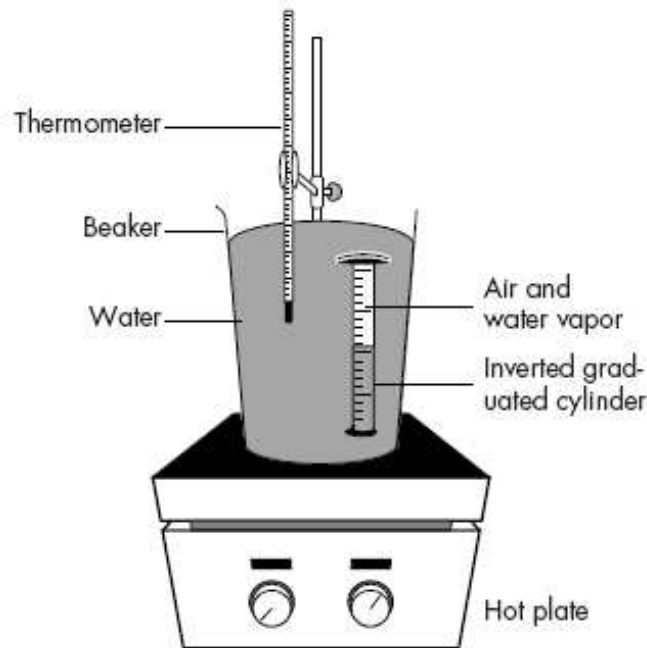
$$V_{ilma} = V - V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V}{p_u} (p_u - p_{\text{H}_2\text{O}}) = V \cdot \frac{p_{ilma}}{p_u} \quad (7)$$

Työssä on tärkeää määrittää absoluuttisen nollapisteen käyttäen kuivan huoneilman tilavuutta, sillä veden höyrynpaine ei riipu lineaarisesti lämpötilasta ja aiheuttaisi siksi lämpötila tilavuuden funktiona -kuvaajan kaareutumista korkeilla lämpötilan arvoilla.

TYÖN SUORITUS

Täytä vedellä kapea 1 l dekk n. 90% tilavuudestaan. Laita 10 ml mittalasiin vettä n. 80% sen kokonaistilavuudesta (huom! ei siis 8 ml), laita sormi korkiksi ja aseta mittalasi väärinpäin dekkään veden alle (ks. kuva 1). Mittalasin pitäisi olla kokonaan nestepinnan alapuolella, joten lisää tarvittaessa vettä. Nosta dekkä lämpölevylle ja laita lämpömittari veteen. Kuumenna vesi n. 80 °C asteiseksi ja nosta topattuja kumihanskoja käyttäen dekkä varovasti alas lämpölevyltä vetokaappiin. Lue ensimmäinen ilman tilavuuden arvo mittalasista sopivalta tasakohdalta 70-80 °C väliltä ja jatkossa n. 5 °C välein aina mahdollisimman tarkkaa tilavuuden lukemaa käyttäen, kunnes veden lämpötila on n. 0 °C . Suorista mittalasi aina ennen tilavuuden määrittämistä esim. lasisauvalla ja lue asteikko aina samalta tasolta mittausvirheiden minimoimiseksi. Yli 50 °C asteisessa vedessä voi lasin pintaan muodostua lukemataarkkuutta häiritseviä kuplia, jotka voi poistaa esim. hankaamalla pintaa lasisauvalla. Noin 40 °C lämpötilasta alkaen voit jäähdyttää näytettä lisäämällä siihen pienen määrän kerrallaan jäämurskaa (ota välillä vettä pois). Anna tällöin lämpötilan tasaantua ainakin 5 min ennen tilavuuden lukemista, että ilman lämpötila vastaisi vesihauteen lämpötilaa.

Tee **kaksi** rinnakkaista mittausta siten, että laitat toisen dekan lämpenemään heti, kun saat nostettua toisen jäähtymään. Jatkossa luet tilavuuden arvoja eri lämpötiloissa kahdesta systeemistä, jolloin saadaan laskettua jonkinlainen arvio tuloksen tarkkuudesta. Käy lopuksi lukemassa ulkoisen ilmanpaineen arvo assistenttihuoneen ulkoseinässä olevasta ilmapuntarista.



Kuva 1: Mittauslaitteisto absoluuttisen nollapisteen määrittämiseksi

TULOSTEN KÄSITTELY

Etsi veden höyrynpaineet mittauksen lämpötilavälillä esim. CRC:n taulukkokirjasta. Käytä mahdollisimman tarkkoja arvoja eli jos tiettyä lämpötilaa vastaavaa arvoa ei löydy, interpoloi piste käyrältä. Laske ja taulukoi kuivan huoneilman tilavuudet yhtälöiden 5-7 avulla ja piirrä kuvaaja lämpötila vs. kuivan huoneilman tilavuus. Määritä kuvaajaan sovitetun suoran ja yhtälön (1) avulla absoluuttinen nollapiste ja arvioi mittalasissa olleen kuivan ilman moolimäärä. Arvioi virhe sovitukselta. Vertaa kahden mittauksen arvoja virherajoihin toisiinsa ja pohdi työn tarkkuutta.

Työselostuksessa pohdittavaa

Absoluuttisen nollapisteen lämpötilaa ei voida saavuttaa, mutta hyvin lähelle on päästy. Selvitä työselostuksessa lyhyesti, miten nämä ”maailmanennätys”-lämpötilat on saatu aikaiseksi. Onko olemassa negatiivisia lämpötilan arvoja Kelvin-asteikolla? Perustele vastauksesi.

Lähteet:

A Simple Laboratory Experiment for the Determination of Absolute Zero

Myung-Hoon Kim Michelle Song Kim Suw-Young Ly

Journal of Chemical Education • Vol. 78 No. 2 February 2001 •