

Fastlandenes og Verdenshavenes Fordeling forklaret ved matematisk Analyse.

Ved
Niels Filskov.

Kilder: Professor *Loves* Adresse til Medlemmerne af den matematiske Sektion ved British Associations Meeting 1907, *Oliver Lodge*: Shapes of Continent and Ocean, *W. Thomson* and *P. G. Tail*: Natural Philosophy, *P. S. Laplace*: Oeuvres complètes o. fl. a.

Kaster man Blikket paa et almindeligt Verdenskort, vil man næppe kunne undgaa at lægge Mærke til visse ret fremtrædende Ejendommeligheder ved Landets og Vandets Fordeling, f. Eks.: De store Kontinenter paa den nordlige Halvkugle i Modsætning til den sydlige Halvkugles landfattige Regioner, Misforholdet mellem Hav og Land, idet hint dækker omtrent tre Fjerdedele af hele Jordens Overflade, Det store Oceans mægtige Flade, der i Forening med det tilstødende sydlige Ishav strækker sig over omtrent to Femtedele af vor Klode, Afrikas og Amerikas Tilspidsning mod Syd og sidstnævnte Kontinents sydlige Halvdels skæve Stilling i Forhold til dens nordlige Halvdel, den antipodale Beliggenhed af Land og Hav, saaledes det arktiske Oceans i Forhold til det antarktiske Kontinent, Australiens i Forhold til Midtatlanten o. s. v., medens den nødvendige Undtagelse til Bekræftelse af denne Regel kun repræsenteres af et Stykke Amerika syd for en Linie fra et Punkt nær ved Titikakasøen til Buenos Ayres og et Hjørne af Østasien, beliggende mellem Bangkok, Baikal-søen og Kiautschou, idet disse to Kontinentdele er de eneste større Landstrækninger, der ligger antipodalt.

Fig. 1 i omstaaende grafiske Fremstillinger angiver Fordelingen af Land og Vand paa Jordens Overflade, hvis Havniveauet sank saadan noget som 2560 Meter, og i det Tilfælde vilde Kontinenter og Oceaner indtage lige store Fladerum. Som man vil bemærke, er Landet betegnet med Skravering. En Del mindre Øer er ikke afsat, ligesom ogsaa nogle faa Enklaver af dybt Vand er udeladt, saaledes to i Middelhavet, en i det nordlige Ishav og andre i den Meksikanske Bugt og det Karibiske Hav. — Som det fremgaar af dette Kort, vilde der med et saadant Havniveau kun eksistere to Kontinenter: Paa den nordlige Halvkugle et mægtigt Fastland med bredtunge Udløbere mod Syd, paa den sydlige Halvkugle en forholdsvis smal næsten lige afskaaren Landstrimmel langs Polen.

Asien og Amerika vilde være forenet over Beringsstrædet, Evropa løbe sammen med Nord-Amerika over England, Færøerne, Island og Grønland, og Australien staa i Forbindelse med Asien over Borneo og Ny Guinea mod Nord, mens den vilde støde tæt op til det antarktiske Kontinent over Ny Zeeland mod Syd. Endvidere fremgaar det af Kortet, at Amerika under disse Forhold ikke vilde løbe ud i en Spids mod Syd men brede sig haleformigt mod Øst og kun ved en smal Kanal være skilt fra Fastlandet ved Sydpolen.

Sank Havniveauet endnu dybere, vilde man faa Jordklodens Overflade delt i et eneste sammenhængende Fastland og to Oceaner, der begge tilsammen indtog et Fladerum omtrent lige saa stort som den kontinentale Region. Fig. 2 viser denne Fordeling, saaledes som den vilde arte sig, naar Konturkurvernes værste Uregelmæssigheder glattes ud.

Kort som omstaaende har sin store Interesse baade for Geologien og Geografien. Man har da ogsaa i den nyere Tid fremstillet adskillige af dem — særlig i Tyskland, der i Berghaus's Physikalischer Atlas ejer et første Rangs Arbejde af den Slags. Paa Grundlag af saadanne Værker lader der sig lettere udarbejde Kort over Verden i forskellige geologiske Perioder saaledes som f. Eks. Neumars Kort over Jorden i Jura-tiden. Som Prøve paa, hvilke Oplysninger et saadant Opus kan give om Fortiden, kan anføres følgende: Danmark i egentlig geografisk Forstand blev først til efter Istiden, for adskillige Aartusinder siden var England en Del af det europæiske Fastland og Hampshirestrømmene Bifloder til Seine, der først mandede ud i Havet langt hinsides Scilly-øerne, paa samme Tid forenede Themsens sig med Rhinen og havde sit Udløb i Nærheden af Færøerne osv. osv.

Men trods de forskellige Ændringer, Fordelingen af Hav og Land saaledes aldeles uomtvisteligt har været underkastet gennem Tiderne, er det dog

den herskende Mening mellem Geografer og Geologer nu om Dage, at de store kontinentale Regioner i det væsentlige altid har haft den samme Beliggenhed og Konfiguration. De gængse Anskuelse herom turde maaske kort og godt formuleres som følger:

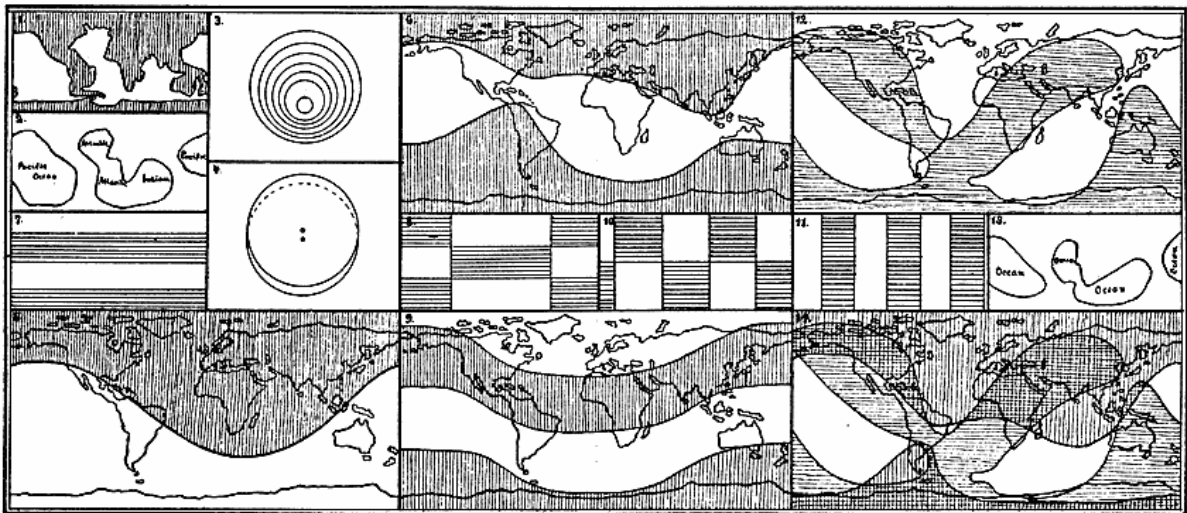
»Fastland og Havbund har ikke, som nogle formener, hyppigt skiftet Plads.

Tværtimod; Fastlandenes Beliggenhed har været bestemt og deres Omrids skitseret lige fra Begyndelsen; og deres Former er, om end med mange Svingninger, bleven udviklet gennem alle geologiske Perioder.

ninger og Sænkninger kan dog ikke forud nøjere bestemmes, da de forskellige Aarsager, hvori de bunder, kan kombineres paa flere Maader. Men til de forskellige Kombinationer svarer forskellige terrestriske Overfladeformer, hvoraf den eksisterende er en.

Det kan altsaa paavises, at hævede og sænkede Regioner er en Nødvendighed i Kraft af simple fundamentale Aarsager, som formidler den Form og mer eller mindre permanente Karakter, de har.

Paavisningen af disse Aarsager blev først mulig i deres Helhed efter at Jeans for fem Aar siden havde fremsat sin Teori om gravitationel Insta-



Fastlandets og Havbundens Oprindelse er meget uklar.«

Men denne Uklarhed har Sir George Darwin og Professor Love nu søgt at kaste Lys over ved en genial matematisk Analyse. Resultatet af deres Arbejde foreligger i et Foredrag, som Professor Love i Egenskab af Præsident for den matematiske og fysiske Sektion ved »British Associations Meeting« i Leicester i Fjor holdt for de forsamlede Sektionsmedlemmer.

Det er en dynamisk Teori om Fastlandets og Havbundens Oprindelse, Darwin og Love har opstillet. De har opdaget Aarsager, der kan forklare permanente Hævninger paa visse Steder af Jorden og permanente Sænkninger paa andre Steder, og de har fundet matematiske Udtryk for de samme Hævninger og Sænkninger. Stedet for disse Hæv-

biliter. Denne Teori gaar i Korthed ud paa følgende:

I et Legeme, der ikke overalt har samme Tæthed, vil de tættere Dele udøve en større Tiltrækning end de mindre tætte. Deraf følger, at Legemets Masse i stedse stigende Møn vilde drages henimod de Steder, hvor Tætheden er størst, og bort fra de Steder, hvor den er mindst, om ikke en Modstand, tilstrækkelig stærk til at hindre dette, gjorde sig gældende. Men en saadan Modstand vil netop opstaa som en naturnødvendig Følge af selve Massekoncentrationen og tiltage i samme Grad som denne. Thi Koncentration af Massen betyder jo Sammenpresning; men en saadan lader sig som bekendt ikke iværksætte, uden at det sammenpresede Stof yder Modstand, og det desto mere, jo stærkere Kompressionen ytrer sig. Deraf følger, at

der i et Legeme, som ikke overalt har samme Tæthed (Jorden), maa optræde to hinanden modvirkende Kræfter: Gravitationen, der søger at hidføre en Tilstand af Instabilitet, og Kompressionsmodstanden, der søger at hidføre en Tilstand af Stabilitet. Saa-danne Kræfter er godt kendte fra analoge Tilfælde: I en spændt Staalfjeder modvirker Tryk og Elasticitet hinanden, et Straa anbragt skraat op mod en Væg, bugner stærkt under sin egen Vægt, medens en Strikkepind af samme Tykkelse og anbragt i samme Stilling ikke udviser nogen kendelig Bøjning, idet dens Elasticitet yder langt større Modstand mod Tyngdekraften end Straaets.

Man vil heraf forstaa, at der maa være et bestemt Forhold mellem et Legemes Størrelse, de Kræfter, der søger at hidføre en Tilstand af Instabilitet i dette Legeme, og den Modstand, det yder mod disse Kræfter \circ : hvormed det modsætter sig enhver Forandring i Størrelse og Form. Et planetarisk Legeme, der ikke kan yde Kompressionen tilstrækkelig Modstand, kan derfor ikke eksistere som en Kugle, men maa forme sig saaledes, at Overfladen kun tilnærmelsesvis er sfærisk. Et saadant Legeme kan man tænke sig dannet af kontinuerlige Lag af tynde, næsten sfæriske Flader. Disse Lag vil imidlertid ikke være koncentriske, men antage Former som vist i Fig. 3 \circ : være sammentrængte i den ene Side og spatierede i den modsatte. Følgen heraf maa blive, at Gravitationscentret falder uden for det geometriske Centrum og kommer til at ligge over mod den Side, hvor Lagene er sammentrængte.

Nu er Spørgsmaalet: Hvor ringe maa et saadant Legemes Modstand mod Kompressionen være? Svaret, der foreligger som et Resultat af temmelig indviklede matematiske Beregninger, lyder som følger: Er Legemet af samme Størrelse og har samme Masse som Jorden, kan dets Kompressibilitet ikke være mindre end Granitens. — Et Legeme af Størrelse som Jorden og med en lignende Masse som denne, vil altsaa være i en Tilstand af gravitationel Instabilitet, hvis dets Bestanddele er mindst lige saa sammentrykkelige som Granit. Det vil i saa Tilfælde antage en Form som vist i Fig. 4, saaledes at dets Gravitationscentrum falder uden for dets geometriske Centrum \circ : er ekcentrisk beliggende.

Gaar man nu ud fra, at Jorden engang har været lige saa kompressibel som Granit, maa dens Gravitationscentrum altsaa i Følge ovennævnte Teori af Jeans falde uden for dens geometriske Centrum;

og da en Vandansamling paa dens Overflade nødvendigvis maa lejre sig symmetrisk omkring det første af disse Punkter, vil denne Vandsamlings Krumningscentrum altsaa ikke falde sammen med den faste Jords. Derfor maa Havet være mere paa den ene Side af Jorden end paa den anden, om man kan udtrykke sig saaledes; og paa denne Maade kan man forklare det store eller stille Havs Eksistens.

Men de kontinentale og oceaniske Regioners Beliggenhed er ogsaa afhængig af andre Faktorer end den gravitationelle Instabilitet. Der er saaledes Jordens Rotation, i Kraft af hvilken vor Klode, der (om den ellers havde samme Tæthed overalt) under Gravitationens Eneindflydelse vilde forme sig som en Kugle, forvandles til en Sfæroide. Havde Jorden været fuldkommen stiv, før ovennævnte Faktor begyndte at gøre sig gældende, vilde Sfæroideformen være fremkommen alene derved, at Vandet ophobedes centrifugalt under Ækvator, og Resultatet var saaledes blevet: Dybt Hav under Troperne og tørt Land ved begge Poler. — Den Kendsgerning, at Hav og Land ikke er fordelt saaledes, turde vel tilstrækkelig bevise, at Jorden den Gang var og muligvis endnu er i Stand til at give efter for Centrifugalkraften. Imidlertid har Rotationen dog, som vi har set, haft den Indflydelse, at saavel de arktiske som de antarktiske Regioner bliver kontinentale, hvis Havniveauet sank de ovenfor omtalte 2560 Meter. — Men foruden den førnævnte saa almindelig kendte Virkning af Rotationen er der ogsaa en anden, som bestaar deri, at de tættere Dele af den faste Klode har Tilbøjelighed til at fjærne sig mere fra Aksen end de mindre tætte. Hvis nu den ene Halvsfæroide som Følge af gravitationel Instabilitet er tættere end den anden, maa dette Forhold nødvendigvis resultere i saadan noget som en furet eller rynket Overflade. Som vi senere skal se, kan de Hævninger og Sænkninger, en saadan Overflade følgerlig maa frembyde, underkastes en eksakt matematisk Analyse og udtrykkes ved de saakaldte harmoniske Kuglefunktioner (spherical harmonics).

Jordens Afvigelse fra Kugleformen er i sin Tid bleven drevet endnu videre paa Grund af den Omstændighed, at Maanen engang har været Jorden saa nær, at den ikke behøvede stort mere end en Dag til sit Omløb (Revolution). De to Legemer maa da have bevæget sig omkring deres fælles Gravitationscentrum omtrent som et enkelt stivt

System. Som Følge heraf maa Jorden den Gang have haft en mere udtalt Ellipsoideform end nu \circ : Differencerne mellem dens tre Akser maa have været ret betydelige. Et saadant Forhold har naturligvis influeret paa Fordelingen af Land og Hav, og den første Virkning heraf maa have været en Hævning af den faste Jords Overflade ved de to Ender af Ækvators Stordiameter. Men paa Grund af Gravitationscentrets ekcentriske Beliggenhed maa der have yttet sig endnu en Virkning, som maaske har været lige saa bestemmende for Fordelingen af Land og Hav. Hermed forholder det sig saaledes: En Ellipsoides Attraktion afviger fra en Kugles paa den Maade, at den er lig Kuglens plus noget mere. Hvis nu den ene Halvellipsoide som Følge af gravitationel Instabilitet er tættere end den anden, vil dette »noget mere« virke stærkere dér, hvor Tætheden er størst. Resultatet heraf bliver det samme som det, der ovenfor paa-vises maatte følge af Rotationen: En furet eller rynket Overflade. Det er bevist, at de Hævninger og Sænkninger, en saadan Overflade maa frembyde, ogsaa kan gøres til Genstand for en eksakt matematisk Analyse og ligesom de ovenfor nævnte udtrykkes ved harmoniske Kuglefunktioner.

Af Hensyn til de ikke matematikkyndige Læsere bliver en lille Digression her nødvendig.

Enhver krum Linie eller Kurve kan betragtes som en Deformation af en ret Linie; den simpleste af saadanne Deformationer vilde forvandle denne til en jævnt buet (sinuøs) Kurve. Saadan en Kurve kan udtrykkes analytisk ved en simpel harmonisk Funktion, som man passende kunde kalde en harmonisk Kurvefunktion. Den kaldes harmonisk, fordi den repræsenterer en af de Buge, hvori en Violin- eller Guitarstreng svinger, naar den stryges eller anslaaes. Der gives mange af saadanne harmoniske Funktioner; men de repræsenterer alle en Tone, hvis Svingningstal er et simpelt Mængdefold af en given Grundtone, og danner saaledes en regelmæssig Række af analytiske Udtryk for højere og højere Toners Svingningsbuge.

Foruden den simpleste af alle en ret Linies Deformationer, den jævnt buede Kurve, gives der naturligvis mange andre; men de vil altid kunne opløses i smaa sinuøse Kurver \circ : enhver Deformation af en ret Linie kan betragtes som sammensat af jævnt buede Kurver af samme Form som Svingningsbugene paa en anslaaet Streng. Dette gælder, hvor ekceptionelt Deformationen end arter sig, f.

Eks. som en skarpvinklet Kinke. Blot maa man saa tænke sig den sammensat af overordentlig mange overordentlig smaa Kurver af ovennævnte Slags. Men deraf følger, at enhver krum Linie, ligegyldig hvor uregelmæssig den end er, blot den ikke krysses eller løber i et med sig selv, maa kunne repræsenteres ved en passende Række af harmoniske Funktioner. Det er denne Operation, dreven til det yderste, der i Matematikken er kendt som »Fouriers Theorem« — en Læresætning, der ikke blot kan betegnes som et af den nyere matematiske Analyses smukkeste Resultater, men som ogsaa er et uundværligt Hjælpemiddel ved Behandlingen af saa godt som alle vanskelige Spørgsmaal i den nyere Fysik ¹⁾.

Ligesom en krum Linie kan ogsaa en krum Flade, der kan tænkes frembragt ved Bevægelse af en krum Linie, udtrykkes ved en harmonisk Funktion. En saadan kaldes — som ovenfor nævnt — en harmonisk Kuglefunktion. Navnet hidrører fra, at den i sin simpleste Form egner sig til Anvendelse ved den matematiske Behandling af en Mængde fysiske Problemer, hvor vilkaarlige Data en Kugles Overflade vedrørende er givet ²⁾. — Paa samme Maade som man ved Hjælp af en Række harmoniske Kurvefunktioner er i Stand til at udtrykke en hvilken som helst Deformation af en ret Linie, saaledes er man ogsaa i Stand til ved Hjælp af en Række harmoniske Kuglefunktioner at udtrykke en hvilken som helst Deformation af en Kugleflade, naar blot Rækken føres op til en tilstrækkelig høj Grad. I dette Tilfælde — altsaa naar Anvendelsen af disse Funktioner ikke er indskrænket til Kugleflader alene — kalder bl. a. *William Thomson* alias *Lord Kelvin* dem for rumlige harmoniske Kuglefunktioner (Se Thomsen and Tait: *Natural Philosophy*).

Disse Funktioner, der spiller en meget vigtig

¹⁾ I den for almindelige Læsere lettest fattelige Form lyder Fouriers Sætning saaledes: »En sammensat harmonisk Funktion med en tilføjet Konstant kan anvendes til matematisk Fremstilling af en hvilken som helst periodisk Funktion og følgelig ogsaa af en hvilken som helst anden Funktion mellem bestemte Værdier af den foranderlige.«

²⁾ En harmonisk Kuglefunktion defineres som en homogen Funktion V af x , y og z , der tilfredsstiller Ligningen:

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2} = 0$$

Dens Grad kan være et hvilket som helst positivt eller negativt helt Tal, den kan ogsaa være bruden eller imaginær.

Rolle i den moderne Fysik, har været kendt og anvendt længe. Allerede saa tidlig som omkring Aaret 1785 indførte den franske Matematiker *Legendre* en speciel Art af dem, de saakaldte zonale harmoniske Funktioner, senere behandlet mere udførligt og paa en overordentlig interessant Maade af *Murphy*. Samtidig udviklede *Laplace* de almindelige harmoniske Kuglefunktioner og anvendte dem paa Problemer inden for Gravitationsastronomien, hvorfor ogsaa den Metode, hvorefter de udvikles, endnu sædvanlig kaldes den Laplaceske Koefficienters Metode (Udvikling efter harmoniske Kuglefunktioner). Senere opfandt den franske Matematiker *Lamé* i Aaret 1835 de saakaldte ellipsoidale harmoniske Funktioner og den tyske Astronom *Bessel* en anden Klasse meget vigtige Funktioner, der almindeligvis gaar under Navnet de cylindriske harmoniske Funktioner, medens den tyske Matematiker *Riemann* og andre udviklede en Teori om lignende Funktioner, der er kendt under Navnet de toroidale harmoniske Funktioner.

Efter den Tid er lignende Funktioner ofte bleven bragt i Anvendelse især paa Teorierne om Svingninger, Elasticitet og Ledning. Blandt dem, der har gjort sig særlig fortjent i saa Henseende, kan nævnes Lord Kelvin, som anvendte saadanne Funktioner saa vel i sine Studier over Distributionen af statisk Elektricitet som i sine Undersøgelser af Jordskorpens Struktur, Tilstand og Udviklingshistorie; samt George Darwin, som har gjort Brug af næsten alle de ovennævnte Funktioner i en Række Studier over terrestriske og kosmiske Problemer, af hvilke nogle staar i nøje Forbindelse med det, som Professor Love har gjort Forsøg paa at løse, og som vi nu efter denne for Ikkematikere nødvendige Digression skal vende tilbage til.

Som vi ovenfor har set, er Professor Loves Problem dette: Hvorledes maa man forklare sig den eksisterende Fordeling af Land og Vand? Hans Svar herpaa lyder: Som en Virkning af dynamiske Aarsager, idet nævnte Fordeling skyldes saadanne Deformationer af Jordens Kugleform (den polære Fladtrykning, Ækvators Ellipticitet o. s. v.), som resulterer af disse Aarsager. Problemet reduceres derved til: Hvilke af alle de mulige Kugledeformationer er nødvendige til Forklaring af den eksisterende Fordeling af Land og Vand?

Dette afgør Professor Love ved Hjælp af har-

moniske Kuglefunktioner og da først og fremmest ved Hjælp af saadanne, der repræsenterer de simpleste og mest regelmæssige Deformationer, en sfærisk Overflade kan frembyde. Professor Love kalder saadanne Deformationer for standard-typiske Kugledeformationer (standard patterns of deformation of spheres) og den Metode, han anvender til Løsningen af sit Problem, for den sfæriske harmoniske Analyses Metode. Naar undtages enkelte meget simple Tilfælde, medfører Anvendelsen af denne Metode meget vanskelige Beregninger; men med velvillig Bistand af Professor Turner lykkedes det ham at gennemføre en i grove Træk udført sfærisk harmonisk Analyse af hele Jordens Overflade, som han til dette Øjemed inddelte i 2592 lige store Arealer, hvert af omtrent samme Størrelse som Storbritannien. De Dele, der ligger over Havfladen, betegnede han med Værdien $+1$ eller en Enhed af Elevation, mens de Dele, der ligger under den Linie, Havniveauet vilde indstille sig paa, om det sank 2560 Meter, fik tildelt Værdien -1 eller en Enhed af Depression. De mellemliggende Arealer gav han Værdien 0. Derpaa analyseredes de enkelte Dele som standard-typiske Kugledeformationer svarende til harmoniske Kuglefunktioner af første, anden og tredje Grad. (Sfærisk harmonisk Analyse).

Den store Fordel, Anvendelsen af den sfæriske harmoniske Analyses Metode frembyder, ligger deri, at man tager sit Udgangspunkt fra den simplest mulige Deformation af en Kugles Overflade, gaar derfra videre til en mindre simpel og saa fremdeles, indtil alle de Problemet vedkommende Deformationer paa denne Maade er bleven behandlet.

Den simplest mulige Deformation af en Kugle bestaar i en Forskydning af Overfladen til den ene Side. En saadan Deformation vilde en massiv Gummibold frembyde, der var lidt sammenpresset i den ene Side og lidt udbuget i den modsatte, saaledes at dens geometriske Centrum derved skiftede Plads, hvorimod dens Gravitationscentrum forblev uforandret. Fig. 3 giver en billedlig Fremstilling af en saadan Deformation, der altsaa kan opfattes som en ekcentrisk Forskydning. En Deformation som denne kan udtrykkes matematisk ved en harmonisk Kuglefunktion af første Grad. Heraf følger omvendt, at en sfærisk harmonisk Analyse af den faste Jords Overflade, betragtet som en standard-typisk Deformation svarende til en harmonisk Kuglefunktion af første Grad, giver til

Facit en Deling af vor Klode i to Halvsfærer: En hævet og en sænket. Desforuden angiver samme Analyse Beliggenheden af den Storcirkel, som adskiller de to Halvsfærer, samt Maksimum af denne Deformationstype i Forhold til Maksimum af en hvilken som helst anden Deformationstype. Fig. 5 giver en grafisk Fremstilling af Analysens Resultat, idet den skraverede Del saavel her som i de følgende Diagrammer betegner de hævede Regioner. Som man vil se af denne Fremstilling, er Centrum for disse Regioner beliggende i Nærheden af Krim, idet de strækker sig over det arktiske Ocean, de nordlige og centrale Dele af Atlanterhavet, Evropa, Asien, Afrika, det meste af Nordamerika og en ringe Del af Sydamerika. — Det stærkt udtalte Misforhold mellem Landarealerne paa den nordlige og den sydlige Halvkugle staar i Forbindelse med den Omstændighed, at ovennævnte Elevationscentrum ligger ca. 45° nord for Ækvator; medens den Kendsgerning, at det store eller stille Hav sammen med det tilstødende sydlige Ishav strækker sig længere mod Syd end mod Nord, staar i Forbindelse med den Omstændighed, at det tilsvarende Depressionscentrum ligger ca. 45° syd for Ækvator. Som vi ovenfor har set, kan jo ogsaa selve det store Hav Eksistens forklares ud fra den her behandlede Deformation af Jorden betragtet som en Kugle, idet dens Gravitationscentrum da vilde ligge nærmest den Side, hvor dette Hav befinder sig.

En mindre simpel Deformation end den, der svarer til en harmonisk Funktion af første Grad, vilde man faa ved at sammenpresse eller udstrække en Kugle ulige meget i Retninger af to paa hinanden vinkelrette Diametre. Kuglen vilde da forvandles til en Ellipsoide σ : et Legeme, i hvilket alle plane Snit er Ellipser. En saadan Deformation lader sig udtrykke matematisk ved en harmonisk Kuglefunktion af anden Grad. — En sfærisk harmonisk Analyse af vor Klode, betragtet som en Ellipsoide eller — hvad der er det samme — som en standard-typisk Deformation svarende til en harmonisk Kuglefunktion af anden Grad, giver følgende Resultat: Langs Ækvator en bugtet Sænkning med to Forsnævninger og to mægtige Basiner. Denne Sænkning, der mest af alt ligner et umaadeligt Middelhav, skiller den nordlige Hævning fra den sydlige. Hævningen mod Nord omfatter Asien, Evropa, det nordøstlige Hjørne af Amerika samt det arktiske Ocean og Nordatlanten. Hævningen

mod Syd omfatter en Del af Australien, det meste af Sydamerika og saa for Resten det antarktiske Ocean og den sydlige Del af det store eller stille Hav. Fig. 6 giver en grafisk Fremstilling af Analysens Resultat. Som forventet ligger de ækvatoriale Hævninger nær ved Enderne af en Diameter.

Saa har vi endnu tilbage den Deformation, der svarer til en harmonisk Kuglefunktion af tredje Grad. Den kan arte sig paa mange forskellige Maader, men af disse er kun fire af Betydning for Løsningen af Professor Loves Problem, hver af dem er en Standardtype paa Deformation.

Den første af hine Typer fremtræder som en Deformation i Zoner, saaledes at et hævet Bælte langs et Sæt Breddekrese veksler med et sænket Bælte langs et andet Sæt. Zonerne Beliggenhed bestemmes ved en sfærisk harmonisk Analyse af Jordens faste Overflade, betragtet som en standard-typisk Deformation svarende til en harmonisk Kuglefunktion af tredje Grad. Fig. 7 giver en grafisk Fremstilling af Analysens Resultat. Som man ser, er de arktiske Regioner hævede og de antarktiske sænkede, mens de øvrige er delte i to Zoner, en hævet og en sænket. Man mærker sig, at Bælterne kun er begrænsede af tre Cirkler, nemlig Ækvator og to Paralleller, den ene beliggende ca. 50° mod Nord, den anden lige saa langt mod Syd. Ved at gøre en Rejse omkring Jorden langs med en Meridian, saaledes at man overskred Ækvator under en ret Vinkel og passerede begge Poler, vilde man altsaa — under Forudsætning af denne Deformation klart udtalte Tilstedeværelse paa vor Klode — tre Gange møde en saa temmelig sinuøs Hævning og ligeledes tre Gange møde en saa temmelig sinuøs Sænkning. — Det arktiske Oceans og det antarktiske Kontinents Eksistens samt Misforholdet mellem Landarealerne paa den nordlige og den sydlige Halvkugle staar i Forbindelse med denne teoretiske Deformation af Jorden. Det matematiske Udtryk for en saadan Deformation gaar under Navnet en zonal harmonisk Funktion. Som vi ovenfor har set, blev de første Funktioner af denne Art udviklet af den franske Matematiker Legendre omkring Aaret 1785.

Den anden af de førnævnte fire Typer fremtræder som en Deformation i Halvzoner, hvis Beliggenhed ligesom for Helzonerne Vedkommende bestemmes ved sfærisk harmonisk Analyse. Resultatet af denne Analyse foreligger i Fig. 8. Som man ser, er Jordens Overflade delt i seks Halv-

zoner ved Hjælp af en fuldstændig Meridiancirkel og to Breddekrese, den ene ca. 27° nord for Ækvator, den anden lige saa langt syd for samme. Halvzonerne er vekselvis hævede og sænkede. En saadan Deformation kan udtrykkes matematisk ved en saakaldt tesseral harmonisk Funktion.

Det kombinerede Resultat af de to sidste Deformationstyper er fremstillet grafisk i Fig. 9. Det udviser en furet Overflade med en sænket arktisk Region, der buer mod Syd i Retning af Atlanterhavet. En hævet Region bugter sig derefter som et bredt Baand over den sydvestlige Del af Nordamerika, den nordøstlige Del af Sydamerika, Midtatlanten, Afrika og det meste af Asien. Saa følger en sænket Region med samme Bredde og Bugtning som det hævede Region ovenover. Og endelig en hævet antarktisk Region, der buer mod Nord i Retning af Australien. — Dette kombinerede Resultat repræsenterer den ovenfor omtalte furede eller rynkede Overflade, der skyldes de to samvirkende Aarsager: Jordens Rotation og den eksentriske Beliggenhed af dens Gravitationscentrum.

Den tredje af de Standardtyper, der svarer til en harmonisk Kuglefunktion af tredje Grad, fremtræder som en Deformation i Oktanter σ : otte Kvadrater. Deres Beliggenhed, bestemt ved sfærisk harmonisk Analyse, vises i Fig. 10. Ved Hjælp af Ækvator og to fuldstændige Meridiancirkler er Jordens Overflade delt i otte Felter, der vekselvis betegner hævede og sænkede Regioner. En saadan Deformation lader sig ogsaa udtrykke ved en tesseral harmonisk Funktion; men denne er af anden Orden til Forskel fra den førnævnte, der er af første. — Denne Deformation i Oktanter er i særlig Grad interessant. De fire skraverede Felter falder nemlig i det hele og store sammen med de fire kontinentale Hævninger, kendte henholdsvis som Nordamerika, Sydamerika, Asien—Evropa og Australien, mens de fire blanke Felter saa omtrentlig falder sammen med de fire oceaniske Sænkninger, kendte henholdsvis som Atlanterhavet, det indiske Hav, den nordlige og den sydlige Del af det store eller stille Hav. Den samme Deformation staar ogsaa i Forbindelse med Sydamerikas østligskraa Stilling i Forhold til Nordamerika.

Af de fire ovennævnte tredje Grads Standardtyper, som er af Betydning for Løsningen af Professor Loves Problem, fremtræder den sidste som en Deformation i Sektorer. Deres Beliggenhed, bestemt ved en sfærisk harmonisk Analyse, ses af

Fig. 11. Ved Hjælp af tre fuldstændige Meridiancirkler er Jordens Overflade delt i seks Sektorer, der vekselvis betegner hævede og sænkede Regioner. En saadan Deformation lader sig udtrykke matematisk ved en saakaldt sektorial harmonisk Funktion. — Under Forudsætning af denne Deformation klart udtalte Tilstedeværelse vilde vor Klode mest af alt ligne en kæmpemæssig skrællet Appelsin, der trods sin fantastiske Størrelse dog kun havde tre Rum; og ved at gøre en Rejse rundt om Jorden enten langs med Ækvator eller langs med en Breddecirkel vilde man tre Gange møde en saa temmelig sinuøs Hævning og ligeledes tre Gange møde en saa temmelig sinuøs Sænkning. Laver man sig en Model af en saadan Klode, vil man bemærke, at hver Hævning ligger diametralt modsat en Sænkning og omvendt. Den antipodale Beliggenhed af Land og Hav staar derfor i speciel Forbindelse med denne Deformation, ligesom ogsaa Afrikas Beliggenhed og samme Verdensdels Tilspidsning mod Syd delvis kan forklares heraf.

Fig. 12 giver en grafisk Fremstilling af, hvorledes Hævningerne og Sænkningerne vilde arte sig paa Jordens Overflade, hvis de sidste fire Deformationstyper kombineredes til en, og Hævningerne og Sænkningerne var bestemte alene af denne. Vor Klode kunde da opvise tre mægtige Højderygge, alle udgaaende fra et Knudepunkt i den sydlige Del af Atlanterhavet. En af disse vilde løbe mod Nordvest op gennem Amerika; en anden mod Nordøst op gennem Afrika og Asien; en tredje endelig mod Syd ned over det antarktiske Kontinent og derfra bøje mod Nord og løbe op over Australien lige til Japan. Svarende hertil kunde vor Klode ogsaa opvise tre mægtige Havarme, alle udgaaende fra et Bassin i det okotske Hav. En af disse vilde løbe mod Sydvest ned over Japan, Sundaerne og det indiske Ocean; en anden mod sydøst ned over det store eller stille Hav; en tredje endelig op over det arktiske Ocean og derfra bøje mod Syd i Retningen af Atlanterhavet.

Som man vil bemærke, vilde Jorden i Medfør heraf faa hin furede eller rynkede Overflade, som vi ovenfor har paavist maa resultere af, at de tættere Dele som Følge af Rotationen fjærner sig mere fra Aksen end de mindre tætte.

Vi omtalte før, at den antipodale Beliggenhed af Land og Vand staar i speciel Forbindelse med den sektoriale Funktion. Den fulde Forklaring af dette Fænomen faas imidlertid først ved en

Sammenligning af alle de beskrevne Deformationer. Af en saadan fremgaar, som man vil kunne se af de grafiske Fremstillinger, at Standardtyperne af første og tredje Grad udviser antipodal Beliggenhed af Land og Vand, Standardtypen af anden Grad derimod ikke. Og da nu tillige Maksimum af første og tredje Grads Typerne er fundet at være større end Maksimum af anden Grads Typen, maa man indrømme, at den sfærisk harmoniske Analyse kan give en smuk Forklaring af nævnte Fænomen.

Hvis man ved Kombination danner en Gennemsnitstype af alle de her behandlede Kugledeformationer, saaledes at hver enkelt af disse netop faar saa megen Lod og Del deri, som den efter sin Størrelsesgrad, bestemt ved sfærisk harmonisk Analyse, kan tilkomme, vil denne Gennemsnitstype arte sig som vist i Fig. 13, hvor Skillelinien mellem hævede og sænkede Regioner er trukket saaledes, at disse strækker sig over omtrentlig lige store Arealer. Som man vil bemærke, er der en slaaende Lighed mellem denne Figur og Fig. 2, der i simplificeret skematisk Form repræsenterer Professor Loves Problem σ : den Fordeling af Land og Vand, han ved Hjælp af sfærisk harmonisk Analyse søger at forklare som en Virkning af dynamiske Aarsager. Resultatet af Analysen falder saaledes næsten kongruent sammen med Virkeligheden. Kun et Par enkelte Steder udviser den en mindre væsentlig Afvigelse fra de faktiske Forhold. Saaledes er den beregnede Hævning altfor lille i den sydlige Del af Afrika og Amerika, hvorimod den er altfor stor i Middelhavsregionerne, omkring Nordpolen og syd for Australien. Men herfor kan anføres adskillige Grunde. Vi behøver blot at nævne, at Analysen kun er gennemført i store og grove Træk, og at mange andre Aarsager end dem, Professor Love har taget i Betragtning, kan have og sikkert ogsaa har været medvirkende ved Udformningen af de faktisk eksisterende Kontinenter og Oceaner. — I det hele og store synes Fordelingen af Land og Vand paa Jordens Overflade altsaa at kunne betragtes som en Virkning af simple dynamiske Aarsager. Konfigurationen af vore Verdensdele og Verdenshave bunder væsentlig i følgende Forhold: Gravitationscentrets eksentriske Beliggenhed, der skyldes en samtidig utilstrækkelig Kompressionsmodstand — Ellipsoideformen, der skyldes Rotationen samt den større Tiltrækning af Maanen i en fjærn Fortid, da den

var langt nærmere Jorden end nu — og endelig en Samvirkning af disse forskellige Faktorer.

For Oversigtens Skyld skal vi nu give en kort Rekapitulation af, hvad der formentlig er bleven paavist.

1) Det store eller stille Hav kan forklares ved Hjælp af den standard-typiske Deformation, der svarer til en harmonisk Kuglefunktion af første Grad.

Den dynamiske Aarsag til denne Deformation: Gravitationel Instabilitet.

2) Det antarktiske Kontinent tilligemed det store Fastland, der vilde runde sig om Nordpolen, hvis det eksisterende Havniveau sank 2560 Meter, kan forklares ved Hjælp af Jordens Ellipsoideform, alias den standard-typiske Deformation, der svarer til en harmonisk Kuglefunktion af anden Grad.

Den dynamiske Aarsag til denne Deformation: Rotation og en tidligere større Tiltrækning af Maanen.

3) De øvrige Kontinenter og Verdenshave kan forklares ved Hjælp af fire standard-typiske Deformationer, der svarer til harmoniske Kuglefunktioner af tredje Grad.

Den dynamiske Aarsag til disse Deformationer: Gravitationel Instabilitet, Rotation og en tidligere større Tiltrækning af Maanen.

Som man heraf vil se, er Problemet om Fordelingen af Kontinenter og Oceaner bleven overraskende simpliceret ved Professor Loves Analyse, ja turde praktisk set være løst.

Som vi i Begyndelsen af denne Fremstilling understregede, har de store kontinentale Regioner sikkert altid haft væsentlig den samme Beliggenhed og Konfiguration — men ogsaa kun væsentlig. Thi, som vi sammesteds hævdede, har Fordelingen af Land og Vand ogsaa lige saa sikkert været underkastet forskellige ikke saa ganske ubetydelige Ændringer gennem Tiderne. Den fundamentale Aarsag til saadanne Ændringer maa fornemmelig søges i følgende to tilstrækkeligt konstaterede Forhold:

1) Jorden befinder sig ikke længere i en Tilstand af gravitationel Instabilitet.

Dette er godtgjort af Jordskælvsobservationer, idet man ved Iagttagelse af Udløbere fra et fjærnt liggende Jordskælvscentrum har bestemt Gennem-

snitsmodstanden mod Kompressionen og fundet den tilstrækkelig stor til at holde enhver Tendens til gravitationel Instabilitet i Skak. — Deraf følger, at Gravitationscentrets ekcentriske Beliggenhed er en Tilstand, der har holdt sig lige til nu fra en Tid, da Kompressionsmodstanden var for ringe til at hindre en saadan Tilstands Opstaaen. Som vi har set, maa Jorden da have været mindst lige saa sammentrykkelig som Granit.

2) De standard-typiske Deformationer af første og anden Grad, vi nu kan opdage ved Hjælp af sfærisk harmonisk Analyse, er Tilstande, der har holdt sig fra en Tid, da saadanne Ujævnheder var forholdsvis mere fremtrædende end nu.

Den sfærisk harmoniske Analyse udviser nemlig, at Deformationstyperne af første og anden Grad ikke er mere udprægede end Typerne af tredje Grad, hvad man jo ellers maatte vente, da disse — saaledes som vi har set — kun er sekundære Virkninger af de Aarsager, der ligger til Grund for hine. Naar tredje Grads Typerne ikke desto mindre er lige saa fremtrædende som første og anden Grads, kan dette kun forklares paa den Maade, at disse som sagt er Tilstande, der har holdt sig fra en Tid, da saadanne Typers Tilstedeværelse var forholdsvis klarere udtalt end nu. For første Grads Typens Vedkommende følger dette jo ligefrem af, hvad vi ovenfor har paavist angaaende Gravitationscentrets nuværende ekcentriske Beliggenhed.

Begge disse Forhold peger i samme Retning, nemlig at der i Fortiden har fundet visse sekulære Forandringer Sted, som formentlig gaar for sig endnu den Dag i Dag.

Det første af de ovennævnte Forhold maa nødvendigvis resultere i, at Jordens Gravitationscentrum vil søge at nærme sig dets geometriske Centrum. En saadan Forandring maa kundgøre sig paa Jordens Overflade derved, at Regionerne omkring Krim, hvor vi fandt Maksimumshævningen for Deformationstypen af første Grad, vil synke. At disse Regioner virkelig ogsaa er sunkne ret betydeligt i de senere Jordperioder, har Geologerne allerede længe haft en vel begrundet Formodning om.

Det andet af de ovennævnte Forhold (den konstaterede Formindskelsesproces, Deformationstypen af anden Grad er underkastet) maa nødvendigvis resultere i, at hin mægtige Ækvatorialsænkning (Fig 6) — som vi sammenlignede med et umaadelig stort Middelhav, langsomt hæves — samt des-

foruden deri, at bl. a. Atlanterhavets nordlige og det store Oceans sydlige Del langsomt synker.

Dette stemmer særdeles godt med den geologiske Kendsgerning, at adskillige Have er forsvundne i Regionerne omkring Middelhavet, specielt i Nordafrika og Sydasiens saa langt mod Øst som til Himalaja, samt med den blandt Geografer saa almindelig udbredte Tro paa et stort forhistorisk Fastland i det nordlige Atlanterhav ligesom ogsaa med den af Darwin opstillede Teori om Korallrevenes Dannelse i den sydlige Del af det store Ocean.

Efter den af Professor Love foretagne sfæriske harmoniske Analyse fremgaar det, at i hin Del af det store eller stille Hav, hvor Korallrevene findes, er en Hævning, svarende til en harmonisk Kuglefunktion af anden Grad, kombineret med en Sænkning, svarende til en saadan Funktion af tredje Grad. Heraf kan man i Henhold til ovennævnte Teori af Darwin slutte, at anden Grads Deformationstypen er underkastet en stærkere Reduktionsproces end tredje Grads. Andre vægtige Grunde taler for, at det samme gælder for Deformationstypen af første Grad σ : at ogsaa den reduceres stærkere end tredje Grads.

Et saadant Forhold maa nødvendigvis resultere i en gradvis Formindskelse af de Oceaners Dybde og Omfang, der forklares som Deformationstyper af første og anden Grad, samt i en dertil svarende kompenserende Forøgelse af de Oceaners Dybde og Omfang, der forklares som Deformationstyper af tredje Grad.

Af Fig. 14 kan man danne sig en Forestilling om, hvilke Forandringer der vil finde Sted som Følge af de ulige stærke Reduktionsprocesser. Figuren fremstiller saavel de kombinerede Deformationstyper, der svarer til harmoniske Kuglefunktioner af første og anden Grad, som og særskilt de kombinerede Deformationer, der svarer til harmoniske Kuglefunktioner af tredje Grad. De kombinerede Hævninger af første og anden Grad er skraverede vertikalt, mens de kombinerede Hævninger af tredje Grad er skraverede horisontalt.

Af Fremstillingen vil man se, at der i den Del af Atlanterhavet, som ligger nord for en Linie fra Guineabugten til Cap St. Roque, figurerer en Hævning, svarende til en Kombination af første og anden Grads Typerne, sammen med en Sænkning, svarende til en Kombination af tredje Grads Typerne. Det samme finder Sted i den Del af

det indiske Hav, som ligger mellem Magdagaskar og Sundæerne; medens en bred Strime af det store eller stille Hav lige fra Alaska til medio Chile karakteriseres derved, at en Hævning, svarende til en Kombination af tredje Grads Typerne, figurerer sammen med en Sænkning, svarende til en Kombination af første og anden Grads Typerne σ : Forholdet i Atlanterhavet og det indiske Ocean gaar igen her, men i omvendt Orden. Denne Omstændighed maa i Henhold til de ovenfor omtalte ulige stærke Reduktionsprocesser have til Følge, at de sekulære Forandringer i den nordlige og mellemste Del af Atlanterhavet samt i den vestlige og nordlige Del af det indiske Ocean arter sig saaledes, at Havet breder sig paa Fastlandets Bekostning; medens disse Forandringer fører til et stik modsat Resultat i den Del af det store eller stille Hav, der støder op til Amerika. I Forbindelse hermed staar maaske den Kendsgerning, at Atlanterhavskysten paa Evropasiden som Regel gaar paa tværs af Bjærgkædernes Hovedretning, medens Stillehavskysten paa Amerikasiden gaar parallel dermed. I alt Fald er det vel næppe helt tilfældigt, at den asiatiske Side af det store eller stille Hav, der efter den sfæriske harmoniske Analyse (se Fig. 14) udviser den samme Kombination af Deformationstyper som Atlanterhavets Evropaside, ogsaa udviser det samme Forhold mellem Kystlinie og Bjærgkædernes Hovedretning, som vi har der — eller at Australiens Østkyst og Amerikas Vestkyst, der efter nævnte Analyse begge repræsenteres af de samme Typer, hver for sig løber parallel med sin respektive Verdensdels Hovedkæde. — Hvorvel Sydafrika og den sydlige Del af Amerika som Følge af Professor Loves ret mangelfulde Analyse ikke kan yde noget Bidrag til Stadfæstelse (men ej heller til Afkræftelse) af ovennævnte supponerede Forbindelse, turde de anførte Eksempler dog maaske ogsaa i sig selv være tilstrækkelige til at involvere et Aarsagsforhold mellem de sekulære Forandringer og Retninger af Kontinenternes Bjærgkæder.

Som vi har set, kan der anføres adskillige vigtige Momenter til Støtte for den Anskuelse, at de Hævninger og Sænkninger, der svarer til Deformationstyper af første og anden Grad, er underkastet en stærkere Reduktionsproces end dem, der svarer til Deformationstyper af tredje Grad.

Disse ulige stærke Reduktionsprocesser forløber som større eller mindre Brud, der paa Overfladen kundgør sig som Jordskælv. Som vi ovenfor har set, er Middelhavsregionerne i særlig Grad underkastet sekulære Forandringer, derfor ogsaa i særlig Grad udsat for Jordskælv. Den nylig stedfundne Ødelæggelse af Messina og Reggio samt en Del andre mindre Byer paa Siciliens og Kalabriens Kyst har paa en uhyggelig Maade bekræftet dette.

Af mindre gennemgribende Betydning for de sekulære Forandringer er Jordens aftagende Rotationshastighed. Til Forskel fra ovennævnte fundamentale Aarsag (de ulige stærke Reduktionsprocesser), som har kumulative Ændringer af Jordens Fysiognomi til Følge, saaledes at vor Klode derved i Tidernes Løb omformes fra en bestemt Type til en anden, synes den aftagende Rotationshastighed at have alternerende Ændringer til Følge, saaledes at der vil være længere Perioder, da Vandet har en Tendens til at søge mod Polerne, afbrudt af kortere Perioder, da det vil søge mod Ækvator. Disse skiftende Tilstande bunder i den Dobbeltvirkning, som Centrifugalkraftens Formindskelse (en nødvendig Følge af Rotationshastighedens Aftagen) maa frembyde. Paa den ene Side vil Vandet drives mindre og mindre stærkt mod Ækvator, paa den anden Side vil den ækvatoriale Opsvulmning mere og mere reduceres. — Denne Reduktion foregaar ligesom de førstnævnte ved Hjælp af seismisk Virksomhed. Dette turde om ikke helt saa dog i nogen Grad forklare, hvorfor Ækvatorialregionerne er særlig udsatte for Jordskælv.

Saaledes har Professor Love ved Hjælp af sin Analyse ikke blot søgt at forklare den eksisterende Fordeling af Land og Vand, men ogsaa de Ændringer, denne Fordeling stadig er underkastet. Dette sidste turde være af saa megen større Betydning, som det jo netop er disse Ændringer, der i Kraft af den katastrofiske Karakter (Jordskælv, Eruptioner etc.), deres Forløb saa ofte kan opvise, har givet Stødet til Geologiens Opstaaen. Thi her som paa de fleste andre Omraader af menneskelig Virke har Drivfjederen fra først af været den haarde Nødvendighed alt i Overensstemmelse med det gamle Ord: Nød lærer nøgen Kvinde at spinde.