

Nogle Bemærkninger angaaende Planeternes Varmegrad.

Af

C. Christiansen.

Det er allerede temmelig vanskeligt at bestemme Middelttemperaturen for de enkelte Steder paa Jordens Overflade, og man finder endda paa denne Maade kun Varmegraden af den Luft, som findes tæt ved Jorden; om Varmegraden i de højere Luftlag har man hidtil kun højst ufuldkomne Oplysninger. Det ligger i Sagens Natur, at det er endnu langt vanskeligere at danne sig en Forestilling om Temperaturen paa de andre Planeter, og der har, saavidt jeg ved, heller ikke været gjort noget Forsøg derpaa endnu. Kun med Solen og Maanen forholder det sig noget anderledes. Solen sender Varme til alle Planeterne og denne Varmemængde kan for Jordens Vedkommende bestemmes kalorimetrisk; men af den udstraaede Varme kan man med nogen Ret slutte sig til selve det varme Legemes Temperatur. Ogsaa Maanen sender Varme til Jorden, men denne er overmaade ringe, neppe til at paavise, alligevel er det lykkedes Lord Rosse at faa Maanevermen maalt og derved igjen at danne sig en Forestilling om Maanens Varmegrad ved Fuldmaane; men for de egenlige Planeters Vedkommende kan der aldeles ikke være Tale om at maale den udstraalende Varme, man maa derfor søge andre Udgangspunkter, naar man vil have noget at vide om deres Temperatur. Da Planeternes Varmegrad væsentlig

maa afhænge af Solvarmen, vil jeg først give en Oversigt over de Bestemmelser, man har af denne.

I. Solkonstanten.

Med dette Navn plejer man at betegne den Varmemængde, som en absolut sort Flade, hvis Areal er en Kvadratcentimeter, modtager i et Sekond, naar den træffes lodret af Solstraalerne. Fladen tænkes i en Afstand fra Solen lig Jordens Middellafstand fra denne, og der maa intet være mellem Solen og Fladen, som kunde indsuge Varme. Til Varmeenhed benyttes den Varmemængde, som kan opvarme et Gram Vand en Grad Celsius.

Som Navnet antyder, gaar man ud fra, at den er konstant, at Solen altsaa bestandig udstraaler lige megen Varme i samme Tid; dette er dog vel ikke meget sandsynligt, naar man ser hen til de store, tildels periodiske, Forandringer, som finde Sted paa Solens Overflade, men man maa dog bemærke, at det ikke endnu har været muligt at maale Solvarmen med en saa stor Nøjagtighed, at det deraf kunde fremgaa, om der eksisterer en Solkonstant eller ikke; heller ikke have de Maalinger, som Frölich¹⁾ har anstillet i de senere Aar, og som netop gik ud paa at afgjøre dette, bragt Klarhed i Sagen. Frölich maalte Solvarmen ved Hjælp af et med stor Omhu indrettet thermo-elektrisk Apparat, og sammenlignede Solens Udstraaling med Udstraalingen fra en opvarmet Flade; skjøndt han selv mener, at han har paavist en Forandring i Solvarmen, idet Forskjellen mellem Thermomultiplikatorens Udslag paa forskellige Dage var saa stor, at den ikke kunde antages at hidrøre fra tilfældige Omstændigheder, maa det dog bemærkes, at Frölich neppe har taget tilstrækkelig Hensyn til Absorptionen i Atmosfæren, som det neppe lykkes ham ganske at eliminere. I denne Retning

¹⁾ Wied. Ann. Bd. 21. p. 1.

har ogsaa H. C. Vogel¹⁾ udtalt sig, og han mener, at det endnu ikke er muligt at vide med Sikkerhed, om Solens Udstraaing er konstant eller ikke.

Jeg skal nu give en kort Oversigt over de vigtigste Bestemmelser af Solkonstanten, som jeg vil kalde C . Den første Undersøgelse derover skyldes Pouillet (1838). Han benyttede et Apparat, som han kalder Pyrheliometer, og som findes beskrevet i alle Lærebøger. Ved Hjælp deraf fandt han $C = 1.7533$. Derefter anstillede Forbes²⁾ en større Række Forsøg over Luftens Gjennemstraalelighed for Varme (Diathermansi); af disse Undersøgelser udledede Herschel for Solkonstanten Værdien $C = 2.85$. Det Apparat, Forbes anvendte, var vel i Formen endel forskjelligt fra Pyrheliometret, Grundtanken i Methoden er dog den samme.

Pouillets Forsøg gjentoges ogsaa uden væsentlige Forbedringer i Methoden af Althans³⁾ i 1853 og af Hagen⁴⁾ 1863, den første fandt $C = 3.77$, den sidste $C = 2.04$. I de senere Aar er Solkonstanten bestemt med megen Omhu af Violle⁵⁾, som fandt $C = 2.54$, medens en samtidig Undersøgelse af Crova førte til at C i hvert Fald maatte være større end 2, sandsynligvis 2.3; Crova selv giver dog ingen endelig Værdi for den. Endelig har Langley⁶⁾ underkastet Spørgsmaalet om Solstraalernes Gang gennem Atmosfæren en nærmere Prøvelse, hvorved han er kommet til flere betydningsfulde Resultater; han antager, at Værdien af C maa ligge meget nær ved 2.84.

For at lette Oversigten ere de til forskjellige Tider fundne Værdier af Solkonstanten samlede i følgende Tabel:

¹⁾ Wied. Ann. Bd. 21. p. 615.

²⁾ Phil. Tr. 1842. part II. p. 261.

³⁾ Pogg. Ann. Bd. 70. p. 544.

⁴⁾ Abh. det Berl. Academie 1863. p. 1.

⁵⁾ Ann. de Chemie T. XI. 1877.

⁶⁾ Wied. Ann. Bd. 19 p. 398. 1883.

		<i>C</i>
1838 Pouillet	Solkonstanten =	1.76
1842 Forbes (Herschel). .	—	2.85
1853 Althans	—	3.77
1863 Hagen	—	2.04
1877 Violle	—	2.54
1883 Langley	—	2.84.

Ved at betragte disse Tal ser man, at Overensstemmelsen imellem dem er meget ringe; selv naar man udskyder Althans's Værdi for *C*, er den højeste Værdi dog næsten det dobbelte af den laveste. Det kan dog neppe betvivles, at Pouillet antager *C* altfor ringe, og at den virkelige Værdi ikke kan ligge langt fra 2.5. At de forskjellige Experimentatorer have fundet saa afvigende Resultater, hidrører ikke fra; at Forsøgene over Solvarmen ere særlig vanskelige, men fra, at det er vanskeligt at finde, hvormegen Varme der holdes tilbage af den atmosfæriske Luft. Denne Absorption i Luften er tilmed alt andet end konstant; den forandres bestandig med Luftens Fugtighedsgrad, og den lader sig ikke bestemme, undtagen netop ved Jordoverfladen. Langleys Resultat fortjener netop af den Grund særlig Tillid, at han har undersøgt Absorptionen i Luften med megen Omhu; hans kalorimetriske Methode i sig selv er derimod ikke særlig skikket til absolute Maalinger.

II. Solens Temperatur.

Ved Hjælp af Hulspejl eller Linse kan man samle Solstraaerne, og derved fremkommer, som man ved, en overordentlig høj Varmegrad, som dog maa være betydelig ringere end Solens egen Varmegrad; det følger heraf, at Solen maa være varmere end noget andet Legeme, selv den høje Temperatur, man frembringer i den elektriske Lysbue, maa være langt ringere end Solens. Men det er neppe muligt at komme synderligt videre, da alle Bestemmelser af Temperaturer over

2000 Grader have meget ringe Værdi, fordi man mangler paa-lidelige Thermometre til dette Brug. For en Fuldstændigheds Skyld anføres nogle af de mærkeligste Undersøgelser over Solens Temperatur:

Pouillet gik ud fra Dulong og Petits Lov for Udstraalingen. Tænker man sig et Legeme med en Temperatur t indesluttet i en lufttom Beholder med Temperatur t_0 , saa vil der fra Overfladeenheden af det indesluttede Legeme udstraale en Varmemængde q , som efter Dulong og Petit kan udtrykkes ved

$$q = Bf(a^t - a^{t_0}),$$

naar $a = 1.0077$, $B = 1.146$ og f Legemets Udstraalingsevne. Anvendes dette paa Solen, har man, at

$$q = \frac{C}{\sin^2 \omega},$$

naar ω er Solens angulære Radius. Pouillet sætter $\omega = 0^\circ 15' 40''$ og finder deraf

$$q = 84888.$$

Antages, at Solens Udstraalingsevne er lig Enheden, har man altsaa

$$84888 = 1.146(a^t - a^{t_0}),$$

hvor t er Solens, t_0 Jordens Temperatur. Her kan det Led, der indeholder t_0 , dog bortkastes, da det er forsvindende i Sammenligning med det, der indeholder Solens Temperatur. Man finder da

$$t = 1461.$$

Havde man sat $f = 0.1$ vilde Resultatet have været

$$t = 1761.$$

Det er nu aabenbart, at disse Resultater maa være urigtige; Solens Varmegrad maa utvivlsomt være langt højere; det vil ikke gjøre stor Forandring, om man anvender en noget større Værdi for Solkonstanten end 1.76; Fejlen ligger sikkert i, at Dulong og Petits Afkølingslov ikke gjælder ved saa høje Varmegrader.

Af sine tidligere omtalte Forsøg over Solkonstanten beregner Violle Solens Varmegrad at være 2500° ; der er imid-

lertid saa meget vilkaarligt i de Forudsætninger, som benyttes for at naa Resultatet, at man ikke kan tillægge det synderlig Vægt.

Mere Tillid fortjener vistnok en Bestemmelse af Solens Varmegrad, som skyldes Stefan¹⁾. Han antager, at den hele Varmemængde, som et Legeme udstraalet, forholder sig som fjerde Potens af Legemets absolute Temperatur; ved Benyttelse af Sorets Forsøg over Udstraalingen fra en glødende Zirkonskive finder Stefan, at Solens Varmegrad maa være 5500°.

Man kan ved at gaa ud fra Stefans Udstraalingslov og antage Solkonstanten bekjendt direkte finde Solens Varmegrad. Kaldes et Legemes absolute Temperatur T , dets Udstraalings-
evne f , Omgivelsernes absolute Varmegrad T_0 , har man den udstraalede Varmemængde q udtrykt ved

$$q = Af(T^4 - T_0^4).$$

Anvendes ligesom foran Enhederne Centimeter, Gram og Minut, har man heri at sætte²⁾

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

Antages endvidere, at Solkonstanten $C = 2.5$, findes $q = 115400$. Sættes nu $f = 1$, faar man

$$T = 6310^\circ$$

eller omtrent 6000° over Vandets Frysepunkt.

Af andre Undersøgelser over Solens Temperatur, fortjener vistnok Rosettis³⁾ Arbejde at fremhæves. Han benyttede Thermoelektriciteten, sammenlignede Udslaget af Thermomultiplikatoren, naar Solens Straaler faldt paa Støtten, med det Udslag, som et glødende Legeme frembringer. Han kom til det Resultat, at Solens Varmegrad, under Forudsætning af at dens Udstraalings-
evne er én, maa være omtrent 10000°.

Hvilken Soltemperatur, man finder, vil naturligvis bero paa

¹⁾ Wien. Ber. II Abth. B. 79, 1879. Archives de Genève (3) T. 1, p. 79, 1878.

²⁾ Oversigt. 1883, p. 20.

³⁾ Ann. de Chimie (5) T. 17, p. 177, 1879.

den Lov, hvorefter man antager, at Udstraalingsevnen retter sig; benytter man saaledes Newtons Lov for Udstraalingen, at den forholder sig ligefrem som Differensen mellem det udstraalende Legemes og dets Omgivelsers Varmegrad, finder man ulige højere Temperaturer for Solen, flere Millioner Grader, men det er selvfølgelig aldeles uberettiget at gaa frem paa denne Maade.

III. Jordens Middeltemperatur.

Den bedste Bestemmelse af denne Størrelse har Dove¹⁾ givet, hans Hovedresultater ere følgende:

	Januar.	Juli.	Middel.
Nordlige Halvkugle . .	9.4 C.	21.6 C.	15.5 C.
Sydlig Halvkugle . . .	15.3	12.0	13.0
Hele Jorden	12.4	16.9	14.6

Gaar man nu ud fra Stefans Lov for Udstraalingen, finder man ved med Dove at sætte Jordens Middeltemperatur i absolut Maal lig $273^{\circ} + 14.6 = 287.6$ fra hver Kvadratcentimeter en Udstraaling i Minuttet, som bliver

$$0.728 \cdot 10^{-10} \cdot (287.6)^4 = 0.50.$$

Dette forudsætter paa den ene Side, at Himmelrummets Varmegrad maa sættes lig -273°C , paa den anden, at Udstraalingen fra Jorden foregaar paa samme Maade, som om Jordens Udstraalingsevne havde været lig Enheden (Udstraalingsevnen for Kønrog) og dens Varmegrad overalt lig 14.6C .

Med Hensyn til den første Antagelse, at Himmelrummet ingen Varme sender til Jorden, maa bemærkes, at den ganske sikkert ikke er bogstavelig rigtig, da baade Planeterne og Fixstjernerne ikke alene kunne sende Lys men ganske sikkert ogsaa maa sende Varme til Jorden. Men naar man bemærker, hvor ringe den Lysmængde er, som disse Stjerner sende til Jorden, kan der heller ikke vel være Tale om, at den dermed følgende Varme skulde have nogen videre Betydning for Jorden;

¹⁾ Schmid Meteorologie, Leipzig 1860, p. 408.

det var jo imidlertid tænkeligt, at der kunde existere Kloder, som ikke udsende Lys men alene Varme, eller at selve Himmelummet kunde være begrænset og Grænsefladen besidde en Varmegrad, der laa betydeligt over det absolute Nulpunkt. Dette kan dog vist ikke anses for videre sandsynligt, det rimeligste er vel at gaa ud fra den Antagelse, som her er gjort, at den Varme, Jorden modtager fra Himmelummet, er forsvindende.

Det er endvidere antaget, at Jorden udstråler Varme lige saa stærkt, som et Legeme med sort Overflade og en Temperatur af 14.6. Hertil maa nu bemærkes, at denne Middeltemperatur gjælder for Luftlaget nærmest Jordoverfladen; i de højere Luftlag er Temperaturen vel i Reglen lavere, dog ogsaa under særlige Forhold højere. Er Luften fuldkommen klar, vil Udstrålingen dog væsentlig ske fra Jordoverfladen selv, er Himlen bedækket, derimod fra Skylaget; men baade Jorden, Havet og Skyerne have en Udstrålingsevne, der paa det nærmeste er lig Enheden.

Der er her set bort fra den indre Jordvarme, som dog ogsaa maa bidrage noget til Udstrålingen, men man behøver ganske vist ikke at tage Hensyn dertil, da den Varme, der i en given Tid trænger fra det indre gennem Jordskorpen, er for intet at regne i Sammenligning med den Varmemængde, Solen i samme Tid sender til Jorden. Man maa nemlig erindre, at de almindelige Stenarters Ledningsevne for Varme er mindre end 0.01, det vil sige, at naar man har en Plade, der er 1 Centimeter tyk og hvis ene Side er 1° varmere end den anden, vil der i et Sekond gaa mindre end 0.01 Varmeenheder igjen hver Kvadratcentimeter af Pladen. En Varmeenhed er her som sædvanlig den Varmemængde, der kan opvarme et Gram Vand 1° C. Da Jordtemperaturen omtrent stiger 1° for 30 Meters tiltagende Dybde, bliver den Varmemængde, som i Minuttet træder ud gennem en Kvadratcentimeter af Jordoverfladen mindre end

$$\frac{0.01 \cdot 60}{3000} = 0.0002,$$

som er aldeles forsvindende i Sammenligning med den Varme, Jorden i et Minut modtager fra Solen.

Hvor stor den Del af Solvarmen, eller rettere Solenergien, er, som Jorden tilbagekaster, og som derfor bliver uden Indflydelse paa Jordens Middelvearme, kan ikke angives med Bestemthed. At den maa være ret betydelig, kan man let forestille sig. Er Himlen klar, vil der neppe tilbagekastes synderligt Lys, derimod ere Skyerne, naar de belyses af Solen, af en glimrende hvid Farve og deraf kan man slutte, at de tilbagekaste den største Deel af de lysende Solstraaaler. Det antages jo ogsaa, at Maanen under gunstige Omstændigheder belyses kjendeligt af disse fra Jorden tilbagekastede Straaler. For at faa en Forestilling om, hvor stor den Lysmængde er, Jorden tilbagekaster, er det naturligt at betragte Forholdene ved de andre Planeter. Planeternes Lysstyrke er maalt af forskjellige, de nøjagtigste Undersøgelser derover skyldes Zöllner¹⁾, hans Hovedresultater er meddelte i følgende Tabel, hvor Tallene i den første Rubrik betyde, hvormange Gange Planetens Lysstyrke er mindre end Solens, Tallene i den anden Rubrik, hvor stor Planetens Albedo eller Hvidhed er. Ved Hvidhed forstaas Forholdet mellem det tilbagekastede og det indfaldende Lys.

		Albedo.
Maanen	619000	0.119
Merkur		0.114
Venus		0.623
Mars	6994 · 10 ⁶	0.267
Jupiter	5472 · 10 ⁶	0.624
Saturn	130980 · 10 ⁶	0.498
Uranus	8486 · 10 ¹²	0.640
Neptun	79620 · 10 ¹²	0.465.

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 128, p. 260 og Jubelband, p. 624.

Det ligger nu nær at antage, at Jordens Hvidhed ligger omtrent midt imellem Venus's og Mars's, at den altsaa er lig 0.145. Men efter Langley¹⁾ kan man, naar hele Solenergien sættes lig 1.000, antage, at den lysende og ultraviolette Del af den er 0.368, den ultrarøde altsaa 0.632. Af hele den Varmemængde, som falder paa Jorden, bliver altsaa i det mindste $0.368 \cdot 0.445 = 0.164$ Dele kastede tilbage. Da nu Udstraalingen fra Jorden foran er funden lig 0.5, har man, at den Varmemængde, som Jorden modtager, maa være

$$\frac{0.5}{1 - 0.164} = 0.6,$$

og en Fladeenhed af Jorden, der modtager Straalerne under Indfaldsvinklen 0° , maa altsaa modtage 2.4 Varmeenheder, hvilket stemmer ret godt med de foran fundne Værdier af Solkonstanten. Det er herved antaget, at al den mørke Varme indsuges af Jorden, hvilket ikke kan være ganske rigtigt, om end det er utvivlsomt, at den indsuges i meget højere Grad end den lyse Varme; for at tage noget Hensyn dertil, sættes i det følgende Solkonstanten lig 2.5.

Det kunde synes, at der er saa meget vilkaarligt i de Forudsætninger, der ere gjorte i det foregaaende, at man ikke tør tillægge den Overenstemmelse, som er funden mellem den Varmemængde, som Jorden modtager fra Solen, og den, som igjen udstraales til Himmelfrummet, synderligt Værd, og dette maa vistnok indrømmes. Men det maa dog bemærkes, at man ad denne Vej maaske kan faa en Opgave løst, som er af betydelig Interesse. Det fremgaar jo af mange forskjellige Omstændigheder, at Jordens Middelvarme ikke kan have forandret sig betydeligt i den historiske Tid, de Forandringer, som maaske kunne synes at have fundet Sted paa enkelte Steder, antages at hidrøre fra Skovenes Rydning, Jordens Opdyrkning og lignende Aarsager. Men at Jordens Varme holder sig uforandret,

¹⁾ Wied. Ann. Bd. 19, p. 399, 1883.

maa forklares ved, at paa den ene Side Solen stadig sender lige megen Varme til Jorden, og at paa den anden Side Jorden igjen udstraaler lige megen Varme, og dette vil sige, at saavel Solen som Himmelummet har en konstant Temperatur. Gaar man nu ud herfra, saa maa igjen Jordens Middeltemperatur være bestemt derved. Antages nu i Overensstemmelse med det foregaaende, at Solkonstanten er 2.5, eller at den Varmemængde, en Kvadratcentimeter modtager i et Minut, naar Straalerne fra Solen falde lodret, er 2.5 Varmeenheder, saa vil, da Jordens Overflade er 4 Gange saa stor som Arealet af en Cirkel med en Radius lig Jordens, Middelvarmemængden, en Kvadratcentimeter af Jordoverfladen modtager i Minuttet, være

$$\frac{2.5}{4} = 0.625.$$

Men deraf vil en Del tilbagekastes, dels som Lys, dels som Straalevarme, og denne Del af Solvarmen bliver uden Indflydelse paa Jordens Temperatur. Anvendes nu den samme Betragtningensmaade som før, finder man, at den Varme, som en Kvadratcentimeter optager, er 0.50 Varmeenheder. Sættes Jordens Middeltemperatur lig t , Himmelummet's Temperatur lig -273° , har man ifølge Stefans Lov for Udstraalingen

$$0.728 \cdot 10^{-10} \cdot (273 + t)^4 = 0.50,$$

hvoraf man faar $t = 15^{\circ}$,

hvilket stemmer, som foran bemærket, med Doves Bestemmelse af Jordens Middeltemperatur.

IV. Varmens Fordeling paa Jorden.

Gaar man ind paa den Betragtning af Betingelserne for Jordens Opvarming, som her er gjort gjældende, ligger det nær at undersøge, hvad deraf følger med Hensyn til Varmens Fordeling paa Jordens Overflade. Man tænke sig da først, at Jorden ikke var omgivet af nogen Atmosfære, men bestod af en fast Masse, som ikke kunde lede Varme, men hvis Overflade havde en Indsugningsevne lig Enheden. Da Varmen ikke kunde

trænge ind i denne Klode, vilde den udstraale lige saa hurtigt, som den indsuger, og Temperaturen vilde være bestemt derved i ethvert Punkt. Foreløbig antages ogsaa, at Solen bevæger sig i Æqvator. Middeltemperaturen for Døgnet paa et Sted, hvis Brede er b , findes da paa følgende Maade. Først betragtes et Belte med Bredden a langs med Æqvator, dets Areal er $2\pi Ra$, naar R er Jordens Radius; dette Belte modtager i et Minut en Varmemængde $2RaC'$, naar $C' = 2$ Varmeenheder, er den Varmemængde, som indsuges af Jorden. Middelvarmemængden, som et Punkt af Æqvator modtager i et Minut, er altsaa $\frac{C'}{\pi}$; ved en simpel Betragtning indses, at et Punkt i Afstand b fra Æqvator modtager Varmemængden $\frac{C' \cos b}{\pi}$; kaldes dette Punkts Middeltemperatur t_1 , har man altsaa

$$\frac{C' \cos b}{\pi} = A(273 + t_1)^4,$$

naar $A = 0.728 \cdot 10^{-10}$. Heraf faas

$$t_1 = \sqrt[4]{\frac{C' \cos b}{\pi A}} - 273.$$

Beregnes Konstanten, faas

$$t_1 = 306 \sqrt[4]{\cos b} - 273.$$

Det er let at forstaa, at denne Formel ikke kan give nogen god Overensstemmelse med Virkeligheden, da de Forudsætninger, hvorfra der er gaaet ud ved Udledelsen af den, langt fra stemme med de virkelige Forhold; som man kunde vente, er Fejlen mindst ved Æqvator, idet Formlen for $b = 0$ giver $t_1 = 33^\circ$, som ikke afviger meget fra Middeltemperaturen under Æqvator; for Kjøbenhavn giver den $t_1 = -8^\circ$, som er meget for ringe; for $b = 90$ faas endelig $t_1 = -273^\circ$. Det er imidlertid en Selvfølge, at Formlen ikke kan anvendes i dette Tilfælde, da Polarne aldeles ingen Varme modtage, naar Solen bestandig befinder sig i Æqvator.

Det er let at forudse, at Resultaterne ville stemme bedre

overens med Virkeligheden, naar man tager Hensyn til, at Solen ikke bevæger sig i Æqvator. Beregningen af Middelvarmen, et Punkt af Jordens Overflade modtager, er imidlertid meget omstændelig, og det lader sig ikke gjøre at opstille en nogenlunde simpel Formel for Middeltemperaturen i dette Tilfælde. Men man kan dertil benytte de Tabeller over den relative Opvarmning, som ere beregnede af Halley, Lambert, Meech og andre. De findes i Schmidts Meteorologi (Leipzig 1860) p. 119 ff. Kaldes Ekliptikens Heldning I , bliver Middelvarmemængden m' , som et Punkt i Æqvator modtager i Minuttet, beregnet af hele Aaret:

$$m' = \frac{C'}{\pi} \left(t - \frac{1}{4} \sin^2 I \right),$$

for Polen bliver den m'' , idet

$$m'' = \frac{C'}{\pi} \sin I.$$

Udtrykket for m' er dog ikke fuldstændigt, da fjerde og højere Potenser af $\sin I$ ere bortkastede, ved Beregningen er der tillige gaaet ud fra, at Jorden gaar omkring Solen med konstant Hastighed.

Man kan nu anvende de af Lambert givne Værdier for den Varmemængde, Solen sender til forskellige Steder paa Jorden. De findes i følgende Tabel:

	Sommer.	Vinter.	Aar.
Æqvator	6.026	6.026	12.052
Vendekredsene . . .	6.570	4.577	11.147
45° Brede.	6.220	2.682	8.902
Polarkredsene . . .	5.307	0.716	6.023
Polen	5.004	0.000	5.004

Ved Sammenligning med de ovenfor anførte Værdier for Solvarmen for Æqvator og Polen finder man, at de af Lambert beregnede Størrelser maa multipliceres med 0.05063 for at give Middelvarmemængden, som det betragtede Sted paa Jorden

modtager i et Minut¹⁾. Derved faas de i følgende Tabel angivne Værdier:

	Sommer.	Vinter.	Aar.
Ækvator	0.610	0.610	0.610
Vendekredsene . . .	0.666	0.462	0.564
45° Brede	0.630	0.272	0.451
Polarkredsene . . .	0.537	0.072	0.305
Polerne	0.507	0.000	0.253

Deraf kan man nu igjen beregne Middeltemperaturen for disse Steder paa Jordoverfladen. Resultaterne findes i efterfølgende Tabel, hvor tillige Middeltemperaturerne efter Dove ere tilføjede. Det bemærkes, at Dove kun har beregnet disse for den nordlige Halvkugle, den sydlige er som bekendt noget koldere. Dove²⁾ meddeler de maanedlige Middeltemperaturer for 0°, 10° o. s. v. Brede, deraf ere, ved simpel Interpolation, de i Tabellen under «Dove» angivne Middeltemperaturer beregnede.

Middeltemperaturen.

	Sommer.		Vinter		Aaret.	
	Beregn.	Dove	Beregn.	Dove	Beregn	Dove.
Ækvator	29.5 ^o	26.5 ^o	29.5 ^o	26.5 ^o	29.5 ^o	26.5 ^o
Vendekredsene	36	25.9	9	20.8	24	23.4
45° Brede	32	15.8	— 26	3.1	7.5	9.5
Polarkredsene	20	3.4	— 96	—15.9	— 18.5	— 6.3
Polen	16	— 6.6	—273	—26.3	— 30	— 16.5

Ved at betragte denne Tabel, ser man, at der er en ikke ganske ringe Overensstemmelse mellem de beregnede og de af lagttagelser udledte Middeltemperaturer for hele Aaret. For

¹⁾ For at henføre alle Værdier til samme Enhed maa de Tal, der i Lamberts Tabel ere givne for Sommer og Vinter, desuden fordobles.

²⁾ Schmidts Meteorologie p. 403.

den Del af Jorden, der ligger mellem Vendekredsene og 45° Brede, er Overensstemmelsen tilfredsstillende, for Æquatorial-egnene og Polaregnene er Forskjellen betydelig, men dette er netop, hvad man maatte vente, da en stor Mængde Varme føres af Hav- og Luftstrømninger til Polaregnene. Anderledes stiller Sagen sig, naar man betragter Sommer- eller Vinter-temperaturerne. For Sommerens Vedkommende er Forskjellen mellem de beregnede og iagttagne Temperaturer i Polaregnene overmaade betydelig, idet de beregnede Temperaturer er langt højere end de iagttagne. Dette er imidlertid let forstaaeligt. Den Varme, som Solen sender til disse Egne om Sommeren, er meget betydelig, men den kan ikke frembringe en tilsvarende Opvarmning i disse Egne, hvor Jorden og Havet fra Vinteren er frossen i en ofte betydelig Dybde. I det hele vil Havet og Jorden bidrage meget væsentlig til at formindske Forskjellen mellem Sommer og Vinter, hvilket ogsaa ses meget tydelig af Tabellen.

Naar Solen ikke skinner, virker kun Udstraalingen til Himmelrummet, og denne i Forbindelse med den Energi, som af Strømninger bringes til eller fra Stedet, bestemmer da Temperaturen. Det kan derfor have nogen Interesse at se, hvor stor den Varmemængde er, som en Kvadratcentimeter af Jordens Overflade mister ved Udstraaling i Minuttet. Dennes Størrelse er for Temperaturer mellem -20 og $+30$ angivet i følgende Tabel:

Udstraaling til Himmelrummet.

Temperatur.	Udstraaling.
-20	0.298
-10	0.348
0	0.494
10	0.467
20	0.536
30	0.614

I en klar Vinternat, naar Luftens og Vandets Temperatur er lig Nul, vil der, naar Luften ikke absorberer nogen Varme, udstraales 0.404 Varmeenheder i Minuttet. Der vil altsaa i et Minut kunne dannes et Islag, hvis Tykkelse E er

$$E = \frac{0.404}{0.917 \cdot 80} = 0.0055 \text{ Centimeter};$$

i en Time, altsaa $0.0055 \cdot 60 = 0.33$ Centimeter Is. Det kan jo ikke betvivles, at Isdannelsen i Hovedsagen betinges af Udstraalingen, men der mangler endnu kvantitative Undersøgelser angaaende dens Størrelse.

III. Maanens Temperatur.

At Maanen udstraler Varme er forsaavidt en Selvfølge, som den udstraler Lys og Lysstraalerne maa, naar de falde paa en sværtet Flade, blive til Varme. Men denne Varmemængde er ganske vist meget ringe, man kan overbevise sig derom paa følgende Maade. Ifølge Zöllner er Fuldmaanens Lys 619000 Gange svagere end Sollyset; da nu efter Langleys Maalinger 36.8 pCt. af Solenergien bestaar af lysende og ultraviolette Straaler, af hvilke dog de sidste indeholde en meget lille Energimængde, saa vil Maanelyset kunne sættes lig

$$\frac{2.5 \cdot 0.368}{619000} = 15 \cdot 10^{-7}$$

Varmeenheder. Denne Energi er saa ringe, at man selvfølgelig ikke direkte kan komme til at observere den. Vil man vide, hvor varm Maanen maatte tænkes at være, kan man gaa frem paa følgende Maade. Da Solen og Maanen have samme angulære Størrelse, haves, naar T betyder Solens, T_1 Maanens absolute Temperatur.

$$T_1^4 : T^4 = 0.000015 : 2.5,$$

hvilket, naar Solens absolute Temperatur er 6310° , giver Maanens absolute Temperatur $T_1 = 175^\circ$ eller -98° C.

Men foruden de lysende Varmestraaler maa Maanen ogsaa udsende mørke Varmestraaler; disse kunne dog ikke skilles fra

den Varmemængde, som Maanen udsender efter først at have absorberet den. Sandsynligvis bliver den største Del af Solvarmen indsuget af Maanen, som derefter udsender den igjen. Men paa Grund af at Maanedøgnet er over 27 Gange længere end Døgnet paa Jorden, vil Maanens Opvarmning blive meget variabel. Dertil bidrager yderligere den Omstændighed, at Maanen mangler Atmosfære, som paa Jorden bidrager saa væsentlig til at formindske Forskjellen mellem Dag og Nat, mellem Vinter og Sommer. Nogen Udjævning maa dog finde Sted derved, at den absorberede Varme trænger noget ind i Maanens Indre, men denne Virkning er vistnok kun ringe. Den vilde have til Følge, at et Punkt paa Maanen ikke vil være varmest i det Øjeblik, da Solen staar i Zenith, men noget senere; man har dog ikke med Sikkerhed kunnet paavise noget saadant. Dette fremgaar af en omfangsrig Undersøgelse over Maanens Varme, som Lord Ross¹⁾ har foretaget. Han dannede et Billede af Maanen ved Hjælp af et stort Metalhulspejl, to thermoelektriske Støtter vare stillede i Brændfladen; medens Maanelyset faldt paa den ene af dem, var den anden udsat for Udstraalingen til Himmelrummet. Ved at forbinde begge Støtter med hinanden og maale Udslaget paa det tilhørende Spejlgalvanometer beholdtes et relativt Maal for Maanens Varmestraaling. Af dette Forsøg fandtes, at Maanen udstraalede stærkest under eller lidt før Fuldmaane og ikke, som man kunde have ventet, lidt efter Fuldmaane.

Det kan derfor ikke betvivles, at Maanens Temperatur maa være underkastet store Variationer; dens Middeltemperatur kan derimod ikke afvige meget fra Jordens, da Solkonstanten er den samme paa Maanen som paa Jorden.

Den højeste Varmegrad, der kan tænkes at forekomme, findes paa følgende Maade. Ifølge Zöllner er Maanens Albedo eller Hvidhed 0.119, antages tillige, at alle mørke Varmestraaler indsuges

¹⁾ Phil. Tr. 1873, p. 587.

af Maanen, bliver den Del af Solenergien, som et Sted paa Maanen indsuger, naar Solen staar i Zenith

$$2.5(1 - 0.368 \cdot 0.119) = 2.39.$$

Antages at denne Varmemængde udstraalet uden at trænge ind i «Maanebunden», bestemmes den absolute Temperatur T af dette Punkt ved at sætte

$$0.728 \cdot 10^{-10} \cdot T^4 = 2.39,$$

som giver $T = 426$, altsaa 153°C ; hvilket er den højere Grændse for Maanens Temperatur.

Kaldes det Punkt af Maaneoverfladen, som har Solen i Zenith, S , et vilkaarligt Punkt af Maanens Overflade P og Storcirkelbuen, som forbinder dem, (SP) , har man, naar SP er mindre end 90° ,

$$C \cos(SP) = AT^4$$

idet $C = 2.39$ og A og T have samme Betydning som tidligere. Denne Varmemængde tænkes nu at udstraales til Himmelrummet, idet Udstraalingen antages proportional med Cosinus af Udfaldsvinklen og den Varmemængde, som udstraalet i Retning af Normalen, kaldes h , vil man have den hele Udstraaling til en Halvkugle med Radius lig Enheden bestemt ved

$$2\pi h \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin i \cos i di = C \cos(SP),$$

hvoraf faas
$$h = \frac{C}{\pi} \cos(SP).$$

Lad nu I være det Sted paa Maanen, som har Jorden i Zenith, lad (IP) være Storcirkelbuen, som forbinder I og P og dS en lille Del af Maanens Overflade omkring P ; man vil da have den Varmemængde, som en Kvadratcentimeter af Jordens Overflade modtager i et Minut, naar Maanen staar lodret over den, lig

$$h \int \frac{dS}{a^2} \cos(SP) = \frac{C}{\pi} \sin^2 \rho \int \cos(SP) \cos(IP) ds,$$

idet a er Maanens Afstand fra Jorden, ρ Maanens angulære Radius og ds den til dS svarende Rumvinkel med Toppunkt i

Maanens Centrum. Men man finder let, som Lambert har vist, at

$$\int \cos(SP) \cos(IP) ds = \frac{2}{3} [(\pi - \varepsilon) \cos \varepsilon + \sin \varepsilon],$$

naar $\varepsilon = (SI)$ er Vinklen mellem Solen og Jorden set fra Maanens Centrum. Hele Varmemængden, som Maanen sender til en Kvadratcentimeter af Jordens Overflade, er derfor

$$\frac{2C}{3\pi} [(\pi - \varepsilon) \cos \varepsilon + \sin \varepsilon] \cdot \sin^2 \rho.$$

Ved Fuldmaane er $\varepsilon = 0$, Varmemængden altsaa $\frac{2}{3} C \sin^2 \rho$.

Man kan nu let finde, hvor stor Maanens Middeltemperatur maatte være for at udstraale saa megen Varme; den absolute Temperatur vilde i dette Tilfælde være bestemt ved

$$\frac{1}{\pi} \frac{AT^4 \cdot \pi r^2}{a^2} = AT^4 \sin^2 \rho = \frac{2C}{3} \sin^2 \rho,$$

hvor r er Maanens Radius. Altsaa bliver

$$T^4 = \frac{2C}{3A},$$

som giver $T = 385$, altsaa Maanens Middeltemperatur ved Fuldmaane lig 112° C.

Ved de foran nævnte Forsøg af Rosse over Maanens Varme, blev al den fra Maanen udstraalede Varme, den tilbagekastede med, maalt; i saa Fald maa man for C sætte Solkonstanten 2.5 og finder derved Maanens Temperatur lig 117° C. Ved at sammenligne Udstraalingen fra Maanen med Udstraalingen fra en sværtet Flade af bekjendt Varmegrad, fandt Rosse Maanens Temperatur lig 109.7° C. Overensstemmelsen mellem ovenstaaende Beregning og Iagttagelserne er meget større end der var Grund til at vente; den er maaske ogsaa tilfældig, men den tyder dog paa, at den her anvendte Betragtning maade nogenlunde maa stemme med de virkelige Forhold.

IV. Planeternes Middelterperatur.

Ved at antage, at Planeterne forholde sig paa samme Maade som Jorden med Hensyn til Udstraalingen, kunne deres Middelterperaturer nu ogsaa beregnes. Resultaterne deraf findes i følgende Tabel:

	Middel- Afstand.	Solkonstant.	Heraf tilbagekastes.	Planeten optager.	Middel- Temperatur.	t .
Merkur	0.387	16.69	0.85	15.84	T_0 210°	189°
Venus	0.723	4.78	1.33	3.45	57	65
Jorden	1.000	2.50	0.50	2.00	15	15
Mars	1.524	1.08	0.13	0.95	— 34	— 40
Jupiter	5.203	0.092	0.026	0.066	— 150	— 147
Saturn	9.539	0.0275	0.0061	0.0214	— 180	— 180
Uranus	19.182	0.0068	0.0019	0.0049	— 209	— 207
Neptun	30.036	0.0028	0.0006	0.0022	— 221	— 221

Betydningen af de i Tabellen anførte Tal vil være klar af de tilføjede Overskrifter, kun Betydningen af de i den sidste Rubrik, under t anførte Størrelser, maa nærmere angives. Antager man, at alle Planeter indtage Solenergien i samme Forhold som Jorden, kan man paa en simpel Maade finde deres Middelterperatur. Da Varmemængderne, de modtage fra Solen, forholde sig omvendt som Kvadraterne paa deres Afstande fra Solen, maa det samme være Tilfældet med deres Udstraaling. Kaldes Jordens Middelterperatur T_0 , dens Middelf afstand fra Solen 1 og betegnes de samme Størrelser for en anden Planet med T og a (T_0 og T ere her absolute Temperaturer), har man følgende

$$T^4 : T_0^4 = 1 : a^2$$

eller

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{a}}$$

$t' = T - 273$ er den i Tabellen under t' opførte Størrelse. Det har sin Interesse at se, at de Middeltemperaturer, som findes paa denne Maade, ikke afvige særdeles meget fra de Værdier, der ere fundne ved at benytte Zöllners Bestemmelse af Planeternes Albedo. Det maa endvidere bemærkes, at der til den Energi, der tabes ved Tilbagekastning af lysende Straaler, endnu er føjet 21 pCt. for de ultrarøde Straalers Vedkommende, ligesom ved Beregningen af Jordens Middeltemperatur.

Til denne Bestemmelse af Planeternes Varmegrad skal jeg endnu tilføje nogle Bemærkninger for de enkelte Planeters Vedkommende.

Merkur. Denne Planet antages ikke at have nogen kjendelig Atmosfære; den tilbagekaster Sollyset omtrent som Maanen, Zöllner antager derfor, at dens Overflade er af lignende Beskaffenhed som Maanens. Vogel¹⁾ har dog ved Undersøgelse af Merkurs Spektrum fundet mørke Linjer, der ere identiske med nogle af de Linjer, som ses i Solspektret, naar Solen er nær ved Horizonten; dette tyder paa, at Merkur ikke ganske mangler en Atmosfære.

Venus. Det synes, at Venus er omgivet af en meget tæt Atmosfære, igjennem hvilken man kun yderst sjælden kan skimte noget af Planeten selv. Sandsynligvis er det et Skylag, der bedækker Planeten, derpaa tyder i hvert Fald Vogels Iagttagelser over Spektret; han fandt nogle Linjer deri, der stemmede med de telluriske Linjer, som man mener hidrøre fra Vanddampe. Ifølge Zöllner tilbagekaster Venus over det halve af den Lysmængde, som træffer den; dette forklares ogsaa ved at antage, at Planeten er bedækket med et tæt Lag af Skyer. Dette kan meget godt stemme med, at Venus har en Middeltemperatur paa 57° C., saa meget mere, som det synes, at Solen kan fjerne sig meget langt fra Planetens Ækvator, efter nogle 50 efter andre 70° . Dette maa have til Følge, at Aarets

¹⁾ Pogg. Ann. 158, p. 461, 1876.

Middeltemperatur maa blive næsten den samme over hele Planeten, men Forskjellen paa Sommer- og Vintertemperaturen ved Polerne meget stor, det er sandsynligt, at Vintertemperaturen ved Polerne kan synke under Frysepunktet. Derved vil der fremkomme en stærk Destillation af Vand fra den ene Pol til den anden, som maa give Anledning til Dannelsen af Skyer.

Mars. De fysiske Forhold paa Mars ere forholdsviis vel bekendte og have i de senere Aar været Gjenstand for mange Arbejder. Vogel har ved spektroskopiske Undersøgelser fundet 8 Linjer i Marsspektret, som utvivlsomt ere identiske med telluriske Linjer i Solspektret, og det er derfor højst sandsynligt, at Marsatmosfæren i det væsentlige maa have Lighed med vor Atmosfære. Der findes ogsaa undertiden Skyer eller Taage paa Mars, men disse ere dog sjælden fuldstændig uigjennemsigtige. Det stemmer godt dermed, at Zöllner finder, at Mars kun tilbagekaster en Fjerdedel af de indfaldende Solstraaler. Man har en stor Mængde Kort over Planetens Overflade, af hvilke de af Schiaparelli¹⁾ tegnede, indeholde de fleste Enkeltheder. I Nærheden af Polerne finder man hvide Pletter, hvis Udbredelse vexle med Aarstiderne, ligesom Polarisen paa Jorden, Vinklen mellem Planetens Bane og dens Æqvator er 25°, meget nær den samme Vinkel som paa Jorden. Iøvrigt antages, at der findes Fastlande og Have paa Mars ligesom paa Jorden. Fastlandene indtage den største Del af Planetens Overflade, de synes rødlige, Havene, der danne som et Net af Kanaler, ere grønlig, hvilket maaske kan hidrøre fra Kontrasten.

Man kunde synes, at heraf maatte følge, at Mars maatte have en meget højere Middeltemperatur end — 34° C, jeg skal dog søge at vise, at det ikke forholder sig saaledes. For det første maa man søge at danne sig et Begreb om Middeltemperaturen ved Æqvator og Polerne paa Mars. Disse kunne

¹⁾ Atti della Accademia dei Lincei, Anno 275, Roma 1878, og Anno 278. Roma 1881.

beregnes paa samme Maade, som det foran et sket for Jordens Vedkommende, og man finder da Aarets Middeltemperatur ved Ækvator lig -22° C, ved Polerne derimod -69° C. Nu er utvivlsomt ligesom paa Jorden den første for høj, den sidste for lav, men Fejlene ere dog vistnok mindre paa Mars end paa Jorden, da der ikke synes at være saa stor Varmeudjævning i Mars's Atmosfære som i Jordens. Man maa nu overveje, hvorledes det vilde se ud paa Jorden, hvis Varmeforholdene vare som paa Mars, Middeltemperaturen ved Ækvator -22° , ved Polen -68° og Jordens Middelvarme -34° . Havet vilde vel fryse til, men efterhaanden vil den dannede Is fordampe og lejre sig paa Fastlandene. Havene vilde derved blive mindre, men samtidig vilde deres Saltholdighed forøges, deres Frysepunkt vilde derved blive lavere og lavere, og der vilde tilsidst blive Havvand tilbage, som bestod af meget stærke Saltopløsninger. En koncentreret Kogsaltopløsning fryser først ved -22° , en koncentreret Chlorcalciumopløsning ved -37° . Efter dette maa man altsaa forestille sig, at Havene paa Mars ere saadanne Opløsninger og at Kontinenterne ere bedækkede med evig Sne og Is ligesom paa Jorden det indre af Grønland. Man kunde vente, at Kontinenterne maatte være hvide, men dette er dog ret beset ikke sandsynligt. Dels kan der meget vel existere en Art Vegetation paa Isen, som man ogsaa har iagttaget paa Jorden; dels kan der i Aarhundredernes Løb samle sig kosmisk Støv, Meteoror, paa den. Atmosfæren paa Mars maa altid indeholde Damp og Sneskyer, og Dampene ville fornemmelig fortætte sig ved Polerne. Da Issamlingerne ved disse ere periodiske (man har bemærket, at de næsten ganske kunne forsvinde i Sommerens Løb), ville de altid have Udseende som nyfalden Sne og derfor udmærke sig ved større Glands end de øvrige Dele af Planetens Overflade.

De store Planeter. De øvrige Planeter maa endnu være langt koldere end Mars; den her anvendte Betragtningmaade fører til, at den varmeste af dem, Jupitær, maa have en

Middeltemperatur af -150° . Det er neppe muligt at slutte noget deraf med Hensyn til Forholdene paa denne Planet, da de maa være vidt forskellige fra Forholdene her paa Jorden. Det er jo ogsaa tænkeligt, at de store Planeter, som alle synes at være omgivne af tætte Luft- og Skylag, kunne ligesom Solen have en betydelig Egenvarme. Man kan ikke deraf slutte, at de maa afkøles efterhaanden, da der kan være Aarsager, som vi ikke kjende, der erstatte deres Udstraaling. At noget saadant er Tilfældet med dem, kan man saa meget snarere tro, som de ligesom Solen have en langt ringere Vægtfylde end de andre Planeter.
