

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Fakulteta za fiziko

Seminar – 4. letnik

# Tvorba oblakov zaradi kozmičnih žarkov

Avtor: Neža Sušnik

Mentor: prof. Rudolf Podgornik

Ljubljana, April 2012

## **Povzetek**

V svojem seminarju sem predstavila teorijo o nastanku oblakov zaradi kozmičnih žarkov in nekatere dokaze za to teorijo. Prvo je bilo potrebno razložiti izvor kozmičnih žarkov in njihov vpliv na našo atmosfero. Sledi razlaga nastankov oblakov preko ionsko vzbujene nukleacije in na koncu še predstavitev nekaterih eksperimentov, s katerimi so dokazovali vpliv kozmičnih žarkov na našo klimo.

# Kazalo

1	Uvod	1
2	Kozmični žarki	2
2.1	Vpliv kozmičnih žarkov na atmosfero	3
2.2	Vpliv Sončevega cikla na kozmične žarke	4
3	Tvorba oblakov	6
3.1	Ionsko vzbujena nukleacija	6
4	Kozmoklimatologija	8
4.1	Poskus tvorbe aerosolov z visoko energijskimi delci	10
4.2	Rezultati meritev	11
5	Zaključek	13
6	Literatura	13

## 1 Uvod

Današnji problem globalnega segrevanja mnogi pripisujejo predvsem človeško ustvarjenim toplogrednim plinom, vendar nekateri znanstveniki trdijo, da ima tudi Sonce pomembno vlogo pri globalnem segrevanju, saj obstaja bližnja korelacija med Sončevim izsevom in globalnimi temperaturami. Ker naj bi spremembe v Sončevi svetlosti vplivale na spremembo temperature na Zemlji le za nekaj stotink stopinje v zadnjih 150 letih, znanstveniki raziskujejo kako bi lahko Sonce posredno vplivalo na naše klimatske spremembe. [1]

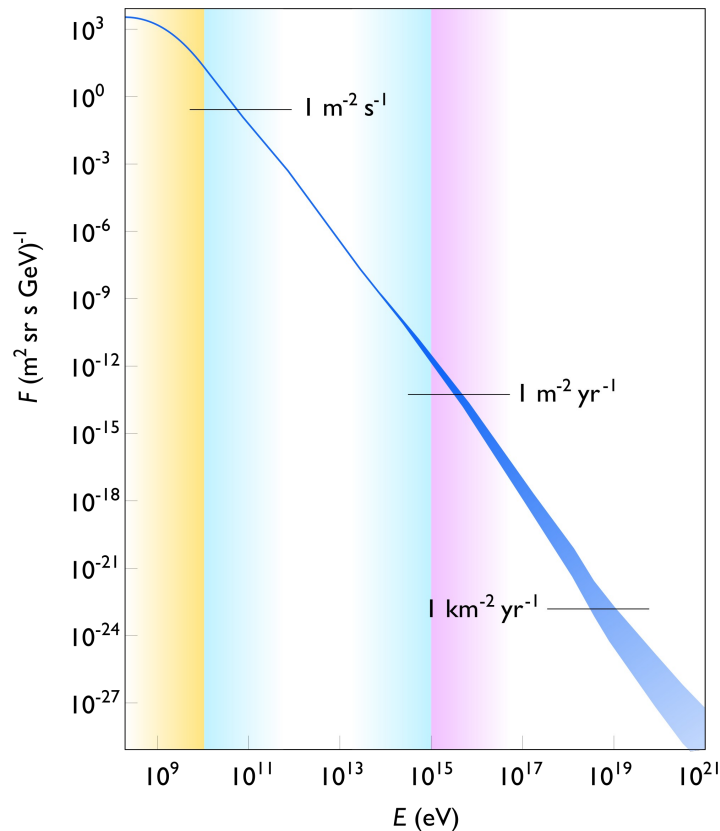
Danski fizik dr. Henrik Svensmark je postavil hipotezo o vplivu kozmičnih žarkov na tvorbo oblakov in s tem njihov posredni vpliv na zemeljsko klimo. Dr. Svensmark trdi, da kozmični žarki pomagajo tvoriti nizko ležeče oblake, ki odbijajo del Sončevega sevanja nazaj v vesolje in s tem hladijo Zemljo, obenem pa je število kozmičnih žarkov, ki dosežejo Zemljino atmosfero, odvisno od jakosti sončevega magnetnega polja. [1]

Da bi razložila njegovo hipotezo, je potrebno opisati kaj so kozmični žarki, kako nastajajo oblaki in kakšen vpliv na nastanek oblakov imajo kozmični žarki.

## 2 Kozmični žarki

Kozmični žarki so visoko-energijski delci, ki izvirajo v vesolju. Lahko jih razdelimo v dve kategoriji: primarni in sekundarni. Tisti, ki izvirajo iz astrofizikalnih virov, so primarni, ti žarki pa z interakcijo z medzvezdno snovjo ustvarjajo sekundarne kozmične žarke. Skoraj 90 % kozmičnih žarkov so protoni, približno 9 % so helijeva jedra (alfa delci) in skoraj 1 % so elektroni. Preostali del je sestavljen iz težjih jeder, ki so končni produkti zlivanja jeder ali ostanki velikega poka, to so predvsem litij, berilij in bor. [2]

Zelo različne energije delcev, ki priletijo iz vesolja, kažejo na široko paleto njihovih izvorov, od procesov na Soncu (blišči), do za zdaj še nepojasnjenih fizikalnih mehanizmov v najbolj oddaljenih delih vesolja. Mehanizmi nastajanja kozmičnih žarkov iz oddaljenih predelov galaksije so nepojasnjeni deloma tudi zato, ker ti delci pridejo do Zemlje naključno z vseh smeri. Razlog za naključnost njihove smeri so magnetna polja v naši in drugih galaksijah, ki zelo ukrivljajo pot kozmičnih žarkov, to pa tudi posledično prikrije smer njihovega izvora. Kozmični žarki imajo lahko energijo večjo od  $10^{20}$  eV, kar je kar  $10^7$ -krat do  $10^8$ -krat več od energije, ki jo dobijo delci v naših pospeševalnikih. [3]



Slika 1: Graf toka kozmičnih žarkov v odvisnosti od energije. Rumeno območje pripada kozmičnim žarkom nizkih energij, modro območje pripada srednje energijskim delcem in vijolično območje pripada kozmičnim žarkom visokih energij. Prečke na grafu prikazujejo logaritemsko vrednost toka pretvorjeno v večjo enoto časa in površine. [2]

Zgornja slika predstavlja graf toka kozmičnih žarkov, ki vpada na Zemljo, z obema

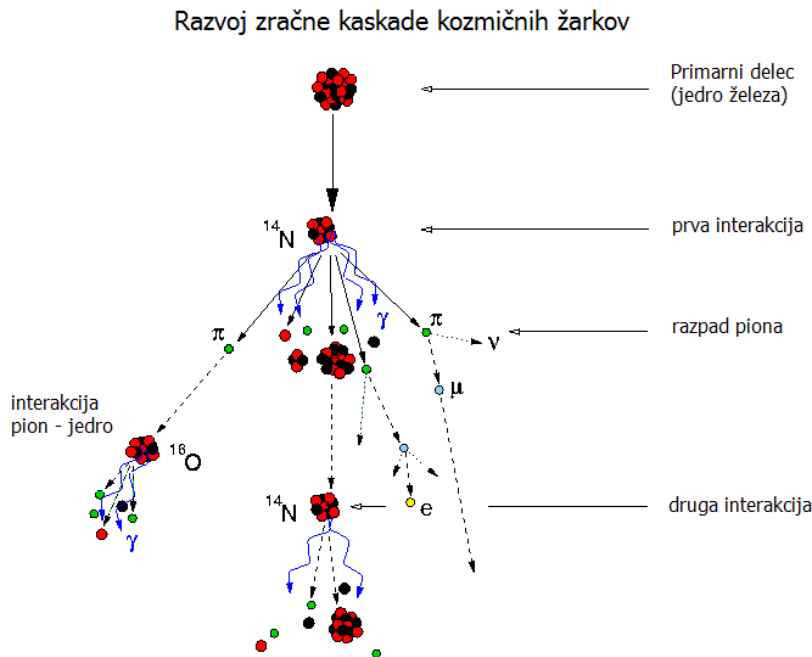
osema v logaritemski skali. Odvisnost toka kozmičnih žarkov od energije kozmičnega žarka ima potenčno obliko:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-\alpha}, \quad \alpha = \begin{cases} 2,7 & E < 10^{16} \text{ eV} \\ 3,0 & 10^{16} < E < 10^{19} \text{ eV} \end{cases} \quad (1)$$

Tok kozmičnih žarkov z najnižjo energijo je večinoma posledica sončnih kozmičnih žarkov, vmesne energije pripadajo kozmičnim žarkom iz naše galaksije, najvišje energije pa pripadajo žarkom izven naše galaksije. Kozmični žarki predstavljajo približno tretjino naravnega sevanja na Zemljinem površju. [3]

## 2.1 Vpliv kozmičnih žarkov na atmosfero

Kozmični žarek skoraj nikoli ne bo dosegel tal na Zemlji, ampak bo trčil v jedro v zraku ponavadi nekaj deset kilometrov nad tlemi. Pri takih trčenjih se ustvari veliko novih delcev in jedro, v katerega je trčil kozmični žarek, večinoma izpari. Največ novo nastalih delcev je pionov, nevtralni pioni pa hitro razpadejo, ponavadi v gama žarke. Tudi naelektreni pioni razpadajo, vendar počasneje, zato lahko nekateri pioni trčijo v druga jedra v zraku preden razpadejo v muon in nevtrino. Delci drugega jedra ponovno interagirajo z naslednjimi jedri in proizvajajo še več novih delcev. Tudi gama žarki iz nevtralnih pionov lahko ustvarjajo nove delce, kot so elektroni in pozitroni z nastankom para delca in antidelca, ti novo nastali elektroni in pozitroni pa lahko ustvarijo še več gama žarkov z zavornim sevanjem. [3]



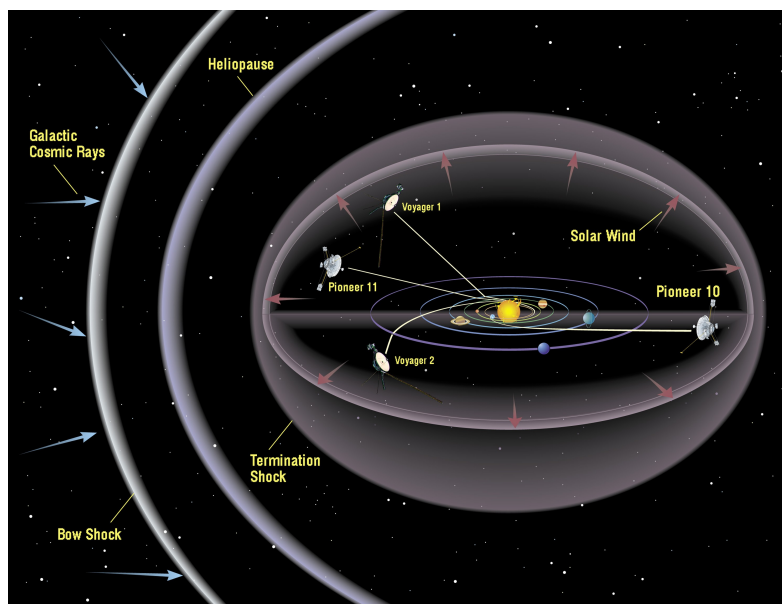
Slika 2: Shematski prikaz trka kozmičnega žarka z molekulo v atmosferi in nastanek kaskade delcev, ki jo imenujemo zračni tuš. [4]

Število delcev se hitro večja, ko kaskada kozmičnega žarka napreduje po atmosferi navzdol. Na poti in med interakcijami delci izgubljajo energijo, dokler ti delci ne izgubijo

dovolj energije, da ne morejo več ustvarjati novih delcev. Po določenem trenutku v kaskadi (t.i. maksimum kaskade) je več delcev ustavljenih, kot pa ustvarjenih in se začne število delcev v kaskadi zmanjševati. Kje v atmosferi je maksimum kaskade, je odvisno od vrste in energije kozmičnega žarka, tipična višina za to pa je  $\sim 10$  km za kozmični žarek energije  $10^{19}$  eV. Ponavadi doseže Zemljino površje le majhen delež teh delcev, koliko pa jih doseže, je odvisno od energije in tipa kozmičnega žarka ter nadmorske višine površja. Obsežne kaskade z veliko delci, ki dosežejo Zemljino površje se lahko zazna z različnimi detektorji delcev, v zraku pa ti delci lahko tudi sevajo svetlobo na dva načina: sevanje Čerenkova, ki je skoraj povsem ob vpadni osi in fluorescenčna svetloba, ki seva v vse smeri. Fluorescenčno svetlobo v zraku sevajo predvsem molekule z dušikom, ki jih nabiti delci ali elektromagnetno valovanje ionizirajo ali vzbudijo in nato te molekule izsevajo svetlobo, da se vrnejo v osnovno stanje. Večina kozmičnih žarkov ne doseže tal, tisti ki pa pridejo, večinoma zelo malo odstopajo od primarne poti kozmičnega žarka. Tipična površina, ki jo kaskada kozmičnega žarka srednje energije na tleh zavzame je okoli  $100 \text{ km}^2$ , pri čemer je to več kot polovica muonov, ostalo pa so večinoma elektroni, pozitroni in fotoni. [4]

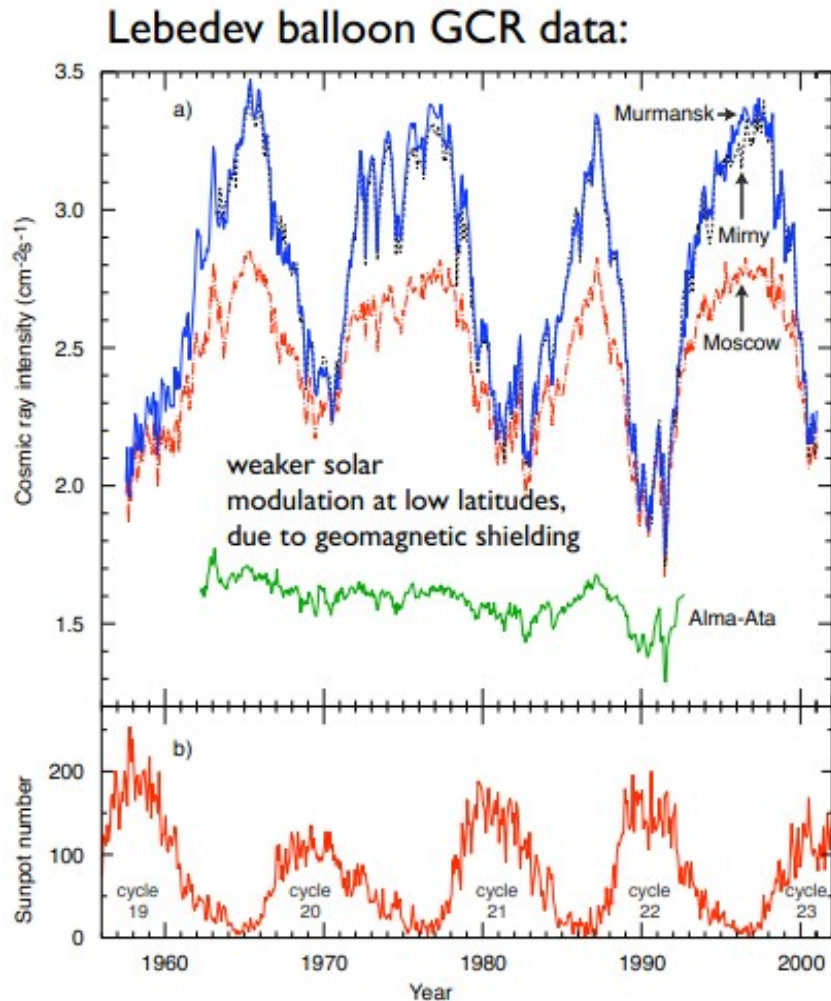
## 2.2 Vpliv Sončevega cikla na kozmične žarke

Tok kozmičnih žarkov v zgornji atmosferi je odvisen od energije samih kozmičnih žarkov, zemeljskega magnetnega polja in Sončevega vetra. Sončev veter zavira delce, ki prihajajo iz vesolja izven našega osončja in celo ustavi nekatere delce z energijami manjšimi od  $10^9$  eV. Sončev veter je tok nabitih delcev ali plazme iz zgornje Sončeve atmosfere, ti delci pa so pospešeni v medplanetarni prostor s pomočjo visoke temperature na Soncu in njegovega magnetnega polja. Pri Zemlji je hitrost Sončevega vetra med 300 in 500 km/s (tudi do  $\sim 800$  km/s), gostota pa variira med manj kot 1 do približno 20, redko pa tudi do 100 delcev na kubični centimeter. Količina Sončevega vetra ni konstantna, saj je odvisna od aktivnosti Sonca, torej se tok kozmičnih žarkov na Zemlji spreminja z aktivnostjo Sonca. Ker tudi zemeljsko magnetno polje odbija del kozmičnih žarkov, je jakost toka kozmičnih žarkov na Zemlji odvisna tudi od geografske širine in dolžine ter od azimuta. [2]



Slika 3: Prikaz osončja in doseg Sončevega vetra v medvezdni prostor. [5]

Na oddaljenosti približno 75-90 AU od Sonca se nahaja končni udar („termination shock“), kjer se Sončev veter upočasni do hitrosti manjše od zvočne hitrosti. Za končnim udarom sledi heliopavza na oddaljenosti približno 110 AU. Heliopavza je meja našega osončja, tam se sončev veter ustavi pod pritiskom medzvezdnega medija. Območje med končnim udarom in heliopavzo je nekakšna ovira za kozmične žarke, kjer se za 90% zmanjša tok nizko energijskih kozmičnih žarkov. [6]



Slika 4: Grafa, ki prikazujeta intenziteto vpadnih kozmičnih žarkov za različne lokacije v Rusiji (zgoraj – modra (Murmansk), rdeča (Moskva), črna (Mirnij) in zelena(Alma-Ata)) in letno povprečje Wolfovega števila od leta 1950 dalje (spodaj). [7]

Aktivnost Sonca s katero je povezan tok kozmičnih žarkov se zaradi same narave Sonca spreminja s periodo dolgo približno 11 let. Sončevo magnetno polje poganja njegov magnetni dinamo z električnimi tokovi, ki so ustvarjeni s tokom vroče plazme na Soncu. Magnetno polje, ki se razteza navzven iz Sonca se nekako navija okoli njega zaradi diferencialne rotacije Sonca (t.j. razlika v rotaciji polarnih in ekvatorialnih delov Sonca). Poleg samega navijanja magnetnih silnic (omega pojav), se magnetne silnice tudi zapletajo (alfa pojav), kar pripisujejo vplivu rotacije Sonca na dvigajoče se silnice magnetnega polja iz njegove notranjosti. Sončeve pege so najbolj očitna lastnost njegovega magnetizma, saj se njihovo število poveča, ko se magnetno polje zaplete in se njihovo število zmanjša, ko se magnetno polje razplete. Sončev cikel je doba, ki je potrebna, da se silnice zapletejo in ponovno

razpletejo. Aktivnost Sonca podajamo z Wolfvim številom ( $R$ ), ki je odvisno od števila Sončevih peg ( $s$ ), števila grup Sončevih peg ( $g$ ) in od opazovalnega faktorja ( $k$ ): [8],[9]

$$R = k(10g + s). \quad (2)$$

### 3 Tvorba oblakov

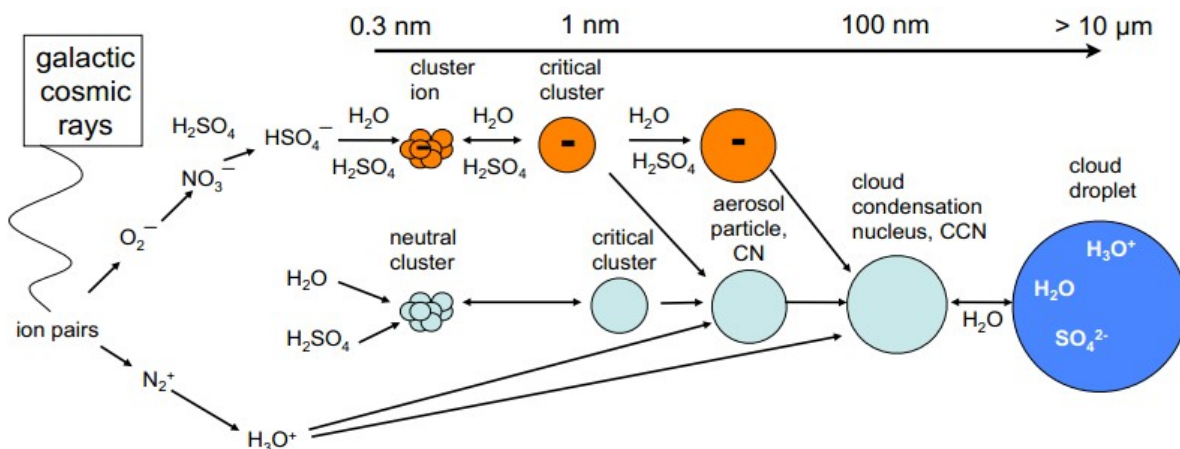
Oblak je tvorba iz drobnih vodnih kapljic ali majhnih ledenih kristalčkov, ki nastanejo ob hlajenju vlažne zračne mase s kondenzacijo. Večina kapljic se tvori, ko se vodni hlapi ohladijo in se vodne molekule dovolj upočasnijo, da se lahko vežejo na kondenzacijska jedra. Temu pojavu pravimo nukleacija ali v primeru vodne pare kondenzacija. Kondenzacijska jedra so aerosoli, to so mali delčki dima, prahu, pepela ali soli, v zelo nasičenih pogojih pa so to lahko tudi same vodne kapljice. [10]

Aerosoli so delci snovi, ki lebdijo v zraku in njihov vpliv na atmosfero je zelo pomemben. Brez aerosolov ne bi imeli oblakov, saj so glavni vir kondenzacijskih jeder za oblake. V področjih, kjer je več aerosolov, se oblaki tvorijo iz večjega števila manjših kapljic in kjer je manj aerosolov se tvorijo oblaki iz manjšega števila večjih kapljic. Aerosole delimo na primarne in sekundarne, glede na mehanizem njihovega nastanka. Primarni aerosoli nastanejo pri drobljenju ali zgorevanju, sekundarni pa nastanejo pri raznoraznih kemičnih procesih v zraku. [10]

Procesov nukleacije kapljic poznamo več: termodinamično, kinetično, fluktuacijsko ali ionsko vzbujeno nukleacijo. Nas predvsem zanima ionsko vzbujena nukleacija, saj kozmični žarki ob trku z molekulami v atmosfero tvorijo ione. [11]

#### 3.1 Ionsko vzbujena nukleacija

Ionsko vzbujena nukleacija je kondenzacija hlapov vode na pozitivnem ali negativnem ionu. Privlačni potencial med ioni in dipolnim momentom vode zmanjša termodinamični prag za nukleacijo in obenem poveča kondenzacijsko rast. Ioni v atmosferi neprestano nastajajo zaradi kozmičnih žarkov in radioaktivnih razpadov, rast števila ionov v atmosferi pa je približno



Slika 5: Shema nastanka vodne kapljice s pomočjo ionsko vzbujene nukleacije  $H_2SO_4$  v kopice  $H_2SO_4/H_2O$ . Oranžni delci kažejo ionsko vzbujeno nukleacijo, svetlo modri delci pa kažejo nukleacijo brez iona. [7]

od 2 do 30 parov ionov /cm<sup>3</sup>s, kar omejuje število nastalih aerosolov na ta način. Pogoji, ki spodbujajo ionsko vzbujeno nukleacijo, so nizke temperature, visoka relativna vlažnost, visok prirast ionov in nizka koncentracija že obstoječih delcev. Takšni pogoji so pogosto izpolnjeni v zgornji troposferi in spodnji stratosferi torej na med 5 in ~20 km nad morskno gladino. [12]

Nukleacija nevtralnih delcev iz plinskega v tekoče stanje je klasično opisana s Kelvin-Thomsonovo enačbo, ki podaja prosto Gibbsovo energijo. Prosta Gibbsova energija ali prosta entalpija je eden od štirih termodinamičnih potencialov, ki predstavljajo glavne gonilne sile za procese v naravi. Proces potekajo tako, da se termodinamični potencial zmanjšuje (razen entropija) in ta doseže minimum, ko je sistem dosegel ravnovesje pri stalnem tlaku in temperaturi. Pri zajetju plinske molekule v nevtralno sferično kapljico se sprosti: [13]

$$\Delta G_n = -\frac{4}{3}\pi R^3 \frac{kT}{V} \ln S + 4\pi R^2 \sigma. \quad (3)$$

V zgornji enačbi je R radij kapljice, V volumen molekule, ki jo kapljica zajame, T temperatura sistema,  $\sigma$  površinska napetost kapljice, k Boltzmanova konstanta in S koeficient prenasičenosti ( $S = p_{\text{vode}}/p_{\text{pare}}$ ). Dodajanje molekule je endotermni proces za radij kapljice manjši od kritičnega radija in eksotermni za večje radije kapljic. Kritični radij ( $R^*$ ) in kritično Gibbsovo energijo ( $\Delta G_n^*$ ) potrebno za nastanek kritične kapljice se določi s pogojem:

$$\frac{\partial \Delta G_n}{\partial R} \approx 0. \quad (4)$$

V ravnovesnem stanju je stopnja nukleacije J izražena kot: [13]

$$J = C e^{\left(\frac{-\Delta G_n^*}{kT}\right)}, \quad C = 4\pi R^{*2} \beta N. \quad (5)$$

Tu koeficient C skupaj opisuje koncentracijo kondenzirajočih molekul (N) in koeficient njihovih reakcij ( $\beta$ ). [13]

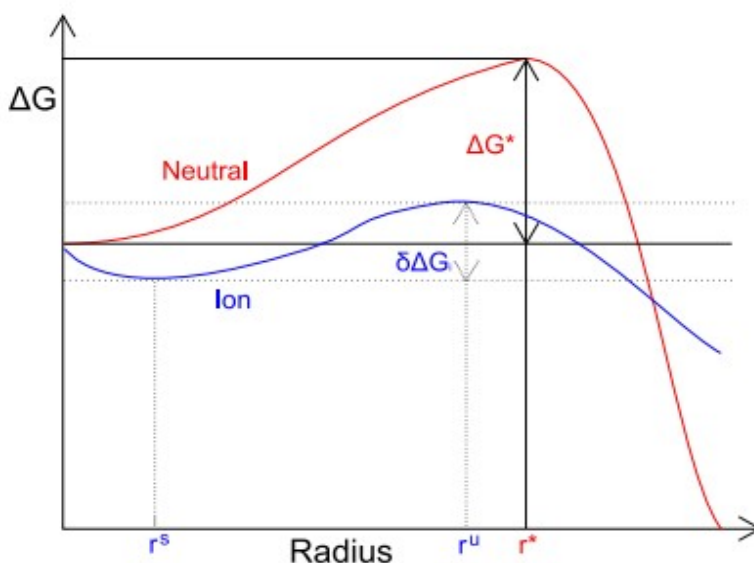
Če je kapljica nabita, se pri zajemu nove molekule spremeni energija električnega polja kapljice, ker se ji poveča volumen, ki ga zavzema dielektrična tekočina. Za naboj v centru kapljice je zato prosta Gibbsova energija, ki se sprosti pri zajemu ene molekule enaka:

$$\Delta G_c = \Delta G_n - \frac{q^2}{8\pi} \left( \frac{1}{\epsilon_0} - \frac{1}{\epsilon_1} \right) \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R+\Delta R} \right), \quad -6$$

kjer sta  $\epsilon_0$  in  $\epsilon_1$  dielektrični konstanti za plinsko in tekoče stanje, R in R+ $\Delta R$  pa sta radija kapljice pred in po zajemu molekule. Ponavadi velja  $\epsilon_1 > \epsilon_0 > 1$  in  $R+\Delta R > R > 0$ , torej je  $\Delta G_c < \Delta G_n$ , kar pomeni, da je nabita kapljica bolj stabilna kot nevtralna kapljica. Za drugačno razlago stabilnosti kapljice lahko tudi navedemo pomen razlike v dielektrični konstanti vode (~80) in pare (~1). Zaradi te razlike, je elektrostatska energija naboja v vodi ~80-krat manjša, kot v pari, saj je: [13]



$$W_E \propto \frac{1}{\epsilon} .$$



Slika 6: Odvisnost Gibbsove proste energije za nevtralno kapljico (rdeča) in za kapljico z ionom v sredini (modra). [13]

Če upoštevamo tudi interakcijo naboja kapljice in dipolnega naboja vodne molekule se stabilnost kapljice le še poveča, ker se Gibbsova prosta energija še bolj zmanjša. Pri pogoju  $\Delta G_c < \Delta G^*$ , lahko ioni prečkajo nižji energijski prag za ionsko vzbujeno nukleacijo, se rekombinirajo in nato nadaljujejo svojo rast kot nevtralni delci. Torej ionsko vzbujena nukleacija je energijsko bolj ugodna pot, vendar je omejena z življenjsko dobo ionov in s količino ionov, ki nastanejo v atmosferi. [14]

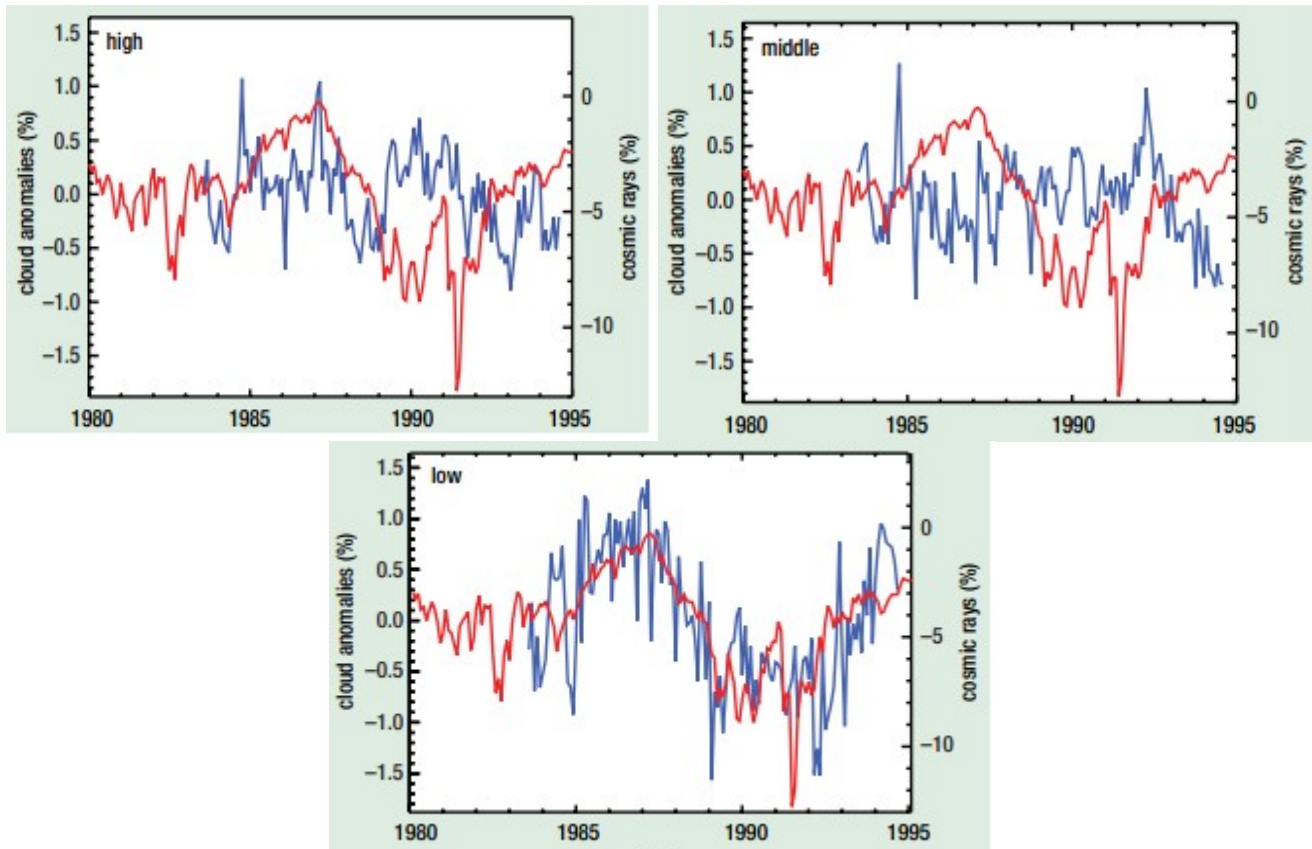
## 4 Kozmoklimatologija

V sklopu danske Tehnične univerze je nacionalni vesoljski inštitut (The national space institute – NSI) z oddelkom za raziskave na področju kozmoklimatologije. Kozmoklimatologija je področje, ki povezuje aktivnost Sonca, kozmične žarke in našo klimo. NSI si na tem področju prizadeva podati opazovalne, eksperimentalne in teoretične znanstvene rezultate. Dosedanji znanstveni rezultati, ki so bili objavljeni na mednarodni ravni, kažejo, da so variacije v aktivnosti Sonca resnično največji in najbolj sistematični prispevek k klimatskim spremembam. Pomemben prispevek sončne variacije pa ne izključuje drugih prispevkov k rasti globalne temperature, kot so naravni ali človeški vplivi. Le dobre raziskave in eksperimentalno podkrepjeni rezultati nam lahko razjasnijo kolikšen je dejanski vpliv sončne aktivnosti na našo klimo, zato sta bila ustvarjena projekta CLOUD (Cosmics Leaving Outdoor Droplets) in SKY. [15]

Že več kot 20 let se s sateliti programa International Satellite Cloud Climatology Project beleži oblačnost Zemlje. Pri tem projektu opazujejo spremembe v količini oblakov na različnih višinah: visoki oblaki, ki so višje od 6,5 km, srednje visoki oblaki, ki so med 6,5 in 3,2 km in nizki oblaki, ki so nižje od 3,2 km nadmorske višine. Opazovanja so podala rezultate, ki kažejo močno ujemanje sprememb nizko ležečih oblakov s spremembami v obsevanosti s kozmičnimi

žarki. [16]

Na spodnjih grafih so v procentih prikazane spremembe v obláčnosti z modro črto in z rdečo črto meritve mesečnih sprememb v številu kozmičnih žarkov na Huancayo opazovalni postaji, ki leži na 3271 m nadmorske višine. Opazi se, da med visoko in srednje ležečimi oblaki ter številom kozmičnih žarkov, ki priletijo v našo atmosfero ni povezanosti, je pa zelo očitna odvisnost nizko ležečih oblakov od števila kozmičnih žarkov. Razlog za ta vpliv naj bi bila razlika med koncentracijo nabitih delcev v spodnji in zgornji atmosferi. Ker je v spodnji atmosferi manj nabitih delcev, imajo spremembe v vpadnem toku kozmičnih žarkov bolj opazen vpliv. S pomočjo te ugotovitve, so si raziskovalci olajšali pogoje, ki jih je potrebno izpolniti v reakcijskih komorah, kjer raziskujejo odziv atmosfere na kozmične žarke.[16]



Slika 7: Na grafih je prikazano ujemanje med spremembami količine visoko (zgoraj levo), srednje (zgoraj desno) in nizko (spodaj) ležečimi oblaki (modro) ter številom kozmičnih žarkov (rdeče). Pri nizko ležečih oblakih je očitna odvisnost s številom kozmičnih žarkov. [16]

V Kopenhagnu so postavili naslednji eksperiment v kleti danskega nacionalnega vesoljskega inštituta. Eksperiment so poimenovali SKY, kar v danščini pomeni oblak. Pri tem projektu so uporabljali naravne muone, nastale s trki kozmičnih žarkov z molekulami v atmosferi. S pomočjo tega eksperimenta so spoznali, kakšen je mehanizem, preko katerega kozmični žarki vplivajo na tvorbo oblakov. Za naslednje raziskave čakajo rezultate zdaj že delujočega projekta CLOUD v CERN-u, ki za vir ioniziranja uporablja delce iz pospeševalnika, obenem pa za razliko od SKY eksperimenta ima možnost določanja tlaka in temperature v reakcijski komori. [16]

Zadnji eksperiment, katerega rezultate je dr. Svensmark s sodelavci objavil maja lani,

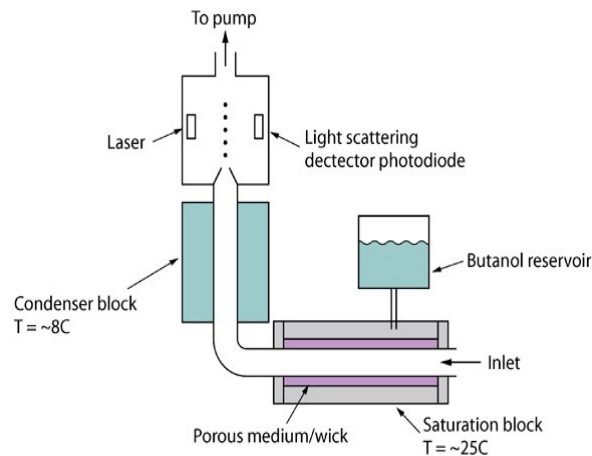
je dal prepričljive rezultate o vplivu koncentracije ionov na ionsko vzbujeno nukleacijo. Opazovali so vpliv snopa elektronov na ionizacijo delcev v reakcijski komori in posledično nukleacijo aerosola žveplove kisline. [17]

#### 4.1 Poskus tvorbe aerosolov z visoko energijskimi delci [17]

Eksperiment so izvajali v 1 m dolgi cilindrični reakcijski komori, z volumnom 50 L in narejeni iz elektronsko poliranega jekla. Zmes čistega sintetičnega zraka je ves čas tekla skozi komoro s hitrostjo 3,1 L/min. Vlažnost je bila ves čas približno 50 %, poleg tega pa je zrak vseboval tudi sledi žveplovega dioksida ( $\text{SO}_2$ ) (2 delca na milijardo delcev) in približno 55 delcev na milijardo delcev ozona ( $\text{O}_3$ ). Nastanek žveplove kisline v komori so vzbudili s pomočjo UV svetlobe preko fotokemičnega procesa. Temperatura in tlak sta bila v komori vzdrževana na  $21,2 \pm 0,04$  °C in 1-2 mbar nad sobnim tlakom.

Vir ionizacije delcev v komori je bil curek elektronov z energijo 580 MeV, izvor curka pa je bil pospeševalnik ASTRID z univerze Aarhus na Danskem. 580 MeV je v energijskem spektru glavni del naravnega spektra kozmičnih žarkov, obenem pa je koncentracija nastalih ionov predstavljal vse koncentracijske vrednosti, ki nastopajo v atmosferi.

Produkcijo aerosolov so merili s kondenzacijskim števcem delcev (condensation particle counter – CPC), ki je pri 4 nm premera delca meril le še s 50 %-no zmogljivostjo. Pri teh števcih delcev je postopek podoben kot pri navadnih optičnih števcih (za delce večje od ~ 50 nm), kjer se opazuje razpršenost žarka zaradi prisotnosti delcev. Razlika je le v tem, da kondenzacijski števec prej poveča te delce s pomočjo kondenzacije vode na njih zato, da jih lahko števec zazna.



Slika 8: Shema kondenzacijskega števca delcev, s pomočjo katerega so merili koncentracijo novonastalih aerosolov v komori. [17]

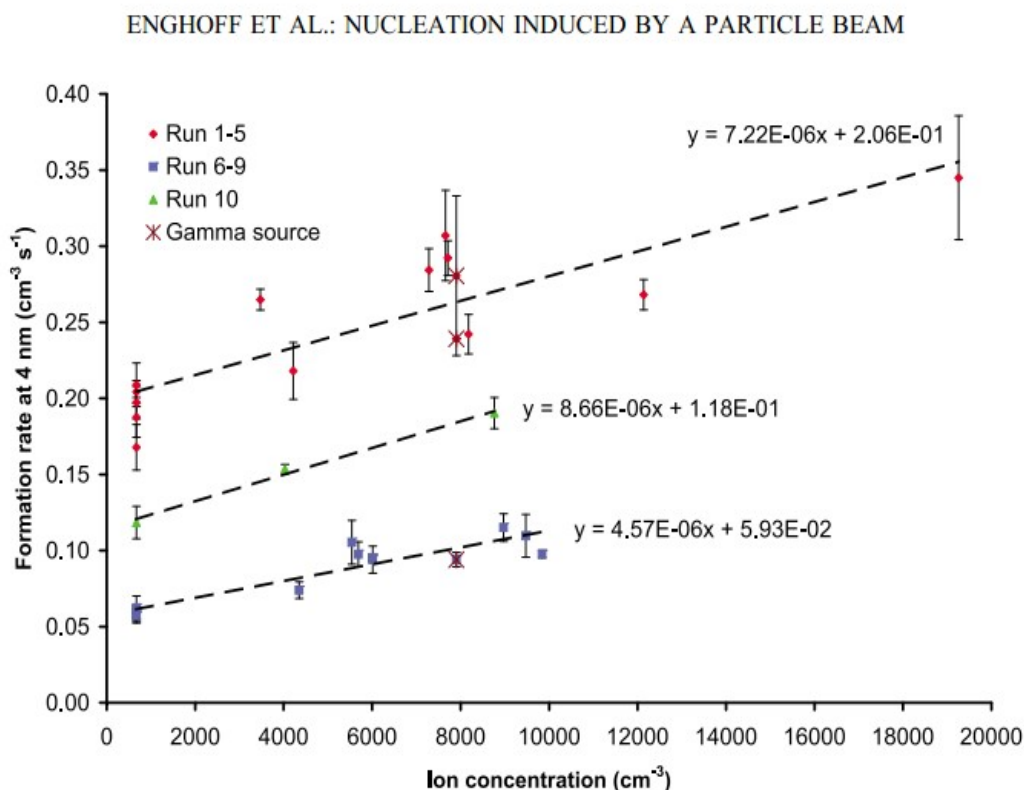
Curek elektronov, ki je ioniziral delce na svoji poti, je bil koaksialen glede na komoro, obenem pa je imel na sprednjem delu komore eliptični presek s polosema 4,4 in 6,1 cm. Stopnjo ionizacije se je dalo kontrolirati s spreminjanjem količine pridobljenega curka, elektroni pa so prehajali komoro skoraj brez energijskih izgub. Za nekatere ponovitve so uporabili tudi gama žarke Na-22 (33,5 Mbq), za druge pa so na pot curku postavili 5 cm širok scintilator, ki je razpršil žarek na sprednjem delu komore za dodatnih 6 cm.

Za vsako ponovitev so prižgali UV svetilke za 10 minut, kar je sprožilo nastanek

žveplave kisline, nato pa so snemali koliko delcev nastane pri različnih energijah curka elektronov. Čas med vklopi UV svetilk je bil 60 minut. Med vsakim vklopom svetilk je koncentracija aerosolov v komori padala, zaradi izgub v stenah in redčenja. Pred vsakim ponovnim vklopom svetilk je morala koncentracija aerosola pasti na nič (merjeno s CPC).

## 4.2 Rezultati meritev [17]

V okviru eksperimenta so želeli izmeriti variiranje stopnje ionizacije s prilagajanjem curka elektronov, raziskovanje vpliva razpršenosti curka elektronov in primerjanje med tvorbo aerosolov, vzbujeno s pomočjo gama žarkov in elektronskega curka. Testirali so vpliv različnih jakosti ionizacije, od jakosti ozadja do približno 700 ionov/cm<sup>3</sup>s, rezultati so izrisani na grafu (slika 9), kjer je izrisana odvisnost s CPC izmerjene hitrosti naraščanja koncentracije aerosola v odvisnosti od koncentracije ionov. Ponovitve meritev so bile razdeljene v tri skupine in kot je očitno, povzroči večja koncentracija ionov večji porast koncentracije aerosola za vse tri skupine (na grafu so prikazane tudi najboljše približki linearne funkcije za naraščanje naraščanja).



Slika 9: Graf prikazuje hitrost nastajanja aerosola (4 nm) v odvisnosti od koncentracije ionov izmerjeno s kondenzacijskim števecem delcev. Prečke, ki predstavljajo napake pri meritvah so, predstavljajo statistično napako. [16]

Ponovitve 1 - 5 so imele isto zalogo zraka, med peto in šesto ponovitvijo pa je bila zaloga zraka zamenjana, kar je povzročilo veliko spremembo v številu nastalih aerosolov na meritvah. Tudi med deveto in deseto ponovitvijo so zamenjali zalogo zraka. Sprememba zaloge zraka je vidna na grafu kot vertikalni premik med temi tremi skupami meritev. Razlog za to spremembo pripisujejo različnim vsebnostim nečistoč v zraku, saj nečistoče lahko preidejo filtre in vplivajo na nevtralni del procesa nukleacije. Poleg vertikalnega premika pa je tudi

majhna razlika v naklonih grafov za te tri grupe meritev, vendar ni razvidna nobena povezava med nakloni in vertikalnimi pozicijami. To, da nečistoče vplivajo tudi na ionsko vzbujen del nukleacije, ne moremo izključiti. Toda ta efekt je očitno manjši od vpliva na nevtralni del nukleacije in ne spremeni glavnih meritev, iz katerih se vidi povezanost med koncentracijo ionov in hitrostjo nastajanja novih aerosolov.

Med meritvijo 6 je bil testiran vpliv razpršitve curka elektronov, rezultati pa so pokazali, da se je hitrost nastajanja (pri 4 nm) spremenila z  $0,095 \pm 0,003$  delcev/cm<sup>3</sup>s na  $0,094 \pm 0,009$  delcev/cm<sup>3</sup>s. Te meritvi kažeta na to, da med nastavitvama razpršenosti skoraj ni razlike, obenem pa, da so bili plini med seboj dobro premešani.

Koncentracija žveplove kisline je bila pri ponovitvah 1-5 približno  $7 \times 10^8$  delcev/cm<sup>3</sup> in  $6 \times 10^8$  delcev/cm<sup>3</sup> za ponovitve 6 – 9, ponovitev 10 pa je imela vmesno vrednost koncentracije. Tudi te spremembe bi lahko razložile spremembe v vrednosti hitrosti nastajanja aerosola pri ponovitvah.

Napake podane na grafu so statistične napake, absolutne napake pa so veliko večje. Ker je namen eksperimenta raziskati relativno spreminjanje hitrosti nastajanja aerosolov z neko gostoto ionov, so statistične napake najbolj pomembne. Čeprav je povezanost ionske koncentracije in hitrosti nastajanja aerosolov na sliki 9 predstavljena kot linearna, ne smemo izključiti recimo kvadratne zveze, kar bi pomenilo, da sta povezani hitrosti nastajanja ionov in aerosolov in kakršnikoli zaključki bi bili oteženi z linearno izgubo aerosolov v stenah. Ekstrapolacija premic do ničle pri koncentraciji ionov bi nam podalo hitrost nastajanja aerosolov brez ionov, vendar je na tem področju potrebno še raziskovanje.

Problem tega eksperimenta je, da bo le del nastalih delcev bil zaznan s CPC, saj je bil iz razpolovne dobe in velikosti koncentracije ocenjen povprečni premer aerosola nad 3 nm. Ker je mejna velikost delca za detektor CPC približno 4 nm, lahko ostane večina delcev ne zaznana. Zaključek meritev je kljub temu nespremenjen, saj je bila izmerjena povečana hitrost tvorjenja delcev premera 4 nm z večanjem koncentracije ionov, ne glede na veliko absolutno napako.

Izračuna hitrost tvorbe delcev premera 1 nm je velikostnega reda 1 delec/cm<sup>3</sup>s. Ta rezultat je dva reda velikosti nižji, kot izmerjeno pri njihovih prejšnjih eksperimentih, kjer je bila uporabljena zgolj ionizacija ozadja. Možna razlaga za to je nižja koncentracija žveplove kisline ali manjša sposobnost štetja delcev kot je bila ocenjena.

Pomembna ugotovitev tega eksperimenta je to, da nukleacija vzbujena z ionizacijo ni odvisna od tega ali ioniziramo s curkom elektronov ali z gama žarki. Meritve kažejo, da je povečana nukleacija posledica zgolj povečanega števila ionov s curkom elektronov ali z gama žarki in ni posledica načina nastanka ionov.

Ta eksperiment je torej pokazal, da je tvorba aerosolov posledica tudi ionsko vzbujene nukleacije, ki je odvisna od števila ionov v zraku. Poudariti pa je potrebno, da so bile meritve opravljene pri sobni temperaturi in tlaku ter višjih koncentracijah H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in SO<sub>2</sub> kot so v atmosferi. Koncentracija H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> v komori je vsaj za en velikostni red manjša od atmosferske, analitični modeli pa napovedujejo, da spremembe v začetni koncentraciji lahko vplivajo na kritično velikost in tvorbo delcev.

Za boljši dokaz povezanosti kozmičnih žarkov in tvorbe oblakov bo potreben eksperiment, pri katerem bo uporabljena večja komora in daljše opazovanje. S tem bodo lahko določili, ali resnično velikost aerosolov pri takšnem nastanku doseže 100 nm, kolikor je potrebno, da postane aerosol jedro za kondenzacijo oblakov. Za takšne dokaze upajo, da bodo rezultati s projekta CLOUD dovolj jasno razčistili pojme, saj tam uporabljajo 26 m<sup>3</sup> veliko komoro. [1]

## 4 Zaključek

Klimatske spremembe imajo tako kot znanstveno tudi socialno plat. Socialni vidik je povezan s tem, koliko je človeštvo resnično odgovorno za klimatske spremembe in koliko smo zmožni se prilagajati na njih. Znanstveni vidik, pa je prizadevanje razumeti, kaj vse vpliva na globalne spremembe in kako so ti vplivi med seboj povezani. Zaradi splošnega mnenja, da je globalno segrevanje posledica predvsem človeškega onesnaževanja okolja, je imel dr. Svensmark na začetku velike težave pri objavi svojega članka o uspešnosti projekta SKY [19]. Morda je to v človeški naravi, da se bojimo nepoznanega in zavračamo nove teorije, vendar sem mnenja, da bi vsaj znanstvena katedra morala razumeti kaj pomenijo različni pogledi in dojemanja na opazovane spremembe.

V seminarju sem omenila zgolj nekatere argumente, ki podpirajo teorijo vpliva kozmičnih žarkov na tvorbo oblakov, ker se znanstveno področje kozmoklimatologije razprostira od astronomije (vpliv pozicije osončja v galaksiji na intenziteto obsevanosti s kozmičnimi žarki), do geologije in oceanografije, preko katerih so lahko rekonstruirali modele spreminjanja temperature oceanov in obsevanosti Zemlje s kozmičnimi žarki. Najbolj očitna zadeva v kozmoklimatologiji pa je, da smo tudi v zavetju zemeljskega in sončnega magnetnega polja še vedno zelo izpostavljeni vplivom naše galaksije.

## 5 Literatura

- [1] <http://physicsworld.com/cws/article/news/2011/may/13/evidence-that-cosmic-rays-seed-clouds> (6.4.2012)
- [2] [http://http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic\\_ray](http://http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray) (6.4.2012)
- [3] Lisa Åström, *A study of cosmic ray air shower properties* (Master's thesis, Royal institute of technology Stockholm, Sweden, 2006)
- [4] <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay/Showers.html> (4.4.2012)
- [5] <http://slispaceflightmuseum.org/blog/?tag=voyager> (4.4.2012)
- [6] <http://apod.nasa.gov/apod/ap020624.html> (9.4.2012)
- [7] J. Kirkby, *Cosmic rays and climate* (CERN Colloquium, 4.6.2009)
- [8] N. Sušnik, *Solar flare* (Seminar 4.L, FMF, Univerza v Ljubljani, 23.3.2011)
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wolf\\_number](http://en.wikipedia.org/wiki/Wolf_number) (4.4.2012)
- [10] C. D. Ahrens, *Assentials of meteorology: an invitation to the atmosphere* (Thomson Learning, Inc. 2008)

- [11] V. L. Bychkov, G.V. Golubkov, A. I. Nikitin, *The atmosphere and ionosphere* (Springer, 2010)
- [12] K. Iida, *Atmospheric nucleation: Development and application of nano particles measurements to assess the roles of ion-induced and natural processes* (University of Minnesota, 2008)
- [13] J. Kazil, R.G. Harrison, E.R. Lovejoy, *Tropospheric new particle formation and the role of ions* (journal Space ScienceReviews, vol. 137, 2008)
- [14] M.B. Enghoff, H. Svensmark, *The role of atmospheric ions in aerosol nucleation* (Atmos. Chem. Phys. Discuss., apr. 2008)
- [15] [http://www.space.dtu.dk/English/Research/Research\\_divisions/Sun\\_Climate.aspx](http://www.space.dtu.dk/English/Research/Research_divisions/Sun_Climate.aspx) (6.4.2012)
- [16] H. Svensmark, *Cosmoclimatology: a new theory emerges* (A&G, vol.48, feb. 2007)
- [17] M. B. Enghoff, J. O. P. Pedersen, U. I. Uggerhøj, S. M. Paling, and H. Svensmark, *Aerosol nucleation induced by a high energy particle beam*, Geophys. Res. Lett., 38, L 09805, doi:10.1029/2011GL047036 (2011)
- [18] <http://www.cas.manchester.ac.uk/restools/instruments/aerosol/cpc/> (5.4.2012)
- [19] <http://www.youtube.com/watch?v=ANMTPF1blpQ> (5.4.2012) (H. Svensmark, *The cloud mystery: A Documentary unravelling one of natures secrets* (Mortensen film, 2008))