DTU Bibliotek

Denne fil er downloadet fra

Danmarks Tekniske Kulturarv

www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på *www.tekniskkulturarv.dk/about*

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

DTU Bibliotek Danmarks Tekniske Universitet | Anker Engelunds Vej 1 2800 Kgs. Lyngby | Tlf. 45 25 72 50 | bibliotek@dtu.dk www.bibliotek.dtu.dk

NOGLE SÆTNINGER

OM

KRÆFTERNE

AF

LUDVIG AUGUST COLDING,

indleveret til det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab
i Aaret 1843.

Med en lithographeret Tegning.

KJØBENHAVN.

TRYKT I BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI
VED F. S. MUHLE.

1856.

TEKNISK BIBLIOTEK
Danmarks tekniske Højskole

530 Col
Gl. (Ex. 1)

I Videnskabernes Selskabs Møde den 3die November 1843 forelagte Secretairen, Conferentsraad H. C. Ørsted, den her trykte Afhandling af nuværende Vandinspecteur Colding, og Comiteen afgav i Mødet den 5te Januar 1844 følgende Erklæring:

„Hovedtanken i den Afhandling af polytechnisk Candidat Colding, hvorover Selskabet har forlangt vor Betænkning, er, at de Kræfter, som tabes for Maskinvirkningerne ved Gnidningsmodstand, Tryk o. s. v. frembringe indvortes Virkninger i Legemerne f. Ex. Varme, Elektricitet o. dsl., og at disse forholde sig som de tabte Kræfter. For at bestyrke sin Mening har han anstillet en Række af Forsøg over den ved Gnidningen frembragte Varme.

Vi finde baade at Hovedtanken fuldtvel fortjener en experimental Prøvelse, og at hans Forsøg ere saa tilfredsstillende som man kunde forlange, med Hensyn paa de Hjelpemidler, han havde til sin Raadighed. Vi foreslaae derfor at opmuntre ham til Fortsættelsen af disse Forsøg, ved at bevillige ham Hjelpemidler dertil, som antages ikke at ville overstige 200 Rdlr."

Kjøbenhavn, den 4de Januar 1844.

H. C. Ørsted. ***Ramus.*** ***Hoffmann.***

Afhandlingen selv er ikke tidligere bleven offentliggjort, og har henligget i Selskabets Archiv. Ifølge Forfatterens Ønske og Selskabets Bemyndigelse er den nu bleven trykt, og Undertegnede har nøiagtigen sammenlignet det med den afdøde Secretairs Mærke forsynede Manuscript med det her givne Aftryk. Prof. Ramus bemærker i sit Votum at der (Pag. 9) er sat 1138 Linier istedet for 1038 Linier, hvoraf endnu nogle andre Feil følge. Disse Feil ere ikke rettede i Aftrykket.

Den 31. Decbr. 1856.

G. Forchhammer.

Selskabets Secretair.

Endskjøndt vi ikke kjende eller kunne fatte, hvad det er, som udgjør Væsenet i enhver Kraft, men meget mere kun kjende Kræfterne formedelst deres Virkninger; saa troer jeg dog, at vi ere berettigede til at uddrage nogle Slutninger om Kræfterne i Almindelighed, som jeg her skal tillade mig at fremsætte.

Naar visse bevægende Kræfter virke paa et materielt Punkt, og disse ikke holde hinanden i Ligevægt, da fremkommer derved en, til den virkende Kraft svarende, Bevægelsesmængde. Denne Bevægelsesmængde meddeles derpaa til de omgivende materielle Dele og forplantes fra disse paa samme Maade videre uden noget Ophør, saa at den oprindelig meddeelte Bevægelsesmængde inden kort Tid er fordeelt paa en saa stor Masse, at ethvert sandseligt Spor af denne Virksomhed er forsvundet.

Men det forekommer mig ikke, at man med nogen Grund kan antage, at en Virksomhed efterhaanden kan tabe sig i det Legemlige, uden paa nogen Maade at fremtræde sandseligt virksom i sin oprindelige Størrelse; det synes mig endogsaa megetmere at være begrundet i Sagens Natur, at de Kræfter, som sandseligt forsvinde, maae igjen fremtræde som virksomme paa andre Maader. Denne Tanke er for lang Tid siden opstaaet hos mig, og jeg har ingensinde siden kunnet forkaste den.

Jeg har tvertimod nu i min Overbeviisning faaet en saa stor Grad af Vished om Rigtigheden af denne Sætning, at jeg

vil prøve at fremsætte som en almindelig Naturlov: Naar en Kraft sandseligt forsvinder, da undergaaer den blot en Formforandring og bliver derpaa virksom under andre Former.

At der i Virkeligheden ogsaa stedse fremkomme andre Kræfter, hvor nogle forsvinde, saasom Electricitet, Varme etc., det er bekjendt nok. Dersom derfor denne Sætning om tabte Virksomheder er rigtig, vil den — saa forekommer det mig — staae som et temmeligt forbindende Led imellem de bekjendte Sætninger om de forskjellige Naturkræfter. Jeg vil f. Ex. antage, at den hele Virkning, der i Tiden t, formedelst en vis bevægende Kraft, er tabt, kan betegnes ved q, saa maa den nye Virksomhed være at sætte $= q$, og da denne hovedsageligen, ved Tab af bevægende Kræfter, kan sættes lig Varmevirkning, saa bliver Varmevirkningen at sætte $= q$.

Om denne Lov er rigtig, vil Erfaring kun være istand til at afgjøre, og jeg vil derfor nu betragte, hvad der hidtil i denne Henseende er bekjendt. Man maa her gjøre Adskillelse imellem luftformige, draabeflydende og faste Legemer, og for hver især undersøge, hvorledes den nye fremtrædende Virksomhed staaer i Forhold til den tabte Kraft.

Hvad luftformige Legemer angaaer, da har jeg egentlig blot *Dulongs* Erfaring derover at holde mig til, saaledes som han har fremsat den i Memoires de l'academie royale des Sciences de l'institut de France T. X. p. 188, hvor det hedder, »at lige Volumina af alle elastiske Fluider, tagne under samme Temperatur og Tryk, afgive eller optage den samme Mængde af absolut Varme, naar de comprimeres eller udvides pludselig den samme Brøk af deres Volumen«. Men til at sammentrykke lige Volumina af Luftarter ligemeget, udfordres, som bekjendt, naar Tryk og Temperatur ere de samme, ligestor Kraft. Følgelig kan *Dulongs* Sætning ogsaa udtrykkes saaledes: at ligestore Kraftvirkninger, tabte paa lige Volumina af forskjellige elastiske Fluider, frembringe, ved lige Temperatur og Tryk, ligestore absolute Varmemængder. Men denne Lov, som *Dulong* har

afledet af Forsøg, falder aabenbart sammen med den, som jeg har opstillet, anvendt paa luftformige Legemer.

At der ogsaa ved Vædskers Sammentrykning udvikles Varme, har *Colladon* og *Sturm* viist (Pogg. Ann. 12ter Band p. 161), men hvorledes denne staaer i Forhold til Trykket, er først nærmere angivet af Conferentsraad *Ørsted*, som fandt, at den maa for Vandet være omtrent $\frac{1}{40}$° (*C.*) for hver Atmosphæres Tryk, hvormed Vandet sammentrykkes.

I faste Legemer udvikles ogsaa Varme, naar de underkastes en hurtig og stærk Sammentrykning. Dette Forhold er undersøgt af *Berthollet* (Mem. de la Soc. d'Arcueil T. II. p. 441) ved Hjælp af en Prægemaskine, idet han sammenpressede dertil indrettede Metalskiver, kastede dem derpaa i Vand og af Vandets erholdte Temperatur bestemtes Mængden af den opvækkede Varme. Han fandt, at den frembragte Varme aftager efterhaanden, som Metallet bliver flere Gange sammenpresset, overeensstemmende med Tæthedens Tiltagen.

Lagerhjelm bemærker, i *Berzelius's* Jahresbericht Th. VIII. S. 77, at ved Afrivning af Jernstænger udvikles Varme, omendskjøndt Tætheden af Jernet derved formindskes. Alt dette stemmer meget vel med den Lov, at den udviklede Varme staaer i Forhold til den tabte Kraftvirkning.

En anden Maade, hvorpaa Varme udvikles i faste Legemer, er ved Friction. *Rumford* har, som bekjendt, derover foretaget en Række af Forsøg, som ere angivne i Scherer's Journal Th. I. S. 9, men de Resultater, som af hans Afhandling kunne uddrages, for at kunne benyttes til det her Tilsigtede, ere kun faa; blot maa det bemærkes, at *Rumford* deraf troede sig berettiget til at slutte, at Varmen ikke er et eiendommeligt Stof, men at den maa bestaae i en Bevægelse. Derimod giver den Afhandling, som *Haldat* har leveret (Journal de Physique T. LXV. p. 213), der er bygget paa en Række af Forsøg, som skulde tjene til at fuldstændiggjøre de af *Rumford* anstillede, i denne Henseende langt vigtigere Data, og jeg skal blot her anføre

nogle af de angivne Resultater, da vi i det Følgende igjen ville komme til at betragte disse. Han fandt 1) naar ved eet og samme Metal Hastighed og Tryk forblive de samme, at der da udvikledes ligemegen Varme i ligestore Tider. 2) at ved forskjellige Metaller udvikledes, under iøvrigt lige Omstændigheder, ulige Mængder af Varme, der i ingen Henseende rettede sig efter Metallets Tæthed. 3) at Varmen voxer med Trykket, men, som det synes, i et stærkere Forhold end Trykket.

Ved Forsøg af *Morosi* over Varmeudviklingen ved Friction (see Pogg. Ann. XII. p. 194) viste det sig ogsaa, at Varmeudviklingen ved samme Metal var ligestor i lige Tider.

Da imidlertid de Resultater, som fremgaae af de angivne Forsøg, ere altfor utilstrækkelige til deraf at bedømme, om den opstillede Lov er rigtig eller ikke, og da der, saavidt mig er bekjendt, ikke gives andre væsentlige Forsøg over Varmeudviklingen ved Friction, som kunne tjene til at afgjøre dette; saa har jeg, efter Opmuntring dertil af Conferentsraad *Ørsted*, selv foretaget en Række af Forsøg med forskjellige faste Legemer, underkastede forskjellige Tryk og Hastigheder. Dog disse Forsøg kunne kun betragtes som foreløbige og derimod ikke antages at fremstille Phænomenerne med den sidste Grad af Fuldendthed, eftersom Apparatet, hvoraf jeg har betjent mig dertil, ikke er nøiagtigt nok. Det er kun indrettet saaledes, som jeg med egne Hænder og med smaa Omkostninger har kunnet udføre det.

Tænker man sig et lignende Apparat, som det *Coulomb* brugte for at undersøge Frictionen, nemlig en Slæde, hvis Meder belægges nedenunder med Skinner af det Metal, hvis Frictionsvarme man vil undersøge, og at Banen, hvorpaa den glider, belægges med et Par lignende; bevæges derpaa Slæden, belastet med Kanonkugler, fra den ene Ende af Banen til den anden; saa ville Skinnerne udvide sig ved Frictionsvarmen, og naar Udvidelsen maales ved en fiin Følevægtstang, saavel paa Slædemeden, som paa Banen, saa vil man deraf være istand til at aflæse Varmemængden, som udvikles ved Frictionen, da

Varmemængden ved disse smaa Varmeforskjelligheder er at sætte proportionel med Varmegraden eller med Udvidelsen; og her have vi da Grundtanken til det Apparat, hvoraf jeg har betjent mig til mine Forsøg. Jeg har nemlig construeret dette Apparat saaledes, som det sees paa vedlagte Tegning. To Vanger (*EF, ABCD*) og (*GH, ABCD*), af 7 Fods Længde, $7\frac{1}{2}$ Tommes Brede og $1\frac{3}{4}$ Tommes Tykkelse, ere sammensinkede med et Par Endestykker (*EG, AC*) og (*FH, BD*), af $9\frac{1}{2}$ Tommes Længde, $7\frac{1}{2}$ Tommes Brede og 1 Tommes Tykkelse. Paa denne Bane, som hviler paa et fast Underlag, bevæges en Slæde, *ab*, hvis Længde er 13 Tommer. I Overkanten af Banen, som og under Slædens Meder, ere tykke slebne Glasplader indlagte i en Blanding af Terpentin og Harpix, der skulle tjene til at forhindre Afledningen af Frictionsvarmen, og herpaa hvile de Skinner, som jeg her underkaste Forsøg. Disse Skinner ere forsynede med langagtige Huller i hver 12 Tommers Afstand, og Holskruer, som gaae ned igjennem Glaspladerne, fastholde Skinnerne i deres Stilling, men tillade dem at udvide sig i Retning af Længden. Enderne af de Skinner, som hvile paa Banen, kunne frit udvide sig ved *A*, men ere fastskruede til Banen ved *B*; derimod paa Slæden ere Enderne ved *a* faste og ved *b* frie. Paa en Knægt (*K,K'*) kan anbringes en Følevægtstang, hvorved Udvidelsen af en af Skinnerne paa Banen kan maales, og bag paa Slæden ved *b* er en lignende Knægt, hvorpaa Følevægtstangen kan anbringes, naar Slæden vender om.

Slæden blev under Forsøgene kun trukket i Retning af *B* til *A*, men blev baaret tilbage for at forhindre Forskydning af Skinnerne, hvorved man endnu vilde staae Fare for at begaae større Feil end de, som i de erholdte Resultater alt maae antages at have indsneget sig. Trykket frembringes ved 12-pundige Kanonkugler, hvormed Slæden belastes, og Kraften, som udfordres til at trække Slæden, maales ved et Dynamometer. Slæden trækkes ved Haandkraft ved Hjælp af en Snor og styres ved Trælister paa Siderne af Banen.

Skinnerne paa Banen ere af glødet Messing; de have Banens Længde og 4 Liniers Brede og $1\frac{1}{5}$ Linies Tykkelse. Af de forskjellige Skinner, hvormed Slæden har været belagt, havde kun Messingskinnerne 4 Liniers Bredde og $1\frac{1}{5}$ Linies Tykkelse; Bly-, Zink- og Jernskinnerne havde større Brede og mindre Tykkelse, af hvilken Grund jeg heller ikke har gjort Sammenligning mellem deres og Messingets Udvidelse.

Hastigheden, hvormed Banen er gjennemløbet, er ved alle Forsøgene omtrent to Fod i Secundet.

For saameget som muligt at holde een Temperatur af Luften under ethvert Forsøg af samme Række, saa har jeg foretaget Forsøgene om Morgenen tidligt; men da Temperaturen imidlertid stedse steeg noget, saa fandt jeg det nødvendigt, før Forsøgenes Begyndelse, nogle Gange at trække Slæden frem over Banen, for at frembringe en lidet høiere Temperatur i Skinnerne, end den som de ved Begyndelsen havde, da jeg herved blev sat istand til at kunne begynde alle Forsøg i samme Række ved een og samme Temperatur.

Før Aflæsningen blev foretaget, blev Slæden stedse løftet af Banen, for at man ikke, foruden Udvidelsen ved Varmen, tillige skulde aflæse Udvidelsen af Skinnen ved Trækket; og det følgende Forsøg blev først da foretaget, naar Følevægtstangen var sunket ned til det engang antagne Udgangspunkt paa Gradebuen. Jeg har ogsaa overbeviist mig om, at Skinnerne ingen blivende Strækning have erholdt ved de anvendte Træk; thi naar Temperaturen før og efter Forsøgene var den samme, saa viste Følevægtstangen ogsaa før og efter Forsøgene paa eet og samme Punkt.

For at erholde større Udvidelse af Skinnerne og, som Følge deraf, større Angivelse af Følevægtstangen, har jeg ved alle mine Forsøg bevæget Slæden to umiddelbart paa hinanden følgende Gange over Banen, før Aflæsningen blev foretaget. Herved blev vel Tiden forlænget, hvori Varmeafledningen fandt Sted, før Udvidelsen blev observeret; men herved erholdt jeg

ogsaa dobbelt saa store Udvidelser, saa at Observationsfeilene sandsynligviis paa denne Maade kun kunne være det Halve af hvad de vilde have været, hvis jeg havde observeret Følevægtstangen ved hver Gang, Slæden havde gjennemvandret Banen; men da Observationsfeilene og de Feil, som hidrøre fra Apparatets Unøiagtighed, her ere de overveiende, saa har dette været Grunden til, at denne Fremgangsmaade er fulgt.

Følevægtstangen er saa fiin, at en Flytning af 1° paa Gradebuen svarer til en Udvidelse af $\frac{1}{30} \cdot \frac{2}{3}$ Millimeter $= \frac{1}{45} \cdot 0{,}4588'''$ $= 0{,}0102$ Linie Dansk. Hele Banens Længde er omtrent 7 Fod $2\frac{1}{2}$ Tomme $= 86\frac{1}{2}$ Tomme eller 1138 Linier, og følgelig svarer en Flytning af 1° paa Gradebuen til en Udvidelse af $\frac{1}{1138} \cdot 0{,}0102 = 0{,}00000896$ af Skinnens Længde. Bemærkes nu, at glødet Messing udvider sig for 100 Grader *(Celsius)* 0,00189163 af sin Længde, saa vilde altsaa den Varme, som kunde frembringe en Udvidelse af 0,00000896 af Skinnens Længde, være $= \frac{0{,}00000896 \,.\, 100^\circ}{0{,}00189163}$ $= \frac{89600^\circ}{189163} = 0{,}47^\circ$ (*C.*). Ved umiddelbart at observere et *Reaumurs*-Thermometer, hvorpaa Tiendedele af Grader nøiagtig kunne aflæses; fandt jeg, at naar Thermometret faldt fra 20,1° til 16,8°, saa flyttede Viseren paa Gradebuen af Følevægtstangen sig samtidigt hermed fra 11° til 3°. Heraf følger altsaa, at 3,3° (*R.*) eller 4,1° (*C.*) frembringe en Udvidelse af Skinnen, som svarer til 8° paa Gradebuen, eller den Varme, som behøves for at frembringe en Grads Flytning paa Gradebuen, er 0,5° (*C.*), der kun afviger fra det ovenfor Fundne med 0,03° (*C.*).

Forsøg

med Messingskinner, glidende paa Messingskinner ved en Belastning af 7 Kanonkugler, der tilligemed Slæden veiede $88\frac{3}{4}$ ℔.

Første Række af Forsøg. Udgangspunktet for Følevægtstangen var 3°.		Anden Række af Forsøg. Udgangspunktet for Følevægtstangen var 2°.	
Nr. af Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.	Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.
1ste	1,8°	1ste	1,9°
2det	1,6°	2det	2,0°
3die	2,0°	3die	2,5°
4de	1,5°	4de	1,6°
5te	1,4°	5te	2,1°
6te	2,1°	6te	2,4°
7de	1,6°	7de	1,8°
8de	1,9°	8de	2,6°
9de	1,8°	9de	2,3°
10de	2,0°	10de	2,3°
11te	1,4°	11te	2,0°
12te	2,3°	12te	2,6°
		13de	1,4°
		14de	2,4°
		15de	2,6°
		16de	1,8°
		17de	2,2°
		18de	1,6°
		19de	2,4°
		20de	2,1°

Middeltallet af disse 32 Forsøg giver, at Følevægtstangen stiger ved hvert Forsøg $\frac{64,0°}{32} = 2,00°$. Forsøg med Dynamometret viste, at som Middeltal var den trækkende Kraft 30,3 ℔.

Forsøg

med Messingskinner, glidende paa Messingskinner ved en Belastning af 4 Kanonkugler, der tilligemed Slæden veiede 53½ ℔.

Første Forsøgsrække. Følevægtstangens Udgangspunkt var 3°.		Anden Forsøgsrække. Følevægtstangens Udgangspunkt var 2°.		Tredie Forsøgsrække. Følevægtstangens Udgangspunkt var 3°.	
Nr. af Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.	Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.	Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.
1ste	0,6°	1ste	0,8°	1ste	1,5°
2det	0,8°	2det	1,3°	2det	1,4°
3die	1,0°	3die	1,3°	3die	1,4°
4de	1,2°	4de	1,6°	4de	1,4°
5te	1,1°	5te	1,2°	5te	1,4°
6te	1,3°	6te	1,0°	6te	1,4°
7de	1,5°	7de	1,1°	7de	1,4°
8de	1,2°	8de	1,6°	8de	1,4°
9de	1,3°	9de	1,3°		
10de	1,5°	10de	1,2°		
11te	1,2°	11te	1,3°		
12te	1,3°	12te	1,7°		
13de	1,3°	13de	1,0°		
14de	1,7°	14de	1,8°		
15de	1,3°	15de	1,0°		
16de	1,4°	16de	1,3°		
17de	1,6°	17de	1,3°		
18de	1,6°	18de	1,5°		
19de	1,4°	19de	1,4°		
20de	1,0°	20de	1,3°		
21de	2,0°				
22de	1,4°				

Middeltallet af disse 50 Forsøg giver, at Følevægtstangen stiger ved hvert Forsøg $\frac{66,0°}{50} = 1,32°$. Forsøg med Dynamometret viste, at som Middeltal var den trækkende Kraft 19,7 ℔.

Forsøg

med Messingskinner, glidende paa Messingskinner ved en Belastning af 2 Kanonkugler, der tilligemed Slæden veiede 31 ℔.

Første Forsøgsrække. Følevægtstangens Udgangspunkt var 3°.		Anden Forsøgsrække Følevægtstangens Udgangspunkt var 3°.		Tredie Forsøgsrække. Følevægtstangens Udgangspunkt var 3°.	
Nr. af Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.	Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.	Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.
1ste	0,6°	1ste	0,4°	1ste	0,6°
2det	0,6°	2det	0,6°	2det	0,7°
3die	0,6°	3die	0,5°	3die	0,7°
4de	0,7°	4de	0,6°	4de	0,9°
5te	0,7°	5te	0,6°	5te	0,9°
6te	0,7°	6te	0,6°	6te	0,7°
7de	0,7°	7de	0,5°	7de	0,7°
8de	0,8°	8de	0,6°	8de	0,8°
9de	0,8°	9de	0,8°	9de	0,7°
10de	0,7°	10de	0,7°	10de	0,8°
11te	0,8°	11te	0,7°	11te	0,8°
12te	0,7°	12te	0,7°	12te	0,8°
13de	0,9°	13de	0,7°	13de	0,9°
14de	0,8°	14de	0,6°	14de	0,7°
15de	0,6°	15de	0,8°		
16de	0,8°	16de	0,8°		
17de	0,8°	17de	0,6°		
18de	0,9°	18de	1,0°		
19de	0,8°	19de	0,8°		
20de	0,8°	20de	0,8°		
21de	0,8°				
22de	0,7°				

Middeltallet af disse 56 Forsøg giver, at Følevægtstangen stiger ved hvert Forsøg $\frac{40,4°}{56} = 0,72°$. Forsøg med Dynamometret viste, at som Middeltal var den trækkende Kraft 11 ℔.

Forsøg

med Zinkskinner, glidende paa Messingskinner.

Første Række af Forsøg, ved en Belastning af 4 Kugler. Følevægtstangens Udgangspunkt var 5°.		Anden Række af Forsøg, ved en Belastning af 2 Kugler. Følevægtstangens Udgangspunkt var 1°.	
Nr. af Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.	Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.
1ste	1,4°	1ste	0,9°
2det	1,6°	2det	0,7°
3die	1,6°	3die	0,5°
4de	1,5°	4de	1,1°
5te	1,4°	5te	0,7°
		6te	0,7°
		7de	1,0°
		8de	1,0°
		9de	1,0°
		10de	1,0°

Middeltallet af de 5 Forsøg med 4 Kugler giver, at Følevægtstangen ved hvert Forsøg stiger 1,5°. Den trækkende Kraft, som hertil anvendtes, var ifølge Dynamometret $20\frac{1}{3}$ ℔.

Middeltallet af de 10 Forsøg med 2 Kugler giver, at Følevægtstangen stiger ved hvert Forsøg $\frac{8,6}{10} = 0,86°$. Den trækkende Kraft, som hertil anvendtes, var ifølge Dynamometret kun 13,7 ℔.

Jeg begyndte derefter at gjøre Forsøg med Blyskinner, glidende paa Messingskinner ved en Belastning af 2 Kanonkugler. Følevægtstangens Udgangspunkt var 3°.

Ved 1ste	Forsøg	steeg	Følevægtstangen		1,7°
— 2det	—	—	—		1,6°
— 3die	—	—	—		1,6°
				Middeltal	1,63

Dynamometret angav ved 1ste Forsøg 27½ ℔, derimod ved 2det Forsøg kun 26,3 ℔, altsaa, som Middeltal, var Kraften 26,8 ℔. Ved de første Forsög jeg gjorde med Bly paa Messing, men hvoraf Resultaterne ikke ere optegnede, var baade Frictionen og Frictionsvarmen endnu større, og efterhaanden som jeg gjorde flere og flere Forsøg bleve begge mindre; men det viste sig tillige, at Blyiltet, hvormed Blyskinnerne vare overdragne, blev afslidt, og at Messingskinnerne bleve under Forsøgene belagte med et fiint Lag af Bly, som kjendeligt viste sig ved at gnide med et hvidt Klæde paa Messingskinnerne.

Medens de paa Banen liggende Messingskinner vare saaledes belagte med Bly, forsøgte jeg Frictionen og Frictionsvarmen med de Skinner af Messing og Zink, hvormed de angivne Forsøg ere anstillede. Herved fandt jeg, at Frictionen strax var en heel Deel mindre end uden dette Lag; men samtidig hermed var ogsaa Frictionsvarmen mindre, og, saavidt jeg kunde skjønne, stod Varmen i Forhold til Frictionen.

Tvende Rækker af Forsøg, som jeg derefter foretog med Blyskinner paa Messingskinner gav følgende Resultater:

Første Række af Forsøg med to Kanonkugler. Følevægtstangens Udgangspunkt var 1°.		Anden Række af Forsøg med to Kanonkugler. Følevægtstangens Udgangspunkt var 3°.	
Nr. af Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.	Nr. af Forsøgene.	Følevægtstangens Stigning.
1ste	1,2°	1ste	1,3°
2det	1,0°	2det	1,3°
3die	1,1°	3die	1,3°
4de	1,4°	4de	1,3°
5te	1,5°	5te	1,3°
6te	1,2°	6te	1,4°
		7de	1,2°
		8de	1,3°
		9de	1,2°
		10de	1,3°

Middeltallet af disse 16 Forsøg giver: at Følevægtstangen stiger ved hvert Forsøg $\frac{20,3}{16} = 1,27°$. Forsøg med Dynamometret viste, at som Middeltal var den trækkende Kraft $= 19\frac{1}{2}$ ℔. Blyets Vægtfylde var 11,3.

Jeg belagde derefter Slædens Meder med Lindetræes-Lister og forsøgte, hvilken Friction og Frictionsvarme der frembringes af Lindetræ glidende paa Messing. Jeg fandt her en aldeles eens Friction og aldeles eens Frictionsvarme for hvert Forsøg. Slæden var belagt med 4 Kanonkugler, Følevægtstangens Udgangspunkt var 4°.

1ste Forsøg	gav en	Stigning	af Følevægtstangen		= 1,2°
2det —	—	—	—		= 1,2°
3die —	—	—	—		= 1,2°
4de —	—	—	—		= 1,2°
5te —	—	—	—		= 1,2°

Følevægtstangen stiger altsaa ved Forsøg med Lindetræ paa Messing, for hvert Forsøg 1,2°. Dynanometret angav, at den trækkende Kraft var $18\frac{1}{2}$ ℔.

Jeg fandt det derefter Umagen værd at forsøge, hvilke Resultater man vilde erholde, dersom de Lindetræes-Lister omvikledes med Flonel. Under iøvrigt lige Omstændigheder som ved Lindetræ fandt jeg her følgende Resultater:

Ved 1ste	Forsøg	steeg	Følevægtstangen	1,3°
— 2det	—	—	—	1,1°
— 3die	—	—	—	1,0°
— 4de	—	—	—	1,2°
— 5te	—	—	—	1,2°
— 6te	—	—	—	1,0°

Middeltallet af disse 6 Forsøg giver, at Følevægtstangen stiger ved hvert Forsøg 1,13°. Middeltallet af Dynamometrets Angivelser er, at Kraften, som behøves for at bevæge Slæden, er $15\frac{3}{4}$ ℔.

Jeg har endelig foretaget en halv Snees Forsøg med Jernskinner glidende paa Messing ved en Belastning af 4 Kanonkugler.

Følevægtstangens Udgangspunkt var her 3°. Som Middeltal fandt jeg, at den trækkende Kraft var 19,2 ℔, og at Følevægtstangens Stigning var 1,3°.

Vi ville nu nærmere tage Resultaterne af de her anførte Forsøg i Betragtning, for deraf at udlede den Lov, hvorefter Frictionsvarmen afhænger af den tabte Kraft. Og for bedre at kunne sammenholde de angivne Middeltal med hinanden, vil jeg her opskrive dem i den Orden, hvori de ere erholdte.

De forskjellige Materialers Navne, hvormed Slædens Meder have været belagte.	Frictionen udtrykt i Pund.	Udvidelsen af en af Skinnerne paa Banen, frembragt ved Frictionsvarmen. Udvidelsen, svarende til 1° Flytning af Følevægtstangen betragtes her som Eenhed.
Glødet Messing	30,3	2,00
	19,7	1,32
	11,0	0,72
Zink	20,3	1,50
	13,7	0,86
Bly.	26,8	1,63
	19,5	1,27
Lindetræ	18,5	1,20
Lindetræ omviklet med Flonel	15,75	1,13
Jern	19,2	1,30

Banen har derimod stedse været belagt med to Skinner af glødet Messing.

Ved alle disse Forsøg vil det, som jeg ogsaa tidligere har bemærket, være tilladt at antage, at Skinner af eet og samme Metal udvide sig proportionalt med Varmegraden eller med selve Varmemængden, som ved Frictionen frembringes, da Temperaturforskjellighederne her kun ere smaa.

Vi ville nu paa een Gang sammenholde Forholdene mellem alle de stedfundne Frictioner og Forholdene mellem de derved

frembragte Varmemængder. Frictionerne, ɔ: de tabte Kræfter, forholde sig som:

For Messing	Zink	Bly	Lind	Flonel	Jern
2,75 : 1,79 : 1 :	1,84* : 1,24 :	2,44* : 1,77 :	1,68 :	1,43* :	1,74 ,

idet Frictionen af Messing, ved Belastning af to Kanonkugler, er taget som Eenhed.

De ved disse frembragte Varmemængder forholde sig derimod som:

For Messing	Zink	Bly	Lind	Flonel	Jern
2,77 : 1,83 : 1 :	2,08 : 1,20 :	2,26 : 1,76 :	1,66 :	1,57 :	1,80 ,

idet den Varmemængde er taget som Eenhed, der er frembragt ved den til Eenhed antagne Friction.

Af disse to Rækker af Forhold vil det være klart, at man maa være berettiget til at slutte, at de frembragte Varmemængder i alle disse Tilfælde forholde sig som de tabte bevægende Kræfter; thi det maa bemærkes, at ved de Middeltal, som med største Nøiagtighed ere bestemte, saaledes som Tilfældet her er med Messing, der falde Forholdene ogsaa meget nær sammen, og at de tre med * betegnede Frictionsforhold, der afvige meest fra de tilsvarende Varemængders Forhold, ere de iblandt alle, der ere bestemte som Middeltal af de færreste Forsøg og tilmed af saadanne Forsøg, hvis Resultater afvige temmelig meget fra hinanden, saa at man ogsaa netop ved disse Forsøg kan stole mindre paa Resultaterne end ved de øvrige.

Haldat har foretaget to Forsøg med Messing glidende paa Messing for at bestemme Varmen, som udvikles ved Frictionen formedelst forskjellige Tryk (Journal de Physique T. LXV. p. 217), idet Gnidningstøiet havde 3 Centim. Høide, og den gnedne lodrette Cylinder havde en Diameter af 6½ Centimètre. Den Deel af denne Cylinders Overflade, som blev underkastet Friction, havde altsaa en Størrelse 8, 9 □″. Man kan derfor vel omtrent antage, at Gnidningstøiets Overflade har været henimod et Par Qvadrattommer. Trykket ved første Forsøg var 20 ℔, altsaa vel omtrent 10 ℔ paa Qvadrattommen, derimod ved andet Forsøg 80 ℔, eller 40 ℔ paa Qvadrattommen. Hastigheden var lige

stor i begge Forsøg. Men ifølge Forsøg af *Rennie* over Frictionen af Messing glidende paa Messing er denne lig $\frac{1}{6}$ af Trykket, naar dette er under 16 ℔ paa Qvadrattommen, og ved et Tryk af 40 ℔ paa Qvadrattommen er den omtrent $\frac{1}{4}$ af Trykket; naar altsaa dette overføres paa *Haldats* Forsøg, saa følger deraf, at den tabte Kraft i første Tilfælde har været $\frac{10}{6}$ ℔ og i andet Tilfælde $\frac{40}{4}$ ℔, eller at de tabte Kræfter forholde sig som 1 : 6; men det er netop dette Forhold, som *Haldat* fandt mellem de frembragte Varmemængder, og den Vanskelighed, som *Haldats* Forsøg ved første Øiekast synes at frembyde, nemlig, at medens de trykkende Kræfter kun forholdt sig som 1 : 4, saa forholdt de frembragte Varmemængder sig som 1 : 6, tjene altsaa netop til at bekræfte den Sætning, at Varmen forholder sig som den tabte Kraft.

Jeg har ogsaa undersøgt, hvilken Indflydelse Hastigheden har paa Varmefrembringelsen, idet Messing glider paa Messing; til den Ende har jeg gjort flere Forsøg, med 7, 4 og 2 Kanonkuglers Belastning, ved Hastigheder af omtrent 1, 2 og 6 Fod i Sec., og jeg har derved overbeviist mig om, at Skinnerne paa Banen udvide sig ligemeget, enten Hastigheden er stor eller lille. Forsøgene over Frictionen af *Coulomb* (Théorie des Machines Simples p. 100) have givet, at Frictionen afhænger næsten ikke af Hastigheden, naar Metal glider paa Metal; men naar Frictionen i ethvert Punkt er den samme, saa bliver altsaa og den hele tabte Kraft den samme, enten Hastigheden er stor eller lille. Men jeg har endnu ikke omtalt det Forsøg, som var det første, jeg gjorde, for at bestemme, om den fremsatte Lov er rigtig eller ikke. Dette Forsøg bestod nemlig i at undersøge, om den Udvidelse, som en af Skinnerne paa Banen erholdt ved en vis Friction, ikke var den samme som den, den tilsvarende Skinne paa Slæden erholdt, naar begge Skinner vare af eet Metal, for Exempel Messing; thi det syntes mig, at om dette ved ethvert Tryk og enhver Hastighed var Tilfældet, saa laae deri et indirecte Beviis for Lovens Rigtighed. Til min Glæde

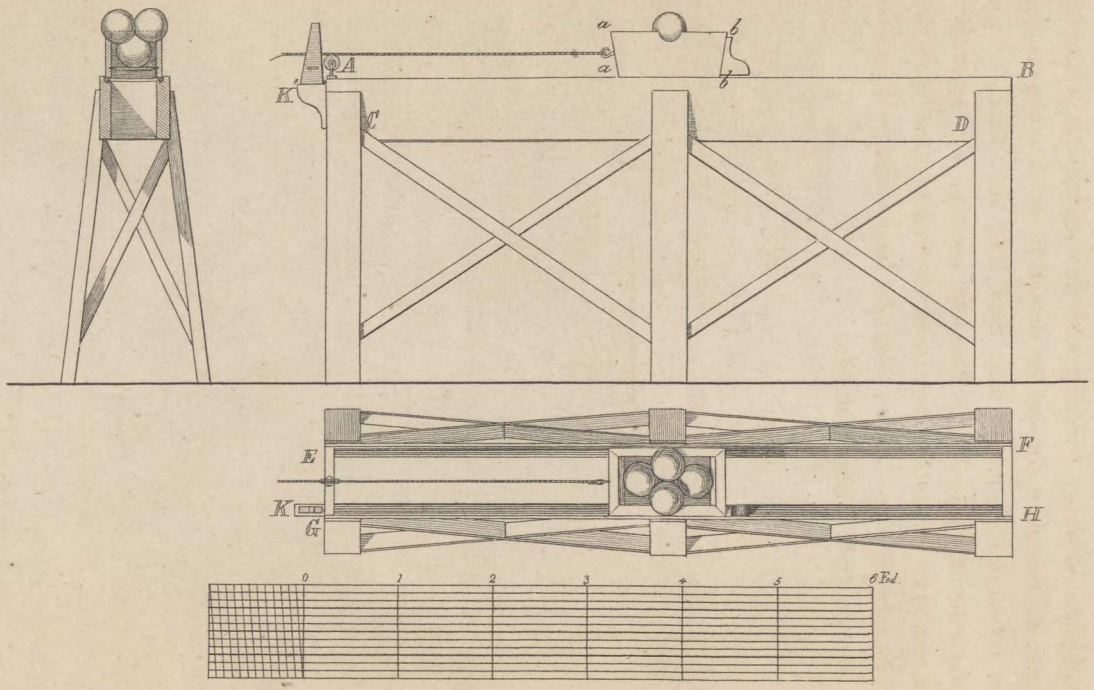
stadfæstede ogsaa Forsøgene fuldkommen min Formodning, thi jeg fandt, at hvad enten Slæden blev bevæget med en stor eller lille, jevn eller ujevn Hastighed, med et eensformigt eller ueensformigt, større eller mindre Tryk, saa udvidede stedse Skinnen paa Banen og Skinnen paa Slæden sig et ligestort Stykke. Heraf følger altsaa, at der frembringes en ligestor Varmemængde i begge Skinner eller at Varmens Intensitet i den mindre maa forholde sig til sammes Intensitet i den større omvendt som deres Længder.

Da alle de tidligere bekjendte Forsøg over Varmefrembringelsen ved Tab af bevægende Kræfter, som og alle de af mig anstillede Forsøg over Frictionsvarmens Forhold til den tabte Kraft meget tilfredsstillende synes at stadfæste hiin Sætning om tabte bevægende Kræfter, som jeg i Begyndelsen af denne Afhandling har fremsat, nemlig, at naar en Kraft sandseligt forsvinder, da undergaaer den blot en Formforandring og bliver derpaa virksom under andre Former; saa vil man ikke misbillige, at jeg antager, at nøiagtige Forsøg paa det Fuldkomneste ville udvise denne Sætnings Rigtighed.

Men det er ikke alene om bevægende Kræfter, at jeg antager denne Sætning gjældende; jeg troer, at man tør udsige den som almindeligt gjældende om alle Kræfter, saa at f. Ex., naar modsatte chemiske Kræfter tilintetgjøre hinandens Virkning, da er i Virkeligheden Kraften kun i Formen tilintetgjort, men fremtræder i sin oprindelige Størrelse under andre Former.

Uden at man antager dette, veed jeg ikke ret, hvorledes man i mangfoldige Tilfælde vil forklare hvad Naturen viser; men ved den fuldstændige Beviisførelse for Umuligheden af et Perpetuum Mobile synes denne Sætning saa paatrængende nødvendig, at uden denne tør ethvert saadant Beviis betragtes som falsk. Tænker man sig nemlig en bevægende Kraft anvendt paa en ret fordeelagtig Maade paa en saadan Maskine, saa erholdes derved ikke alene en vis Bevægelsesmængde, men der fremkommer tillige andre virksomme Kræfter, saasom Electricitet, Varme

o. s. v.; men dersom man nu havde indrettet det Hele saaledes, at ogsaa disse Kræfter kunde opsamles og benyttes ret fordeelagtigt til at frembringe Bevægelse, saa spørges om den, paa saadan Maade erholdte Virkning ikke vilde være istand til at frembrnige en større Virkning end den oprindelige Kraft. Her er der da aabenbart ligesaastor Grund til at forvente en større som en mindre Virkning, naar man ikke vil antage, at netop den samme derved vilde fremkomme, og man seer saaledes, at om man ikke tør antage den fremsatte Sætning som rigtig, saa tør man heller ikke afgjøre, om det nogensinde vil lykkes at construere et Perpetuum Mobile.


a
b
A
a
b
B
K
C
D
E
F
K
G
H
0
1
2
3
4
5
6 Fuß