Absolut Maaling af Udstraalings- og Indsugningsevne for Varme.

Af

C. Christiansen.

I. Udstraaling og Indsugning.

Ethvert Legeme, som afkjøles i Luften, taber Varme saavel ved Ledning som ved Straaling. Tabet ved Ledning afhænger ikke af Overfladens Natur og heller ikke af de omgivende Legemers (Vægges) Overflade; dette er derimod Tilfældet med Tabet ved Straaling. Denne Forskjel mellem Ledning og Straaling har jeg søgt at benytte til at bestemme en Flades Udstraalings- og Indsugningsevne og deraf igjen at bestemme Forholdet mellem disse Størrelser. Dette Forhold er som bekjendt konstant, men Værdien af denne Konstant har hidtil ikke været bekjendt, ja man har, saavidt jeg ved, ikke engang forsøgt at finde den. Inden jeg gaar over til at omtale, hvorledes jeg er gaaet frem, anser jeg det for nødvendigt at forudskikke nogle Bemærkninger om Udstraalingen i det hele og særlig at forklare de Forudsætninger, jeg er gaaet ud fra i dette Arbejde.

Man antager, at ethvert Legeme udstraaler Varme ved alle Varmegrader og at to Legemer med samme Varmegrad ikke kunne opvarme hinanden. For at finde den hele Varmemængde, et Legeme udstraaler, maatte man indeslutte det i et Rum, hvis Vægge havde den Varmegrad, ved hvilken der ingen Udstraaling finder Sted, en Varmegrad, der maatte betragtes som det absolute

Nulpunkt. Endvidere maatte disse Vægge ikke kaste nogen Varme tilbage. Ingen af disse Betingelser kunne opfyldes, og en direkte Bestemmelse af Udstraalingsevnen er altsaa umulig. Af Loven for den gjensidige Udstraaling følger imidlertid, at et Legemes Varmetab ved Straaling kan sættes lig

$$f(T) - f(T_0),$$

naar T er Legemets, T_0 de omgivende Vægges Varmegrad; holdes nu disse Vægge bestandig ved samme Varmegrad, medens man lader Legemets Varmegrad forandres, saa vil Varmetabet kunne bestemmes for forskjellige Værdier af T, og derved vil Funktionen $f(T)$ kunne findes. Funktionen $f(T)$ vil imidlertid foruden af T ogsaa afhænge af Legemets Overflade og af de omgivende Vægges Natur og desuden af Legemets Stilling til disse. Er Legemet kun lidet og langt borte fra Væggene, vilde disse dog i Reglen ikke indvirke paa Udstraalingen, og i dette Tilfælde kan man sætte den hele udstraalede Varme lig

$$V = sef(T),$$

hvor s er Legemets Overflade, e en Konstant og $f(T)$ en Funktion af Legemets Varmegrad. For et andet Legeme har man med tilsvarende Betegnelser

$$V_1 = s_1 e_1 f_1(T).$$

Forholdet mellem disse Varmemængder er

$$\frac{V}{V_1} = \frac{s}{s_1} \cdot \frac{e}{e_1} \cdot \frac{f(T)}{f_1(T)}.$$

Det var nu muligt, at dette Forhold kunde være afhængigt af Varmegraden, at altsaa $f(T) = f_1(T)$. Forsøg derover lade sig anstille paa følgende Maade. Kaldes Væggenes Varmegrad T_0, saa maa et Legemes Varmetab ved Straaling i Tidsenheden kunne angives ved

$$\triangle V = se(f(T) - f(T_0)).$$

For et andet Legeme haves ligeledes

$$\triangle V_1 = s_1 e_1 (f_1(T) - f_1(T_0)).$$

Provostage og Desains[1]) have søgt at vise, om Forholdet mellem

[1]) Comptes rendus XXXVIII, S. 429.

$\triangle V$ og $\triangle V_1$ var afhængigt af T eller ikke, ved at maale Udstraalingen fra en opvarmet Platinstrimmel, som var sværtet paa den ene Side, medens den anden Side var beklædt med borsurt Blyilte. Resultatet var, at Forholdet mellem Udstraalingen fra de to Sider forandrede sig med Varmegraden; ved 100° udsendte den borsure Blyilte ligesaa megen Varme som ved Kønrøg, ved 550° forholdt Udstraalingerne sig som 3 til 4.

Lecher[1]) har gjentaget dette Forsøg og er derved bleven opmærksom paa, at man ved Dannelsen af det borsure Blyilte af salpetersurt Blyilte ikke erholder et fuldkommen rent Salt, idet der ved Ophedning viste sig Dampe af Salpeterundersyre, som absorbere Varmestraalerne stærkt og derved tilsyneladende formindske Udstraalingen fra den med borsurt Blyilte beklædte Flade. Disse Forsøg afgjøre altsaa intet om Udstraalingens Afhængighed af Varmegraden; og der er i hvert Fald intet i Vejen for, at den kunde være den samme for alle Legemer.

Dette synes at vinde i Sandsynlighed ved Stefans[2]) Undersøgelser over Udstraalingsevnen. Ved Betragtningen af forskjællige Forsøg over Udstraalingen kom han til det Resultat, at den kunde fremstilles med stor Nøjagtighed ved et Udtryk af Formen

$$V = se(273 + T)^4,$$

at altsaa den udstraalede Varmemængde forholdt sig som fjerde Potens af den absolute Varmegrad. Da dette synes at gjælde for Glas, Kønrøg og Metal, er det sandsynligt, at det maa gjælde for alle Legemer. Derved forudsættes naturligvis, at de udstraalende Overflader ikke ved Opvarmning lide nogen betydelig Forandring, f. Ex. ved at Legemet smelter.

Jeg har her betragtet hele den udstraalede Varmemængde, uden Hensyn til dens Sammensætning. Antages nu, at et Legeme udsender Varmestraaler, hvis Bølgebredde ligger mellem λ og $\lambda + d\lambda$, saa kan denne Varmemængde angives ved $s\varepsilon d\lambda$, og den hele Varmemængde, som udstraales, bliver altsaa

---

[1]) Wied. Ann. Bd. 17, S. 502.

[2]) Sitzungsberichte der Wiener Acad. Bd. 79. 1879. S. 391.

$$V = s\int_0^\infty \varepsilon d\lambda = se(273 + T)^4.$$

Af denne Ligning følger, at ogsaa ε maa forholde sig som den fjerde Potens af den absolute Varmegrad, og at altsaa den Varme, som et Legeme udsender, maa have den samme Sammensætning ved alle Varmegrader; forøges et Legemes Varmegrad, saa voxer Mængden af lavtstemte Varmestraaler i samme Forhold som Mængden af højstemte.

Dette staar imidlertid i fuldkommen Modsætning til den almindelige Opfattelse. Ifølge denne skal et Legeme ved lav Varmegrad kun udsende Straaler med stor Bølgebredde; stiger Varmegraden, komme nye Straaler til med mindre Bølgebredde, indtil Legemet bliver lysende.

At denne Opfattelse af den Maade, hvorpaa Legemer bliver lysende, ikke er ganske rigtig, er det i hvert Fald let at se. Spektret af en svagt rødglødende Platintraad indeholder baade gule, grønne og blaa Straaler, saa at Udstrækningen af Spektret næsten er den samme for en rødglødende og en hvidglødende Platintraad. Lecher har sammenlignet to saadanne Spektre med hinanden og fundet, at Forholdet mellem Lysstyrken paa tilsvarende Punkter i de to Spektre paa det nærmeste var konstant. Han mener, at den Forandring, som Spektret undergaar i den violette Del, hidrører fra, at Ptatintraadens Overflade forandres ved Opvarmningen.

Det samme fremgaar af Jacques Undersøgelser[1]. Han bragte en Platintraad til Glødning, dannede et Spektrum af den ved Hjælp af en Stensalt Lindse og Prisme og maalte Varmen i forskjellige Dele af Spektret. Det viste sig da, at en forstærket Glødning frembragte en forstærket Opvarmning i alle Punkter af Spektret, og det Forhold, hvori den voxede, var tilnærmelsesvis det samme for alle Punkter af Spektret.

Skulde dette bekræfte sig ved videre gaaende Undersøgelser

[1] Distribution of heat etc. 1879. Wied. Beibl. Bd. 3. 1879. S. 865.

kan man ikke nægte, at den nye Opfattelse er en Del simplere end den ældre. Vi kunde da sammenligne et opvarmet Legeme med en Klangplade, der er sat i Svingning paa en bestemt Maade. Forøges de enkelte Punkters Udsving i samme Forhold, saa have vi det, der svarer til en Opvarmning af et Legeme. Der er den Forskjel, at Klangpladen kan ophøre at svinge paa Grund af indre Gnidning, medens Varmen kun kan forsvinde ved at gaa over paa andre Legemer. Ligesom Pladen mister Bevægelse ved at sætte Luften i Svingninger, mister et Legeme Varme ved at udsende Varmestraaler.

Det fremgaar af alt dette, at et Legeme udstraaler en Varmemængde i Tidsenheden, som i hvert Fald for lavere Varmegrader sættes lig

$$V = se(273 + T)^4, \tag{1}$$

hvor e er uafhængig af Varmegraden, men afhængig af Overfladens Natur. Vil man have den Varmemængde, hvis Bølgebredde ligger mellem Værdierne λ og $\lambda + d\lambda$, bliver Udtrykket derfor

$$dV = s\varepsilon(273 + T)^4\, d\lambda, \tag{2}$$

hvoraf

$$e = \int_0^\infty \varepsilon\, d\lambda.$$

Størrelsen ε afhænger kun af Bølgebredden og Overfladens Natur.

Vi skulle dernæst betragte Indsugningsevnen nøjere. For en Flade, der er sværtet med Kønrøg kan man, naar Laget er tilstrækkelig tykt, betragte Indsugningsevnen som lig 1, og dette gjælder lige saa vel for mørke som for lyse Varmestraaler, lige saa vel for lave som for høje Varmegrader. Den er altsaa konstant for dette Legeme. For mange andre Legemer synes den at være uafhængig af Varmegraden, hvilket allerede viser sig ved, at deres Farve ikke forandres kjendelig ved Opvarmning. Lecher har vist det for Platinets Vedkommende ved photometriske Maalinger, og jeg er derfor i det følgende gaaet ud fra det samme for Sølvets Vedkommende. Derimod afhænger Indsugningsevnen vistnok i Reglen af Bølgebredden for den indfaldende Varme. Saaledes indsuger Blyhvidt de mørke Varmestraaler, medens det kun i ringe Grad indsuger de lyse. Endnu langt stærkere træder dette frem ved Legemer med Absorptionsspektre.

Er ε og a et Legemes Udstraalings- og Indsugningsevne for Varmestraaler af samme Bølgebredde λ, saa har man efter Kirchhof, naar man benytter Ligning 2 som Udtryk for den udstraalede Varmemængde, at

$$\frac{\varepsilon(273 + T)^4}{a} = I, \tag{3}$$

hvor I er en for alle Legemer fælles Størrelse, som kun er en Funktion af Varmegrad og Bølgebredde. Antages nu, at a og ε kun afhænge af Bølgebredden, bliver altsaa

$$I = E(273 + T)^4,$$

hvor E kun er en Funktion af Bølgebredden. Altsaa er ogsaa

$$\varepsilon = Ea.$$

I det følgende er jeg som sagt gaaet ud fra, at a er konstant. Altsaa kan man sætte

$$\int_0^\infty \varepsilon d\lambda = a\int_0^\infty E d\lambda,$$

der kan skrives som

$$e = aA, \tag{4}$$

hvor altsaa e betyder Udstraalingsevnen, medens A er en Konstant, som hverken afhænger af Bølgebredde eller Varmegrad.

II. Omgivelsernes Indflydelse paa Udstraalingen.

Naar et Legeme udstraaler Varme til Omgivelser, vil en Del af Straalerne kastes tilbage til Legemet igjen, og den hele udstraalede Varmemængde vil derfor være mindre, end hvis det havde befundet sig i et uendeligt Rum. Er Afstanden mellem det varme Legeme og de omgivende Vægge lille, vil Varmetabet ved Udstraaling derfor kunne blive meget ubetydeligt, naar

Væggenes Indsugningsevne kun er lille, og selv om Afstandene ere store, kan det samme være Tilfældet. Har man f. Ex. to koncentriske Kuglesflader, af hvilke den yderste er spejlende, medens den inderste og varme udstraaler, saa vil den sidstes Varmetab være det samme, hvor stor end Radius til den ydre Flade er; alle Straaler, som udgaa fra den inderste Kugle, ville nemlig kastes tilbage til den igjen. Under disse Omstændigheder vil Varmetabet ved Udstraaling afhænge af Omgivelsernes Indsugningsevne. Anderledes forholder det sig, naar Omgivelsernes Form er vilkaarlig. Afkjøles et Legeme i et meget stort Værelse, ville kun meget faa Straaler vende tilbage til Legemet, og Varmetabet vil da være det samme, enten Væggenes Indsugningsevne er stor eller lille. Skjøndt dette vel maa betragtes som indlysende, har jeg dog anset det for heldigt at godtgjøre det direkte.

Jeg benyttede dertil en Trækasse af kubisk Form; Sidelinien var 25 Centimeter indvendigt Maal. Kassen beklædtes indvendigt med 6 kvadratiske Messingplader, som vare blanke paa den ene Side, sværtede paa den anden. Ved at opvarme en af Pladerne og holde den foran en Thermostøtte fandt jeg, at Thermomultiplikatorens Udslag var mindst 10 Gange saa stort, naar den sorte Side vendte mod Støtten, som naar det var den blanke. Ved Hjælp af dem kunde Kassens Vægge altsaa enten blive stærkt indsugende eller reflekterende. Disse to Tilfælde betegnes i følgende Tabel med «Kassen sort» eller «Kassen blank». I Midten af den ene Sideflade og den tilhørende Messingsplade var der Huller, hvorigjennem det Legeme, som skulde afkjøles, bragtes ind tilligemed Thermometret. I to modsatte Hjørner af Kassens Laag var der ligeledes Huller, hvorigjennem to andre Thermometre kunde bringes ind; de tjente til at maale Kassens Varmegrad. Det Legeme, som afkjøledes, var et Messingrør, 5.3 Centimeter langt og 0.55 Centimeter i Diameter; det lukkedes med en Prop i den ene Ende, fyldtes med Vand og deri nedsattes Thermometrets Beholder. Dette Rør anvendtes dels blankt, dels sværtet. Kassens Varmegrad var omtrent 20°, og alle Forsøgene reduceredes til denne Varmegrad. I nedenstaaende Tabel findes angivet det Antal Sekunder, som Messingsrøret brugte til at afkjøles 5° imellem 45° og 25°.

Røret	blankt	blankt	sort	sort
Kassen	blank	sort	blank	sort
45°—40°	45^s	47^s	36^s	36^s
40—35	66	67	52	51
35—30	99	99	77	76
30—25	184	183	147	142

Man ser heraf, at Afkjølingshastigheden paavirkes meget lidt af Sidevæggenes Natur; er Røret blankt, følger dette i Grunden af sig selv, da det i saa Fald næsten ingen Varme udstraaler, den allerstørste Del af Varmetabet hidrører fra Ledning gjennem Luften; derimod udstraaler der megen Varme, naar Thermometret er sværtet, og dog er der kun ringe Forskjel paa Afkjølingshastighederne. Der er ingen Tvivl om, at denne Forskjel aldeles vilde forsvinde, hvis Kassen blev større.

Den almindelige Behandling af det Tilfælde, at et Legeme udstraaler Varme til en Flade, der helt omgiver det, vilde være meget vidtløftig og lader sig i Grunden ikke udføre, da vi endnu ikke kjende, hvorledes Indsugningsevnen for Varmestraaler afhænger af Indfaldsvinklen; jeg skal derfor indskrænke mig til at angive Hovedtrækkene deraf.

Lad det Legeme L, som afkjøles, have en Varmegrad T, en Overflade s, en Udstraalingsevne e og en Indsugningsevne a; lad de samme Størrelser for de omgivende Vægge M's Vedkommende være T', s', e' og a'. Fra L udgaar i Tidsenheden en Varmemængde

$$se(273 + T)^4 = seH,$$

idet H for Kortheds Skyld sættes istedetfor fjerde Potens af den absolute Varmegrad. Deraf indsuger M Varmemængden $sea'H$

og udsender igjen $se(1-a')H$. Den Del deraf, som vender tilbage til L, kan sættes lig $\varphi se(1-a')H$, hvor φ er en Størrelse, hvis Værdi senere skal findes. Resten $(1-\varphi)se(1-a')H$ falder paa M. Af den sidste Varmemængde falder igjen $\varphi(1-\varphi)se(1-a')^2H$ paa L og saaledes videre. Af den hele udsendte Varmemængde vender altsaa

$$\varphi se(1-a')H+\varphi(1-\varphi)se(1-a')^2H+\ldots = se\frac{\varphi(1-a')}{\varphi+a'-\varphi a'}H$$

tilbage til L. Deraf optages i L Varmemængden V_1

$$V_1 = se\frac{\varphi a(1-a')}{\varphi+a'-\varphi a'}H.$$

Resten tilbagekastes. Denne sidste Del kan sættes under Formen se_1H, idet

$$e_1 = e\frac{\varphi(1-a)(1-a')}{\varphi+a'-\varphi a'}H.$$

L forholder sig nu overfor M, som om den havde haft en Udstraalingsevne e_1, og vil altsaa fra M modtage en Varmemængde

$$V_2 = se_1\frac{\varphi a(1-a')}{\varphi+a'-\varphi a'}H,$$

medens den igjen udsender Varmemængden

$$se_2H = se_1\frac{\varphi(1-a)(1-a')}{\varphi+a'-\varphi a'}H.$$

Fortsættes paa denne Maade, ser man, at L's hele Varmetab bliver

$$V = seH - V_1 - V_2 - \ldots$$

altsaa

$$V = se\frac{a'}{a'+\varphi a-\varphi aa'}H.$$

M udsender derimod i Tidsenheden en Varmemængde $s'e'H'$, naar H' sættes i Stedet for $(273+T')^4$. Deraf optager L en Mængde

$$U_1 = \varphi s'e'aH',$$

medens der paa M selv falder en Varmemængde

$$(1-\varphi)s'e'H'+\varphi s'e'(1-a)H' = s'e'(1-\varphi a)H'.$$

M vil altsaa nu forholde sig, som om den havde Udstraalingsevnen e', bestemt ved

$$e'_1 = e'(1-\varphi a)(1-a')H';$$

L vil derfor igjen modtage Varmemængden

$$U_2 = \varphi s' e'_1 a H'.$$

Fortsættes paa samme Maade, ser man, at L modtager Varmemængden $U = U_1 + U_2 + \ldots$ og man faar

$$U = \varphi s' e' \frac{a}{a' + a\varphi - aa'\varphi} H.$$

For at bestemme φ antages, at L og M have samme Varmegrad, altsaa $H = H'$, i hvilket Tilfælde tillige $V = U$. Denne Betingelse i Forbindelse med, at ifølge (4)

$$\frac{e}{a} = \frac{e'}{a'} = A$$

giver

$$\varphi = \frac{s}{s'}.$$

I Almindelighed har man altsaa, at L mister ved Udstraaling Varmemængden

$$V = \frac{ss'aa'}{a's' + (1-a')as} HA$$

og modtager igjen fra M Varmemængden

$$U = \frac{ss'aa'}{a's' + (1-a')as} H'A;$$

Differensen $V - U$ er altsaa L's virkelige Afkjøling S,

$$S = \frac{ss'aa'}{a's' + (1-a')as}(H - H')A. \tag{5}$$

Er her s' meget stor i Sammenligning med s, kan man sætte

$$S = sa(H - H')A; \tag{6}$$

ere s og s' derimod næsten ligestore faas

$$S = \frac{saa'}{a + a' - aa'}(H - H')A; \tag{7}$$

Er $a' = 1$, faas i alle Tilfælde

$$S = sa(H - H')A.$$

For at faa Udstraalingen saa stærk som muligt maa man vælge s' og a' saa store som muligt, thi man har

$$S = \frac{sa}{1 + a\frac{1-a'}{a'}\frac{s}{s'}}(H - H')A.$$

III. Hvorledes Udstraalings- og Indsugningsevnen kunne findes.

Lader os antage, at man har to kongruente Legemer L_1 og L_2 og ligeledes to kongruente Hulrum M_1 og M_2; M_1 og M_2 tænkes at være lidt større end L_1 og L_2 saaledes, at L_1 og L_2 kunne være i M_1 og M_2, men Forskjellen mellem deres Størrelse er saa lille, at Forholdet φ mellem Overfladerne kan sættes lig 1. Lad Overfladen af L_1 og M_1 være forsølvet, af L_2 og M_2 sværtet. Indsugningsevnen for L_1 og M_1 være a_1, for L_2 og M_2 derimod a_2. Anbringes L_1 i M_1 og er L_1 i Forvejen opvarmet, saa vil der gaa Varme over fra L_1 til M_1, dels paa Grund af Straaling, dels paa Grund af Ledning. Kaldes den hele Varmemængde, der gaar fra L_1 til M_1, V_{11}, den Del, der hidrører fra Straaling S_{11}, og den, der hidrører fra Ledning L, saa er

$$V_{11} = L + S_{11}$$

og ifølge (5) haves

$$S_{11} = \frac{sa_1}{2 - a_1}(H - H')A,$$

altsaa

$$V_{11} = L + \frac{sa_1}{2 - a_1}(H - H')A.$$

Kaldes den Varmemængde, som under de samme Omstændigheder gaar fra L_2 til M_2, V_{22}, og den Del deraf, som hidrører fra Straaling, S_{22}, saa haves ligeledes

$$S_{22} = \frac{sa_2}{2 - a_2}(H - H')A,$$

$$V_{22} = L + \frac{sa_2}{2 - a_2}(H - H')A.$$

Bringes derimod enten L_1 i M_2 eller L_2 i M_1 faas med analoge Betegnelser

$$S_{12} = S_{21} = \frac{s a_1 a_2}{a_1 + a_2 - a_1 a_2}(H - H')A,$$

og altsaa $V_{12} = V_{21} = L + \frac{s a_1 a_2}{a_1 + a_2 - a_1 a_2}(H - H')A.$

Man ser nu let, at

$$\frac{1}{S_{11}} + \frac{1}{S_{22}} = \frac{2}{S_{12}},$$

altsaa ogsaa at

$$\frac{1}{V_{11} - L} + \frac{1}{V_{22} - L} = \frac{2}{V_{12} - L},$$

hvilket atter giver

$$L = \frac{2 V_{11} V_{22} - V_{12}(V_{11} + V_{22})}{V_{11} + V_{22} - 2 V_{12}}.$$

Da L nu kan findes af denne Ligning, saa kunne ogsaa S_{11}, S_{22} og S_{12} betragtes som bekjendte.

Man tænke sig derpaa L_1 og L_2 afkjølede i et meget stort Rum, hvis Vægge have samme Varmegrad som M_1 og M_2. I dette Tilfælde vil Varmetabet ifølge (6) være

for L_1: $\qquad V_1 = L' + s a_1 (H - H')A,$

for L_2: $\qquad V_2 = L' + s a_2 (H - H')A,$

naar L' betegner den bortledede Varme.

Altsaa er $\qquad V_2 - V_1 = s(a_2 - a_1)(H - H')A.$

Sættes for Kortheds Skyld

$$s(H - H')A = K,$$

saa haves nu til Bestemmelse af K, a_1 og a_2 følgende Ligninger:

$$V_2 - V_1 = K(a_2 - a_1)$$

$$S_{11} = \frac{K a_1}{2 - a_1}$$

$$S_{22} = \frac{K a_2}{2 - a_2}.$$

Altsaa haves

$$a_1 = \frac{2S_{11}}{S_{11}+K}, \quad a_2 = \frac{2S_{22}}{S_{22}+K}$$

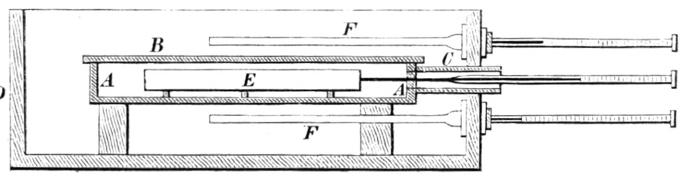
og

$$\frac{V_2 - V_1}{K} = \frac{2S_{22}}{S_{22}+K} - \frac{2S_{11}}{S_{11}+K}.$$

Af disse Ligninger kunne de søgte Størrelser findes, og man ser heraf, at det er muligt at bestemme en Overflades Indsugningsevne samt Konstanten A i absolut Maal.

Skjøndt jeg antager, at denne Fremgangsmaade vilde være den hensigtsmæssigste, har jeg dog anvendt en lidt anden Methode, navnlig for at kunne benytte Apparater, som jeg havde til min Disposition, hvoriblandt de Kobberplader, som jeg havde benyttet ved Undersøgelsen over Ledevarmen[1]).

Fig. 1.



Det Rum, hvori Afkjølingen foregik, var en lav Messingcylinder AA. Dens Højde var 2, dens Diameter 20 Centimeter indvendigt Maal. Dens Laag var en plan Messingplade B. Den hvilede paa 3 Træklodser i en Trækasse DD, som ved strømmende Vand kunde holdes ved næsten uforandret Varmegrad. I Bunden af AA laa 3 Glasstumper, hvis Højde var 0.55 Centimeter. Paa dem lagdes efter at være opvarmet en rund Kobberplade E, hvis Tykkelse var 0.9 Centimeter, dens Diameter 13.1 Centimeter. Den laa altsaa midt i Kassen. I Pladens Rand var et Hul, hvori et Thermometer anbragtes, det gik ud gjennem et Rør C, der var loddet i Siden af Messingkassen, og kunde af-

[1]) Overs. over d. Kgl. D. V. S. Forh. 1881. S 35.

læses udenfor. To Messingrør F F gik gjennem den ene Side af Trækassen, to andre Thermometre sattes ind i dem, og paa dem aflæstes Vandets og altsaa ogsaa Kassens Varmegrad. Jeg havde to saadanne Messingkasser, som vare fuldkommen ligestore. Baade Kasserne og Pladerne vare mat forsølvede, dog var Pladen efterhaanden ved Slid bleven næsten spejlende.

Fremgangsmaaden var nu følgende. Den ene af Kasserne blev sværtet indvendig over det hele med Kønrøgfernis; denne Kasse vil jeg i det følgende kalde det sorte eller M_2. Den anden lodes blank med Undtagelse af Cylinderfladen, som ogsaa sværtedes. Denne Kasse kaldes derfor den blanke eller M_1. Kobberpladen blev sværtet paa de plane Sider med samme Fernis og saa vidt muligt af samme Tykkelse som Kassen M_2. Efter at dette var i Orden, bestemtes først Afkjølingshastigheden for Pladen, som altsaa nu er sort, naar den anbragtes i den sorte Kasse. Afkjølingskastigheden være V_{22}, den afhænger af Indsugningsevnen a_2 for Kønrøgfernis. Derpaa anbragtes Pladen i den blanke Kasse M_1, Afkjølingshastigheden V_{21} bestemtes, den afhænger af Indsugningsevnerne a_2 og a_1 for Kønrøgfernis og Sølv. Endelig hængtes Kobberpladen ned i en stor Messingbeholder, hvis midterste Del var en Cylinder 24 Centimeter lang og 24 Centimeter i Diameter. Dens Ender vare lukkede med to Kegler, hvis Højde var 15 Centimeter. Beholderen var sværtet indvendig, og Pladen ophængtes lodret paa Beholderens Længdeaxe. Tager man Hensyn til Størrelsen af dens Overflade og dens store Indsugningsevne, kan det antages, at den ingen Indflydelse har paa Udstraalingen. Afkjølingshastigheden blev maalt og betegnes ved V_2, den afhænger af a_2.

Derpaa blev Pladen befriet for Kønrøgfernissen; den er altsaa nu blank, dens Udstraalingsevne er altsaa paa det nærmeste a_1. De tidligere beskrevne Forsøg gjentoges med Pladen i denne Tilstand. Først bestemtes Afkjølingshastigheden for Pladen, naar den var i den sorte Kasse; den afhænger af a_1 og a_2 og betegnes med V_{12}. Dernæst bragtes den ind i den blanke

Kasse; Afkjølingshastigheden V_{11} afhænger af a_1. Endelig ophængtes den i den store Beholder; Afkjølingshastigheden V_1 afhænger da af a_1.

Da Kasserne M_1 og M_2 ere ligestore, saa er Varmetabet ved Ledning det samme i dem begge, lad det være L, i den store Beholder derimod L'. Desuden tabe Pladerne Varme ved Straaling, og her maa man særlig betragte Udstraalingen fra de plane Endeflader og fra Cylinderfladen. I Kasserne M_1 og M_2 maa Udstraalingen fra Cylinderfladen være den samme, thi den er i begge Tilfælde blank; Kassens cylindriske Sideflade er sværtet og indsuger altsaa næsten al den Varme, som falder paa den. Kun for de Straalers Vedkommende, som falde paa Kassernes plane Flader, kan der være nogen Forskjel, men den maa i hvert Fald være højst ubetydelig, thi i den sorte Kasse M_2 indsuges denne Varme, og i den blanke kastes den hen paa den sværtede Cylinderflade og kan altsaa heller ikke vende tilbage. Jeg anser det derfor for fuldt berettiget at anse denne Udstraaling for lige stor i begge Tilfælde. Lad den være X. Anbringes Pladen dernæst i den store Beholder, saa er denne Del af Varmetabet absolut den samme, altsaa ogsaa lig X.

Den Størrelse, som det kommer an paa at finde, er den Varme, der tabes ved Udstraaling fra Pladens plane Sider til Kassens Laag og Bund, som man her gjerne kan betragte som uendelige, idet man ikke tager Hensyn til den overordentlig ringe Varme, som falder paa Kassens Cylinderflade. Denne Varmemængde betegnes ved S, og for at adskille de forskjellige Tilfælde sættes den for

Pladen sort,	Kassen sort lig	S_{22},
Pladen sort,	Kassen blank	S_{21},
Pladen blank,	Kassen sort	S_{12},
Pladen blank,	Kassen blank	S_{11}.

Er Pladen ophængt i den store Beholder, antages den at være S_1 eller S_2, eftersom Pladen er blank eller sort. Med disse Betegnelser faas

$$\left.\begin{aligned} V_{22} &= L + X + S_{22}, \\ V_{21} &= L + X + S_{21}, \\ V_{2} &= L' + X + S_{1}, \\ V_{12} &= L + X + S_{12}, \\ V_{11} &= L + X + S_{11}, \\ \text{og} \quad V_{1} &= L' + X + S_{1}. \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Disse Ligninger give

$$\begin{aligned} S_{22} - S_{11} &= V_{22} - V_{11}, \\ S_{21} - S_{12} &= V_{21} - V_{12} \\ \text{og} \quad S_{2} - S_{1} &= V_{2} - V_{1}. \end{aligned}$$

Det kommer nu an paa at finde, hvorledes Størrelserne S_{22}, S_{21}, S_{12} og S_{11} afhænge af Indsugningsevnerne a_1 og a_2.

IV. Beregning af Udstraalingen fra en Cirkelflade til en uendelig Plan, som er parallel med Cirkelfladen.

For at kunne løse denne Opgave maa man kjende den Varmemængde, som en cirkulær Flade sender til en anden cirkulær Flade, naar de have samme Radius og begge ere lodrette paa Centrernes Forbindelseslinie. Deres Radius kaldes R, deres Afstand p; den ene af Fladerne har en Varmegrad T og en Indsugningsevne a, den anden har Varmegraden T'; lad desuden den første af dem være varmere end den anden. Den Varmemængde, som et Fladeelement ds sender til et andet Element ds', kan udtrykkes ved

$$d^2 V = \frac{h\,ds\,ds'}{\rho^2} \cos\theta \cos\theta', \tag{9}$$

naar ρ er deres indbyrdes Afstand, θ og θ' Vinklerne mellem Normalerne til ds og ds' og Forbindelseslinien ρ samt h en Koefficient. Den hele Varmemængde, som udgaar fra ds, findes heraf at være

$$\pi h\,ds; \tag{10}$$

sammenlignes dette med (6) ses at

$$\pi h = a(H - H')A. \tag{11}$$

hvor H og H' have samme Betydning som tidligere. Betegnes Cirklerne ved C og C', deres Centre ved O og O', drages i C og C' parallelle Linier OB og $O'B'$ og desuden i C Linien OD, som med OB danner en Vinkel θ, og sættes $OD = r$, $O'B' = r'$, saa er Afstanden ρ mellem Punkterne D og B' bestemt ved

$$\rho^2 = p^2 + r^2 + r'^2 - 2rr'\cos\theta.$$

Endvidere bliver

$$ds = r\,dr\,d\theta$$

og

$$\cos\theta = \cos\theta' = \frac{p}{\rho}.$$

Altsaa bliver den Varmemængde, som Fladen C sender til et Element ds' af C', lig

$$dV = h\,ds'\int_0^{2\pi}\int_0^R \frac{p^2 r\,dr\,\theta}{\rho^4}.$$

For at beregne dette Integral bemærkes først, at

$$\int_0^{2\pi}\frac{d\theta}{(1 - a\cos\theta)^2} = \frac{2\pi}{(1-a^2)^{\frac{3}{2}}},$$

altsaa er

$$\int_0^{2\pi}\frac{d\theta}{(p^2 + r^2 + r'^2 - 2rr'\cos\theta)^2} = \frac{2\pi(p^2 + r^2 + r'^2)}{[(p^2 + r^2 + r'^2)^2 - 4r^2r'^2]^{\frac{3}{2}}}.$$

Altsaa er ogsaa

$$dV = 2\pi h p^2 ds'\int_0^R \frac{(p^2 + r^2 + r'^2)\,r\,dr}{[(p^2 + r^2 + r'^2)^2 - 4r^2r'^2]^{\frac{3}{2}}}.$$

For at bestemme dette Integral bemærkes, at

$$(p^2 + r^2 + r'^2)^2 - 4r^2r'^2 = (r^2 - r'^2 + p^2)^2 + 4p^2r'^2.$$

Sættes nu $z = r^2 - r'^2 + p^2$, faas

$$dV = \pi h\,ds'\int\frac{(z + 2r'^2)\,dz}{(z^2 + 4p^2r'^2)^{\frac{3}{2}}},$$

og

$$dV = \tfrac{1}{2}\pi h\,ds'\left[1 + \frac{R^2 - r'^2 - p^2}{\sqrt{(R^2 - r'^2 + p^2)^2 + 4p^2r'^2}}\right].$$

Sættes nu

$$ds' = r'dr'd\Theta',$$

hvor r' og Θ' have samme Betydning for Cirklen C', som r og Θ for C, saa bliver

$$V = \tfrac{1}{2}\pi h \int_0^{2\pi}\int_0^R \left(1 + \frac{R^2 - r'^2 - p^2}{\sqrt{(R^2 + r'^2 + p^2)^2 + 4p^2r'^2}}\right) r'dr'd\Theta,$$

som let findes at være

$$V = \pi^2 h\left(R^2 - \tfrac{1}{2}p\sqrt{p^2 + 4R^2} + \tfrac{1}{2}p^2\right). \tag{12}$$

Er her p lille i Sammenligning med R, faas

$$V = \pi^2 h R^2\left(1 - \frac{p}{R}\right),$$

for p stor i Sammenligning med R faas

$$V = \pi^2 h \frac{R^4}{p^2}.$$

For at beregne V efter (12) sættes

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{2R}{p},$$

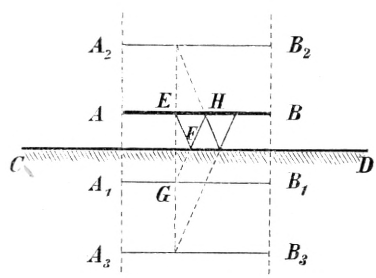
man faar da
$$V = \pi^2 h R^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\psi}{2}.$$

Lad nu AEB, Fig. 2, være den udstraalende cirkulære Flade med Radius R, CD et uendeligt Plan parallel med AB i Afstanden d, og lad Indsugningsevnerne af AB og CD være a og a'. Fra AB udstraaler ifølge (10) en Varmemængde

$$\pi^2 h R^2;$$

en Del af den kastes tilbage fra CD og falder igjen paa AB. For at finde den tilbagekastede Del benyttes Spejlbilledet af AB i CD, lad det være A_1B_1. De Straaler, der som EF falde paa CD ville kastes tilbage, som om de udgik fra A_1B_1, men deres Styrke vil være for-

Fig. 2.



mindsket paa Grund af Indsugningen i CD. Man kan antage, at A_1B_1 har Indsugningsevnen a', og altsaa udgaar der tilsyneladende fra hvert Element ds_1 af A_1B_1 en Varmemængde

$$\pi h(1 - a')ds_1.$$

Altsaa vil AB ifølge (12) modtage Varmemængden

$$V_1 = \pi^2 h(1 - a')\left(R^2 - 2d\sqrt{d^2 + R^2} + 2d^2\right)$$

eller $$V_1 = \pi^2 h(1 - a')R^2 \varphi_1$$

idet $$\varphi_1 = 1 - 2\frac{d}{R}\sqrt{1 + \frac{d^2}{R^2}} + 2\frac{d^2}{R^2},$$

deraf indsuger AB Varmemængden

$$V_1 a = \pi^2 h a(1 - a')R^2 \varphi_1.$$

Nu søges Spejlbilledet af A_1B_1 i AB, lad det være A_2B_2, de fra AB tilbagekastede Straaler ville synes at udgaa fra A_2B_2 og et Element af denne ds_2 vil udsende Varmemængden

$$\pi h(1 - a')(1 - a),$$

efter Tilbagekastningen fra CD vil det forholde sig, som om Straalerne udgaa fra A_3B_3 som er Spejlbilledet af A_2B_2 i CD. A_3B_3 vil fra hvert Element ds_3 udsende Varmemængden

$$\pi^2 h(1 - a')^2(1 - a)ds_3$$

og AB vil modtage Varmemængden

$$V_2 = \pi^2 h(1 - a')^2(1 - a)R^2\varphi_2,$$

naar $$\varphi_2 = 1 - 2\frac{2d}{R}\sqrt{1 + \frac{4d^2}{R^2}} + 2\frac{4d^2}{R^2}.$$

Deraf optager AB Varmemængden

$$V_2 a = \pi^2 h a(1 - a')^2(1 - a)R^2\varphi_2.$$

Fortsættes paa denne Maade, ser man, at AB mister en Varmemængde S,

$$S = \pi^2 h R^2 - V_1 a - V_2 a - \ldots$$

$$\left.\begin{aligned} S &= \pi^2 h R^2\left[1 - a(1-a')\left(\varphi_1 + (1-a)(1-a')\varphi_2 + (1-a)^2(1-a')^2\varphi_3 + \ldots\right)\right] \\ \varphi_n &= 1 - 2\frac{nd}{R}\sqrt{1 + \frac{n^2d^2}{R^2}} + 2\frac{n^2d^2}{R^2}. \end{aligned}\right\} \quad (13)$$

Indsættes Værdien for h, faas

$$S = \pi R^2(H - H')Aa\left[1 - a(1 - a')\left(\varphi_1 + (1 - a)(1 - a')\varphi_2 + \ldots\right)\right]. \quad (14)$$

I nærværende Tilfælde have vi $R = 6.55$, $d = 0.55$, ved Hjælp af hvilke Værdierne af $\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_2 \dots$ kunne findes. De ere beregnede i efterfølgende Tabel fra $n = 0$ til $n = 24$.

Tabel I.

n	φ	n	φ	n	φ	n	φ	n	φ
0	1.000	5	0.442	10	0.217	15	0.122	20	0.076
1	0.846	6	0.380	11	0.191	16	0.110	21	0.070
2	0.716	7	0.328	12	0.170	17	0.100	22	0.064
3	0.607	8	0.284	13	0.151	18	0.091	23	0.059
4	0.518	9	0.248	14	0.135	19	0.083	24	0.055

Ved Hjælp af Tabel I kan nu Størrelsen

$$s = a\left[1 - a(1 - a')(\varphi_1 + (1 - a)(1 - a')\varphi_2 + \dots)\right] \qquad (15)$$

beregnes for forskjellige Værdier af a og a'. Resultaterne af denne Beregning findes i Tabel II.

Tabel II.

		a									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	0.0	0.063	0.093	0.112	0.123	0.132	0.139	0.145	0.149	0.152	0.154
	0.1	0.075	0.121	0.153	0.175	0.192	0.206	0.216	0.225	0.233	0.239
	0.2	0.082	0.141	0.184	0.217	0.244	0.266	0.284	0.299	0.312	0.323
	0.3	0.087	0.155	0.209	0.253	0.290	0.320	0.347	0.370	0.390	0.408
a'	0.4	0.091	0.166	0.229	0.283	0.330	0.371	0.407	0.439	0.467	0.492
	0.5	0.093	0.174	0.246	0.309	0.366	0.417	0.463	0.505	0.543	0.577
	0.6	0.095	0.181	0.260	0.332	0.398	0.459	0.515	0.568	0.616	0.662
	0.7	0.097	0.187	0.272	0.352	0.427	0.498	0.566	0.629	0.689	0.746
	0.8	0.098	0.192	0.283	0.370	0.454	0.535	0.613	0.688	0.760	0.831
	0.9	0.099	0.196	0.292	0.386	0.478	0.568	0.657	0.745	0.831	0.915
	1.0	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000

V. Afkjøling i den sorte Kasse.

De 3 Thermometre, som benyttedes ved Afkjølingsforsøgene, bleve først sammenlignede med et Thermometer, hvis Frysepunkt og Kogepunkt bleve prøvede, og som derefter blev prøvet paa Inddelingens Rigtighed paa den sædvanlige Maade. Alle Maalingerne bleve rettede saaledes, at de stemme med dette Normalthermometer. Til at maale Pladens Varmegrad brugtes ved alle Forsøgene det samme Thermometer. Da det altid var Afkjøling, som iagttoges, maa dette Thermometers Angivelser være højere end Pladens sande Varmegrad. At finde Rettelsen derfor er vanskeligt, jeg har brugt følgende Fremgangsmaade. Antages at Pladens Varmegrad synker jævnt, saa vil Thermometret synke lige saa stærkt. Kaldes Pladens Varmegrad T, Thermometrets T_1, Afkjølingshastigheden for dem begge v, saa er

$$v = k(T_1 - T),$$

hvor k kan betragtes som konstant, da $T_1 - T$ altid maa være lille. Til at maale k benyttedes den sædvanlige Methode. Thermometret sattes ind i Pladen og dennes Varmegrad T, som holdtes konstant, maaltes; derpaa toges Thermometret ud, opvarmedes, sattes ind igjen og Afkjølingshastigheden for Thermometret bestemtes. Af denne findes k. Jeg antog nu, at den saaledes fundne Værdi ogsaa kunde benyttes, naar Pladens Varmegrad, istedet for at være konstant, aftager jævnt; Fejlen, man begaar derved, kan i hvert Fald næppe være stor. Jeg fandt derved, at

$$T_1 - T = 0.23 \,.\, v, \tag{16}$$

hvilken Formel er benyttet ved Beregningen af de følgende Forsøg.

Vi komme nu til selve Afkjølingsforsøgene. Den paa begge Sider sværtede Plade anbragtes paa den i III beskrevne Maade i den ligeledes sværtede Messingkasse M_2. Pladen var i Forvejen opvarmet til omtrent 60°, den afkjøledes nu, og dens Varmegrad T_1 tilligemed Vandets Varmegrad T' maaltes. Det viste sig umuligt at holde Vandets Varmegrad fuldkommen konstant, hvilket i høj Grad vanskeliggjør Beregningen af Forsøgene. Hvorledes jeg har søgt at udlede Afkjølingshastigheden v af Forsøgene, vil fremgaa af det følgende.

Forsøg I. Pladen sort, Kassen sort.

t	T'	T_1	t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	10°.52	48°.90	11^m	°	33°.22	22^m	10°.35	24°.22
1		47.06	12	10.47	32.20	23		23.60
2	10.50	45.36	13		31.20	24	10.35	23.02
3		43.72	14	10.45	30.30	25		22.50
4	10.50	42.18	15		29.40	26	10.36	22.00
5		40.70	16	10.40	28.58	27		21.46
6	10.49	39.30	17		27.76	28	10.38	21.00
7		37.98	18	10.37	27.00	29		20.54
8	10.48	36.68	19		26.22	30	10.40	20.10
9		35.48	20	10.35	25.54			
10	10.47	34.34	21		24.84			

Her betegner t Tiden angiven i Minuter, T' Vandets Varmegrad, T_1 det i Pladen anbragte Thermometers Varmegrad. Af disse Forsøg i Forbindelse med (16) findes Forskjellen mellem Pladens og Kassens Varmegrad, som betegnes med θ, denne Størrelse kan fremstilles ved et Udtryk af Formen

$$\theta = \theta_0 m^{-(\alpha t \div \beta t^2)} \qquad (17)$$

hvor θ_0 er Begyndelsestemperaturen, t Tiden, $m = 10$, α og β Konstanter, som findes ved de mindste Kvadraters Methode. Efter at disse ere fundne, beregnes θ igjen, Resultaterne af denne Beregning ere angivne under «θ ber.».

I a			I b			I c		
t	θ	θ ber.	t	θ	θ ber.	t	θ	θ ber.
1	36°.16	36°.16	6	28°.50	28°.50	18	16°.46	16°.46
2	34.48	34.47	8	25.91	25.92	20	15.02	15.02
3	32.85	32.85	10	23.61	23.60	22	13.72	13.72
4	31.33	31.33	12	21.51	21.52	24	12.54	12.56
5	29.87	29.87	14	19.64	19.64	26	11.53	11.50
6	28.49	28.48	16	17.95	17.94	28	10.54	10.55

Til Grund for disse Beregninger ligger følgende Værdier af Konstanterne.

	θ_0	θ_1	T'_1	T'_2	a	β
I a	$36^\circ.16$	$28^\circ.49$	$10^\circ.50$	$10^\circ.50$	0.02084	— 0.000027
I b	28.50	17.95	10.49	10.44	0.02073	— 0.000066
I c	16.46	10.54	10.36	10.36	0.02002	— 0.000072

Her betegner θ_1 Slutningstemperaturen for det Afsnit af Forsøget, som er lagt til Grund for Beregningen, T'_1 og T'_2 er Kassens Varmegrad ved Begyndelsen og Slutningen. Har denne varieret noget uden en afgjort Stigen eller Falden, saa sættes T'_1 og T'_2 ligestore med Middelværdien, har der været en nogenlunde jævn Stigen eller Falden, saa bestemmes T'_1 og T'_2 saaledes, at de saa godt som muligt komme til at slutte sig til Forsøgene. Ved et enkelt Forsøg kan der derved komme en betydeligere Afvigelse, saaledes som det er Tilfældet i Ib, idet $T'_2 = 10^\circ.44$, medens den sande Værdi er $10^\circ.40$; men betragtes den hele Forsøgsrække, saa ses strax, at man faar bedst Overensstemmelse paa denne Maade.

Forsøg II. Pladen blank, Kassen sort.

t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	$9^\circ.19$	$49^\circ.60$	22^m	$9^\circ.28$	$30^\circ.40$
2	9.20	47.22	24	9.28	29.22
4	9.22	45.02	26	9.28	28.16
6	9.27	43.00	28	9.28	27.10
8	9.28	41.04	30	9.28	26.10
10	9.28	39.22	32	9.27	25.20
12	9.29	37.56	34	9.25	24.34
14	9.29	35.96	36	9.26	23.52
16	9.29	34.40	38	9.28	22.74
18	9.29	33.00	40	9.32	22.00
20	9.28	31.66	42	9.33	21.34

Disse Forsøg beregnes paa samme Maade som foran, Resultaterne findes i de to følgende Tabeller.

II a			II b			II c		
t	θ	θ ber.	t	θ	θ ber	t	θ	θ ber.
0^m	$40^\circ.12$	$40^\circ.12$	12^m	$28^\circ.07$	$28^\circ.07$	20^m	$22^\circ.23$	$22^\circ.23$
2	37.75	37.77	14	26.49	26.47	24	19.81	19.83
4	35.55	35.57	16	24.94	24.96	28	17.71	17.71
6	33.52	33.50	18	23.55	23 54	32	15.82	15.82
8	31.55	31.55	20	22.22	22.22	36	14.15	14.14
10	29.72	29.73	22	20.97	20.97	40	14.64	14.65

Til Grund for Beregningerne ligge følgende Værdier af Konstanterne.

	θ_0	θ_1	T'_1	T'_2	α	β
II a	$40^\circ.12$	$29^\circ.72$	$9^\circ.19$	$9^\circ.29$	0.01313	— 0.0000115
II b	28.07	20.97	9.29	9.29	0.01279	— 0.0000135
II c	22.23	14.64	9.28	9.28	0.01243	— 0.0000089

Af (17) faas Afkjølingshastigheden V ved Hjælp af

$$V = -\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta}{\log e}\sqrt{\alpha^2 + 4\beta\frac{\log\theta_0}{\log\theta}}. \tag{18}$$

Ved Hjælp heraf kunne Værdierne af V findes for de foregaaende Forsøg, Beregningen er udført for $\theta = 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ og 35°. Derved er tillige taget Hensyn til, at Kassens Varmegrad ved nogle af Forsøgene var foranderlig. Dette sker ved at subtrahere Stigningen i et Minut fra den fundne Afkjølingshastighed.

θ	I a	I b	I c	V_{22}	II a	II b	II c	V_{12}
15°			0.681	0.681			0.416	0.416
20		0.913		0.913		0.559	0.588	0.573
25		1.177		1.177		0.729		0.729
30	1.425			1.425	0.881	0.887		0.884
35	1.677			1.677	1.040			1.040

I ovenstaaende Tabel findes under V_{22} og V_{12} Afkjølingshastighederne for Pladen henholdsvis sort og blank. Differensen $V_{22} - V_{12}$ er ifølge (8) lig Differensen mellem Udstraalingerne S_{22} og S_{12}. Antages nu, at Udstraalingen følger Stefans Lov, saa skal Størrelsen

$$Q_{22} - Q_{12} = \frac{V_{22} - V_{12}}{(273 + T' + \theta)^4 - (273 + T')^4}$$

være konstant. Man faar, naar det udkomne multipliceres med 10^{10},

$$\theta = 15^\circ \quad 20^\circ \quad 25^\circ \quad 30^\circ \quad 35^\circ$$

$$10^{10}.(Q_{22} - Q_{12}) = 1.80 \quad 1.69 \quad 1.73 \quad 1.70 \quad 1.67$$

Middelværdien heraf er 1.70 altsaa er

$$Q_{22} - Q_{12} = 1.72 \,.\, 10^{-10}. \qquad (19)$$

VI. Afkjøling i den blanke Kasse.

Dernæst anbragtes Pladen i den blanke Kasse M_1 først sort derpaa blank. Forsøgene anstilledes forøvrigt ganske paa samme Maade som foran og findes anførte nedenunder.

Forsøg III. Pladen sort, Kassen blank.

t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	$9^\circ.96$	$48^\circ.60$	22^m	$^\circ$	$28^\circ.74$
2		46.02	24	9.88	27.58
4	9.90	43.72	26		26.46
6		41.58	28		25.44
8		39.56	30	9.87	24.54
10	9.86	37.62	32		23.60
12		35.88	34	9.84	22.80
14	9.85	34.20	36		22.00
16		32.70	38		21.28
18		31.28	40	9.83	20.60
20	9.88	29.98	42		19.98

Heraf beregnes igjen følgende Tabel

III a			III b			III c		
t	θ	θ ber.	t	θ	θ ber.	t	θ	θ ber.
0^m	$38^\circ.33$	$38^\circ.33$	12^m	$25^\circ.82$	$25^\circ.82$	22^m	$18^\circ.72$	$18^\circ.72$
2	35.80	35.86	14	24.15	24.18	24	17.57	17.56
4	33.55	33.56	16	22.67	22.66	26	16.46	16.48
6	31.45	31.43	18	21.26	21.26	28	15.45	15.46
8	29.46	29.43	20	19.97	19.95	30	14.55	14.52
10	27.55	27.57	22	18.74	18.75	32	13.62	13.63

Forsøg IV. Pladen sort, Kassen blank.

t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	$9^\circ.90$	$39^\circ.64$	17^m	$9^\circ.85$	$27^\circ.12$
2	9.90	37.78	19		26.04
4	9.88	36.00	21	9.85	25.04
6	9.88	34.38	23	9.89	24.14
8	9.87	32.82	25		23.26
10	9.86	31.40	27	9.90	22.44
11	9.86	30.74	29		21.74
13	9.86	29.42	31	9.90	21.00
15	9.86	28.22	33		20.36

IV a			IV b			IV c		
t	θ	θ ber.	t	θ	θ ber.	t	θ	θ ber.
0^m	$29^\circ.52$	$29^\circ.52$	19^m	$20^\circ.72$	$20^\circ.72$	31^m	$14^\circ.14$	$14^\circ.14$
2	27.67	27.66	21	19.41	19.44	33	13.27	13.27
4	25.91	25.92	23	18.22	18.24	35	12.46	12.48
6	24.31	24.30	25	17.14	17.11	37	11.76	11.73
8	22.78	22.79	27	16.07	16.06	39	11.03	11.04
10	21.38	21.38	29	15.07	15.08	41	10.39	10.39

Til Grund for disse Beregninger ligge følgende Værdier af Konstanterne.

	θ_0	θ_1	T'_1	T'_2	α	β
III a	38°.33	27°.55	9°.96	9°.86	0.01449	— 0.0000185
III b	25.82	18 74	9 86	9.86	0.01432	-- 0.0000438
III c	18.72	13 62	9.88	9 88	0 01392	-- 0.0000153
IV a	29.52	21.38	9 90	9 86	0.01417	— 0.0000152
IV b	20.72	15.07	9.86	9.86	0.01390	— 0.0000096
IV c	14.14	10.39	9 90	9.90	0 01369	— 0.0000312

Forsøg V. Pladen blank, Kassen blank.

t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	10°.00	49°.36	22^m	9°.67	30°.66
2	9.96	47.04	24	9.64	29.52
4	9.88	44.98	26	9.63	28.40
6	9.87	42.96	28	9.59	27.40
8	9.87	41.04	30	9.58	26.40
10	9.83	39.30	32	9.56	25.48
12	9.81	37.62	34	9.54	24.60
14	9.78	36.04	36	9.53	23.80
16	9.77	34.60	38	9.51	23.00
18	9.76	33.20	40	9.50	22.30
20	9.71	31.90	42	9.50	21.60

Heraf erholdes for θ følgende Værdier.

V a			V b			V c		
t	θ	θ ber.		θ	θ ber.	t	θ	θ ber.
0^m	39°.08	39°.08	12^m	27°.62	27°.62	22^m	20°.85	20°.85
2	36.83	36.87	14	26.09	26.11	26	18.65	18.65
4	34.83	34.79	16	24.69	24.68	30	16.71	16.70
6	32.85	32.84	18	23.32	23.33	34	14.95	14.95
8	30.97	30.99	20	22.05	22.06	38	13.38	13.39
10	29.27	29.26	22	20.85	20.85	42	12.02	12.01

Forsøg VI. Pladen blank, Kassen blank.

t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	$10^\circ.15$	$49^\circ.18$	12^m	$10^\circ.30$	$37^\circ.60$
2	10.19	46.94	14	10.31	36.04
4	10.19	44.80	16	10.33	34.60
6	10.25	42.82	18	10.34	33.24
8	10.28	40.98	20	10.39	32.00
10	10.30	39.20	22	10.41	30.80

Heraf erholdes for Θ følgende Værdier.

VI a			VI b		
t	Θ	Θ ber.	t	Θ	Θ ber.
0^m	$38^\circ.75$	$38^\circ.75$	10^m	$28^\circ.71$	$28^\circ.71$
2	36.51	36.49	12	27.11	27.08
4	34.36	34.37	14	25.55	25.55
6	32.36	32.37	16	24.11	24.11
8	30.50	30.49	18	22.75	22.77
10	28.71	28.71	20	21.51	21.50

Til Grund for Beregningen af Forsøgene V og VI ligge følgende Værdier af Konstanterne.

	Θ_1	Θ_2	T'_1	T'_2	α	β
V a	$39^\circ.08$	$29^\circ.27$	$10^\circ.00$	$9^\circ.83$	0.01265	— 0.0000080
V b	27.62	20.85	9.81	9.67	0.01226	— 0.0000042
V c	20.85	12.02	9.67	9.50	0.01213	— 0.0000077
VI a	38.75	28.71	10.15	10.30	0.01301	— 0.0000000
VI b	28.71	21.51	10.30	10.35	0.01271	— 0.0000150

Af denne Tabel kan nu igjen Afkjølingshastigheden findes for de samme Værdier af Θ som tidligere.

Pladen sort, Kassen blank.

θ	III a	IV b	III c	IV a	IV b	IV c	V_{21}
15°			0.473		0.473	0.477	0.474
20		0.628			0.639		0.633
25		0.819		0.811			0.815
30	0.992			0.983			0.988
95	1.170						1.170

Pladen blank, Kassen blank.

θ	V a	V b	V c	VI a	VI b	V_{11}
15°			0.421			0.421
20		0.574	0.568		0.563	0.568
25		0.718			0.719	0.718
30	0.880			0.884		0.882
35	1.032			1.033		1.032

Differensen $V_{21} - V_{11}$ divideres med $(273 + T' + \theta)^4 - (273 + T')_4$, derved erholdes Kvotienten $Q_{21} - Q_{11}$ multipliceret med 10^{10}.

$$\theta = 15° \quad 20° \quad 25° \quad 30° \quad 35°$$

$$10^{10}(Q_{21} - Q_{11}) = 0.36 \quad 0.32 \quad 0.37 \quad 0.33 \quad 0.36$$

altsaa $$Q_{21} - Q_{11} = 0.35 \,.\, 10^{-10}. \tag{20}$$

VII. Afkjøling i den store Beholder.

Pladen blev ophængt paa den foran beskrevne Maade i den store, indvendig sværtede, Beholder, først sort, derefter blank. Forsøgene og Beregningerne derover findes i de følgende Tabeller, som ville være forstaaelige uden videre Forklaring.

Forsøg VII. Pladen sort.

t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	$11^\circ.10$	$47^\circ.98$	13^m	$^\circ$	$31^\circ.08$
2		44.52	15	11.10	29.40
4		41.42	17		27.86
6	11.10	38.66	19		26.46
8		36.20	21	11.10	25.20
9		35.02	23		24.06
10	11.10	34.00	25		23.02
11		32.98	27	11.10	22.06

Heraf erholdes følgende Værdier af Θ.

VII a			VII b			VII c		
t	Θ	Θ ber.	t	Θ	Θ ber.	t	Θ	Θ ber.
0^m	$36^\circ.46$	$36^\circ.46$	9^m	$23^\circ.67$	$23^\circ.67$	17^m	$16^\circ.60$	$16^\circ.60$
2	33.04	33.03	11	21.65	21.63	19	15.21	15.22
4	29.98	30.99	13	19.77	19.79	21	13.96	13.97
6	27.26	27.26	15	18.11	18.11	23	12.84	12.83
8	24.83	24.83	17	16.60	16.59	25	11.82	11.81
10	22.67	22.67	19	15.20	15.20	27	10.87	10.87

Forsøg VIII. Pladen sort.

t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	$11^\circ.57$	$48^\circ.60$	11^m	$^\circ$	$33^\circ.52$
2		45.16	13		31.62
4	11.55	42.02	15	11.53	29.96
6		39.26	17		28.40
8		36.80	19	11.53	27.00
10	11.56	34.58	21		25.76

Heraf erholdes følgende Værdier af θ.

VIII a			VIII b		
t	θ	θ ber.	t	θ	θ ber.
0^m	$36^\circ.61$	$36^\circ.61$	11^m	$21^\circ.73$	$21^\circ.73$
2	33.22	33.18	13	19.85	19.86
4	30.11	30.13	15	18.22	18.20
6	27.49	27.40	17	18.86	18.88
8	24.96	24.96	19	15.30	15.32
10	22.78	22.78	21	14.09	14.08

Til Grund for Beregningen af Forsøgene VII og VIII ligge følgende Værdier af Konstanterne.

	θ_0	θ_1	T'_1	T'_2	α	β
VII a	$36^\circ.46$	$22^\circ.67$	$11^\circ.10$	$11^\circ.10$	0.02163	— 0.0000989
VII b	23.67	15.20	11.10	11.10	0.01960	— 0.0000375
VII c	16.60	10.87	11.10	11.10	0.01899	— 0.0000635
VIII a	36.61	22.78	11.56	11.56	0.02151	— 0.0000893
VIII b	21.73	14.09	11.56	11.53	0.01959	— 0.0000749

Forsøg IX. Pladen blank.

t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	$9^\circ.73$	$46^\circ.40$	11^m		$36^\circ.52$
1		45.32	12	9.73	35.80
2	9.75	44.30	13		35.06
3		43.32	14	9.73	34.40
4	9.76	42.38	15		33.76
5		41.42	16	9.73	33.10
8	9.76	38.84	17		32.48
9		38.02	18	9.73	31.88
10	9.74	37.24	19		31.32

Deraf faas for θ:

IX a			IX b			IX c		
t	Θ	Θ ber.	t	Θ	Θ ber.	t	Θ	Θ ber.
0^m	$36^\circ.42$	$36^\circ.42$	8^m	$28^\circ.89$	$28^\circ.89$	14^m	$24^\circ.52$	$24^\circ.52$
1	35.34	35.35	9	28.09	28.11	15	23.23	23.24
2	34.31	34.32	10	27.32	27.34	16	22.02	22.04
3	33.34	33.34	11	26.61	26.60	17	20.92	20.90
4	32.40	32.39	12	25.90	25.88	18	19.83	19.83
5	31.44	31.45	13	25.17	25.18	19	18.83	18.83

Forsøg X. Pladen blank.

t	T'	T_1	t	T'	T_1	t	T'	T_1
0^m	$13^\circ.10$	$49^\circ.60$	12^m	$13^\circ.31$	$39^\circ.14$	29^m	$13^\circ.43$	$29^\circ.94$
2	13.12	47.52	14	13.33	37.80	31	13.46	29.16
4	13.23	45.60	16	13.34	36.50	33	13.44	28.40
6	13.25	43.80	18	13.36	35.28	35	13.46	27.70
8	13.30	42.20	20	13.41	34.20	37	13.42	27.00
10	13.30	40.60	22	13.44	33.14	39	13.42	26.40
12	—	—	24	—	—	41	13.45	25.80

Deraf faas for Θ:

X a			X b			X c		
t	Θ	Θ ber.	t	Θ	Θ ber	t	Θ	Θ ber.
0^m	$36^\circ.25$	$36^\circ.25$	12^m	$25^\circ.67$	$25^\circ.67$	29^m	$16^\circ.41$	$16^\circ.41$
2	34.15	34.15	14	24.32	24.30	31	15.63	15.62
4	32.21	32.22	16	23.01	23.02	33	14.88	14.88
6	30.38	30.39	18	21.78	21.80	35	14.18	14.17
8	28.75	28.71	20	20.68	20.67	37	13.49	13.51
10	27.12	27.14	22	19.60	19.60	39	12.89	12.88
12	—	—	24	—	—	41	12.29	12.28

Til Grund for Beregningen af IX og X ligge følgende Værdier af Konstanterne.

	θ_0	θ_1	T'_1	T'_2	α	β
IX a	36°.42	31°.45	9°.73	9°.76	0.01294	— 0.0000423
IX b	28.89	25.17	9.76	9.73	0.01205	— 0.0000231
IX c	24.52	18.83	9.73	9.74	0.01171	— 0.0000237
X a	36.25	27.12	13.10	13.30	0.01297	— 0.0000395
X b	25.67	19.60	13.31	13.43	0.01197	— 0.0000260
X c	16.41	12.29	13.44	13.44	0.01072	— 0.0000208

Af disse Forsøg faas følgende Værdier for Afkjølingshastigheden.

Pladen sort.

θ	VII a	VII b	VII c	VIII a	VIII b	V_2
15°	—	0.650	0.645	—	0.636	0.644
20	—	0.890	—	—	0.893	0.891
25	1.152	—	—	1.155	—	1.153
30	1.436	—	—	1.435	—	1.435
35	1.726	—	—	1.720	—	1.723

Pladen blank.

θ	IX a	IX b	IX c	X a	X b	X c	V_1
15°						0.365	0.305
20			0.522		0.517		0.519
25		0.686			0.680		0.683
30	0.849			0.841			0.845
35	1.028			1.018			1.023

Differensen $V_2 - V_1$ divideres med $(273 + T' + \theta)^4 - (273 + T')_4$, derved erholdes Kvotienten $Q_2 - Q_1$. Man faar

$$\theta = 15° \quad 20° \quad 25° \quad 30° \quad 35°$$

$$10^{10} . (Q_2 - Q_1) = 1.87 \quad 1.82 \quad 1.80 \quad 1.84 \quad 1.82$$

hvoraf

$$Q_2 - Q_1 = 1.83 . 10^{-10}. \tag{21}$$

VIII. Bestemmelse af Indsugningsevnen.

Resultaterne af de foregaaende Forsøg ere samlede i Tabel III.

Tabel III.

θ	V_{22}	V_{12}	V_{21}	V_{21}	V_2	V_1
15°	0.681	0.416	0.474	0.421	0.644	0.365
20	0.913	0.573	0.633	0.568	0.891	0.519
25	1.177	0.729	0.815	0.718	1.153	0.683
30	1.425	0.884	0.988	0.882	1.435	0.845
35	1.677	1.040	1.170	1.032	1.723	1.023
T'	10°.5	9°	10°	10°	11°	11°

For at finde Indsugningsevnen gik jeg ud fra, at Varmeledningen ikke paavirkedes af den Omstændighed, at de Flader, som udstraalede og indsugede Varmen, snart vare blanke, snart sværtede, og ved at prøve forskjellige Værdier for Indsugningsevnen fandt jeg, at Forsøgene tilfredsstilledes ved følgende Antagelser. Jeg sætter Indsugningsevnen for Pladen blank $a_1 = 0.051$, for den samme Plade sværtet $a_2 = 0.911$. For den blanke Kasse antages $a = 0.069$ og for den sorte $a_2 = 0.911$. Endvidere sættes

$$\frac{2\pi R^2 A}{CP} = 2.14 \,.\, 10^{-10}, \tag{23}$$

hvor C er Pladens Varmefylde og P dens Vægt.

Man ser nu tillige af (8), at vi have

$$\left.\begin{aligned} PCV_2 &= L' + X + 2\pi R^2 A a_2 (T_0^4 - T_0'^4) \\ \text{og} \qquad PCV_1 &= L' + X + 2\pi R^2 A a_1 (T_0^4 - T_0'^4), \end{aligned}\right\} \tag{24}$$

hvor T_0 betegner Pladens, T_0' Beholderens absolute Varmegrad og $T - T' = \theta$. Heraf erholdes følgende Værdier for Størrelsen

$$Y = \frac{L' - X}{PC}.$$

Tabel IV.

$T - T'$	Y_2	Y_1	Middel
15°	0.357	0.349	0.353
20	0.498	0.497	0.498
25	0.648	0.655	0.652
30	0.814	0.810	0.812
35	0.979	0.981	0.980

Her er Y_2 beregnet af V_2, Y_1 af V_1 og som man ser, ere begge paa det nærmeste ligestore.

Endvidere have vi ifølge (8) og (14)

$$\left.\begin{aligned} PCV_{22} &= L + X + 2\pi R^2 f(a_2, a_2) A (T^4 - T'^4) \\ PCV_{12} &= L + X + 2\pi R^2 f(a_1, a_2) A (T^4 - T'^4) \\ PCV_{21} &= L + X + 2\pi R^2 f(a_2, \alpha) A (T^4 - T'^4) \\ PCV_{11} &= L + X + 2\pi R^2 f(a_2, \alpha) A (T^4 - T'^4) \end{aligned}\right\} \quad (25)$$

hvor $f(a_2, a^2) = a_1 [1 - a_1 (1 - a_2)(\varphi_1 + (1 - a_1)(1 - a_2)\varphi_2 + \ldots)]$ i Overensstemmelse med (15). Derved findes

$$f(a_2, a_2) = f(0.911, 0.911) = 0.849$$
$$f(a_1, a_2) = f(0.051, 0.911) = 0.050$$
$$f(a_2, \alpha) = f(0.911, 0.069) = 0.209$$
$$f(a_1, \alpha) = f(0.051, 0.069) = 0.044$$

Derved erholdes fire Værdier af Størrelsen

$$Y = \frac{L + X}{PC}.$$

De ere i Tabel V betegnede med de Indices, der svare til de Forsøg, hvoraf de ere udledede.

Tabel V.

$T - T'$	Y_{22}	Y_{12}	Y_{21}	Y_{11}	Middel
15°	0.413	0.400	0.408	0.407	0.407
20	0.547	0.551	0.543	0.549	0.548
25	0.706	0.701	0.699	0.694	0.700
30	0.847	0.850	0.846	0.852	0.849
35	0.984	0.999	0.999	0.996	0.995

Der er i det hele taget god Overensstemmelse mellem de fundne Værdier af Y; og det fremgaar af Tabel IV og V, at de valgte Værdier for Indsugningsevnen kunne betragtes som tilfredsstillende. At den er større for den forsølvede Kasse end for den ligeledes forsølvede Plade, ligger i, at Kassen blev forsølvet umiddelbart inden Forsøgene foretoges, medens Pladen havde været benyttet i over et Aar til forskjellige Forsøg og ved hyppig Brug næsten var bleven spejlende.

Endvidere kunne vi nu finde A ved Hjælp af Ligningen (23)

$$\frac{2\pi R^2 A}{PC} = 2.14 \,.\, 10^{-10}.$$

Heri er nemlig $R = 6.55$ Centimeter, $P = 992$ Gram og $C = 0.0917$, som jeg har fundet ved Kalorimeterforsøg. Dette giver

$$A = 0.728 \,.\, 10^{-10},$$

som er den Varmemængde, en absolut sort Flade eller rettere en Flade, hvis Indsugningsevne er lig 1, udstraaler fra 1 Kvadratcentimeter i et Minut, naar dens Varmegrad er $-272°$, medens Omgivelsernes Varmegrad er $-273°$. I et Sekund udstraaler den altsaa en Varmemængde

$$A' = \frac{A}{60} = 1.21 \,.\, 10^{-12}.$$

Er Fladens Varmegrad 100° C., Omgivelsernes 0° C., bliver den afgivne Varme lig $A'(373^4 - 273^4) = 0.0167$.
For Glas fandt Lehnebach[1]) den samme Størrelse lig 0.0153, og Glassets Indsugningsevne maa altsaa have været

$$\frac{0.0153}{0.097} = 0.917.$$

Da Lehnebach fandt det samme Resultat for sværtet Glas, maa dette have haft samme Udstraalingsevne som Glasset selv, hvilket stemmer med det af mig fundne.

Grätz[2]) har fundet Glassets Udstraalingsevne lig

$$e = 1.0846 \,.\, 10^{-12}$$

---

[1]) Pogg. Ann. 151. S. 108. 1874.
[2]) Wied. Ann. 11. S. 930. 1880.

dets Indsugningsevne a er altsaa bestemt ved

$$a = \frac{e}{A'} = 0.90,$$

altsaa næsten samme Resultat som ovenfor. Man har ogsaa ældre Undersøgelser af Leslie og de la Provostaye og Desains, ifølge hvilke Glassets Indsugningsevne omtrent maa være 0.9.

Stefan er ved Diskussion af forskjellige Forsøg over Udstraalingen kommen til det Resultat, at den Varmemængde, som i et Minut udstraaler fra en sort Flade ved 100° til Omgivelser ved 0°, er for en Kvadratcentimeter lig 1.0 omtrent, i Sekundet altsaa 0.0167, ligesom jeg har fundet det.

IX. Andre Forsøg.

Efter at disse Forsøg vare afsluttede, blev Pladen beklædt med Fuchsin. Jeg lagde Pladen vandret paa et Bord og hældte 2 Kubikcentimetre af en Opløsning i Vinaand paa den; ved Fordampning dannedes der da et temmelig jævnt Lag af Farvestoffet paa Pladen. Den anden Side blev derefter belagt paa samme Maade. Denne Plades Afkjølingshastighed blev nu maalt paa samme Maade som før, og Resultaterne vare følgende.

Tabel VI.

$T—T'$	V_2	S_2	V_{22}	S_{22}	V_{21}	S_{21}
15°	0.511	0.158	″	″	0.450	0.043
20	0.711	0.213	0.759	0.211	0.614	0.066
25	″	″	0.978	0.278	0.787	0.087
30	1.183	0.371	1.181	0.332	0.955	0.106
35	1.413	0.433	1.413	0.418	″	″
T'	10.°5	10.°5	9°	9°	10°	10°

Her betyder ligesom i de tidligere Tabeller V_2, V_{22} og V_{21} de direkte iagttagne Afkjølingshastigheder. Ved Hjælp af Tabellerne IV og V kan den Del af disse, som hidrører fra Udstraaling fra de plane Flader, findes; denne Del er betegnet med S_2, S_{22} og S_{21}, og man har

$$PCS_2 = 2\pi R^2 A X (T_0^4 - T_0'^4)$$
$$PCS_{22} = 2\pi R^2 A f(X, 0.911)(T_0^4 - T_0'^4)$$
$$PCS_{21} = 2\pi R^2 A f(X, 0.069)(T_0^4 - T_0'^4)$$

hvor X er Pladens Indsugningsevne. Da vi nu have fundet, at

$$\frac{2\pi R^2 A}{PC} = 2.14 \, . \, 10^{-10},$$

saa finder man let af de ovenstaaende Ligninger i Forbindelse med Tabel VI, at

$$X = 0.524$$
$$f(X, 0.911) = 0.504$$
$$f(X, 0.069) = 0.153.$$

Men da Funktionen f's Form er bekjendt, saa lader den sig ogsaa direkte beregne, og man finder

$$f(0.524, 0.911) = 0.505,$$
$$f(0.524, 0.069) = 0.179.$$

Med Hensyn til den sidste Størrelse er der en betydelig Forskjel mellem det ved Forsøg og Beregning fundne Resultat. Dette Forhold har dog ikke saa stor Betydning, da S_{21} selv er en meget lille Størrelse fremkommen ved Subtraktion af andre Størrelser, en Fejl af 1 pCt. paa en af de sidste frembringer en Fejl af omtrent 10 pCt. paa S_{21}.