Aŭroro – la nordia lumo

PIV difinas ĝin kiel diverskolora lumigo de la nokta ĉielo en polusproksimaj regionoj, kaŭzita de elektre ŝargitaj partikloj de la suna vento, interaganta kun la tera magneta kampo en la alta atmosfero. En la prelego ni provos klarigi la signifon de tiuj terminoj – aparte kio estas la suna vento kaj la tera magnetosfero, kaj kiel ilia interago produkatas la belan fenomenon kiun ni konas kiel "aŭroro".

Amri Wandel

Profesoro pri astrofiziko kaj astrobiologio en la Hebrea Universitato de Jerusalemo kaj gast-profesoro ĉe UCLA. Specialisto pri aktivaj galaksioj, nigraj truoj kaj astrobiologio. Membro de la Internacia Astronomia Unio. Kreis kaj instruas (ekde 1998) la kurson "Astrofiziko kaj vivo en la Universo" en la universitato de Jerusalemo (kie li estis elektita elstara profesoro en la lastaj 4 jaroj sinsekve) kaj en la universitato de Kalifornio en Losanĝeleso. Publikigis pli ol cent sciencaj artikoloj.

Esperanto: akademiano (1992-), Estrarano de UEA, prezidanto de ELI kaj redaktoro de ĝia bulteno (2009-). Fondinto kaj rektoro de Internacia Vintra Universitato. Aŭtoro de ret- kursoj pri astrobiologio kaj astrofiziko en edukado.net kaj Universitato de Esperanto. Ofte (13 foje) prelegis ĉe IKU. Kunverkinto de NPIV (terminoj pri astrofiziko). Kunverkinto de la libro "La Universo kaj Ni" kaj redaktinto de kvin IKU-libroj. Pliaj detaloj: http://eo.wikipedia.org/wiki/Amri_Wandel

Enkonduko

La fenomeno de aŭroro estas natura lumo, kvazaŭ ekrano en la ĉielo, aparte videbla en la apud-polusaj regionoj (Arkto kaj Antarkto). Aŭroro estas kaŭzita pro kolizio de energiaj ŝargitaj partikloj kun atomoj en la altaj tavoloj de la atmosfero (termosfero). La ŝargitaj partikloj devenas de la suna vento kiu kolizias kun la tera magnetosfero kaj estas direktitaj de la tera magneta kampo suben en la atmosferon. Plej ofte aŭroroj okazas en regiono konata kiel la aŭrora zono [1] [2], kiu tipe etendiĝas 3 °-6 ° en latitudo kaj 10 ° ĝis 20 ° de la magneta poluso difinita de la tera magneta dipolo. Dum geomagnetaj ŝtormoj, la aŭrora zono povas migri al pli malaltaj latitudoj. Estas du specoj de aŭroroj: difuza (etendiĝinta) aŭ diskreta (lokita). La difuza aŭroro estas senforma brilo sur la ĉielo, kiu povas esti nevidebla por la homa okulo, eĉ en malluma nokto. Diskretaj aŭroroj havas akre difinitajn trajtojn kiuj varias en maniero apenaŭ videbla por la homa okulo, sed ĝia brilo sufiĉas por legi ĵurnalon en la nokto. Diskretajn aŭrorojn kutime eblas vidi nur en la nokta ĉielo, ĉar ili ne estas tiel brilaj kiel la sunluma ĉielo. Aŭroroj foje okazas en la polus-direktaj partoj de la aŭroraj zonoj kiel difuzaj makuloj [3] aŭ arkoj [4]), ĝenerale nevideblaj al la nuda okulo.

En nordaj latitudoj, la efekto estas konata kiel la aŭroro boreala (aŭ la nordaj lumoj). Tiu nomo kiu konsistas el la nomo de la romia diino de mateniĝo, Aŭroro, kaj la greka nomo por la norda vento, Boreas, estis kreita de Pierre Gassendi en 1621 [5]. Aŭroroj viditaj proksime de la magneta poluso povas aperi alte superkape, sed de pli for, ili lumigas la nordan horizonton kiel verdeta ardo aŭ foje imete ruĝa, kreante impreson de matena aŭroro, kvazaŭ la Suno leviĝas el nekutima direkto. Diskretaj aŭroroj ofte havas strukturojn similaj al kurento aŭ fluoj (laŭ la direkto de la tera magneta kampo. Ĝi povas ŝanĝiĝi en kelkaj sekundoj aŭ ardi senŝanĝe dum horoj, plej ofte en fluoreska verda koloro. La aŭroro boreala plej ofte okazas proksime de la equinoksoj.

Bildoj de aŭroroj australis (sudhemisfera) kaj aŭroroj borealis (nordhemisfera), iuj kun pli malofta bluaj kaj ruĝaj lumoj

La norda aŭroro havis kelkajn nomojn en la historio. La krio-indianoj nomis ĝin "**Danco de la spiritoj** ". En Mezepokoa Eŭropo, oni ofte kredis ke la aŭroroj estis signo de Dio.

Ĝia suda ekvivalento, la ***sudaŭroro*** (aŭ la **sudaj lumoj**), preskaŭ havas identajn ecojn al la norda kaj sekvas la ŝanĝojn en la norda aŭrora zono [7] . Ĝi estas videbla en foraj sudaj latitudoj en Antarkto, Sudameriko, Nov-Zelando, kaj Aŭstralio. Aŭroroj okazas ankaŭ sur aliaj planedoj. Similaj al la aŭroro de la Tero, aŭroraj briloj estas videblaj proksime al la magnetaj polusoj de planedo kun forta magneta kampo, kiel Jupitero. Modern-stilaj gvidlibroj rekomendas ke la nomoj de meteorologiaj fenomenoj, kiel ekzemple *aŭroro* aŭ *poluslumo*, estu skribitaj minuskle [8].

1. Aŭrora meĥanismo

Aŭroroj estas la rezulto de emisio de lumo en la supraj tavoloj de la tera atmosfero, super 80 km. Nitrogen- kaj oksigen- atomoj estas jonigitaj aŭ ekscititaj pro kolizio kun ŝarĝitaj partikloj de la de suna vento, direktitaj suben de la tera magneta kampo.

Bildo de aŭroro australis (sudhemisfera) fotita de la skipo de la Ekspedicio 28 sur la Internacia Spaco-Stacio

La ekscito-energio transpormiĝas al emisio de fotono (lum-partiklo). La oksigena emisio estas verda aŭ bruneca-ruĝa, depende de la kvanto de energio sorbita.

La nitrogena emisio estas blua aŭ ruĝa; blua se la atomo reakiras elektronon post kiam ĝi estis jonigita, ruĝa se ekcitita elektrono revenas al la baza stato. Oksigeno estas nekutima en ĝia reveno al baza stato: ĝi povas daŭri 0.75 sekundo (por emisio de verda lumo) ĝis du minutojn por emisio de ruĝa lumo. Kolizioj kun aliaj atomoj (kiel Argono) aŭ molekuloj (kiel CO_2) povas sorbi la ekscito-energion kaj malhelpi emision de fotonoj. Ĉar la plejsupro de la atmosfero havas pli altan procentaĵon de oksigeno relative al la pli pezaj atomoj aŭ molekuoj, tiaj kolizioj estas malpli oftaj kaj la ekcititaj oksigeno-atomoj havas sufiĉe da tempo por emisii ruĝan fotonon. Pli malalte en la atmosfero tiaj kolizioj fariĝis pli oftaj tiel ke la ruĝa emisio ne havas sufiĉe da tempo. Pli malalte eĉ la verda emisio estas malhelpita. Tio estas la kialo por la aŭrora koloro-diferenco kun alteco; je alta altitudo regas oksigeno ruĝa, tiam oksigeno kaj nitrogeno verda, blua kaj ruĝa, kaj plej sube nitrogeno blua / ruĝa. Pli malalte kolizioj fariĝas sufiĉe oftaj por tute bremsi la emision. Pro tio la verdkolora aŭroro estas la plej ofta. Sekve abundas la rozkolora, miksaĵo verda kaj ruĝa, sekvita de pura ruĝa, flava (miksaĵo de ruĝa kaj verda), kaj laste, pura bluo.

Aŭroroj estas asociitaj kun la suna vento, fluo de jonoj senĉese fluanta eksteren el la Suno. La tera magnetosfero, t.e. magneta kampo, kaptas la ŝargitajn partiklojn de la suna vento, kiuj kutime migradas laŭlonge de la linioj de la magneta kampo al la magnetaj polusoj de la Tero, kie ili estas akcelitaj suben en la teran atmosferon. Kolizioj inter tiuj jonoj kaj atmosferaj atomoj kaj molekuloj kaŭzas energio-liberigon en la formo de aŭroroj aperantaj en grandaj ringoj ĉirkaŭ la magnetaj polusoj. Aŭroroj estas pli oftaj kaj pli brilaj dum la intensa fazo de la suna ciklo, kiam koronaj maso-erupcioj pliigas la intenson de la suna vento. [10]

Ruĝa aŭroro aŭstralis

Nordaj lumoj super Kalgario

2 Aŭroro-specoj kaj la rilato al magnetismo

Tipe la aŭroro aperas ĉu kiel difusa ardo aŭ kiel "kurtenoj" kiu proksimume etendiĝas en la direkton oriento-okcidento. Foje ili formas "starantajn arkojn", alifoje ili evoluas kaj ŝanĝiĝas senĉese ("aktiva aŭroro"). La "kurtenoj" konsistas el multaj paralelaj radioj, ĉiu vicigita kun la loka direkto de la linioj de magneta kampo, sugestante ke la aŭroroj havas formon de la tera magneta kampo. Efektive, satelitaj fotoj montras, ke la ŝargitaj partikloj estas gvidataj turniĝante ĉirkaŭ la linioj en la tera magneta kampo, dum ilia moviĝo al la Tero.

La simileco al kurtenoj estas ofte plifortigita per faldoj nomataj "striiĝoj" (angle "striations"). Kiam la kampo-linio gvidanta brilan aŭroron kondukas rekte al punkto super la observanto, la aŭroro povas apekti kiel "krono" de disvastiĝantaj radioj, efiko de perspektivo. La rilato inter aŭroroj kaj magneta kontrolo estis unue menciita de la antikva greka esploristo kaj geografo Pytheas. La esploristoj Hiorter kaj Celsius estis la unuaj en la moderna epoko kiu priskribis (en 1741) observojn kiuj rilatigas aŭroron al magneta kontrolo, nome, ke grandaj magnetaj ŝanĝiĝoj okazas kiam aperas aŭroro en la ĉielo. Tiu indikas (kiel oni komprenis multajn jarojn poste) ke la grandaj elektraj kurentoj estas ligitaj al la aŭroroj, kaj fluas en regionoj kie estiĝas aŭroroj. Kristian Birkeland (1908) [11] deduktis ke la kurentoj fluas en la oriento-okcidento direkto laŭlonge de la aŭroraj arkoj, kaj ke la kurentoj fluas el la taga flanko al (proksimume) la nokta flanko. Tiuj fluoj estis poste nomitaj aŭroraj elektro-jetoj (angle "aŭroral electrojets") (ankaŭ nomataj "Birkeland fluoj").

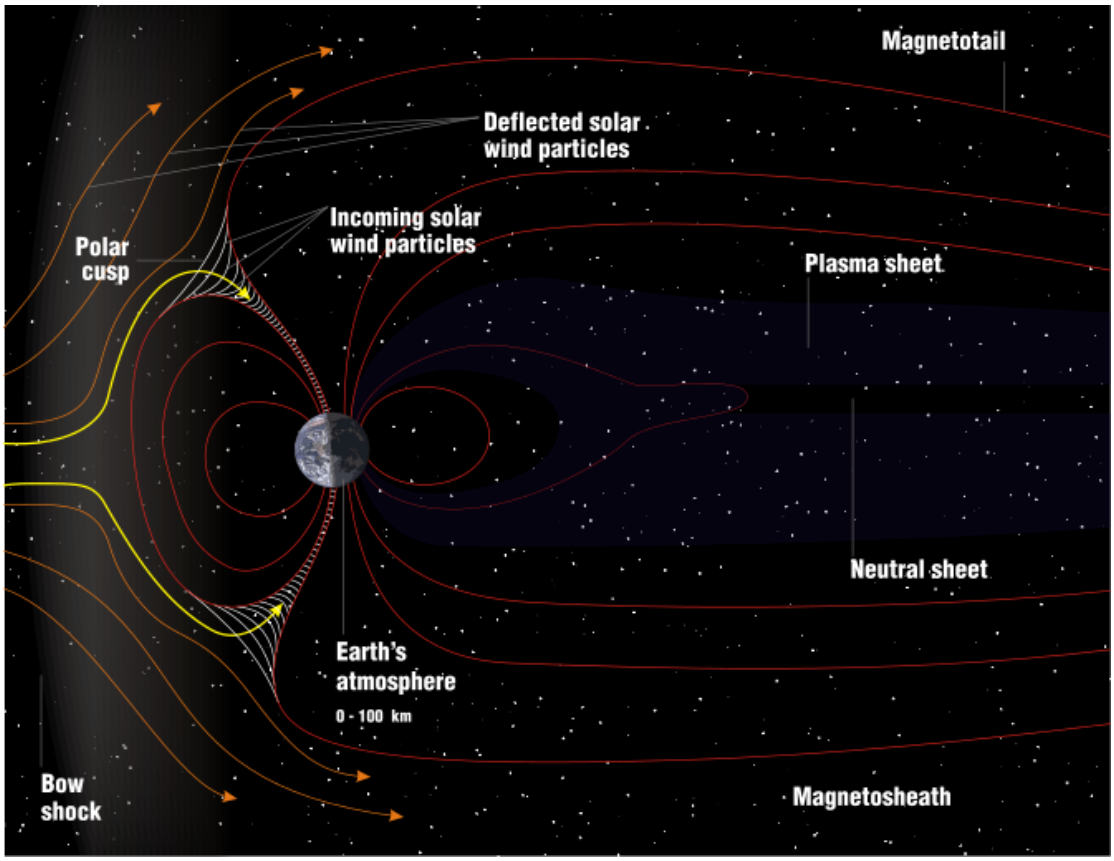
Pliaj pruvoj por la magneta rilato de aŭroroj venis de la statistiko de aŭroraj observoj. Elias Loomis (1860) kaj sekve detale Hermann Fritz (1881) [12] kaj S. Tromholt (1882) [13] makkovris ke la aŭroro aperas ĉefe en la "aŭrora zono", ringo-forma regiono kun radiuso de proksimume 2500 km ĉirkaŭ tera magneta poluso. Aŭroroj preskaŭ neniam estas videblaj proksime de la geografiaj polusoj, kiuj estas ĉirkaŭ 2000 km for de la magnetaj polusoj. La centro de la distribuo de aŭroroj en specifa momento ("aŭrora ovalo" [1] [2]) estas centrita ĉirkaŭ 3-5 gradojn for de la magneta poluso en la direkton de la nokta flanko. Pro tio aŭroraj arkoj atingas plej malproksimen en la ekvatoran direkton proksimume unu horon antaŭ noktomezo. La aŭroro povas esti vidata plej bone en ĉi tiu horo, nomata "magneta noktomezo", kiu okazas kiam la observanto, la magneta poluso kaj la Suno estas lokitaj laŭ rekta linio.

Fine de la 20a jarcento, la astrofízikistino Joan Feynman deduktis ke aŭroroj estas produkto de la interago inter la Tera magnetosfero kaj la magneta kampo de la suna vento. Ŝia laboro rezultis de datumoj kolektitaj de la "Explorer 33" spacmisio [14]. La 26-an de Februaro 2008, La Themis-spacmisio povis determini, por la unua fojo,

kiu evento kaŭzas la magnetosferajn ŝtormetoj kiuj kreas la aŭroron [15]. Du el la kvin sateliotoj de la misio, lokitaj proksimume trionon de la distanco inter Tero kaj la luno, mezuris eventojn sugestantajn magnetan rekonekton (kunfandiĝo de magnetaj kampo-linioj) okazinta 96 sekundojn antaŭ aŭrora intensigo [16]. Asertis d-ro Vassilis Angelopoulos de la Universitato de Kalifornio, Los-Anĝeleso, la ĉefa investiganto de la Themis-misio: "Niaj datumoj montras klare kaj por la unua fojo ke magneta rekonekto kaŭzas la aŭroron."[17]

3 La Suna Vento kaj la Tera Magnetosfero

La Tero estas daŭre ĉirkaŭita de la suna vento, maldensega fluo de varma plasmo (gaso konsistanta el liberaj elektronoj kaj pozitivaj jonoj) elfluanta de la Suno en ĉiujn direktojn. Temas pri la daŭrigo de la la korono, du-milion-grada varmega ekstera tavolo de la Suno. La suna vento kutime atingas Teron kun rapideco de proksimume 400 km/s, denseco ĉirkaŭ 5 ionoj/cm^3 kaj magnet-kampa intenso ĉirkaŭ 2-5 NT (nanotesla; unu dek-mil-ono de la intenso de la Tera magneta kampo je la tera surfaco, kiu estas tipe 30,000-50,000 NT). Tiuj datumoj estas averaĝaj. Dum magnetaj ŝtormoj la suna vento povas esti plurfoje pli rapida, kaj la intenso de la inter-planeda magneta kampo (IPMK) povas esti multe pli forta.



Skema bildo de la tera magnetosfero

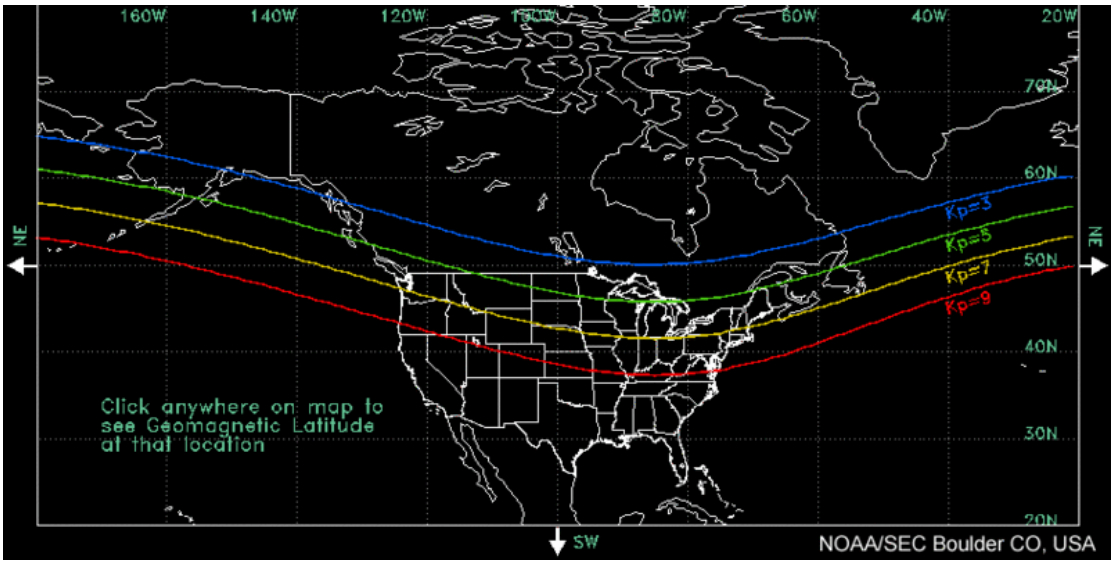
La IPMK estiĝas sur la Suno kaj rilatas al la kampo de sunaj makuloj, kies kampo-linioj (linioj de forto) estas trenitaj el la suna interno. Ŝajne la direkto de la suna magneta kampo devus esti radiala de la suno, sed la rotacio de la Suno oblikvigas la

IPMK-liniojn. Ĉe la Tero la angulo atingas ĉirkaŭ 45 gradojn, tiel ke kampo linioj kiuj pasas ĉe Tero povas vere origini proksimume de la "okcidenta" ekstremo ("surfaco") de la suno, kiel vidita de Tero [18].

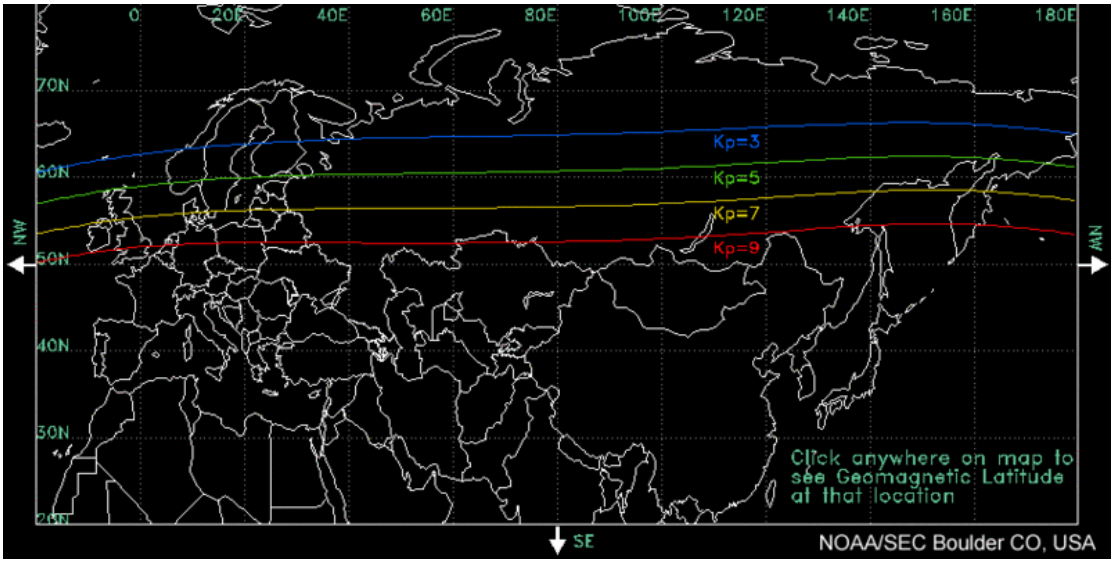
La tera magnetosfero estas rezulto de la kolizio de la suna vento kun la tera magneta kampo, kiu kreas obstaklon en la suna vento akj deflektas ĝin en averaĝa distanco de ĉirkaŭ 70.000 km de la Tero (11 Tero-radiusoj aŭ R_T) [19]. Tio kreas arkforman ŝokon je distanco de 12.000 - 15.000 km (1,9 -2,4 R_T) pli for, tiel ke la larĝeco de la Tera magnetosfero estas tipe 190.000 km (30 R_T). En la nokta flanko de Tero (for de la suno) troviĝas longa "magneta vosto" de tiritaj kampo linioj, etendiĝanta al granda distanco (> 200 R_T).

La magnetosfero konsistas el kaptita plasmo de la suna vento. La fluo de plasmo en la magnetosfero estas ligita al la denseco kaj rapideco de la suna vento kaj kun la IPMK kaj turbulado en la fluo de la suna vento [20]. La fluo-direkto de plasmo en la magnetosfero estas de la magneto-vosto al kaj la ĉirkaŭ Tero, kaj reen en la sunan venton tra la magneto-paŭzo, en la taga flanko. Aldone al la moviĝo de plasmo vertikale de la tera magneta kampo, parto vojaĝas malsupren (teren) laŭlonge de la linioj de la tera magneta kampo, perdnte energion en la supera atmosfero, en la aŭroraj zonoj. Magnetosferaj elektronoj akcelitaj malsupren de elektraj kampoj laŭlonge de la magnetaj kampo-linioj kaŭzas la diskretajn aŭrorojn. La ne-akcelitaj elektronoj kaj jonoj kaŭzas la disigitan lumon de la difusa aŭroro.

4. Geografia kaj tempa distribuo de aŭroroj



Norda Ameriko

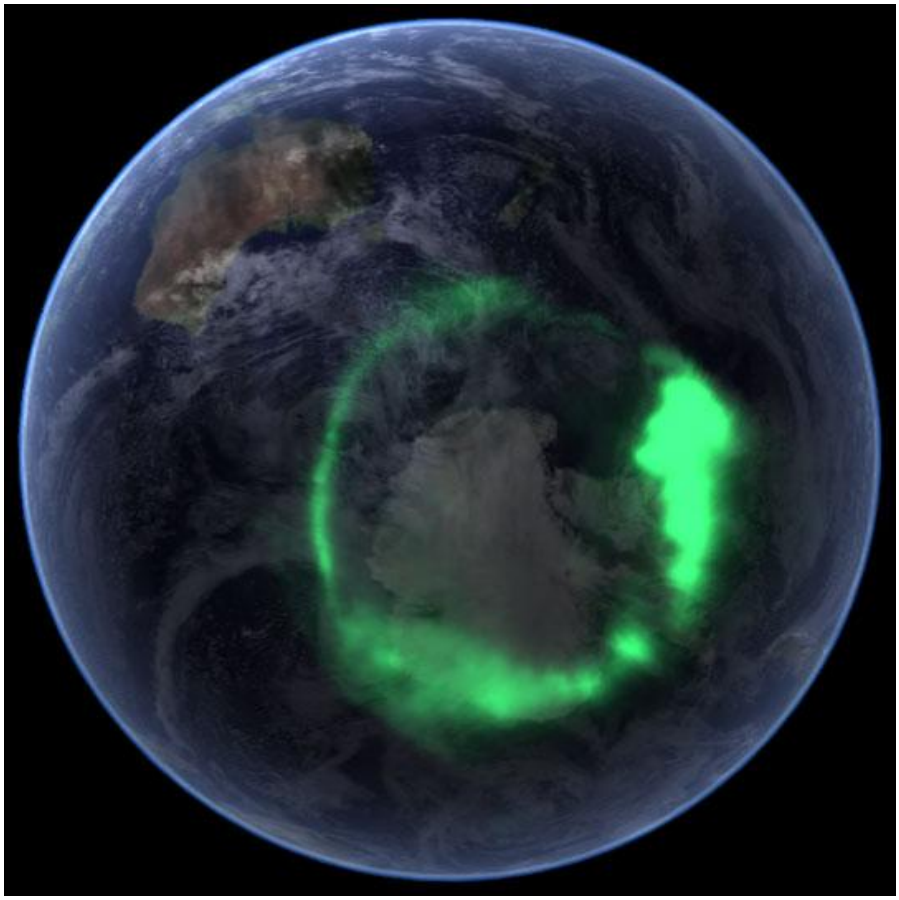


Eŭrazio

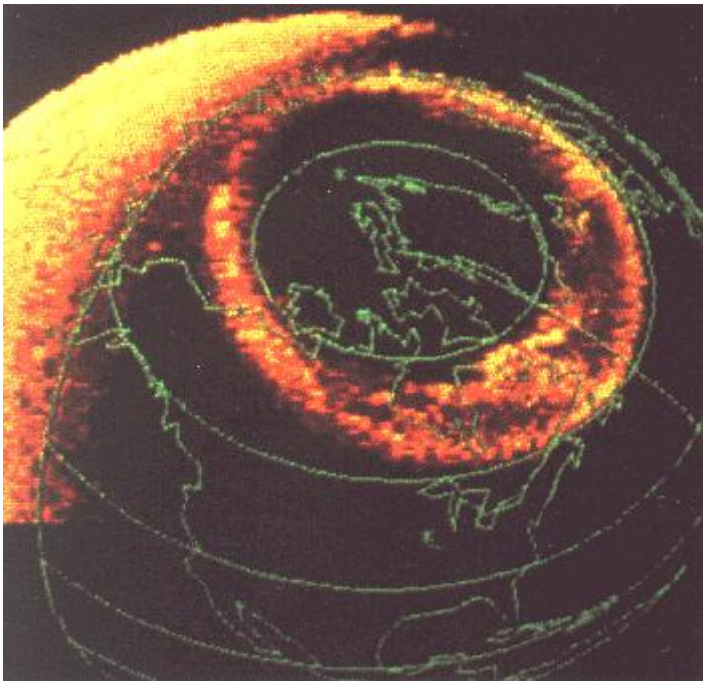
La ĉi supraj mapoj de montras la sudan limon de la aŭroro en la norda hemisfero por diversaj niveloj de geomagneta aktiveco; de 3 (malalta nivelo) ĝis 9 – plej altaj niveloj.

Aŭroroj estas foje videblaj en pli sudaj latitudoj, kiam magneta ŝtormo provizore pligrandigas la aŭroran ovalon. Grandaj magnetaj ŝtormoj estas pli oftaj dum la pinto de la dekunu jara suna ciklo, aŭ dum la tri jaroj post tiu pinto [21] [22]. Ene de la aŭrora zono la verŝajneco de aŭroroj dependas plejparte je la deklivo de IPMK- linioj. Geomagnetaj ŝtormoj kiuj instigas aŭrorojn efektive okazas pli ofte dum la monatoj ĉirkaŭ la ekvinoksoj. Ne estas bone komprenata kial geomagnetaj ŝtormoj estas ligitaj al la teraj sezonoj, dum polusa aktiveco ne estas. Fakte dum printempo kaj aŭtuno la IPMK ĉe la Tero fatighas proksimume paralelaj. Ĉe la magnetopaŭzo, la tera magneta kampo estas direktita norden. Kiam la IPMK klinas suden, ĝi povas parte nuligi la teran magnetan kampon je la punkto de kontakto, tralasante la energion de la suna vento atingi la Teran internan magnetosferon. Tiu fenomeno atingas maksimomon dum oktobro kaj aprilo, kiam la tera magneta kampo estas samdirekta kun la IPMK pro ĝia spirala formo. Ankaŭ la rapideco de la suna vento atingas maksimumon en la printempo kaj aŭtuno.

Estas aldonaj faktoroj kiuj influas la geomagnetan aktivecon. La akso de la suna rotacio estas klinita 8 gradojn rilate al la ebeno de la tera orbito ĉirkaŭ la suno. La suna vento blovas malpli rapide de la suna ekvatoro ol de ĝiaj polusoj. Pro tio la averaĝa rapido de la suna veto varias kun ciklo de ses monatoj. La rapideco de la suna vento estas plej granda - averaĝe ĉirkaŭ 50 km / s - ĉirkaŭ la 5a de Septembro kaj la 5-a de Marto, kiam Tero atingas la plej altan latitudon rilate al la suna ekvatoro. Tamen, nek la IPMK nek la suna vento povas komplete klarigi la sezonan konduton de geomagnétaj ŝtormoj. Tiuj faktoroj kune kontribuas nur proksimume unu trionon de la observita duonjara ciklo de la aŭroroj.



Aŭroro australis (11 septembro 2005) kiel kaptita de NASA BILDO satelito



Difusa aŭroro observita de DE-1 satelito de malalta tera orbito

Ruĝa kaj verda aŭroroj, Norvegio

Referencoj

1. Feldstein, Y. I. (1963). "Some problems concerning the morphology of auroras and magnetic disturbances at high latitudes". *Geomagnetism and Aeronomy* **3**: 183–192.
2. Feldstein, Y. I. (1986). "A Quarter Century with the Auroral Oval". *EOS* **67** (40): 761. Bibcode:1986EOSTr..67..761F. doi:10.1029/EO067i040p00761-02.
3. E. J. Weber et al. (1984). "F layer ionization patches in the polar cap". *J. Geophys. Res.* **89** (A3): 1683–94. Bibcode:1984JGR....89.1683W. doi:10.1029/JA089iA03p01683.
4. Frank, L. A. et al. (1986). "The theta aurora". *J. Geophys. Res.* **91** (A3): 3177–3224. Bibcode:1986JGR....91.3177F. doi:10.1029/JA091iA03p03177.
5. Paul Fleury Mottelay Bibliographical History of Electricity and Magnetism. Read Books, 2007, ISBN 1-4067-5476-5. p 114.
6. Wilfried Schröder, Das Phänomen des Polarlichts, Darmstadt 1984
7. N. Østgaard, S. B. Mende, H. U. Frey, J. B. Sigwarth, A. Asnes, J. M. Weygand (2007). "Auroral conjugacy studies based on global imaging". *J. Of Atmos. And Solar-Terres. Phys.* **69** (3): 249–55. Bibcode:2007JASTP..69..249O. doi:10.1016/j.jastp.2006.05.026.
8. "University of Minnesota Style Manual". .umn.edu. 18 July 2007. Archived from the original on 22 July 2010. Retrieved 5 August 2010.
9. "Ultraviolet Waves".

10. "NASA – NASA and World Book". Nasa.gov. 2011-02-07. Archived from the original on 29 June 2011. Retrieved 2011-07-26.[dead link]
11. Birkeland, Kristian (1908 (section 1), 1913 (section 2)). *The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902–1903*. New York: Christiania (Oslo): H. Aschehoug & Co. p. 720. out-of-print, full text online
12. Fritz, Hermann (1881). "Das Polarlicht."
13. S. Tromholt, Om nordlysets perioder/Sur les périodes de l'aurore boréale, l'annuaire 1880, Inst. Météorol. Danois, Copenhagen, 1882.
14. Hirshberg, Charles (2002-04-18). "My Mother, the Scientist". *Popular Science*. Bonnier Corporation.
15. "NASA – THEMIS Satellites Discover What Triggers Eruptions of the Northern Lights". Nasa.gov. Archived from the original on 29 June 2011. Retrieved 2011-07-26.
16. Angelopoulos, V.; McFadden, J. P.; Larson, D.; Carlson, C. W.; Mende, S. B.; Frey, H.; Phan, T.; Sibeck, D. G. et al. (2008). "Tail Reconnection Triggering Substorm Onset". *Science* **321** (5891): 931–5. Bibcode:2008Sci...321..931A. doi:10.1126/science.1160495. PMID 18653845.
17. "Secret of Colorful Auroras Revealed". Space.com. 2008-07-24. Archived from the original on 28 June 2011. Retrieved 2011-07-26.
18. Alaska.edu, Solar wind forecast from a University of Alaska website
19. Shue, J.-H; J .K. Chao, H .C. Fu, C. T. Russell , P. Song, K. K. Khurana, and H. J. Singer (May 1997). "A new functional form to study the solar wind control of the magnetopause size and shape". *J. Geophys. Res.* **102** (A5): 9497–9511. Bibcode:1997JGR...102.9497S. doi:10.1029/97JA00196.
20. Lyons, L. R.; H.-J. Kim, X. Xing, S. Zou, D.-Y. Lee, C. Heinselman, M. J. Nicolls, V. Angelopoulos, D. Larson, J. McFadden, A. Runov, and K.-H. Fornacon (2009). "Evidence that solar wind fluctuations substantially affect global convection and substorm occurrence". *J. Geophys. Res.* **114** (A11306): 1–14. Bibcode:2009JGRA..11411306L. doi:10.1029/2009JA014281.
21. Stamper, J.; M. Lockwood and M. N. Wild (December 1999). "Solar causes of the long-term increase in geomagnetic activity". *J. Geophys. Res.* **104** (A12): 28,325–28,342. Bibcode:1999JGR...10428325S. doi:10.1029/1999JA900311.
22. Papitashvili, V. O.; N. E. Papitashva and J .H . King (September 2000). "Solar cycle effects in planetary geomagnetic activity: Analysis of 36-year long OMNI dataset". *Geophys. Res. Lett.* **27** (17): 2797–2800. Bibcode:2000GeoRL..27.2797P. doi:10.1029/2000GL000064.