



Lämpösäteily

Yleisesti

Jokainen kappale lähettää lämpösäteilyä ympäristöönsä. Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä. Lämpösäteily on yksi lämmön siirtymistavoista. Muut siirtymistavat ovat *lämmön johtuminen* sekä *konvektio* eli lämmön kuljetus. Lämpösäteily poikkeaa muista siirtymistavoista siinä, että se sähkömagneettisena säteilynä ei tarvitse väliainetta energian siirtämiseen. Laboratoriotyössä tutkitaan lämpösäteilyn riippuvuutta tutkittavan pinnan laadusta ja lämpötilasta.

Teoriaa

Kappaleen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn teho on

$$(1) \quad P = MA$$

missä A = pinnan ala
 M = pinnan säteilemisvoimakkuus $[M] = W / m^2$

Säteilemisvoimakkuudelle saadaan yhtälö

$$(2) \quad M = \varepsilon\sigma T^4$$

missä T = pinnan termodynaaminen lämpötila
 σ = Stefanin-Boltzmannin vakio $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W / (m^2K^4)$
 ε = pinnan laadusta riippuva kerroin, pinnan emissiivisyys ($0 \leq \varepsilon \leq$

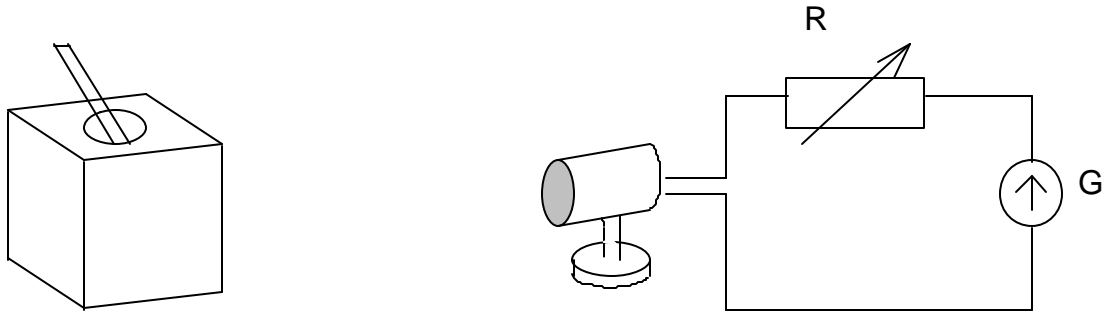
$$1) \quad \text{Täysin mustalle pinnalle } \varepsilon = 1$$

Lämpösäteilyä lähettävä pinta absorboi (= imee itseensä) osan ympäristön siihen lähettämästä lämpösäteilystä. Jos pinnan ja ympäristön lämpötilat ovat T_1 ja T_2 , pinnasta ympäristöön siirtyvän nettosäteilyn säteilemisvoimakkuus on

$$(3) \quad M = \varepsilon\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

Työn suoritus

Lämpösäteilyn lähteenä käytetään vedellä täytettyä kuution muotoista metalliasiaa, jossa on eri tavalla maalattuja sivutahkoja sekä yksi kiiltävä metallipintainen tahko. Mittaus tilanteessa (Kuva 1) lämpösäteilyn intensiteettiä (= voimakkuutta) mitataan lämpösäteilyn ilmaisimella. Kun lämpösäteily osuu ilmaisimeen, siihen muodostuu pieni jännite joka on verrannollinen ilmaisimen aukkuun osuvan lämpösäteilyn (nettosäteilyn) tehoon. Lämpösäteilyn ilmaisimien yhdistetään säätö-
 vastuksen kautta herkkään galvanometriin, jolla mitataan piirissä kulkeva virta. Kuutio täytetään kuumalla vedellä (80 ... 100 °C) ja asetetaan mittausalustalle noin 30cm:n päähän lämpösäteilyn ilmaisimesta. Kuutiota käännetään sivutahkot vuorotellen kohti ilmaisinta ja merkitään muistiin pinnanlaatu, veden lämpötila ja galvanometrin virtalukema. Mittauslukemia otetaan n.5 °C välein aina lämpötilaan 30...35 °C.



Kuva 1: Lämpösäteilyn mittaaminen

Tulosten käsittely

Mittarin G lukema y esitetään $x = T_1^4 - T_2^4$ funktiona graafisesti kullekin sivutahkolle. Lukeman y yksiköllä (virta I) ei ole merkitystä. Mittarin näyttämä y on verrannollinen kuution sivutahkon säteilemisvoimakkuuteen M , joka on puolestaan yhtälön (3) perusteella verrannollinen suureeseen $x = T_1^4 - T_2^4$. Tästä seuraa y on verrannollinen x :ään, joten kuvaajien pitäisi olla suoria. Kuvaaja suorien kulmakertoimien suhteista saadaan pintojen emissiivisyyksien ε suhteet, jotka lasketaan prosentteina suurimmasta emissiivisyydestä.

Mittaustulokset

Ympäristön lämpötila mittaus hetkellä:

$$T_2 = 295.15 \text{ K}$$

Taulukossa 1 on esitetty eri sivutahkoilta saadut arvot galvanometrin näyttämästä virta-arvoista I , ajanhetkellä jolloin tarkkuuslämpömittarin näyttämä osoitti lämpötilaa T_1

Selitykset: Sivutahko nro 1: Kiiltävän musta pinta
 2: Kiiltävä metalli pinta
 3: Mattamusta pinta
 4: Vaalea pinta

Sivutahko	1		2		3		4	
Mittaus	T_1 / K	$I / \mu\text{A}$	T_1 / K	$I / \mu\text{A}$	T_1 / K	$I / \mu\text{A}$	T_1 / K	$I / \mu\text{A}$
1	353.15	93	351.15	18	350.15	90	349.95	89
2	347.15	87	346.15	15	346.35	86	346.35	86
3	341.15	70	340.95	13	340.15	69	339.75	70
4	334.15	60	334.55	14	333.35	57	332.95	58
5	328.95	53	328.75	11	328.55	48	328.55	51
6	323.55	44	323.35	9	323.35	42	323.15	43
7	319.35	36	319.15	8	318.95	35	318.95	36
8	314.35	29	314.35	7	314.35	28	314.35	29
9	307.95	22	307.95	8	307.95	19	307.95	20

Taulukko 1: Mittaustulokset

Galvanometrin lukema y esitetään $x = T_1^4 - T_2^4$ funktiona. Taulukossa 2 on esitetty x :n ja y :n arvot eri sivutahkoille

Taulukko 2: Lasketut tulokset

Sivutahko	1		2		3		4	
Tulos	$x_1 \times 10^8 \text{K}^4$	y_1	$x_2 \times 10^8 \text{K}^4$	y_2	$x_3 \times 10^8 \text{K}^4$	y_3	$x_4 \times 10^8 \text{K}^4$	y_4
1	79.65	93	76.16	18	74.43	90	74.09	89
2	69.35	87	67.68	15	68.01	86	68.01	86
3	59.56	70	59.25	13	57.98	69	57.35	70
4	48.78	60	49.38	14	47.59	57	47.00	58
5	41.20	53	40.92	11	40.63	48	40.63	51
6	33.70	44	33.43	9	33.43	42	33.16	43
7	28.12	36	27.86	8	27.60	35	27.60	36
8	21.76	29	21.76	7	21.76	28	21.76	29
9	14.05	22	14.05	8	14.05	19	14.05	20

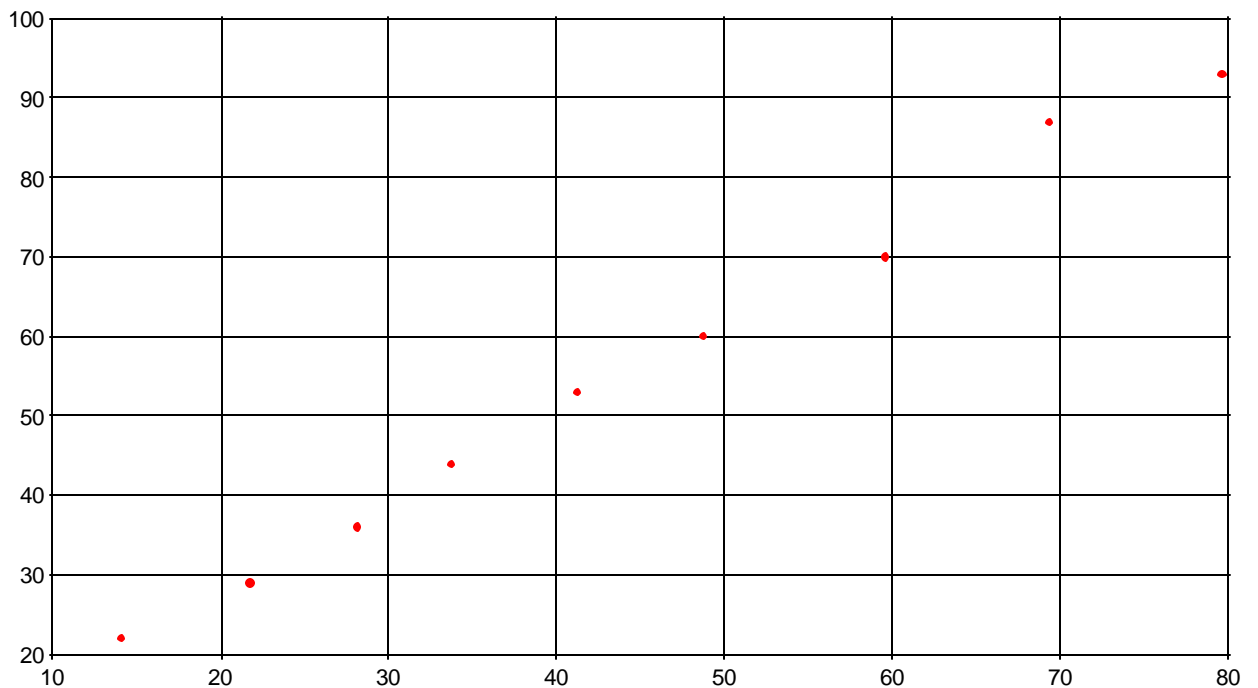
Laskuesimerkki:

$$x_1 = T_1^4 - T_2^4 = (353.15 \text{ K})^4 - (295.15 \text{ K})^4 = 7965046091.82 \text{ K}^4 = 79.65 \times 10^8 \text{ K}^4$$

$$y_1 = I = 93 \text{ (yksikköä ei tarvita)}$$

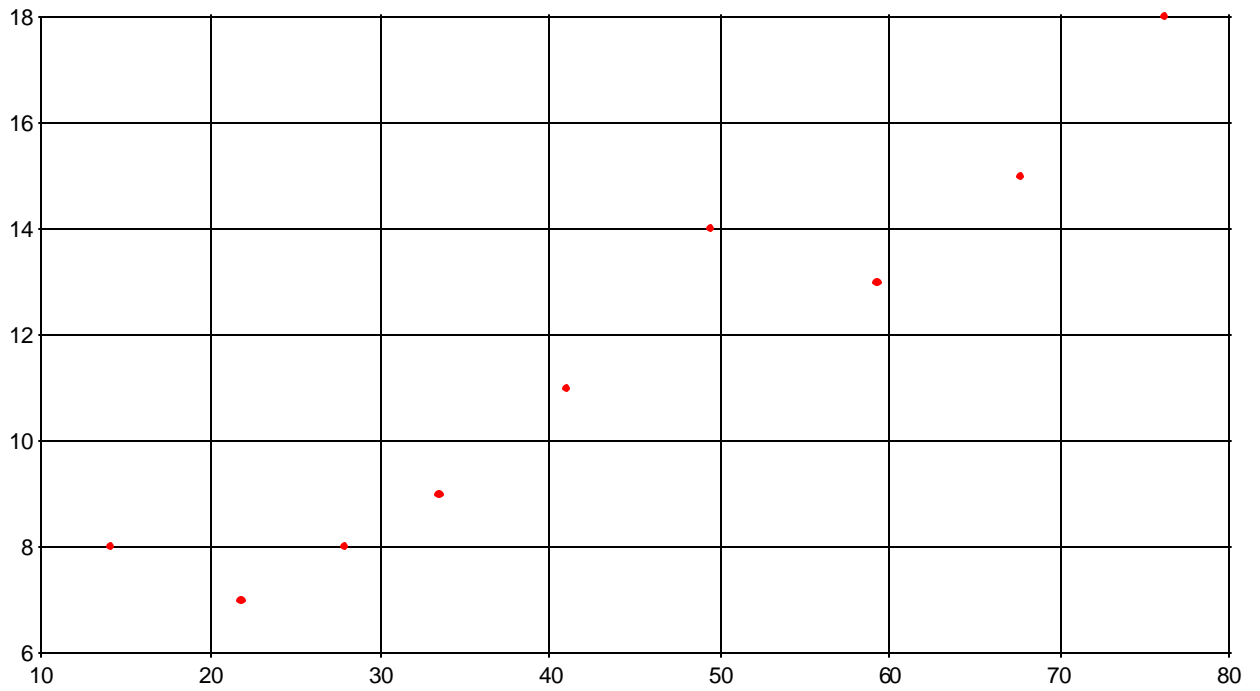
Tuloksien perusteella tehdyt graafiset kuvaajat on esitetty kaavioissa 1 -4

Kiiltävän musta pinta



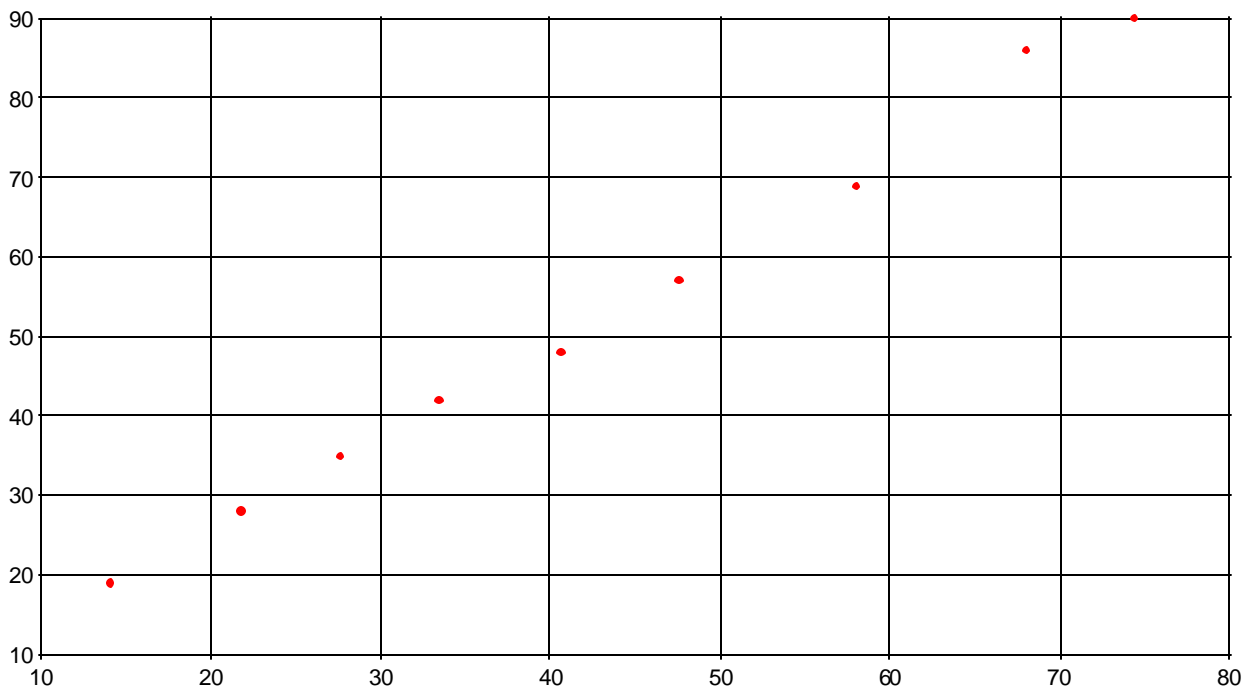
Kaavio 1

Kiiltävä metallipinta



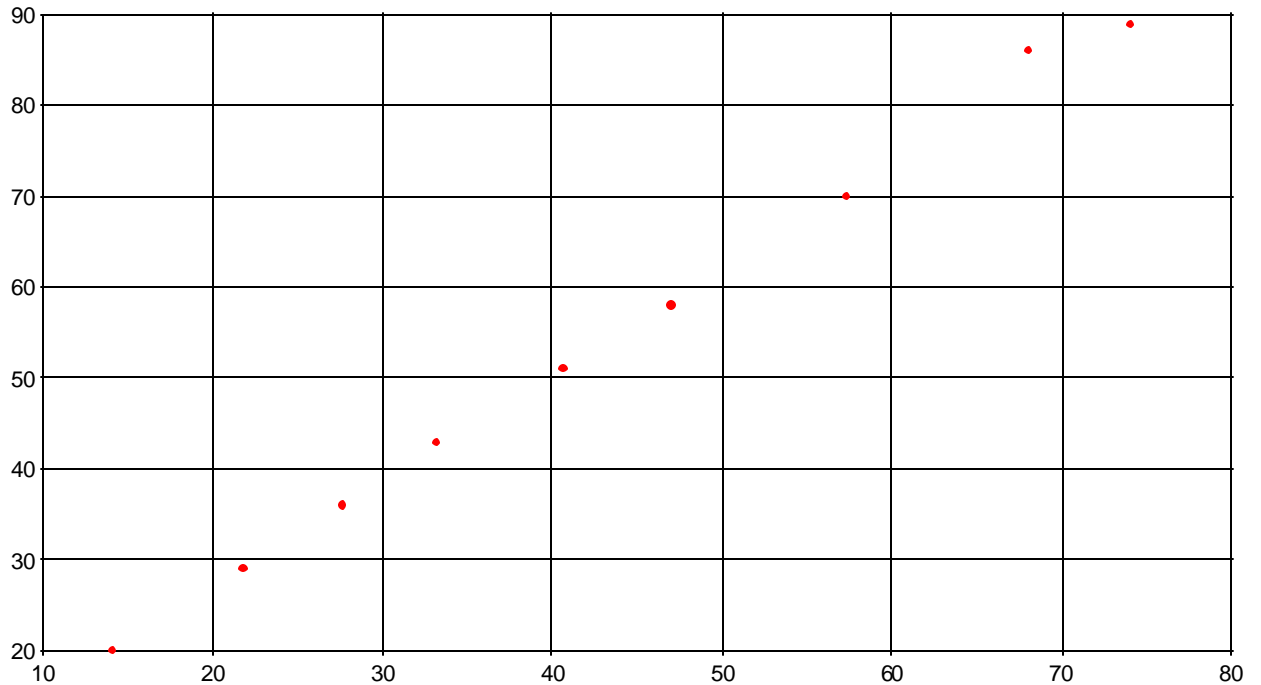
Kaavio 2

Mattamusta pinta



Kaavio3

Vaalea pinta



Kaavio 4

Tulokset

Suora sovitettiin pistejoukkoon käyttämällä pienimmän neliösumman menetelmää (regressiosuora). Tämä kuin myös kulmakertoimien määrittäminen suoritettiin tieteislaskimella.

Taulukossa 4 on esitetty laskimen antamat arvot eri sivutahkoille

Sivutahko	1	2	3	4
kulmakerroin ϵ_{suht}	1.12	0.17	1.19	1.17
$\sum x_i$	396.17	390.49	385.48	383.65
$\sum x_i^2$	21375.1915	20568.9659	19992.6954	19795.7533
$\sum y_i$	494	103	474	482
$\sum y_i^2$	32084	1293	29944	30568
Virhearvio $S_{\epsilon_{\text{suht}}}$	0.03	0.019	0.03	0.02

Taulukko 4: Laskimen antamat tulokset ja virhearvio

Virhearviot

Kulmakertoimien keskihajonta laskettiin kaavasta (4) Esim. sivutahko 1

$$S_{\epsilon_{\text{suht}}} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left[\frac{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} - \epsilon_{\text{suht}}^2 \right]} = \sqrt{\frac{1}{9-2} \left[\frac{9 \cdot 32084 - (494)^2}{9 \cdot 21375.1915 - (396.17)^2} - 1.12^2 \right]}$$

$$S_{\epsilon_{\text{suht}}} = 0.03369\dots = 0.03$$

Lopputulokset

Laskelmien perusteella voidaan määrittää sivutahkoille suhteelliset emissiivisyydet

Sivutahko 1 : Kiiltävän musta pinta	$\epsilon_{\text{suht}} = 1.12 \pm 0.03$
Sivutahko 2 : Kiiltävä metallipinta	$\epsilon_{\text{suht}} = 0.17 \pm 0.019$
Sivutahko 3 : Mattamusta pinta	$\epsilon_{\text{suht}} = 1.19 \pm 0.03$
Sivutahko 4 : Vaalea pinta	$\epsilon_{\text{suht}} = 1.17 \pm 0.02$

Jos oletetaan että mattamusta pinta olisi täysin ideaalinen eli sen emissiivisyys on 1 niin muille pinnoille voidaan laskea emissiivisyydet suhteessa mattamustaan pintaan. Tällöin saadaan tulokseksi.

Kiiltävän musta pinta	$\epsilon = 0.94 \pm 0.03$
Kiiltävä metallipinta	$\epsilon = 0.14 \pm 0.016$
Mattamusta pinta	$\epsilon = 1.00 \pm 0.03$
Vaalea pinta	$\epsilon = 0.98 \pm 0.017$

Laskuesimerkit:
emissiivisyys

$$\epsilon = 1/\epsilon_{\text{suht(mattamusta)}} \times \epsilon_{\text{suht/kiilt.musta}} = 1 / 1.19 \times 1.12 = 0.94$$

virhearvio

$$S = S_{\epsilon_{\text{suht}}} / \epsilon_{\text{suht}} \times \epsilon = 0.03 / 1.12 \times 0.94 = 0.2517... = 0.03$$

Päätelmät

Virhearvioissa ei otettu huomioon galvanometrin ja lämpömittarin mittaustarkkuutta. Lisäksi mittaustilanteessa lämpötilan laskiessa nopeasti galvanometrin lukemaa oli vaikea määrittää. Kuitenkin lukuisa mittausten määrä ja laskimella tehty toimintasuoran määrittäminen antoivat niin tarkan tuloksen, ettei mittareiden lukematarkkuutta tarvinnut huomioida.