

Nogle Bemærkninger om Luftens Strømningsforhold.

Af **A. Colding.**

(Hertil Tab. V.)

Disse Bemærkninger grunde sig væsentlig paa Resultaterne af nogle Undersøgelser om Vandets Bevægelse i Strømme, som jeg har havt den Ære at forelægge Selskabet i Aaret 1869 og som findes optagne i Selskabets Skrifter, 5te Række, 9de Bind, III. I denne Afhandling har jeg paa viist, at naar en Vandstrøm bevæger sig paa en Cylinderflade, lodret paa dennes retlinede Elementer, og Vandstrømmen har Dybden H samt naar Vandspeilet af Strømmen bevæger sig med Hastigheden V , saa kan Strømhastigheden i Dybden x under det frie Vandspeil fremstilles ved:

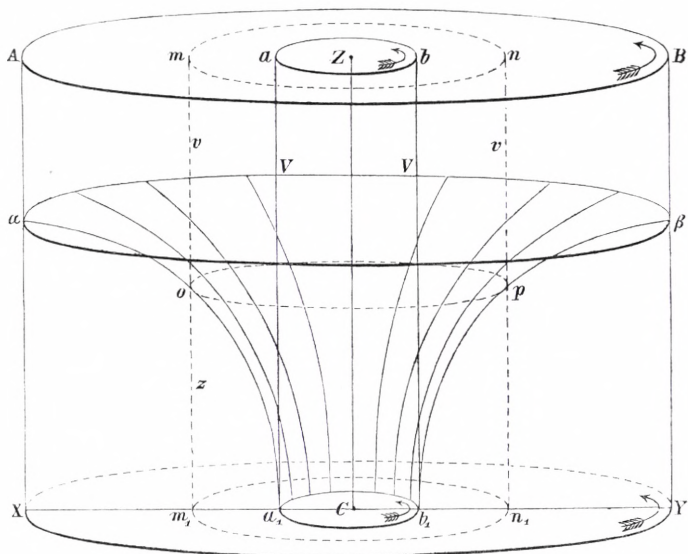
$$v = V \left(1 - 0,433 \cdot \left(\frac{x}{H} \right)^{\frac{3}{2}} \right), \dots \dots \dots (1)$$

naar Ledningsmodstanden mod Vandets Bevægelse har samme Størrelse, som den en underliggende Vandmasse vilde frembyde mod den der henover løbende Vandstrøm.

I nærværende Tilfælde ville vi tænke os den betragtede Cylinderflade at være en lodretstaaende Omdreinings-Flade $AXYB$, Fig. 1, paa hvis Inderside en Vandstrøm bevæger sig i den ved Pilene angivne Retning. Lad CZ være Cylinderens Axe og aa_1b_1b være Strømmens frie Vandspeil, som befinder sig i Afstanden $aZ = a_1C = a$ fra Axen og i Afstanden $Aa = Xa_1 = H$ fra den ydre Overflade $AXYB$, hvorpaa Strømmen roterer. Antages nu, at den frie Overflade aa_1b_1b roterer med Hastigheden V omkring Axen CZ , saa vil et hvilket-somhelst Strømelement, der befinder sig i Afstanden $mZ = m_1C = r$ fra Axen og i Afstanden $ma = m_1a_1 = x$ fra den frie Overflade af Strømmen efter hvad jeg tidligere har viist,

bevæge sig med den ved Formlen (1) bestemte Hastighed v , naar den roterende Strøm er omgivet af en ydre Vandmasse, der modsætter sig Rotationen af Hvirvlen. Det lader sig da frem-

Fig. 1.



deles bevise, at der inde i denne roterende Vandhvirvel befinder sig en tragtformig Flade $aa_1b_1\beta$, begrændset forneden af den indre Cylinderflade aa_1b_1b og foroven af den ydre Cylinderflade $AXYB$, hvori Trykket er ligestort paa alle Punkter; men foruden denne Niveauflade gives der en utallig Mængde andre Niveauflader i Vædsken, baade over og under Fladen $aa_1b_1\beta$. Alle disse Flader have imidlertid en saadan Beliggenhed, at Niveauflader $aa_1b_1\beta$ ved at forskydes parallel med Rotationsaxen CZ efterhaanden gennemløber den hele Række af Niveauflader, som dannes i den roterende Hvirvel. For en hvilkenksomhelst af disse Niveauflader er Trykket paa Eenhed af Overflade constant; men gaae vi over fra een Niveauflade til en følgende, saa aftager Trykket, dersom vi stige tilveirs, medens det voxer, naar vi bevæge os nedad imod Grundplanen XY .

For at bevise Rigtigheden heraf, ville vi betragte et Element af det roterende Fluidum, som befinder sig i Afstanden r fra Rotationsaxen og som bevæger sig med Hastigheden v . Tage vi Retningen CZ som positiv, saa haves som bekjendt, idet p betegner Trykket paa Eenhed af Overflade for det betragtede Element,

$$dp = \rho \left(-gdz + \frac{v^2}{r} dr \right),$$

naar ρ betegner Fluidets Tæthed og g Tyngdekraften. For en hvilkenksomhelst af Fluidets Niveauflader, er Trykket p constant og $dp = 0$, altsaa:

$$gdz = \frac{v^2}{r} dr, \text{ eller } \frac{dz}{dr} = \frac{v^2}{g \cdot r}, \dots \dots \dots (2)$$

uafhængigt af Tætheden ρ ; af denne Ligning samt Ligningen (1) følger umiddelbart de ovenfor fremsatte Sætninger om Vandhvirvlens Niveauflader. Naar Udtrykket for Strømhastigheden v , ifølge (1), indsættes i Formlen (2), og denne Ligning derefter integreres, idet vi sætte $r = \alpha + x$, samt for Kortheeds Skyld sætte:

$$\left[1 - 0,188 \left(\frac{\alpha}{H} \right)^3 \right] \text{nat. log.} \left(1 + \frac{x}{\alpha} \right) - 1,732 \left(\frac{\alpha}{H} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \text{arc.} \left(\text{tg} = \sqrt{\frac{x}{\alpha}} \right) \\ + 0,577 \cdot \sqrt{\frac{x}{H}} \left(3 \frac{\alpha}{H} - \frac{x}{H} \right) + 0,0625 \cdot \frac{x}{H} \left[\left(\frac{x}{H} \right)^2 - \frac{3}{2} \frac{\alpha x}{HH} + 3 \left(\frac{\alpha}{H} \right)^2 \right] = X$$

erholdes:

$$z = z_0 + \frac{V^2}{g} \cdot X, \dots \dots \dots (3)$$

hvor den arbitrære Constant z_0 sees at fremstille Værdien af z for $x = 0$, saa at Formlen (3) er Ligningen for en hvilkenksomhelst Niveauflade i det roterende Fluidum.

Betragte vi nu Formlen (1), der gjælder for Vand, ligesom Formlen (3), der er baseret paa samme, medens Formlen (2) er almindeligt gjældende, saa see vi deraf, at i en Vandhvirvel voxer Rotationshastigheden fra Hvirvlens ydre Omkreds ind imod Centrum, men ophører brat ved den indre Cylinderflade, idet Hastigheden bliver imaginær for alle Værdier af $r < \alpha$, hvortil

desuden ifølge (3), ogsaa svarer imaginære Niveauflader. Ved at passere tværs igjennem en saadan Hvirvel møder man altsaa, som det let vil sees, Forhold, der ere i Overeensstemmelse med hvad der er bekjendt fra Orkanerne under Troperne, idet Rotationshastigheden i Orkanen voxer ude fra ind imod Axen indtil en vis Afstand α fra samme, hvor Orkanen naaer sin største Voldsomhed, men hvor den mest flyvende Orkan derefter pludselig afløses af en Dødsstilhed, som vedvarer indtil man har passeret en ligesaa stor Afstand α hiinsides Axen. I det Øieblik denne Afstand er naaet, bryder Orkanen atter løs, lige saa brat og ligesaa voldsomt, som da den ophørte, men fra det modsatte Verdenshjørne, og fra nu af aftager Orkanens Styrke paa samme Maade som den tidligere tiltog. — Men ogsaa paa en anden Maade finder man en mærkelig Overeensstemmelse mellem de betragtede Vandhvirvler og Orkanhvirvlerne. Af Formlen (3) fremgaaer nemlig, at da Trykket paa Eenhed af Overflade af en hvilkenksomhelst Niveauflade er ligestort i alle Punkter af samme — og Trykket paa ethvert Punkt af den til $z_0 = 0$ svarende Flade $aa_1b_1\beta$ i Hvirvlen er ligestort med Trykket ved a_1b_1 i Grundplanen XY , — saa maa Trykket voxe, naar vi bevæge os hen over Grundplanen XY fra Overfladen a_1b_1 imod Hvirvlens ydre Overflade XY . Befinde vi os nemlig i den vilkaarlige Afstand $Cm_1 = r$ fra Axen CZ , saa have vi over os, foruden Trykket i Punktet a_1 , Trykket af en Vandcolonne af Høiden $m_1o = z$, og det er altsaa tydeligt, at Overtrykket i Afstanden $r = \alpha + x$ fra Axen, over Trykket i det stille Rum i Centrum af Hvirvlen, er udtrykt ved Vægten af en Vandcolonne af den ved Formlen (3) bestemte Høide z .

Da det nu er bekjendt fra de under Orkanhvirvler anstillede Iagttagelser, at der under disse Lufthvirvler finder ganske tilsvarende Forhold Sted, som de, jeg her har paaviist for Vandhvirvler, og da jeg tilmed i en tidligere Afhandling, som er optaget i Selskabets Oversigter for Aaret 1865, p. 1, har paaviist, at indtil den Grad af Nøiagtighed, hvormed de hidtil udførte

Forsøg over flydende Legemers Bevægelse ere blevne udførte, kunne Lovene for luftformige Legemers Bevægelse siges at være de samme som Lovene for Vandets Bevægelse, naar de stedfindende Tryktab fremstilles ved en Colonne af det Fluidum, hvormed man har at gjøre, saa troer jeg ogsaa, at der kan være Grund til at antage, at Formlen (1) ikke blot gjælder for Vand, men tillige gjælder for luftformige Legemers Bevægelse, naar Hvirvlen er omgivet af en ydre Luftmasse, der modsætter sig dens Rotation; Erfaring maa da afgjøre, om jeg har Ret i at gaae ud fra denne Forudsætning. For nu at prøve, hvorvidt denne Theori af Lufthvirvler stemmer med de virkelige Naturforhold, vil jeg sammenholde dens Resultater med de Forhold, som observeredes paa St. Thomas den 2den August 1837, da den saakaldte Antigua-Orkan, der findes beskrevet af Professor Dove i Poggendorffs Annalen d. Physik, B. 52, passerede hen over Øen og anrettede frygtelige Ødelæggelser saavel der som paa Portorico i 20 Miils Afstand fra St. Thomas.

De observerede Veirforhold, som fandt Sted under Orkanen, vare ifølge Professor Doves Angivelse følgende:

1837. Middeltid.	St. Thomas.		Portorico.	
	Barometerstand.	Vindretning	Barometerstand.	Vindretning.
1. Aug. 18h	557 Linier.	N.V.		
2. Aug. 2h 10m	555 —	N.		
3 20	554 —	N.		
3 45	554 —	N.		
4 45	552 —	N.O.		
5 40	551,5 —	N.O.		
5 45	550 —	N.V.		
6 50	528 —	N.V.		
6 55	525,5 —	N.V.		
6 45	524 —	N.V.		
7 0	524 —	N.V.		
7 10	522 —	N.V.		
7 22	518,5 —	N.V.		
7 50	517 —	N.V.		

1837. Middeltid.		St. Thomas.		Portorico.						
		Barometerstand.	Vindretning.	Barometerstand.	Vindretning.					
2. Aug.	7 ^h 35 ^m	516,5 Linier.	} Dødsstilhed.	Kl. 8.	335,28'''	N.N.O.				
	7 52	316 —								
	8 10	316 —								
	8 20	316 —								
	8 25	320 —	} S.S.O.	Kl. 9.	332,16'''					
	8 33	321 —					} S.O.			
	8 38	322 —								
	8 45	323 —					} S.O.			
	8 50	324 —								
	9 0	326 —					} Orkan.	Kl. 10.	331,03'''	
	9 10	328 —								
	9 25	329 —								
	9 35	330 —								
	9 50	331 —								
	10 10	332 —								
	10 35	333 —								
	11 10	333,25 —	} S.O.	Kl. 11.	329,9'''	Øst.				
	11 30	335,5 —								
	14 45	335 —								
	20 0	336,5 —	} S.V.	Kl. 15 $\frac{1}{2}$.	328,43'''	S.				
	21 0	336,75 —					} Øst.	Kl. 16.	332,16'''	

I Henhold til disse Optegnelser maa vi altsaa regne at Orkanen rasede fra N.V. indtil det vindstille Rum naaede Øen, og at den, efterat dens Centrum havde passeret St. Thomas, paany brød frem fra S.O. Orkanens fremadskridende Bevægelse, som vi efter de almindelige Erfaringer tør betragte som eensformig for den Tid, hvori den passerede Øen, maa i Henhold hertil antages at have gaaet i V.S.V.-Retning over imod Portorico. Bemærke vi nu, at i en saadan Hvirvel maa Lufttrykket betragtes som ligestort paa alle Punkter, der befinde sig i samme Afstand fra Rotationsaxen, samt lægge vi dernæst Mærke til, at paa den Tid, da Orkanens Centrum passerede St. Thomas, omtrent Kl. 8, var Lufttrykket der 316 Linier, medens det paa Portorico var 333,3 Linier, saa vil det sees, at i en Afstand af 20 Miil fra Orkanens Axe har Lufttrykket været 17,3 Linier større end i

Centrum. Men betragte vi videre den foranstaaende Tabel over Luftrykkene, saa vil det sees, at medens Orkanen nærmede sig St. Thomas, var Luftrykket der Kl. $4\frac{1}{3}$ Formd. af samme Størrelse som paa Portorico Kl. 8, og at dette Luftryk atter var det samme paa St. Thomas Kl. 11 Formd., da Orkanen fjernede sig fra Øen. I en Tid af $6\frac{2}{3}$ Time (fra Kl. $4\frac{1}{3}$ til Kl. 11) har Orkanen altsaa gennemløbet omtrent 40 Miil og har som en Følge heraf bevæget sig fremad med en Hastighed af omtrent 6 Miil i Timen, hvilket ogsaa stemmer nogenlunde med en Observation paa Portorico Kl. 12, hvorefter Centrum af Orkanen synes at have gennemløbet en Afstand af 20 Miil i omtrent 4 Timer.

Paa den vedføjede Tavle har jeg nu, efter den foranførte Tabel over Luftrykkene paa St. Thomas under den omhandlede Orkan, afsat Observationstiden, udtrykt i Timer, som Abscisse og det observerede Luftryk, udtrykt i Linier Qviksølvhøide, som Ordinater til en Curve, svarende til det under Orkanen stedfindende Luftryk. Ved Hjælp af de saaledes bestemte Punkter har jeg derefter draget de angivne tvende Grene af den Curve, som efter den hele Række af Iagttagelser maa betragtes som svarende til det Luftryk, som virkelig har fundet Sted under Orkanen, og idet jeg er gaaet ud fra det laveste Luftryk (316 Linier), som fandt Sted, da Orkanens Centrum passerede St. Thomas, er det tydeligt, at den saaledes construerede Curve maa kunne sammenlignes med den tidligere omtalte Curve $aa_1b_1\beta$, Fig. 1, hvis Ligning ved retvinklede Coordinater er:

$$z = \frac{V^2}{g} \cdot X \dots \dots \dots (4).$$

Da vi have seet, at Orkanens fremadskridende Bevægelse maa regnes at have udgjort 6 Miil i Timen, saa har jeg deelt Timen i 6 Dele; enhver af disse Dele svarer altsaa til en Længde = 1 Miil, og den angivne Curve kan saaledes betragtes som fremstillende Luftrykket tværs igjennem den hele Orkanhvirvel. Med Hensyn paa den saaledes construerede krumme Linie skal

jeg strax bemærke, at Curven overalt ligger indenfor de sandsynlige Feils Grændser, eftersom det udtrykkelig er bemærket i Professor Doves Afhandling, at Barometret var i en saadan Bevægelse, at Qviksølvet ved hvert heftigt Orkanstød pludseligt faldt 2 Linier, men strax derpaa atter hævede sig til den sædvanlige Høide.

Det Første, som nu viser sig, naar vi kaste Blikket paa den angivne Curves to Grene, er, at begge disse Grene kunne betragtes som symmetriske Curver med Hensyn til den Vertikallinie CZ , som Kl. 7. 52 Min. passerede St. Thomas, og denne Symmetri berettiger os derfor til at betragte Linien CZ som den Axe, hvorom Rotationen foregik. I Henhold til det saaledes Anførte maa vi altsaa antage, at Radius til Begrænsningscylinderen for det vindstille Rum i Midten af Orkanen har været $\alpha = 0,4 \text{ Time} = 2,4 \text{ Miil}$, og naar vi dernæst forudsætte, at den egentlige Hvirvel har udstrakt sig over det hele Rum, hvori Trykket aftog forholdsviis stærkt ind imod Centrum og navnlig, at Hvirvlen har naaet ud til det Punkt, hvor Luftrykket kun var 2 Linier under det normale Luftryk ($336''$), saa maa vi sætte Radius til Hvirvlens ydre Begrænsningsflade ($\alpha + H$) $= 4,4 \text{ Timer} = 26,4 \text{ Miil}$, og som en Følge deraf den roterende Luftmasses Tykkelse $H = 24 \text{ Miil}$. Under Antigua-Orkanen var altsaa Radius for det vindstille Rum $\alpha = 0,1 \cdot H$; og idet Radius til et hvilket som helst Element af den hvirvlende Masse betegnes ved $r = \alpha + x$, vil det fremdeles være let, ifølge den construerede Curve, at bestemme Størrelsen af det Luftryk, som fandt Sted paa de Steder i Orkanen som svare til $x = 0,1 H, = 0,2 H, = 0,3 H, = 0,4 H, = 0,5 H, = 0,75 H, = H$.

Ved paa Tavlen at opsøge de tilsvarende Trykhøider for den voxende Orkans Curve, findes Trykhøiderne $z = 6,0, = 10,3, = 13,0, = 14,8, = 16,0, = 17,5, = 18,4$ par Lin., og ved at opsøge disse Trykhøider i den aftagende Orkans Curve, findes:

$z = 6,6, = 10,6, = 13,4, = 15,2, = 16,2, = 17,5, = 18,2$ par. Lin.

hvoraf som Middeltal erholdes:

$$z = 6,3, = 10,4, = 13,2, = 15,0, = 16,1, = 17,5, = 18,3 \text{ p. L. Qviks.}$$

Betragte vi derefter Formlen (4), hvori X har den ved Formlen (3) bestemte Værdi, der sees at være et reent Tal, saa kunne vi ligeledes let beregne Trykhøiden z svarende til de ovenfor angivne Værdier af x og α , og naar Beregningen af z udføres, erholdes henholdsvis:

$$\begin{aligned} z &= 0,65 \cdot \frac{V^2}{g}, = 1,06 \cdot \frac{V^2}{g}, = 1,33 \cdot \frac{V^2}{g}, = 1,51 \cdot \frac{V^2}{g}, \\ &= 1,64 \cdot \frac{V^2}{g}, = 1,83 \cdot \frac{V^2}{g}, = 1,91 \cdot \frac{V^2}{g}. \end{aligned}$$

Foretage vi nu en Sammenligning mellem de beregnede og de observerede Værdier af z , saa viser det sig tydeligt, at de beregnede Værdier staae i et constant Forhold til de observerede, saaledes som Tilfældet maa være, hvis den fremstillede Theori af Lufthvirvler er correct. Sættes derfor de beregnede Værdier af z ligestore med de tilsvarende observerede Trykhøider z , erholdes forskellige Ligninger, der kunne tjene til at bestemme Constanten $\left(\frac{V^2}{g}\right)$, og deraf findes som Middeltal:

$$\frac{V^2}{g} = 9,76 \text{ p. L. Qviksølv. Naar denne Middelværdi indsættes}$$

for $\frac{V^2}{g}$ i Formlen (4) beregnes let de forskellige Trykhøider, der svare til Afstandene:

$$\begin{aligned} x = 0, \quad x = 0,1H, \quad x = 0,2H, \quad x = 0,3H, \quad x = 0,4H, \quad x = 0,5H, \\ x = 0,75H, \quad x = H. \end{aligned}$$

Disse beregnede Trykhøider findes da at være:

$$\begin{aligned} z = 0, \quad z = 6,34, \quad z = 10,35, \quad z = 12,98, \quad z = 14,74, \quad z = 16,01 \\ z = 17,86, \quad z = 18,64 \text{ p. L.,} \end{aligned}$$

medens de udførte Observationer have givet:

$$\begin{aligned} z = 0, \quad z = 6,3, \quad z = 10,4, \quad z = 13,2, \quad z = 15,0, \quad z = 16,1, \\ z = 17,5, \quad z = 18,3 \text{ p. L.;} \end{aligned}$$

der viser sig altsaa herved en saa fuldstændig Overeensstemmelse mellem de observerede og beregnede Lufttryk paa ethvert Sted

i Orkanen, at vi deraf tør drage den Slutning, at Formlen (4) er correct og at Theoriens Rigtighed bekræftes af Naturen. Men naar Theorien er correct, og vi altsaa for den betragtede Orkan have Trykhøiden:

$$\frac{V^2}{g} = 9,76 \text{ par. Linier Qviksølv} = 710 \text{ Fod Lufthøide,}$$

saa følger deraf videre, at Orkanens største Hastighed har været: $V = 149$ Fod pr. Sec., eller noget nær den største Orkanhastighed vi kjende, hvilket ligeledes stemmer med den Voldsomhed, hvormed Antigua-Orkanen rasede.

Herefter kunne vi nu ogsaa bestemme Grændserne for den egentlige Orkan, hvis Hastighed sædvanlig regnes at variere fra 120 til 150 Fod i Sec. eller derover; thi naar vi i Formlen (1) sætte $v = 120$ Fod og $V = 149$ Fod, saa finde vi den søgte Afstand $x = 0,53 \cdot H = 12,7$ Miil; den egentlige Orkan begyndte altsaa omtrent Klokken $5\frac{1}{2}$ i en Afstand af omtrent 15 Miil fra Axen og ophørte Klokken $10\frac{1}{2}$, eller $2\frac{1}{2}$ Time efterat Orkanens Axe havde passeret St. Thomas. I Professor Doves Afhandling findes det angivet, at Orkanen begyndte Klokken $5\frac{3}{4}$ og ophørte Klokken $11\frac{1}{2}$, hvilket imidlertid formodes kun at være en Angivelse efter et Skjøn; men i alle Tilfælde synes dog ogsaa Erfaringen herved at svare temmelig godt til hvad Beregningen giver. Spørge vi til Slutning om den Hastighed, hvormed de yderste Dele af Hvirvlen roterede, saa finde vi efter Formlen (1), idet vi deri sætte $x = H$, at den søgte Hastighed har været 84,5 Fod pr. Sec. eller 12,6 Miil i Timen. Sammenlignes denne Hastighed med Orkanens fremadskridende Hastighed, som vi have fundet at være c. 6 Miil i Timen, saa sees det, at Hvirvlen skred frem med en Fart, der omtrent var halv saa stor som Hvirvlens ydre Rotationshastighed. Dette Forhold peger hen paa et andet, som vi kunne iagttage, hvor en Vandstrøm gjennem en Broaabning eller lignende løber forbi et bagved Broen stillestaende Vand. Under saadanne Forhold har jeg nemlig havt Leilighed til at bemærke, at der mellem Strømmen

og det stillestaaende Vand dannes Vandhvirvler, som bevæge sig fremad, ligesom rullede af den forbiskydende Vandstrøm imod det stillestaaende Vand, og derved fundet, at Hvirvlens fremadskridende Hastighed temmelig nær var halv saa stor, som Hvirvlens ydre Rotationshastighed, der igjen omtrent var ligestor med Hastigheden af den forbiløbende Vandstrøm.

Jeg har desværre ikke videre havt Leilighed til at studere Vandhvirvlernes Bevægelse; men da det synes som om Lovene for deres Bevægelse ere overensstemmende med Lovene for Lufthvirvlernes Bevægelse, saa antager jeg, at en grundig Undersøgelse over Vandhvirvlerne efter al Rimelighed ogsaa vilde kunne give væsentlige Bidrag til Belysning af Orkanernes og Lufthvirvlernes Bevægelse.

Lad os nu betragte et Fluidum, t. Ex. Vand, som antages eensformigt roterende om en vertikal Axe; men lad os forøvrigt see bort fra Rotationen, — ligesom vi sædvanligt see bort fra Jordrotationen, hvormed vi bevæge os. Der vil da være Ligevægt i enhver af Fluidets Niveauflader, og enhver Deel, som befinder sig paa en saadan Niveauflade, vil, naar ingen ydre Kræfter træde til og forstyrre Ligevægten, være i Hvile afseet fra Rotationen. Forestille vi os derfor seilende i en Baad paa den frie Vandspeilfflade eller paa en hvilkenksomhelst dermed parallel Niveauflade, t. Ex. paa den i foranstaaende Figur 1 ved $\alpha\alpha_1\beta_1\beta$ betegnede Flade, idet Baaden forudsættes at rotere med Vandets Hastighed, saa er det klart, at da Niveaufladerne staae lodrette paa Resultanten af de virkende Kræfter, saa maa vi kunne seile op og ned af den betragtede Niveauflade med samme Lethed, hvormed vi kunne befare en horizontal Flade af et stillestaaende Vand, som ene er paavirket af Tyngdekraften.

Er dette Tilfældet, og vi dernæst betragte et Vand, som henstaaer i en Beholder under et horizontalt Vandspeil, hvorpaa Tyngdekraften er eneraadende, og tænke os en Vandmængde indledet til Beholderen i et bestemt Punkt, saa forstyrres Ligevægten ved det indtrædende Vand, og denne ind-

træder først paany, naar Vandet har fordeelt sig eensformigt under et noget høiere liggende horisontalt Vandspeil. Indstrømmer der derimod en permanent Vandstrøm i Beholderen, saa bliver Forholdet et andet, idet Vandspeilet først da antager en permanent Stand, naar Tilløb og Afløb holde hinanden i Ligevægt; men da vil Vandspeilet i Beholderen, saavel som enhver anden Niveauflade, indstille sig med et Fald ned imod Udløbet, som vil danne sig over Overkanten af hele Beholderen naar denne er fuld til Randen og Tilstrømningspunktet t. Ex. befinder sig i Midten af Beholderens Bund. I fuldstændig Overeensstemmelse hermed maa ogsaa Forholdene indstille sig i et permanent roterende Fluidum, naar der til dette finder en stadig Tilstrømning Sted; thi hvis der paa noget Punkt af en roterende Vandmasse eller et andet roterende Fluidum foregaaer en permanent Tilstrømning ude fra, saa vil Trykket i Hvirvlen forøges paa alle Punkter, idet Vandspeilet, og dermed alle de med samme parallele Niveauflader med constant Tryk, nødvendigviis maa antage en høiere Stand og et i Forhold til Tilstrømningen svarende Fald imod de oprindelige, til Ligevægt svarende Niveauflader, fra Indløbet ud i alle Retninger, hvor Fluidet kan bortstrømme.

Men naar dette er rigtigt, og vi derhos betænke, at en Lufthvirvel kun kan modstaae det ydre Luftryk, naar Rotations-hastigheden har en bestemt Størrelse, saa vil man ogsaa let indsee, baade at der langs Jordoverfladen maa tilstrømme Hvirvlen en stor Mængde Luft fra det Ydre, og at denne permanente Luftstrøm igjen maa bortstrømme til det Ydre i Retning af Niveaufladerne. Naar nemlig en saadan Lufthvirvel bevæger sig hen over Jordoverfladen, saa møder den mangfoldige Modstande, som formindske Rotations-hastigheden og give Anledning til de tilsvarende heftige Vindstød, der ere bekjendte fra Orkanerne. Den derved bevirkede Formindskelse af Rotations-hastigheden ved Jordoverfladen giver da ligefrem det ydre Lufttryk Overhaand, og dette fremkalder deels den nævnte Tilstrøm-

ning af ydre Luft, deels den Fortætning af Luften i de nedre Dele af Hvirvlen, hvorved Luften igjen drives bort imod Hvirvlens ydre Omkreds, langs Niveaufladerne, efterhaanden som den indstrømmer forneden imod Hvirvlens Centrum. Herved forklares den skrueformede Dannelse, som hyppigst iagttages ved mindre Lufthvirvler, Skypumper o. desl., idet det er en ligefrem Selvfølge, at den fra det Ydre langs Jordoverfladen indstrømmende Luftmængde under Indstrømningen bliver sat i roterende Bevægelse af Hvirvlen. Men heraf bliver det tillige klart, at den langs Jordoverfladen fremtrædende Vindretning i en Hvirvel ikke kan vise sig lodret paa Omdreiningsradien, men tværtimod maa pege hen paa den Indstrømning af Luft, som foregaaer imod Axen, og som ganske rigtigt af nogle Meteorologer er benyttet som Beviis for, at der i Hvirvelstormene finder en Indstrømning af Luft Sted imod Axen. At de langs Jordoverfladen indstrømmende Luftmængder maa bidrage til at formindske Rotations-hastigheden og foreøge Diametren af Hvirvlen er aabenbart, hvilket som bekjendt er et Forhold ved Hvirvelstormene, som vi ligeledes gjenfinde i Naturen.

Efter tidligere at have paaviist, at de samme Love, som gjælde for Vandets Bevægelse i almindelige Ledninger, ogsaa gjælde for Luftarters Bevægelse, og efter dernæst i det Foregaaende at have efterviist, at de samme Love, som gjælde for Vandets Bevægelse i Kanaler og frie Strømme i Havet, tillige gjælde for de store Orkanhvirvlers Bevægelse i Luften, anseer jeg det næsten som en Selvfølge, at Vandstrømmene i Havet og Luftstrømmene i Atmosfæren i det Hele taget følge de samme Naturlove. Idet jeg derfor i det Følgende gaar ud fra denne Antagelses Rigtighed, skal jeg nu forsøge, kortelig at give en Antydning af, hvorledes de store Luftstrømninger, der følge samme Love som de tilsvarende Havstrømninger, formeentlig bevæge sig i Atmosfæren.

Ligesom jeg i min tidligere Afhandling om Strømningerne i Havet har søgt at paavise, at den første Oprindelse til de store Havstrømninger maa søges deri, at den tropiske Hede, ved at opvarme Havvandet, formindsker dets Vægtfylde saaledes, at dets Vandspeil tvinges til at indtage en høiere Stand under Troperne, end den der kan bestaae med Vandets Ligevægt, saaledes troer jeg ogsaa at det forholder sig rigtigt, naar det almindeligt antages, at de store Hovedstrømninger i Atmosfæren fremkaldes derved, at Luften paa Grund af dens formindskede Tæthed under Æquator tvinges til at stige tilveirs til en væsentlig større Høide end den, som kan bestaae med Ligevægt imod de Luftmasser, som befinde sig udenfor de tropiske Egne. Paa Grund af Atmosfærens større Høide under Troperne end udenfor samme have Niveaufladerne i de øvre Dele af Atmosfæren paa den nordlige Halvkugle Fald imod Nord, og da Luften maa følge Faldet, saa maa de øvre Dele af Atmosfæren bevæge sig Nord hen paa den nordlige Halvkugle. Paa denne Maade opstaaer den æquatoriale Luftstrømning, som kaldes Antipassaten; men under denne Strøms Bevægelse imod Nord griber Jordrotationskraften ind og fører Bevægelsen mere og mere over i østlig Retning. Imedens Luften under Æquator saaledes stiger tilveirs og strømmer bort imod Nord og Syd i de øvre Dele af Atmosfæren strømme de kolde og vægtfuldere Luftmasser, drevne af Tyngdekraften, fra Nord og Syd langs Jordoverfladen henimod Æquator, fordi Niveaufladerne i Atmosfærens nedre Dele have Fald imod Æquator, da Lufttrykket er større udenfor Troperne end under Æquator; men atter herved griber Jordrotationen naturligviis ind og forandrer efterhaanden den nordlige Vind, som søger ned imod Æquator, til en nordøstlig Vind, som vi kalde Nordost-Passaten, og hvorom jeg her strax skal bemærke, at det sandsynligviis er denne koldere Luftstrøm, som ved sit Sammenstød med de stillestaaende, opadstigende, fugtige Luftmasser under Troperne fremkalde de voldsomme Orkanhvirvler med deres frygtelige elektriske Udladninger

og umaadelige Regnskyl, som vi kjende fra de vestindiske Farvande.

Efterhaanden som de øvre Luftstrømme i Atmosfæren komme udenfor Troperne, bliver Luften vægtfuldere og baner sig derved efterhaanden Vei imod Nord paa den nordre Halvkugle, ved Siden af de kolde Luftstrømme, der bevæge sig imod Æquator. Paa Grund af Jordrotationskraften, fremtræder Æquatorial-Luftstrømmen altsaa som en sydvestlig Vind, medens Polar-Luftstrømmen fremtræder som en nordostlig Vind paa den nordlige Halvkugle, og paa Grund deraf blive begge disse Strømme drevne frem af Jordrotationskraften, ligesom Tilfældet er med Havstrømmene. Paa begge Sider af en hvilken som helst Æquatorial-Luftstrøm løber der naturligviis en Polar-Luftstrøm i sydlig Retning, og paa begge Sider af enhver Polarstrøm paa lignende Maade en Æquatorialstrøm N.O. hen, o. s. fr. hele Jorden rundt.

Fæste vi nu Tanken paa tvende af disse Nabostømme, der bevæge sig Side om Side med hinanden i diametralt modsatte Retninger, og antage vi, at Polarstrømmen bevæger sig paa Vestsiden af den betragtede Æquatorial-Luftstrøm, saa er det klart, efter hvad jeg tidligere har anført med Hensyn til Golfstrømmen og den Vest for samme løbende Polarstrøm, at begge de omhandlede Luftstrømme stadigt have den Bestræbelse, at fjerne sig fra hinanden; naar dette alligevel ikke finder Sted, saa er Grunden den, at der under den nævnte Bestræbelse for Adskillelse opstaaer en Luftfortynding mellem begge Strømme, samt et deraf følgende formindsket Lufttryk henimod Grændsefladen for disse Strømme, hvorved der paa hvert Punkt af de nævnte Strømme netop fremkommer den Reaction, som er nødvendig for at holde Ligevægt med Rotationskraften. Fra Grændsefladen for bemeldte Luftstrømme maa derfor Lufttrykket voxe til begge Sider, naar Strømmene skulle vedblive deres Løb i deres diametralt modsatte Retninger, og Trykforøgelsen i Luftstrømmen paa en hvilken som helst Brede l fra Grændsefladen kan, naar den

maales ved en Lufthøide = h , beregnes efter den tidligere angivne, for Havstrømme gjældende Formel:

$$\frac{h}{g_l} = \frac{\sin \theta \sin^2 \omega \cdot v}{13750}, \dots \dots \dots (5)$$

hvor v betegner Luftstrømmens Hastighed paa Bredegraden θ og ω den Vinkel, som Strømretningen danner med Bredecirkelns østlige Retning, — alt i Overeensstemmelse med Formlen (70) i min Afhandling om Havets Strømme. Det saaledes Anførte viser, at Lufttrykket i disse Strømme, naar de have samme Tæthed, maa aftage henimod Strømmenes fælleds Grændseflade og at Niveaufladerne for bemeldte Luftstrømme nødvendig maa have Fald henimod den fælleds Grændse, ganske i Overeensstemmelse med hvad der finder Sted med Havstrømmene; heraf følger videre, at da Størrelsen af den mellem de to Strømmes Niveauflader dannede Kløft, er afhængig af disse Strømmes Hastighed, saa vil enhver tilfældig Standsning af en af disse Strømme give Anledning til, at denne styrter sig ned imod Nabostrømmen, enten fra N.V. eller fra S.O. og fremkalder en Hvirvel, som bevæger sig «mod Solen». Det er nemlig klart, at saalænge den betragtede Strøm vedligeholder sin Fart, holder Jordrotationskraften Ligevægt med den Kraft, som svarer til Niveaufladernes Fald henimod Grændsefladen for de to Strømme; men saasnart Farten formindskes, faaer Tyngdekraften Overhaand og Hvirvlen er da uundgaaelig. Men hertil kommer nu, at Tætheden sædvanligviis er forskjellig for de to omhandlede Strømme, idet Polar-Luftstrømmen som oftest er vægtfuldere end Æquatorial-Luftstrømmen, og Forholdet mellem de to Luftstrømme bliver derfor i det Hele ganske overeensstemmende med det Forhold, som jeg har paaviist for Golfstrømmen og Polarstrømmen langs Amerikas Kyst. Da nemlig Trykket foroven i Atmosfæren for de to Luftstrømme ikke kan være meget forskjellig, saa maa Trykket forneden i Atmosfæren blive forskjelligt for Luftstrømme af forskjellig Vægtfylde, og da en væsentlig Forskjel i Tryk ikke kan bestaae ved Siden af hinanden, bliver Følgen den,

at den vægtfuldere Strøm maa flyde til Siden ind i den mindre vægtfulde Strøm i Forhold til Overtrykket. Da nu som sagt Polarstrømmen sædvanlig er den vægtfuldeste af de to Strømme, saa følger heraf ligefrem, at der i Forhold til Polarstrømmens Overtryk over den Øst for samme løbende Æquatorialstrøm, under almindelige rolige atmosfæriske Forhold, jevnt vil indstrømme en betydelig Deel kold Luft fra Nordvest i Æquatorialstrømmen, hvis Lufttryk derved forøges saavidt den kolde Luft trænger frem. Men det vil da tillige være klart, at den saaledes indtrængende kolde Luft vil, saa langt den trænger ind i den varme, med Vanddampe fyldte Luft, fremkalde en Fortætning af disse Dampe, hvoraf en kold Regn af Nordvest eller Vest bliver Resultatet. At der under urolige atmosfæriske Forhold tillige kan danne sig Hvirvelvinde, der under ekstraordinære Forhold kunne udvikle sig til Hvirvelstørme og Orkaner med alle de dertil svarende Naturphænomener vil være ligefrem klart af det Foregaaende.

Vi have nu betragtet de Naturforhold, som maa fremtræde paa Vestsiden af en Æquatorialstrøm, naar der langs denne løber en Polarstrøm Sydvest hen, og ville derefter gaae over til at undersøge, hvorledes Forholdene maa stille sig paa Østsiden af en saadan Æquatorialstrøm, naar der langs samme gaaer en Polarstrøm i modsat Retning Sydvest hen. Først er det klart, at da Æquatorialstrømmen bevæger sig i nordostlig Retning, saa vil den være paavirket af Rotationskraften, og derfor kan denne Strøm, som foran nævnt, ikke følge den angivne Retning med mindre Lufttrykket stiger saaledes fra Vest til Øst, tværs igjennem Strømmen, som Formlen (5) bestemmer. Men paa den anden Side er det ogsaa klart af hvad der alt er anført, at den Øst for samme løbende Polarstrøm heller ikke kan følge den angivne Retning med mindre Lufttrykket i denne Strøm stiger fra Øst til Vest paa lignende Maade efter den Lov, som er angivet ved Formlen (5). For disse to Strømme have altsaa Niveaufladerne en Stigning imod hinanden, og deraf frem-

gaaer, at begge Strømme holdes opstemmede imod hinanden af Rotationskraften, idet enhver af dem søger at fortrænge den anden fra dens Plads. Ere Luftstrømmene af forskjellig Vægtfylde, saa maa, ligesom i det foregaaende Tilfælde, den vægtfuldere trænge ind i den mindre vægtfulde, og da det ogsaa her i Reglen er Polarstrømmen, som er den vægtfuldeste, saa vil det ogsaa hyppigst være denne Strøm, som trænger ind fra S.O. i Æquatorialstrømmen og giver Regn af S.O. eller S. Det hvorved Strømforholdene paa Æquatorialstrømmens Østside væsentlig adskiller sig fra Strømforholdene paa dens Vestside, er deels, at medens Lufttrykket paa Vest siden af Æquatorialstrømmen stedse er forholdsvis lavt, saa er Trykket paa Østsiden af samme Strøm stedse forholdsvis høit; men den mærkeligste Forskjel er dog maaskee denne, at endskjøndt der vel paa Overgangen imellem Æquatorialstrømmen og den Øst for samme løbende Polarstrøm kan opstaae lignende Standsninger, som de der paa Vest siden af Æquatorialstrømmen fremkalde de store Lufthvirvler, saa kan en Lufthvirvel af nogen Betydenhed dog aldrig dannes paa Østsiden af Æquatorialstrømmen, fordi Tyngdekraften her virker i samme Retning som Centrifugalkraften altsaa til Spredning af Luftmasserne, medens den paa Vest siden virker imod Centrifugalkraften og holder Luftmasserne sammen. Lægge vi nu herved fremdeles Mærke til, at det ligger i Sagens Natur, at de Hvirvelbevægelser, som vilde danne sig paa Østsiden af en Æquatorialstrøm, maatte rotere «med Solen», medens de Hvirvler, som dannes paa Vest siden af en saadan Strøm maa rotere «mod Solen», saa seer man heri tillige Grunden til, at alle Storm- og Orkanhvirvler maa rotere mod Solen, paa den Maade som Erfaring har lært.

Forestille vi os nu, at vi befinde os i en Polar-Luftstrøm, og under normale Forhold bevæge os derfra i vestlig Retning henimod Æquatorial-Luftstrømmen, saa ville vi efter det Foranførte, fra en forholdsvis kold og tør nordostlig Vind med høi Barometerstand, under stigende Lufttryk efterhaanden finde Vinden

at nærme sig Øst og derefter under et lidt aftagende Lufttryk at gaae over til en regnfuld sydøstlig, noget mildere Vind. Under stadigt aftagende Lufttryk, med mildere og fugtigere Luft, gaaer Vinden gennem Syd over til S.V., og vi befinde os da i den sydvestlige Æquatorialstrøm, hvori der er en lav Barometerstand og en forholdsviis høi Varmegrad. Bevæge vi os derefter videre Vester hen, saa aftager Lufttrykket stadig uden at Vindretningen forandres; men efterhaanden begynder Lufttrykket at stige, medens Vinden bliver mere vestlig og noget koldere; under bestandig stigende Lufttryk gaaer Vinden gennem Vest over til en kold, regnfuld, nordvestlig Vind. Vedblive vi Bevægelsen imod Vest, saa stiger Lufttrykket yderligere, Vinden bliver endnu mere nordlig, Luften klarer op, og vi komme tilsidst, under bestandig stigende Lufttryk gennem nordlig Vind ind i den følgende nordøstlige Polarstrøm. Bevægede vi os omvendt fra Vest imod Øst, vilde aabenbart de modsatte Forhold vise sig. — Hvad jeg hermed har villet vise er, at dersom vi under normale Forhold, reise fra Øst imod Vest, saa ville vi efterhaanden see Vindretningen at forandre sig paa den Maade, som Professor Dove har angivet i sin bekjendte Dreiningslov, hvorefter Vinden hyppigst dreier sig i Retning med Solen, og at vi ved omvendt at reise fra Vest til Øst, ville see Vindretningen forandre sig efter den modsatte Lov. Da nu Doves Dreiningslov i det Hele har fundet Bekræftelse ved de lagttagelser, som derover ere blevne udførte i forskjellige Lande*), saa ledes man deraf til at antage, at Atmosfæren snart har en Bevægelse fra Vest til Øst og snart en Bevægelse fra Øst til Vest omkring Jorden, hvad der i og for sig synes ganske rimeligt, men man ledes tillige til den Slutning, at den østlige Bevægelse er den overveiende. At dette ogsaa virkelig forholder sig saaledes, haaber jeg det Følgende skal lægge klart for Dagen. Af hvad jeg i det Foregaaende har anført er det nemlig

*) see Professor Holtens Afhandling i Vidensk. Selskabs Overs. for 1865, p. 113.

klart, at hvis de bevægede Luftmasser, som føres frem fra de lavere til de høiere Bredegrader af de æquatoriale Luftstrømme, vare ligestore med de Luftmasser, som de polære Luftstrømme føre tilbage fra de høiere til de lavere Bredegrader, — hvilket aabenbart maatte være Tilfælde, hvis Luften fra de lavere til de høiere Bredegrader ikke medførte Fugtighed, som afgives paa Veien, — saa maatte for hver enkelt Bredegrad Summen af alle de Tryk, som Jordrotationskraften vilde udøve paa de mod Polerne bevægede Luftmasser i Retning fra Vest til Øst, være ligestore med Summen af alle de Tryk, som samme Kraft vilde udøve fra Øst til Vest paa de Luftmasser, som bevægede sig fra Polen imod Æquator. I saadant Tilfælde maatte der altsaa i det Hele taget være Ligevægt mellem de Kræfter, som hver for sig vilde bevæge Atmosfæren i østlig og vestlig Retning. Anderledes stiller Forholdet sig derimod i Virkeligheden, da den Luftmasse, som bevæger sig imod Polerne, medbringer en betydelig Deel Vanddampe, hvorved den mod Polerne strømmende Luftmængde stedse bliver væsenligt større end den Luftmængde, som paa hver enkelt Bredegrad gaaer tilbage imod Æquator. Følgen heraf er aabenbart den, at Atmosfæren i sin Heelhed, ved det stedfindende Overtryk fra Vest imod Øst, maa bevæge sig fra Vest til Øst omkring Jordens faste Overflade; og Følgen deraf er igjen den, at den Doveske Dreiningslov for Vinden nødvendigviis maa være en Naturlov.

Hvad heraf yderligere kan udledes angaaende de sandsynligt indtrædende Vind- og Veirforhold, skal jeg for Øieblikket ikke gaae videre ind paa; at dette muligt vil blive ikke saa ganske lidt mere end hvad vi hidtil have kunnet vide derom, synes imidlertid at være temmelig klart.
