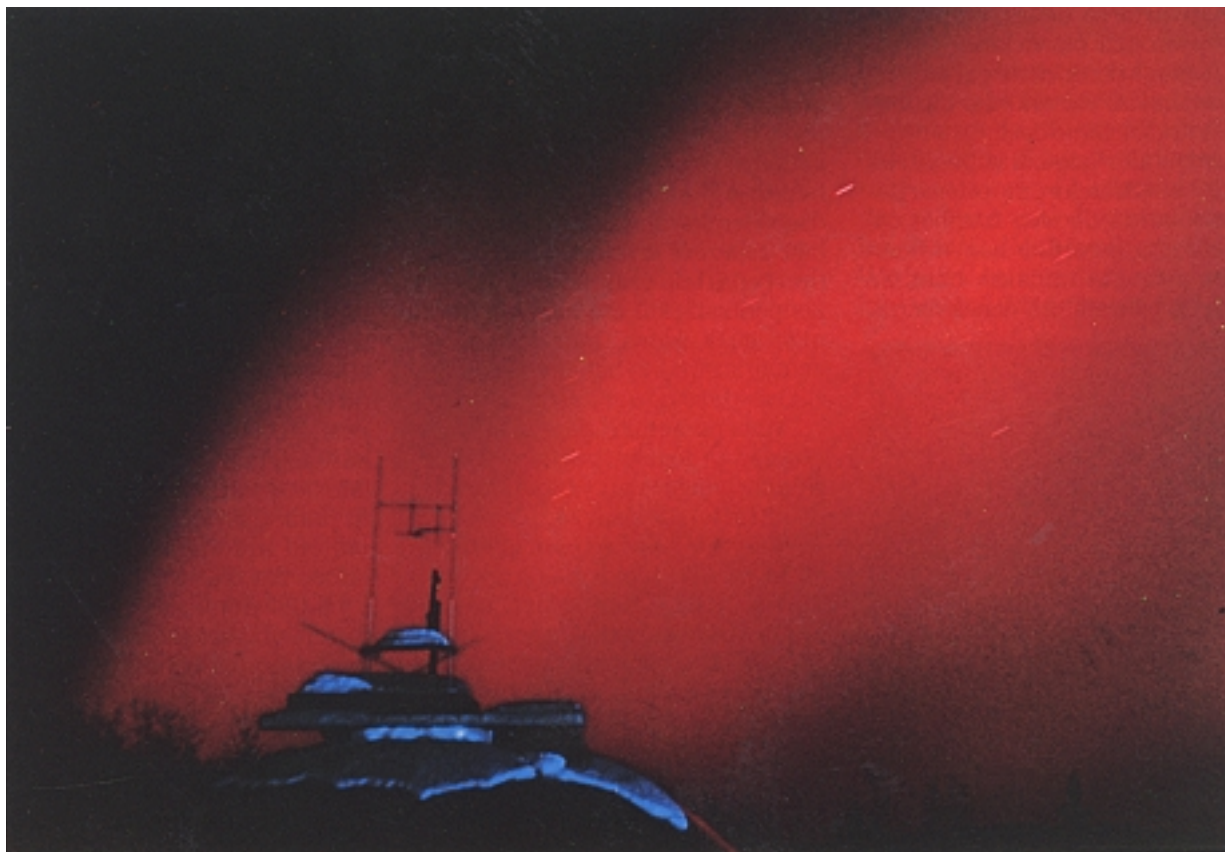


Aurora boreala: zeru-lurretan ederragorik ba ote?

A. Mujika

V. Hessler



Aurora gorria. Aurora-mota hau ez da oso arrunta, baina bai ikusgarria. Baldintza berezitan aurora-mota hau iparraldean ezezik latitude ertainetan ere ikus daiteke.

Neguko gau polar hotz amaigabea. Laponian gaude, edo Groenlandian, edo Alaskan apika. Ilun da, baina oskarbi. Ortzian izarrak ageri dira, keinukari.

Bapatean, nola ez dakigula, aurora ageri da, “iparraldeko argia”, zeruko oihal koloreanitza, naturak eskain dezakeen ikuskizunik liluragarrienetakoa. Forma desberdinak, tamaina aldagarriak, kolorezko uhin ibiltariak. Orain bertan, orain urrun, argi sorginak zerua du jolastoki.

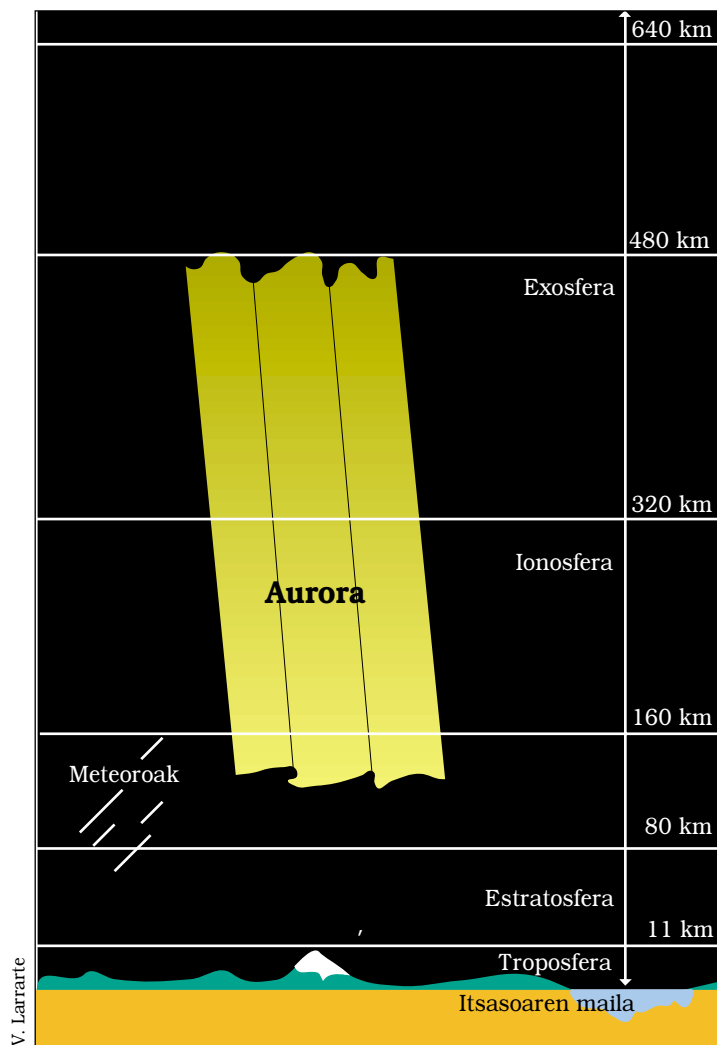
Ioiak, magnetosfera, deskarga elektrikoak, ... diote adituek. Baina ikuskizunaren ederra, argi horren xarma, ezin dute zientzilariek azaldu.

Aurora boreala (baita australa ere) gure planetan ikus daitekeen fenomenorik ikusgarrienetakoa da. Haren edertasun paregabea nekez da deskribatzen. Ikusi egin behar da. Aurorak antzina piztu zuen gizakien arreta. Haren nolahalako deskripzioak Itun Zaharrean, Seneka filosofo erromatarren testu batean eta Europako Erdi Aroko literaturan daude. Eta, jakina, iparraldeko kulturetan, ahozko tradizio aberatsa duten eskimoek, athabasca indiarrek, laponiarrek, groenlandiarrek eta Asiako iparraldeko tribuek aurorari buruzko alegiak belaunaldiz belaunaldi transmititu dituzte. Kultura horietan zeruko argi misteriotsuak, gertu-gertuko fenomenoak izanik, oso errotuta daude. Historian zehar, zenbaitetan, aurora ohizko latitudeez haraindi ikusi ahal izan da, Italia eta Frantziako populazioak ikaraturaz. Izan ere, latitude ertainetatik ikus daitekeen auroran kolore gorria osagai nabarmen eta nagusi izan ohi da eta Europako populazioak odolarekin eta batailekin lotzen zuen, gertatu beharreko ezbehar eta kalteen iragarletzat zutelarik.

Aurora: zientzilarien ikergai

Auroraren ikerketaren historia luzea da. Pierre Gassendi, XVII. mendeko matematikari eta filosofoa, izan zen "aurora" hitza fenomeno hori izendatzeko lehen aldiz erabili zuena. Aurora, Erromako mitologian, Eguzkiaren gurdia zeruko ateak irekitzen zizkion jainkosa zen; egunaren iragarlea.

Zientzilarien lehen arduretako bat, auroraren altitua jakitea izan zen. Zenbaitek, aurora behe-atmosfera sortzen zela uste zuten, hau da, hodeiak sortzen diren leku berean. Henry Cavendish (1731-1810) eta John Dalton-ek (1766-1844) aurora 80-250 km bitarteko altitudetan zegoela kalkulatu zuten eta Carl Stormer fisikari norvegiarrak (1874-1957) altitua zehatz-zehatz kalkulatu zuen. Horretarako, batabestetik aski urrun zeuden bi



**Aurora berde-horiska.
Hauxe da aurorak
maizen agertzen duen
kolorea.**

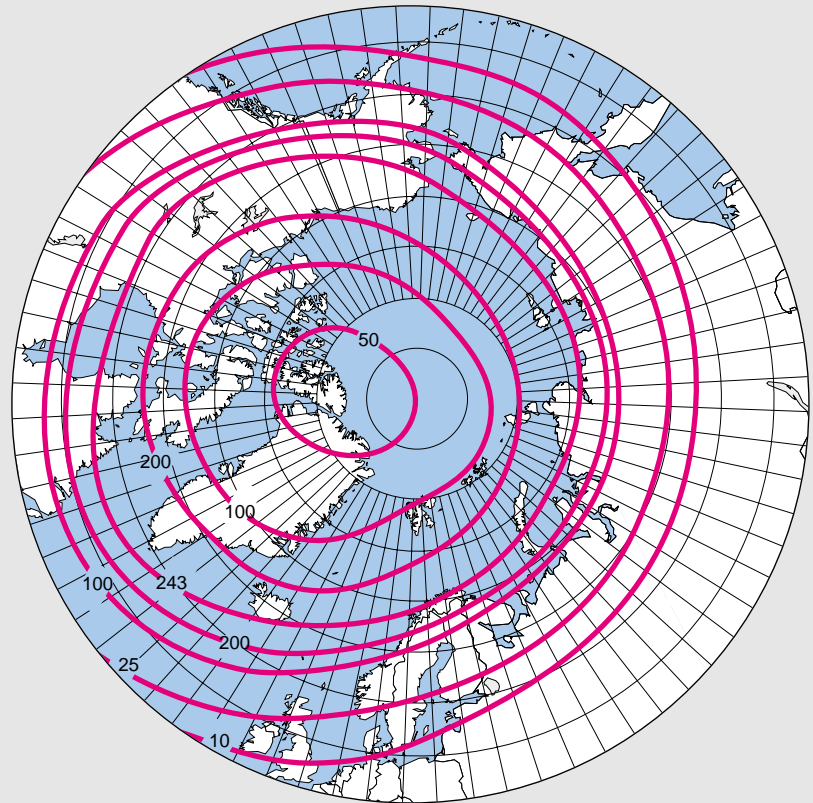
puntutik auroren argazkiak aldiberean egin zituen. Ondoren, triangelu-teoria aplikatuz, auroraren punturik baxuena Lurretik 100-105 km-ra zegoela kalkulatu zuen.

Auroraren agertze-maiztasuna ere arreta handiz aztertu zen. 1860.ean, datu-bilketa xehe, luze eta arretatsua egin ondoren, Elias Loomis estatubatuarrak lehen aurora-mapa egin zuen. Geroago, 1944.ean E.H. Vestinek beste bat egin zuen. Datuek garbi adierazten dute aurora 65°-ko latitudearen inguruan agertzen dela maizen eta handik latitude handiago edo txikiagoetarantz egin ahala maiztasuna txikiagotu egiten dela. Joan den mendearan amaieran argazkiak erabiltzen hasi ziren aurorak ikertzeko, baina aurorari argazkia egitea ez da hain erraza. Batetik, zenbaitetan auroraren higidura hain da azkarra, non gaur egungo argazki-pelikulak ere ezin grabatu dituzten. Bestetik, aurora eskala handiko fenomeno batenez, puntu bakar batetik argazkiak eginez ezin da behar bezala ikertu; puntu askotatik egin behar da.

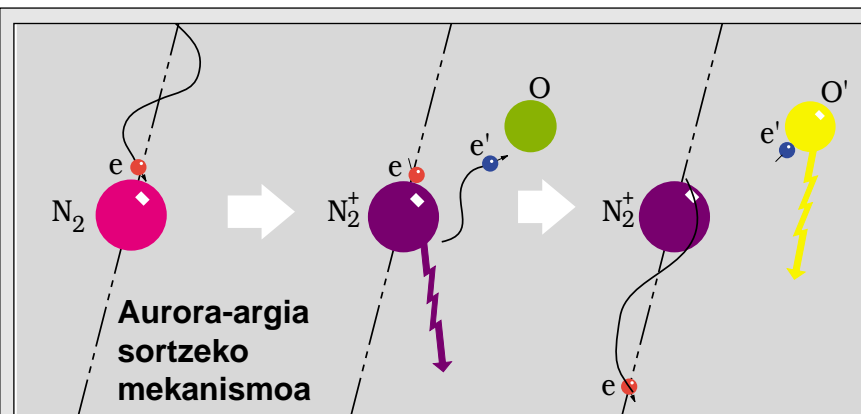
Mende honen lehen erdian erantzun gabeko galdera hauze zen: aurora agertzen denean, arktiaralde osoan aldiberean, ala zati batean bakarrik ikusten da? Argazkiak aztertuta, 1963.ean honako ondorioa iritsi ziren: aurora poloa inguratzen duen zerrenda estu batean zehar ikusten da aldiberean eta zerrenda hori ez dator bat lehenago

V. Larrarte

Aurora Euskal Herrian?



Ondoko irudian E. Harry Vestinek estatubatuarrak 1944.ean egindako mapa ikus daiteke. Kurba bakoitzean dagoen zenbakiak urtean aurora batezbeste zenbat gauetan ikus daitezkeen adierazten du. 243 zenbakiko kurbaren inguruari auroraldea deritzo. Hala ere, aurora agertzea eguzki-ihardueraren araberakoa denez, gorenaldian dagoenean (adibidez 1990-93 bitartean) aurora maizago agertuko da mapak dioena baino. Bestalde, mapan ikusten ez den arren, Euskal Herria zeharkatzen duen maiztasun-lerroaren zenbakia 0,5 da gutxi gorabehera. Beraz, teoriarik, bi urtez behin aurora ikus genezake Euskal Herritik, baina oskarbi eta gaua behar da horretarako.



Elektroi energetikoa (e) goi-atmosferan sortzen da eta talka egiten du nitrogenu-molekularekin (N_2). Elektroiak hainbeste energia dute, non nitrogenu-molekulatik elektroi bat (e^1) erauzi egiten baitute. Ondorioz, molekulak karga negatibo bat galdu eta positibo bihurtzen da, hau da, ionizatu egiten da (N_2^+). Molekula ionizatu hauek argi ultramorea igortzen dute; giza begiak ezin ikus dezakeena. Erauzitako elektroiek (e^1) ere energia dute eta bidean oxigeno-atomoren batekin (O) talka egiten badute, oxigeno-atomoa kitzikatu egiten dute. Berau bere hasierako egoerara itzultzean, guk aurora bezala ikusten dugun argi hori-berdeska igortzen du.

V. Larrarte

definitu zen auroraldearekin. Zerrenda honi aurora-obalo izena eman zaio. Aurora-obaloea Eguzkiarekiko ezarrita dago. Lurrak eguneko bira oso bat ematen du aurora-obaloaren azpian. Beraz, Lurrak biratzean, aurora-obaloaren azpian geratzen den lurraldea aldatu egiten da, hau da, auroraldeak ez bezala, aurora-obaloak ez du kokapen geografiko finkoa denboran zehar. Aurora-obaloea auroraldearen barnean higitzen da, lau mapa dituen atzeko irudian ikusten den bezala.

Aurora boreala eta aurora australa fenomeno bera ziren ala ez zen zalantzetako bat. 1967.ean ikertzaile-talde bat Alaska gainean hegazkinez zebilen bitartean, beste bat Zeelanda Berriaren gainean ibili zen. Batak eta besteak egindako aldibereko argazkiek, bi aurorak batera gertatzen zirela frogatu zuten.

Magnetosferak sorgailu elektriko gisa jokatzeko du

Orain badakigu aurora Lurra inguratzen duen deskarga-fenomeno erraldoi bat dela. Baina non dago energiaren elikatzen duen sorgailua? Aurora-deskargari dagokion energia elektrikoa ikaragarria da: urteko 10^{12} kW•h, hau da, Euskal Herri osoan urtean kontsumitzen den energia elektrikoa baino 580 aldiz gehiago.

Edozein sorgailu elektrikotan bi elementu dira nahitaezkoak: eroale elektrikoa eta eremu magnetikoa. Eroalea eremu magnetikoaren barnean higitzen denean, indar elektroeragile bat sortzen da eroalean. Auroraren kasuan, eremu magnetikoa Lurraren eremu magnetikoa dela pentsa dezakegu. Eta eroalea? Eguzki-atmosferaren kanpoaldea da, koroa esaten zaiona. Koroan milioi bat $^{\circ}\text{C}$ -ko temperatura dago eta ondorioz bertako atomo eta molekula guztiak

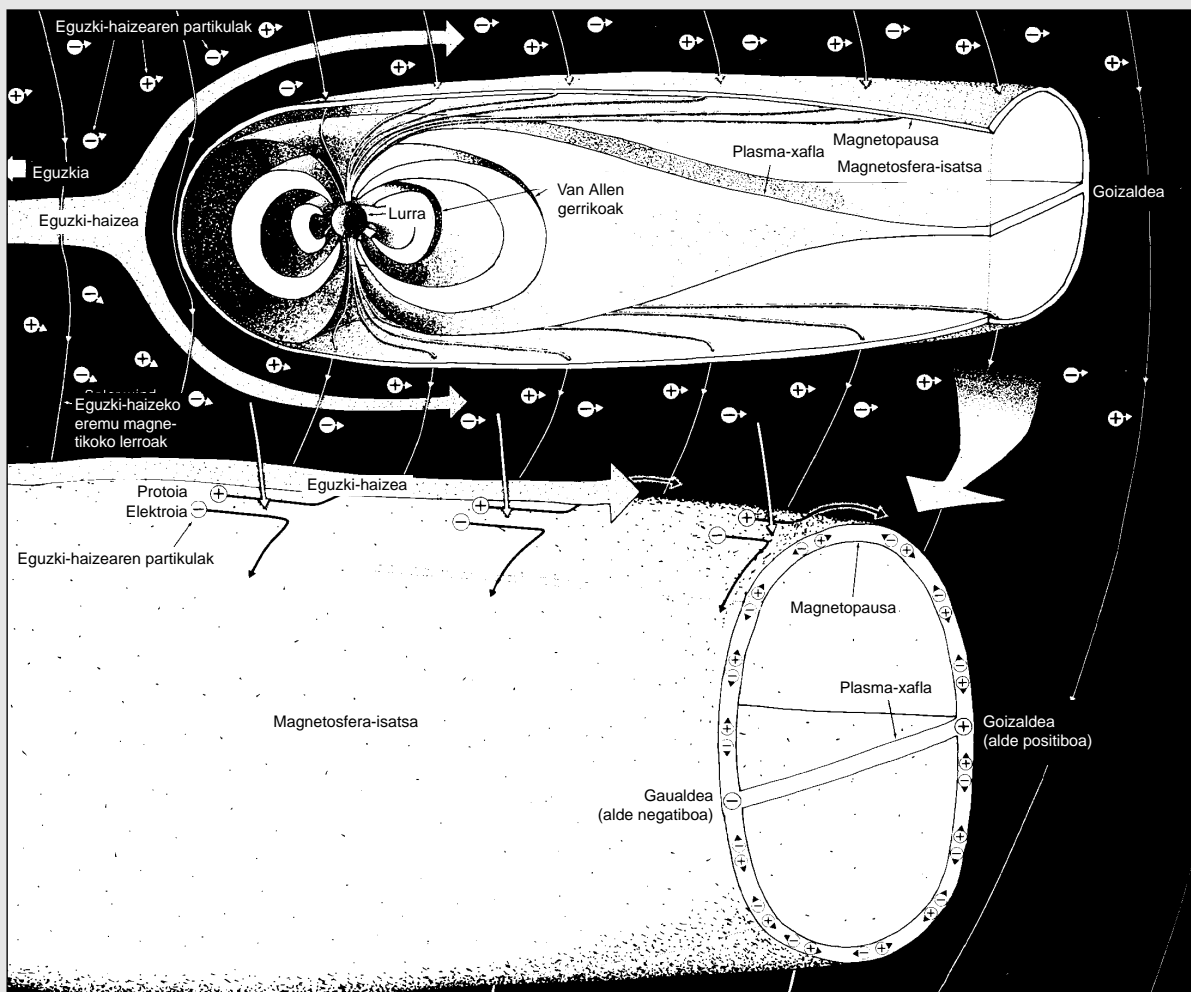
ionizatuta daude, hau da, koroa karga elektrikodun partikulez osatuta dago. Eguzki-haizea Lurrera inguratzen denean, Lurraren inguruan hutsune bat sortzen da, Lurraren eremu magnetikoko lerroek oztopatu egiten dutelako. Hutsune hori magnetosfera da. Eguzkiko eremu magnetikoa, eguzki-haizeak "garraiatua", Lurreko eremu magnetikoarekin elkartu egiten da. Lurreko eremu magnetikoaren lerro-sorta bat poloaren eskualdearen gainetik irten eta lehenago aipatu hutsunean barreiatu egiten da, eguzki-haizeko eremu magnetikoaren lerroekin magnetosferaren ertzean konektatuz. Hor da elektrizitatea sortzen; eroaleak (eguzki-haizeak) eremu magnetikoan zehar higitzean. Magnetosferaren ertz osoan da elektrizitatea sortzen, eguzki-haizea/magnetosfera sorgailu-

an, hain zuzen. Ikerketek frogatu dutenez, sorgailu horrek 100.000 voltetako tentsioa eta 1.000.000 MW-eko potentzia elektrikoa (Lemoizen jarri nahi zituzten eta zorionez jarri ez diren lau erreaktore nuklearrek batera emanago zuketena potentzia baino 250 aldiz handiagoa) du.

Sorgailu orok bi terminal behar ditu. Eguzki-haizea/magnetosfera sorgailuaren terminal positiboa magnetosferaren ertzaren "egunaldean" dago (Eguzkiarekiko) eta negatiboa "gualdean". Goi-atmosferako sorgailu horrek sortutako energia elektrikoa hori erabiliz deskarga elektrikoa lortu ahal izateko, goi-atmosfera hori terminaletara konektatu behar da eta horretarako "eroaleak" behar dira, "kableak". Non dira kableak? Magnetosferako gas oso ionizatua zehar, korrante elektrikoa errazago igarotzen da lerro magnetikoekiko paralelo

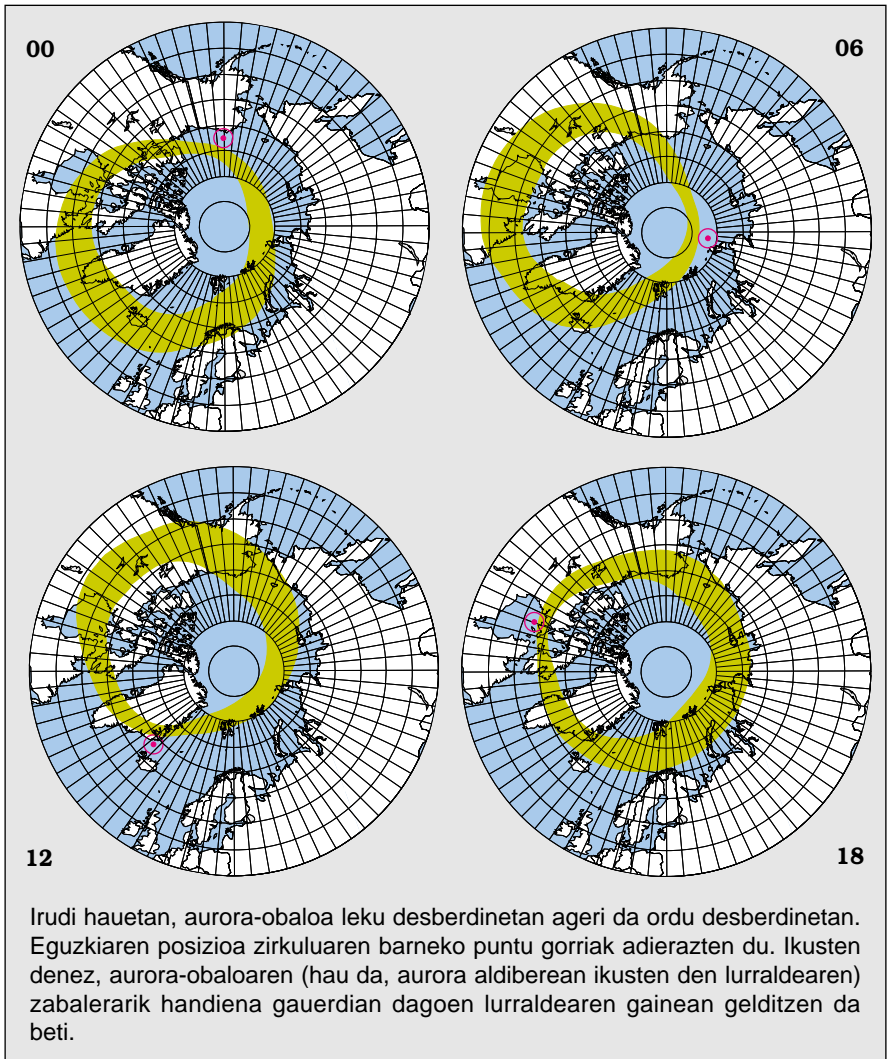
elkartut baina. Hortaz, eremu magnetikoko lerroak "kable" ikusteazkin dira.

Esan dugunez, poloen eskualdeko Lurreko eremu magnetikoko lerroak poloetatik irten eta eguzki-haizeko eremu magnetikoko lerroekin konektatzen dira. Baina poloetatik irteten den lerro-sortatik sortaren azala osatzen duten lerroak bakarrik (eta ez eguzki-haizeko lerroekin konektatutakoak) daude terminaletara konektatuta. Beraz, sorgailuaren terminaletako energia elektrikoa terminal positibotik poloen eskualdeko goi-atmosferara igarotzen da eta terminal negatibotik itzultzen, baina poloen eskualdeko lerro-sortaren azalean zehar bakarrik. Korrante hau nagusiki elektroiz osatuta dago. Elektroi horiek goi-atmosferako atomo eta molekulekin talka egitean sortzen da aurora.



Alabaina, aurorak zer-nolako argia igortzen duen jakitea da arazo nagusia. Erantzunak bi datu garrantzitsu emango dizkigu: lehenik, zein atomo- eta molekula-mota diren argia igortzen dutenak eta, bigarrenik, zergatik igortzen duten. Hori oro har aztertzen duen zientzi atala espektroskopia da eta aurora-espektroskopia gure kasuan. Prisma da espektroskopiaren oinarriko tresna. Prisma zeharkatuta, argia deskonposatu egiten da. Hori da espektra. XIX. mendearen hasierara arte, zientzilari gehienek ustez zeruan esekitako izotz-kristal ñimiñoetan isladatutako eguzki-argia zen aurora. Horren arabera, aurora-argiaren espektraok eta eguzki-argiarenak berdinak izan behar zuten. Angstrom fisikari norvegiarrak (1814-74), prisma erabiliz, hauxe aurkitu zuen: aurora-espektra ez dela jarraia, eguzki-argiarena ez bezala. Kolore desberdineko marra eta zerrendak ditu eta ilunguneak ere bai. Marrak atomoek igortzen dituzte; zerrendak berriz, molekulek (ikus irudia).

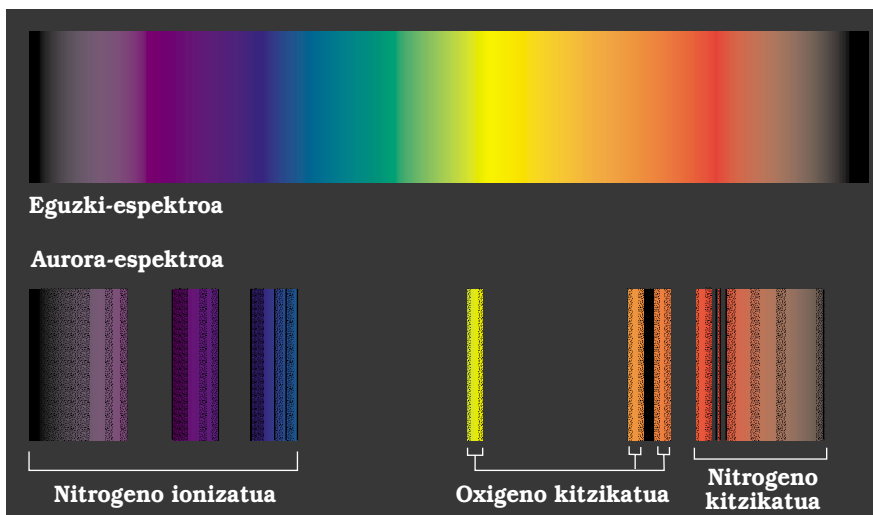
XIX. mendearen erdialderako zientzilariek bazekiten marra eta zerrendez osatutako argi-espektra lor zitekeela beirazko tutu batean gasen bat sartuz eta tutuaren mutur banatan ipinitako elektrodoen artean goi-tentsioa ezarriz. Horixe da neon-argiaren kasua. Adibidez, hutsa egin zaion beirazko tutu estu batean neon gasa sartu eta goi-tentsioa iturri batera konektatzen bada, elektroiak elektrodo negatibotik positibora isurtzen dira tutuan zehar. Elektroi horiek talka egiten dute neon-atomoekin eta berauen barne-egoera aldatu egiten da. Atomoak kitzikatu egiten dira. Baina neon-atomoek ezin dute ki-



tzikaturik luze iraun eta hasierako egoerara itzultzen dira. Beren jatorrizko egoerara itzultzean, kitzikatu zirenean hartutako energia kanpora bidaltzen dute argia igorri: argi gorri ezaguna. Baina neon-atomoek baino ezin dute igorri argi gorri hori. Zientzilariek atomo- eta molekula-mota bakoitzak igorritako espektra analizatu zuten.

Horrela, aurora-argiaren espektra sortzen duten atomo eta molekulak ezagutu ahal izan dira. Angstromek 1868.ean aurkitu zuen aurora-argirik arruntena, berde zuriska, espektraoan marra berde bat zela. Baina marra hori zein atomo sortzen zuen ez zen 1925. urterarte jakin; orduan aurkitu baitzen berde hori oxigeno atomikoak (O) sortzen zuela. Behe-atmosferan oxigenoa badago, baina molekulatan (O₂). Alta, aurora agertzen den altitudetan, oxigeno-molekulak bere osagai diren oxigeno-atomotan banandu egiten dira. Gainera, zenbait baldintza berezitan, oxigenoak argi gorri iluna ere igor dezake. Horixe da auroraren odol-argia; Erdi Aroko populazioari izua eragiten ziona hain zuzen.

Espektroskopiak auroraren misterioa argitu digu. Aurora deskarga-fenomenoa da, energiadun elektrodoek poloaldeko goi-atmosferan sartzean eragiten dutena. Aurora gertatzen den altitudetako atmosfera eta tutu elektronikoetan



egon ohi den huts-maila berdintsuak dira, hau da, goi-atmosfera osoa deskarga-tutu erraldoia dela esan dezakegu.

Zeinek kontrolatzen du aurora?

Aurora formaz, tamainaz eta kolorez aldatzen dena bada-kigu. Baita zenbaitetan bestetan baino askoz ikusgarriago eta distiratsuago dela ere. Zergatik? Eguzkia da erruduna. Eguzkian baldintzak aldatzen badira, eguzki-haizea aldatu egiten da eta honek aldaketak eragiten ditu magnetosferaren ertzean; aurora sortzen den lekuan, alegia. Gaur egun badakigu Eguzkian gertatzen den sugarraldi bakoitzaren ondoren eguzki-haizea handiago egiten dena. Gainera, Eguzkiaren barne-dinamikak gutxi gorabehera 11 urteko periodoa duena ere badakigu. Eguzkiaren iharduera periodikoa gorenaldian dagoenean (1957-59, 1968-70, 1979-81 eta 1990-92 urte-bitartean adibidez), aurorak ugariago eta handiagoak dira. Eskuarki 350-450 km-ko altuera badute ere, Eguzkiaren baldintzak bereziak direnean 1.000 km-rainoko altuera eta kolore gorria izan dezakete. Hain luzeak izanik, oso urrutitik ikus daitezke. Adibidez, 1958.ean

Aurora-arkua. Hauxe da aurorak erakutsi ohi duen beste forma bat: forma homogenoa, "lasaia".



A. Belon

M. Lockwood



Aurora formaz eta tamainaz aldatu egiten da. Izarretatik zintzilika, haizeak kulunkatzen duen oihala irudi du batzuetan.

aurora gorri bat Mexikotik ikusi zen. Eta lehenago, 1872.eko otsailaren 4ean Bonbain ikusi zen, 1909.ean Singapurren, 1921.ean Samoan. Horrelako aurora gorri erraldoiak ziren Erdi Aroan ikara sortarazten zutenak.

Auroraren eragina

Aurora deskarga-fenomenoa da, hau da, kontuan izan behar da aurora-oihalean zehar ionosferan, gutxi gorabehera 100 km-ko altitudetan, milioi bat amperre inguruko korrante elektrikoa igarotzen dela. Korrante horrek interferentzia geomagnetikoak eragiten ditu. Adibidez, iparorratzari 10°-rainoko aldaketa eragin diezaioke. Bestalde, korrante horren intentsitatea aldakorra denez, hari elkartutako eremu magnetiko aldakorrak korrante elektrikoak eragiten ditu Lurrean dauden eroale luzeetan, hala nola energia elektrikoa banatzeko lineetan, telegrafo-lineetan eta oleoduktu eta gaseodukturetan. Kalteak eragin ere egin ditu inoiz: transformadoreak hondatu, komunikazio-kableak eten, etab.

Aurora fenomeno konplexua da, baina auroraren edertasunaz gozatzeko ez dago fisika jakin beharrik. Arktiaraldera joan eta gauean zerrura begira jarri, besterik ez da egin behar.