

Methoder til korte Tiders, særlig Rotationstiders, Udmaaling.

En experimental Undersøgelse

af

K. Prytz.

Med 16 Figurer i Texten.

Vidensk. Selsk. Skr., 6. Række, naturvidenskabelig og matematisk Afd. VII. 2.

Kjøbenhavn.

Bianco Lunos Kgl. Hof-Bogtrykkeri (F. Dreyer).

1890.

Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter,

6te Række.

Naturvidenskabelig og matematisk Afdeling.

	Kr.	Øre
I , med 42 Tavler, 1880—85	29.	50.
1. Prytz, K. Undersøgelser over Lysets Brydning i Dampe og tilsvarende Vædsker. 1880	"	65.
2. Boas, J. E. V. Studier over Decapodernes Slægtskabsforhold. Med 7 Tavler. Résumé en français. 1880	8.	50.
3. Steenstrup, Jap. Sepiadarium og Idiiosepius, to nye Slægter af Sepiernes Familie. Med Bemærkninger om to beslægtede Former Sepioloidea D'Orb. og Spirula Lmk. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1881	1.	35.
4. Colding, A. Nogle Undersøgelser over Stormen over Nord- og Mellem-Europa af 12 ^{te} —14 ^{de} Novb. 1872 og over den derved fremkaldte Vandflod i Østersøen. Med 23 Planer og Kort. Résumé en français. 1881	10.	"
5. Boas, J. E. V. Om en fossil Zebra-Form fra Brasiliens Campos. Med et Tillæg om to Arter af Slægten Hippidion. Med 2 Tavler. 1881	2.	"
6. Steen, A. Integration af en lineær Differentialligning af anden Orden. 1882	"	50.
7. Krabbe, H. Nye Bidrag til Kundskab om Fuglenes Bændelorme. Med 2 Tavler. 1882	1.	35.
8. Hannover, A. Den menneskelige Hjerneskals Bygning ved Anencephalia og Misdannelsens Forhold til Hjerneskallens Primordialbrusk. Med 2 Tavler. Extrait et explication des planches en français. 1882	1.	60.
9. — Den menneskelige Hjerneskals Bygning ved Cyclopia og Misdannelsens Forhold til Hjerneskallens Primordialbrusk. Med 3 Tavler. Extrait et explic. des planches en français. 1884	4.	35.
10. — Den menneskelige Hjerneskals Bygning ved Synotia og Misdannelsens Forhold til Hjerneskallens Primordialbrusk. Med 1 Tavle. Extrait et explic. des planches en français. 1884	1.	30.
11. Lehmann, A. Forsøg paa en Forklaring af Synsvinklens Indflydelse paa Opfattelsen af Lys og Farve ved direkte Syn. Med 1 Tavle. Résumé en français. 1885	1.	85.
II , med 20 Tavler, 1881—86	20.	"
1. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 1 ^{ste} Afhandling. Med 6 Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1881	3.	15.
2. Lorenz, L. Om Metallernes Ledningsevne for Varme og Elektricitet. 1881	1.	30.
3. Warming, Eug. Familien Podostemaceae. 2 ^{den} Afhandling. Med 9 Tavler. Résumé et explic. des planches en français. 1882	5.	30.
4. Christensen, Odin. Bidrag til Kundskab om Manganets Ilt. 1883	1.	10.
5. Lorenz, L. Farvespredningens Theori. 1883	"	60.
6. Gram, J. P. Undersøgelser ang. Mængden af Primitiv under en given Grænse. Résumé en français. 1884	4.	"
7. Lorenz, L. Bestemmelse af Kviksølvøjlers elektriske Ledningsmodstande i absolut elektromagnetisk Maal. 1885	"	80.
8. Traustedt, M. P. A. Spolia atlantica. Bidrag til Kundskab om Salperne. Med 2 Tavler. Explic. des planches en français. 1885	3.	"
9. Bohr, Chr. Om Iltens Afvigelse fra den Boyle-Mariotteske Lov ved lave Tryk. Med 1 Tavle. 1885	1	"
10. — Undersøgelser over den af Blodfarvestoffet optagne Iltmængde udførte ved Hjælp af et nyt Absorptionsmeter. Med 2 Tavler. 1886	1.	70.
11. Thiele, T. N. Om Definitionerne for Tallet, Talarterne og de tallignende Bestemmelser. 1886	2.	"

(Fortsættes paa Omslagets S. 3.)

Methoder til korte Tidens, særlig Rotationstidens, Udmaaling.

En experimental Undersøgelse

af

K. Prytz.

Med 16 Figurer i Texten.

Vidensk. Selsk. Skr., 6. Række, naturvidenskabelig og matematisk Afd. VII. 2.



Kjøbenhavn.

Bianco Lunos Kgl. Hof-Bogtrykkeri (F. Dreyer).

1890.

Indhold.

	Side
I. Maaling af Rotationstiden til et vilkaarligt Tidspunkt	41.
II. Centrifugalsugning	58.
III. Bestemmelse af en Rotationshastigheds Maximum	64.
IV. Tilvejebringelse af en i Forvejen given Hastighed. Stemmegaffers Svingningstid	70.
Tillæg	80.

Ved adskillige fysiske Undersøgelser kan der blive Anledning til at benytte de Egenskaber, et Legeme faar, naar det sættes i hurtig Rotation. Jeg har forsøgt at anvende Centrifugaltrykket i luftformige Legemer til en Undersøgelse af disses Vægtfylde; ved den Lejlighed følte jeg Mangelen af nogenlunde simple og nøjagtige Metoder til Maaling af Rotationshastigheder, og jeg blev derved ført ind paa den her foreliggende Undersøgelse. Mit Arbejde med den hurtige Rotations Anvendelse og Maaling har jeg paabegyndt i mit Hjem, hvor jeg ved Understøttelser fra Kultusministeriet og Carlsbergfondet var bleven sat istand til om end efter en beskeden Maalestok at indrette mig et fysisk Arbejdsrum, da andre Lokaler ikke stode til min Raadighed. Senere fortsatte jeg Arbejdet paa Officersskolens fysiske Samling efter min Ansættelse der i 1887 som Lærer i Fysik.

Mit Arbejde med Undersøgelse af Rotationsbevægelsen er gaaet ud paa følgende:

1) har jeg tilvejebragt to Metoder til Maaling af Rotationshastigheden til et vilkaarligt Tidspunkt under Rotationen. Ved den første fremkaldes der i lagttagelsesøjeblikket en Virkning af Rotationen, hvorved man bagefter kan bestemme Hastigheden; ved den anden sker Maalingen ved en umiddelbar lagttagelse, som uden nogen efterfølgende Maaling giver Hastighedens Størrelse.

Den første Methode er den nøjagtigste; den kan imidlertid med Fordel kombineres med den anden, idet det er af ikke ringe Betydning under Rotationsforsøg at kunne se, hvor stor Hastighed man i Øjeblikket omtrent har.

Jeg har dernæst funden Midler til

- 2) at finde den største Hastighed, man har haft under en given Rotation.
- 3) at afgjøre, naar én eller visse enkelte forud bestemte Hastigheder ere tilvejebragte.
- 4) at afgjøre, om Hastigheden i et givet Øjeblik er konstant, eller om den er voxende eller aftagende.
- 5) at vedligeholde konstant i længere Tid en i Forvejen bestemt Hastighed.

I hvad Omfang mine Metoder ere nøjagtige og brugbare, vil forméntlign fremgaa af de nedenfor meddelte Resultater. Saa vidt mig bekjendt, ere de alle nye. Man har

hidtil i paafaldende ringe Grad beskæftiget sig med Maaling af Rotationshastigheder som Genstand for særlige Undersøgelser. I vore Tider, da Maaleapparater og Maalemetoder spille saa stor en Rolle, synes der derfor for Rotationens Vedkommende at være et Hul at udfylde; som ovenfor antydet, tror jeg, at naar man først har bekvemme og nøjagtige Maalemetoder for Rotationen, vil denne kunne faa adskillige Anvendelser ved fysiske Undersøgelser, der ville lettes ved den Udvikling, som Centrifugetekniken har faaet i de senere Aar.

I. Maaling af Rotationstiden til et vilkaarligt Tidspunkt.

1. Maalemetoden og de til den anvendte Apparater. Forinden de forskellige Metoder kunde udvikles og prøves, gjaldt det om at tilvejebringe en sikker Methode til en absolut Bestemmelse af Rotationshastigheden i et vilkaarligt Tidspunkt.

Den Opgave at maale Middelværdien for Omløbstiden af et stort Antal efter hinanden følgende Omløb er løst ved at sætte Rotationsaxen i Forbindelse med et Tællerværk, som tæller Antallet af Omløb i en ved et Ur afmaalt Tid. Den Opgave jeg satte mig, var imidlertid at faa maalt Tiden for et enkelt (eller for nogle faa) Omløb. Skal dette ske, maa Begyndelsen og Slutningen af det hele Omløb (eller af en bekjendt Brøkdels deraf) betegnes ved to bagefter synlige Mærker, som afsættes samtidig henholdsvis med Begyndelsen og Slutningen af Tiden. Mærkerne kunne afsættes af det roterende Legeme paa et andet Legeme, hvis Bevægelse kjendes, eller de kunne afsættes paa det roterende Legeme selv. Da der her er Tale om Maaling af korte Rotationstider (mindre end $\frac{1}{10}$ Sekund), vil man næppe kunne benytte andet som bekjendt Bevægelse end det frie Fald, idet Pendulsvingninger foregaa med en for ringe Hastighed. Man kunde naturligvis her som ellers ofte ved Maaling af korte Tider benytte en jævn Rotation, hvis Hastighed er bestemt ved et Urværk eller som i la Cours Tonehjul ved en Stemmegaffel. Men kræves der ved Maalingen af den korte Tid en procentisk Nøjagtighed, der kan sammenlignes med den, hvorved længere Tidsrum udmaales ved Uret, er der dog forskellige Indvendinger at gjøre mod Anvendelsen af en reguleret Rotationshastighed til Maaling af en kort Tid. Paa Grund af Elasticitet og Dødgang i de mange Tandhjulsomsætninger i et Urværk, der fremkalder en hurtig Rotation, kan det nemlig næppe undgaas, at den sidste Axe i Omsætningen kan bevæge sig en ret anelig Vinkel ved fuldstændig Stilstand af den af Pendulet regulerede Axe; heri ligger der en Mulighed for en periodisk Variation i Rotationshastigheden, selv om dennes Middelværdi er bestemt ved Pendulet. En lignende Betragtning maa gjøres gjældende overfor Tonehjulet.

En Stemmegaffels Svingningstid kan — Ligetidigheden forudsat — bestemmes med stor Nøjagtighed, og derfor kan ogsaa Stemmegaffelen omvendt, som i Tonehjulet, benyttes til en med samme procentiske Nøjagtighed udført Bestemmelse af et Tidsrum, der er langt i Forhold til Svingningstiden. Derimod vil Stemmegaffelen ikke kunne bruges umiddelbart til en nøjagtig Maaling af en kort Tid; thi hvis de Mærker, der betegne Tidens

Begyndelse og Slutning, afsættes i en af Stemmegafflen beskrevet Kurve, er den af Stemmegafflen i samme Tid udførte Bevægelse for lille i Forhold til Mærkernes Størrelse. Hvis man omvendt benytter Stemmegafflen til at afsætte Tidsmærker f. Ex. slutte eller afbryde en elektrisk Strøm ved hver Svingning, da vil man sikkert i alle Tilfælde finde, 1) at Afgivelsen af Mærket vil kræve et Arbejde, der kan faa Indflydelse paa Svingningstiden, 2) at der vil kunne være nogen Forskjel i Beliggenheden af det Punkt af Bevægelsens Bane, hvor Afgivelsen (f. Ex. Strømafbrudningen) foranlediges. Den sidste Omstændighed vil bevirke, at der ikke altid forløber lige lange Tider mellem Afgivelsen af to paa hinanden følgende Mærker, og den derved opstaaede Usikkerhed vil kunne blive meget kjendelig i Forhold til Svingningstiden paa Grund af Stemmegafflens ringe Udsving.

Til Afgivelse af de ovenfor omtalte Tidsmærker paa et Legeme i Bevægelse har man sædvanlig benyttet den elektriske Strøm, idet man enten har benyttet det Mærke, en elektrisk Gnist kan efterlade i en sodet eller paa anden Maade tilberedt Overflade, eller man har afsat Mærker mekanisk ved en elektromagnetisk Udløsning. Den elektromagnetiske Udløsning kan dog ikke finde Anvendelse ved en nøjagtig Udmaaling af korte Tider paa Grund af den forholdsvis lange Tid, der medgaar til Magnetismens Forsvinden. Derimod afgiver den elektriske Gnist et fortrinligt Tidsmærke, naar den bliver rigtig anvendt. Gnisten kan anvendes til Maaling af en Rotationshastighed, ved at man paa det roterende Legeme anbringer en Slæbekontakt, der afbryder Hovedledningen for et Induktionsapparat i en bestemt Stilling af Legemet. Lader man Gnisterne fra Induktionsledningen springe over paa en faldende Metalstang, ville de paa denne af Gnisterne afsatte Mærker kunne tjene til Bestemmelse af Rotationshastigheden. Imidlertid er der, ogsaa bortset fra, at hele Gnistapparatet er et noget besværligt og vidtløftigt Hjelpeapparat, ikke uvæsentlige Vanskeligheder ved Brugen.

Afbrydningen af Hovedstrømmen kan saaledes volde Vanskeligheder ved Kontaktfladernes Iltning, idet denne Iltning kan have til Følge, at Afbrydningen indtræder for tidlig, og man maa sikre sig mod Svingninger af Kontaktfjedren, da de kunne fremkalde uvedkommende Afbrydninger.

Gnistbanen er ikke meget konstant, hvorfor man maa bringe den Spids, der fører Gnisten over paa Stangen, meget tæt hen til denne; af den Grund maa der sørges for at undgaa Sammenstød mellem den frit hængende Stang og Spidsen. Den bedste Beklædning for den Overflade, der skal modtage Gnistmærket, tror jeg er Sod, naar det afsættes af en Flamme, umiddelbart paa Metalfladen. Papir, Fernis og andre helt eller halvt isolerende faste Lag kunne nemlig bevirke en betydelig Afgang af Gnisten fra den korteste Vej; findes der saaledes i Nærheden af denne en fuldstændig eller delvis Gjennembrydning af det faste Lag (f. Ex. Hullet fra en tidligere Udladning), kan Gnisten, som jeg har bemærket, gaa langs Laget en forholdsvis lang Vej for at søge gennem Gjennembrydningen til

Metallet. Det paa Metal umiddelbart anbragte Sodlag maa imidlertid behandles med stor Forsigtighed for ikke ved et Uheld at skrubes af.

Som det heraf vil fremgaa, er der Grunde nok til, hvor det kan ske, at søge et andet Middel end den elektriske Gnist til Afgivelse af Tidsmærker, naar der kan opnaaes samme Nøjagtighed som ved Gnisten. Et saadant Middel har jeg fundet for korte Rotationstiders Vedkommende. Jeg har anvendt det til Afgivelse af Mærker paa en frit faldende Metalstang; men det vil ogsaa kunne anvendes paa en roterende Cylinders Overflade. I Hovedsagen er min Fremgangsmaade denne: Axen for det Rotationsapparat, jeg har indrettet, staar lodret, og Faldstangens Bane gaar tæt forbi Randen af en paa Axen anbragt vandret Skive. I et Hul i denne er anbragt et lille Forraad af et opløst Farvestof, for hvilket der aabnes en snever Kanal, samtidig med at Stangen begynder sit Fald. Det gennem Kanalen udsprøjtende Farvestof vil en Gang for hvert Omløb træffe Stangen og tværs over denne afsætte Mærkestreger, hvis indbyrdes Afstande bagefter kunne udmaales til Bestemmelse af Omløbstiden.

For nærmere at belyse, hvorledes jeg har bragt denne Fremgangsmaade til Udførelse, skal jeg i Enkelthederne beskrive det Rotationsapparat, som paa forskjellig Maade har gjort Tjeneste i alle de i denne Afhandling omtalte Undersøgelser. Som Bevægkraft benyttede jeg en elektrisk Motor af ældre Konstruktion. Den blev dreven ved indtil 8 Bunsenske Elementer eller 4—5 Akkumulatorer. Fra Motoren blev Bevægelsen meddelt til Rotationsapparatet ved to Snorløbsoverføringer, hvorved Hastigheden blev forøget til det 12dobbelte. Rotationsapparatet i den Skikkelse, hvori det er fremstillet i Fig. 1, modtog ikke Bevægelsen direkte fra det sidste Snorløb. For at udjævne Uregelmæssigheder i Motorens Bevægelse lod jeg nemlig Apparatet modtage Bevægelsen ved Kviksølvfriktion. Den Axe, a , der modtager Bevægelsen, hviler med en Spids i Apparatets Underlag, en meget tung Støbejernsplade; lidt over Snorløbsskiven, ss , er Axen støttet i et Leje i en fastskruet smal Staalplade, cc . Tæt over denne bærer Axen en flad Beholder, dd , dannet af en Staalring, der er fastklemt ved et stort Antal Skrueer mellem to Staalplader. Ringens Diameter er 15 Cm. Axens øverste Ende er fæstet i Beholderens Bund og ender tæt over denne. Midt i Axens Endeflade er der boret en kegleformig Fordybning til Leje for Spidsen af en ny Axe, f , der bærer det egentlige Rotationsapparat. Axen f gaar frit op igennem et Hul i Beholderen dd 's Laag. Inde i denne Beholder bærer Axen f en tynd Staalskive, ee ; da Beholderen næsten er fyldt med Kviksølv, vil dettes Gnidning mod den Del af Skiven, der under Rotationen er omgivet deraf, overføre Axen a 's Bevægelse til f .

Rotationsapparatet bestaar af en Støbejernsskive, gg , hvori der diametralt modsat er boret to Huller, z, z , fra Randen ind mod Axen til Optagelse af det ovenfor omtalte Farvestof. Paa den øverste Side er Skiven gg forsynet med en opstaaende Krave, nn , der indvendig er drejet konisk af. I denne Krave er indslæben den nederste koniske

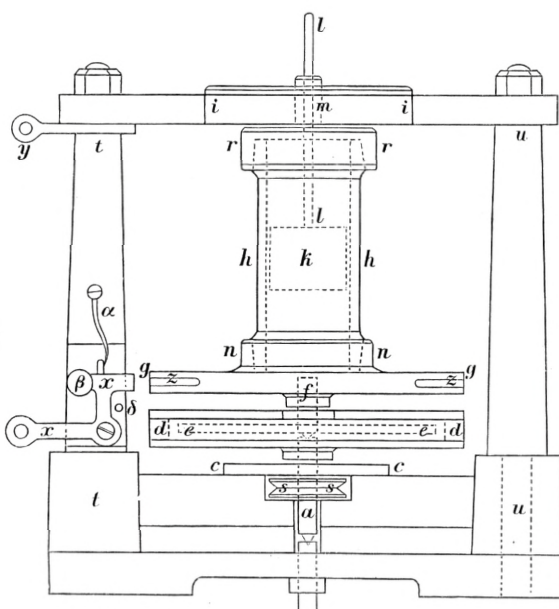


Fig. 1.

Del af en afdrejet Staalcylinder, *hh*, hvis Diameter udvendig er 5 Cm. og indvendig 4 Cm. Cylinderen er foroven lukket ved et Laag, *rr*, af Staal, i hvilket den er anbragt paa samme Maade som i Pladen *gg*. Ved tre tilspidsede Skruer i hver af de to Kraver er Cylinderen presset ind i disse, efter at de koniske Flader for Tætnings Skyld først ere blevne overtrukne med et tyndt Lag Paraffin. Cylinderens Laag bærer foroven en paa langs gjennemboret Staaltap, *m*, der bevæger sig i et i en fast Bronzeplade, *ii*, udboret Leje.

I Cylinderen, der delvis er fyldt med Kviksølv, er der anbragt et

Stempel, *k*, hvis Stempelstang, *ll*, gaar op gennem Udboringen i Tappen *m*. Stemplet bevæger sig frit i Cylinderen uden at berøre dennes Vægge; det vil stille sig i forskellige Højder i Cylinderen efter Rotationshastigheden, idet det suges nedad, naar Hastigheden voxer, og atter stiger, naar denne aftager. Forøvrigt vil denne Del af Apparatet blive nærmere omtalt i Afsnit II.

Den ovenfor omtalte Bronzeplade, *ii*, der tjener som øverste Støtte for Rotationsaxen, bæres af to solide Staalstøtter, *tt* og *uu*, som ere fæstede, en paa hver Side af Apparatet, i dettes Grundplade. I en stor Del af de i det følgende omtalte Forsøg havde jeg, som vist i Fig. 7, anbragt under Støbejernsskiven *gg* en 1,8 Cm. tyk Messingskive, der blev fæstet til *gg* ved to solide Skruer. For at faa Plads til Messingskiven maatte jeg give Afkald paa at overføre Bevægelsen ved Kviksølvfriktion, idet jeg fjærnede Beholderen *dd* og forbandt Snørløbshjulet og Rotationsapparatet ved en fast Axe.

Farvestoffet anbringes i et af Hullerne *z, z*, indesluttet i en lille Glasbeholder, der i naturlig Størrelse er afbildet i Fig. 2. Denne Beholder er dannet af et Glasrør, *a*, der ved den ene Ende er trukket ud til et meget fint Rør, *b*. Ved den modsatte Ende er



Fig. 2.

Røret indsnævret saa meget, at Vædske, anbragt i *a*, ikke vil løbe ud. Glasbeholderen indsættes, som vist i Fig. 3, i et Messingrør, *cd*, der passer i Hullerne *z, z* i Rotationsapparatets Skive, efter at der først er anbragt en Prop af Bomuld

i *a* ved Overgangen til *b* (Hensigten hermed er, at Farvestoffet under Udsprøjtningen skal filtreres, før det kommer ind i Røret *b*, hvorved Forstoppelse af dette undgaaes). *b* afsmeltes 3—4 Mm. udenfor Messingrøret; dette opvarmes ved *d*, og der dannes af smeltet Vox en lille Kegle om det fine Glasrør med Basis paa Messingrørets Endeflade. Naar Voxet er størknet, tjener det til at støtte Glasrøret og foranledige, at dette ved Afbrydningen netop knækker af ved Keglens Top. Beholderen *a* fyldes nu med Farvestoffet, og den hele Patron anbringes i et af Hullerne *z* i Jærnskiven. Her fastholdes Patronen, som vist i Fig. 3 og i Fig. 7 ved *f*, ved en Skinne, der ved to Skruer fæstes i et Udsnit i Jærnskiven¹⁾.

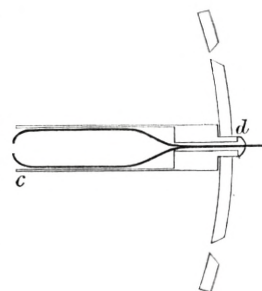


Fig. 3.

At der er boret to Huller til Optagelse af Farvestoffet er nærmest for Afbalancerings Skyld, men ogsaa for, om man vil, at kunne faa to samtidige Udsprøjtninger.

Paa Støtten *tt* (Fig. 1) er der anbragt en Vinkelvægtstang, *xx*, som ved Fjedren *a* trykkes ind mod en isoleret elektrisk Kontakt β . Ved en Snor, der er fæstet i den vandrette Arm og er ført op gennem Øjet *y*, kan man ved et Ryk give Vægtstangen en lille Drejning, til den møder en Stopper, δ . Herved nærmes en fra den lodrette Arm fremspringende Staalplade saa meget til den roterende Skive, at det fine Rør fra Farveholderne støder derimod og knækker over, hvorefter Udsprøjtningen tager sin Begyndelse.

Faldstangen hænger ned tæt ved Skiven i nogen Afstand i Rotationsretningen fra det Sted, mod hvilket Vægtstangen er rettet (se Fig. 7). Den er drejet af Messing 76 Cm. lang, 1,4 Cm. tyk og vejer 1,1 Kg. Foroven fortsættes den med en lige saa tyk, 5 Cm. lang Jærncylinder, saa at den hele Længde bliver 81 Cm. Ved denne Jærncylinder bæres Stangen af en Elektromagnet. Dennes Vindinger fortsættes ned omkring Jærncylindren, der dog selvfølgelig ikke berører Røret, hvorom Vindingerne ere lagte. Derved opnaaes det, at Strømmen fra 1 Bunsenselement kan bære den over 1 Kg. tunge Stang, uagtet Jærncylindren holdes i Afstand fra Elektromagneten ved en Messingknast. Faldstangens nederste Punkt hænger omtrent i Højde med Skiven; dens lodrette Stilling bliver kontrolleret ved to Lodsnores. Elektromagneten bæres af en fra en Mur udadgaaende Staalarm, saa at Faldstangen ikke er udsat for at komme i Bevægelse ved Rystelser fra Rotationsapparatet. Elektromagnetens Strøm føres til en med Støtten *tt* forbunden Klemskrue og derfra gennem Vinkelvægtstangen og den isolerede Kontakt β . Naar man ved at dreje

¹⁾ Tildannelsen og Fyldningen af Farvepatronerne gaar vel meget let og i kort Tid; det er dog indlysende, at det var ønskeligt at kunne undvære denne Operation. Jeg har derfor, som det længere fremme nærmere vil blive omtalt, i et Apparat, jeg har ladet udføre særlig til Maaling af Stemme-gaffers Svingningstid, indrettet det saaledes, at Farvestoffet bringes ind i Skiven under Rotationen og sprøjter ud gennem en til enhver Tid aaben snæver Kanal.

Vægtstangen faar Udsprøjtningen til at begynde, afbrydes altsaa samtidig Elektromagnetens Strøm, og Stangen begynder sit Fald. Den er omtrent $\frac{1}{3}$ Sekund om at passere Skiven, og i denne Tid blive de Mærker afsatte, hvis Afstande tjene til Bestemmelse af Omløbstiden. I intet Tilfælde er Farvebeholdningen (omtrent $\frac{1}{5}$ Cubcm.) sluppen for tidlig op.

For at hindre tilfældige Sammenstød mellem den roterende Skive og Faldstangen, hænger denne ned i et kort Messingrør (se Fig. 7), der ud for Skiven er forsynet med en vandret Udskæring, hvorigjennem det udsprøjtende Farvestof finder Vej til Stangen. Denne slutter sit Fald ved at støde mod en i en Messingcylinder anbragt Blyprop, ovenover hvilken der i en Tragt af Træ er stoppet Blaar for at dæmpe Sammenstødet. En Ring i passende Højde over Stødpuden hindrer Stangen i at falde.

For at beskytte Omgivelserne mod Udsprøjtningen bliver der udenom det Messingrør, hvor Faldstangen hænger ned, og udenom de to Støtter *tt* og *uu* udspændt et Baand af Filterpapir rundt om Skiven og i Højde med den.

Vædsken sprøjter ud i Retning af Tangenten til den Bane, den afbrudte Flaskehals's Spids beskriver. Med den i Fig. 4 angivne Omløbsretning vil derfor Farvemærket

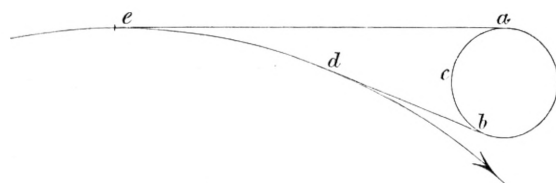


Fig. 4.

paa Stangen afsættes som en Stribe *acb* tværs over denne, idet *ea* og *db* ere vandrette Fællestangenter for Skive og Stang. Med de givne Dimensioner for Skive og Stang samt den sidstes Afstand, omtrent 0,3 Cm. fra Flaskemundingen findes *db* at være omtrent 2,3 Cm. og

ea = 5,1 Cm. Mærket afsættes som en fra Midten mod begge Ender tilspidset Stribe; medens Spidsen ved *b* er meget fin og skarpt tegnet, er den grovere og undertiden noget flosset ved *a*, hvad der forklares ved den længere Vej, som Vædsken maa tilbagelægge til *a*. Da Vejen til *b* allerede ikke er saa ganske kort, kunde det befrygtes, at Luftmodstanden vilde foranledige Uregelmæssigheder i den Bane, Vædsken beskriver; jeg har dog ikke kunnet bemærke saadanne Uregelmæssigheder og vil i saa Henseende særlig henvise til Forsøg Nr. 6 (S. 53), hvor jeg har maalt Mærkernes indbyrdes Afstand ved begge Ender. Var der nogen kjendelig Forstyrrelse i Vædskedelens Baner ved *db*, maatte den give sig endnu tydeligere tilkjende paa den mere end dobbelt saa lange Vej *ea*. Sammenlignes imidlertid de af begge Rækker af Maalinger beregnede Omløbstider i det nævnte Forsøg, vil det sees, at Resultaterne for de 8 sidste Omløbstider, for hvilke den anvendte Beregningsmaade tillader en tilstrækkelig nøjagtig Bestemmelse, ikke vise større Afvigelser end $\frac{1}{50000}$ Sekund mellem de to Værdier for det samme Omløb, eftersom dette er bestemt ved den ene eller den anden Ende af Mærket. Da Vejen *ea* er meget nær lig *edb*, ville de to Spidser af hvert Mærke meget nær findes i samme Højde. Mærket buer noget nedad,

idet Farvestoffet har kortest Vej til Midten c af Mærket. Denne Højdeforskjel maa vise sig størst ved den øverste Ende af Stangen paa Grund af den voxende Hastighed. Stangen har en Hastighed af omtrent 300 Cm. naar dens øverste Del under Faldet kommer i Højde med Skiven. Fig. 5 viser i naturlig Størrelse et saadant paa Stangen ved p afsat Mærke. Af dette sees noget over Halvdelen, idet den Skiven nærmeste Spids er fremstillet omtrent midt paa Stangen.

Mærkernes Højde aflæste jeg ved Kathetometer, idet jeg stillede Stangen lodret op ud for dette. Kathetometerkikkerten indstilledes paa et Punkt i Nærheden af Spidsen b (Fig. 4). Traadkorset indstilles paa Midten af det lille Stykke af Frembringeren, der falder indenfor Farvemærket. Denne Indstilling kan foretages med $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{50}$ Mm. Sikkerhed. Der sørgedes for, at den lodrette Traad ved alle Mærkerne blev indstillet paa samme Frembringer paa den cylindriske Stang. Dette er nødvendigt, da Mærkerne, som ovenfor nævnt, bue nedad fra begge Ender. Den noget besværlige Kathetometer aflæsning vilde kunne afløses af en betydelig hurtigere og bekvemmere Aflæsning, naar der blev indrettet et særligt Maaleapparat dertil. Ved i forskellige Forsøg at benytte to forskellige Farver som vinaandige Opløsninger af Fuchsin og Methylviolet og ved at vende forskellige Sider af Stangen til Skiven kan man opsætte Udmaalingen af Mærkerne, til mindst fire Forsøg ere udførte.

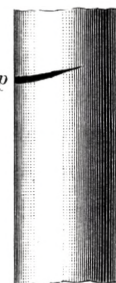


Fig. 5.

2. Beregning af Omløbstiden. Hvis man nøjagtig kjendte det Sted paa Stangen, hvor Udsprøjtningen vilde ramme, hvis Stangen blev hængende rolig α : Nulpunktet for de Faldhøjder, der angives af Mærkerne, som afsættes under Faldet, og hvis det kunde forudsættes, at Stangen lige fra Begyndelsen fulgte Faldloven, vilde man simpelthen af Afstanden mellem to Mærker kunne finde Tiden for det tilsvarende Omløb af Skiven. Nulpunktet vilde man vel kunne faa afsat ved en lille Modifikation i Apparatet. Derimod kan man ikke paaregne, at Stangen begynder sit Fald efter Faldloven, da det som bekjendt tager en kjendelig Tid, før en Elektromagnets Magnetisme fuldstændig forsvinder. Følgen deraf vil være, at der under det første lille Fald virker en kjendelig Brøkdæl af den Magnetisme, der har baaret Stangen.

For at være uafhængig af den heraf følgende Usikkerhed beregner jeg Hastigheden under den Forudsætning, at to paa hinanden følgende Omløbstider ere lige lange; det er en Forudsætning, hvis Rigtighed kan kontrolleres, og som man i de fleste Tilfælde kan gjøre Fyldest, hvad der næppe kan siges at gjælde Forudsætningen om Faldlovens Gyldighed under Faldets Begyndelse, hvad Slags Udløsning man saa end benytter. Til to paa hinanden følgende Omløb svarer tre paa hinanden følgende Mærker; ere disses aflæste Højder lig h_1, h_2, h_3 , og kaldes de tilhørende Faldhastigheder v_1, v_2, v_3 , har man, naar Omløbstiden er t ,

$$h_2 - h_1 = \frac{v_1 + v_2}{2} t, \quad h_3 - h_2 = \frac{v_2 + v_3}{2} t,$$

$$\delta = h_3 - h_2 - (h_2 - h_1) = \frac{v_3 - v_1}{2} t = gt^2,$$

$$t = \sqrt{\frac{\delta}{g}}.$$

Omløbstiden beregnes altsaa meget simpelt af Forskjellen δ mellem Faldvejene for to paa hinanden følgende Omløb og af Faldets Acceleration g . Da de Omløbstider, der bleve maalte, altid vare saa smaa, at der blev afsat en Række af Mærker paa Stangen, kan Omløbstidernes Ligestorhed kontrolleres ved den Nøjagtighed, hvormed de forskjellige Differenser δ ere ligestore.

Har man et Antal Mærker, svarende til en Række ligetidige Omløb, kan man af tre hvilket som helst Mærkers Beliggenhed finde δ og altsaa Omløbstiden. Er l_1 Afstanden fra det første til det andet og l_2 fra det andet til det tredje Mærke, og svare disse Afstande til henholdsvis n_1 og n_2 Omløb, faar man

$$\delta = \frac{2}{n_1 + n_2} \left(\frac{l_2}{n_2} - \frac{l_1}{n_1} \right).$$

Jeg skal for at belyse Fremgangsmaaden nærmere omtale en enkelt Rotationsmaaling. Maalingen blev udført paa den Maade, at et Kathetometer var opstillet tæt ved Rotationsapparatet; Kikkerten var indstillet paa Stempelstangen ll (Fig. 1). Efter at Sprøjteflasken, anbragt i sit Messinghylster og fyldt med Farvestof, var sat ind i Jærnskiven gg (Fig. 1), blev denne omgivet med sin Skærm, og Strømmen til Faldstangens Elektromagnet blev sluttet samt Stangen hængt lodret op. Nu blev den elektriske Motors Strøm sluttet, og Stempelstangens nedadgaaende Vandring iagttoges. Efter nogen Tids Forløb naaede Rotationshastigheden sit Maximum, Stempelstangen sin dybeste Stilling; efter at den sidste i nogen Tid havde holdt sig uforandret i samme Stilling, et Tegn paa konstant Hastighed, blev ved et Ryk Vinkelvægtstangen, som foranlediger, at Faldet begynder, og at Sprøjteflaskens Hals knækker over, bevæget. Paa Faldstangen viste der sig bagefter afsat 16 Mærker af det udsprøjtende Farvestof. Stangen blev stillet lodret op overfor et andet Kathetometer og Mærkernes Højde aflæst som omtalt ovenfor. De iagttagne Højder vare i Cm.:

$h_1 = 9,750$	$h_9 = 34,770$
$h_2 = 10,992$	$h_{10} = 40,327$
$h_3 = 12,766$	$h_{11} = 46,418$
$h_4 = 15,088$	$h_{12} = 53,058$
$h_5 = 17,937$	$h_{13} = 60,229$
$h_6 = 21,342$	$h_{14} = 67,960$
$h_7 = 25,281$	$h_{15} = 76,220$
$h_8 = 29,759$	$h_{16} = 85,014$

Heraf findes for δ følgende Værdier:

0,532,	0,548,	0,527,	0,556,	0,534,	0,539,	0,533,
0,546,	0,534,	0,549,	0,531,	0,560,	0,529,	0,534.

Afvigelserne i de forskellige Værdier af δ kunne dels hidrøre fra virkelige Forskjelligheder i Tiderne for de forskellige Omløb, dels fra Rystelser i Rotationsapparatet. Derimod vil der, som vist S. 46, ikke fremkomme kjendelige Afvigelser ved Luftmodstanden mod det udsprøjtende Farvestof. Fejlen ved Kathetometer aflæsningen kan, som ovenfor sagt, regnes til højst $\frac{1}{50}$ Mm. Af den Maade, hvorpaa δ beregnes af de tre aflæste Højder, vil det sees, at der i δ kan indgaa en 4 Gange saa stor Fejl som i de aflæste Højder. I Middeltallet af n paa hinanden følgende Værdier af δ , kan Fejlen ikke overskride $\frac{4}{n}$ af Fejlen i den enkelte Højde; man har nemlig:

$$\sum_1^n \delta = h_{n+2} - h_{n+1} - (h_2 - h_1).$$

Da den søgte Omløbstid findes ved Kvadratrodsuddragning af δ , vil dens procentiske Fejl kun være det halve af δ 's.

For at komme til Klarhed over Methodens Brugbarhed har jeg anstillet adskillige Maalinger, hvor jeg har aflæst alle de afsatte Mærkers Højder. Fremgaar det af disse, at Hastigheden har været tilnærmelsesvis konstant, kan man beregne Beliggenheden paa Stangen af et Nulpunkt for Faldet, svarende til, at Stangen hele Tiden var falden frit; paa Grund af Magnetismens langsomme Forsvinden falder dette Nulpunkt ikke sammen med det Punkt paa Stangen, der virkelig har været i Højde med det udsprøjtende Farvestof, før Faldet begyndte; det beregnede Nulpunkt maa ligge noget højere paa Stangen end det virkelige. Ved det beregnede Nulpunkt kan nu Falddiderne for hvert enkelt af de forskellige Farvemærker beregnes, og man kan saaledes faa en Værdi for det enkelte Omløb i Steden for som ved den foregaaende Beregning at faa en Middelværdi af to eller flere Omløbstider. Beregningsmaaden medfører, at de første Omløbstider findes med mindre Nøjagtighed end de senere. Naar det første Mærke tilfældigvis er bleven afsat meget kort Tid efter Faldets Begyndelse, kan det slet ikke benyttes, fordi det er bleven afsat, medens Bevægelsen endnu var paavirket af Magnetismen.

Højden $h_r - h_o$ fra det beregnede Nulpunkt til det r 'te Mærke findes ved to af de aflæste Højder h_p og h_r samt ved δ , idet

$$h_o = h_r - \frac{(h_p - h_r - (p-r)^2 \frac{\delta}{2})^2}{2(p-r)^2 \delta}.$$

Har man herved funden h_o , kan man beregne Faldvejen $h_m - h_o$ og derved Falddiden t_m for hver aflæst Højde og saaledes finde den enkelte Omløbstid. Er der en Fejl $\Delta(h_m - h_o)$ i Faldvejen, vil den medføre en Fejl i Falddiden, der er

$$\Delta t_m = \frac{\Delta(h_m - h_o)}{\sqrt{2g} \sqrt{h_p - h_o}}.$$

Da Δh_m ikke ved Maalingerne har vist sig at voxer med h_m , sees det heraf, at de sidste Faldtider maa bestemmes med størst Nøjagtighed. Jeg har derfor i de nedenfor angivne Resultater kun benyttet Faldveje > 10 Cm. til Beregning af Omløbstiderne.

Paa denne Maade har jeg beregnet Omløbstiderne i en Række af Maalinger, hvis Resultater findes nedenfor. Den første Række har Overskriften «Kviksølvfriktion», da de i den indeholdte Forsøg bleve udførte med Apparatet, saaledes som det er beskrevet ovenfor, saa at Bevægelsen overførtes til Axen ved Kviksølvfriktion. Den anden Række med Overskrift «Fast Axe uden Messingskive» er udført med det samme Apparat, hvorfra den flade Kviksølvbeholder er fjernet, og Snorløbet ss er forbundet direkte ved en fast Axe med Rotationsapparatet. I den tredje Række med Overskrift «Fast Axe med Messingskive» var der under Jærnskiven anbragt den S. 44 omtalte tykke Messingskive. Inertiementet var altsaa betydelig større end i de to andre Forsøgsrækker. I hver Forsøgsrække ere Forsøgene ordnede efter Omløbshastigheden. De under $h_m - h_o$ angivne Tal ere efter det foregaaende de direkte iagttagne, fra et vilkaarligt Nulpunkt regnede, Højder formindskede med den beregnede Højde h_o ; det er vedføjet, hvilke af de aflæste Højder, der have været benyttede til Beregningen af h_o .

Kviksølvfriktion.

1. $\delta = 0,8728$, $h_2 = 2,278$, $h_8 = 27,926$;
heraf $h_2 - h_o = 1,571$.

m	$h_m - h_o$	Faldtider	Omløbstider	Δ
2	1,571	0,05658		
3	3,665	0,08642	0,02984	- 2
4	6,631	0,11624	0,02982	0
5	10,465	0,14604	0,02980	+ 2
6	15,179	0,17588	0,02984	- 2
7	20,761	0,20569	0,02981	+ 1
8	27,219	0,23551	0,02982	0.

Middelværdien for Omløbstiden er

$$t = 0,02982 \text{ Sek.}$$

Største Afvigelse fra Middelværdien er 0,00002 Sek.

2. $\delta = 1,1189$, $h_2 = 12,695$, $h_6 = 30,201$, $h_{11} = 77,297$;
heraf $h_2 - h_o = 2,050$.

m	$h_m - h_o$	Falddider	Omløbstider	Δ
1	0,468	0,03088		
2	2,050	0,06463	0,03375	
3	4,744	0,09832	0,03369	
4	8,564	0,13210	0,03378	- 1
5	13,506	0,16589	0,03379	- 2
6	19,556	0,19962	0,03373	+ 4
			0,03379	- 2
8	35,040	0,26720		
9	44,454	0,30096	0,03376	+ 1
10	55,000	0,33477	0,03381	- 4
11	66,652	0,36853	0,03376	+ 1.

Middelværdien for de 7 sidste Omløbstider er

$$t = 0,03377 \text{ Sek.}$$

Største Afvigelse fra Middelværdien er 0,00004 Sek.

3. $\delta = 1,8690$, $h_1 = 21,662$, $h_5 = 40,914$, $h_9 = 90,084$;
heraf $h_1 - h_o = 0,310$.

m	$h_m - h_o$	Falddider	Omløbstider	Δ
1	0,310	0,02513		
2	2,322	0,06878	0,04365	
3	6,194	0,11234	0,04356	
4	11,944	0,15601	0,04367	- 2
5	19,562	0,19965	0,04364	+ 1
6	29,050	0,24330	0,04365	0
7	40,412	0,28696	0,04366	- 1
8	53,638	0,33060	0,04364	+ 1
9	68,732	0,37425	0,04365	0.

Middelværdien for de 6 sidste Omløbstider er

$$t = 0,04365 \text{ Sek.}$$

Største Afvigelse fra Middelværdien er 0,00002 Sek.

Fast Axe uden Messingskive.

4. $\delta = 0,5394$, $h_1 = 9,750$, $h_2 = 10,992$, $h_7 = 25,281$, $h_{16} = 85,014$;
heraf $h_1 - h_o = 0,875$.

m	$h_m - h_o$	Faldtider	Omløbstider	Δ
1	0,875	0,04222		
2	2,117	0,06568	0,02346	
3	3,891	0,08904	0,02336	
4	6,213	0,11252	0,02348	
5	9,062	0,13589	0,02337	
6	12,467	0,15939	0,02350	
7	16,406	0,18284	0,02345	0
8	20,884	0,20629	0,02345	0
9	25,895	0,22971	0,02342	+ 3
10	31,452	0,25316	0,02345	0
11	37,543	0,27659	0,02343	+ 2
12	44,183	0,30005	0,92346	- 1
13	51,354	0,32349	0,02344	+ 1
14	59,085	0,34699	0,02350	- 5
15	67,345	0,37044	0,02345	0
16	76,139	0,39388	0,02344	+ 1.

Middelværdien af de 10 sidste Omløbstider er

$$t = 0,02345 \text{ Sek.}$$

Største Afvigelse fra Middelværdien er 0,00005 Sek.

5. $\delta = 0,6374$, $h_3 = 13,089$, $h_7 = 27,462$, $h_{11} = 52,025$;
heraf $h_3 - h_o = 4,215$.

m	$h_m - h_o$	Faldtider	Omløbstider	Δ
2	2,214	0,06717		
3	4,215	0,09270	0,02553	
4	6,848	0,11813	0,02543	
5	10,127	0,14365	0,02552	
6	14,043	0,16916	0,02551	- 3
7	18,587	0,19461	0,02545	+ 3
8	23,775	0,22011	0,02550	- 2
9	29,599	0,24559	0,02548	0
10	36,060	0,27107	0,02546	+ 2
11	43,150	0,29652	0,02545	+ 3
12	50,882	0,32199	0,02547	+ 1
13	59,258	0,34749	0,02550	- 2
14	68,264	0,37296	0,02547	+ 1
15	77,913	0,39844	0,02548	0.

Middelværdien af de 10 sidste Omløbstider er

$$t = 0,02548 \text{ Sek.}$$

Største Afvigelse fra Middelværdien er 0,00003 Sek.

6. I dette Forsøg bleve Faldhøjderne maalte ved begge Ender af Mærkerne (jvfr. S. 46).

a. Mærkerne maalte ved den Skiven nærmeste Ende:

$$\delta = 0,8682, h_3 = 13,183, h_7 = 30,848, h_{11} = 62,399;$$

$$\text{heraf } h_3 - h_0 = 4,135.$$

m	$h_m - h_0$	Falddtider	Omløbstider	Δ
1	0,498	0,03185		
2				
3	4,135	0,09179		
4	7,242	0,12148	0,02969	
5	11,232	0,15129	0,02981	
6	16,087	0,18105	0,02976	- 3
7	21,800	0,21076	0,02971	+ 2
8	28,391	0,24052	0,02976	- 3
9	35,838	0,27023	0,02971	+ 2
10	44,162	0,29998	0,02975	- 2
11	53,351	0,32971	0,02973	0
12	63,413	0,35947	0,02976	- 3
13	74,334	0,38919	0,02972	+ 1.

Middelværdien af de 8 sidste Omløbstider er

$$t = 0,029735 \text{ Sek.}$$

Største Afvigelse fra Middelværdien er 0,00003 Sek.

b. Mærkerne maalte ved den fra Skiven fjærneste Ende:

$$\delta = 0,8682, h_3 = 13,146, h_7 = 30,811, h_{11} = 62,365;$$

$$\text{heraf } h_3 - h_0 = 4,135.$$

m	$h_m - h_0$	Falddtider	Omløbstider	Δ
1	0,505	0,03208		
2	1,885	0,06197	0,02989	
3	4,135	0,09179	0,02982	
4	7,247	0,12152	0,02973	
5	11,235	0,15131	0,02972	
6	16,089	0,18106	0,02975	- 2
7	21,800	0,21076	0,02970	+ 3
8	28,389	0,24051	0,02975	- 2
9	35,840	0,27024	0,02973	0
10	44,169	0,30000	0,02976	- 3
11	53,354	0,32971	0,02971	+ 2
12	63,411	0,35946	0,02975	- 2
13	74,332	0,38918	0,02972	+ 1.

Middelværdien af de 8 sidste Omløbstider er

$$t = 0,029734 \text{ Sek.}$$

Største Afvigelse fra Middelværdien er 0,00003 Sek.

Som det ses, afvige de to af a og b fremgaaende Middeltal indbyrdes kun 0,000001 Sek. Overensstemmelsen for hver enkelt Omløbstids Vedkommende, eftersom den er bestemt ved Mærkernes inderste eller yderste Ender, vil fremgaa af nedenstaaende Sammenstilling af Resultaterne for de 8 sidste Omløbstider.

<i>m</i>	Omløbstider bestemt ved a.	Omløbstider bestemt ved b.
6	0,02976	0,02975
7	0,02971	0,02970
8	0,02976	0,02975
9	0,02971	0,02973
10	0,02975	0,02976
11	0,02973	0,02971
12	0,02976	0,02975
13	0,02972	0,02972

Det sees af denne Sammenstilling, at kun for to Omløbstider beløber Forskjellen paa de to Bestemmelser sig til 0,00002 Sek., medens de øvrige højst afvige 0,00001 Sek. Jeg anser dette Forsøg for afgjørende med Hensyn til Sprøjtemethodens Brugbarhed, idet det, som allerede omtalt S. 46, viser, at det udsprøjtende Farvestof bevæger sig med stor Sikkerhed gennem Luften selv paa en flere Cm. lang Vej, og — i Overensstemmelse med mine øvrige Iagttagelser — bestemmer Grændsen for den Nøjagtighed, jeg har naaet i den enkelte Tidsmaaling, til $\frac{1}{50000}$ Sek.

$$7. \quad \delta = 1,6456, \quad h_3 = 19,293, \quad h_6 = 44,105, \quad h_9 = 83,694.$$

heraf $h_3 - h_0 = 10,220$.

<i>m</i>	$h_m - h_0$	Falddider	Omløbstider	Δ
1	1,869	0,06171		
2	5,190	0,10283	0,04112	
3	10,220	0,14431	0,04147	
4	16,847	0,18528	0,04097	— 3
5	25,111	0,22621	0,04093	+ 1
6	35,032	0,26718	0,04097	— 3
7	46,588	0,30811	0,04093	+ 1
8	59,781	0,34902	0,04091	+ 3
9	74,621	0,38995	0,04093	+ 1.

Middelværdien af de 6 sidste Omløbstider er

$$t = 0,04094 \text{ Sek.}$$

Største Afvigelse fra Middelværdien er 0,00003 Sek.

Fast Axe med Messingskive.

8. $\delta = 4,042$, $h_1 = 22,515$, $h_4 = 63,989$;
heraf $h_1 - h_0 = 7,459$.

m	$h_m - h_0$	Falddider	Omløbstider	Δ
1	7,459	0,12328		
2	17,247	0,18747	0,06419	
3	31,074	0,25163	0,06416	0
4	48,933	0,31577	0,06414	+ 2
5	70,846	0,37995	0,06418	- 2.

Middelværdien af de 3 sidste Omløbstider er

$$t = 0,06416 \text{ Sek.}$$

Største Afvigelse fra Middelværdien er 0,00002 Sek.

Naar man i alle de her anførte Forsøg i Henhold til Bestemmelsen ovenfor S. 49 af Fejlen, der skyldes Beregningsmaaden af de enkelte Omløbstider, udelader de Omløbstider, i hvilke Faldveje mindre end 10 Cm. indgaa, og naar man betragter hver enkelt Højdemaalings Resultat som en selvstændig Tidsmaaling, vil det sees,

1) at i de Forsøg, hvor Kviksølvfriktion har været anvendt, er der af 18 Maalinger kun to, hvor Afvigelsen fra Middeltallet naar $\frac{1}{25000}$ Sek., medens den i de øvrige ikke overskrider $\frac{1}{50000}$ Sek.;

2) at i Forsøgene med fast Axe er der af 49 Maalinger 1 med en Afvigelse lig 0,00005 Sek. fra det tilhørende Middeltal, 11 med en Afvigelse 0,00003 Sek., medens Afvigelsen for de øvrige 37 Maalinger ikke overskrider $\frac{1}{50000}$ Sek. Overførelse af Bevægelse ved Kviksølvfriktion har saaledes øjensynlig bidraget til at gjøre Bevægelsen jævn.

Det vil formentlig heraf, og af hvad der blev sagt under Forsøg 6, fremgaa som overvejende sandsynligt, at de iagttagne Afvigelser $> \frac{1}{50000}$ Sek. skyldes virkelige Variationer i Omløbstiden og ikke Fejl hidrørende fra Maalemetoden. Jeg tør derfor paastaa at have tilvejebragt et Middel til under nogenlunde gunstige Forhold at maale en enkelt Omløbstid med en Nøjagtighed af $\frac{1}{50000}$ Sek.

Stangens største Hastighed under Faldet forbi den roterende Skive er omtrent 300 Cm. Med den Hastighed falder den 0,006 Cm. i $\frac{1}{50000}$ Sek. Da Flertallet af Mærker svare til mindre Hastigheder, vil det heraf fremgaa, at den opnaaede Nøjagtighed i Tidsmaalingen kommer nær op til den Grændse, der bestemmes ved Længdemaalingens Nøjagtighed. Jeg tvivler ikke om, at man kan naa denne Grændse med et fuldkomnere Apparat end det, jeg hidtil har arbejdet med. Lader man Faldstangen faa en længere Faldvej, saa at den passerer Skiven med større Hastigheder end de her anvendte, ville Fejlene i Længdemaalingerne faa en endnu mindre Betydning end i de her

nævnte Maalinger. Længdemaalingens Nøjagtighed vil, tror jeg, bestemmes af Maaleapparatets, idet Farvemærkerne paa Faldstangen ere saa skarpt begrændsede, at de danne et fortrinligt Objekt for Maalingen. Ved at gjøre Udstrømningsaabningen fin, kunne Mærkestregerne gjøres meget smalle.

Lader man Farvestoffet sprøjte ud ad et fint Glasrør, kan man ikke i de forskellige Forsøg faa lige fine Mærker, da hver Glasbeholder kun kan bruges én Gang. I et nyt Apparat, jeg har ladet udføre, har jeg bl. a. derfor ændret Methoden saaledes som antydet S. 45, Anm. Farvestoffet anbringes umiddelbart i den Kanal, der bores ind i Skiven, og sprøjter ud ad et fint Hul i en Metalprop, der lukker denne Kanals yderste Munding. For at faa Sprøjtningen til at begynde i rette Tid, indretter jeg det saaledes, at Opløsningen føres ind i den nævnte Kanal i Skiven, medens denne roterer, og umiddelbart før Stangen begynder sit Fald. Hullet i Metalproppen vilde snart forstoppes, hvis det tilbageværende Farvestof fik Lov til at indtørres deri; dette undgaaes imidlertid ved, medens Skiven endnu roterer, at sende Vinaand samme Vej som før Farvestoffet, hvorved der fremkommer en grundig Udvaskning af Kanalens og Hullets Vægge. Metalproppens Yderflade sidder i Flugt med Skivens Rand; da saaledes Udstrømningsaabningen er i konstant Afstand fra Omdrejningsaxen, og da man er fri for den fra Skivens Rand udgaaende Glasspids, der knækkes af, kan man lade Faldstangen falde meget tæt forbi Skiven, saa at Farvestoffets Vej i Luften kan reduceres betydeligt.

Ved at lade Farvestoffet sprøjte ud gennem en fastsiddende Metalprop, vil man i Forvejen kunne kjende det virkelige Nulpunkt for Faldet; dette er nu, som omtalt S. 47, uden Betydning for Tidsberegningen paa Grund af de forstyrrende Virkninger, der sikkert ville komme ved enhver Slags Udløsning og i hvert Tilfælde ere tilstede ved den bekvemteste, nemlig den elektromagnetiske. Ved imidlertid at sammenligne det virkelige Nulpunkts Beliggenhed med det af Farvemærkerne beregnede, vil man kunne faa Oplysninger om Betydningen af de forstyrrende Virkninger, der gjøre sig gjældende ved Udløsningen; dette har nogen Interesse, da mange Tidsmaalinger ere foretagne og stadig foretages (f. Ex. ved Boulengers Kronograf) under Forudsætning af en momentan Forsvinden af en Elektromagnets Magnetisme eller dog af en højst problematisk Elimination af Tiden for dens Forsvinden.

Anvendeligheden af den her beskrevne Methode til Maaling af Rotationstider er betinget dels af Vinkelhastigheden dels af Afstanden fra Axen til Udstrømningsaabningen. Bedst egner den sig naturligvis til Maaling af store Hastigheder. Jeg har anvendt den ved Hastigheder fra 15 til over 40 Omløb i Sekundet; Skivens Diameter var 15 Cm. Med den Diameter tror jeg ikke man kan gaa langt under 15 Omløb pr. Sekund. Anvendeligheden vil væsenligst være betinget af Periferihastigheden; naar altsaa Diametren voxer i omvendt Forhold af Vinkelhastigheden, vil Methodene kunne anvendes ogsaa ved mindre Vinkelhastigheder end 15 pr. Sekund.

Den Hastighed, man maaler, er den, som Rotationsapparatet har, efter at Glasspidsen er afbrudt. Ønsker man, hvad der jo oftest vil være Tilfældet, at kjende Hastigheden umiddelbart før eller samtidig med Afbrydningen, maa man sørge for, at denne ikke foranlediger noget kjendeligt Hastighedstab. Da det fine Glasrør, der brydes over i mine Forsøg, kun har været 0,2—0,3 Mm. i udvendigt Maal, og da Rotationsapparatets Bevægelsesenergi ved de mindste Hastigheder har været flere Kgrmetre stor, indsees det, at Hastighedstabet kun kan have været meget ringe; at dets Indflydelse paa Maalingsresultatet i hvert Tilfælde er betydelig mindre end Iagttagelsesfejlene, vil jeg paavise i Afsnit IV. Forøvrigt undgaaes Glasrørets Overbrydning ved den ovenfor omtalte Ændring af Methoden. I Steden for vil der fremkomme et yderst ringe Hastighedstab ved Farvestoffets Indbringelse i den roterende Skive; men dette Tab vil med Sikkerhed kunne beregnes.

I de hidtil nævnte Rotationsmaalinger har jeg maalt alle eller saa godt som alle Mærkerne, for at komme til en Afgjørelse af den Nøjagtighed, Maalingen kunde give samt af, hvorvidt man under givne Omstændigheder kunde anse Omløbstiden for konstant, i den Tid (omtr. $\frac{1}{3}$ Sek.) Stangen falder. Som nævnt S. 48 blev Faldet begyndt, naar Stempelstangen i Rotationsapparatets Staalcylander i nogen Tid ($\frac{1}{2}$ —1 Minut) havde holdt sig i konstant Højde, og dette Kjendetegn paa konstant Hastighed har ved de nævnte Forsøg vist sig fuldkommen paalideligt; uden det vilde jeg næppe have kunnet udføre nogen af de i det følgende omtalte Undersøgelser fuldt tilfredsstillende. Naar man har et saadant Kjendetegn paa konstant Hastighed, behøver man ikke ved Anvendelse af Sprøjtemethoden at maale mere end tre Mærker (se S. 48); jeg har i Reglen for Kontrollens Skyld maalt 4 eller 5 ved de Anvendelser af Methoden, jeg i det følgende skal omtale.

Foruden de Anvendelser, min Methode kan faa, hvor det gjælder om at bestemme Tiden for et enkelt Omløb, skal jeg gjøre opmærksom paa, at den i omvendt Anvendelse giver en smuk Paavisning af Faldloven og kan til Forelæsningsbrug tjene til Bestemmelse af Accelerationen ved det frie Fald. Mit Apparat er altsaa en ny Faldmaskine; det kan som saadan ikke blot gjøre Tjeneste ved Undervisningen, men ogsaa i videnskabelige Undersøgelser; saaledes vil man ved samtidig at lade to Stænger falde kunne komme til Resultater over Luftmodstanden og over Modstanden, som en Leder møder ved at bevæge sig i et magnetisk Felt (og derigjennem over Ledningsmodstanden), idet man kan lade den ene Stang falde frit, medens den anden faar en maalelig Paavirkning ved en af de nævnte Modstande. Jeg har i det ovenfor omtalte nye Apparat taget Hensyn til denne Anvendelse. De ovenfor angivne Resultater vise, at Luftmodstanden ikke har haft nogen paaviselig Indflydelse paa Faldet i mine Forsøg.

II. Centrifugalsugning.

1. En foroven og forneden lukket Cylinder $CDEF$ af Radius R_0 (Fig. 6) antages at indeholde en mindre, lukket (massiv eller hul) Cylinder, Stemplet, af Radius r_0 og Højde h , endvidere en Vædske og Luft af Tryk c . Luften antages at fylde et Rum v . Cylindren antages at rotere om sin lodret staaende Axe, og Luften befinder sig udelukkende over Stemplet; dets Middelvægtfylde, ρ_1 , antages mindre end Vædskens ρ . Vinkelhastigheden ω antages saa stor, at den paraboliske fri Overflade skæres af Fladen CD og af Stemplets Overside. Der søges de lodrette Tryk, som virke paa Stemplets Over- og Underside, idet den førstes Afstand x fra Fladen CD er given.

Idet den paraboliske Overflade tænkes fortsat nedad til sit nederste Punkt A , kaldes Afstanden fra A til et Punkt i Axen z og Radien i Paraboloidens cirkulære Snit gennem Punktet med Ordinaten z kaldes r . Man har da

$$z = \frac{\omega^2}{2g} r^2 \dots \dots \dots (1)$$

hvor g er Accelerationen ved det frie Fald.

Radierne til Cirklerne, som Paraboloidfladen afskærer af Fladen CD samt Stemplets Over- og Underside, kaldes henholdsvis R , r_1 og r_2 . Man finder

$$v = \frac{\pi\omega^2}{4g} (R^4 - r_1^4) = \frac{\pi g}{\omega^2} x (2Z - x),$$

hvor Z er z -Koordinaten til CD . Heraf faaes

$$Z = \frac{\omega^2 v}{2\pi g x} + \frac{1}{2} x \dots \dots \dots (2)$$

Fladeenhedstrykket paa Oversiden af Stemplet indenfor Cirklen med Radius r_1 sættes lig det konstante Lufttryk c , idet der bortsees fra Variationen i Lufttrykket ved Rotationen, hvad der er berettiget i det foreliggende Tilfælde, hvor der er Tale om atmosfærisk Luft af almindelig Tæthed og det 10000 Gange saa vægtfyldige Kviksølv. Udenfor den nævnte Cirkel, hvis Radius r_1 faaes ved (1), idet z -Koordinaten er $Z - x$, er der et Fladeenheds-tryk i Afstand r fra Axen

$$p = c + \frac{1}{2} \rho \omega^2 (r^2 - r_1^2).$$

Som Kraftenhed benyttes den absolute Kraftenhed i Cm., Gr., Sek. Systemet. Det hele Tryk paa Stemplets Overside bliver altsaa

$$P_1 = \pi r_0^2 c + \int_{r_1}^{r_0} 2\pi r p dr = \pi r_0^2 c + \frac{1}{2} \pi \rho \omega^2 (\frac{1}{2} (r_0^4 + r_1^4) - r_0^2 r_1^2).$$

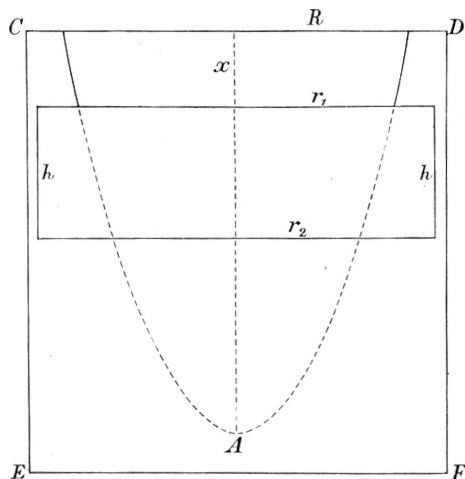


Fig. 6.

Trykket P_2 paa Undersiden af Stemplet findes paa lignende Maade; her varierer Trykket lige fra Axen til Randen; til Bestemmelse af Integrationskonstanten har man, at Paraboideoverfladens Fortsættelse under Stemplet er en Niveauflade, hvor Trykket er c . Man maa altsaa finde Radien r_2 ved (1) og ved z -Koordinaten, der er $Z - x - h$. Man faar

$$P_2 = \pi r_0^2 c - \frac{1}{2} \pi \rho \omega^2 (r_0^2 r_2^2 - \frac{1}{2} r_0^4).$$

Denne Beregning har dog kun Gyldighed, naar Trykket c er stort nok til at hindre, at der dannes et luftomt Rum under Stemplet.

Resultanten P af Trykkene paa Over- og Undersiden, som jeg kalder Centrifugal-sugningen, bliver

$$\begin{aligned} P &= P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \pi \rho \omega^2 (\frac{1}{2} r_1^4 - r_0^2 (r_1^2 - r_2^2)) \\ &= \rho g \frac{\pi \omega^2}{4g} r_1^4 - \rho g \pi r_0^2 h = \rho g \frac{\pi \omega^2}{4g} r_2^4 - \rho g \left(\pi r_0^2 h - \frac{\pi \omega^2}{4g} (r_1^4 - r_2^4) \right) \dots \dots (3) \end{aligned}$$

I det sidste Udtryk for P sees det første Led at være Vægten af den Vædske, som fylder det paraboliske Rum under Stemplet, medens det sidste Led er Vægten af den Vædske, som fortrænges af Stemplet udenfor den paraboliske Flade. Forholdet kan altsaa opfattes saaledes, at Vægten af det paraboliske Vædskerumfang under Stemplet bæres af dette, ligesom Kviksølvet i et lige Barometerrør kan siges at bæres af Røret, idet Kviksølvet forøger Rørets tilsyneladende Vægt med sin egen. Denne nedadgaaende Kraft modvirkes af den af Stemplet uddrevne Vædskemasses Vægt, altsaa af Opdriften, svarende til Opdriften paa den Del af et Barometerrør, der naar ned under Kviksølvoverfladen i Barometerkarret.

Reduceres Stemplet til en uendelig tynd Skive, bliver $h = 0$, $r_1 = r_2$, saa at sidste Led forsvinder.

Foruden Trykket P , virker der paa Stemplet dets egen Vægt $g \rho_1 \pi r_0^2 h$. Resultanten af alle de virkende Kræfter bliver altsaa

$$P' = \frac{1}{4} \pi \rho \omega^2 r_1^4 - \pi (\rho - \rho_1) g r_0^2 h.$$

Indføres z -Koordinaten z_1 til Stemplets Overside for r_1 , faaes, idet $z_1 = Z - x$

$$P' = \frac{\pi \rho g^2}{\omega^2} z_1^2 - \pi (\rho - \rho_1) g r_0^2 h = \pi \rho \left(\frac{v}{2\pi} \frac{\omega}{x} - \frac{g}{2} \frac{x}{\omega} \right)^2 - \pi (\rho - \rho_1) g r_0^2 h.$$

Er Stemplet frit, vil det bevæge sig i Retning af Kraften P' og tilsidst antage en Ligevægtsstilling bestemt ved Stemplets Oversides Afstand ξ fra Fladen CD , hvor $P' = 0$. Man har altsaa til Bestemmelse af ξ

$$\left(\frac{\xi}{\omega} \right)^2 + 2 \sqrt{\frac{\rho - \rho_1}{\rho} \frac{r_0^2 h}{g}} \frac{\xi}{\omega} - \frac{v}{\pi g} = 0.$$

Kvadratroden maa have positivt Fortegn, da z_1 ifølge Forudsætningen er positiv. Af Ligningens Form sees det allerede, at Stemplets Afstand fra Fladen CD er proportional med Vinkelhastigheden. Man faar, idet Stemplets Volumen $\pi r_0^2 h = \varphi$,

$$\frac{\xi_1}{\omega} = \frac{\sqrt{v + \frac{\rho - \rho_1}{\rho} \varphi} - \sqrt{\frac{\rho - \rho_1}{\rho} \varphi}}{\sqrt{\pi g}} = \frac{1}{C} \dots \dots \dots (4)$$

Denne Formel og altsaa Proportionaliteten mellem ξ og ω er begrændset ved Forudsætningerne for Beregningen, som ere, dels at den paraboliske Overflade skæres saavel af Fladen CD som af Stemplets Overside, dels af, at der ikke dannes noget tomt Rum under Stemplet; det sidste giver en højere, det første en lavere Grændse for de Vinkelhastigheder, for hvilke Beregningen finder Anvendelse.

Forudsættes Stemplets Diameter kun lidt mindre end den ydre Cylinders, kan den lavere Grændse ω_1 findes som den, der gjør $R = R_0$. Man har ved (4) $\xi_1 = \frac{1}{C} \omega_1$ og ifølge (2) og (1)

$$Z = \frac{\omega_1 v}{2\pi g} C + \frac{1}{2} \frac{\omega_1}{C} = \frac{\omega_1^2}{2g} R_0^2$$

$$\omega_1 = \left(\frac{vC}{\pi} + \frac{g}{C} \right) : R_0^2.$$

Er f. Ex. $R_0 = 2$ Cm., $\rho = 10 \rho_1$, $v = \varphi = 40$ Cubcm., faaes med omtrentlige Værdier

$$\frac{1}{C} = 0,0489, \quad \omega_1 = 77.$$

Hertil svarer et Omløbstal af noget over 12 i Sek.

Maximumhastigheden ω_2 , for hvilken Beregningen gjælder, findes ved at søge Trykket i Axens Skæringspunkt med Undersiden af Stemplet. Dette Tryk er

$$p = c - \frac{1}{2} \rho \omega^2 r_2^2.$$

For $p = 0$, faar man $\omega = \omega_2$. Altsaa

$$r_2^2 \omega_2^2 = \frac{2c}{\rho} = 2gz_2,$$

$$z_2 = \frac{\omega_2^2 v}{2\pi g \xi_2} - \frac{1}{2} \xi_2 - h = \frac{c}{g\rho},$$

$$\frac{\omega_2 v C}{2\pi g} - \frac{1}{2C} \omega_2 = \frac{c}{g\rho} + h,$$

$$\omega_2 = 2 \frac{\frac{c}{g\rho} + h}{\frac{vC}{\pi g} - \frac{1}{C}}.$$

Udtrykket for z_2 viser, hvad der jo ogsaa kan indsees umiddelbart, at Trykket under Stemplet bliver Nul, naar z -Koordinaten til Stemplets Underside er lig Barometerstanden $\frac{c}{g\rho}$, idet c forudsættes at være Atmosfærens Tryk og Vædsken at være Kviksølv.

Antages det, at i Udtrykket for ω_2 er $\rho = 13,6$ og $\frac{c}{g\rho} + h = 80$ Cm., og benyttes forøvrigt de samme Værdier som ovenfor, faaes

$$\omega_2 = 741,$$

hvortil svarer et Maximumomløbstal af over 100 i Sek.

I det her forudsatte Exempel sees det, at naar Cylindrens Vinkelhastighed voxer fra 77 til 741 (Omløbstallet fra c. 12 i Sek. til c. 117), vil Stemplet synke fra Afstand 3,76 Cm. fra Fladen CD til Afstand 36,24, forudsat at den ydre Cylinder er dyb nok. Dets Afstand fra CD vil være proportional med Vinkelhastigheden. Hastighedens Forøgelse med 1 Omløb pr. Sekund vil flytte Stemplet omtrent 3,1 Millim.

2. Hastighedsmaaling ved Centrifugalsugning. Det vil fremgaa af det ovenfor nævnte, at man ved Centrifugalsugningen kan faa et Middel til ved en umiddelbar lagttagelse at maale en Axes Omløbshastighed under Rotationen. Maalingen er absolut, naar man i Forvejen har udmaalt Dimensionerne og Vægtfylderne, idet man da ved (4) kan finde det konstante Forhold mellem Afstanden ξ og Vinkelhastighederne. Der kan maales baade smaa og ubegrændset store Hastigheder, naar man afpasser Apparatets Dimensioner efter Hastigheden. Særlig vil jeg gjøre opmærksom paa, at man ved at variere Vædskemængden i et Apparat, hvis Dimensioner forøvrigt ere givne, kan variere Konstanten C indenfor vide Grændser. Stemplet vil paa Grund af sin mindre Vægtfylde ved selve Centrifugalvirkningen i Vædsken faa sin Axe indstillet i Rotationsaxen, saa at det ikke risikeres, at noget Punkt af det slæber paa den ydre Cylinder. Stemplets Stilling kan observeres, ved at det forsynes med en lodret opadgaaende Stang, der gaar op gennem et Hul i Laaget paa den ydre Cylinder. Hvis det foretrækkes, kan det samme opnaaes, ved at man fører en Følestift, som ikke deltager i Rotationen ned til Oversiden af Stemplet, der for Midtens Vedkommende jo altid er blottet for Vædske.

De Stoffer, det ligger nærmest at benytte, i det mindste naar der er Tale om hurtig Rotation, er Jærn og Kviksølv. Det er ret anselige Kræfter, der i saa Tilfælde komme til at virke paa Stemplet selv ved smaa Dimensioner. Har man saaledes en Jærncylinder af 4 Cm. Diameter med et Stempel af omtrent samme Diameter og en Højde af 3 Cm., og fylder Luftrummet 2 Cm. i Cylindren, vil man ved (3) finde, at det resulterende Tryk fra Kviksølvet paa Stemplet er omtrent $5\frac{1}{2}$ Kgr., naar dettes Overside holdes $2\frac{1}{2}$ Cm. fra Fladen CD , og Cylindren roterer med en Hastighed af 2400 Omløb i Minutet.

Som det vil erindres fra Beskrivelsen af mit Rotationsapparat, har jeg der anbragt en saadan Hastighedsmaaler. Jeg skal nu nævne mine Erfaringer ved Brugen af denne Del af Apparatet. Med Hensyn til den Sikkerhed, hvormed Stemplet indstiller sig i sin Ligevægtsstilling, har jeg erfaret, hvad der jo ogsaa var at vente, at naar Hastigheden varierer, er Stemplet noget tilbage i sin Vandring, fordi Kviksølvet ikke strax faar Staalcylindrens

Hastighed. Da Stemplet i mit Apparat er 3 Cm. højt, og Cylinderhøjden er 11 Cm., indeholder Cylindren en betydelig Mængde Kviksølv og tillader en stor Vandring af Stemplet. Ved et Apparat, der kun er indrettet til Maaling af Hastigheder indenfor nogenlunde snævre Grændser, kan Kviksølv-mængden formindskes saa betydelig, at man ikke herved kan møde nogen Hindring i at faa et sikkert Maal for Hastigheden, naar denne blot er nogenlunde jævn.

I de Forsøg jeg har gjort, hvor jeg i nogen Tid holdt en bestemt Hastighed konstant vedlige (se IV), har jeg ved lagttagelse med en tæt ved Apparatet anbragt Kathetometerkikkert altid fundet, at Stempelstangen nøjagtig indtog samme Stilling ved samme Hastighed.

Jeg har ikke hidtil benyttet Stempelbevægelsen til egenlig Hastighedsmaaling men benyttet den med stor Fordel dels til, naar en bestemt Hastighed tilstræbtes, da at skønne, naar denne omtrent var naaet, for derefter at afpasse Motorens Bevægkraft, dels og især til ved Stempelstangens Stillestaaen at konstatere jævn Hastighed.

3. Hastighedsregulering. Paa Grund af den betydelige Kraft, der paavirker Stemplet, naar det kommer ud af sin Ligevægtsstilling, kan Virkningen paa Stemplet med Fordel benyttes til Regulering af Hastigheder. Jeg tvivler ikke om, at Apparatet, naar man giver det tilstrækkelig store Dimensioner, kan benyttes som en meget paalidelig Regulator for en Damp- eller Gasmotor, paalidelig fordi Apparatet er meget solidt, og fordi den hele Virkning er grundet paa Rotationens Virkning paa Kviksølv, saa at der ingen Fjeder behøves. Jeg har prøvet Apparatet som Regulator for den elektriske Motor, der drev Rotationsapparatet. Den ved denne Lejlighed benyttede Motor var en Edelmanns Dynamo med c. 7 Ohms Modstand; den blev dreven ved 10—12 Accumulatorer. Arbejdet, som forlangtes af Motoren, var meget ringe i Sammenligning med, hvad den er konstrueret til, saa at den ikke har arbejdet under gunstige Betingelser for konstant Hastighed.

Regulatorapparatet sees anbragt i Fig. 7. Det blev fastskruet paa den Bom i Rotationsapparatet, der forbinder de to Støtter *tt* og *uu* (Fig. 1), og hvori Rotationsapparatets Tap *m* har sit Leje. Det bestaar af to isolerede Opstandere, en paa hver Side af Stempelstangen. Den ene bærer en Fjeder *a*, der kan hæves eller sænkes noget ved Stilleskruen *b*. Rotationsaxens Forlængelse og altsaa Stempelstangen træffer Fjedren *a* omtrent paa Midten. Den anden Opstander bærer en Arm, der fører hen over Midten af Fjedren *a*, og den er der forsynet med en isolerende Knop *c*, der støtter Fjedren fra oven. Samme Arm bærer en Kontaktskrue *k*, der med en Platinspids møder en Platinplade paa Fjedren *a*. Skruen *k* sænkes saa meget, at Fjedren, naar den trykkes opad, møder *k*, mens der endnu er lidt Afstand mellem Fjedren og Knoppen *c*. Naar Apparatet er i Ro eller gaar med ringe Hastighed, vil Opdriften paa Stemplet gennem Stempelstangen trykke Fjedren op mod Kontaktskruen *k*. Naar en vis Hastighed overskrides, ophører Trykket, og Fjederkraften vil afbryde Forbindelsen mellem *a* og *k*.

Motorens Strøm blev sendt gennem Fjedren og Kontaktskruen ved to Klemskruer *d* og *e*, der tillige bleve forbundne ved en Modstand af passende Størrelse og uden Selvinduktion. Der blev valgt en Batterikraft, der uden indskudt Modstand vilde give Apparatet en lidt for stor Hastighed, og den mellem *d* og *e* anbragte Modstand valgtes saa stor (sædvanlig 1 S. E.), at den, indskudt, vilde give en lidt for lille Hastighed. Følgen heraf vil være, at Apparatet faar en Middelhastighed lig den, der netop faar Fjedren *a* til at røre Kontaktskruen *k*. Under Reguleringen rører Fjedren aldrig Stopperen *c*. Fjedren svinger uafledelig, saa at Strømmen meget hyppig afbrydes; Gnisterne vare meget svage; de saaes kun i Loupe.

For at Kviksølvet hurtig skulde antage Staalcylandrens Hastighed, blev der over og under Stemplet anbragt Vinger, hvert Sted dannede af to buede Plader, hvis Spændvidder vare lidt større end Cylindrens Diameter; de bleve med Randene mod hinanden pressede ned i Cylindren, hvor de fastholdtes ved deres egen Spænding. Vingerne tillode kun Stemplet en faa Millimeters Vandring. Hastigheden kunde varieres ved Kviksølvængden.

For at prøve, hvor fint Regulatorapparatet virker, har jeg maalt Hastigheden 7 Gange ved Sprøjtemethoden, mens Regulatoren fungerede. I alle Maalingerne mødte Fjedren Kontaktskruen i samme Højde, men i de tre første var Stilleskruen *b* stillet saaledes, at Fjedren uden noget Tryk var i en minimal Afstand fra Platinspidsten; i de fire sidste Maalinger var Fjedren, naar den ikke fik noget Tryk fra neden, fjærnet flere Mm. fra Spidsen; Strømmen blev i de fire sidste Maalinger derfor sluttet, naar Hastigheden var saa meget mindre end i de tre første, at den derved fremkomne Opdrift paa Stemplet tvang Fjedren op mod Spidsen. Man maa derfor finde mindre Hastighed i den anden Række end i den første.

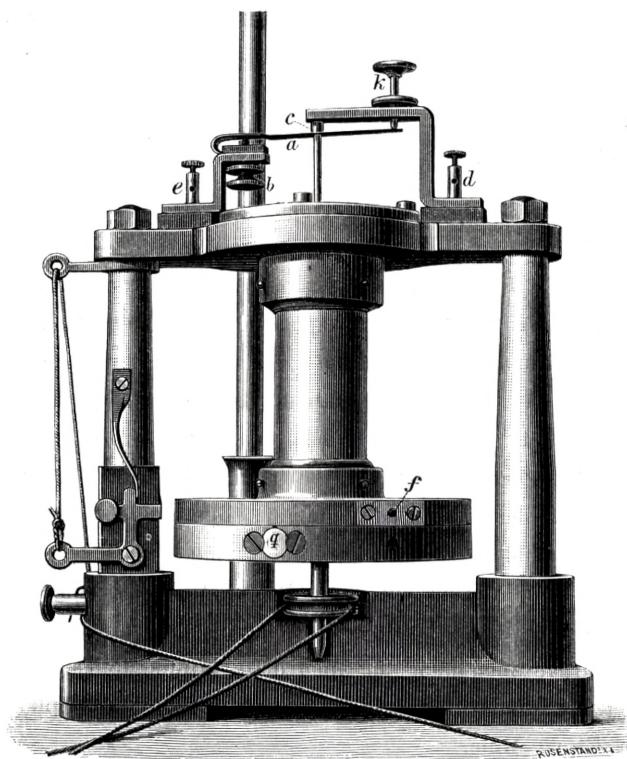


Fig. 7.

Resultaterne af de tre første Maalinger vare Omløbstillene
 26,41 26,67 26,54 Omløb i Sek.

Ved de fire sidste Maalinger fandtes
 24,88 24,92 24,92 24,95 Omløb i Sek.

Middeltallet af de tre første Omløb er 26,54 saa at den største Afvigelse fra Middeltallet er 0,13 eller $\frac{1}{2}$ Procent. Betydelig gunstigere stiller Resultatet sig i den sidste Række, hvor Middeltallet er 24,92, og den største Afvigelse fra dette er 0,04 eller noget mindre end $\frac{1}{6}$ Procent. Forsaavidt man kan slutte af de faa Iagttagelser, er det heldigt for at opnaa en jævn Gang ved Regulatorapparatet, at Stempelstangen udøver et let Tryk mod Kontaktfjedren, naar denne indtager den til Reguleringen svarende Stilling.

Af de ovenfor angivne Resultater slutter jeg, at man ved et Apparat som det af mig konstruerede kan opnaa en automatisk eller ved Haandkraft reguleret Rotation, der er tilstrækkelig jævn, til at man i de fleste Tilfælde kan grunde en paalidelig Smaatidsmaaling derpaa (Gnistkronograf, Bestemmelse af Stemmegaffers Svingningstal). Det maa erindres, at den elektriske Motor, jeg benyttede, ikke passede synderlig til Apparatet, idet dette kun krævede en ringe Del af Motorens Maximalarbejdskraft; af den Grund ansaa jeg det heller ikke for at være Umagen værd at fortsætte Iagttagelserne med det nærværende Apparat; men naar jeg med dette kunde opnaa en Nøjagtighed af $\frac{1}{6}$ Procent, anser jeg det for sandsynligt, at der ved et fuldkomnere Apparat vil kunne paaregnes en Nøjagtighed af 1 pro Mille.

Jeg omtalte ovenfor, at Apparatet kunde benyttes uden Motor, ved Haandkraft; dette kan ske, naar man, idet Apparatet bevæges ved Haanden, sender Strømmen fra et Element gennem Reguleringskontakten og et Galvanoskop (elektrisk Klokke eller Telefon), samt afpasser Trækkraften efter dettes Angivelser.

III. Bestemmelse af en Rotationshastigheds Maximum.

Vil man fremkalde og undersøge en blivende Virkning af Rotationen paa et Legeme, vil denne Virkning sædvanlig afhænge af Maximumhastigheden, som Legemet har haft under Rotationen; det vil i saa Tilfælde være dette Maximum, det gjælder om at bestemme. Forinden jeg nærmere beskriver det Middel, jeg har anvendt til denne Bestemmelse, skal jeg gjøre en almindelig Bemærkning om Vædskers Forhold under hurtig Rotation.

Naar man afmaaler en Vædskemængde i en lodret staaende Beholder, ved at man hælder Vædske i, til det flyder over Randen, vil der fremkomme en med den frie Overflades Størrelse voxende Usikkerhed paa Grund af Overfladens ved Haarrørsvirkningen fremkaldte ulige Højde i forskjellige gjentagne Maalinger. Denne Fejlkilde vil være yderst ringe,

naar den overskydende Vædske gaar bort som Følge af en energisk Centrifugalkraft. Hælder man Kviksølv i et forneden lukket Rør, paa hvis Side der er boret et Hul, vil Kviksølvet løbe af, indtil Tyngdetrykket fra Vædskehøjden h (Fig. 8) holder Ligevægt mod den fra Krumningen af Overfladen ved Punktet M hidrørende Overfladespænding. Tænkes det samme Rør sat i hurtig Rotation om en Axe $AB \perp$ Rørets Axe, kan en ganske tilsvarende Bemærkning gjøres gjældende, men den Størrelse, som her kommer til at svare til Højden h , vil kunne regnes at blive mindre end h i samme Forhold som Tyngdekraften er mindre end Centrifugalkraften; i samme Forhold ville ogsaa Usikkerhederne ved Udmaalingen formindskes. Ved 2000 Om-løb i Minutet vil der allerede i 5 Cm. Afstand fra Axen virke en Centrifugalkraft, der er mere end 200 Gange saa stor som Tyngdekraften.

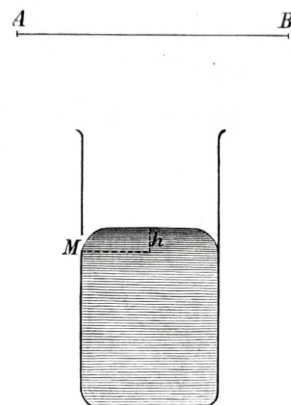


Fig. 8.

Jeg har benyttet mig heraf ved at gjøre Torricellis Forsøg med et i Rotationsapparatet vandret anbragt Rør, der var lukket i den mod Axen vendte Ende og aabent samt ombøjet ved den modsatte Ende. Røret var helt fyldt med Kviksølv. Sættes Apparatet med et saaledes anbragt Rør i Rotation, vil, naar en vis Hastighed overskrides, noget af Kviksølvet slynges ud, idet der dannes et tomt Rum indad mod Axen, indtil Centrifugalkraften paa den tilbageværende Kviksølvmasse holder Ligevægt mod Luftens Tryk. Medens Barometerstanden i et almindeligt Barometer sædvanlig maa maales ved en direkte Højdemaaaling, og ikke, uden naar Røret har en anseelig Diameter, kan findes tilstrækkelig nøjagtig ved Vejning paa Grund af de ovenfor omtalte Variationer i Overfladeforholdene, er Forholdet omvendt i Centrifugalbarometret. Der kan man ikke direkte maale Afstanden mellem de to Kviksølvoverflader, hvorimod denne vil kunne bestemmes meget sikkert ved bagefter at veje den i Barometret tilbageværende Kviksølvmenge.

Selvfølgelig har jeg ikke villet benytte dette til at bestemme Barometerstanden, men derimod til Bestemmelse af Maximumhastigheden. Forinden jeg meddeler de opnaaede Resultater, skal jeg først nærmere præcisere Opgaven. Et lukket, vandret, cylindrisk Rør R (Fig. 9) tænkes at rotere om en Axe $AB \perp$ Rørets Axe. Fra den udadvendte Ende af Røret udgaar en snæver Kanal, der udmunder ved P i en Afstand r_1 fra Axen; det hele er oprindeligt fyldt med Kviksølv men antages nu delvis udtømt ved

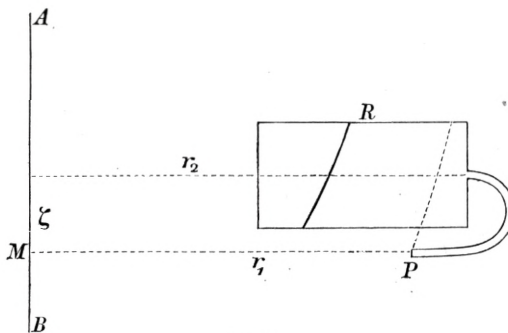


Fig. 9.

Centrifugaltrykket. Kviksølvet vil da være begrændset forinden af en af Røret afskaaren Del af en Paraboloidflade, foruden af et Fladeelement i P af en anden Paraboloide; i denne antages et Tryk maalt ved Barometerstanden B at virke.

Fladen gennem P vil alene afhænge af Vinkelhastigheden ω ; dens Ligning er

$$z = \frac{\omega^2}{2g} r^2,$$

idet dens Toppunkt tages til Nulpunkt for z -Koordinaten. Punktet M , der ligger i Axen i Højde med P , ligger i Afstand $z_1 = \frac{\omega^2}{2g} r_1^2$ fra Toppunktet. Rørets Axe skærer Fladen gennem P i en Afstand $r'_1 = \sqrt{r_1^2 + \frac{2g}{\omega^2} \zeta}$, idet ζ er denne Axes Højde over P .

Den indre Paraboloide maa have sit Toppunkt B Cm. over den ydres. Dens Ligning er altsaa

$$z = \frac{\omega^2}{2g} r^2 + B;$$

derved faaes, at Rørets Axe skærer denne Flade i en Afstand $r_2 = \sqrt{r_1^2 - \frac{2g}{\omega^2} (B - \zeta)}$.

Herved er Størrelsen $r_1 - r_2$, og ved den ogsaa Vægten af Kviksølvet i Røret bestemt. Gjøres ζ til Nul, vil r_2 alene afhænge af Forholdet mellem Barometerstanden og Kvadratet paa Vinkelhastigheden. Varierer B , og holdes $\frac{B}{\omega^2}$ konstant, vil man altsaa faa samme Værdi for r_2 . Den indre Overflades Form vil derimod variere; Variationen vil bestaa i, at Overfladen vil hælde mere ved den lavere end ved den højere Barometerstand; men da dens Midtpunkt holder sin Afstand fra Omdrejningsaxen uforandret, vil det med de Variationer, som Barometerstanden kan være underkastet, kun faa meget ringe Indflydelse paa Vægten af det tilbageblivende Kviksølv. Denne Vægt kan derfor, naar Dimensioner og Afstande fra Axen vælges rigtigt i Forhold til de Hastigheder, der skulle kunne maales, betragtes som en Funktion alene af Forholdet $\frac{B}{\omega^2}$, hvor ω er Maximumhastigheden; Temperaturen vil kun have en yderst ringe Indflydelse paa Vægten af Kviksølvet. Iagttages Barometerstanden under Rotationen, og vejes Røret bag efter, kan man derfor finde Maximumhastigheden.

Jeg har for at danne mig en Forestilling om Methodens Brugbarhed konstrueret følgende Apparat (Fig. 10). MN er et

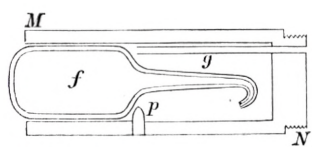
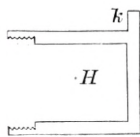


Fig. 10.



Staalrør, der er lukket ved N . I Bunden er der boret et Hul, hvori et snævert Glasrør g er indkittet. Et kortere Staalrør H ligeledes lukket ved den ene Ende kan skrues til Bunden af MN . Sammen-

skruede have de to Rør en samlet Længde af 5,2 Cm. I MN er Rotationsbarometret anbragt. Det har Form af en lille Flaske f , hvis Beholder er omtrent 1,6 Cm. lang, og som fortsættes med en ombøjet Hals. En Knast p møder Flaskens Bryst. Ombøjningen anbringes modsat Røret g . Omgiven med tyndt Papir slutter f saa tæt i MN , at Kviksølv indenfor f ikke løber ud. f fyldes med Kviksølv, og idet MN i oprejst Stilling ligeledes fyldes med Kviksølv til Munden af g , sættes f ned i MN .

Den Fremgangsmaade, jeg benyttede for at faa den lille Flaske fyldt med Kviksølv, skal jeg omtale, da jeg tror, den kan være bekvem ved flere Lejligheder. Flasken blev nedsat i et Glasrør AB (Fig. 11), hvis Rand forneden var lidt indbøjet. Omkring Flasken blev der fra oven stoppet fin Asbest ved en flad, skærpet Pind; herved blev Røret tæt nok til at kunne holde paa flere Cm. Kviksølv over Flaskens Munding. Ved først at skaffe noget Kviksølv ind og derpaa holde Røret ind i en Flamme, kunde Kviksølvet holdes i samtidig Kog over og i Flasken, idet denne frembød Bunden for direkte Paavirkning fra Flammen.

Paa denne Maade blev der indrettet to Rotationsbarometre, som for Afbalancerings Skyld begge blev anbragte i Rotationsapparatet diametralt modsat. Med dette var der i den Anledning foretaget den S. 44 omtalte Forandring, at den flade Kviksølvbeholder til Overførelse af Bevægelsen ved Kviksølvfriktion blev fjernet, og det øvrige Apparat blev baaret af en enkelt Axe. Herved blev der Plads til at anbringe den 1,8 Cm. tykke Messingskive (Fig. 7), der har samme Diameter som gg (Fig 1) og er fæstet til denne ved to stærke Skruer. Messingskiven var gjennemboret efter to paa hinanden vinkelrette Diametre, saa at der fremkom 4 Huller. To af disse blev foreløbig tilstoppede, medens der i hvert af de to andre blev anbragt et Rotationsbarometer, der helt og holdent fik Plads i Skiven. Det korte Staalrør var forsynet med en Knast k (Fig. 10), der passede i et Udsnit i Skiven, hvorved Barometrets Stilling i denne blev bestemt saaledes at Røret g (Fig. 10) laa øverst. Hvert Barometer blev fastholdt ved to Skruer. Barometret sees i Fig. 7 ved q anbragt i Skiven.

Naar nu Apparatet sættes i Rotation med voxende Hastighed, vil der fra en vis Hastighed at regne drives Kviksølv ud af Flasken f ; det overskydende i MN vil gennem Røret g gaa over i det korte Staalrør H , saa at den frie Overflade i MN stadig gaar gennem Munden af g . Aftager Hastigheden igjen, vil Flasken f paany fyldes ved det i MN tilbageværende Kviksølv, medens Kviksølvet i H forbliver der. Efter Rotationen fjernes Røret H og dets Kviksølv, og det øvrige Apparat vejes. Det er denne Vægt Q , det gjælder om ved Forsøg at bestemme som Funktion af $\frac{B}{\omega^2}$, idet ω er Maximumhastigheden. For

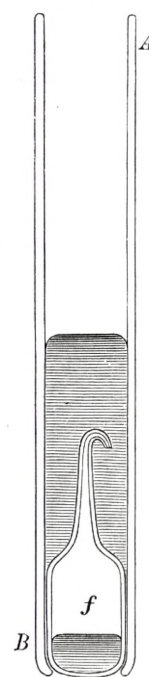


Fig. 11.

at kunne benytte Apparatet paany, bliver det, idet H fremdeles er fjærnet, trykket noget ned i et Prøveglas med Kviksølv; gjennem Røret g erstattes da det i forrige Forsøg udslyngede Kviksølv.

Jeg har med de to Apparater foretaget en Række samtidige Bestemmelser af Vægten Q , Barometerstanden B og Maximumhastigheden, hvilken sidste jeg bestemte ved Farvesprøjtemetoden. Efterat Rotationsbarometrene vare indbragte i Messingskiven og Sprøjteflasken med Farvestof i Jærnskiven gg (Fig. 1) samt Faldstangen hængt op, blev Apparatet sat i Gang ved et Antal Elementer bestemt efter den Hastighed, der skulde naaes. Stempelstangens Bevægelse nedad blev fulgt i Kikkert, og naar den nedadgaende Bevægelse var bleven saa langsom, at den endnu netop kunde mærkes, blev Faldet og Farvesprøjtningen indledede og umiddelbart derefter Motorens Strøm afbrudt. Herved blev det opnaaet, at Hastigheden endte med at voxe yderst langsomt, og at netop Maximumhastigheden blev maalt. Størrelsen Q blev hver Gang maalt for begge Rotationsbarometrenes Vedkommende.

Hvorvidt Slutningshastigheden har kunnet betragtes som konstant, vil fremgaa af, hvorvidt de til de forskjellige Omløb svarende Faldhøjders anden Differens δ er konstant i hvert Forsøg. I hvor høj Grad dette har været Tilfældet, vil fremgaa af nedenstaaende Sammenstilling af de forskjellige Værdier af Størrelsen δ i hvert af de 7 Forsøg, jeg har udført (jeg har i hvert Forsøg maalt 4—5 af de ved Mærkerne afsatte Faldhøjder).

1. Forsøg	$\delta = 0,6398$	0,6395	0,6389
2. —	$\delta = 0,7890$	0,7888	0,7887
3. —	$\delta = 0,8700$	0,8699	
4. —	$\delta = 1,064$	1,064	
5. —	$\delta = 1,265$	1,264	
6. —	$\delta = 1,363$	1,364	
7. —	$\delta = 1,432$	1,432	1,432.

Da den procentiske Fejl i Omløbstiden kun er det halve af Procentfejlen i δ , sees Hastigheden at have været meget jævn.

I nedenstaaende Tabel ere Resultaterne fra de 7 Forsøg angivne. I Steden for $\frac{B}{\omega^2}$ har jeg beregnet den dermed proportionale Størrelse δB . Denne Størrelse er i hvert Forsøg fælles for begge Rotationsbarometre. Derimod vil Vægten Q være forskjellig paa Grund af Uligheder i de to Apparater, der betegnes ved Nr. 1 og 2.

Forsøg	δ	Omløbstal	δB	$\delta B - 48,20$	Barometer Nr. 1.		Barometer Nr. 2.	
					Q	$Q - Q_1$	Q	$Q - Q_1$
1	0,6394	39,18	48,20		53,6270		55,7586	
2	0,7888	35,27	60,32	12,12	54,2648	0,6378	56,4516	0,6930
3	0,8700	33,59	66,51	18,31	54,5545	0,9275	56,7603	1,0017
4	1,064	30,37	80,01	31,81	55,3093	1,6823	57,5018	1,7432
5	1,264	27,86	95,25	47,05	56,1680	2,5410	58,3854	2,6268
6	1,364	26,82	103,38	55,18	56,5620	2,9350	58,8366	3,0780
7	1,432	26,18	108,49	60,29			59,2713	3,5120

Nogen simpel Relation mellem δB og Q kan naturligvis ikke ventes, da de kun 1,6 Cm. lange, omtrent 0,8 Cm. vide, ved Enderne tilmeldede Barometerører vare alt andet end kalibriske. Opføres Resultaterne grafisk med $Q - Q_1$ som Abscisse og $\delta B - 48,20$ som Ordinater, faaes to Kurver (se Fig. 12), som løbe temmelig nær parallelt fra Forsøg 1 til 5; fra Forsøg 6 fortsættes Kurven 2 med en svag Krumning nedad, medens Kurven 1 bøjer fra Forsøg 5 opad. Da de sidste Forsøg svare til de mindste Hastigheder, hvor Barometrene næsten vare fulde, er dette i Overensstemmelse med, at Barometerflasken Nr. 1 var kjendelig kortere end Nr. 2. De tre ved Forsøg 3, 4 og 5 bestemte Punkter ligge i hver af Kurverne meget nær paa en ret Linie, hvad der ogsaa fremgaar af, at naar man ved simpel Interpolation mellem Forsøg 3 og 5 vilde søge $(\delta B)_4$ ved Q_4 , vilde man ved Barometer Nr. 1 faa $(\delta B)_4 = 79,95$ og ved Nr. 2 $(\delta B)_4 = 79,6$, medens Forsøget gav 80,01. Det fremgaar heraf, at man med Sikkerhed kunde benytte ethvert af de to Rotationsbarometre til ved Interpolation imellem Tallene fra Forsøg 3, 4 og 5 at maale Maximumhastigheder beliggende mellem de i Forsøg 3 og 5 tilvebragte, henholdsvis 33,6 og 27,9 Omløb i Sek.; den til Forandringen 5,7 i Omløbstallet svarende Vægtforandring er, som Tabellen viser, omtrent 1,6 Gr. Ved at anvende et nøjagtig udboret Staalrør i Steden for Glas vil man

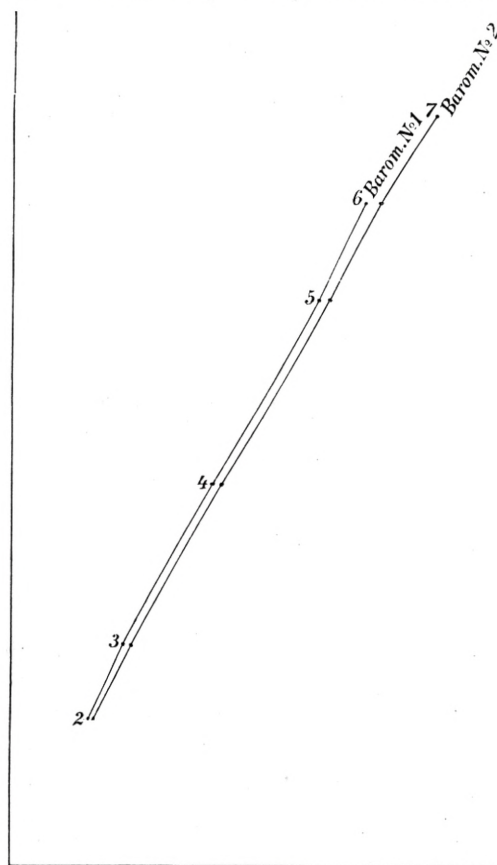


Fig. 12.

ved et Apparat af lignende Dimensioner som de af mig anvendte kunne maale indenfor betydelig videre Grændser end de her angivne.

Et saadant Apparat til Maaling af Maximumhastigheden vil i de fleste Tilfælde uden Vanskelighed kunne anbringes paa en Maskinaxe, og det vil derfor kunne tjene som Control for Forcering af Hastigheden ud over tilladelige Grændser, hvad der turde være af Betydning overfor Misbrug f. Ex. af Centrifuger.

Jeg betegnede mit Forsøg med Rotationsbarometret som en Udførelse af Torricellis Forsøg med Anvendelse af Centrifugalkraften i Steden for Tyngdekraften. Paa samme Maade har jeg udført Daltons Forsøg til Maaling af mættet Damps Tryk; efter at have afsluttet de ovenfor beskrevne Forsøg, bragte jeg nemlig lidt Æther (omtr. 2 Mg.) ind i Barometerflasken Nr. 2 og anbragte derefter Barometret som før i Rotationsapparatet. Sættes dette i Bevægelse, vil Kviksølv drives ud af Flasken ved en mindre Rotationshastighed end før, idet det før tomme Rum nu udfyldes med mættet Ætherdamp. Nu vil Afstanden $r_1 - r_2$ (Fig. 9) afhænge af Størrelsen $\frac{B-P}{\omega^2}$, hvor B er Barometerstanden, P mættet Ætherdamps Tryk, paa samme Maade som før af $\frac{B}{\omega^2}$. Derimod kan dette ikke længer forudsættes om Vægten Q , da man ved samme Værdi af Forholdene $\frac{B-P}{\omega^2}$ og $\frac{B}{\omega^2}$ faar saa forskellige Værdier for ω , at de frie Overflader hælde kjendelig forskjelligt i Rørene, hvorfor Q ikke kan paaregnes at faa samme Værdi. I et Apparat med kalibriske Rør vilde der let kunne beregnes de fornødne Korrektioner, men med det benyttede Apparat kan Beregningen kun foretages grovt. Jeg vil derfor ikke gjengive Enkeltheder ved Forsøgene, men kun bemærke, at disse faldt ud ganske efter Forventning, baade hvad Indflydelsen af Variationer i Hastighed og i Temperatur angaar. Temperaturen, der her selvfølgelig faar en stor Indflydelse, blev maalt ved før og efter Rotationen at anbringe et Thermometers Beholder i et Hul i Skiven.

IV. Tilvejebringelse af en i Forvejen given Hastighed. Stemmegafflers Svingningstid.

Stemmegafflens Svingninger ere tidligere paa flere Maader bragte i Forbindelse med roterende Bevægelser, dels forat maale Omløbstallet, naar Svingningstallet er givet, dels for omvendt at maale Svingningstallet ved Omløbstallet; i la Cours Tonehjul er Stemmegafflen paa en særdeles smuk Maade benyttet til at regulere Omløbshastigheden. Ved den Slags Anvendelser svinger Stemmegafflen sædvanlig ikke fuldstændig frit; idet den enten skal skrive i Sod eller under sine Svingninger støde mod Fjedre eller mod Kviksølvoverflader

for at slutte en elektrisk Strøm. Selv om det Arbejde, der kræves udført, kun er ringe, maa det dog befrygtes, at det har nogen Indflydelse paa Svingningstiden, hvorfor den Tillid, man kan have til Maalinger, som grundes paa Svingningernes Ligetidighed, begrændses, idet man umulig vil kunne sikre sig, at Gafflens Arbejde bliver det samme i forskjellige Forsøg. Jeg har derfor tilvejebragt en Methode, hvorved Omløbstal og Svingningstal bringes i Relation til hinanden under saadanne Omstændigheder, at Stemmegafflen svinger fuldkommen frit. Jeg blev ledet ind paa den Vej, jeg fulgte, ved at jeg havde skaffet mig en la Coursk Stemmegaffel for at benytte den til Maaling af Rotationshastigheder; jeg fjærnede i den Hensigt Stemmegafflens Kontaktfjeder og indrettede det saaledes, at Strømmen gik uden nogen Afbrydelse gennem Beviklingen for Elektromagneten. Paa Rotationsaxen for det Apparat, jeg benyttede (det var ikke det i denne Afhandling beskrevne), var der anbragt et Kontakthjul, d. v. s. et Tandhjul af Kobber, hvor Mellemrummene mellem Tænderne var udfyldt med Elfenben. Hjulet var i ledende Forbindelse med Axen. I et elektrisk Kredsløb var Axen, en Kontaktfjeder, der trykkede mod Hjulet, og Stemmegafflens Elektromagnet indskudte; Strømmen blev altsaa afbrudt under hvert Omløb et Antal Gange lig Tændernes Antal.

Naar Tiden t mellem to paa hinanden følgende Afbrydninger er et Multiplum af Stemmegafflens (hele) Svingningstid ϑ , vil Gafflen sættes i Svingninger. Lader man Rotationshastigheden voxe langsomt fra Nul, vil man derfor ved de smaa Hastigheder høre Stemmegafflen brumme hele Tiden; der er t nemlig saa stor, at enhver Værdi ligger nær ved et Multiplum af ϑ eller, mere fysisk talt, Virkningen paa Stemmegafflen er, at den med Mellemrum, der ere store i Sammenligning med ϑ , faar en Række Stød, der ikke tillade den at komme i Ro. Er Hastigheden bleven saa stor, at t overskrider f. Ex. 4ϑ , vil Gafflen være saa godt som taus den meste Tid og kun give en kraftig Tone ved Hastigheder, der temmelig nær give $t = 3\vartheta, 2\vartheta, \vartheta$. Bliver $t < \vartheta$, ophører al Lyd.

I Stemmegafflens Tønen har man altsaa et Kjendetegn paa en Række af Hastigheder. Ved en nærmere Undersøgelse vil det imidlertid vise sig ikke at være en meget sikker Bestemmelse af Hastigheden; Stemmegafflen vil nemlig give en kjendelig Lyd ikke blot, naar t har nøjagtig de ovenfor angivne Værdier, men ogsaa naar den er tæt ved dem. Lad os antage, at Stemmegafflens Svingningstal er n og Afbrydningernes Antal i Sek. f. Ex. $n - 3$. Er Gafflen i Hvile, vil den ved den første Strømslutning faa et Stød, som giver den en lille Bevægelse; denne Bevægelse vil voxe ved en hel Række af de følgende Strømslutninger, idet Strømpulsens først efter $\frac{1}{3}$ Sek. paany vil træffe Gafflen i dens Ligevægtsstilling og i en Bevægelsesretning, der er modsat Impulsens fra Strømmen; efter $\frac{2}{3}$ Sek. ville Impuls og Bevægelsesretning atter være ensrettede. Holdtes den ovenfor forudsatte Omløbsthastighed konstant vedlige i nogen Tid, vilde Stemmegafflen derfor svinge hele Tiden, men med periodisk Stigen og Dalen af Lydens Styrke; man vilde faa at høre en Tone

med 3 Stød i Sek. Voxer derimod Hastigheden langsomt til den Værdi, der giver n Omløb i Sek., $t = \frac{1}{n}$, vil man ikke faa de nævnte Stød at høre, men Tonens Styrke (og maaske dens Renhed) vil voxe og naa et Maximum, naar t er lig eller maaske (se nedenfor) lidt større end $\frac{1}{n}$; voxer Hastigheden yderligere, vil Styrken atter aftage. Dette Maximum af Lyd kan ikke skælnes tilstrækkelig skarpt af Øret til at kunne tjene som Kjendetegn paa den tilsvarende Hastighed, idet Øret kun kan afgjøre (og det endda næppe meget skarpt) naar Maximumværdien er passeret.

De forskellige Maxima svarende til $t = 3\vartheta, 2\vartheta, \vartheta$ har jeg kunnet konstatere ved det ovenfor omtalte Apparat, idet jeg drejede Axen rundt med Haanden og hørte Lyden i en Telefon, der stod i Forbindelse med en Mikrofon; dennes Træplade var ved en udsprendt tynd Metaltraad forbunden med den ene Gren af Stemmegafflen tæt ved dens Knudepunkt. Det viste sig vanskeligt at afpasse Hastigheden saaledes, at Lyden hørtes i længere Tid, hvoraf jeg slutter, at der ikke er noget stort Spillerum for de Hastigheder, der kunne give en kjendelig Lyd; for imidlertid at reducere Usikkerheden til et Minimum ændrede jeg Fremgangsmaaden, dels saaledes, at Apparatet blev simplere og derved konstantere i sin Virkning, dels saaledes, at Iagttagelsen af Svingningerne blev uafhængig af Hørelsen.

Den ændrede Fremgangsmaade blev bragt i Anvendelse paa det samme Rotationsapparat, der har gjort Tjeneste ved de øvrige i denne Afhandling omtalte Undersøgelser. Det tjente her til Bestemmelse af Stemmegafflens Svingningstid, idet Omløbstiden blev maalt ved Sprøjtemethoden; ogsaa her fik jeg, som det vil fremgaa af det følgende, en fortrinlig Hjælp af Stempelbevægelsen i Apparatets Staalcyliner. Apparatet var i den Tilstand, der er beskrevet S. 67; det manglede altsaa Overførelsen af Bevægelse ved Kviksølvfraktion, og under Jærnskiven var anbragt den tykke Messingskive med de fire under rette Vinkler radialt borede Huller. I hvert af disse blev der anbragt en cylindrisk Staal magnet, omtrent 5 Cm. lang og 1,4 Cm. tyk. Magneterne bleve fastholdte paa samme Maade som tidligere Rotationsbarometrene. De vendte alle ensartede Poler udad. De ydre Polflader vare afskaarne saaledes, at de laa i Flugt med Skivens cylindriske Randflade.

Disse 4 Magneter benyttedes til under Rotationen at sætte en Stemmegaffel i Svingninger. Denne blev anbragt med lodret Svingningsplan, saaledes at dens Grene pegte ind mod Skiven. Grenenes Endepunkter stode tæt ved Messingskivens Rand (Fig. 13) og

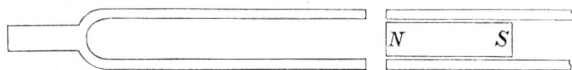


Fig. 13.

saaledes, at Polfladerne N for de i Skiven siddende Magneter under Rotationen gik forbi Mellemløbet mellem Grenene; disse ville derfor ved hver Magnetpassage mod-

tage en meget kortvarig Impuls til Bevægelsens Vedligeholdelse, saa at Stemmegafflen vil svinge saa frit, som det overhovedet kan tænkes at ske, naar dens Svingninger skulle

holdes vedlige. Det absolute Maximum af Virkning vil opnaaes, naar Tiden mellem to Impulser er lig Svingningstiden, altsaa naar Omløbstallet N er en Fjerdedel af Svingningstallet n , og naar Impulsen træffer Grenene i deres Ligevægtsstilling.

Den Stemmegaffel, jeg benyttede, blev dannet af blødt Jærn. Gaffens Længde, regnet fra Tilstødningsstedet for Skaftet, er 13 Cm., Grenene ere 1,05 Cm. brede og 0,38 Cm. tykke. Afstanden mellem Grenene er 1,5 Cm. I de fleste Forsøg blev Gaffen baaren af et Stativ, der blev støttet saaledes, at det ikke modtog Rystelser fra Rotationsapparatet. Naar Hastigheden blev godt afpasset, kunde jeg sætte Stemmegaffen i meget energiske Svingninger; der viste sig Maximum af Udsving omtrent ved Omløbstallene

$$N = 15,6 \text{ og } N = 23,4;$$

da disse Tal forholde sig som 2 til 3, sluttes det, at Svingningstallet findes af det første Maximum ved Multiplikation af Omløbstallet med 12 og af det sidste ved Multiplikation med 8. For at kunne give Stemmegaffen en Impuls ved hver Svingning, maatte der et Omløbstal 46,8 til; saa stor en Hastighed nærede jeg dog nogen Betænkelse ved at tilvejebringe; paa Grund af de Omdannelser, der vare foretagne med Apparatet, for at det kunde tjene de forskjellige i denne Afhandling nævnte Formaal, havde det mistet noget af sin Symmetri, hvorfor det ved de største Hastigheder, jeg har maalt (omtrent 40 Omløb i Sek.) gav saadanne Rystelser, at jeg ikke ansaa det for raadeligt at forcere Hastigheden meget videre. Dette maa ogsaa tages med i Betragtning ved Vurderingen af den Nøjagtighed, jeg har opnaaet ved mine Maalinger; Nøjagtigheden har kun kunnet skades ved de nævnte Rystelser; og jeg mener derfor at kunne betragte de Grændser, jeg har fundet for mine Methods Nøjagtighed som lavere Grændser for, hvad man vil kunne opnaa ved en omhyggelig Udførelse af Apparater, hvoraf ethvert kun skal tjene ét af de forskjellige Formaal, for hvilke mit enkelte Apparat har maattet gjøre Tjeneste.

Da Omløbstallet 23 falder indenfor de Grændser af Hastigheder, der kunne maales med en tilfredsstillende Nøjagtighed ved Sprojtmetoden med de Dimensioner, jeg havde givet Rotationsapparatet, valgte jeg det til Undersøgelse af den Stemmegaffel, jeg havde ladet udføre.

Stemmegaffen, som jeg indrettede til denne Undersøgelse, er med sit Stativ afbildet i Fig. 14. En vandret liggende Messingstang AB fastklemmes ved Tappen D og bærer ved den ene Ende Opstanderen BC , i hvilken Stemmegafflens Skaft kan fastskrues, og hvorpaa Klemskruen r er anbragt. Ved den anden Ende bærer AB et isoleret Messingstykke E , hvori Kontaktskruen F gaar; denne gaar med

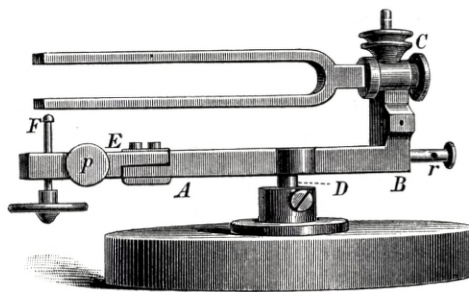


Fig. 14.

en passende Friktion, idet E er spaltet; ved Skruen p kan F derfor klemmes mere eller mindre fast i sin Møttrik. E bærer endvidere en elektrisk Klemkrue. Over Spidsen af Skruen F , der er forsynet med et kort Stykke tilloddet Platintraad, er der paa Stemmegaffen fastlodet en lille Platinplade. Forbindes de to elektriske Klemkruer med Polerne af et galvanisk Element, og indskydes i Elementets Kredsløb et Galvanoskop, vil dette sidste give tilkjende, naar der kommer Berøring mellem Stemmegaffen og Kontaktskruen F . Paa dennes Hoved var der anbragt en inddelt Kreds i Forbindelse med en fast Viser. Naar man holdt Stemmegaffen rolig i sin Ligevægtsstilling og drejede Skruen, til Galvanoskopet gav Udslag, kunde man paa Kredsen aflæse denne Skruens Nulstilling. Ved derpaa at dreje Skruen tilbage kunde man paa Kredsen aflæse Afstanden fra Stemmegaffens Ligevægtsstilling til Kontaktskruens Platintraad; Skruengangshøjden var $\frac{1}{2}$ Mm. Kommer Stemmegaffen i Svingninger, hvis Udsving naar denne Afstand, vil Galvanoskopet give dem tilkjende, medens alle mindre Svingninger ikke ville mærkes.

Stemmegaffen blev nu, efter at være anbragt paa sin Plads ved Skiven, benyttet saaledes, at man tilvejebragte en ringe Afstand mellem F og Gaffen; Sprøjteflasken med Farvestof til Hastighedsmaalingen blev anbragt i Jærnskiven i Rotationsapparatet, og Faldstangen blev hængt op i sin Elektromagnet. Ved en Kathetometerkikkert kunde Spidsen af Stempelstangen iagttages. Sættes Apparatet i Rotation, finder man uaffadelige Udslag ved smaa Hastigheder; voxer Hastigheden bliver Magneten i Ro, indtil man kommer i Nærheden af Omløbstal 15,6; da slaar Magneten energisk ud for atter at svinge tilbage og blive i Ro, til man er i Nærheden af Omløbstal 23,4, hvor der atter iagttages et vedvarende Udslag. Naar dette Udslag sees, indstilles Kathetometerkikkerten paa Stempelstangen.

Herefter fjærnes Kontaktskruen noget fra Gaffen, og man lader Hastigheden voxer eller aftage meget langsomt, saaledes at Stempelstangen passerer den før iagttagne Stilling; hvis Strømmen i Galvanoskopet herved holdes sluttet i nogen Tid, fjærnes Kontaktskruen yderligere; saaledes fortsættes, indtil man faar Kontaktskruen saa fjærnt, at man kun ved yderst langsom Variation i Hastigheden kan faa et forbigaaende Udslag paa Galvanoskopet. Naar dette er opnaaet, iagttages den Stempelhøjde, der haves samtdig med Udslaget. Afstanden fra Gaffen til Kontaktskruen vil meget nøje være lig det Maximum af Udsving, der kan naaes under de forhaandenværende Betingelser, og maales Omløbstallet i det Øjeblik, da Galvanoskopmagneten gjør sit Udslag, vil dette Omløbstal N kunne tjene til Bestemmelse af Svingningstallet.

Efterat Kontaktafstand og Stempelstilling saaledes ere bestemte, tilvejebringer man paany Omløbstallet N vejledet af Stempelhøjden. Naaes N ved for hurtig Variation, vil Stempelstangen passere Stillingen, uden at der kommer noget Udslag paa Galvanoskopet; kun hvis man opnaar at tilvejebringe N konstant eller ved en minimal Variation, opnaaes Udslaget, og naar det iagttages, bevæges Vægtstangen, der fremkalder Udsprøjtningen og

afbryder Faldstangelektromagnetens Strøm. Ved et Thermometer, hvis Beholder er anbragt mellem Stemmegafflens Grene, aflæses dennes Temperatur.

For at opnaa en konstant Hastighed har jeg dels benyttet en Jærntraadsrheostat i Motorens Kredsløb, dels bremset Motoren ved et let Tryk af en Finger og afpasset Trykket efter Stempelstangens Bevægelse for tilsidst at faa Stemplet til at standse i den forud bestemte Højde.

Jeg har undersøgt Stemmegafflens Svingningstal dels ved forskellige Udsving (fra $\frac{1}{200}$ Mm. til $\frac{1}{12}$ Mm.), dels ved forskellige Temperaturer; endelig har jeg maalt Svingningstallet af Gaffen anbragt indeni en Traadrulle med Strøm, saa at den var magnetiseret efter sin Længderetning, mens den svingede. For i forskellige Forsøg at faa forskellige Udsving stillede jeg Gaffelgrenenes Endepunkter i forskellige Afstande fra Skiven ved at dreje Gaffen om Tappen *D* (Fig. 14).

For at kunne opvarme Gaffen under Svingningerne omgav jeg den med et Paprør, hvis ene lukkede Ende var fæstet til Opstanderen *BC* (Fig. 14). Røret var lidt længere end Gaffen og var ind mod Skiven delvis lukket med en Velinplade. Kontaktskruen gik op gennem et Hul i Røret, og gennem et midtvejs paa Siden af Røret anbragt Hul var et Thermometers Beholder ført ind. Tæt ved Opstanderen *BC* var der ført et omtrent 40 Cm. langt og omtrent 2 Cm. vidt, ved begge Ender aabent Blikrør ind i Paprøret, hvorfra det gik skraat nedad; dette Blikrør blev opvarmet udvendig ved en Spritlampe og førte derved ind i Paprøret en Strøm af varm Luft, der søgte ud gennem Aabninger i den modsatte Ende af Røret. Paa denne Maade kunde jeg opvarme Gaffen til omtrent 40° C.

Det samme Paprør benyttede jeg ved Maalingen af Stemmegafflens Svingningstal, naar den blev magnetiseret, idet jeg vikledede den magnetiserende Strømleder udenom det Stemmegaffen omgivende Rør.

Jeg har udført ialt 23 Maalinger af Svingningstallet; af disse ere imidlertid de 7 første kun at betragte som Øvelsesforsøg; ved deres Udførelse blev jeg efterhaanden ledet til at benytte de i det foregaaende nævnte Forholdsregler, som jeg fuldt ud bragte til Anvendelse i de 5 Maalinger Nr. 8—12.

Maalingerne Nr. 1—5 ere udførte ved Omløbstal 15,6; de give for Svingningstallet ved 14° $N = 187,28$, den største Afvigelse fra Middeltallet er 0,49. Alle de følgende Maalinger ere udførte ved Omløbstallet 23,4.

De 5 Maalinger Nr. 8—12, som jeg har benyttet til Bestemmelse af Svingningstallet ved almindelig Temperatur, ere angivne i omstaaende Tabel, hvor tillige Temperatur og Udsving ere angivne.

Forsøg	Temp.	Udsving i Mm.	Svingningstal	
8	14°	0,020	187,44	V
9	14°	0,005	187,23	
10	14°	0,007	187,23	A
11	14°	0,060	187,28	A
12	15°	0,080	187,39	V

Af disse Tal vil det fremgaa, at hvis Udsvingets Størrelse har Indflydelse paa Svingningstallet, vil denne for Udsving $< \frac{1}{10}$ Mm. næppe andrage mere end $\frac{1}{2000}$ af Svingningstallet. Da endvidere mine Forsøg over Temperaturens Indflydelse kun vise en Aftagen af 0,026 i Svingningstallet for hver Grad, beregnes Stemmegafflens Svingningstal ved 14° og ved Udsving mindre end $\frac{1}{10}$ Mm. ved Middeltallet af de 5 sidste Tal i Tabellen til 187,31.

I den sidste Kolonne angiver V, at den rette Hastighed er naaet ved en Voxen og A, at den er naaet ved en Aftagen af Hastigheden. Tabellen viser, at den voxende Hastighed har givet de største Resultater for Svingningstallet. Da det samme, paa en enkelt Undtagelse nær, viser sig at være Tilfældet med de som Øvelsesmaalinger betegnede første 7 Bestemmelser, kan det slutes, at Maximum af Udsving saa vel ved voxende som ved aftagende Hastighed, først er naaet, kort efter at den rette Hastighed er passeret. Spillerummet er imidlertid, som det sees i Tabellen, kun meget lille, og det iagttagne Forhold giver en overvejende Sandsynlighed for, at den sande Værdi virkelig ligger mellem den højeste og den laveste af de iagttagne Værdier.

Ovenstaaende Tabel giver 0,03 som den sandsynlige Fejl, saa at man kan sætte

$$N_{14} = 187,31 \pm 0,03.$$

Ved højere Temperaturer har jeg gjort 7 Maalinger. Ogsaa her maatte jeg gjøre nogle Øvelsesmaalinger, Nr. 13—16, før jeg blev opmærksom paa en Fejl, som jeg rettede i de tre følgende Maalinger. Denne Fejl bestod i, at jeg indstillede Kontaktskruen paa Maximum af Udsving før Opvarmningen; ved denne blev Afstanden mellem Kontaktskruen og Stemmegaffen formindsket, saa at Galvanoskopets Udslag ikke svarede til Maximum af Udsving. I Maalingerne Nr. 17—19 indstillede jeg derfor Kontaktskruen, efter at Opvarmningen var bleven stationær. Resultaterne af de tre Maalinger vare

Forsøg	Temp.	Svingningstal
17	36°	186,71
18	38°	186,66
19	35°	186,81

Middeltallet heraf giver Svingningstallet ved 36°

$$N_{36} = 186,73.$$

Ved 22° Opvarmning er altsaa Svingningstallet aftaget 0,58. Temperaturkoefficienten for Svingningstallets Aftagen bliver efter dette

$$\alpha = 0,00014,$$

et Tal, der er i god Overensstemmelse med tidligere fundne Værdier. Svingningstallet ved Temperaturen t bliver

$$N_t = 187,31(1 - 0,00014(t - 14)).$$

Ved min Methode til at holde Svingningerne vedlige, bliver Stemmegafflen ganske vist magnetiseret, men i saa lille en Brøkdelen af Svingningstiden, at Magnetismens mulige Indflydelse paa Elasticiteten næppe kan have haft nogen kjendelig Indflydelse paa Svingningstiden. Da imidlertid de elektromagnetisk bevægede Stemmegaffer ofte magnetiseres stærkt og forholdsvis længe, ansaa jeg det ikke for at være uden Interesse at sammenligne Svingningstallet af Gafflen, naar den var udsat for en stadig virkende magnetiserende Kraft, med det tidligere fundne Svingningstal. Jeg magnetiserede Gafflen som omtalt S. 75 ved en begge Grene omgivende Traadrulle med 36 Vindinger, hvori der gik en Strøm af omtrent 2,7 Ampere. Da Gafflen, som ovenfor omtalt, var af blødt Jærn, blev den saaledes ret kraftig magnetiseret. Jeg har udført 4 Maalinger af Svingningstallet for den saaledes magnetiserede Stemmegaffel; Resultaterne findes opførte i nedenstaaende Tabel.

Forsøg	Temp.	Svingningstal	
20	16,6°	187,33	V
21	16,2°	187,18	V
22	16,3°	187,13	A
23	15,8°	187,03	A

Disse Forsøg kunne tyde paa, at Magnetiseringen har bragt Svingningstallet ned, og at denne Indflydelse er voxet med Tiden; dette sidste skyldes maaske en Samvirken af Svingningerne og Magnetiseringen paa Jærnets moleculære Tilstand; Forsøgene bleve udførte kort efter hinanden paa samme Dag. Som det vil sees, har Magnetiseringen i hvert Tilfælde kun haft en ringe Indflydelse. Tages Middeltallet af de 4 Forsøg, og reduceres det til 14° ved den ovenfor fundne Temperaturkoefficient, findes

$$187,23,$$

altsaa kun 0,08 mindre end det tidligere fundne Svingningstal.

Jeg har ikke fortsat Undersøgelserne af Stemmegafflen videre, hverken hvad Temperaturen eller Magnetismens Indflydelse angaar; mit Hovedformaal var her nemlig kun det i Indledningen angivne at undersøge, hvorvidt den her beskrevne Methode med tilfredsstillende Nøjagtighed kan tjene til ved en Stemmegaffel at give tilkjende, naar en forud bestemt Rotationshastighed er tilvejebragt. Af de i Tabellerne S. 76 angivne Resultater mener jeg at kunne slutte, at man med nogen Øvelse vil kunne faa den givne Hastighed tilvejebragt med Fejl, der ikke naa 1 pro mille; med mere fuldkomne Apparater, særlig hvad Afpasning af Hastigheden angaar, end dem jeg arbejdede med, antager jeg, at Nøjagtigheden kan blive betydelig større.

Endvidere godtgjøre netop disse Forsøg, at Sprøjtemethoden til Rotationshastigheds Maaling, hvorpaa alle mine Undersøgelser ere grundede, ikke lider af systematiske Fejl, naar kun den Glasspids, der skal knækkes over, er tilstrækkelig tynd, og Inertiemomentet for de roterende Dele er tilstrækkelig stort. Den gode Overensstemmelse i Resultaterne af Forsøgene tyder i og for sig paa, at Hastighedsmaalingen er paalidelig. Den eneste systematiske Fejl, der kunde befrygtes, er den allerede S. 57 omtalte, at Arbejdet til det fine Glasrørs Overbrydning kunde formindske Hastigheden kjendeligt; dette kan imidlertid ikke give nogen konstant Fejl (og kun en saadan kan paa Grund af Resultaternes Overensstemmelse befrygtes), da der i hvert Forsøg maatte benyttes et nyt Glasrør, og disse vare ingeniunde lige tykke. At det nævnte Arbejde har været forsvindende lille, fremgaar dog mest afgjørende ved en Sammenligning af Resultatet for Svingningstallet fra Omløbstallet 15,6 med Resultatet fra Omløbstallet 23,4. Det første gav nemlig som Middeltal af 6 Forsøg

$$N_{14} = 187,28,$$

og det sidste af 5 Forsøg

$$N_{14} = 187,31.$$

Arbejdet til Glasspidsens Overbrydning maa gjøre N for lille; men den procentiske Formindskelse af N maa ifølge Udtrykket for den levende Kraft ved forskellige Hastigheder og samme Arbejde forholde sig omvendt som Kvadraten paa Hastighederne. Naar nu de to Hastigheder, hvis Kvadrater forholde sig som 9 til 4, give næsten identiske Resultater, saa indsees det, at Arbejdet til Glasspidsens Overbrydning kun kan have haft en aldeles forsvindende Indflydelse paa Rotationshastigheden.

Da Stemmegafflen, som før omtalt, kan give en Bestemmelse af Hastigheden, hvor Fejlen højst er 1 pro mille og sikkert kan bringes betydelig lavere ned, sees det, at Kombinationen af en hurtig Rotation med en Stemmegaffel kan benyttes til Dannelse af en meget nøjagtig Gnistkronograf.

Jeg tvivler ikke om, at man vil kunne sætte en Jærnstang, der er anbragt vandret med sin ene Ende tæt ved Skivens Rand, og som er rettet ind mod Axen, i kraftige staaende Længdesvingninger, naar Hastigheden afpasses efter Svingningstallet; ved Maaling af Omløbstallet vil da Svingningstallet kunne findes paa lignende Maade som Stemmegafflens; mulig vil det samme kunne finde Sted ogsaa ved en Stang af andet Metal, der er armeret ind mod Skiven med en Jærncylinder. Man vil saaledes ved mange Lejligheder kunne faa en Maaling af Svingningstal, der er uafhængig af Hørelsen, og hvor det svingende Legeme svinger fuldstændig frit.

Der foreligger adskillige Undersøgelser over Stemmegafflers Svingninger, dels sammenlignende, dels absolute Bestemmelser af Svingningstallet. Svingningstallet har været absolut bestemt 1) grafisk, idet man har ladet Gafflen opskrive en Kurve i et Sodlag,

2) akustisk, idet man ved Øret har sammenlignet Stemmegafflens Tone med en Tone af bekjendt Svingningstal, 3) optisk, idet man har benyttet sig af Øjets Evne til at bevare en Eftervirkning af et kortvarigt Lysindtryk. Herved kan man, som bekjendt, tilsyneladende sammensætte to Bevægelser. Lissajous har saaledes optisk sammensat to Stemmegafflers samtidige Svingninger og derved fundet Middel til at sammenligne Svingningstallene. Poske har sammenlignet ad optisk Vej en Stemmegaffels Svingningstid med Omløbstiden for en roterende Skive¹⁾. Han benyttede en Helmholtz' Mikroskopgaffel. Det paa Gaffen anbragte Mikroskopobjektiv var anbragt tæt over en med radiale Spalter forsynet roterende Skive. Under denne var der paa en sværtet Glasstang anbragt en en Flamme spejlende Kviksølvdraabe, hvorpaa Mikroskopet var indstillet. Er Svingningstiden lig Tiden mellem to paa hinanden følgende Spalters Forbigang over Kviksølvdraaben, vil denne synes at staa stille. Er der en ringe Forskjel paa de to Tider, vil Draaben synes at gjøre langsomme Svingninger. Tælles disse i en given Tid, kan man finde Svingningstallet af Omløbstallet. Ved en beslægtet optisk Methode have Clarke og M'Leod foretaget Maalinger af Stemmegafflers Svingningstal²⁾. Poske bemærker med Hensyn til saadanne Maalinger (l. c. S. 452): «Bei jeder Bestimmung der absoluten Schwingungszahl, etwa an Stimmgabeln, kommt es schliesslich darauf an, dieselbe mit der astronomischen Uhr (resp. der Bewegung des Sekundenpendels) zu vergleichen. Da indessen beide Bewegungen von zu verschiedener Ordnung sind, um direct in Beziehung gesetzt zu werden, so liegt es nahe, nach einer andern constanten Bewegung zu suchen, welche in der Mitte zwischen beiden steht.» Det er Vanskeligheden ved at tilvejebringe en saadan i længere Tid konstant Hastighed, jeg har villet undgaa ved min Methode, idet jeg kommer i Forbindelse med Sekundpendulet ved det frie Fald, hvis Hastighed er af passende Størrelse til direkte Anvendelse ved Udmaaling af Svingningstiden. De her beskrevne optiske Methoder have det samme Fortrin som min, at Stemmegaffen svinger frit. Men uden en Maalemethode, der som min Sprøjtemethode tillader en Udmaaling til et vilkaarligt Tidspunkt af Omløbstidens øjeblikkelige Værdi, er man nødsaget til at iagttage den optisk sammensatte Bevægelse i en Tid, der er lang i Forhold til Svingningstiden. Man maa derfor til Tider meddele Stemmegaffen Impulser for at holde Svingningerne vedlige, og herved kan der fremkomme forstyrrende Faseforandringer; dernæst skal Tiden, hvori den optisk sammensatte Bevægelse iagttages, udmaales, og Omløbstiden bestemmes ved et astronomisk Ur. Det hele Apparat bliver af den Grund temmelig omstændeligt, og Arbejdet dermed vanskeligt. Endvidere vil det vanskelig kunne forenes med den optiske Methode at indeslutte Gaffen helt i et Hylster; man er saaledes ikke saa frit stillet som ved min Methode med

¹⁾ Pogg. Ann. Bd. 152, S. 448, 1874.

²⁾ Phil. Transact. Bd. 171, S. 1, 1880.

Hensyn til at undersøge forskellige Omstændigheders (Opvarmnings, Magnetiserings og Luftmodstands) Indflydelse paa Svingningstallet. Endelig vil man ikke kunne undersøge meget smaa Svingninger ad optisk Vej, hvorimod min Methode efter mine Erfaringer synes at kunne anvendes paa overordenlig smaa Svingninger, naar kun det svingende Legeme er opstillet saaledes, at det er beskyttet mod Rystelser.

Alle Iagttagere have fundet Stemmegafflens Svingningstal aftagende med voxende Temperatur. Temperaturkoefficienten afhænger sandsynligvis af Gafflens Dimensioner og Materiale. Den er af nogle Iagttagere funden lidt mindre, af andre lidt større end 0,0001 (Clarke og M'Leod fandt 0,00011), medens jeg fandt 0,00014. Hertil er at bemærke, at min Stemmegaffel var af blødt Jærn, havde forholdsvis tynde Grene og var uden Skydevægte.

Tillæg.

Jeg har gjort nogle Iagttagelser over det Hastighedstab, der lides, naar man overfører Bevægelsen fra den af Motoren direkte bevægede Axe til Rotationsapparatet ved Kviksølvfriktion paa den S. 43 omtalte Maade. Naar Hastighederne ikke længer variere, vil der være Ligevægt mellem Momentet M af Modstandene, som Rotationsapparatet møder, og Momentet F af Kviksølvfriktionen. M tør antages væsenlig at skyldes Tapfriktionen ved Tappen m (Fig. 1) og er altsaa en Friktion mellem faste Flader, som jo antages uafhængig af Hastigheden. F maa derimod som en Vædskefriktion antages at være proportional med den relative Hastighed for Beholderen dd og Skiven ee . Men denne relative Hastighed er netop Hastighedstabet $N_1 - N_2$, idet N_1 er Axen a 's og N_2 Axen f 's Omløbstal. Man kan altsaa under disse Forudsætninger sætte

$$N_1 - N_2 = CM,$$

hvor C er en af Hastigheden uafhængig Konstant. Heraf sluttes, at Hastighedstabet maa være uafhængigt af Omløbstallet.

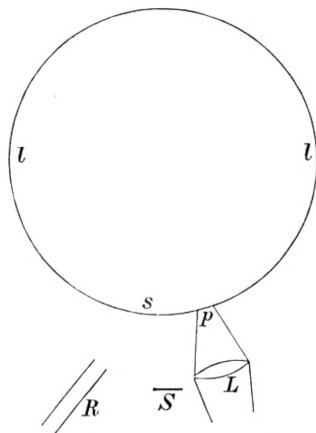


Fig. 15.

Hastighedstabet $N_1 - N_2$ maalte jeg paa følgende Maade. I Fig. 15 tænkes Jærnskiven gg og den flade Kviksølvbeholder dd begge projicerede i Cirklen ll . I Randen af Jærnskiven fæstede jeg et lille Planspejl s , hvis Normal var rettet udad fra Axen. Om Randen af den flade Kviksølvbeholder lagde jeg et Papirbaand; dette var delt i tre lige store Længder, der vare forsynede henholdsvis med 1, 2 og 3 Streger parallelle med Baandets Længderetning. Udfoldet tog Baandet sig altsaa ud som vist i Fig. 16.

Ved en Petroleumslampe og en Linse L (Fig. 15), frembragte jeg en kraftig belyst Plet p paa Papirbaandet

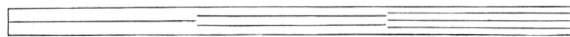


Fig. 16.

om Kviksølvbeholderen. Ved Siden af Linsen var der anbragt et fast Spejl S stillet saaledes, at det kastede Lyset fra p mod Randen af Jærnskiven. Et Rør R var rettet mod det Punkt af Jærnskiven, mod hvilket Spejlet S kastede Lyset fra p . Heraf fulgte, at man gennem R kunde se et Spejlbillede af den belyste Flade p , naar Spejlet s netop var anbragt ud for Røret. L , S og R vare anbragte i Siden af en stor Kasse, der var hvælvet over hele Apparatet for at holde uvedkommende Lys ude.

Rotere Kviksølvbeholder og Jærnskive lige hurtig, vil man en Gang under hvert Omløb gennem Røret R se stedse det samme Sted af Papirbaandet; ved lige hurtig Rotation vil Baandet derfor synes at staa stille. Gaar derimod Jærnskiven langsommere rundt end Kviksølvbeholderen, vil man for hvert nyt Omløb se et Punkt af Papirbaandet, der i Forhold til Rotationsretningen ligger bagved det i det foregaaende Omløb iagttagne; man vil derfor tro at se Papirbaandet løbe rundt i Rotationsretningen med en Hastighed, der netop er lig den relative Hastighed mellem Kviksølvbeholder og Jærnskive. Den relative Hastighed eller Hastighedstabet $N_1 - N_2$ kan derfor findes ved at tælle det Antal Gange, et af Felterne paa Papirbaandet viser sig i en given Tid.

Jeg har paa denne Maade maalt Hastighedstabet 7 Gange ved temmelig forskellige Omløbstal. I Reglen maalte jeg Tiden for 50 relative Omløb. Jeg fandt i de 7 Forsøg, idet N_1 er Kviksølvbeholderens, N_2 Jærnskvivens Omløbstal i Sekundet, de i nedenstaaende Tabel angivne Hastighedstab.

N_1	$N_1 - N_2$
22	1,03
21	0,80
24	0,87
23	0,90
8	0,73
8	0,68
23	0,71.

Stor Overensstemmelse i Værdierne af $N_1 - N_2$ kan der naturligvis ikke ventes, da Tapfriktionen vil afhænge af Smørelsens Tilstand; de tre sidste Forsøg ere udførte umiddelbart efter hinanden, og den nære Overensstemmelse, som $N_1 - N_2$ frembyder i disse Forsøg, hvor Hastighederne have været meget forskellige, viser, at Hastighedstabet i hvert Fald temmelig nær er uafhængigt af Omløbstalet.

Denne Omstændighed er af væsentlig Betydning for Anvendelsen af Vædskefriktion til Overførelse af Bevægelse fra en Axe til en anden. Nyttetvirkningen ved Overførelsen

er nemlig

$$1 - \frac{N_1 - N_2}{N_1}.$$

Naar $N_1 - N_2$ er uafhængig af N_1 , sees altsaa Nyttevirkningen at voxe med Omløbstallet; det tabte Arbejde er omvendt proportionalt med Omløbstallet. I det sidste Forsøg ved 23 Omløb i Sek. har saaledes Nyttevirkningen været omtrent 97 pCt., medens den i næstsidste ved 8 Omløb kun var omtrent 91 pCt.

Det fremgaar af disse Forsøg, at man kan overføre en roterende Bevægelse ved Kviksølvfriktion uden noget væsenligt Tab i Hastighed, naar kun Omløbstallet er stort nok. Selv om Rotationsapparatet skulde præstere et ret anseligt nyttigt Arbejde foruden det af Tapfriktionen absorberede, vilde Kviksølvfriktionen kunne arbejde med ganske god Nyttevirkning. Skulde der f. Ex. præstere et nyttigt Arbejde, der var 9 Gange Tapfriktionen, vilde ved Omløbstal 23 Nyttevirkningen endnu være omtrent 70 pCt., medens den ved Omløbstal 8 kun vilde være omtrent 10 pCt., alt under Forudsætning af, at Kviksølvfriktionen vedbliver at være proportional med den relative Hastighed.
