



LUND UNIVERSITY

Bubblor, kanonkolor och en tunna ärtor. Polhem och Swedenborg om materiens struktur

Dunér, David

Published in:
Polhem

2002

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Dunér, D. (2002). Bubblor, kanonkolor och en tunna ärtor. Polhem och Swedenborg om materiens struktur. *Polhem*, 18/19, 3-27.

Total number of authors:
1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

David Dunér

Bubblor, kanonkulor och en tunna ärtor

Polhem och Swedenborg om materiens struktur

Tekniskt och vetenskapligt samarbete 1716–1718

Materiens inre struktur kunde förefalla dunkel och ogripbar vid 1700-talets början. Christopher Polhem hade emellertid en konkret föreställning och menade att partiklarna som byggde upp materien i själva verket påminde om ärtor och kanonkulor. Hans assistent och kollega, Emanuel Swedenborg, liknande dem i sin tur vid såpbubblor. Båda två utgick således från den runda figuren – sfären – när de konstruerade sina materiäteorier. Men även andra geometriska former kunde medverka i den subtila mekaniken. Ytterst vilade all förståelse av naturens minsta beståndsdelar på geometrins former och principer. Likheter man finner mellan deras materiäteorier kan naturligtvis i många fall härledas ur ett allmänt cartesianskt arv. Det finns dock ett samband mellan de två som går utöver gemensamma förebilder. Detta har uppmärksammats tidigare, men någon grundlig undersökning av Polhems inflytande på Swedenborg lyser fortfarande med sin frånvaro.¹ Deras praktiska och tekniska samarbete har berörts i flera sammanhang liksom Polhems betydelse för bl.a. Swedenborgs kosmologiska teori om planeternas kretslopp och hans lära om själens darrningar. När det gäller Polhems materiäteori så har den tagits upp i främst två studier, dels av Tore Frängsmyr, dels av Mikael Hård.² Däremot har Swedenborgs teori om bubblorna, den s.k.

¹ Samuel E. Bring, "Bidrag till Christopher Polhems lefnadsteckning" i: *Christopher Polhem. Minnesskrift* (Stockholm: Svenska Teknologföreningen, 1911), 64–67; Martin Lamm, *Swedenborg: En studie öfver hans utveckling till mystiker och andeskådare* (Stockholm: Gebers Förlag, 1915), 32, 36; N. V. E. Nordenmark, *Swedenborg som astronom*, Arkiv för matematik, astronomi och fysik, bd 23 A, nr 13 (1933), 76; Tore Frängsmyr, *Geologi och skapelsetro: Föreställningar om jordens historia från Hierne till Bergman*, Lychnos-Bibliotek 26 (Uppsala, 1969), 135f.; Inge Jonsson, *Swedenborgs korrespondenslära*, Stockholm Studies in History of Literature 10 (Stockholm, 1969), 31; Sten Lindroth, *Svensk lärdomshistoria: Stormakstiden*, (Stockholm: Norstedts, 1989 /1975/), 555, 563–565; Lars Bergquist, *Swedenborgs hemlighet: Om Ordets betydelse, änglarnas liv och tjänsten hos Gud: En biografi* (Stockholm: Natur och Kultur, 1999), 91.

² Frängsmyr, *Geologi och skapelsetro*, 86–94; Mikael Hård, "Mechanica och Mathesis: Några tankar kring Christopher Polhems fysikaliska och vetenskapsteoretiska föreställningar", *Lychnos* 1986, 55–

bullarhypotesen som han lade fram i två verk från början av 1720-talet, överhuvudtaget inte analyserats. Föremål för denna uppsats är därför dessa tänkares materieteorier med en tyngdvikt på geometrins perfektion och betydelse för materiens former. Syftet med Polhemavsnittet är att lyfta fram i högre grad än vad som gjorts tidigare den sfäriska figuren i Polhems partikelmekanik. Vidare betonas geometrins auktoritet och de vetenskapsteoretiskt intressanta parallellerna till den konkreta verkligheten. Gång på gång visar det sig att Polhem drar djärva paralleller mellan vetenskap och teknik, och mellan teori och praktik. Avsnittet om Swedenborgs bubblor är istället ett första försök till en tolkning av bullarhypotesen. En granskning kan slutligen närmare precisera sambandet mellan Swedenborgs hypotes och Polhems spekulationer kring de runda partiklarna. Polhems materieteori har med stor sannolikhet inspirerat Swedenborg, men deras materieteorier avslöjar även tydliga vetenskapsteoretiska skillnader.

Släktskapet mellan Polhems och Swedenborgs materieteorier framspringer ur tre år av tekniskt och vetenskapligt samarbete, främst mellan 1716 och 1718. Uppkomsten till samarbetet skedde dock redan 1710 då Swedenborg i ett brev delgav sina framtidsplaner för sin svåger, universitetsbibliotekarien Eric Benzeliuss d.y. Min "dessein" är att vara hos Polhem, om jag så måste skjuta upp min utlandsresa, skrev han.³ Nu blev det inte någon studievistelse hos Polhem denna gång. Istället begav sig Swedenborg ut på en femårig studieresa till England och kontinenten. Väl hemkommen till Sverige 1715 kunde hans planer till slut förverkligas. Polhem, som tog intryck av Swedenborgs nyförvärvade kunskaper i matematik, inbjöd honom till Stjärnsund. Swedenborg var "en snabb Mathematicum och ett skickeligt ämbne till mechanska wettskaper", konstaterade han.⁴ Någon gång i januari eller februari 1716 anlände Swedenborg till Stjärnsund för ett kortare besök. Ett särskilt betydelsefullt möte skedde senare i december samma år i Lund där Karl XII hade upprättat sitt högkvarter efter hemkomsten från krigsäventyren ute i Europa. Vid detta tillfälle utnämnde kungen Swedenborg till extraordinarie assessor i Bergskollegiet med särskild uppgift att assistera Polhem.

Under de tre följande åren arbetade de tillsammans med en rad tekniska projekt, bl. a. torrdockan på ön Lindholmen i Karlskrona, saltsjuderier vid Gullmarsfjorden i Bohuslän, en sluss i Karls grav vid Vänersborg och ett våghalsigt företag

69. Det finns även en språkhistorisk undersökning av Stig Nilsson, "Materieuppfattningens termer i svenskan fram till år 1800", *Lychnos* 1975–1976, 121–125.

³ Swedenborg till Benzeliuss den 6 mars 1710 i: Emanuel Swedenborg, *Opera quaedam aut inedita aut absoluta de rebus naturalibus*, bd I, red. Alfred H. Stroh (Stockholm: Kungl. Vetenskapsakademien, 1907–1911), 203. Se även Polhem till Benzeliuss den 16 juli 1710, i: Christopher Polhem, *Christopher Polhems brev*, red. Axel Liljencrantz, *Lychnos-Bibliotek* 6 (Uppsala, 1941–1946), 6; jfr Axel Liljencrantz, "Polhem och grundandet av Sveriges första naturvetenskapliga samfund jämte andra anteckningar rörande Collegium Curiosorum. II", *Lychnos* 1940, 26–28. Vid detta tillfälle hette Polhem ännu Polhammar och Swedenborg Swedberg. Av enhetliga skäl används de adliga namnen.

⁴ Polhem till Benzeliuss den 10 december 1715, *Christopher Polhems brev*, 114. Se även Polhem till Swedenborg den 19 december 1715, *ibid.*, 115; Polhem till Benzeliuss den 6 mars 1716, *ibid.* 117.

att transportera krigsskepp över land till Idefjorden. Men samarbetet kom inte bara att gälla teknik. Under sin utlandsresa hade Swedenborg korresponderat med medlemmar ur Collegium Curiosorum, de vetgirigas sällskap som bl.a. ville sprida kunskaper om Polhems uppfinningar och naturvetenskapliga tankar. Forum blev den av Swedenborg redigerade tidskriften *Dædalus hyperboreus* som gavs ut mellan åren 1716 och 1718. I de sex numren presenterade Swedenborg Polhems idéer inom olika ämnesområden. Vid sidan av detta lät han även ge ut och bekosta Polhems lilla lärobok i räkning och mätning, *Wisbetens andra grundwahl til ungdoms prydnað, mandoms nytto och ålderdoms nöje* (1716). Mycket tyder således på att Swedenborg hade god tillgång till Polhems manuskript. Han redigerade, renskrev och gav ut dem. Ett par av Polhems skrifter är därför av Swedenborgs hand, vilket gör attributionen vanskelig. Åtminstone fram på våren 1720 hade Swedenborg dessutom en samling av Polhems böcker hemma hos sig. "*Commerc: Rådetz Polhems böcker moste liggia någorstedes ibland mina papper, så snart the finnes skola the sendas tilbakars*", skrev han till Benzelius.⁵ Möjligtvis syftade han här på den nämnda *Wisbetens andra grundwahl*, även om "böcker" kan förstås i en vidare betydelse.

Efter kungens död uppstod en brytning mellan Polhem och Swedenborg som snarare hade psykologiska orsaker än vetenskapliga. I ett brev till Benzelius den 18 april 1719 beklagade sig Polhem över den avstannade korrespondensen med Swedenborg.⁶ Han var bekymrad, tre brev hade han fått tillbaka obrutna. En förklaring till detta kan vara en inte helt bekräftad berättelse om en avbruten äktenskapsaffär mellan Swedenborg och Polhems dotter Emerentia. Sannolikt var inte heller deras tekniska och vetenskapliga samarbete helt friktionsfritt. Polhems bångstyriga humör är omvitnat. De tre åren kom dock att få stor betydelse för Swedenborgs fortsatta utveckling som naturvetare. Deras samarbete ger en antydning om ett patron-klientförhållande. Polhem fungerade som uppfordringsverk för den unge Swedenborg, från det mörka djupet av de oetablerade naturvetarnas krets upp till ljuset. Att Swedenborg långt senare som andeskådare tar avstånd från den mekanistiska världsbilden och placerar "gudsförnekaren" och "materialisten" Polhem i helvetet markerar ytterligare deras splittring.⁷

⁵ Swedenborg till Benzelius den 29 februari 1720 i: *Opera quaedam* I, 300; jfr Alfred Acton, *The Letters and Memorials of Emanuel Swedenborg* bd I, (Bryn Athyn, Pa.: Swedenborg Scientific Association, 1948), 231.

⁶ Polhem till Benzelius den 18 april 1719, *Christopher Polhems brev*, 140f. Det finns sex brev från Polhem till Swedenborg bevarade från åren 1715–1717.

⁷ Polhem blev för Swedenborg själva sinnebilden för den gudsförnekande mekanismen. Swedenborg fann Polhem längst ner i helvetet där han satt och konstruerade mekaniska fåglar, möss, katter och spädbarn. Felet med honom var helt enkelt att han bara kunde tänka på det materiella, intresserade sig endast för mekanik och fysik, och var oförstående inför det andliga, det som är oberoende tid, rum och människor; Emanuel Swedenborg, *Emanuelis Swedenborgii diarium spirituale*, bd I–VII, red. Immanuel Tafel, (Tubingæ & Londini, 1843–1846); eng. övers. George Bush & James F. Buss, *The Spiritual Diary*, bd IV–V, (London: James Speirs, 1889–1902), n. 4722, 5059, 5837, 6049, 6071.

Polhems ärtor

Allt är mekanik, allt i den naturliga världen kan förklaras som materia i rörelse. Polhems ontologiska utgångspunkt är den reduktionistiska, cartesianska mekanismen: "Alt hvad naturen har att sysla med till meniskornas och creatures tjenst, består i tväne universala ting: materia och rörelse."⁸ Världen är en maskin. Och Gud är urmakaren som också förmår att ställa om sitt ur. Därför är det ingen tillfällighet att samma mekaniska lagar gäller för den naturliga partikelvärlden, så väl som för människans artificiella mekanik. För Polhem är den subtila naturens mekaniska struktur inte olik en uppfinnares eller hantverkares maskinkonstruktioner. Den teoretiska *mechanica naturalis* är helt enkelt i överensstämmelse med den praktiska *mechanica artificialis*. I linje med den cartesianska naturfilosofin finner han den teoretiska och praktiska mekaniken vara en och den samma. De skiljer sig endast åt genom att den förra består av en oändligt fin materia, medan den senare är av grövre sort till människornas tjänst.

Avslöjandet av partikelvärldens mekanik grundas på identifierandet av geometriska former. Om man kan finna materiens rätta form, "en bekant figjur, rund, eller kantig", antar Polhem, "så kan man terminera alla dess mechaniska effecter så väll i det aldra oändeliga minsta som i det aldra oändeliga största".⁹ Det är utifrån geometrins former man når kunskap om naturen. Därför är det nödvändigt att tillskriva materiens minsta partiklar former eller figurer. Inget utsträckt ting, ingen materia kan förstås utan figur. Partiklarna måste vara runda. Den klassiska idén om den perfekta cirkeln och sfären, en tanke som omfattades av inte minst Platon och Aristoteles, återkommer här hos Polhem. Sfären är den perfekta figuren, den form som är allra "bekvämast" för rörelse. Att rörelsens form är den runda visar och betygar alla praktiska ting i mekaniken, liksom "alla himelens kroppar aff Sohl, Jordh, måna, stiernor och planeter".¹⁰ Rundheten blir en universell princip för Polhem, en mikro-makrokosmisk tankegång där den runda formen sträcker sig mellan de två infinita, från det oändligt lilla till det oändligt stora, från den första materien till de himmelska kropparna: "så at alt hvad vij kunna begripa och fatta, är allenast ett medium emellan tvenne infinita eller oändeliga ändemåhl, tijt ens tanckar aldrig hinna fram ehuru lång tijd till resan tages." "De små delarnas figurer är lika ogripbara och gåtfulla som hela världsrymdens figur, men eftersom "figura rotunda est capacissima och till rörelser aldra bequeligast " så kan man

⁸ "Mechaniska vettskaper [2]" (efter 1713), i Christopher Polhem, *Christopher Polhems efterlämnade skrifter III. Naturfilosofiska och fysikaliska skrifter*, red. Axel Liljencrantz, Lychnos-Bibliotek 10:3 (Uppsala 1952–1953), 327. Se även "De principiis philosophiæ" (tidig skrift), *ibid.*, 3; "Discurs om motu et materia" (senast 1711), *ibid.*, 65; Polhem till Benzeliuss den 10 september 1710, *Christopher Polhems brev*, 7; jfr Hård, "Mechanica och Mathesis", 65.

⁹ "Tankar om ver[l]dzens uphof" (odat.), *Christopher Polhems efterlämnade skrifter III*, 316; jfr *ibid.*, 65.

¹⁰ "Discurs om dhe 4 elementerna eld väder vatt[en] och jordh" (senast 1711), *ibid.*, 74; jfr "Tankar om andarnas varelse" (odat.), *ibid.*, 313.

¹¹ "Discurs om forma och figura, spatium och materia in genere" (senast 1711), *ibid.*, 67f.

sluta sig till att de måste vara runda.¹² De allra minsta partiklarna, så väl som de allra största himmelska kropparna som vi kan erfara, är i förhållande till oändligheten lika stora. Himlens kroppar eller planeter kan tjäna som modell för partikelvärlden. Även partiklarna beskriver cirkulära, polära rörelser. De snurrar kring sin axel "medh en evig varande force".¹³ I likhet med Descartes antog Polhem inte någon minsta odelbar partikel. Partiklarna är obegränsat delbara, varje sfär innehåller ett obegränsat antal mindre sfärer, och dessa ytterligare ännu mindre sfärer ända till den matematiska punkten, där all materia är sammanpackad till en allra minsta punkt utan storlek. De runda partiklarna är sammansatta ungefär på samma sätt som en rund boll kan vara sammanrullad av små runda sandkorn, förklarar han. Varje sandkorn består av oräkneliga partiklar, och varje partikel av ytterligare andra oräkneliga mindre partiklar. Så fortsätter det "til efventyrs in infinitum".¹⁴ Det blir likt en infinit regress utan ände. Man kommer aldrig till slutet, lika lite som till diagonalen i en kvadrat eller cirkelns kvadratur. Ett annat viktigt skäl till sfärens supremati som Polhem anför är av klassiskt snitt. Sfären är den kropp som beskriver den största möjliga volymen med minsta möjliga yta, på samma sätt "som de utblåsta glasen på glasbruken häst söka få en rund och globos form, af orsak att den håller största inanrymme och minsta omslutning (: superfic[i]es :)".¹⁵

Den runda formen är inte bara lämpligast för rörelsen, utan även för fluiditeten eller det flytande tillståndet, genomskinligheten, refraktionen eller ljusbrytningen, kompressionen och expansionen. Det var anledningen till att Polhem avvisade Descartes antagande om förgrenade och fjäderlika partiklar vilka skulle förklara luftens förmåga till komprimering, förtätning och förtunning. Som ull eller fjädrar kan luftpartiklarna svälla och packas samman. Polhem delar dock Descartes antagande om eterpartiklarna som små runda globuli. Men om luftpartiklarna var "ramosæ, plumosæ eller som knarr-fiädrar i vhr" så skulle det strida mot fluiditeten och genomskinligheten.¹⁶ Istället måste vi uppsöka en mekanisk

¹² *Ibid.*, 4; jfr "Om vanan eller naturen" (senast 1710), *ibid.*, 44ff.; *ibid.*, 66; "De gravitate et compres[s]ione aeris" (relativt tidig skrift), *ibid.*, 187; "Christopher Pohlhems Anmärckningar om barometerns stigande och fallande på följande luftens förändringar" (senast från 1710-talet), *ibid.*, 227. Sistnämnda finns även i avskrift i Lunds universitetsbibliotek: "α χαί ω Casparis Polheims Anmärckningar om barometerns stigande och fallande på följande luftens förändringar", Naturvet. Handskrift LUB.

¹³ *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 4.

¹⁴ Polhem till Benzelius den 15 oktober 1710, *Christopher Polhems brev*, 16; jfr Polhem till Benzelius den 31 december 1710, *ibid.*, 62f.; jfr även *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 6, 68; "Några quæstioner om naturens egenskaper i gemen" (relativt tidig skrift), *ibid.*, 186, 188.

¹⁵ "Mechanica naturalis eller naturens konstiga sammanhang framstelt under små frågor och svar af C.R. C.P." (tidigast 1716), *ibid.*, 251; jfr *ibid.*, 68.

¹⁶ *Christopher Polhems brev*, 14f.; jfr *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 6; "Discurs om eldens och vattnetz strijdigheter" (senast 1711), *ibid.*, 79, 196, 226, 250; "Physicaliska grundsattzer som

struktur som kan orsaka pösning och packning, genomskinlighet, tyngd, liv, darrning och ljud för hörseln, rörelse till storm och oväder, varmt och kallt, rent och hälsosamt, ruttet och dödligt. Det är sfären. Luftpartiklarna måste nödvändigtvis vara runda, fastslog Polhem. Det kan matematiskt och mekaniskt bevisas.

Rent mekaniskt måste det flytandet tillståndet förklaras av "1. at particlarne äro runde, efter som ärter äro mera flytande än annan säd. 2. Theras superficies mycket släta, efter som ljin-frö är mera flytande än ärter".¹⁷ På ett karakteristiskt sätt jämför Polhem partiklarna med ärtor, linfrön, säd av råg, korn och vete. I den konkreta verkligheten finns förebilderna, ur det konkreta, synliga och kända, kan man dra slutsatser om det abstrakta, osynliga och okända. Det är inte bara ett pedagogiskt grepp. Han stannar inte vid en didaktisk analogi. De mekaniska lagarna är desamma i så väl det minsta som i det största. Ärtornas mekanik skiljer sig från partiklarnas endast ifråga om storlek. Rundheten och den släta ytan hos vatten- och luftpartiklarna förklarar den flytande egenskapen, på samma mekaniska vis som ärtor och linfrön i en tunna. Polhem hämtade sina konkreta exempel i den näraliggande vardagen. Sverige var på 1710-talet ett jordbrukarland som härjats av pest, missväxt och krig. Då blev mängden ärtor i en tunna ett inte försumbart problem. Det rågade måttet, som Polhem anknyter till, var vid denna tid visserligen formellt avskaffat sedan 1638 och 1665, men dess stora ekonomiska betydelse innebar att den fick sin ersättning i det s.k. kappmålet mätt med ett särskilt målkärl. Att rågan kunde variera avsevärt inte bara beroende på målkärlens form utan också de torra varornas egenskaper fängade materiateoretikern Polhems intresse. Varför gör råg och vete mindre rågat mått än korn, ärtor mindre än råg och vete, och linfrön mindre än ärtor? Svaret, som Polhem ger i manuskriptet *Anmärckningar om barometerns stigande och fallande på följande luftens förändringar* senast från 1710-talet, är att rundheten och slätheten är orsaken till det mindre rågade måttet. Linfrönas minsta råga visar hän mot perfektionen, mekanikens fullkomligaste former som skapar ordning och struktur i naturen, den runda och släta formen: "Nu aldenstund minste rågen ger teckn af största perfection och fluiditet, så kan man ej annat sluta, än al materia som gier minsta råga nembligen alla liquores de måste ha de egenskaper fulkomligast som mechaniquen i detta fallet fordrar och kräfer, ty annars stadnar byggnaden i en timmer hög."¹⁸ Som allmän princip, framhåller Polhem, måste all flytande materia ha globrunda

rationaliter, mathematicè och mechanicè kuna demonstreras" (tidigast omkr. 1720), *ibid.*, 301;

"Mechanska vettskaper [1]" (odat.), *ibid.*, 321.

¹⁷ *Christopher Polhems brev*, 15; jfr "En kort manuduction och inledning till philosophiam naturalem, af C. P." (ca 1716), *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 178.

¹⁸ *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 197; Mårten Triewald, *Mårten Triewalds år 1728 och 1729 hållne föreläsningar, på Riddarehuset i Stockholm, öfver nya naturkunnigheten, hwarutinnan den samma genom rön och försök är worden förklarad och stadfästad. Til allmän tjenst utgifne*, andra delen, (Stockholm: Peter Jöransson Nyström, 1736), 4, not b.

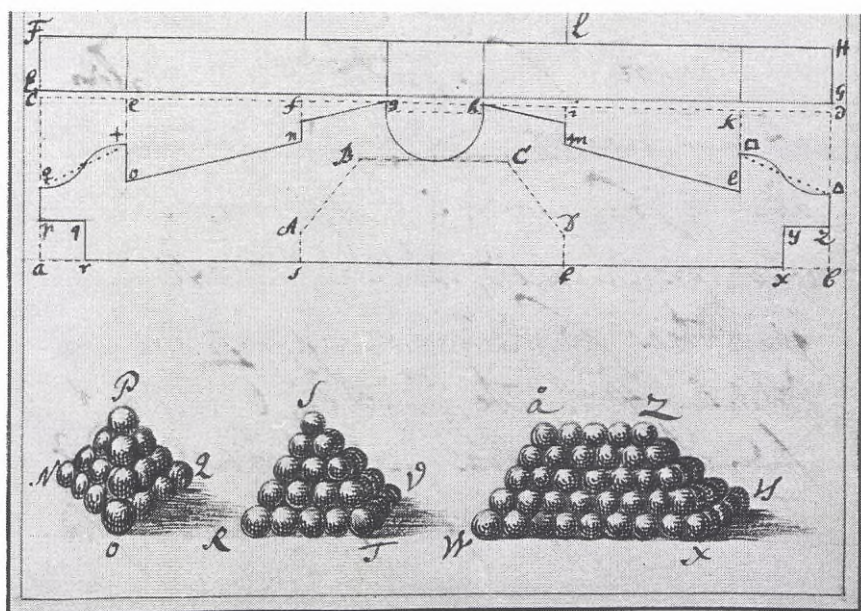


Fig. 1. Kanonkulor lagda i pyramider. Generalmajoren Niklas Rappe fördrev tiden under den moskovitiska fångenskapen med att skriva *Atta böcker om artilleriet* (1714).

partiklar med släta ytor, "oachtad något annat kan vistas der ibland som råg bland ärrter".¹⁹ Sambandet mellan ärtorna och det flytande tillståndet var inte någon oväsentlig iakttagelse av Polhem. Det var tillräckligt intressant och betydelsefullt för experimentalfysikern Mårten Triewald. I sina föreläsningar över den nya naturkunnigheten som hölls på Riddarhuset 1728–1729 citerade han ett längre avsnitt ur just Polhems uppsats om barometern. Citatet stödjer Triewalds slutsats att de partiklar som konstituerar den flytande materien måste vara inte bara runda utan också hala och släta.

Den tredje och viktigaste orsaken till fluiditet, genomskinlighet, kompression och expansion är strukturen hos de runda partiklarnas konstellationer. Globerna kan läggas tillsammans i olika sorters strukturer, menar Polhem, inte olik uppställda högar med kanonkulor. Man ser "i ammunitions-husen, huru kulor läggas i pyramider, och thet besynnerligen i treggiehanda form", nämligen tetraedrisk, oktaedrisk och hexaedrisk struktur.²⁰ Denna handgripliga jämförelse framför Polhem i ett brev till Benzelius ett år efter svenska arméns nederlag i

¹⁹ Christopher Polhems efterlämnade skrifter III, 251.

²⁰ Christopher Polhems brev, 15.; jfr Christopher Polhems efterlämnade skrifter III, 74, 79.

Poltava. En av dem som efter detta fältslag blev kvar i Ryssland var generalmajoren Niklas Rappe. Under den moskovitiska fångenskapen avtecknade han i manuskriptet *Ätta böcker om artilleriet* (1714) sådana kanonkulepyramider, varav den första visar en tetraedisk struktur och den andra en oktaedrisk.²¹ (Fig. 1)

Även Swedenborg hade intresserat sig för kanonkulornas pyramider. Hur räknar man ut antalet kulor i en kulstapel? Svaret på den frågan blev Swedenborgs uppsats *En lett uträkning på kulors samman leggnings uti triangel-stapel* tryckt 1718 i sjätte numret av *Dædalus hyperboreus*. Han löser problemet med hjälp av bl.a. "Genlikzregelen", d.v.s. med talförhållanden. Liksom många andra uppsatser i *Dædalus hyperboreus* erinrar den om ett land i långvarigt krig, en krigsmaskin på fallrepet. Vetenskapen måste där sätta sitt hopp till den tid "när then Högstrådande Gud förlänar vår Oförlikneliga Monarch Fred och rolighet ifrån sina många och hetska Fiendar".²² I tidskriften proklameras matematikens och naturvetenskapens nytta för artilleri och skjutkonst. Matematiska kunskaper behövs för uträknande av inte bara kulstaplar, utan också bombparabler och vattens och snös resistens mot kulor.

I Polhems materieteori arrangeras de runda partiklarna likt kanonkulor, strukturer efterlikande tre av de fem platonska kropparna, de regelbundna polyedern kub, tetraedern och oktaedern. Vätskor och gaser bildar en hexaedrisk, "hexahedral" eller "cubical" struktur, en form som innebär en större rörlighet. De bildar en liten kub bestående av fyra kulor underst och fyra ovanpå. De fasta kropparna består i sin tur av en tetraedrisk eller "tetrahedral" struktur, d.v.s. en liten pyramid med tre kulor underst och en ovanpå. En form mellan den fasta och flytande materien är den oktaedriska som består av fyra kulor i kvadrat med en kula ovanpå och en under. Det är just vilan och rörelsen som förklarar aggregationstillståndet liksom många andra egenskaper i naturen. Vilan är som lim eller ihopsättning, medan rörelsen är som olja eller särskiljande. När de runda partiklarna befinner sig i en tetraedrisk struktur klistras de ihop, fastnar i varandra och stannar i vila som fast materia. När de istället bildar en kubisk struktur tillåts däremot kulorna att rotera fritt åt samma håll, rörelsen blir oljan i partikelmaskineriet som får materien att bli rinnande och flytande. Denna partikelmekanik kan åskådliggöras, menar Polhem, med experiment med urhjul eller kugghjul, enkla maskinelement som påminner om hans modeller i det

²¹ Niklas Rappe, *Ätta böcker om artilleriet, uti den moskovitiska fångenskapen sammandragna och till slut bragta*, 1714, Krigsarkivet, Manuskriptsamlingen, XVI. Artilleriet. Läro- och handböcker, XVI:18a-b, s. 123

²² Förordet, daterat den 23 oktober 1715, till första numret av *Dædalus Hyperboreus eller några nya mathematiska och physicaliska försök och anmerckningar för åhr 1716: som welborne Herr Assess. Pålheimar och andre sinrike i Sverige hafwa giordt och nu tid efter annan til almen nytto lemna* (Upsala, 1716).

mekaniska alfabetet.²³ (Fig. 2) Har man fyra kugghjul i en kvadrat, som i den cubicala strukturen, och snurrar på en av dem kommer alla fyra hjulen att röra sig. Men har man tre hjul i en triangel, som i den tetrahedrala strukturen, kommer de att fastna i varandra.

De hexaedriska och tetraediska strukturerna, separation och komposition, rörelse och vila leder även till en lösning av problemet med de motstridiga fenomenen, värme och kyla, liv och död. Likaså ger de geometriska konstellationerna upphov till smak och känsel. Ju spetsigare vinklarna är, desto skarpare och bittrare känns saltet mot tungan, och ju trubbigare, desto sötare och behagligare smak. Slutligen kan kompressionen förklaras av att partiklarna övergår från cubical till tetrahedral struktur, alltså från en mindre kompakt struktur till en mer kompakt. Eftersom varje glob innehåller ytterligare glober kan denna sammantryckning fortgå ända till den matematiska punkten, "ja så vida at hela totum universum synes kunna sammanpackas til en punctum mathematicum åtminstone rationaliter".²⁴

Men hur fin materien än är så lämnar den kvar ett vakuum, hävdar han i motsats till Descartes. Utan tomrum skulle rörelsen dessutom vara omöjlig och all materia såsom en enda massiv orörlig massa. Tomrummet kan även förklara genomskinligheten. Eterpartiklarna, ljusets budbärare, kan därmed tränga sig in mellan de större runda partiklarna som när man håller vatten i tunna med muskötikulor.²⁵ En matematisk fråga som han återkommer till vid flera tillfällen är förhållandet mellan den tomma rymden och kulornas rymd. Därigenom tangerar han Keplers problem, problemet att finna den tätaste hopläggningen av sfärer.²⁶ I hexaedrisk struktur, menar han, är den tomma rymden nästan lika stor som materien. Materiepartiklarna fyller drygt halva volymen. I den tetraediska strukturen, som är mer kompakt, utgör vakuum ungefär en fjärdedel av volymen. Således är åtminstone en fjärdedel av naturen utan materia. Vad består då denna materialösa rymd av, vad fyller ut utrymmet mellan partiklarna, frågar sig Polhem. Guds boning? "Men hvad denna fierdedelen uppfyller, hinner ej heller något förstånd til at utgrunda, utan man måste lemna det för en Gudz boning, hvar inom den oändeliga visheten ligger oss förborgat."²⁷ Det blir en fråga för teologin. I en tidig uppsats undviker han vakuumbegreppet och tycks där istället hålla fast vid Descartes plenumtanke. Elementen innesluter varandra: "dhe innra och smärre Spatia ähro fylte medh en anan finare materia aff nästa grad nembligen

²³ Christopher Polhems efterlämnade skrifter III, 5, 46, 189, 201, 253; "[Om naturen och elementerna]" (odat.), *ibid.*, 267, 301, 322f.; jfr även Christopher Polhems brev, 15; Polhem till Johan Vallerius den 24 december 1710, *ibid.*, 57.

²⁴ Christopher Polhems efterlämnade skrifter III, 227; jfr *ibid.*, 321; jfr Christopher Polhems brev, 16.

²⁵ Christopher Polhems efterlämnade skrifter III, 80.

²⁶ Tomaso Aste & Denis Weaire, *The Pursuit of Perfect Packing* (Philadelphia, Pa.: Institute of Physics Pub., 2000), 29ff.

²⁷ Christopher Polhems efterlämnade skrifter III, 44; jfr *ibid.*, 313.

emelan vattuparticlarna fyller väderparticlar, emelan väderparticlar, æther; emelan æthers particlar, prima materia; och så vijdare in infinitum, eller åtminstone dhe 7 grader som utvijsa att compression kan skiee ad nihilum.”²⁸ Kring 1720 hade vakuum blivit en realitet för Polhem.

Förhållandet mellan de runda partiklarna och tomrummet är lika i stort som smått, framhåller han. Om man håller vatten i en tunna full med runda hagel behövs det lika mycket vatten som när samma tunna är full med kulor. På samma sätt är vikten oberoende av partiklarnas storlek. Kalibern hos eldvapenammunition, som muskötikulor och små hagel, är ytterligare ett av Polhems ofta använda krigiska exempel vid sidan av kanonkulor och spannmål.²⁹ Så mycket en tunna full med muskötikulor väger, så väger en tunna med pistolkulor eller runda hagel. Matematiska principer och experiment visar, menar Polhem (och Triewald citerade återigen), att en kanna full med blykulor och en kanna med runda hagel väger lika när de är lika sammanskakade.³⁰ Men är kulorna av olika materia som bly och ”ärtmateria” blir förhållandet annorlunda: ”lägger man blyhagel bland Erter och skakar så falla alla haglen til botn och ärterna ofvanpå, lijka som vatn particlarna göra bland väderparticlarna.”³¹ Görs blykulorna ihåliga kan en kanna full med ”blyblåsor” väga lika mycket som en kanna ärtor. ”Samma beskaffenhet har det ock sig med det fuchtiga vädret, ty när vatn particlarna varda af Solenes varma utpösta, föga annat än när tvålvatn med halmpijpa til sådane väderblädrar (eller) upblåse[s] som vanitas plä afmålas med, hvilcka kunna äfven sväfva i luften så länge de hålla, så gör och vatn particlarna i sin form”.³²

Polhems materiäteori, som i mycket är av cartesianskt snitt, uppvisar dock en rad självständiga åsikter. Han frångår Descartes beträffande bl.a. partiklarnas form och tomrummets existens. Samtidigt är hans teori om materiens runda kulor långt ifrån enhetlig och koherent. Han vacklar i synen på elementen och ändrar sig ifråga om vakuum och eldens natur.³³ I sina senare skrifter har han helt lämnat det cartesianska plenumet och understryker tomrummets verkliga existens och betydelse som rörelsens spelrum. Han ansluter sig, liksom Olof Rudbeck d.ä. och Christiaan Huygens hade gjort tidigare, till ståndpunkten som räknar med vakuum mellan materiaparticlarna.³⁴ Han närmar sig därigenom en sorts atomlära i Demokritos och Lucretius efterföljd, men står samtidigt kvar vid Descartes obegränsat delbara partiklar. Det blir en korpuskulär filosofi inte olik Pierre

²⁸ Ibid., 76f.

²⁹ Ibid., 177; jfr ibid., 185, 187, 316; se även *Christopher Polhems brev*, 14.

³⁰ *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 197; Triewald, *Mårten Triewalds år 1728 och 1729 hållne föreläsningar*, 4.

³¹ *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 198.

³² Ibid.

³³ Frängsmyr, *Geologi och skapelsetro*, 92.

³⁴ Hård, ”Mechanica och Mathesis”, 65f. Hård vill även påvisa ett samband mellan Polhem och Huygens; se även Gunnar Eriksson, ”Olof Rudbeck d.ä.”, *Lychnos* 1984, 88.

Gassendis, Robert Boyles och Huygens. De är några av de forskare som han ofta refererar till och som samtidigt var anhängare i en eller annan form av korpuskelteorin, tanken på en enda universell materia som bygger upp alla kroppar, en utsträckt och delbar materia av oräkneliga partiklar. Polhem delar t.ex. Boyles tanke att de materiella tingen kan förklaras utifrån den geometriska formen, rörelsen och sammanläggningarna av små partiklar. Korpuskelkonfigurationerna gav m.a.o. upphov till färg, lukt och smak. I Polhems materiäteori förenas en korpuskulär naturfilosofi med cartesiansk mekanism och mikro-makrokosmisk världsbild, där de platonska regelbundna månghörningarna och den klassiska idén om den perfekta cirkeln blir förebilderna för de subtila materiapartiklarnas geometri.

Swedenborgs bubblor

I ett brev från den 30 januari 1718 lovar Swedenborg att skicka en uppsats till Benzelius där han med geometrins hjälp vill bevisa att luft- och vattenpartiklarna måste vara runda. Han önskar få den bedömd av medicinprofessorn Lars Roberg "som uti alt sådant som litet och fint är är sielf fin", men även matematikprofessorn Johan Vallerius omdöme skulle vara värdefullt, om han "lemna litet sin och sin k: faders [Harald Vallerius d.ä.] *Cartesium*" åt sidan.³⁵ Han hade för avsikt att gå vidare med detta ämne i en "stor bok" som de lärde utomlands gör med sina spekulationer, "men som man intet har tilfelle här til et så stort förlag, moste munnen lempa sig effter massäcken", och nyttan med sitt geometriska tillvägagångssättet skulle vara att luftens och vattnets natur då är lättare att finna: "ty finner man *partiklarnas* retta *figur* så får man igen all then egenskap som *figuren* tilhörer."³⁶ Kan man alltså identifiera partiklarnas geometriska former så kan man härleda och dra slutsatser om partiklarnas egenskaper.

Han hoppas att detta står på god grund, ty han vill inte ge ut något som inte har bättre grund än "thet förra uti *Daedalo*".³⁷ Sannolikt syftar han här på det femte och senast utkomna numret av *Dædalus hyperboreus*. Detta nummer från 1717 innehåller Swedenborgs uppsats i stereometri, *En tafla på cubers, cylindrers och spherers innehåll, när man tager sidorna i wissa tum*, som uppvisar likheter med den handskrivna förstudien *Proportiones stereometricæ* (1716) och den däri ingående "några nya stereometriska reglor". I *Dædalus* uppsatsen jämför han volymerna mellan kuber, cylindrar och sfärer och volymerna hos kroppar inskrivna i andra kroppar. Förhållandet mellan t.ex. kuben "til en innesluten boll [är] som 21 til

³⁵ Swedenborg till Benzelius den 30 januari 1718 i: *Opera quaedam* I, 281; jfr Swedenborg till Benzelius den 21 januari 1718, ibid., 280: "jag har 5 *tractatulos* them jag wil innan wåren hafwa fram; en som jag nu i dag lyctar är om runda *Partiklar*, hwaruti *Doctor Roberg* lærer finna et nöje emedan han i sådant som *minima* angår är hel *subtil* och angenäm".

³⁶ *Opera quaedam* I, 281.

³⁷ Ibid.

11”.³⁸ Det är samma talförhållande som Polhem återopade när det gällde de runda partiklarna i kubisk struktur. Efter denna uppsats följer en annan på samma tema: *Ett lett analytiskt sett at demonstrera så thet föregående som annat dylikt geometrice*. Här behandlas återigen en kub med en inskriven sfär där han utifrån ett algebraiskt resonemang kommer fram till samma talförhållande, 21 till 11, “som ock om monga glober eller kulor skulle opstaplas i Hexaedral form, och just omkring them giordes ett fyrkantigt hus, så wore husetz rymd til kulornas tilsamman som 21/11”.³⁹

Flera av Swedenborgs uppsatser innehåller de stereometriska förhållanden som är grunden för Polhems teori om de runda partiklarnas formationer. Med stor sannolikhet kände han till Polhems tankegångar. I brevet till Benzelius kan Swedenborg syfta på ett av dennes manuskript som bl.a. behandlar materiateorin. Han meddelar att han tänker införa “Polhems saker eller *Mechanica*” i tidskriften.⁴⁰ Året innan, den 3 april, yttrade sig Polhem därtill angående tryckplanerna för en “*Mech. nat.*”.⁴¹ Möjligtvis är det uppsatsen *Mechanica naturalis eller naturens konstiga sammanhang framsatt under små frågor och svar af C.R. C.P.*, eller en variant av denna, som Swedenborg har i tankarna. Intressant är att detta manuskript även innehåller spekulationer kring en spirälrorelse som genom det omgivande trycket till slut bildar en sfär, “så att af deta sammanhanget blir runda blåsor lika som de så kallade bul[l]æ vanitatis som pojkar plä leeka med, eller elliest blåsor på elakt vattn”.⁴² Denna idé om en spirälrorelse som formar en sfär kom att långt senare bli en av huvudtankarna i Swedenborgs *Principia rerum naturalium* (1734).⁴³

Eftersom Swedenborg var verksam som Polhems assistent och bl.a. hjälpte till med renskrivandet, har flera manuskript förväxlat. De bär Swedenborgs handstil, men troligen rör det sig om texter ursprungligen författade av Polhem. Originaltexter finns i två fall av dessa bevarade. Ett sådant manuskript, *De causis rerum* (1717), har attribuerats till Swedenborg men har senare visat sig vara författat av Polhem. Även i detta manuskript proklamerar Polhem kärnan i sin materiateori, dock räknar han ännu med ett plenum: “*Materia universalissima*:

³⁸ Emanuel Swedberg, “En tafla på cubers, cylindrens och sphærens innehåll, när man tager sidorna i wissa tum”, *Dædalus hyperboreus* V (1717), 116; jfr Emanuel Swedberg, *Proportiones stereometricæ. Några nya stereometriska regler*, Linköpings Stiftsbibliotek, Benzeliussamlingen, nr 52: “reg: 1. En cub til ett klot el. ett oblongum til en oval som ryms just inuti är som 21 til 11”; även i Emanuel Swedberg, *Em. Swedenborgii Autographa Ed:Photolith.*, bd I, red. Rudolphus Leonardus Tafel (Holmiæ, 1870), 100; jfr även Emanuel Swedberg, *Regel-konsten författad i tijo böcker* (Upsala: J. H. Werner, 1718), 106f.

³⁹ Emanuel Swedberg, “Ett lett analytiskt sett at demonstrera så thet föregående som annat dylikt geometrice”, *Dædalus hyperboreus* V (1717), 128.

⁴⁰ *Opera quaedam* I, 281.

⁴¹ Polhem till Swedenborg den 3 april 1717, *ibid.*, 270; jfr Acton, *The Letters and Memorials of Emanuel Swedenborg*, bd I, 152, 179; se även *Christopher Polhems brev*, 128, 276f, och *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 241.

⁴² *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 254.

⁴³ David Dunér, “Swedenborgs spiral”, *Lychnos* 1999, 52–55.

particlar som i *aethere* äro moste wara runda; så ock the andra *particlar*: then ene *particlen* gör rum emellan och uti sig, hwarest finnas ännu andra smerre *particlar*, och emellan them ännu smerre, och så vidare in *infinitem*, så at *materia universalissima* blir *infinitem* el. snarare *indefinit*.”⁴⁴ Ett annat exempel är Swedenborgs avskrift av Polhems dialog mellan fränkorna Chymia och Mechanica, *Discours emellan Mechaniquen och Chymien om naturens wäsende* (1718). Här finns antaganden som förebådar den teori som Swedenborg presenterar några år senare. Dialogen berör bl.a. partiklarnas rundhet och släthet, och saltets kantiga figurer.⁴⁵ I handskriftsvolymen med titeln *Geometrica et algebraica* har Swedenborg därtill nedtecknat 20 rader excerpter från Polhem, *Ex Polhemio*. På osäkra grunder har *Geometrica et algebraica* daterats till 1719. Sannolikt har den i själva verket skrivits redan under hans vistelse i Paris 1713-1714. I september 1713 köpte han nämligen Charles Reayneaus *Usage de l'analyse* (1708) och det är just med hjälp av denna bok som Swedenborg författade sitt manuskript *Geometrica et algebraica*. Handskriftsvolymen har sedan använts som anteckningsbok under en lång period, åtminstone fram till 1733. Anteckningarna från Polhem tyder på att Swedenborg har haft dennes manuskript framför sig, vilket då bör antyda en datering kring åren 1716-1718 då de samarbetade kring *Dædalus hyperboreus*. Dessa ej tidigare uppmärksammade latinska rader innehåller fysikaliska experiment och anteckningar om fallrörelser hos runda klot.⁴⁶

I det nämnda brevet till Benzeliuss från den 30 januari 1718 hade Swedenborg som sagt avsikten att sända över ett manuskript om de runda luft- och vattenpartiklarna. Beroende på problem med postgången tycks det ha kommit Benzeliuss tillhanda med Olof Rudbeck d.y. som förmedlande länk. Swedenborg var oroad: “om Posten blifwer så gräseligen förhöjd som säjes lærer man få taga afsked af sina wenner och frender.”⁴⁷ Manuskriptet finns inte längre i behåll. Antagligen har det uppgått i det som blev den åttonde delen i Swedenborgs första “stora bok” om de naturliga tingens principer, *Prodromus principiorum rerum naturalium* (1721). Men även i *Miscellanea observata circa res naturales* (1722), och där främst i början av tredje delen, redogör Swedenborg för sin materiasteori, den s.k. bullarhypotesen. Denna teori, som vidareutvecklar Polhems tankar kring materiens sfäriska natur, förutsätter att världen är uppbyggd av runda små bullar, d.v.s. bubblor eller blåsor. Sambandet mellan Swedenborgs och Polhems materiasteorier har nämnts tidigare endast i förbigående, men det är inte riktigt så som Sten Lindroth anför att det är Swedenborgs senare materiasteori, den som

⁴⁴ Christopher Polhem (Swedenborgs avskrift), “De causis rerum” i: *Opera quaedam* III, 231; jfr Polhem till Swedenborg den 5 september 1716, *Christopher Polhems brev*, 124.

⁴⁵ “Discours emellan Mechaniquen och Chymien om naturens wäsende”, *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 161f, 165f.; jfr *Opera quaedam* III, xxxvf.

⁴⁶ Emanuel Swedenborg, “Ex Polhemio” i *Geometrica et algebraica*, codex 86, Kungliga Vetenskapsakademien, 277.

⁴⁷ *Opera quaedam* I, 283.

framläggs i *Principia*, som står i skuld till Polhem, utan först och främst gäller inflytandet den tidigare "förelöparen" *Prodromus principiorum*.⁴⁸ Tryckandet av de två verken från början av 1720-talet, som redogör för kemins innersta byggstenar, blir i förlängningen samtidigt ett sätt för Swedenborg att befästa sin ännu osäkra ställning i Bergskollegiet. Här kunde han uppvisa sin vetenskapliga kompetens inom kemi, mineralogi och metallurgi.

I *Miscellanea observata* finner man de naturfilosofiska grunderna till bullarhypotesen. Hans metod utgår från geometrin. Med hjälp av geometrisk skicklighet kan de för sinnena ogripbara partiklarnas former upptäckas. Han ställer upp ett par grundsatser, nödvändiga för avslöjandet av naturens hemligheter i fråga om partikelmekaniken. För det första antas naturen föredra den enklaste lösningen, vilket betyder att partiklarna måste ha den enklaste och minst konstlade formen. Vidare sägs naturens början vara identiskt med geometrins. Naturens partiklar har sitt ursprung i matematiska punkter, på samma sätt som linjer och kroppar i geometrin. Det finns inget i naturen som inte är geometriskt, och vice versa: "quia nihil in natura est, quod non est Geometricum, & vice versa."⁴⁹ Alltså finns det inget geometriskt som inte är naturligt. Den tredje förutsättningen är rörelsen och den fjärde är experimentet utifrån vilken naturen bör undersökas. Enkelhetens princip medför att det inte kan finnas några enklare partiklar än runda bullar. Detta ofrånkomliga faktum framgår av geometrin. Sfären har nämligen ingen vinkel, utan en enda oändlig vinkel som sammanfattar alla vinklar. Hos denna geometriska kropp är alla radier lika långa. Ytan är en enda och alldeles slät. Den är helt enkelt den mest perfekta figuren utan avvikelser och eftersom den är den mest likformiga figuren har den också den mest likformiga rörelsen. Denna form är den enklast möjliga.

Prodromus principiorum är verket där han tillämpar bullarhypotesen på elementen och de kemiska substanserna, salter, syror, oljor, salpeter, bly och andra metaller. Metoden är att med hjälp av kemiska experiment och erfarenheter, hämtade från bl.a. Boyle, Becher, Hiärne och Lémery, söka efter naturens minsta beståndsdelar som kan jämföras och stå i överensstämmelse med geometrin och mekaniken. Att genomföra egna experiment var inte nödvändigt, uppger han för Benzelius: "en god grund tyckes mig vara at bygga på en oendelig hop giorda *experimenter*, at betiena sig af andras omak, och omkostnader; nemligen at arbeta med hufwudet öfwer thet andra arbetat med hendren; theraf myckenhet *deductioner* kunna bli til

⁴⁸ Lamm, *Swedenborg*, 36; Frängsmyr, *Geologi och skapelsetro*, 135f.; Sten Lindroth, *Svensk lärdomshistoria: Stormaktstiden*, 563f.

⁴⁹ Emanuel Swedenborg, *Miscellanea observata circa res naturales & præsertim circa mineralia, ignem & montium strata* (Lipsiæ, 1720) *with the Physical Sciences* (Bryn Athyn, Pa.: Swedenborg Scientific Association, 1976 /1847/), 84: "ther is nothing in nature but is geometrical, and vice versâ."

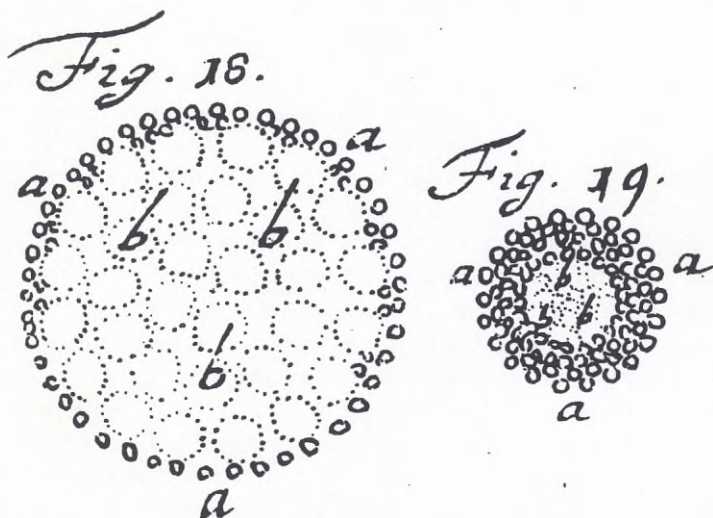


Fig. 3. Swedenborgs bubblor. Luftpartiklarna är bubblor med ytterst små eldpartiklar (aaa) på ytan. Ur Emanuel Swedenborgs *Miscellanea observata circa res naturales* (1722).

nyttigheter i *chymicis, metallicis*, eld och alt therass wesende.”⁵⁰ Swedenborg följer den geometriska principen som innebär att om man kan bestämma bubblornas olika positioner och former, kan man dra slutsatser om deras egenskaper, som t.ex. ifråga om tyngd, färg och smak. Den geometriska naturen byggs upp av materiapartiklar i form av små bubblor, bullæ, runda partiklar som endast består av yta och inget annat och är mottagliga för utvidgning och sammantryckning. Vattnet, luften, etern, elden och ljuset består av sådana blåsformade partiklar, vilka skiljer sig åt endast genom storleken. På varje bubblas yta finns dessutom ytterligare mindre partiklar, och deras ytor innehåller i sin tur ännu mindre partiklar o.s.v. ända ner till de matematiska punkterna. (Fig. 3) Vattenpartiklarna, som alltså består av en sådan serie av bubblor, är relativt stora, medan eldpartiklarna däremot är ytterst små, rörliga bubblor med en yta bestående av matematiska punkter.⁵¹ I likhet med Polhem finner han att den flytande

⁵⁰ Swedenborg till Benzelius den 2 maj 1720 i: *Opera quaedam* I, 304.

⁵¹ Emanuel Swedenborg, *Prodromus principiorum rerum naturalium sive novorum tentaminum chymiam et physicam experimentalem geometricè explicandi*, utg. Joannem Oosterwyk (Amstelodami: 1721); även tryckt i *Opera quaedam* III, 105; eng. övers. Charles Edward Strutt, *Some Specimens of a Work on the Principles of Chemistry, with other Treatises* (Bryn Athyn, Pa.: Swedenborg Scientific Association, 1976 /1847/), 134; se även Emanuel Swedenborg, *Nova observata et inventa circa ferrum et ignem et præcipue circa naturam ignis elementarem, una cum nova camini inventione* (Amstelodami, 1721); även tryckt i *Opera quaedam* III,

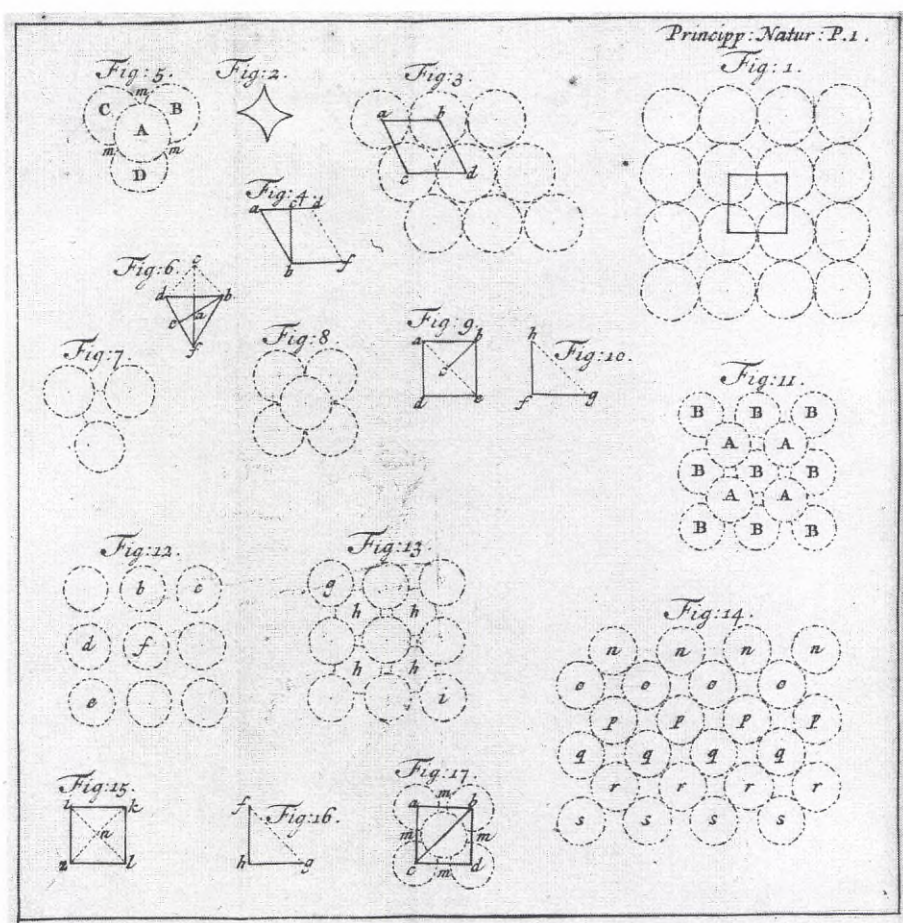


Fig. 4. Swedenborgs olika formationer av runda partiklar. Den vertikala positionen (1) med kubformade partiklar i mellanrummen (2). Den triangulära positionen (3). Den fasta triangulär-pyramidala positionen (5). Den flytande triangulär-pyramidala positionen (7). Den fasta kvadratisk-pyramidala positionen (8). Den flytande kvadratisk-pyramidala eller naturliga positionen (11–13). Ur Emanuel Swedenborgs *Prodromus principiorum rerum naturalium* (1721).

egenskapen har med rundhet och rörelse att göra och att fasthet beror på avsaknad av rörelse. Den runda globformen är rörelsens form, helt enkelt, rundhet

185; eng. övers., "New Observations and Discoveries respecting Iron and Fire, and Particular respecting the Elemental Nature of Fire: together with a New Construction of Stoves" i: Strutt, *Some Specimens of a Work on the Principles of Chemistry*, 199.

är lika med rörelse, "rotunditas=motus".⁵² Den runda formen innebär minsta möjliga kontaktpunkt och den har inga utskjutande delar som kan hämma rörelsens framfart.

Till skillnad från Polhems i huvudsak två olika kulformationer identifierar Swedenborg hela åtta olika formationer som de runda partiklarna kan arrangeras i.⁵³ (Fig. 4) Här finner man alltifrån den vertikala positionen, "situs verticalis", som motsvarar Polhems cubicala, till den flytande kvadratisk-pyramidal eller naturliga positionen, "situs quadrato-pyramidalis fluidus sive situs naturalis", d.v.s. en position där en glob vilar på fyra andra men på separerade avstånd. Polhems tetraedrisk struktur återkommer hos Swedenborg som den femte positionen, den fasta triangulär-pyramidal, "situs triangulo-pyramidalis fixus", en form där en glob vilar på tre andra. Denna kännetecknas, som hos Polhem, av allra högsta graden av vila och kyla. Swedenborgs sjunde position, den fasta kvadratisk-pyramidal, "situs quadrato-pyramidalis fixus" som bildas vid ett mycket högt tryck, är en motsvarighet till Polhems oktaedrisk formation.

Där Polhem i utrymmet mellan de runda partiklarna fann Gud eller tomrum, där finner Swedenborg istället andra sorters partiklar, kantiga och spetsiga, urholkade kub- och triangelformade partiklar. (Fig. 5) Ifråga om existensen av vakuum är Swedenborg inte alldeles tydlig. Något vakuum i betydelsen rum utan materia, som Polhem kom att hävda, tycks Swedenborg undvika. När han var assistent hos Polhem var även denne vacklande angående vakuum och stod ännu nära den cartesianska plenumtanken. Visserligen skiljer Swedenborg mellan "spatium vacuum" och "spatium plenum", men "tom rymd" verkar här närmast betyda "fri rymd" för att beteckna det mellanliggande utrymmet mellan de runda partiklarna, medan "full rymd" är det utrymme som globulerna ockuperar.⁵⁴ Saltet är ett exempel på ett ämne med sådana mellanliggande, kantiga partiklar, som bildas, menar Swedenborg, genom ett stort tryck på havets botten, när vattnet övergår från flytande kvadratisk-pyramidal position till fast kvadratisk-pyramidal. Kantiga saltpartiklar orsakade av havstrycket var en tanke som även hade föresvävat Polhem. Triewald hänvisade i sina föreläsningar över naturkunnigheten just till Polhems tanke att saltpartiklarna lägger sig i "Lönhålen" mellan vattenpartiklarna.⁵⁵ Hos Swedenborg passar saltpartiklarnas kantiga former exakt in

⁵² *Opera quaedam* III, 17; eng. övers., 19: "rotundity=motion."

⁵³ *Ibid.*, 8–13; eng. övers., 8–15.

⁵⁴ *Ibid.*, 8f.; eng. övers., 9.

⁵⁵ Triewald, *Mårten Triewalds år 1728 och 1729 hållne föreläsningar*, 6; jfr Polhem till Benzelius den 19 november 1710, *Christopher Polhems brev*, 42. Enligt Polhem bildas saltet när havets tyngd trycker samman partiklarna från cubical till tetrahedral form. "Responsio de coloribus" (tidigast från 1711) i *Christopher Polhems efterlämnade skrifter* III, 153, 200f. Saltpartiklarna är kantiga med tetraedisk och oktaedrisk form, säger Natura till sin syster Ars i Polhems dialog "Discurs emellan Naturen och Konsten om meniskornas helsa och lifzlängd" (odat.), *Christopher Polhems efterlämnade skrifter IV. Varia*, red. Bengt Löw, Lychnos-Bibliotek 10:4 (Uppsala, 1954), 47.

mellan de runda vattenpartiklarna. De vassa kanterna hos saltpartiklarna är det som ger upphov till den bitska smaken hos saltet. Den runda formen däremot ger

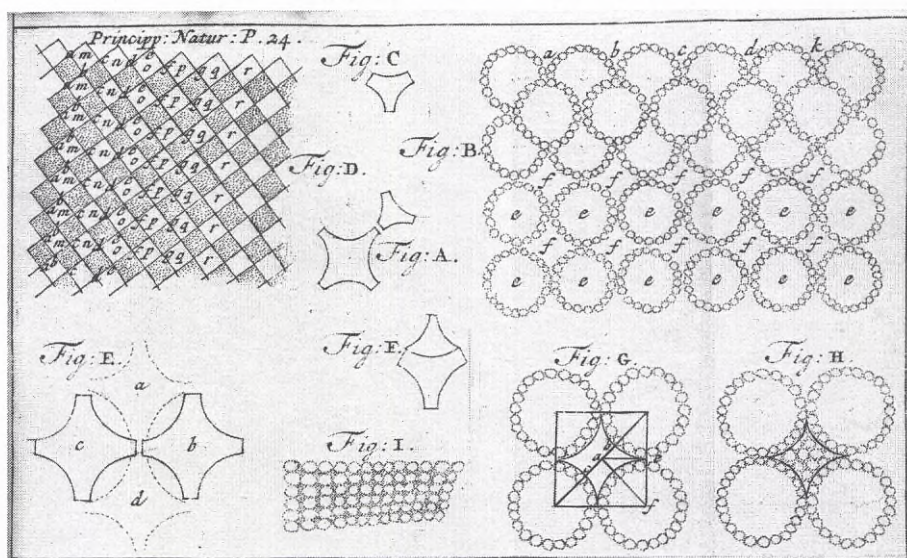


Fig. 5. Swedenborgs kantiga saltpartiklar. På havets botten befinner sig partiklarna i den fasta kvadratisk-pyramidala positionen (B). Mellanrummet av första slaget består av kuber med urholkade sidor (A). En annan sorts mellanliggande partikel är den urholkade triangulära med fyra urholkade sidor och fyra hörn (C). Antalet trianglar är dubbelt så många som antalet vattenpartiklar (D). Ur Emanuel Swedenborgs *Prodromus principiorum rerum naturalium* (1721).

upphov till en söt smak, d.v.s. partiklarna rullar fritt på tungans papiller. Återigen en tanke han delar med Polhem och många av hans samtida.

Genom att kombinera alla dessa partiklar, runda, trekantiga och fyrkantiga, vill Swedenborg förklara hela partikelvärldens sanna struktur, t.ex. oljepartiklarna som är runda, liksom vattnet, omgärdas av små saltspån. Eftersom olja och vatten har partiklar av samma storlek uppvisar de också liknande egenskaper. De är flytande och rörliga och kan övergå från en struktur till en annan p.g.a. av eld och kyla. Beträffande metallerna förkastar han den paracelsiska tanken att de skulle vara sammansättningar av salt, svavel och kvicksilver. Ingen säker – d.v.s. geometrisk – kunskap om metallerna hade hittills åstadkommits, hävdade Swedenborg. Hans väg är geometrins: genom att tillägna metallerna former, positioner, rörelser och andra geometriska bestämmningar, kan man nå kunskap om det osynligas mekanik.⁵⁶ Mekaniken eller den praktiska geometrin är själva ursprunget till variationerna i partikelvärlden.

Bullarhypothesen sätter Swedenborg på ett intressant sätt i samband med en för

⁵⁶ *Opera quaedam* III, 104; eng. övers., 133.

svenskt vidkommande alldeles ny teknik – ångmaskinen. Triewald uppförde visserligen den första svenska ångmaskinen 1728 vid Dannemora gruvor, men

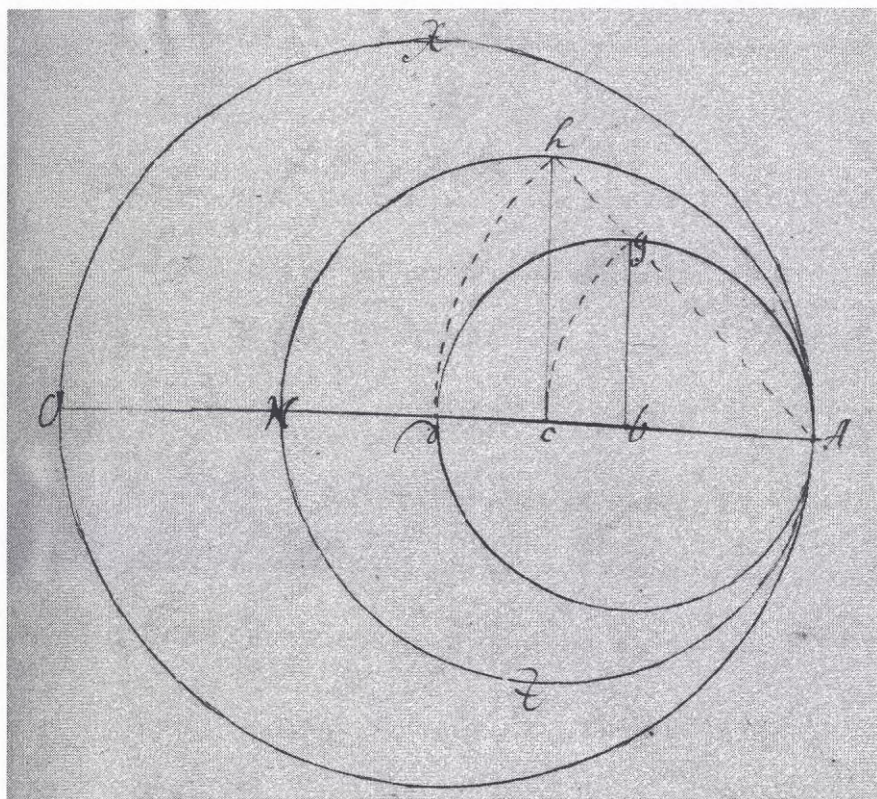


Fig. 6. Swedenborgs geometriska metod för uträknandet av radien till en cirkel vars area skall vara dubbelt så stor som en känd cirkels area. Cirkeln med radien cb har dubbelt så stor area som cirkeln med radien bg . Skissen som är hämtad ur Emanuel Swedenborgs utlåtande om Newcomen-maskinen i Bergskollegium 1725 har vidare behandlats i Svante Lindqvists *Technology on Trial* (1984).

teknikhistorikern Svante Lindqvist har visat att Swedenborg antagligen var först i Sverige med att nämna idén om ångkraft.⁵⁷ I ett brev till Benzelius från den 8 september 1714 finns en lista på olika uppfinningar han höll på att utveckla, däribland en flygmaskin och en undervattensbåt, och så en ångmaskin.⁵⁸ Swedenborg kom senare som assessor i Bergskollegiet att vara sakkunnig vid utvärderingen av den nya teknologin i april-maj 1725. Ett av hans omdömen om den nya tekniken var att maskinkonstruktionen hade "sådana [proportioner] som

⁵⁷ Svante Lindqvist, *Technology on Trial: The Introduction of Steam Power Technology into Sweden, 1715–1736*, Uppsala Studies in History of Science 1 (Uppsala, 1984), 119.

⁵⁸ Swedenborg till Benzelius den 8 september 1714, i: *Opera quaedam* I, 226.

intet allenast hafwa i *mechaniquen* sina reglor, utan jämwäl i *Physiquen*".⁵⁹ Ångmaskinen byggde alltså även på fysikaliska, vetenskapliga lagar. Swedenborgs promemoria innehåller också uträkningar av diametern hos cylindern. (Fig. 6) Hans geometriska metod gick ut på att finna diametern hos en cirkel med en area dubbelt så stor som en bestämd cirkel med känd diameter. Men, påpekar Lindqvist, Swedenborgs metod ger endast en bestämning av det teoretiska värdet. I själva verket var det en geometrisk metod för att finna roten ur talet 2. När Swedenborg sedan skriver att "*diametern* tagas alltid något större til" p.g.a. friktionen, kommenterar Lindqvist: "These were not the words of a practical engineer, trying to dimension his engine accurately, but those of a man fascinated by theory, sitting at his desk and playing with a pair of compasses."⁶⁰ Episoden är karakteristisk. Swedenborg var alltså teoretikern, inte den praktiskt sinnade bergsmannen utan den vetenskapligt och matematiskt skolade tjänstemannen.

Här skulle man kunna komplettera Lindqvists betydelsefulla framställning. Går vi tillbaka till åren 1721–1722 finner vi nämligen hur Swedenborg försökte närma sig en partikelfysikalisk förklaring av ångkraftsfenomenet. I *Prodromus principiorum* beskriver han kortfattat ett antal experiment med vattenglobuler, empiriska erfarenheter som alla kan bevisas och förklaras geometriskt. Den 26:e erfarenheten gäller ångmaskinen. Vatten som övergår i ånga äger så mycket kraft att den kan få en hel maskin likt ett hjul i rörelse: "*Aquae in vapores distensae vim tantam esse, ut integram Machinam instar rotæ movere possit.*"⁶¹ Ångkraftsfenomenet är en av de empiriska omständigheter bullarhypotesen måste räkna med. Bullarhypotesens runda partiklar bör kunna ge en fysikalisk förklaring till varför ångmaskinen fungerar. Ett stycke i *Miscellanea observata*, om de små bullarpartiklarnas starka kraft och häftiga rörelse, inleds med fyra empiriska fakta. Den tredje observationen fäster uppmärksamheten vid att vattenånga kan sätta ett helt maskinhjul i rörelse, vilket har prövats i både stora och små maskiner: "*Aquam in vapores rarefactam integram machinam rotæ instar movere posse, quod in machinis majoribus & minoribus expertum est.*"⁶² Utifrån dessa faktiska förhållanden kan man dra slutsatsen att om luften består av bullar så äger den en mycket stor motståndskraft. Etern har större motståndskraft och ljuspartiklarna i sin tur ännu större, ty styrkan hos bullarpartiklarna tilltar i proportion till minskad diameter, eftersom ytan ökar i förhållande till diametern. Således bär själva den geometriska formen hos bubblorna på den kraft som sätter ångmaskinens hjul i rörelse.

⁵⁹ Riksarkivet, Bergskollegiums arkiv, Huvudarkivet, EIV:169, Brev och suppliker 1725:I, 760. Citat ur Lindqvist, *Technology on Trial*, 344; se även ibid., 166f.

⁶⁰ Ibid., 169, 344.

⁶¹ *Opera quaedam* III, 21; eng. övers., 25: "Water when converted into vapour, possesses so much power, that it can move an entire machine like a wheel."

⁶² *Miscellanea observata*, 139; eng. övers., 88: "Water in the form of steam will set an entire machine in motion, for instance, a wheel, as has been ascertained both in large and small engines."



Fig. 7. Kanonkulevisitering ur en artilleribok från början av 1700-talet.⁶³ I nedre, högra hörnet ses de kasserade kulor som inte passerade genom diamettermallen.

Swedenborgs materiäteori bygger vidare på Polhems spekulationer kring de runda partiklarna. Hos Swedenborg blir det i form av klotrunda bubblor. Sfären är rörelsens figur, hävdar han i likhet med Polhem, och likaså inordnar han bubblorna i olika formationer med bestämda talförhållanden mellan materia och mellanliggande rum. I Swedenborgs partikelvärld tycks det inte finnas någon plats för tomrum, därigenom delar han Polhems tidigare ståndpunkt ifråga om vakuum. Istället innesluter bubblorna varandra i en mikro-makrokosmisk serie. Även hans

⁶³ *Artilleribok*, Krigsarkivet, Manuskriptsamlingen, XVI. Artilleriet. Läro- och handböcker, XVI:47, tidigt 1700-tal, 69.

kantiga saltpartiklar kan ha sitt ursprung i Polhems tänkande. För Swedenborg blir geometrins former grunden för utforskandet av den subtila verkligheten. Naturens genesis är densamma som geometrins. Enkelheten och geometrin visar fram mot den perfekta figuren – sfären.

Utan jämförelser och liknelser kommer man inte långt

Polhems materiasteori präglas av ett konkret bildspråk och ett tidsfärgat analogitänkande där tekniken och den vardagliga världens konkreta föremål och former hade sina motsvarigheter i partikelvärlden. Kanonkulor, muskötkulor, ärtor, linfrön och kugghjulsanordningar kunde visa vägen till hur man skulle förstå den subtila materien. Med hjälp av den kända verkligheten kunde man dra slutsatser om den okända. Men det var något mer än bara ett didaktiskt grepp. Det är inte metaforens meningsöverföring från ett sammanhang till ett annat. Visserligen fanns det en genuint pedagogisk avsikt. Partikelvärlden blev begriplig just genom att man hänvisade till handgripliga exempel ur den vardagliga erfarenheten, en vardag som uppvisade samma mekaniska fenomen. Men ytterst handlade det om att de mekaniska lagarna gällde för den lilla så väl som den stora världen. Skillnaden mellan kanonkulorna och de runda partiklarna var egentligen endast en skillnad i storlek. Polhems mycket använda slutledningsmetod för utforskandet av det okända är analogislutet. Om t.ex. ärtor uppvisar en rad egenskaper såsom rundhet, släthet och rörlighet, kan man dra analogislutet att vatten, som delar vissa av dessa egenskaper, alltså rörlighet, också bär på de andra egenskaperna, rundhet och släthet.

Denna vanskliga analogimetod tycks Benzeliuss ha kritiserat angående eldens natur i ett brev till Polhem från hösten 1722. Brevet är förlorat, men kanske innehöll det invändningar mot ett sådant eller liknande uttalande av Polhem: "När man jemförer Sohless storleek emot en feet tor-veds rot som best briner, samt tiden på huilken en sådan root kan brina ut, då får man en suma af åhr för Sohlen, som består af 28 Ziphror. en längd som föga giyr sielfva ewigheten effter."⁶⁴ Polhem inte bara jämför solen med en brinnande trädrot, han kommer även fram till en mycket oortodox uppskattning av solens ålder, vida över de 6 000 år som hade stöd i Bibeln. Som så ofta gick Polhem så långt hans tänkande kunde bära, till synes utan en tanke på att harmoniera sina slutledningar med den kristna skapelseläran. Därför överträdde han då och då, kanske omedvetet, gränsen för det tillåtna. Inte konstigt att Benzeliuss, den blivande ärkebiskopen, vid ett par tillfällen hade tillrättaviserat honom. Men den här gången handlade kritiken om metoden. Den 5 november försvarade sig Polhem med att översända uppsatsen *Utan jemförelsser och liknelsser komet man inte långt i physicen*. Han hävdar där att om det som ett sinne vittnar om inte får jämföras med vad två sinnen bär

⁶⁴ "Om elementernas jemvicht [1]", Polhem till Benzeliuss den 2 september 1722, *Christopher Polhems brev*, 154.

vittnesbörd om, skulle hela vår naturfilosofi bestå av endast ord och inget mer. Hur skulle man komma fram till att luftens vågrörelse är orsaken till ljudet, om man inte fick jämföra detta med ringarna på en stilla vattenyta? "Med ett ord: utan liknelsser och jemförelsser ähro wij lijka klooka sådan som förr. Om iag får swara med liknelsser och jemförelsser mechanice, skall ingen Physicalsk fråga wara mig så swår, att iag icke skall kuna gijfva orsak till men utom dess måste iag som de gamla hålla alting wara qualitas oculata."⁶⁵

Om man tillåter sig att jämföra Polhems materiäteori med Swedenborgs, finner man likheter i innehåll men tydliga olikheter i metod. Swedenborg uppvisar en större återhållsamhet med avseende på analogitänkande. Visserligen använde sig även han till och från av denna metod, men aldrig på Polhems radikala sätt. Det kunde formuleras som en retorisk fråga: hur kan såpbubblor hållas samman och färdas i luften?⁶⁶ Man finner också jämförelser mellan vattenvågor och ljudvågor. Men redan i ett manuskript från 1717, *Om eldens och fergornas natur*, under det mest intensiva samarbetet med Polhem, ställde han sig kritisk till analogiargumentet. Att utgå från de fenomen som vi tydligare ser och känner kan vara förledande. Att dra slutsatser utifrån en liknelse är som om man kunde från människan sluta sig till egenskaper hos änglarna eftersom de båda lever och har sinnen. Analogier från den synliga världen är inte vägen, istället hyser Swedenborg större tilltro till geometrins former och metoder i kombination med experiment och erfarenhetskunskaper. Vi måste ta fasta på de egenskaper som experimenten visar. Detta leder till kunskap. Men att finna en otvivelaktig sanning om den osynliga världen är ytterst svårt, medger han. Samtidigt blir experimentet hos Swedenborg främst ett sorts korrelat. Han ställer upp geometriska principer och formulerar en hypotes, "en *hypothesis*, som fodrar at med monga 100 *experimenter* bewisas".⁶⁷ Ur hypotesen kan olika förutsägelser härledas. Slutligen följer experimentella observationer som kan visa eller avvisa hypotesens sanningsvärde. Swedenborgs metod är således den hypotetisk-deduktiva. I *Prodromus principiorum* görs också en klar åtskillnad mellan satser a priori och a posteriori, i nämnd ordning.

Även om Swedenborg undviker det induktiva analogislutet, förekommer däremot ofta begreppet "analogia" i matematisk betydelse och inte i den yngre, språkvetenskapliga. I den andra Dædalusuppsatsen i stereometri understryker han betydelsen av att demonstrera "analogier och genlikheter" då "thess nytta strecker sig widare vt, så i mechanicis til alla slags machiner, storleker, tyngder och lopp, som i Physicis til the genlikheter, som naturen är bunden til och spelar hela sin tour igenom, innan hon kommer til sitt æquilibrium".⁶⁸ Analogi uttrycker här

⁶⁵ "Utan jemförelsser och liknelsser komer man inte långt i physicen", Polhem till Benzelius den 5 november 1722, *ibid.*, 164; jfr *ibid.*, 161; "Förklaring på anmerkningar mot eldens warelsse, och det i samma ordning punctwijss", Polhem till Benzelius den 16 november 1722, *ibid.*, 168.

⁶⁶ *Miscellanea observata*, 137; eng. övers., 87.

⁶⁷ Emanuel Swedberg, "[Om eldens och fergornas natur]" i: *Opera quaedam* III, 239.

⁶⁸ *Dædalus hyperboreus* V (1717), 130.

talförhållande, som i Swedenborgs *Regel-konsten* (1718): "Ex. 2.5:4:10. betyder at 2 til 5 har sig som 4 til 10."⁶⁹ Termen "genlikhet" har Swedenborg ursprungligen övertagit från Georg Stiernhielms *Archimedes reformatus* (1644) där den blev den svenska motsvarigheten till grekiskans "analogia" och latinets "proportio".⁷⁰ Swedenborgs mekanistiska naturuppfattning får genom analogibegreppet ett inslag av en pytagoreiskt färgad filosofi, där olika talförhållanden bygger upp naturen: "Nu som naturen spelar alla sina wärk igenom proportioner innan hon kommer til sitt æquilibrium, at man billigt kan kalla naturen vara en idel sammansatt analogie; och fast thet ena skulle synas vara skiljachtigt ifrån thet andra, så är thet doch intet annat än en sammansettning af analogier; som ses af proportione harmonica, hwilken är en geometrisk och arithmetisk genlikhet ihop".⁷¹

Polhems tankar om de runda partiklarna och deras formationer utgjorde sannolikt en viktig inspirationskälla för Swedenborg. Men deras sätt att närma sig problemet skilde sig åt: den ene som praktisk mekaniker, den andre som teoretisk matematiker. Med bubblor, kanonkulor och en tunna ärtor försökte de fånga den mikrokosmiska partikelvärldens mekanik. Det var sfäriska kroppar som samtidigt speglade en tid, ett jordbruksland i krig där gruvnäringen finansierade vapentillverkningen och vetenskapsmännen verkade i krigets tjänst. Ärtornas rågade mått gav ledtrådar till orsaken till den flytande materiens egenskaper. Kanonkulorna i ammunitionshuset passade som en sinnebild för den subtila materiens struktur. (Fig. 7) De svävande, förgängliga såpbubblorna, symbolerna för fåfångligheternas fåfånglighet, var i samklang med elementens geometri – vanitasbubblor av tvål och vatten.

⁶⁹ *Regel-konsten*, 9.

⁷⁰ Stig Nilsson, *Terminologi och nomenklatur: Studier över begrepp och deras uttryck inom matematik, naturvetenskap och teknik*, Lundastudier i nordisk språkvetenskap, serie A nr 26 (Lund: Studentlitteratur, 1974), 184ff.

⁷¹ *Dædalus hyperboreus* V (1717), 132.