

**Undersøgelse**  
om  
**de almindelige Naturkræfter**

og  
**deres gjensidige Afhængighed**

og isærdeleshed om den ved visse faste Legemers Gnidning udviklede Varme.

Af  
**L. A. Colding,**  
Vandinspecteur.



Det forekommer mig, at Erfaring har sat det udenfor al Tvivl, at de forskjellige Naturkræfter staae i en nær og inderlig Forbindelse med hinanden, idet Erfaring viser, at enhver Kraft under sin Virken formaaer at fremkalde andre Naturkræfter og at frigjøre disse til Virksomhed.

Nogle af de herhen hørende Erfaringer ere saa iöinefaldende, at de have, saa at sige, altid været bekjendte. Til denne Classe af Erfaringer hörer for Exempel den, at stærk Gnidning af faste Legemer imod hinanden kan bringe Varme og selv Lys og Ild til at fremkomme, at kraftige Bevægelser og Anstrengelser af det menneskelige og dyriske Legeme kan bevirke en stor Varmeforøgelse i Legemet. Det blev tidlig en Erfaring, at Rav kunde ved Gnidning blive electrisk eller erholde den Egenskab at tiltrække andre Legemer.

Man blev ikke alene opmærksom paa, at Dampe og Luftarter, naar de vare indsluttede i et uforanderligt Rumfang, ved en forøget Varme erholdt en forøget Spændkraft, der var istand til at frembringe en vis mechanisk Virksomhed, en Bevægelsesmængde; men man fandt tillige, at Luftarter bleve varmere ved Sammentrykning, ja, at man endog kunde frembringe Lysudvikling og Ildphænomener derved.

Det blev en Erfaring, at der fremkommer Varme, naar modsatte Electriciteter forenes, at de chemiske Kræfter under Stoffernes Forening frembringe Varme, der for de stærke chemiske Kræfter endog kan stige til Ildphænomener; fremdeles at der ved de chemiske Stoffers Forening kan frembringes stærke electricke Strømme, hvorved igjen Varme og Lysphænomener af stor Intensitet kunne fremkomme.

Alle disse og flere andre Resultater med Hensyn til Kræfternes gjensidige Indvirkning paa hinanden ere som sagt overeensstemmende med Erfaring, og til forskjellige Tider have ogsaa forskjellige Forfattere, grebne af det Dybere i denne Harmoni mellem Naturkræfterne, behandlet forskjellige heraf fremspringende Æmner, der endog, saa isolerede som de ere, hver i sin Retning, have givet mærkelige Resultater. Den første Afhandling af denne Slags, som er kommet mig tilhænde, findes i Pogg. Ann. B. LIX. S. 446, og er betitlet: Ueber die bewegende Kraft der Wärme von Clapeyron. Denne Afhandling er støttet paa den af Hr. S. Carnot fremsatte Grundsætning: at det vil være en Urimelighed at antage, at man kan frembringe bevægende Kraft eller Varme af Intet. Efterat Forfatteren har udtalt sin Overbeviisning om Rigtigheden af Carnot's Sætning, udvikler han paa mathematisk



Maade, under Fölelsen af, at der finder en höiere Forbindelse Sted imellem den Virksomhedsmængde, der er tilstede i en vis Varmemængde, og den mechaniske Virksomhed, som deraf kan fremgaae, Forholdet mellem saadanne sammensvarende Virksomheders Tilvækster, og kommer igjennem Integration af en partiel Differentialligning til en Ligning, hvoraf Forfatteren, blandt flere andre Formler, ligefrem udleder den af Dulong ved directe Forsög beviste Sætning, som findes i mémoires de l'académie royale des Sciences de l'institut de france T. X. p. 188: „At lige Volumina af alle elastiske Fluider, tagne under samme Temperatur og Tryk, afgive eller optage den samme Mængde af absolut Varme, naar de hurtigt sammentrykkes eller udvides den samme Brök af deres Volumen.” Da Clapeyron's Formler imidlertid indeholde tvende arbitraire Functioner af Temperaturen, saa ere disse ikke umiddelbart at benytte. Sürman har senere i Pogg. Ann. B. 41 S. 474 sammenlignet Clapeyron's Formler med Forsög, hvorved numeriske Formler ere vundne, hvis Resultater stemme nöie med Erfaring.

Men ligesom de nævnte Mænd have udfört de ovenanförte Arbeider med den Overbeviisning, at Virksomheden i en vis Varmemængde og Mængden af mechanisk Virksomhed, som derved kan frembringes, staae i en inderlig Forbindelse med hinanden, saaledes har Hess, gjennemtrængt af den Tanke, at de Varmemængder, som udvikles ved chemiske Stoffers Forening, maae kunne tjene som Maal for det chemiske Slægtskab \*), i Pogg. Ann. B. 47 S. 210, 50 S. 385, 52 S. 97 og 114, 53 S. 499 og 535, 56 S. 463 og 593 og 57 S. 569 fremstillet Resultaterne af Forsög, foretagne til Bestemmelsen af de Varmemængder, som fremkomme ved forskjellige chemiske Kræfters Forening, og derved beviist, at ligesom de chemiske Stoffer indgaae Forbindelser med hinanden, hvori Grundstoffernes Mængde staae i et simpelt Forhold til hinanden, saaledes udvikles ogsaa Varmemængder ved Forbindelserne af de chemiske Stoffer, som staae i ganske simple Forhold til hinanden; Hess har fremdeles i de nævnte Afhandlinger, som et Resultat af sine Arbeider, fremstillet den Sætning: At Varmemængden, som chemiske Stoffer ved deres Forening kunne frembringe, er en, ved Stofferne betinget, bestemt Störrelse, der er uafhængig af Tiden og Maaden, hvorunder den foregaaer; den bliver i Störrelse sig selv lig, enten Foreningen skeer paa eengang pludselig, eller den foretages efterhaanden, en Sætning, der unægtelig er ligesaa nyttig i technisk Henseende, som den er mærkelig og vigtig for Videnskaben. Efter Hess have flere Experimentatorer, saasom Andrews, Graham o. fl. A. foretaget Forsög over denne Gjenstand; men i denne Retning er der vistnok overmaade Meget tilbage at udrette for Videnskaben.

I det 10de af „Liebig's chemische Briefe” omtales Electromagnetismens Virkning som bevægende Kraft, sammenlignet med Dampens bevægende Kraft. For at bedømme

\*) Man sammenligne herom Pogg. Ann. B. 57 S. 571.



dette Forhold nærmere, ere Slutninger fremsatte, der ere baserede paa den Tanke, at de chemiske Æquivalenter ere visse ufravigelige Virkningsværdier, der have Hensyn paa alle de Virksomheder, som de ere istand til at yttre \*). Hr. M. H. Jacobi omhandler i hans „Galvanische und electromagnetische Versuche“ i Pogg. Ann. for Aaret 1846 B. LXIX S. 188, den magnetoelectriske Maskines Brugbarhed, og idet han omtaler Önskeligheden og Vigtigheden baade for Videnskab og Industri af at erholde en omhyggelig gennemfört theoretisk og practisk Oplysning, om det er hensigtmæssigt og oeconomisk paa den mechaniske Vei, formedelst Magneto-Electriciteten, at frembringe de galvaniske Kræfter, saa forkaster han aldeles den Maade, hvorpaa der i „Liebig's chemische Briefe“ S. 116

\*) „Um diese Frage in ihrer richtigen Bedeutung aufzufassen“, siger Forfatteren Side 115, „muss man sich Aequivalente der Chemiker erinnern. Es sind diess gewisse uveränderliche, in Zahlen ausdrückbare Wirkungswerthe, die einander proportionel sind. Um eine gewisse Wirkung hervorzubringen habe ich 8 Pfund Sauerstoff nöthig, und wenn ich für dieselbe Wirkung keinen Sauerstoff, sondern Chlor anwenden will, so muss ich davon nicht mehr und nicht weniger als 35½ Pfund nehmen. So sind 6 Pfund Kohle eine Aequivalent für 32 Pfund Zink. Diese Zahlen drucken ganz allgemeine Wirkungswerthe aus, die sich auf alle Thätigkeiten beziehen, welche sie zu äussern fähig sind. Wenn wir Zink, in einer gewissen Weise mit einem andern Metall verbunden, mit verdünnter Schwefelsäure in Berührung bringen, so löst es sich in der Form von Zinkoxyd auf; es verbrennt auf Kosten von Sauerstoff, den ihm die leitende Flüssigkeit darbietet. In Folge dieser chemischen Action beobachten wir die Entstehung eines elektrischen Stroms, der, durch einen Drath geleitet diesen zu einem Magneten macht.“

Durch die Auflösung von einem Pfund Zinks erhalten wir also eine gewisse Summe von Kraft, wodurch wir z. B. in Stand gesetzt werden, ein um so grösseres Gewicht Eisen einen Zoll hoch in die Höhe zu heben und so lange schwebend zu erhalten, in je kürzerer Zeit die Auflösung des Zinks vollendet ist. Wir können ferner durch Unterbrechung und Wiederherstellung des Contacts des Zinks mit der Säure und durch umgekehrte Wirkung dem Eisengewicht eine Bewegung hin- und herwärts oder auf- und abwärts geben, die Bedingung also schaffen, um eine Maschine zu treiben.

Aus nichts kann keine Kraft entstehen; in dem berührten Falle wissen wir, dass sie durch Auflösung (durch Oxydation) des Zinks hervorgerufen wird; allein abstrahiren wir von dem Namen, den diese Kraft hier trägt, so wissen wir, dass ihre Wirkung in einer andern Weise harvorgebracht werden kann. Wenn wir nämlich des Zink unter dem Kessel einer Dampfmaschine, also in dem Sauerstoff der Luft, anstatt in der galvanischen Säule, verbrannt hätten, so würden wir Wasserdampf, und damit eine gewisse Quantität Kraft hervorgebracht haben. Wir wollen nun annehmen — was keineswegs bewiesen ist — die Kraftmenge sei in beiden Fällen ungleich, man habe z. B. durch die galvanische Säule doppelt oder dreimal mehr Kraft gewonnen, oder, wenn man will, weniger Verlust an Kraft gehabt, so muss man sich erinnern, dass das Zink repräsentirt werden kann durch gewisse Aequivalente an Kohle. Nach den Versuchen von Despretz entwickeln 6 Pfund Zink, wenn sie sich mit Sauerstoff verbinden, nicht mehr Wärme wie 1 Pfund Kohle; wir können also unter gleichen Bedingungen mit 1 Pfund Kohle sechsmal so viel Kraft hervorbringen wie mit 1 Pfund Zink. Es ist klar, die Kraftverluste auf beiden Seiten gleich gesetzt, würde es vortheilhafter sein, Kohlen anzuwenden anstatt Zink, selbst wenn dieses in der galvanischen Säule viermal so viel Kraft entwickelte als ein gleiches Gewicht Kohle durch seine Verbrennung unter einem Dampfkessel liefert. Mit einem Wort, wenn wir die Kohlen, die wir zur Ausschmelzung des Zinks aus seinen Erzen gebrauchen, unter einer Dampfmaschine verbrennen, so werden wir damit höchst wahrscheinlich weit mehr Kraft hervorbringen als durch Zink, in welcher Form oder in welchem Apparat wir es auch verwenden mögen.“



drages Slutninger om Kræfternes Størrelse \*). Derimod siger Hr. M. H. Jacobi sammesteds § 35: „Af Lovene for de electromagnetiske Maskiner, som jeg ved en tidligere Leilighed har udviklet, tillader jeg mig at gjentage følgende skjønne og simple Sætning. Man tænke sig et galvanisk Batterie, som er sluttet formedelst en lang Ledningstraad og i en vis Tid forbruger et Quantum Zink, hvilket man her kan betegne med  $Z$ . Tager man denne Ledningstraad og vinder den om Jerncyindrene paa en electromagnetisk Maskine, saa forandrer Zinkforbruget sig ikke, saalænge Maskinen forbliver i Ro. Men saasnart Maskinen begynder at gaae, formindskes Zinkforbruget og bliver desto mindre, jo mere Maskinens Gang forøger sin Hurtighed. Belaster man samme for at formindske dens Hastighed, saa stiger Zinkforbruget igjen. Nu veed man, at det saakaldte mekaniske Arbeide er proportionelt med Productet af Hastigheden og Belastningen eller Kraften. Man vil altsaa kunne vælge Forholdet mellem Kraft og Hastighed saaledes, at Productet af disse bliver et Maximum. Har man truffet en saadan Anordning, saa finder man, at Zinkforbruget nu kun beløber sig til  $\frac{1}{2}Z$ . Som nærmest liggende og os bekjendte Aarsag til denne, ved Gangen af de electromagnetiske Maskiner indtrædende Formindskelse af den electrolytiske Kraft, maa man betragte den magneto-electriske Reaction, hvilken opvækker en modsat Strøm, der altsaa for sig ubetinget vilde have været istand til i samme Tid at frembringe en med  $\frac{1}{2}Z$  proportionel electrolytisk Effect. Her træde vi nu vistnok over paa bekjendte Forholds Gebet, saaledes at de efterstaaende Slutninger maaskee ikke synes

\*) Der Fabrikant, siger Hr. Jacobi § 34, welchem man von der Einführung der magnetischen Maschine, z. B. zu galvanoplastischen Zwecken, spräche, indem man zu ihrer Betreibung auf eine Dampfmaschine hinwiese, würde sogleich fragen, wie viel Kohlen zur galvanoplastischen Reduction von 1 Pud Kupfer erforderlich wären. Die Antwort auf diese Frage wäre leicht, wenn es in der Wissenschaft erlaubt wäre voreilig zu verfahren (siehe Liebig's chemische Briefe, S. 116). Es wäre nämlich nur nöthig, alle vermittelnden Momente, welche zwischen den beiden chemischen Processen, dort im Feuerungsraume des Dampfkessels, hier im galvanoplastischen Zersetzungstroge stattfinden, es wäre nur nöthig alle diese complicirten Zwischenglieder zu überspringen, und ein Resultat zu anticipiren, das einen der grössten Fortschritte in unserer Erkenntniß der Dinge bezeichnen würde, wenn es jemals gelinge es gründlich zu erweisen. Ich meine nämlich, man würde das relative Atomengewicht des Kohlenstoffs und des Kupfers anführen, und nur an das bekannte Verhältniß zwischen Ursache und Wirkung appelliren, um die Natürlichkeit oder das Sichvonselfstverstehen einer definitiven Wirkung auch hier zu erweisen.  $7\frac{1}{2}$  Pfund Kohle seyen das chemische Aequivalent von 1 Pud Kupfer. Durch Verbrennung von  $7\frac{1}{2}$  Pfund Kohlen hebe man ein gewisses Gewicht auf eine gewisse Höhe. Liesse man dieses Gewicht wieder herunterfallen, so müßte vermittelst der hierdurch gewonnenen mechanischen Kraft, die zur Bewegung von Magneten verwendet würde, natürlich auch ein Pud Kupfer galvanisch reduciren können, denn Ursache und Wirkung seyen sich überall gleich — aequivalent. Bisher wäre zur Reduction von diesem Pud Kupfer etwas mehr als ein Pud Zink erforderlich gewesen, was wegen der Unbrauchbarkeit des Zinksalzes weit höher zu stehen komme als obige  $7\frac{1}{2}$  Pfund Kohle. Der Vortheil liege also auf der Hand. Wir können indessen die Anwendung mechanischer Kräfte zur Erzeugung galvanischer Ströme nicht durch solche oberflächliche Argumente rechtfertigen; wir müssen vielmehr eingestehen, dass wir bisher in dieser Beziehung nur sehr geringe Anhaltspunkte haben.



saa overilede. Antages, at man havde en lignende Maskine, som den forudsatte electromagnetiske, hvorved man istedetfor Electromagneter havde anbragt permanente Magneter af samme Styrke, saa vilde Dreiningen af en saadan magnetisk Maskine med den forhen omtalte, til Maximum svarende Hastighed, udfordre en Mængde af Arbeide, hvilken vilde være ligestor med Arbeidsmængden af hiin electromagnetiske Maskine, og ligesaadanne vilde de electrolytiske Adskillelser i begge Tilfælde være lige, det er: *der* vilde  $\frac{1}{2}$  Z blive forbrugt for at frembringe Arbeidet T, *her* maatte en Arbeidsmængde T anvendes for galvanisk at opløse  $\frac{1}{2}$  Z.

I Pogg. Ann. for Aaret 1846 B. LXVIII. S. 105 siger Hr. M. Faraday i sine Experimental-Untersuchungen über Electricitet. „At han i lang Tid, formodentlig med mange andre Venner af Naturvidenskaben har næret den til Overbeviisning grændsende Mening, at de forskjellige Former, under hvilke Materiens Kræfter fremtræde, have et fælleds Udspring, eller, med andre Ord, staae saaledes i directe Sammenhæng og gjensidig Afhængighed, at de ligesom kunne blive forvandlede fra den ene til den anden, og da virke som æquivalente Kræfter”, og slutter med den Bemærkning: „I den nyere Tid ere Beviserne for, at Kræfterne saaledes kunne omforandres, voxede betydeligt, og Begyndelsen er gjort til at bestemme deres æquivalente Kræfter.” Af det i denne Afhandling Udviklede sees det tydeligt, hvorledes Tanken om et høiere Foreningspunkt og indre Forbindelse mellem de forskjellige Naturkræfter har grebet Forfatteren, idet han blandt Andet siger, at, endskjönt han har gjort mangfoldige Forsög for at paavise, at Electriciteten har sin Virkning paa Lyset, hvilke Forsög dog ikke førte til noget Resultat, saa var han dog saa fast i sin Overbeviisning, at han vedblev bestandig nye Forsög.

Efterat have havt den Ære at fremhæve forskjellige Erfaringer over den Afhængighed, hvori de forskjellige Naturkræfter staae til hinanden, og efterat have paaviist, at flere værdifulde Arbeider ere fremkaldte af den Overbeviisning, at der er en inderlig Forbindelse mellem alle Naturkræfter; saa skal jeg her tage mig den Frihed at henlede Opmærksomheden paa adskillige Arbeider, der have havt til Opgave at bestemme Lovene, hvorigjennem denne inderlige Forbindelse mellem de forskjellige Naturkræfter ytrer sig.

1) Med Hensyn til den ved Friction frembragte Varmeudvikling, da have flere forskjellige Experimentatorer foretaget Forsög for at udfinde Kilden til denne. Som bekjendt har Rumford foretaget Forsög i denne Retning (Scherer's Journal Th. 1 S. 9); men de Resultater, som kunne uddrages af disse Forsög til Bestemmelsen af Lovene for Varmefrembringelsen under Frictionen, ere kun faa, blot maa det her bemærkes, at allerede han troede sig berettiget til at antage, at Varmen ikke er et eiendommeligt Stof, men at den bestaaer i en Bevægelse.

Derimod giver en Afhandling af Haldat i Journal des Physique T. LXV. p. 213, der er grundet paa en Række af Forsög, som skulle tjene til at fuldstændiggjøre Rumford's tidligere Forsög over Varmeudviklingen, i denne Henseende langt vigtigere Data. Han fandt:



- a) At der udvikles ligemegen Varme i ligestore Tider, naar, ved samme Metal, Hastighed og Tryk forblive de samme.
- b) At ved forskellige Metaller udvikles, under øvrige lige Omstændigheder, ulige Mængder af Varme, der i ingen Henseende rettede sig efter Metallets Tæthed.
- c) At Varmen voxer ved Trykket, men, som det synes, i et stærkere Forhold end Trykket.

Ved Forsøg over den ved Frictionen frembragte Varmemængde har Bequerel fundet, at denne Varmemængde er ganske uafhængig af Varmeledningen og af Capaciteten af de gnidende Legemer, kun voxer den med Kraften, hvormed Legemerne blive trykkede imod hinanden; ogsaa Overfladens Beskaffenhed synes i Almindelighed uden Indflydelse paa dette Phænomen. Ved Gnidning af to Legemer af lige Natur, hvoraf det ene er glat, det andet er ridset, opvarmes det sidste mere end det første. Varmeudviklingen vedvarer, saalænge Gnidningen vedbliver, men staaer dog ikke i samme Forhold, som Bevægelsestiden. Den foregaaer i det lufttomme Rum, som i Luft.

2) Den mechaniske Virksomhed, som en Varmemængde, der meddeles en Luftart, kan frembringe, kan bestemmes ved Hjælp af den Formel for Luftarternes Spænding i Forhold til deres Temperatur og Tæthed, som udledes af Mariottes og Gay-Lussac's Love for Luftarternes Sammentrykkelighed ved constant Temperatur og Udvidelse ved Varmen under constant Tryk; og det er et Forsøg herpaa, som er udført af Clapeyron i den forannævnte Afhandling. Men Clapeyron's Formel maa tillige tjene til at bestemme den Varmemængde, som fremgaaer, naar en mechanisk Virksomhed anvendes paa Sammentrykning af Luftarter, og Resultaterne af denne Beregning ere, som foran sagt, idetmindste tildeels fundne stadfæstede af Erfaring.

Tidligere have, som bekjendt, La Place og Poisson fremstillet Formler til Bestemmelsen af den Varmemængde, som en Luftart indeholder, ved et bestemt Tryk, Temperatur og Tæthed; men disse Formler ere byggede paa den Forudsætning, at Forholdet mellem den specifikke Varme ved constant Tryk og den specifikke Varme ved constant Volumen er constant. De Resultater, som erholdes under denne Forudsætning, ere imidlertid kun lidet overensstemmende med Erfaring, saa at man i Virkeligheden ikke kan antage det omtalte Forhold for fuldkommen constant.

Blandt flere Andre have Gay-Lussac og Welter \*) foretaget directe Forsøg over den ved Luftarternes Sammentrykning udviklede Varme.

3) At der ogsaa ved draabeflydende Legemers Sammentrykning udvikles Varme, have Colladon og Sturm viist \*\*); men, hvorledes denne staaer i Forhold til Trykket, er først nærmere angivet af Conferentsraad Ørsted \*\*\*), som fandt, at der omtrent maa ud-

\*) Pogg. Ann. B. XVI. S. 201, 476.

\*\*\*) Pogg. Ann. B. XII. S. 161.

\*\*\*\*) Pogg. Ann. B. XXXI. S. 361.



vikles en Varmemængde, svarende til  $\frac{1}{40}$  Grad Celsius, for hver Atmosphæres Tryk, hvor- med Vandet sammentrykkes.

Ved de Forsøg, som Conferentsraad Ørsted har anstillet over den ved Vandets Sammentrykning udviklede Varme, der ere udførte med en thermoelectrisk Kjede i For- bindelse med Multiplicatoren og ere omtalte i Oversigten for 1845 over det Kongelige Videnskabernes Selskabs Forhandlinger S. 117, fandtes den udviklede Varmegrad for en Atmosphæres Sammentrykning at være  $\frac{1}{49,2}$  Grad, hvorom det imidlertid maa bemærkes, at dette Tal er erholdt under den Forudsætning, at Uligheden i Sammentrykkelighed af Vandet ved forskjellige Varmegrader, kun hidrører fra den forskjellige Udvidelse, som Vandet ved de forskjellige Temperaturer, hvorved Sammentrykning foretages, beholder formedelst den ved Sammentrykningen fremkomne Varmeforøgelse; det maa tillige be- mærkes, at ved denne Slags Maalinger indtræder et mere compliceret Forhold, end man fra først havde ventet, idet det har viist sig, at et Tryk for Exempel med en Glas cylinder paa det thermoelectriske Apparat frembringer en Varmeforøgelse, hvorved man faaer Ud- slag paa Multiplicatoren.

Foruden de foran S. 126 omtalte Forsøg af Hr. Jacobi over Magnetoelectriciteten ere Forsøg foretagne af Hr. Weber over den magneto-electriske Ströms Størrelse i Forhold til Vexlingernes Antal af Jerncyndrene i en Stöhrersk magneto-electrisk Maskine, hvilke Forsøg findes beskrevne i Pogg. Ann. for Aaret 1844 B. LXI. S. 431. Disse Forsøg ere imidlertid saa faa, at intet Resultat deraf med Sikkerhed kan udtrages.

Paa en fra det Anførte heel forskjellig Maade, som jeg her nærmere skal have den Ære at angive, er jeg bleven ledet til at undersøge Lovene for den gjensidige Af- hængighed mellem Kræfterne. Den første ledende Tanke fattede jeg ved at overveie det bekjendte „D'Alemberts Princip om de tabte Kræfter“. Det blev mig nemlig klart, at medens man ved „de tabte Kræfter“ kun forstaaer de Dele af de anvendte Kræfter, som gaae tabt for den tilsigtede Virkning, saa indtræffer der dog i Virkeligheden overalt, hvor materielle Modstande ere tilstede, et andet aldeles bestemt Tab af bevægede Kræfter, naar et Legeme bevæger sig formedelst en meddeelt mekanisk Virksomhed. Den meddeelte Virksomhed forplantes nemlig under den stedfindende Bevægelse til de materielle Dele, som Legemet træffer under Bevægelsen. De Dele, der saaledes erholde en Bevægelses- mængde, meddele paa samme Maade denne til de omgivende materielle Dele, og dette vedbliver uden Ophör. Den meddeelte mekaniske Virksomhed taber sig saaledes mere og mere i de materielle Modstande, dens Betydning som bevægende Kraft maa altsaa dermed efterhaanden forsvinde, og saafremt denne er den anvendte Krafts eneste Virke- form, maa dens Betydning som virkende Aarsag dermed forsvinde. Men den Tanke, at en Virksomhed skulde kunde forsvinde i det Legemlige uden igjen at fremtræde som virkende Aarsag, forekommer mig fornuftstridig, og jeg tør derfor vove at paastaae, at



*Kræfterne, uden Undtagelse, kun undergaae en Formforandring, naar de synes at forsvinde, og fremtræde derpaa igjen som virkende Aarsager i samme Störrelse men i forandrede Former.*

Naar for Exempel en bevægende Kraft anvendes paa at bevæge en Masse henad en Bane, da vil den hele anvendte Virksomhed være medgaaet til at overvinde Frictionen, Luftmodstanden etc., naar Legemet er standset; den anvendte Bevægelsesmængde er forsvunden som Bevægelsesmængde; men den er ikke tabt, og den maa uophørlig være virksom; ja vi mærke den ogsaa igjen, men i en ny Form, som Varme, Electricitet etc. Eller naar Varmen udvider en Damp eller Luftart, da formindskes Temperaturen, naar ingen Tilstrømning af Varme under Udvidelsen finder Sted. Men Virksomheden er derved ikke gaaet tabt, thi der er frembragt en Bevægelsesmængde under Udvidelsen.

Sammentrykkes en Luftart eller Vædske, da medgaaer hertil en Bevægelsesmængde; men heller ikke denne er forsvunden, den fremtræder ligeledes under andre Former som Varme etc.

Naar modsatte Electriciteter forenes, da ophører Virksomheden i de oprindelige Former; men den fremtræder som Varme, Magnetisme etc., og naar modsatte kemiske Stoffer forenes, da træde Kræfterne frem i andre Former, men i Störrelse svarende til Graden af Modsætning mellem de electropositive og electronegative Stoffer, eller med andre Ord, i Forhold til det kemiske Slægtskab.

Da den magneto-electriske Strøm fremkommer ved Indvirkning af en bevæget Magnet paa en electricisk Leder, saa kan deraf sluttes, at det er den mechaniske Virksomhed, som overgaaer i magneto-electrisk Virksomhed o. s. fr.

Den Sætning, at naar en Virksomhed forsvinder, da fremtræder derved en anden af samme Störrelse, skal i det Følgende, som jeg haaber, blive beviist at være stemmende med Erfaring; men at min første Grundtanke heller ikke er urigtig, at Kræfterne ere de samme, kun fremtrædende i forandrede Former, det forekommer mig tillige klart. Den Indvending kunde nemlig fremføres, at, om det kan ansees for afgjort, at enhver ny fremtrædende Virksomhed staaer i Forhold til den tabte Kraft, saa er deraf ikke en nødvendig Følge, at det netop er den tabte Kraft, som fremtræder, da man muligen kunde antage, at den tabte Kraft blot opvækker en anden, men selv forsvinder. Dog, saavist som vi see den nye Virksomhed at fremtræde, saavist er det og, at den indre Aarsag, som har frembragt den nye Virksomhed, hvad enten denne er Varme eller Electricitet, mechanic eller magnetisk Virksomhed etc., er meddeelt paa den Virksomheds Bekostning, som det meddelende Legeme havde; og idet det altsaa maa indrømmes, at Aarsagen til de nye fremtrædende Virksomheder kan meddeles, saa indrømmes det med det samme, at Grundkræfterne ere de samme, men at Virkningsmaaden eller Formen er forskjellig.

Det var Tanken om Kræfternes Uforgængelighed og deres bestandige Virksomhed, som hos mig har fremkaldt Lysten til at undersøge Lovene for Kræfternes Afhængighed



af hinanden, og det er med Følelsen af, at denne Tanke umuligt kan være urigtig, at jeg alt i henvend en halv Snees Aar med inderlig Glæde har opoffret en stor Deel af min Fritid til at betragte og overveie Rigtigheden heraf.

I den foreløbige Afhandling, som jeg med en Skrivelse af 1ste November 1843 tog mig den Frihed at tilstille det høitærede Kongelige Videnskabernes Selskab, har jeg deels sammenstillet Resultaterne af alle tidligere mig bekendte vigtigere Forsøg, denne Sag betreffende, og viist, hvorledes disse stemme overeens med det ovenfor udtalte Princip for de tabte Kræfter, deels har jeg deri fremstillet nogle Rækker af Forsøg over den ved Frictionen frembragte Varme, hvilke Forsøg jeg havde anstillet ved et af mig selv forfærdiget og sammesteds beskrevet Apparat. De deri beskrevne Forsøg vare foretagne med Messing, Zink, Bly, Jern, Lindetræ og Lindetræ omviklet med Flonel, alt glidende paa Messing. Ved den Messingstang, hvorpaa Glidningen af de forskjellige Legemer fandt Sted, blev Udvidelsen formedelst den deri frembragte Varme, tilligemed den ved Gnidningen frembragte Friction, bestemt for hvert enkelt Forsøg, og jeg skal her kun tillade mig at fremhæve Resultaterne af de forskjellige Forsøgs-Rækker.

Naar Frictionen ved Messing, glidende paa Messing, under en Belastning af circa 31  $\bar{u}$ , tages som Eenhed for Frictionen, og den ved samme opvækkede Varmemængde ligeledes tages som Eenhed for Varmemængden, da kan Resultatet fremstilles i efterstaaende Oversigt:

Nummer.	Det glidende Legeme.	Det Legeme, hvorpaa Glidningen foregaar.	Belastningen, udtrykte i $\bar{u}$	Frictionen, udtrykt ved den valgte Eenhed.	Den Varmemængde, der opvækkes i det Legeme, hvorpaa der glides, udtrykt ved den valgte Eenhed.	Anmærkning.
1	Messing	Messing	88 $\frac{3}{4}$	2,75	2,77	Under alle Forsøg blev den samme Længde af Banen gjennebløbet af den derpaa bevægede Slæde.
2	Messing	Messing	53 $\frac{1}{2}$	1,79	1,83	
3	Messing	Messing	31	1,00	1,00	
4	Zink	Messing	53 $\frac{1}{2}$	1,84 *	2,08 *	
5	Zink	Messing	31	1,24	1,20	
6	Bly	Messing	31	1,77	1,76	
7	Jern	Messing	53 $\frac{1}{2}$	1,74	1,80	
8	Lindetræ	Messing	53 $\frac{1}{2}$	1,68	1,66	
9	Lindetræ belagt med Flonel	Messing	53 $\frac{1}{2}$	1,43 *	1,57 *	

hvoraf jeg dengang allerede troede mig berettiget til at slutte, at de frembragte Varmemængder forholde sig som de tabte bevægende Kræfter; idet jeg bemærkede, at de med \*



betegnede Middeltal, der afvige mest, deels ere bestemte af de færreste Forsög og deels bestemte af saadanne Forsög, hvis Resultater afvige temmelig meget fra hinanden indbyrdes.

Jeg gjorde derefter Forsög med Messing, glidende paa Messing, for at bestemme, om Hastigheden havde nogen Indflydelse paa de frembragte Varmemængder; disse Forsög viste, at Hastigheden, der varierede fra 1 til 6 Fod i Secundet, aldeles ingen Indflydelse har; den frembragte Varmemængde blev ligestor, enten Hastigheden var stor eller lille; og jeg oplyste ogsaa deri, at da Frictionen, ifölge Coulombs Forsög (Theorie des Machines simples, p. 100) næsten ikke afhænger af Hastigheden, naar Metal glider paa Metal, saa maa den hele tabte Kraft være den samme, enten Hastigheden er stor eller lille.

Med Messing, glidende paa Messing, foretog jeg ogsaa Forsög for at bestemme, om ikke den kortere Messingstang paa Slæden, der glider hen over Banen, blev i samme Forhold varmere, end den længere Messingstang paa Banen, som den sidste Stang var længere end den første; thi da begge Stænger havde samme Gjennemsnitsareal, saa maatte dette være Tilfældet, hvis det fremsatte Princip for de tabte Kræfter er rigtigt; og Forsögene stadfæstede dette.

At alle disse Forsög blev jeg saaledes kun yderligere bestyrket i min Tanke, og jeg fremsatte alt dengang, som min Overbeviisning, at det er en almindelig Naturlov, at „naar en Kraft sandseligt forsvinder, da undergaaer den blot en Formforandring og bliver derpaa virksom under andre Former.” Jeg henpegede paa, „at der i Virkeligheden ogsaa stedse fremkomme andre Kræfter, hvor nogle forsvinde”, og bemærkede, at denne Sætning maa antages for almindelig gjældende om alle Kræfter, „saa at for Exempel, naar chemiske Kræfter tilintetgjøre hinandens Virkning, da er i Virkeligheden Kraften kun i Formen tilintetgjort, men den fremtræder i sin oprindelige Størrelse under andre Former.” Til større Tydelighed anførte jeg, „at naar man for Exempel antager, at den hele Virkning, der i Tiden  $t$ , formedelst en vis bevægende Kraft, er tabt, kan betegnes ved  $q$ , saa maa den nye fremtrædende Virksomhed være at sætte lig  $q$ ; og jeg sluttede denne foreløbige Afhandling, idet jeg fremhævede, „at 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, 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 frembringe en større Virkning end den oprindelige Kraft. Her er der da aabenbart ligesaa stor 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.”

I Anledning af denne foreløbige Afhandling havde det høitærede Selskab den Godhed at udvælge en Comitee til at bedømme, hvorvidt mine Forsøg og navnlig Sagen selv fortjente nogen videre Opmærksomhed, og jeg maa tilstaae, at kun faa Ting har glædet mig saameget, som det Bifald den høitærede Comitee og senere det høitærede Selskab ikke alene skjænkede denne Sag, men ogsaa de af mig derfor udførte Arbejder \*). Først nu har jeg seet mig istand til at kunne forelægge Selskabet nogle Forsøg, foretagne med det Apparat, som jeg ved Selskabets godhedsfulde Understøttelse har ladet udføre af Hr. Mechanicus Poulsen. Endskjönt Forsøgenes Antal og Omfang endnu kun ere ringe, saa forekomme de vundne Resultater mig alt af temmelig almindelig Interesse, hvorfor jeg ikke har kunnet nægte mig selv den Fornøielse at fremsende disse.

Det Apparat, som jeg ved det høitærede Selskabs Hjælp har ladet forfærdige og hvoraf jeg har betjent mig ved Udførelsen af efterfølgende Forsøg, har jeg construeret efter den samme Grundtanke, hvorefter det af mig tidligere indrettede Apparat var udført. Det bestaaer af et meget solidt Underlag, der bærer 2de Egetræs Vanger, hvorpaa prismatiske Stænger af det Legeme, hvis Friction og Frictionsvarme man vil undersøge, kunne anbringes. Belastet med Kanonkugler glider herpaa en Slæde, der underneden ligeledes er belagt med Stænger af det Legeme, hvis Friction og Frictionsvarme man vil bestemme; herved opvækkes en Varmemængde i Stængerne, hvorved disse udvide sig, og af Udvidelsen af Skinnerne kan man ifølge Legemernes bekjendte Udvidelsescoefficienter let bestemme de frembragte Varmegrader.

Udvidelsen af Stængerne maales med et Sphærometer; Frictionen maales ved Hjælp af et Morin's Dynamometer med Dreieskive, construeret ganske saaledes, som det Morin benyttede til sine Forsøg over Frictionen.

Apparatet er afbildet paa Tabel I. Fig. 1, 2, 3 og 4. Fig. 1 viser Apparatet fra Siden, og til større Tydelighed er den bageste Deel viist som et Gjennemsnit. Fig. 2 viser Apparatet seet fra oven, og Fig. 3 viser et Gjennemsnit paa Tvers af samme. Paa de forskjellige Figurer ere de samme Stykker betegnede ved samme Bogstaver.

Banens Vangestykker *a* ere forfærdigede af 2½ Tom. tykke, 12 Tom. brede og 7 Fod lange Egeplanker. I Overkanten af disse Vanger er nedlagt en Bane af Pukkenholt *b*, der tjener som fast Underlag for Stængerne *c*, hvorover Slæden *S* bevæges. Stængerne paa Banen ere fastgjorte bag til ved Træskruer *d*, de ligge iøvrigt løse hen over Vangerne; de ere styrede ved et tilstrækkeligt Antal Jernklamre, men kunne frit udvide sig fremad. Paa ganske lignende Maade er Slæden construeret, kun med den Undtagelse, at her ere Stængerne fast forbundne til Forkanten af Slæden og kunne frit udvide sig tilbage.

\*) Oversigt over det Kgl. danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger i Aaret 1844.



Et Gjennemsnit af Stængerne  $c$  og Forbindningen ved Klammerne, saavel til Banen, som til Slæden, sees i virkelig Størrelse i Fig. 4. For ikke at forrykke Stængerne ud af deres rette Stilling, maa Slæden kun glide paa Banen, naar den gaaer fremad; naar Slæden skal tilbage, da løftes den over Banen ved at hæve de ydre Vanger  $f$  om Axelen  $e$  til den punkterede Stilling  $gh$ . Slæden er da forandret til en Vogn, der paa de 4 Hjul  $i$  løber let tilbage paa de ydre Vanger, uden at Frictions-Stængerne berøre hinanden. Ved derpaa at sænke Vangerne  $f$  bringes igjen Stængerne til at berøre hinanden, og Forsøget kan da begynde forfra. Fremad bevæges Slæden ved et Sving  $k$  og en Valse  $l$  formedelst Touget  $m$  over Tridserne  $n$ . En Skive  $o$  dreier sig under Slædens Bevægelse formedelst en Snor, der er lagt om et Snorløb under Skiven, og er fastgjort i begge Ender af Banen. Vinkelhastigheden af Skiven bliver derved proportional med Hastigheden af Slæden. En Stift  $p$  igjennem det over Skiven staaende Dynamometer tegner under Skivens Bevægelse en krum Linie paa denne, og den Friction, som i et hvilket som helst Punkt af Banen har fundet Sted, bestemmes da let, naar man af den hertil svarende Vinkelafstand paa Skiven, bestemmer det tilsvarende Punkt paa den beskrevne Curve. En Maalning af Afstanden fra Skivens Omdreingsaxe til dette Punkt er da tilstrækkelig for at bestemme Frictionen i det omhandlede Punkt af Banen. Naar Slæden bevæges tilbage, da virker ingen Kraft paa Dynamometret, og Spidsen beskriver en Cirkelbue. Denne har jeg kaldt Nulpunktcirkelbuen.

Ved Frictionen, der kan være forskjellig for de forskjellige Punkter af Stængerne, opstaaer en Varmemængde, der ligeledes kan være forskjellig for de forskjellige Punkter af Stængerne. Totalvirkningen af den frembragte Varmemængde maales ved Stængerens Udvidelse. Da det altsaa er Integralet af alle de enkelte Varmevirkninger, der maales med Sphærometret, idet man maaler Udvidelsen, saa kommer det ogsaa an paa at finde Integralet af alle de enkelte Frictionsvirkninger, under hele Bevægelsen. Den hele Virksomhed, der medgaaer til at overvinde Frictionen, er lig Summen af alle de forskjellige Frictioner under hele Bevægelsen, hver multipliceret med Længden af den Vei, som med denne Friction gjennemløbes.

Deles den Vinkel, som Skiven under hele Bevægelsen dreies, i  $m$  ligestore Vinkler, og antages Tallet  $m$  saa stort, at Frictionen under Bevægelsen gennem hver af disse  $m$  Vinkler kan ansees som constant; betegnes hver af de smaa Vinkler med  $x$ , og Frictionen deri successive ved  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_m$ , da maa den samme Frictionsvirkning under hele Bevægelsen være proportional med

$$x (F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_m).$$

Men da den Længde af Banen, der gjennemløbes, under alle Forsøg er den samme, saa er

$$m \cdot x$$

en constant Størrelse, og den hele anvendte Virksomhed bliver saaledes proportional med  $\frac{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_m}{m}$  eller med Middelfrictionen. Jeg har imidlertid for Simpelt Skyld



bestemt Middelfrictionen af Dynamometrets Middeludvidelse, istedetfor at beregne den af de enkelte Frictioner  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_m$ , der først selv skulde beregnes af de erholdte Udvidelser af Dynamometret.

Sphærometret, som jeg benyttede ved Maalningerne, er construeret saaledes, som det er afbildet Tabel II, Fig. 1. For med dette Instrument nöiagtigt at kunne maale Skinernes Udvidelse, er foran paa Banen og bag paa Slæden fastskruet 3de planslebne Glasplader, ved Hjælp af Messingplader. Igjennem hver af disse Messingplader er i Midten boret et cylindrisk Hul af 2de Liniers Diameter, hvorigjennem Staaflödderne beröre de planslebne Glasplader. Derved holdes Sphærometret under hver Maalning omtrent paa samme Sted og i samme Stilling imod Frictionsstangen. Maaleskiven paa Sphærometret er deelt i 360 hele Grader, hvoraf hver Grad igjen er deelt i tvende halve. Alt er indrettet saaledes, at Staaalkruens Endepunkt staaer lige ud for Stangen, hvis Udvidelse skal maales; naar man da bestemmer Gradeantallet paa Sphærometret, svarende til Stangens Længde för og efter Udvidelsen, da kan Udvidelsens Störrelse deraf beregnes.

For at bestemme, hvormeget Skruen paa Sphærometret rykker frem ved en Omdreining af 1 Grad efter den inddeelte Skive paa Sphærometret, har jeg foretaget fölgende Maalning: Et paa begge Endeflader parallelslebet og poleret Glasprisma af omtrent 20 Millimetres Længde blev maalt först med mit og derpaa med den polytechniske Lærestalts Sphærometer; mit Sphærometer befandtes netop at maatte omdreies 62 Gange for at rykke Skruen saa langt frem, som Prismet var langt. Den polytechniske Lærestalts Sphærometer, der er deelt i 2000 Dele maatte derimod omdreies 50 hele Omgange og dertil endnu 1690 Dele efter den inddeelte Sphærometerskive; hvoraf fölger:

at  $62 \times 360^\circ = 22320^\circ$  paa mit Sphærometer er lig  $50 \times 2000 + 1690 = 101690$  Dele efter Lærestaltens Sphærometer, der er saa fiint, at 1 Omdreining af Skruen rykker denne  $\frac{2}{3}$  Millimeter frem eller tilbage i Retning af Længden. Een Deel paa Deleskiven af dette Sphærometer flytter altsaa Skruen

$$\frac{1}{2000} \cdot \frac{2}{3} = 0,0002 \text{ Millimeter};$$

$22320^\circ$  efter mit Sphærometer er fölgelig lig  $101690 \times 0,0002^{\text{mm}} = 20,3380^{\text{mm}}$ , hvoraf fölger, at en Dreining af Sphærometerskiven af 1 Grad frembringer en Flytning af Skruen i Retning af Længden

$$\text{af: } 0,0009112 \text{ Millimetre.}$$

Forsög bleve derefter anstillede for at bestemme den trækkende Krafts Störrelse i Forhold til Udvidelserne af Dynamometret. Slæden S blev opstillet paa Forsiden, og forskjellige Vægte fra 0 til 8 Lispund bleve ophængte i Dynamometret; Stillingen af Kraftviseren  $p$  blev nöiagtig observeret for hver af de ophængte Vægte, og Diametren af de tilsvarende Cirkler paa Skiven  $o$  bleve maalte i Millimetre. Herved fik jeg fölgende Tabel over den diametrale Udvidelse af Dynamometret, svarende til de anvendte trækkende Kræfter.

Nummer.	De trækkende Kræfter.	Diametren af den til den trækkende Kraft svarende Cirkel.	Den diametrale Udvidelse over Nulpunkt-cirkelbuen, formedelst den trækkende Kraft.
1	0 Lispund	194,3 <sup>mm</sup>	0,0 <sup>mm</sup>
2	1 Lispund	206,9 <sup>mm</sup>	12,6 <sup>mm</sup>
3	2 Lispund	218,9 <sup>mm</sup>	24,6 <sup>mm</sup>
4	3 Lispund	230,2 <sup>mm</sup>	35,9 <sup>mm</sup>
5	4 Lispund	241,2 <sup>mm</sup>	46,9 <sup>mm</sup>
6	5 Lispund	251,4 <sup>mm</sup>	57,1 <sup>mm</sup>
7	6 Lispund	261,5 <sup>mm</sup>	67,2 <sup>mm</sup>
8	7 Lispund	271,7 <sup>mm</sup>	77,4 <sup>mm</sup>
9	8 Lispund	280,3 <sup>mm</sup>	86,0 <sup>mm</sup>

Man seer heraf, at de diametrale Udvidelser ere næsten proportionale med de tiltrækkende Kræfter. Naar man derfor ved  $p$  betegner den trækkende Kraft, udtrykt i Lispund, og ved  $u$  betegner den hertil svarende diametrale Udvidelse, udtrykt i Millimetre, da kan man sætte

$$u = A \cdot p + B \cdot p^2$$

hvor de constante Coefficienter A og B kunne bestemmes ved Hjælp af ovenstaaende Tabel ifølge de mindste Quadraters Methode; man finder da:

$$A = 12,676$$

$$B = \div 0,2394 \text{ og altsaa}$$

$$u = (12,676 \div 0,2394 \cdot p) p \dots \dots \dots (1)$$

Denne Ligning opløst med Hensyn til  $p$  giver:

$$p = 26,474 \div \sqrt{700,900 \div 4,177 \cdot u} \dots \dots \dots (2)$$

hvoraf Middelfrictionen  $p$  lader sig beregne, naar den diametrale Middeldudvidelse ifølge den beskrevne Frictionscurve er beregnet.

Jeg skal nu have den Ære at fremstille Resultaterne af de med det her beskrevne Apparat anstillede Forsøg.

I efterfølgende 4 Rækker af Forsøg var saavel Banen som Slæden underneden belagte med Frictionsstænger af Messing. Enderne af disse Stænger vare blankt polerede, for at Sphærometret kunde have en jævn Overflade at berøre. Udvidelsen af Stængerne blev maalt paa Banen.

#### Forsøgs-Række Nr. 1.

Slædens Vægt med Belastning var 513  $\tilde{u}$ . For denne Belastning bleve 4 Forsøgs-curver beskrevne og udregnede. Ifølge disse var Middelfraften, hvormed Slæden blev bevæget,



113,8  $\mu$   
 121,7 „  
 115,8 „  
 112,8 „

Summa 464,1  $\mu$ , hvoraf  
 Middelfrictionen = 116  $\mu$ .

Sphærometergraderne, svarende til denne Belastning fandtes at være:

1ste Forsøg 10,0 Grader enkelt Forsøg.  
 2det — 13,0 — — —  
 3die — 15,0 — — —  
 4de — 12,5 — — —  
 5te — 14,0 — — —  
 6te — 10,0 — — —  
 7de — 10,25 — — —  
 8de — 25,0 — et dobbelt Forsøg

hvoraf Middeltal  $\frac{109,75}{9} = 12,19$  Sphærometergrader.

### Forsøgs-Række Nr. 2.

Slædens Vægt med Belastning var 353  $\mu$ .

For denne Belastning bleve 5 Frictionscurver beskreyne, udmaalte og udregnede.

Ifølge disse var Middelkraften, hvormed Slæden blev bevæget:

78,7  $\mu$   
 76,7 „  
 76,2 „  
 74,7 „  
 73,2 „

Summa 379,5  $\mu$ ; hvoraf  
 Middelfrictionen = 75,9  $\mu$ .

Sphærometergraderne, svarende til denne Belastning, fandtes at være:

1ste Forsøg 8,0 Grader enkelt Forsøg  
 2det — 15,75 — dobbelt Forsøg  
 3die — 17,25 — — —  
 4de — 12,75 — — —  
 5te — 15,0 — — —  
 6te — 15,5 — — —

Summa 84,25 Grader, hvoraf Middeltal bliver  $\frac{84,25}{11} = 7,66$  Gr.

**Forsøgs-Række Nr. 3.**

Slædens Vægt med Belastning var 193  $\mu$ . For denne Belastning blev 5 Forsøgscurver beskrevne og Middelkraften deraf udregnet, som fandtes at være:

43,8  $\mu$ 

42,3 "

44,3 "

42,3 "

45,8 "

Summa 218,5  $\mu$ , hvoraf Middelfrictionen = 43,7  $\mu$ .

Sphærometergraderne, svarende til denne Belastning, vare:

1ste Forsøg 8,25 Grader dobbelt Forsøg

2det — 8,5 — — —

3die — 8,75 — — —

4de — 7,75 — — —

5te — 9,5 — — —

Summa 42,75 Grader, hvoraf

Middeltallet = 4,275 Grader.

**Forsøgs-Række Nr. 4.**

Den hele Belastning var 89  $\mathcal{F}$ . For denne Belastning blev 3 Forsøgscurver beskrevne og udregnede. Disse gave Middelkraften

21,7  $\mu$ 

23,7 "

22,2 "

Summa 67,6  $\mu$ , hvoraf Middelfrictionen = 22,5  $\mu$ .

Sphærometergraderne, svarende til denne Belastning, vare:

1ste Forsøg 4,75 Grader dobbelt Forsøg

2det — 8,75 — fiirdobbelt Forsøg

3die — 9,0 — — —

4de — 2,25 — enkelt Forsøg

5te — 2,25 — — —

6te — 2,25 — — —

7de — 2,1 — — —

8de — 2,0 — — —

9de — 2,2 — — —

Summa 35,55 Grader, hvoraf Middeltallet = 2,22 Grader.

I efterfølgende 3de Rækker af Forsøg var Banen belagt med Frictionsstænger af Messing, Slæden med Frictionsstænger af Zink.



**Forsøgs-Række Nr. 5.**

Den samlede Belastning var 513  $\bar{u}$ . For denne Belastning bleve 2de Forsøgs-curver beskrevne, og Middelkraften deraf udregnet;

Middelfrictionen var = 123,5  $\bar{u}$ .

Uavidelsen af Messingskinnen blev maalt; Sphærometergraderne, svarende hertil, vare:

1ste Forsøg	21,25	Grader	dobbelt	Forsøg
2det	—	28,5	—	—
3die	—	25,25	—	—
4de	—	12,5	—	enkelt Forsøg
5te	—	27,25	—	dobbelt Forsøg
6te	—	22,5	—	—
7de	—	12,0	—	enkelt Forsøg

Summa 149,25 Grader, hvoraf Middeltallet = 12,44 Grader.

**Forsøgs-Række Nr. 6.**

Belastningen, hvorved Frictionen opstod, var 233  $\bar{u}$ . For denne Belastning blev en Dobbeltcurve beskrevet, og Middelfrictionen deraf udregnet.

Middelfrictionen var = 58,4  $\bar{u}$ .

Uavidelsen af Zinkstangen blev maalt med Sphærometret; den var

1ste Forsøg	7,25	Grader	enkelt	Forsøg
2det	—	17,5	—	dobbelt Forsøg
3die	—	14,0	—	—
4de	—	16,5	—	—
5te	—	16,0	—	—
6te	—	16,75	—	—
7de	—	18,5	—	—

Summa 106,50 Grader, hvoraf

Middeltallet er = 8,2 Sphærometergrader.

**Forsøgs-Række Nr. 7.**

Under samme Belastning og øvrige lige Omstændigheder, som ovenfor i sjette Forsøgsrække, altsaa under en

Middelfriction = 58,4  $\bar{u}$ ,

blev Uavidelsen af Messingstangen paa Banen maalt med Sphærometret; det hertil svarende Gradeantal var:

1ste Forsøg	11,25	Sphærometergrader	dobbelt	Forsøg
2det	—	11,25	—	—

Summa 22,5 Grader, hvoraf

Middeltallet = 5,625 Grader.

Under de 3de efterfølgende Rækker af Forsøg vare baade Banen og Slæden belagte med Frictionsstænger af Zink. Udvidelsen ved Frictionsvarmen blev maalt paa Banen.

### Forsøgs-Række Nr. 8.

Den hele Belastning var 513  $\bar{u}$ . Middelfrictionen var 120,7  $\bar{u}$ .

Sphærometret viste en Flytning

1ste Forsøg 16,5 Grader enkelt Forsøg

2det — 16,0 — — —

3die — 17,0 — — —

4de — 15,0 — — —

5te — 16,5 — — —

6te — 17,75 — — —

Summa 98,75 Grader, hvoraf

Middeltal = 16,46 Sphærometergrader.

### Forsøgs-Række Nr. 9.

Den hele Belastning var 353  $\bar{u}$ . En Frictionscurve blev beskrevet under Forsøgene, og Middelkraften deraf udregnet; jeg fandt:

Middelfrictionen = 75,9  $\bar{u}$ .

Sphærometergraderne, svarende til Udvidelsen af Frictionsstængen paa Banen, vare:

1ste Forsøg 11,25 Grader enkelt Forsøg.

2det — 10,25 — — —

3die — 10,25 — — —

4de — 10,62 — — —

5te — 10,25 — — —

6te — 11,75 — — —

7de — 10,75 — — —

8de — 11,00 — — —

9de — 23,00 — dobbelt Forsøg.

Summa 109,12 Grader, hvoraf

Middeltallet = 10,91 Grader.

### Forsøgs-Række Nr. 10.

Hele Belastningen var 89  $\bar{u}$ . Tvende Frictionscurver bleve beskrevne, udmaalte, og Middelkraften deraf udregnet for hver af de to Curver; disse vare:

20,8  $\bar{u}$

24,0 „

44,8  $\bar{u}$ , hvoraf Middelfrictionen = 22,4  $\bar{u}$

Ved Maalningen af Udvidelsen med Sphærometret fandtes:



1ste Forsög	3,75	Grader	enkelt	Forsög
2det	—	3,25	—	—
3die	—	9,5	—	tredobbelt Forsög
4de	—	7,5	—	dobbelt Forsög
5te	—	5,75	—	—
6te	—	5,5	—	—
7de	—	7,25	—	—
8de	—	3,75	—	enkelt Forsög
9de	—	2,75	—	—
10de	—	2,75	—	—
11te	—	9,5	—	tredobbelt Forsög.
<hr/>				
Summa	61,25	Grader,	hvoraf	
Middeltal	=	3,22	Grader.	

### Forsögs-Række Nr. 11.

Forsög med Blyskinner glidende paa Messing under en Belastning af:  
197 ũ.

1. En tredobbelt Frictionscurve blev beskrevet, og Middelfrictionen deraf udregnet; denne var:

106,0 ũ.

Udvidelsen maalt paa Messingstangen paa Banen. Sphærometret gav:

1ste Forsög 11,25°

2det — 10,0°

3die — 12,25°

Middeltal 11,16 Grader.

2. Da Frictionen steg under samme Belastning, saa blev en ny tredobbelt Frictionscurve beskrevet. Middelfrictionen var ifølge denne Curve:

123,4 ũ

og Udvidelsen af Messingstangen paa Banen blev maalt; Sphærometret gav:

1ste Forsög 13,0°

2det — 13,0°

Middeltal 13,0 Grader.

### Forsögs-Række Nr. 12.

Forsög med Jernskinner glidende paa Messing under en Belastning af:  
353 ũ.

En tredobbelt Frictioncurve blev beskrevet, hvoraf Middelfrictionen = 58,1 ũ.

1. Udvidelsen af Messingstangen paa Banen ved Frictionsvarmen blev maalt med Sphærometret og fandtes at være:

1ste Forsög gav 7,0 Sphærometergrader

2det — — 6,0 —

3die — — 7,0 —

Middeltal 6,67 Grader.

2. Udvidelsen under samme Friction maalt paa Jernskinnen paa Slæden.

1ste Forsög gav 4,0 Sphærometergrader

2det — — 4,0 —

3die — — 4,0 —

4de — — 3,75 —

5te — — 3,75 —

Middeltal 3,90 Grader.

### Forsögs Række Nr. 13.

Forsög med Messingstænger, glidende paa Messing under en Belastning af:  
353  $\bar{a}$ .

Under denne Belastning blev en tredobbelt Frictionscurve beskrevet. Middelkraften var ifølge denne:

64,2  $\bar{a}$ .

1. Udvidelsen af Messingstangen paa Banen, udtrykt i Sphærometergrader, var:

1ste Forsög 5,25 Grader

2det — 6,75 —

3die — 6,0 —

Middeltal 6,00 Grader.

2. Udvidelsen af Messingstangen paa Slæden under samme Middelfriction 64,2  $\bar{a}$  var:

1ste Forsög 5,5 Sphærometergrader.

2det — 4,5 —

3die — 3,75 —

4de — 7,5 —

5te — 4,5 —

6te — 5,5 —

Middeltal 5,21 Grader.

### Forsögs-Række Nr. 14.

Forsög med Blystænger paa Slæden, glidende paa Messingstænger paa Banen. Belastningen var:

89  $\bar{a}$ .

Under denne Belastning blev en fiirdobbelt Frictionscurve beskrevet og udregnet. Middelfrictionen ifølge denne:

30,2  $\bar{a}$ .



Udvidelsen af Blystangen paa Slæden blev maalt. Sphærometret gav:

1ste Forsøg	8,5	Sphærometergrader
2det	—	9,25
3die	—	8,25
4de	—	10,25
5te	—	12,0
6te	—	11,0

Middeltal 9,875 Grader.

Sædvanlig vare Forsøgene enkelte, hvori Slæden kun een Gang blev bevæget hen over Banen, för Udvidelsen af Frictionsstangen blev maalt med Sphærometret. I de Forsøg, som ere betegnede dobbelt, tredobbelt etc. Forsøg, blev Slæden bevæget 2, 3 etc. Gange hen over Banen, för Udvidelsen blev maalt, hvilken Udvidelse da ogsaa fandtes at være 2, 3 etc. Gange saa stor som i det enkelte Forsøg, naar kun Tiden fra Forsøgets Begyndelse til dets Ende blev tilstrækkeligt lille.

Ved de Belastninger af Slæden, som have været anvendte, har jeg först overbeviist mig om, at ingen blivende Strækning i nogen af de benyttede Frictionsstænger har indfundet sig under Forsøgene; idetmindste troer jeg, at denne maa have været saa ringe, at den uden Feil kan udelades af Betragtning; thi, saavidt jeg har kunnet skjönne, have Stængerne indtaget deres tidligere Længdemaal, naar Temperaturforøgelsen har sat sig.

Jeg har dernæst fundet, at der netop udvikles ligesaamegen Varme i Stængerne paa Slæden, som i Stængerne paa Banen, hvilket ligger i Sagens Natur, hvis det fremsatte Princip er rigtigt; thi gnider et Punkt af Slæden paa m Punkter af Banen, saa gnides ogsaa dette ene Punkt af alle de m Punkter af Banen; det betragtede Punkt af Slæden maa altsaa derved erholde en Bevægelsesmængde lig den, som samtlige m Punkter af Banen erholder. Det er derfor ogsaa klart, at Varmegraderne, i Stænger af samme Metal og Gjennemsnitsareal paa Slæden og paa Banen, maae forholde sig omvendt som Længden af Stængerne.

Forskjellige Forsøg, foretagne med ulige Hastigheder af Slæden, bekræftede de af mig tidligere udförte Forsøg, som beviste, at Hastigheden ingen Indflydelse har paa Störrelsen af den frembragte Varme.

Endelig vil efterfølgende Tabel over de erholdte Resultater af de foretagne Forsøg over Varmeudviklingen ved Friction udvise, at de frembragte Varmemængder ere proportionale med de table Virksomheder.

Den Længde af Banen, som i alle disse Forsøg er gjennemløbet af Slæden, er:

4,11 Fod eller . . . . .	1290 <sup>m m</sup>
Længden af Messingstængerne under Slæden er . . . . .	438 <sup>m m</sup>
Længden af Zinkstængerne under Slæden er . . . . .	43 <sup>m m</sup>
Længden af Jernstængerne under Slæden er . . . . .	434 <sup>m m</sup>
Længden af Blystængerne under Slæden er . . . . .	437 <sup>m m</sup>

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Forsøges- Nummer.	Frictions- stangen paa Slæden.	Frictions- stangen paa Banen.	Det Legeme, hvorpaa Udvidel- sen er maalt.	Antal af For- søg, hvoraf Middeltallet af Sphærome- tergraderne er bestemt.	Belastningen udtrykt i Pund.	Frictionen udtrykt i Pund.	Productet af Frictionen og det gjennem- løbne Rum i Fod.	De ved Varme- udviklingen er- holdte Sphæro- metergrader.
1	Messing	Messing	Paa Banen	9	513	116,0	476,8	12,19
2	—	—	—	11	353	75,9	312	7,66
3	—	—	—	10	193	43,7	179,6	4,275
4	—	—	—	16	89	22,5	92,5	2,22
5	Zink	—	—	12	513	123,5	507,6	12,44
6	—	—	Paa Slæden	13	233	58,4	240,0	8,2
7	—	—	Paa Banen	4	233	58,4	240,0	5,63
8	—	Zink	—	6	513	120,7	496	16,46
9	—	—	—	10	353	75,9	312	10,91
10	—	—	—	19	89	22,4	92	3,22
11	Bly	Messing	—	3	197	106,0	435,7	11,16
12	—	—	—	2	197	123,4	507,2	13,00
13	Jern	—	—	3	353	58,1	238,8	6,67
14	—	—	Paa Slæden	5	353	58,1	238,8	3,90
15	Messing	—	Paa Banen	3	353	64,2	263,9	6,00
16	—	—	Paa Slæden	6	353	64,2	263,9	5,21
17	Bly	—	—	6	89	30,2	124,1	9,875

De ved Frictionen udviklede Varmegrader, der findes anførte i den 13de verticale Colonne, lade sig nemlig let beregne, naar man bemærker, at formedelst en Temperaturtilvæxt af  $t^{\circ}$  udvides en Stang af Længde  $l^{\text{mm}}$  og Udvidelsescoefficient  $u$  sig et Stykke lig  $l \cdot u \cdot t$ . Det hertil svarende Antal af Sphærometergrader  $s$  erholdes af Proportionen:

$$1^{\circ} (\text{Sphm}): 0,0009112^{\text{mm}} = s^{\circ} : l \cdot u \cdot t,$$

idet det ved directe Maalning er fundet, at en Længdeudvidelse af Stængerne =  $0,0009112^{\text{mm}}$  svarer til 1 Grad efter Sphærometret. Af denne Proportion følger den søgte Temperaturforøgelse  $t$ , man finder:

$$t = \frac{0,0009112 \cdot s}{l \cdot u} \dots \dots \dots (1)$$



(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	Anmærkning.	
Vægten af den Deel af Frictionsstangen, hvorpaa Gnidningen er skeet, udtrykt i Pund.	Den benyttede Coefficient for Længde-Udvidelsen for 1 Grad Celsius.	Stangens specifikke Varme.	Den ved Frictionen frembragte Temperaturforøgelse.	Den i den betragtede Stang frembragte Varmemængde. i Pund Vand opvarmet 1° = Eenheden.	observeret.		beregnet.
2,50	0,0000187	0,0939	0,46045	0,10809	0,101		
2,50	0,0000187	0,0939	0,28934	0,06792	0,066		
2,50	0,0000187	0,0939	0,16148	0,03791	0,038		
2,50	0,0000187	0,0939	0,08386	0,01969	0,019		
2,50	0,0000187	0,0939	0,46990	0,11031	0,107		
0,775	0,0000294	0,0927	0,58048	0,04170	0,051	Zinken i de anvendte Zinkstænger var saadan, som den gaar i Handelen; den var altsaa ikke reen.	
2,50	0,0000187	0,0939	0,21266	0,04992	0,051		
2,38	0,0000294	0,0927	0,39546	0,08725	0,105		
2,38	0,0000294	0,0927	0,26212	0,05783	0,066		
2,38	0,0000294	0,0927	0,07736	0,01707	0,019		
2,50	0,0000187	0,0939	0,42155	0,09896	0,092		Ved samme Belastning forøgedes Frictionen, efterat Stængerne paa Banen i Ridserne vare blevne udfyldte af det afsatte Bly.
2,50	0,0000187	0,0939	0,49105	0,11528	0,107		
2,50	0,0000187	0,0939	0,25195	0,05914	0,050		
0,871	0,0000126	0,1100	0,64986	0,06226	0,050		
2,50	0,0000187	0,0939	0,22664	0,05320	0,055		
0,857	0,0000187	0,0939	0,57961	0,04664	0,055		
1,223	0,0000287	0,0293	0,71744	0,02571	0,026		

Er  $m$  Stangens Masse og  $w$  dens specifikke Varme, da er den Varmemængde, som Stangen modtager for at erholde Temperaturforøgelsen  $t$ :

$$m \cdot q = m \cdot w \cdot t \quad \dots \dots \dots (2)$$

idet  $q$  er den i Eenhed af Masse indeholdte Varmemængde. Ifølge Formlen (2) ere de udviklede Varmemængder, som findes indførte i den 14de verticale Colonne, beregnede.

Ved at sammenligne Tallene af Vertical-Colonnen (8) med de Tilsvarende af Colonnen (14) sees, at endskjönt disse Tal ikke ere fuldkommen proportionale, saa nærme de sig dog Proportionaliteten saameget, som man kan vente af Middeltal af saa faa Forsøg, naar man desuden bemærker, at saavel Udvidelsescoefficienterne, som de specifikke Varmemængder ikke ere bestemte særskilt for de forskjellige Stænger, men at kun de almindelig





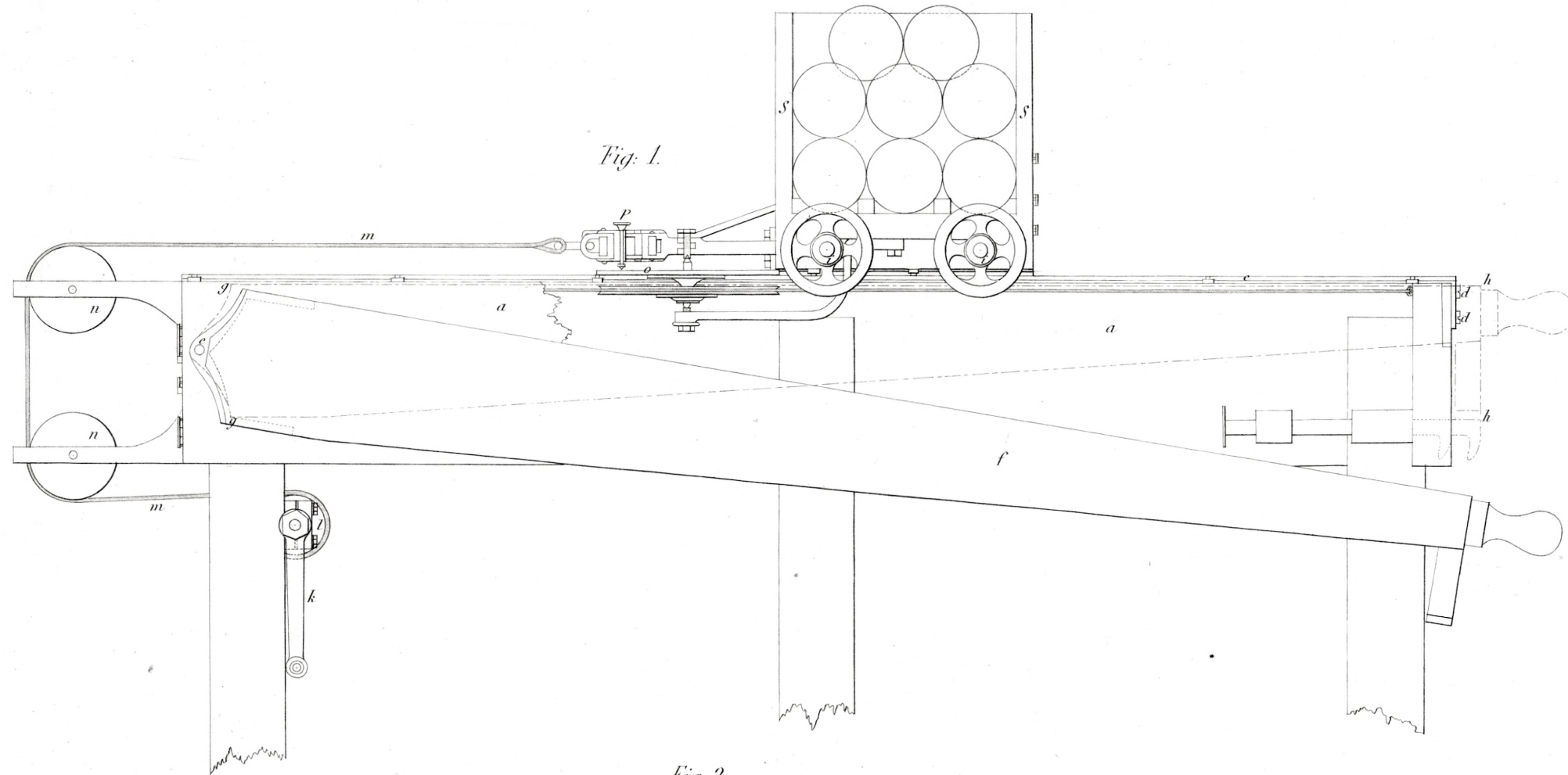


Fig. 1.

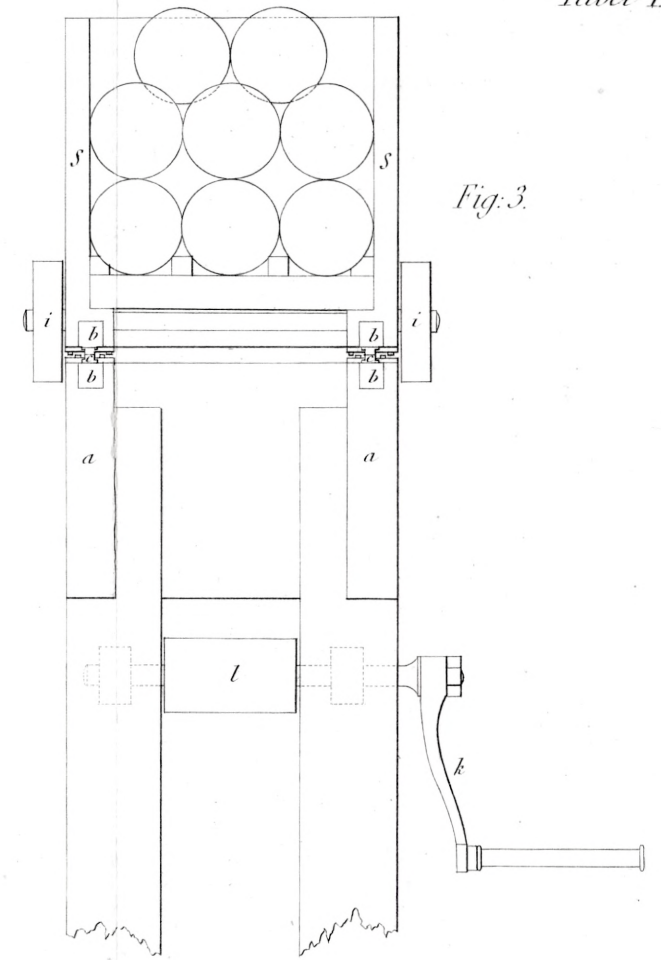


Fig. 3.

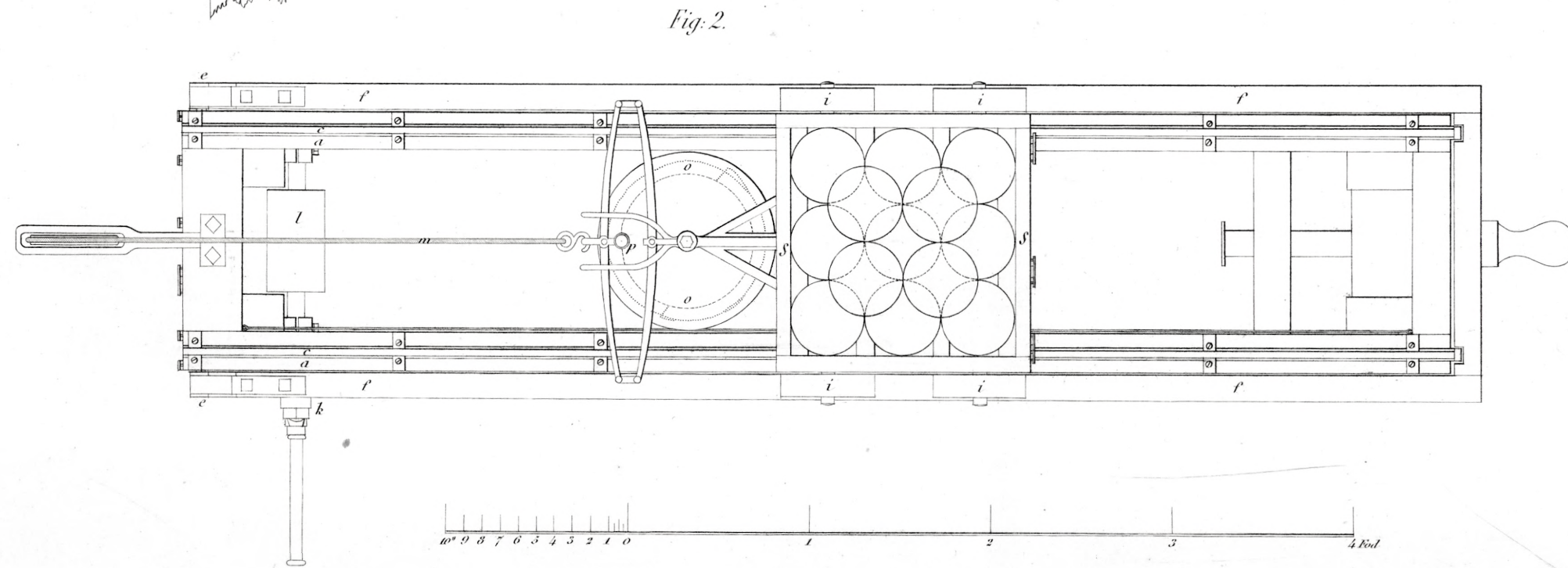


Fig. 2.

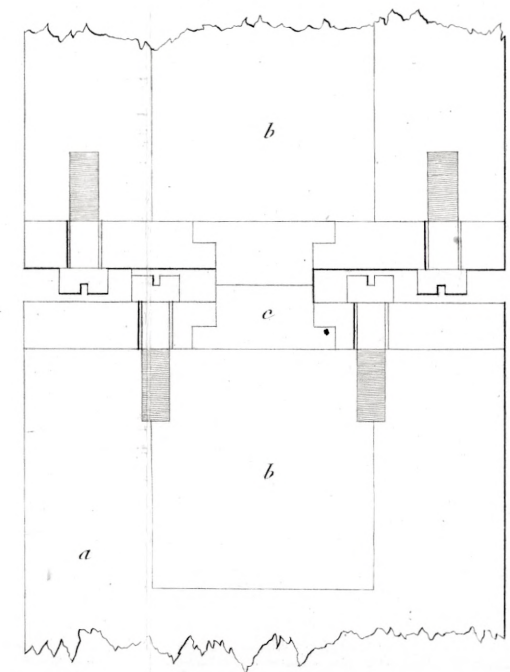
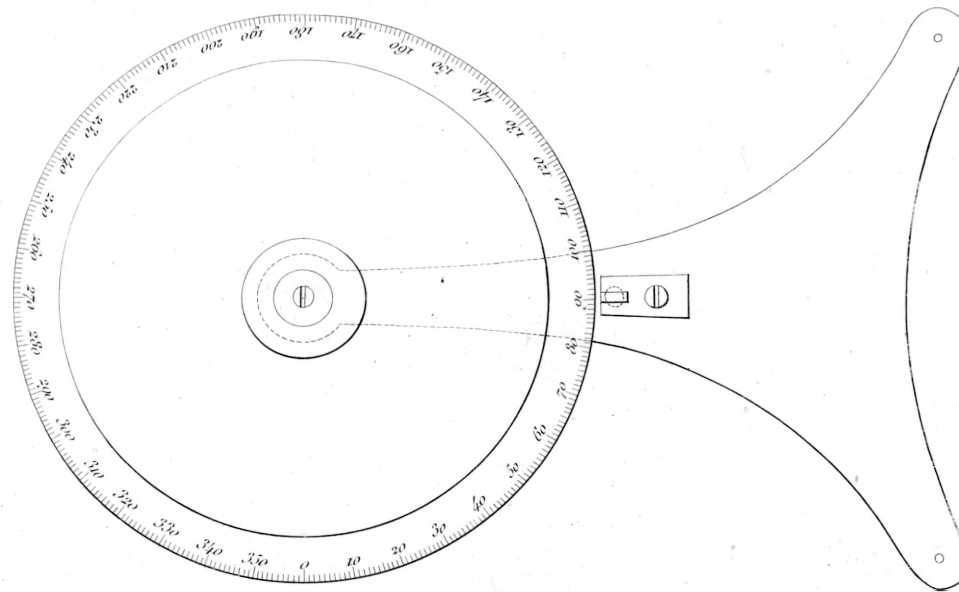
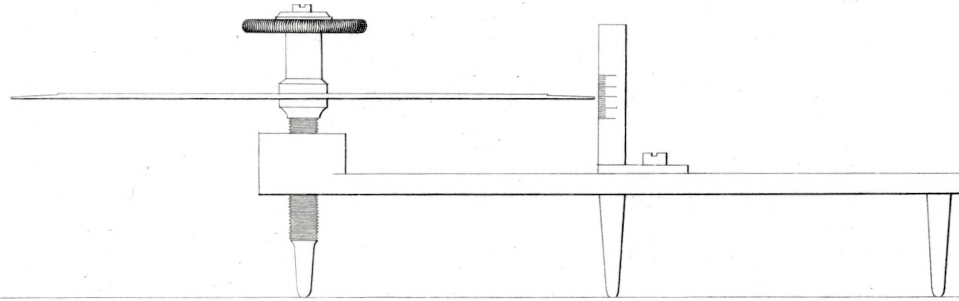


Fig. 4.



Fig. 1.



Tegningen er udført i den halve af den sande Størrelse.