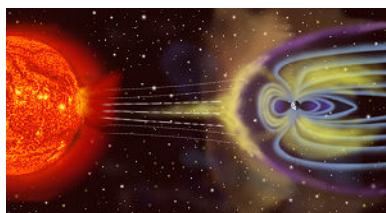


Solens korona, kosmisk strålning och klimat



(Bild från Wikipedia)

Solen består till 90% av väte, till 10% av helium och till 0,1% av andra beståndsdelar. Kärnreaktioner i solen ger temperaturer som överskrider atomernas bindningsenergi och vi får en joniserad gas, ett *plasma*. Solens atmosfär består av *fotosfären*, *kromosfären* och *koronan*. Koronan är den yttersta delen av solatmosfären. Den expanderande koronan benämns *solvinden* och fyller upp hela den interplanetära rymden. Solvinden är mycket dynamisk beroende på solens aktivitet som varierar oregelbundet men kvasicykliskt i elvaårsperioder. Den del av rymden som utfylls av solvinden benämns *heliosfären* och dess yttre gräns benämns *heliopausen*. Eftersom Solen är

Rörelseekvationen för en laddad partikel i ett yttre magnetfält, $\mathbf{B}$

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}; (q = \pm e)$$

För den parallella hastighetskomponenten får vi

$$v_{par} = \text{konstant}$$

Och för den vinkelräta komponenten får vi:

$$\frac{mv_{perp}^2}{r} = qv_{perp}B$$

där vi noterar att den magnetiska kraften balanseras av

centrifugalkraften $\frac{mv_{perp}^2}{r}$

Om vi löser rörelseekvationen kan vi visa att partikelrörelsen kan beskrivas som en enkel harmonisk oscillator med *gyrofrekvensen*

$$\omega_c = \frac{v_{perp}}{r_L} = \frac{qB}{m}$$

där

$$r_L = \frac{mv_{perp}}{|q|B}$$

är gyroradien eller Larmorradien.

en magnetisk stjärna består solvinden av ett utsträckt magnetiskt fält med ett flöde av laddade partiklar, elektroner och protoner. Utan detta magnetiska fält skulle de utslungade partiklarna från solen ha rört sig i rätta banor radiellt ut från solen. Eftersom vi har ett magnetiskt fält kommer emellertid de laddade partiklarna att påverkas av den elektromagnetiska kraft, Lorentz-kraften, som gör att partiklarna binds till magnetfältet och

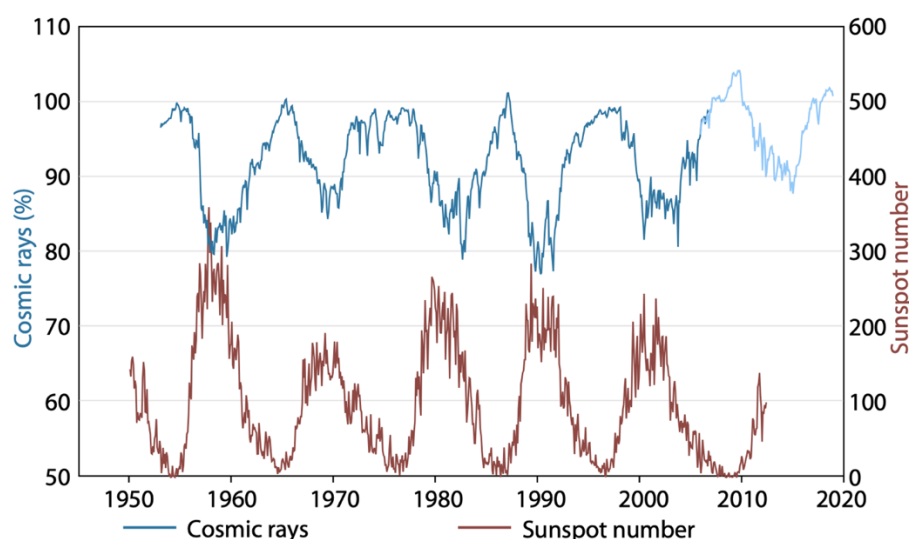
Galaktisk kosmisk strålning består av mycket energirika partiklar med ursprung i den interstellära rymden. De får sin energi genom acceleration i shockfronter från supernovor. Partiklarna är till 90% protoner, 9% alfapartiklar och en mindre del tyngre partiklar. Partikelenergierna ligger mellan några MeV och 10^{20} eV. På grund av sin höga energi kan de, efter att ha avböjts i det interplanetära magnetfältet och i magnetosfären, nå Jordens atmosfär och kolliderar där med atmosfärens partiklar och ger upphov till sekundärstrålning.

de kommer att röra sig i spiralbanor längs med *de magnetiska fältlinjerna*. (i själva verket har vi en ömsesidig påverkan mellan partiklarna och magnetfältet) Partiklarnas gyrorörelse är alltid riktad så att det magnetfält som genereras genom partikelrörelsen motverkar det yttre magnetfältet. Plasmata är *diamagnetiskt*. Då den supersoniska solvinden/koronan når Jordens magnetfält sker en komplex koppling mellan det interplanetära

magnetiska fältet, *IMF*, och Jordens magnetfält samtidigt som en del av solvindens partiklar överförs till Jordens *magnetosfär*. I processen deformeras Jordens magnetosfär kraftigt (se illustrationen ovan). Utan yttre påverkan skulle Jordens magnetosfär, i stort sett, ha varit ett

symmetriskt magnetiskt dipolfält. I det deformerade magnetfältet ligger jordens *magnetopaus* normalt på cirka 10 jordradiers avstånd från jorden på dagsidan (mot solen). På nattsidan utsträcks magnetosfären mycket långt, i en svans, bortom 200 jordradier. Magnetosfärens utsträckning och form är i ständig förändring beroende på solaktivitet. Samma typ av växelverkan mellan fält och partiklar sker i *heliopausen* där solvinden möter det intergalaktiska magnetfältet och den kosmiska strålningen. Förståelse för den dynamiska och komplexa växelverkan som ständigt äger rum mellan solvinden och Jordens magnetosfär är en huvudfråga för den svenska rymdforskningen, där nobelpristagaren Hannes Alfvén, KTH har gjort betydande insatser, och den svenska satelliten Viking var en av pionjärerna för *in situ* mätningar av fält och partiklar. Betydande svenska insatser har också gjorts med de fyra europeiska Cluster-satelliterna.

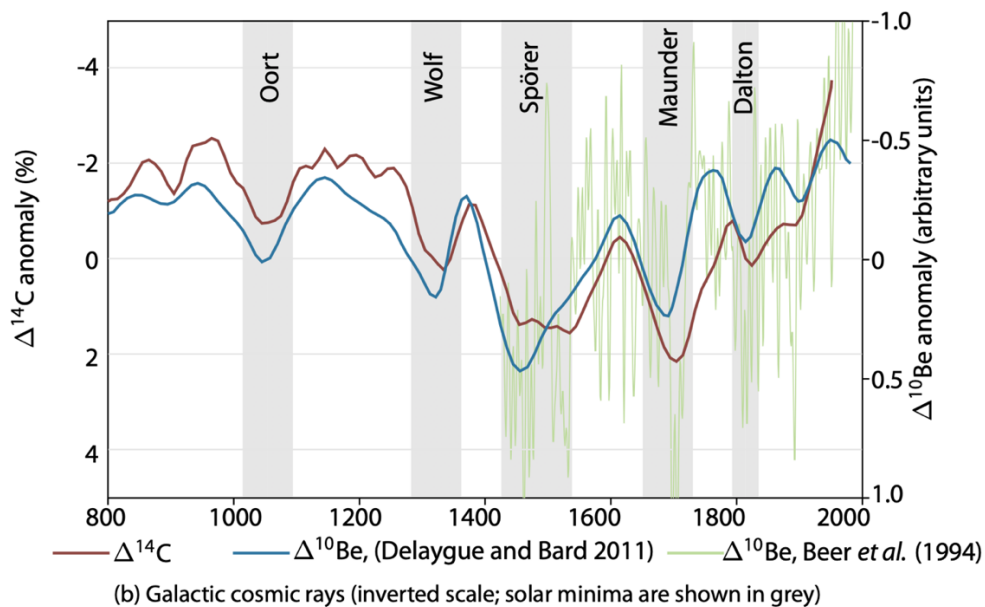
Varför spendera utrymme på detta i en blogg för "klimatskeptiker"? Jo, vi har försökt förklara grunden för hur det kan komma sig att solvinden, genom sitt magnetfält, kan påverka partikelflödet mot jorden och därmed, i samband med partikelkollisioner i atmosfären generera kondensationskärnor (aerosoler) vilka skulle kunna påverka molnbildningen. Grunden är alltså att de laddade partiklarna, såväl från solvinden som de galaktiska, påverkas av magnetfält, vilket vi har försökt åskådliggöra genom en lösning av partiklarnas rörelseekvationer. Därigenom modereras partikelinfallet mot Jorden beroende på det *interplanetära magnetfältets*, IMF, styrka och riktning. Heliosfären skyddar alltså hela den interplanetära rymden från galaktisk kosmisk strålning på samma sätt som jordens magnetfält, magnetosfären skyddar jorden från interplanetär strålning. Korrelationen mellan den kosmiska strålningens modulation och solvindens variation är experimentellt påvisad, som framgår av Figur 1.



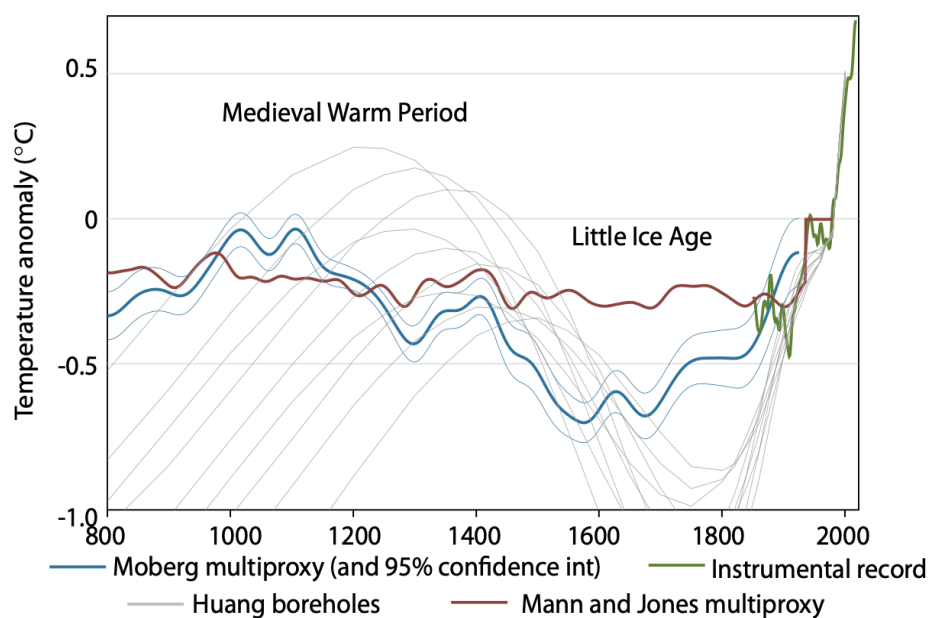
Figur 1 Kosmisk strålning och solfläckarnas variation 1951 - 2018 [McCracken and Beer, 2015; Clette et al, 2014, Svensmark, 2019]

Även på en längre tidsskala, år 800 – 2000, finner vi, genom proxy-data, god överensstämmelse mellan stark kosmisk strålning och kända minima i solaktiviteten, se Figur 2. Notera den omvända skalan och lägg märke till Maunder-minimat som till stor del sammanfaller med det vi kallar "lilla istiden". Temperaturer för samma tidsperiod, konstruerade från proxy-data, finner vi i Figur 3. Vi kan även tydligt identifiera den medeltida värmeperioden och lilla istiden i alla dataset utom för de resultat som publicerats av Mann

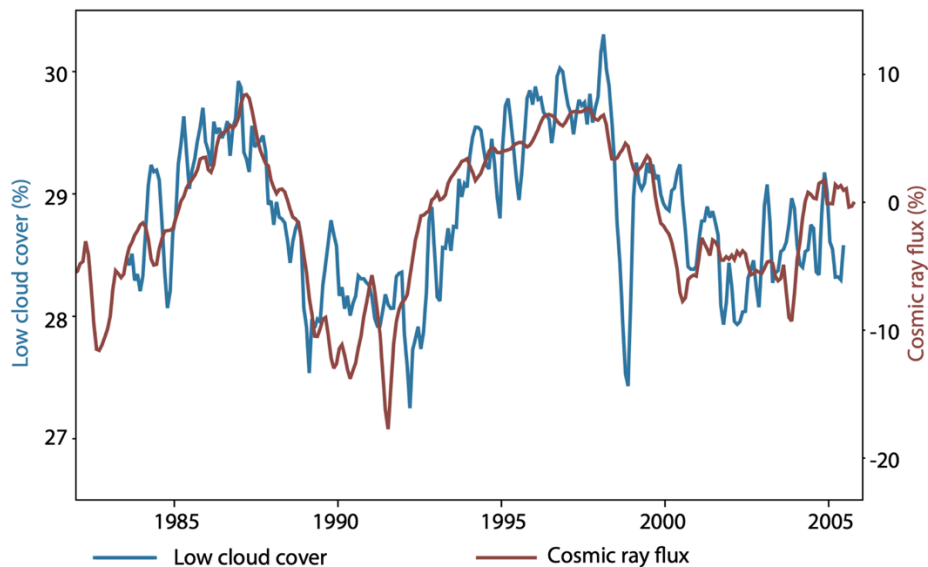
och Jones (2003) vilka helt saknar dessa anomalier. Den förmodade mekanism som länkar den kosmiska strålningen till klimatet antas vara den kosmiska strålningens bidrag till molnbildningen och därmed påverkan på jordens albedo. Låt oss därför titta på en illustration av korrelationen mellan låga moln och kosmisk strålning i Figur 4. Den goda korrelationen mellan molnbildning och kosmisk strålning, rapporterades redan 1996 [Svensmark and Friis-Christensen, 1997]. I början saknades teoretiskt underlag för mekanismerna för hur den kosmiska strålningen påverkade molnbildningen och var en av invändningarna mot att kosmisk strålning skulle påverka klimatet. Teorin har efterhand utvecklats och förklaras idag enligt Figur 5 [Sveningsson, 2019]. Teorin har visats experimentellt [Svensmark et al., 2007] och även bekräftats vid laboratorieexperiment vid det europeiska acceleratorlaboratoriet CERN [Kirkby et al., 2011].



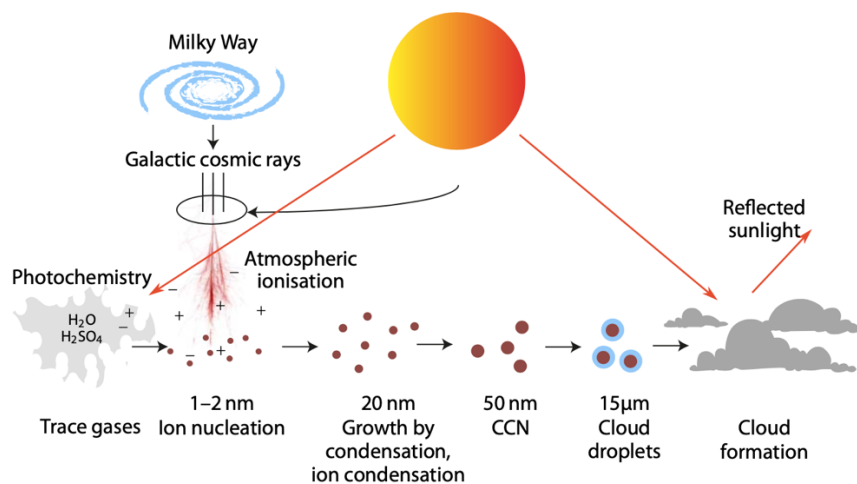
Figur 2 Rekonstruktion av kosmisk strålning baserat på ^{14}C mätningar i trädringar, Myhre et al 2013, och ^{10}Be koncentrationer i isärnor från Antarktis, Delaygue et al 2011 och från Grönland, Beer et al, 1994, Figur: Svensmark, 2019



Figur 3 Temperaturanomalier relativt 1961 - 1990 års medelvärden. Moberg et al., 2005, Mann and Jones, 2003, Huang et al., 2008, Morice et al., 2011, Figur: Svensmark 2019



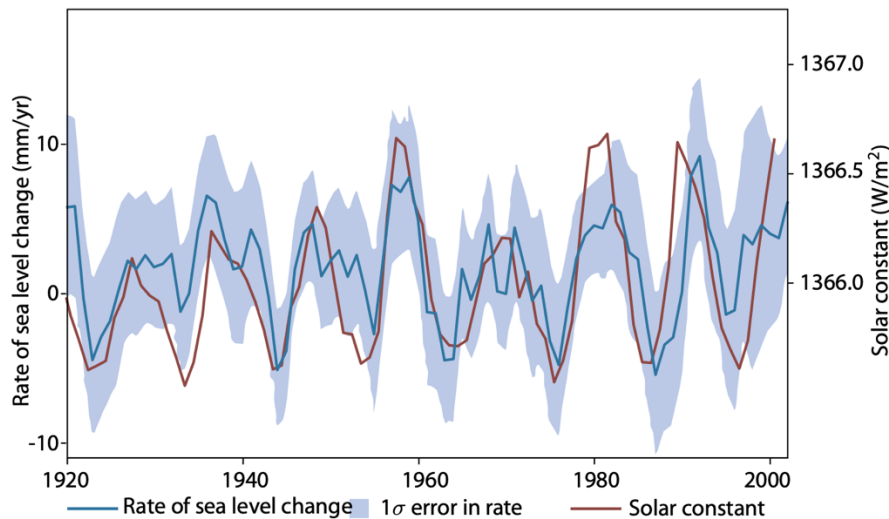
Figur 4 Satellitmätning av låga moln och kosmisk strålning [Svensmark, 2007]



Figur 5 Fysikaliska samband mellan solaktivitet och klimatförändringar

a) En mer aktiv sol b) starkare solvind c) mindre kosmisk strålning d) mindre jonisation i atmosfären e) långsammare bildning av kärnor f) färre kondensationskärnor g) moln med färre droppar h) mindre reflexion av solljus och en varmare jord

Av intresse är att kvantifiera vilken infallande effekt som skulle behövas för den molnbildningsmekanism som den kosmiska strålningen innebär. För att få en uppfattning av detta har man studerat den komponent av havets uppvärmning som korrelerar med solaktiviteten, manifesterad genom den nivåhöjning som temperaturvariationer ger. Figur 6 visar uppmätta havsnivåer över flera elvaårscykler av varierande solaktivitet.



Figur 6 Havsnivå och solaktivitet [Shaviv, 2008]

Genom att uppskatta energiinflödet i oceanerna över elvaårscykeln, med hjälp av nivåvariationerna har det varit möjligt att kvantifiera effekten av solaktivitetens variationer. Analysen ger att det krävs ett energiinflöde på upp till $1,5 \text{ W/m}^2$ över solfläckscykeln för att ge den observerade variationen i havsnivåer [Shaviv, 2008]. Den totala variationen av solinstrålningen, är omkring $0,2 \text{ W/m}^2$ vilket innebär att variationen av den totala solinstrålningen, TSI, inte ensam kan förklara de observerade variationerna av havsnivåerna. En kandidat skulle kunna vara den mekanism som vi förklarat i detta inlägg, vilken skulle kunna ses som en förstärkning av den effekt som utgår från solens variation, eller med andra ord, solens variation skulle kunna ses som styrsignal för den molnbildningsmekanism som drivs av den kosmiska strålningen.

Som sammanfattning konstaterar vi att:

- God korrelation föreligger mellan solaktivitet, kosmisk strålning och molnbildning över en lång tid och på många tidsskalor
- En teori för de fysikaliska processer som beskriver hur kosmisk strålning kan påverka molnbildning har presenterats
- Teorin för fysikaliska processerna har i princip bekräftats genom laborieexperiment
- Processen är en möjlig kandidat för den förstärkningsmekanism som, energimässigt, krävs för att förklara korrelationen mellan solstrålning och variationer i klimatet

Vi konstaterar också att den föreslagna mekanismen med kosmisk strålning inte utesluter att klimatet också styrs genom växthuseffekten, men kosmisk-strålnings-effekten är korrelerad med klimatvariationer över mycket långa tidsperioder. Man skulle också kunna dra slutsatsen att klimatet kanske inte bara styrs av *en* mekanism som dessutom kan kontrolleras av människorna.

Kosmisk strålning har hittills inte inkluderats i de klimatmodeller som stöds av IPCC.

Referenser

F Clette, L Svalgaard, JM Vaquero et al., Revisiting the sunspot number. A 400-year perspective on the solar cycle, *Space Science Reviews*, 2014, vol. 186, pp. 35-103

KG McCracken and J Beer, The annual cosmic-radiation intensities 1391-2014; the annual heliospheric magnetic field strengths 1391-1983, and identification of solar cosmic-ray events in the cosmogenic record 1800-1983, *Solar Physics*, 2015, vol. 290, pp. 3051-3069

Henrik Svensmark 2019, Force Majeure, The Sun's Role in Climate Change, *GWPF Report 33*, ISBN 978-0-9931190-9-5

G Myhre, D Shindell, FM Bréton et al., 2013 "Antropogenic and natural radioactive forcing", in Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T Stocker, D Quin, GK Plattner et al., (eds). Cambridge University Press 2013.

G Delaygue and E Bard, 2011 "An Antartic view of Beryllium-10 and solar activity for the past millennium", *Climate Dynamics*, 2011, vol. 36, pp. 2201-2218.

J Beer, ST Baumgartner, B Dittrich-Hannen et al., 1994 "Solar variability traced by cosmogenic isotopes", *International Astronomical Union Colloquium*, 1994, vol. 143, pp. 291-300

A Moberg, DM Sonechkin, K Holmgren et al., 2005, "Highly variable northern hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data", *Nature*, 2005, vol. 433

ME Mann and PD Jones, 2003 "Global surface temperatures over the past two millennia", *Geophysical Research Letters*, 2003, vol. 30

SP Huang, HN Pollack and PY Shen, 2008, "A late quarternary climate reconstruction based on borehole heat flux, borehole temperature data, and the instrumental record", *Geophysical Research Letters*, 2008, vol.35

CP Morice, JJ Kennedy, NA Rayner et al., 2011 "Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2011, vol.117

H Svensmark, 2007, "Cosmoclimatology: a new theory emerges", *Astronomy and Geophysics*, 2007, vol.48, pp. 010000-1

H Svensmark and E Friis-Christensen, 1997, "Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 1997, vol. 59, pp. 1225-1232

H Svensmark, JOP Pedersen, ND Marsh et al., 2007, "Experimental evidence for the role of ions in particle nucleation under atmospheric conditions", *Royal Society of London Proceedings Series A*, 2007, vol. 463, pp. 385-396

J Kirby et al., 2011, "Role of sulphuric acid, ammonia and galactic cosmic rays in atmospheric aerosol nucleation" *Nature*, 2011, vol. 476, pp. 429-433

NJ Shaviv, 2008, "Using the oceans as a calorimeter to quantify the solar radioactive forcing", *Journal of Geophysical Research*, 2008, vol. 113.