

Till den fysikintresserade klimatalarmisten

Solen är den källa som förser Jorden med nästan all energi som krävs för den dynamik som äger rum i atmosfären och oceanerna och därmed möjliggör liv på Jorden. När det gäller det observerade klimatet på Jorden, finns det divergerande uppfattningar om solens betydelse. I IPCC:s arbetsgrupp I nedtonar man betydelsen av solen genom att enbart beakta 'total solar irradiance, TSI' och bortse från sekundära effekter. IPCC WG I anger att 'radiative forcing' på klimatet från solaktivitet under perioden 1750 till 2011 till 0,05 W/m² vilket de påpekar är försumbart jämfört med variationer i antropogen påverkan på växthusgaser som anges till 2,3 W/m². [Ref. 1] Vi kommer, i denna text, att använda oss av begreppet 'forcing' för att beskriva i vilken grad olika mekanismer skulle kunna påverka Jordens klimat. På svenska skulle det kunna översättas till kraft, styrka eller drivning. Vi kommer att ange 'forcing' med dimensionen [W/m²]. det vill säga egentligen effekttäthet och vi kommer att använda benämningen 'strålningsdrivning' i fortsättningen.

Gravitationseffekten

Alla kroppar avger elektromagnetisk strålning. Strålningens karaktär avgörs av kroppens temperatur. Ju varmare kroppen är desto mer energi strålas ut från kroppen, och även strålningens frekvens och våglängd varierar med temperaturen. Jordens ingående strålningsenergi kommer från solen, och den utstrålade energin beror på Jordens temperatur. Om den instrålade energin är större än den utstrålade kommer Jorden att värmas upp, och analogt, kylas av om den instrålade energin är lägre än den utstrålade. I ett jämviktsläge måste alltså den instrålade och den utstrålade energin att vara i balans.

Den instrålade energin från Solen ges av solkonstanten $S=1\,360$ Watt per kvadratmeter strax utanför Jordens atmosfär. Den utstrålade energin är proportionell mot fjärde potensen av den absoluta temperaturen, T , i Kelvin, enligt **Stefan Boltzmanns lag**. Vid jämvikt måste den utstrålade energin från Jorden vara lika stor som den instrålade energin från Solen:

$$S = kT^4$$

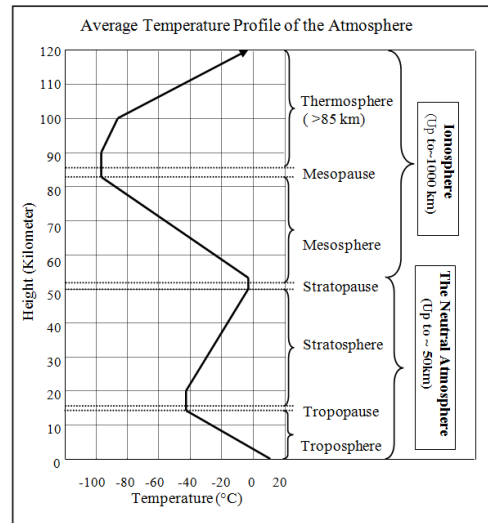
där k är Plancks konstant $5,67 \cdot 10^{-8}$ Watt per kvadratmeter. Man räknar med att bara 70 % av inkommande solstrålning penetrerar atmosfären eller reflekteras på jordytan, d.v.s.

$$0,7S = kT^4$$

och vi får då $T=361$ K eller $88\,^{\circ}\text{C}$. Om vi går vidare mot en mer realistisk modell kan vi ta hänsyn till att solinstrålningen totalt träffar en yta som motsvarar jordens tvärsnittsytan, men utstrålningen sker i alla riktningar från jordklotet. På så sätt får vi in en faktor fyra i balansekvationen (kvoten mellan sfärens yta och cirkelns yta):

$$0,7S = 4kT^4$$

viket ger $T = 255 \text{ K}$, eller $-18 \text{ }^\circ\text{C}$. Detta är den temperatur vid vilken jorden skulle vara i balans med den inkommande solstrålningen om jorden inte hade haft någon atmosfär (vi har



Figur 1 Temperaturfördelning i atmosfären

dock räknat med reflexion från moln trots att vi ännu inte tagit hänsyn till atmosfärs effekter i övrigt). Vi vet att i verkligheten är medeltemperaturen vid jordytan ungefär $15 \text{ }^\circ\text{C}$, en skillnad på 33 grader. Denna skillnad kan förklaras av gravitationens inverkan på luftmolekylerna. Det är framför allt atmosfärens nedersta del, Troposfären, som påverkar jordens klimat. Detta är det höjdområde där tätheten är så pass stor att energin kan transporteras i höjd- och horisontalled. I skiktet allra närmast Jorden kommer temperaturerna på jordytan och i luften att utjämnas. Den därigenom uppvärmda luften kommer att transporteras till högre höjder genom konvektion, ända upp till Tropopausen, och vi får luftrörelser både uppåt och nedåt. En av anledningarna till att trafikflygplan föredrar att flyga på en höjd nära Tropopausen är just att turbulensen är mycket lägre där än på lägre höjder. I jordens gravitationsfält har luftmolekylerna en potentiell energi i proportion till den enskilda molekylens höjd över jordytan. Luftmolekylen har även en kinetisk energi motsvarande luftpaketets temperatur. Energin är, enligt **termodynamikens första huvudsats**, oförstörbar. Det innebär att en luftmolekyl som, under gravitationens inverkan, rör sig nedåt mot jordytan minskar sin potentiella energi (och vice versa), och detta måste då kompenseras genom att dess kinetiska energi ökar, det vill säga temperaturen ökar ju längre ner vi kommer mot jordytan.

$$mgh + \frac{mv^2}{2} = \text{konstant} \quad (1)$$

$$(\text{Lägesenergi}) + (\text{rörelseenergi}) = \text{konstant}$$

Där m =massan, g =gravitationen, h =höjden, v =hastigheten. Temperaturen kan beskrivas som den kinetiska energin hos en ideal gas, det vill säga rörelsen hos molekylerna i ämnet.

$$T = k_1 \frac{mv^2}{2}$$

Ekvation 1 med temperaturen T insatt:

$$mgh + \frac{T}{k_1} = \text{konstant}$$

$$T = k_1(\text{konstant} - mgh)$$

$$T = T_{h=0} - k_2 h$$

$$\frac{dT}{dh} = -k_2$$

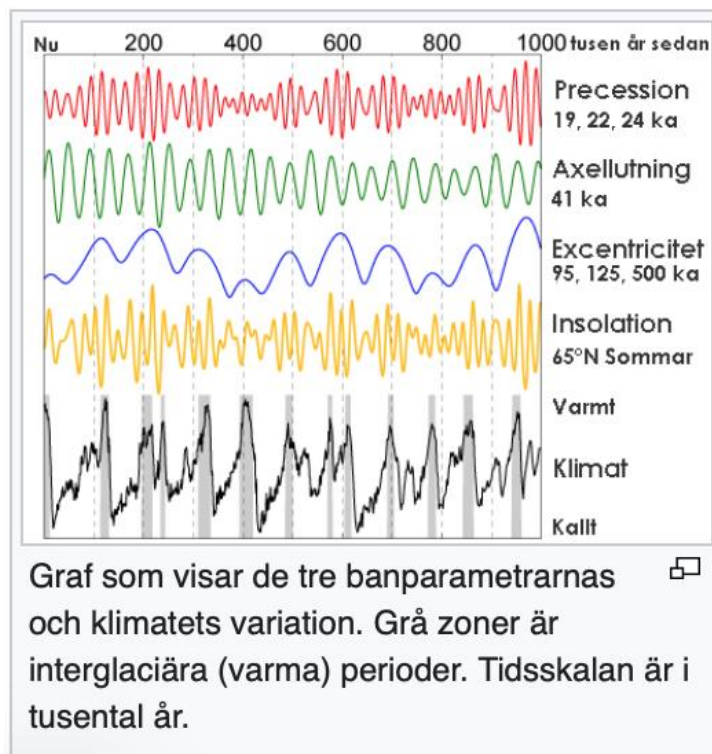
Där $k_2 = k_1 mgh$ på engelska brukar benämnas 'lapse rate' som beskriver hur snabbt temperaturen ändras med höjden.

Vi har alltså ett linjärt temperaturberoende med höjden, h (jfr Fig 1, temperaturen i Troposfären) Denna teori utvecklades under 1870-talet av den Österrikiske kemisten Johann Josef Loschmidt som fann att temperaturen borde minska med cirka 10 grader per km. Idag räknar man med att i torr luft förändras temperaturen med cirka 9,8 °C/km. En matematisk härledning av detta finns i Bilaga 1. För fuktig luft brukar man använda ett värde på 6,5 °C/km. På 5 km höjdskillnad skulle man alltså få en temperaturskillnad på 33 °C som förklarar den observerade medeltemperaturen vid jordytan. Jämviktsytan där utstrålningen från jorden är lika stor som instrålningen från Solen skulle alltså ligga på cirka 5 km höjd över jordytan (se Fig 1). I grunden kan alltså det faktum att vi, på jordytan, har en, för mänskligheten, lämplig medeltemperatur förklaras som en ren *gravitationseffekt*. I förklaringen har vi förstås gjort ett antal antaganden och förenklingar, bland annat: 1) Jorden betraktas som en svart kropp, 2) Modellen är endimensionell 3) Modellen är statisk. **Vi har alltså utgående från grundläggande fysik: 1) Stefan Boltzmanns strålningslag, 2) termodynamikens första huvudsats och 3) klassiska fysikens uttryck för en partikels lägesenergi och rörelseenergi funnit en modell för jordens temperatur som ger mycket god överensstämmelse med observationer.** Om instrålningen skulle ändras, och balansen mellan instrålad, och utstrålad energi skulle rubbas, kommer stratosfären att uppvärmas eller avkylas, och kurvan i Figur 1 parallell-förskjuts tills en ny balans uppnås. I följande avsnitt ska vi undersöka hur detta 'basala' klimat kommer att modifieras genom olika processer.

Milankovic-cyklerna

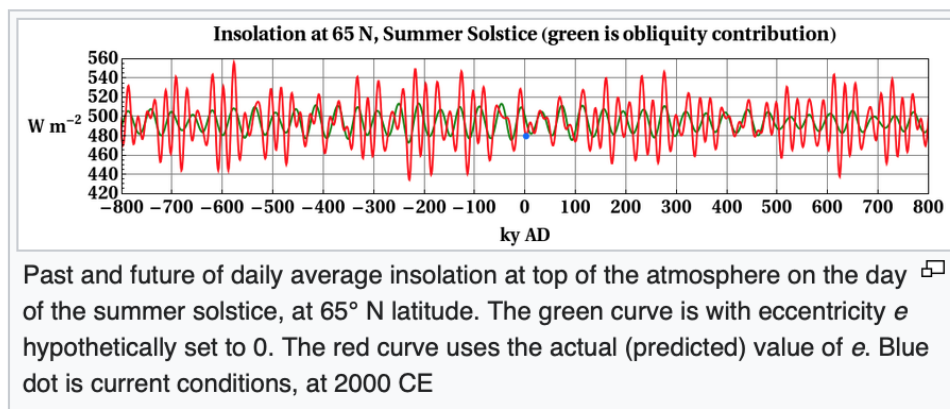
I härledningen av "lapse rate" använde vi oss av en solkonstant $S = 1360 \text{ W/m}^2$. I Fysikalisk mening är emellertid inte solkonstanten en konstant. Solkonstanten inkluderar all solstrålning, inte bara synligt ljus, och uppmäts till 1361 W/m^2 vid solminimum (då solen har minst antal solfläckar under den elvaåriga solfläckscykeln) och ungefär 0,1% högre (1362) vid solmaximum. Under de senaste 400 åren har solkonstanten varierat mindre än 0,2%. Om solkonstanten varierar lite betyder det emellertid inte att den solstrålning som når Jorden är nästan konstant. Den strålning som når Jordens atmosfär varierar ungefär 6,9% under ett år beroende på Jordens varierande avstånd från Solen, därav vårt värde på 1360 W/m^2 i medeltal. Solkonstanten varierar alltså ganska lite över tiden och kan därför inte ensam förklara klimatets variationer över tiden. Vi ska undersöka några fenomen som har föreslagits som delförklaringar till klimatets variation: Milankovic-cyklerna, solaktiviteten och molnförekomsten.

Milanković-cyklerna är långsamma variationer av instrålningen av solljus till jordytan, orsakade av regelbundna förändringar av jordens banrörelse kring solen och av riktningen på jordens rotationsaxel. De inverkar på jordens klimat och anses vara upphovet till de senaste årmiljonernas skiftningar mellan istider och mellanliggande varmare interglacialer. Solinstrålningens cykliska variationer har fått sitt namn efter den serbiske ingenjören, astrofysikern och matematikern Milutin Milanković (1879–1958), som bedrev mycket forskning på området, även om de ursprungligen påvisades och studerades av forskare verksamma längre tillbaka i tiden.



Figur 2 Milankovic-cykler [Wikipedia]

Figur 3 visar hur konstruktiv eller destruktiv samverkan mellan de olika ingående Milankowich-cyklerna kan orsaka ett mycket varierande infall av solenergi mot Jorden, så kallad "solar forcing".

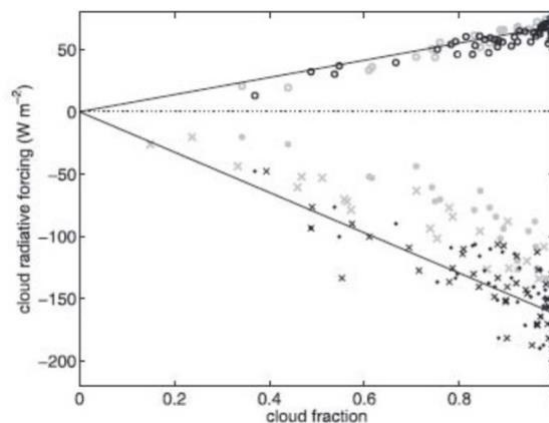


Figur 3 Solar forcing med och utan excentricitet i Jordens bana [Wikipedia]

Molnbildning

Molnens roll är viktig därför att vid varje given tidpunkt är cirka 70% av Jorden täckt av moln. Deras roll är svårförstådd eftersom de utövar motsatta krafter: En del sorters moln hjälper till att kyla av Jorden och andra hjälper till att värma upp den. Vilken effekt kommer att vinna då vårt klimat fortsätter att förändras? Så här långt är ingen säker. Höga cirrusmoln värmer på genom att de återstrålar en del av den infraröda strålningen från jordytan, låga moln svalkar av genom att de skuggar. Å andra sidan kan iskristaller högt upp i atmosfären reflektera solljus, samtidigt som låga moln gör att kalla vinternätter blir varmare än vad de annars vore. Vidare sker det stora energiomvandlingar vid förångning av vatten och då ångan

kondenseras till vattendroppar i moln. Moln transporterar också värme/energi rent rumsligt både i höjdlid och i sidled. Till detta komplexa system kommer så också den stora osäkerheten kring aerosoler. För att det skall kunna bildas vattendroppar krävs det små aerosolpartiklar. En del aerosoler genereras naturligt t.ex. genom sandstormar, genom skum från havsvågorna eller genom kosmisk strålning (se nedan). Andra skickar vi människor upp i luften via rök ur skorstenar, sot från eldar och annat. Aerosoler kan vara värmande eller avsvalnande beroende på typen av aerosoler. Storleken och typen av aerosoler påverkar också typen av moln. Szoek et al (2012) [Ref 4] rapporterar om den uppmätta effekten av Stratocumulusmoln på strålningsvärmningen vid jordytan, och jämför detta med motsvarande CIMP-beräkningar. Mätningarna gjordes vid södra vändkretsen, 75° - 85° W under oktober – november 2001 – 2008. Mätningarna gjordes både från satellit och fartyg med flera olika metoder och gav molndata samt infallande kort- och långvågig strålningsintensitet under dygnets alla timmar. Resultaten sammanfattas i Figur 4.



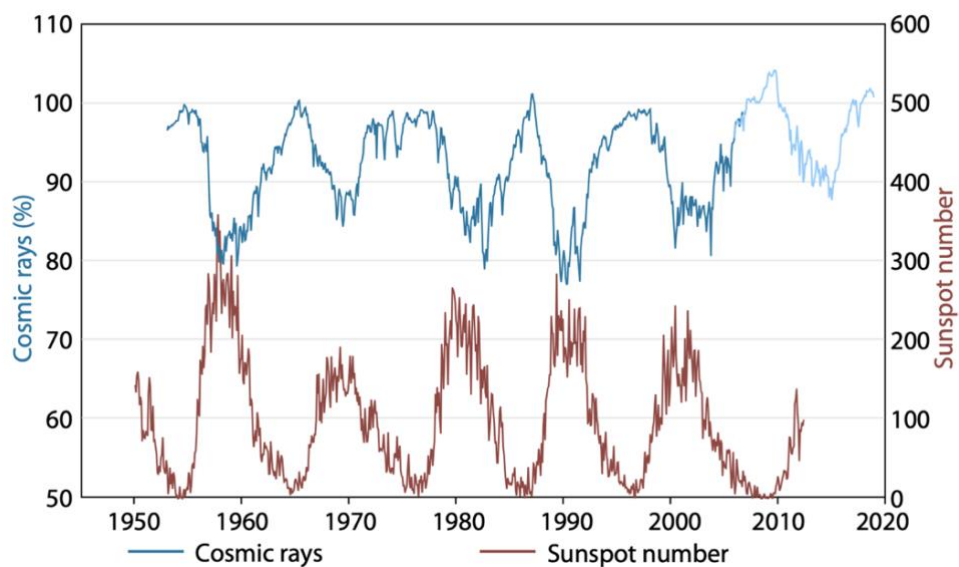
Figur 4 Dagliga medelvärden av strålningsdrivning som funktion av molnmängd och långvågig strålning

Skarorna av cirklar och kryss visar strålningsdrivningen som funktion av andelen moln (c) vid mättillfället. Den övre positiva grenen är reduktionen av värmeutstrålning från jordytan (Jorden uppvärms). Den nedre, negativa gruppen av kryss visar hur mycket solinstrålningen reduceras (Jorden avkyls). Notera hur mycket större förlusten av solinstrålning är än den extra värmeutstrålningen. Diagrammet visar kvantitativt hur mycket moln kylv i detta aningen speciella fall, dvs nära södra vändkretsen i oktober-november 2001-07. Typisk förekomst ligger i intervallet $0.7 - 0.9$, så molnens nettokylning är ungefär $140 - 50 = 90 \text{ W/m}^2$. Författarna skriver i sammanfattningen att när det finns moln, så reducerar de solinstrålningen med 160 W/m^2 och ger ett extra tillskott av värmeutstrålning med 70 W/m^2 , dvs samma typiska nettoresultat.

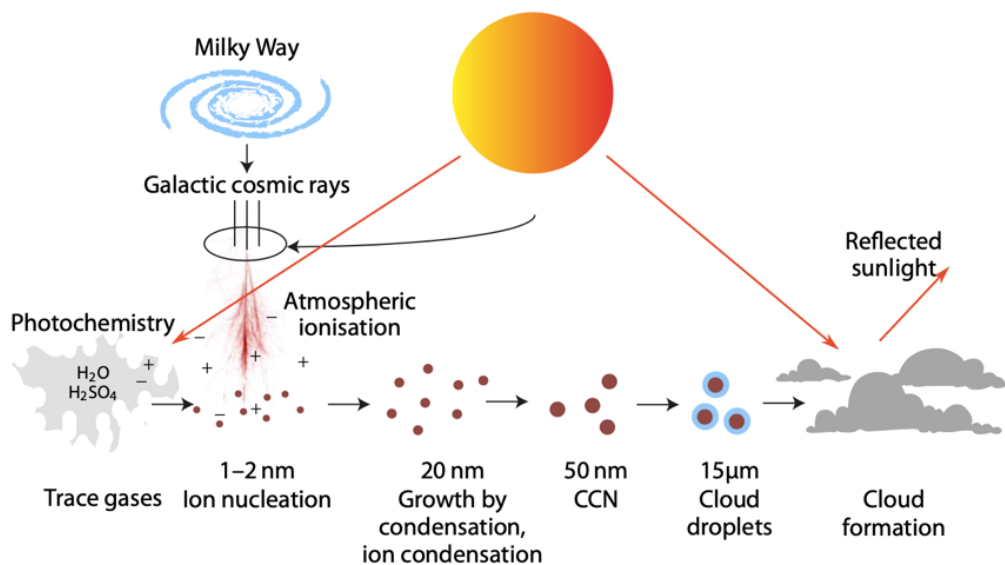
Denna ändrade strålningsdrivning: 90 W/m^2 är mer än en storleksordning större än de $2,3 \text{ W/m}^2$ som en fördubbling av CO_2 -halten anses orsaka enligt AGW-hypotesen (AGW – Antropogenic Global Warming). Detta är alltså den kvantitativa bakgrunden till att bristfällig förmåga att förutsäga molnigheten är förödande för möjligheten att göra prognoser eller ens scenarier. Författarna också gjort en jämförelse med vilken ändring i strålningsdrivningen molnen enligt ett 15-tal CMIP-modeller (CMIP – Coupled Model Intercomparison Project, Klimatmodeller använda av IPCC) skulle ge. Deras resultat, återigen i deras fall, är att simuleringarna ger 40 W/m^2 för liten avkylningen vid jordytan p g a molnen. De moln som beräknats har ungefär den riktiga effekten, men simuleringen ger ungefär 50 % för lite molnighet. Om dessa resultat är riktiga, och tål att generalisera, så visar de att oförmågan att förutsäga molnbildningen f n blockerar möjligheten att göra klimatförutsägelser.

Kosmisk strålning

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 (elektriskt laddad) gas, ett plasma. 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 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, $F = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$, som gör att partiklarna binds till magnetfältet och de kommer att röra sig i spiralbanor längs med de magnetiska fältlinjerna. (i själva verket har vi en ömsesidig påverkan mellan partiklarna och magnetfältet). Där 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. 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. Vi har försökt förklara grunden för hur det kan komma sig att solvinden, genom sitt magnetfält, kan påverka partikelflödet mot jorden som därmed, i samband med partikelkollisioner i atmosfären genererar 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 ovan. 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. Notera även i Figur 4, att vi idag har en mycket hög kosmisk strålning, enligt mätning med neutronmonitor vid geofysiska observatoriet i Sodankylä, Finland. Detta beror sannolikt på att vi är på väg in i ett minimum i solaktivitet (framgår inte av figuren), och därmed har en mycket svag solvind.



Figur 5 Kosmisk strålning och solfläckarnas variation 1951 - 2018 [McCracken and Beer, 2015; Clette et al, 2014, Svensmark, 2019]



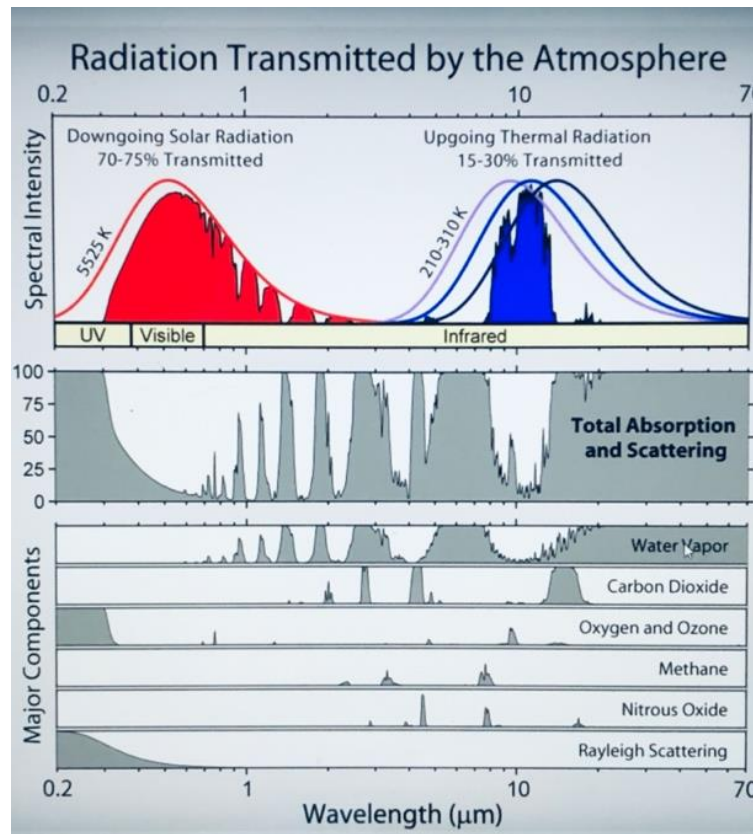
Figur 6 Illustration av den fysiska mekanism som länkar solaktiviteten till klimatet. a) en aktiv sol b) starkare solvind c) mindre kosmisk strålning när Jorden mindre jonisation f) färre kondensationskärnor g) moln med färre droppar h) lägre reflektivitet i) mindre reflexion av solstrålning och en varmare Jord

Av intresse är att kvantifiera vilken infallande effektvariation 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. 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 solstrålningen, TSI, inte ensam kan förklara de observerade variationerna av havsnivåerna. En möjlig process 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.

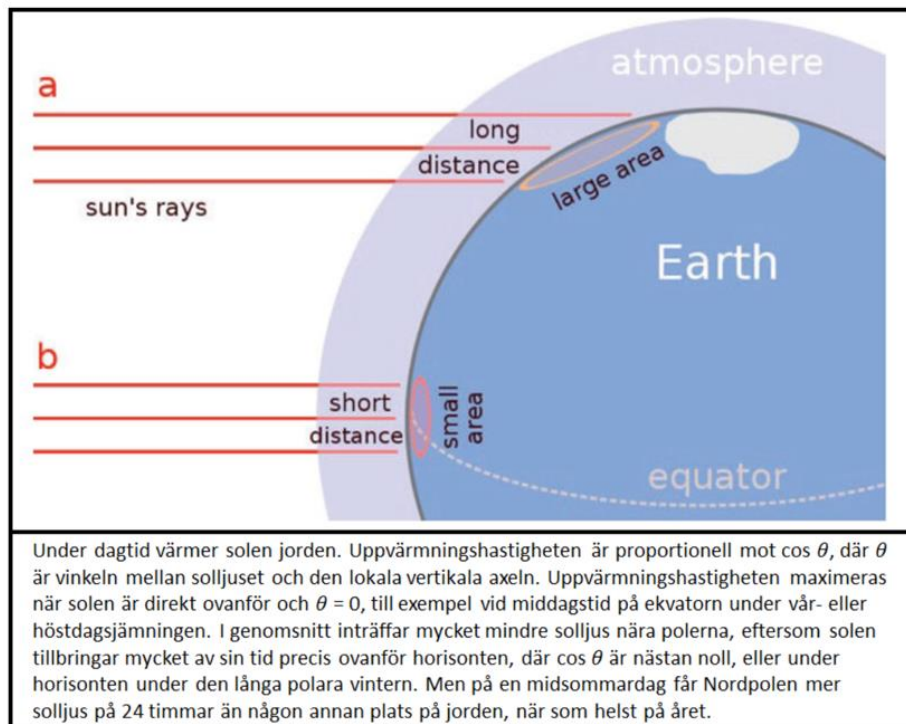
Växthusgaser

Figur 7 visar mot Jorden infallande solstrålning och utgående infraröd strålning, enligt beskrivning i inledningen, samt hur denna strålning hindras av växthusgaser. Vattenånga är den mest betydelsefulla växthusgasen som framgår av panel 3 uppifrån.



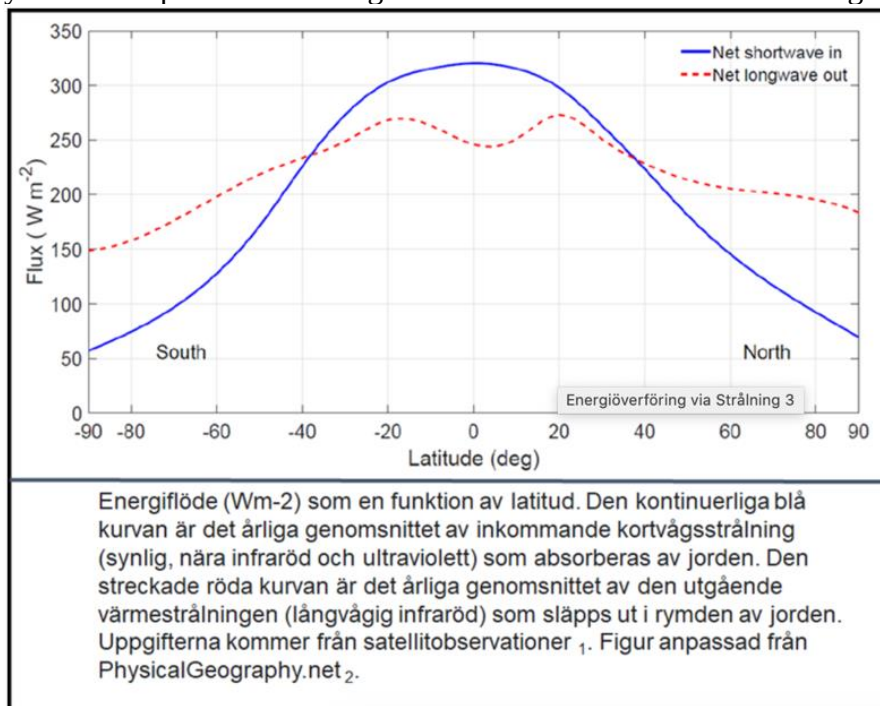
Figur 7 Jordens ingående och utgående strålning och dess påverkan av växthusgaser

Eftersom Jorden är en sfär, kommer den infallande solstrålningen att falla in mot atmosfären i olika vinklar. Man får en snabbare uppvärmning vid vinkelrätt infall än vid snett infall. Vi får därför en ojämn uppvärmning beroende på geografisk latitud. Detta kompenseras emellertid genom luftens konvektion från ekvatoriella regioner till polära regioner enligt beskrivningen i Figur 8.



Figur 8

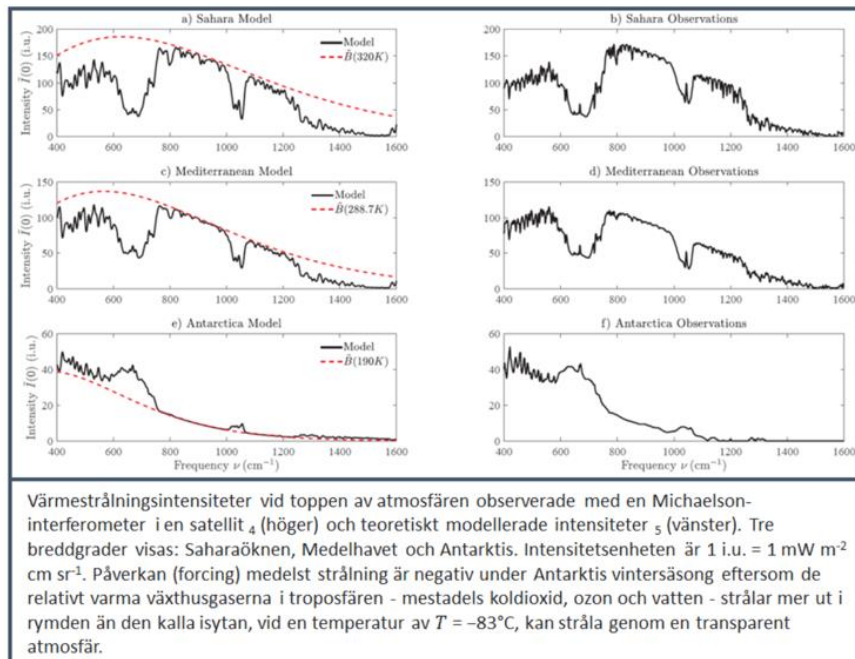
Detta innebär att det för ekvatoriella områden strömmar in mer solenergi än som strålas tillbaka till rymden. För polära områden gäller motsatsen. Detta illustreras i Figur 9.



Figur 9

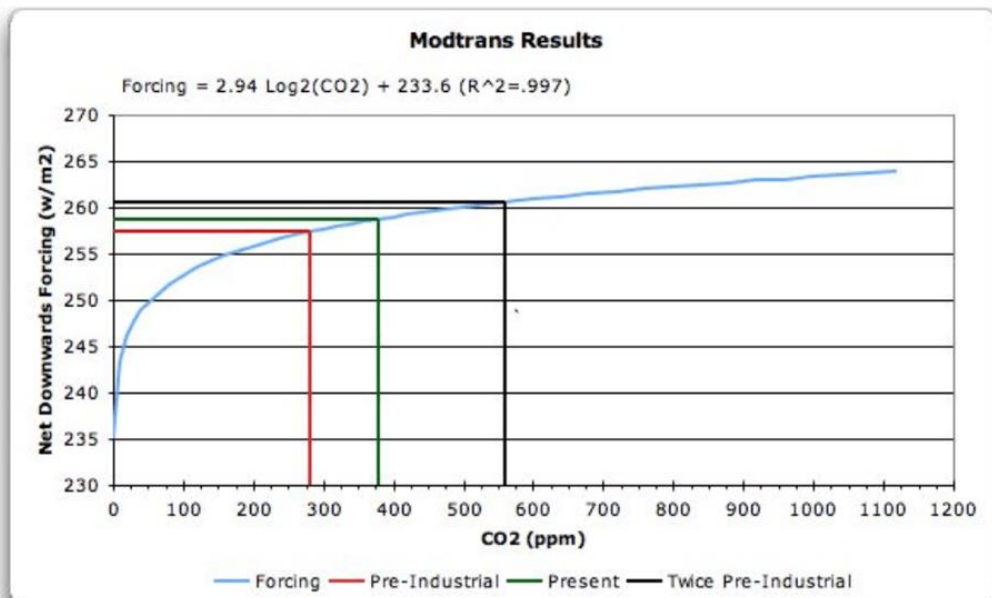
Förhållandet mellan instrålad energi och utstrålad energi ändras med årstider och tid på dygnet. Strålningsfrågan har behandlats i detalj av den Tyske fysikern och astronomen Karl Schwarzschild, som för övrigt också var den förste att demonstrera en exakt lösning på Einsteins allmänna relativitetsteori. Schwarzschilds lösningar jämförs med mätningar i Figur 10 för tre olika latituder. Som vi ser, kan Schwarzschilds lösningar näppeligen skiljas från observationerna, vilket gör att vi kan fästa stor tilltro till dem. För att få en uppfattning om

betydelsen av koldioxidens påverkan på strålningsbalansen, och därmed klimatet kan vi alltså göra en beräkning. I Figur 13 visas resultaten för 1) nuvarande koldioxidhalt 2) en fördubbling av koldioxidhalten och 3) ingen koldioxid alls i atmosfären. Vi återkommer till Figur 13, men ägnar först några rader åt koldioxidens logaritmiska karakteristik som växthusgas.



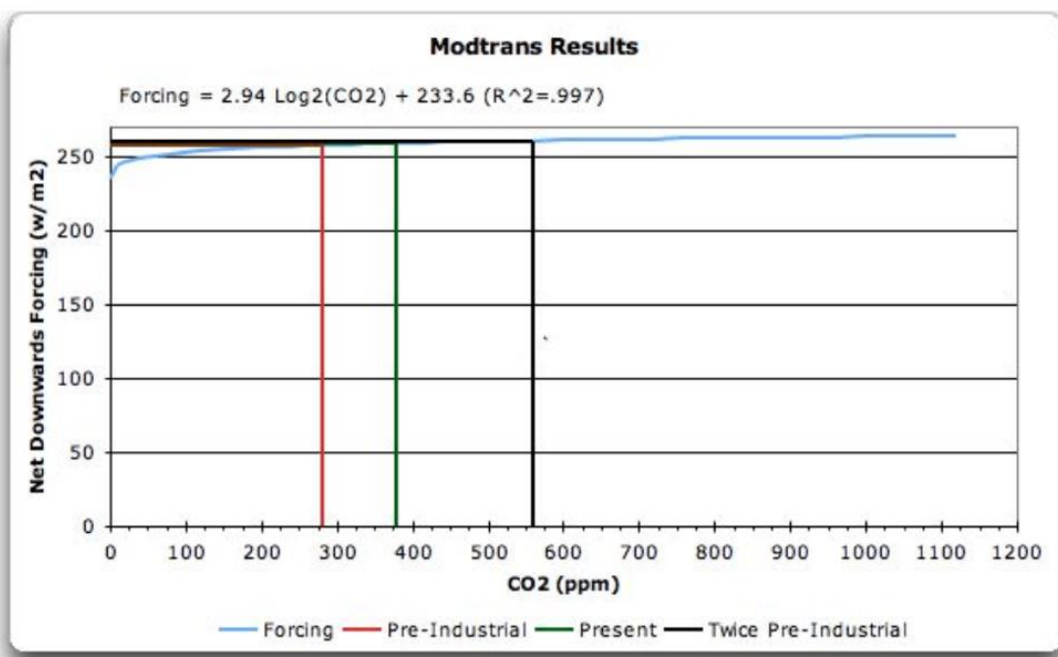
Figur 10

Redan Svante Arrhenius hade insikten att växthuseffekten är logaritmiskt beroende av koldioxidens koncentration. Det logaritmiska beroendet, är okontroversiellt, och förklaras normalt med detaljerna i molekylens absorptionsspektrum. Koldioxiden har ett stort antal absorptionslinjer motsvarande de våglängder vid vilka den absorberar elektromagnetisk strålning i det infraröda området. Efterhand som gasens koncentration ökar, mättas absorptionsförmågan, det vill säga all den tillgängliga infraröda strålningen för en specifik absorptionslinje har absorberats, det finns ingen mer strålning kvar att absorbera. Absorptionslinjer är emellertid inte infinitesimalt smala, utan har en bredd, som normalt avtar exponentiellt från centrumfrekvensen. Detta kan till exempel bero på Dopplerbreddning. Detta innebär att, när centrumvåglängden har mätts kan absorptionen fortsätta i linjernas "vingar" och "the forcing" kan öka logaritmiskt då koncentrationen ökar. Dagens koncentration av koldioxid i atmosfären är tillräckligt hög för att det huvudsakliga absorptionsbandet på 15 mikrometer är mättat (se Figur 7) och ytterligare absorption är därför beroende av "vingarna" i absorptionsspektrum. Låt oss nu, i några diagram, vad den logaritmiska karakteristiken innebär:



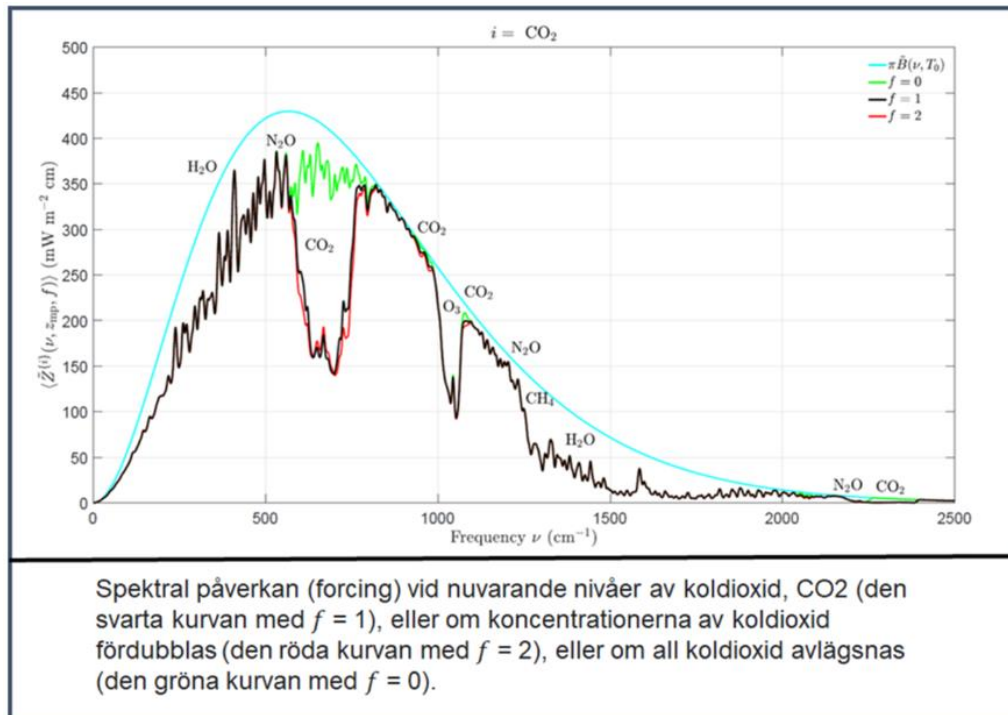
Figur 11

Figur 11 visar nedåtgående effektflöde (eng: forcing), W/m^2 , som funktion av CO_2 koncentration, ppm (parts per million). Den röda linjen markerar värden vid början av den industriella revolutionen; Den gröna linjen markerar värden för år 2006; Den svarta linjen markerar fördubblade koncentrationer jämfört med början av den industriella revolutionen. Vi noterar att växthuseffekten är dramatiskt mer kraftfull vid ändringar av låga koncentrationer av koldioxiden. Detta framgår än tydligare i följande figur med samma data men med såväl x- som y-axel i linjär skala med början från noll.



Figur 12

Detta brukar man benämna *mättnadseffekten* av CO_2 – växthuseffekten. (Det som kan hända med klimatet genom ökad koldioxidkoncentration har i stort sett redan hänt. [William Happer])



Figur 13 Beräknade strålningsflöden; Blå kurva 15,5 °C utan växthusgaser. Utstrålning i alla utåtgående riktningar, inte bara i zenit.

En närgången studie av Figur 13, visar att skillnaden mellan den röda kurvan och den svarta (en fördubbling av koldioxidhalten) knappt går att märka utom i koldioxidbandet där den röda kurvan ligger under den svarta i bandkanterna (på grund av ökad koldioxidhalt i Troposfären) men ovanför den svarta i centrum (på grund av ökade koldioxidhalt i Stratosfären). Nettoresultatet blir en minskning av strålningen till rymden med 3 W/m². De första 400 ppm som tillförs atmosfären minskar strålningsflödet med cirka 30 W/m². När ytterligare 400 ppm tillförs minskar alltså utflödet med bara 3 W/m² på grund av den logaritmiska karakteristiken.

$$(F1 - F2) = S \log_2\left(\frac{C2}{C1}\right)$$

Där F1 och F2 är strålningsflöden och C1 och C2 är koldioxidkoncentrationer. Att tillsätta ytterligare 400 ppm koldioxid till atmosfären för att öka koncentrationen från C1=800 ppm till C2=1200 ppm skulle således minska flödet till rymden med bara 1,75 W/m².

Diskussion

Förutom att ha god kännedom om naturens lagar, är man som fysiker väl betjänt av att kunna uppskatta storleksordningar (d.v.s. vad som är viktigt och vad som är försumbart) och ha rätt tecken (+/-) på olika effekter för att förstå om en effekt förstärker eller dämpar ett skeende. Detta gäller förstås även om man ska utlysa klimatnödläge baserat på utsläpp av koldioxid. Vi har genom att betrakta klimatpåverkande faktorer ur energiperspektiv (forcing) visat att:

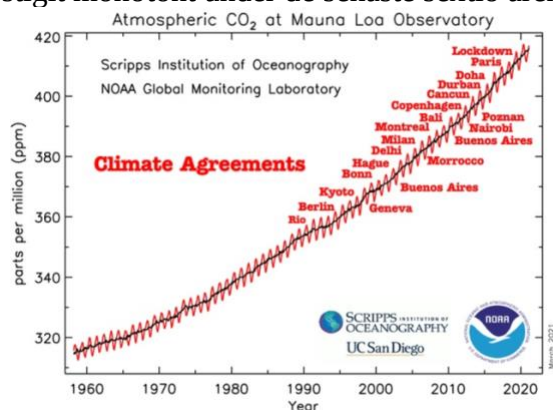
- Jordens atmosfär och gravitationen utgör grundförutsättningar för mänskligt liv på Jorden
- Milankovic-cyklerna kan förklara klimatvariationer på kort och lång tidsskala, bland annat istiderna
- Molnbildningen är viktig för förståelse av klimatet. Den är fortfarande dåligt förstådd och utgör ett stort hinder för att kunna modellera klimatets tidsvariation
- Kosmisk strålning är en av de processer som påverkar klimatet genom att påverka molnbildningen

- Växthuseffekten bidrar till Jordens klimat i ungefär samma utsträckning som den kosmiska strålningen

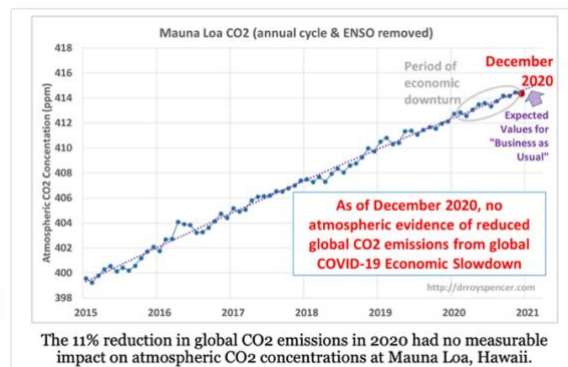
Låt oss sammanfatta några viktiga värden för strålningsdrivningen (forcing):

- Det genomsnittliga solflödet utanför atmosfären: 1360 W/m^2
- Förändringen i solflödet från januari till juli: 91 W/m^2
- Fördubbling av koldioxidhalten i atmosfären: 3 W/m^2
- Variation på grund av solaktivitet o kosmisk strålning: $1,5 \text{ W/m}^2$
- Variation av solkonstanten: $0,2 \text{ W/m}^2$
- Utgående strålningsdrivningens variation med latitud cirka: 120 W/m^2
- Nettokylning på grund av moln 90 W/m^2

Vi ser att strålningsdrivningen på grund av fördubblad koldioxidhalt i atmosfären är några procent av den variation som man har över latitud eller den variation som Jorden naturligt undergår under ett år eller den genomsnittliga nettokylning som molnen ger. Detta innebär att de beräknade ökningarna av strålningsdrivningen är så små att de knappast är mätbara tillsammans med variationerna i de mycket större naturliga fluktuationerna. Mätningar av atmosfärens koldioxidhalt vid Mauna Loa, Hawaii, visar att ökningen av koldioxidhalten har stigit monotont under de senaste sextio åren, dock aldrig snabbare än cirka 2 ppm per år.



Figur 14 Koldioxidhalt i atmosfären.



Figur 15 Koldioxidhalt i atmosfären.

Om denna trend står sig de kommande två seklerna, innebär det att det kommer att ta minst 200 år innan den har fördubblats från nuvarande nivå. Med denna bakgrund, och med 'fysik-tänket' i bakhuvudet, är det obegripligt att man idag kan tala om 'klimatnödläge' för att strålningsdrivningen, om tvåhundra år, på grund av ökad koldioxidhalt, skulle öka med några procent av de naturliga processernas variation, och som dessutom skulle vara för små för att vara mätbara. Lika obegripligt är det att man tror att människor kan påverka detta signifikant när man är överens om att det fossila (antropogena) kolets del i kolcykeln är cirka fyra procent av flödet från hav och biosfär till atmosfären. Det senare demonstreras i Figur 14 där de åtgärder som överenskommits vid IPCC:s COP-möten inte kan märkas och i Figur 15 (visar samma grunddata som Fig 14, på expanderad tidsskala och med årliga variationer och el Ninio(a) bortfiltrerade) där det framgår att den stora minskningen av mänskligt koldioxidutsläpp under Corona-pandemin inte är märkbar i mätningarna i atmosfären.

Eftersom vi inte känner till de naturliga energiflöden som strömmar in i och ut ur klimatsystemet med en noggrannhet som är bättre än cirka 5 till 10 watt per kvadratmeter och uppvärmningen i de senaste decennierna är känt (från hastigheten för havsuppvärmningen) att vara bara cirka 0,8 watt per kvadratmeter (cirka 1 % av genomsnittsflödena), innebär detta att den senaste tidens uppvärmning av klimatsystemet skulle kunna vara mestadels naturlig utan att vi ens visste om det. Det gör att en övertygelse om en mänsklig orsak till global uppvärmning till stor del är en fråga om tro. Den främsta orsaken kan vara delvis eller

mestadels från ökande växthusgasutsläpp från vår användning av fossila bränslen, men det finns inget sätt att veta hur mycket. [Ref. 14]

Referenser

- [1] G Myhre, D Shindell, F M Bréon et al., 'Anthropogenic and natural radiative 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 Qin, GK Plattner et al., (eds). Cambridge University Press, 2013.
- [2] <https://sv.wikipedia.org/wiki/Milanković-cykler>
- [3] Svensmark, Henrik: Force Majeure, The Sun's role in Climate Change, GWPF Report 33, 2019
- [4] Szoeké, S. P., et al.: 'Observations of Stratocumulus Clouds', *J of Climate* 25, 8542 (2012)
- [5] <https://klimatupplysningen.se/moln-klimatvetenskapens-joker/>
- [6] 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
- [7] 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
- [8] NJ Shaviv, 2008, "Using the oceans as a calorimeter to quantify the solar radioactive forcing", *Journal of Geophysical Research*, 2008, vol. 113.
- [9] <https://klimatupplysningen.se/energioverforing-via-stralning/>
- [10] <https://klimatupplysningen.se/vilken-effekt-pa-stralningsbalansen-har-egentligen-haltforandringar-for-de-viktigaste-atmosfariska-vaxthusgaserna/>
- [11] van Wijngarten, W. A., and W. Happer (2020): Dependence of Earth's thermal radiation on five most abundant greenhouse gases. <http://arxiv.org/abs/2006.03098>
- [12] On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground
Svante Arrhenius
Philosophical Magazine and Journal of Science Series 5, Volume 41, April 1896, pages 237-276.
- [13] Svante Arrhenius (1906): "Die vermutliche Ursache der Klimaschwankungen" *Meddelanden från K. Vetenskapsakademiens Nobelinstitut Band 1 No 2*.
- [14] <https://klimatupplysningen.se/teorin-om-antropogen-globaluppvarmning-ar-trosbaserad/>
- [15] Burger, M., J. Wentz, and R. Horton (2020): The law and science of climate change attribution. *Columbia Journal of Environmental Law*, 45(1), 57-240.

- [16] Johnson, G.C., J.M. Lyman, T. Boyer, L. Cheng, C.M. Domingues, J. Gibson, M. Ishii, R.E. Killick, D. Monselesan, S.G. Purkey, and S.E. Wijffels (2020): Ocean heat content. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(8), S140-S144.
- [17] Wild, M. (2020): The global energy balance as represented in CMIP6 climate models. *Climate Dynamics*, 55, 553-577.
- [18] Cheng, L., K.E. Trenberth, J. Fasullo, J. Abraham, and J. Zhu (2017): Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advances*, 3(3).
- [19] Trenberth, K.E., J.T. Fasullo, and J. Kiehl (2009): Earth's global energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(3), 311-323.
- [20] Wood, J.D. Jr., M. Gladyszewski, I.A. Worley, and G. Vequist, eds. (1984): *Proceedings of the First Glacier Bay Science Symposium*, Glacier Bay National Park and Preserve, September 23-26, 1983. US Department of the Interior, National Park Service, Science Publications Office, Atlanta GA, 95pp.

Bilaga 1 [från Wikipedia]

^ Mathematics of the adiabatic lapse rate



These calculations use a very simple model of an atmosphere, either dry or moist, within a still vertical column at equilibrium.

Dry adiabatic lapse rate



Thermodynamics defines an adiabatic process as:

$$PdV = -\frac{VdP}{\gamma}$$

the [first law of thermodynamics](#) can be written as

$$mc_v dT - \frac{VdP}{\gamma} = 0$$

Also, since $\alpha = V/m$ and $\gamma = c_p/c_v$, we can show that:

$$c_p dT - \alpha dP = 0$$

where c_p is the [specific heat](#) at constant pressure and α is the [specific volume](#).

Assuming an atmosphere in [hydrostatic equilibrium](#):^[10]

$$dP = -\rho g dz$$

where g is the [standard gravity](#) and ρ is the density. Combining these two equations to eliminate the pressure, one arrives at the result for the dry adiabatic lapse rate (DALR),^[11]

$$\Gamma_d = -\frac{dT}{dz} = \frac{g}{c_p} = 9.8 \text{ }^\circ\text{C/km}$$