

LL levi käsiraamat

Bob Brown, NM7M

Professor Bob Brown, NM7M, töötas füüsikuna California Ülikoolis ülemiste atmosfäärikihtide ja geomagnetosfääri eksperdina. Ta tähistas oma 81. sünnipäeva 2004. aastal, oli endiselt väga huvitatud levimisest ja töötas peamiselt 'top band' 160 meetri peal.

1998. aastal kirjutas ta oma õpilastele LL levi kohta õppekava, millest sai see käsiraamat, milles Bob tutvustab meile LL levimise põnevat maailma.

Sisukord

Kasutatud terminid ja lühendid.....	1
Sissejuhatus.....	2
Ioniseerumise mõjud.....	4
MUF ja RF sumbumine.....	8
Ionosfääri elektronide jaotus.....	12
E- ja F-kihi kriitiliste sageduste kaardid.....	19
RF-levimise kaardistamine.....	20
E- ja F-kihi ionisatsioon.....	21
Ionosfääri vähendamine.....	25
Ionosfääri mudelite toimivus.....	27
Levimisviisid ja DX'imine.....	30
Praktilise juhtumi analüüs.....	36
Leviennustusprogrammid.....	38
Polarisatsioon ja RF'i sidestamine ionosfääriga.....	40
Raadiolevi põhialused.....	42
Geomagnetilised häired.....	45
Geomagnetilised tormid ja virmalised.....	48
Appletoni magneto-iooniline teooria.....	51

Kasutatud terminid ja lühendid

Å (angstrom) pikkusühik, $1\text{Å} = 0,1\text{ nm}$ (hapniku aatomi läbimõõt $\approx 1,32\text{ Å}$)

DX (Distance) kaugjaam või kaugside

eV (elektronvolt) energiaühik, $1\text{eV} \approx 1,6022\text{E}-19\text{ džauli}$

EVF (Effective Vertical Frequency) efektiivne vertikaalsagedus

foE E-kihi kriitiline sagedus

foF2 F2-kihi kriitiline sagedus

MUF (Maximum Usable Frequency) maksimaalselt kasutatav sagedus

QRG sideseansil kasutuses olev sagedus

RF (Radio Frequency) raadiosagedus

SID (Sudden Ionospheric Disturbance) äkiline ionosfääri häiritus

UV (Ultraviolet Radiation) ultraviolettkiirgus (lainepikkus 122 nm kuni 380 nm)

EUV (Extreme Ultraviolet Radiation) äärmuslik ultraviolettkiirgus (lainepikkus 10 nm kuni 121 nm)

Sissejuhatus

Ma pean nõustuma, et internetis on palju informatsiooni, aga kuidas on sellest arusaamisega? Lubage mul esitada mõned märkused, mis võivad aidata teil levimist mõista.

Esiteks, me sõltume atmosfääri ülemise osa ioniseerumisest. See tuleneb Päikese ultraviolettkiirgusest, madala energiaga röntgenikiirtest, kõrge energiaga röntgenikiirtest ja laetud osakeste (elektronide ja prootonite) sissevoost. Jättes laetud osakesed praegu arutelust välja, on päikesefootonid suuresti pärit aktiivsetest piirkondadest Päikesel.

Ajalooliselt loeti ja arvutati aktiivsed piirkonnad esmalt kokku, seejärel mõõdeti nende pindalasid. Mõlemal meetodil on omad väljakutsed ilmastikutingimustega ja peale II maailmasõda leiti, et Päikese raadiomüra aeglaselt muutuv komponent 10,7 cm lainepikkuse juures oli statistiliselt seoses päikeseplekkide arvu kasutava meetodiga. Hiljem, kosmoseajastul leiti, et on võimalik mõõta Päikeselt tulevat kõrge energiaga röntgenikiirte voogu 1-8 Å vahemikus.

Minu arvates on 1-8 Å tauströntgenikiirguse voog parem Päikese aktiivsuse mõõt, vähemalt meie raadio eesmärkidel. Lubage mul selgitada.

Esiteks, on leitud, et röntgenikiirguse voog tuleb piirkondadest, mis asuvad keskemalt Päikese nähtaval poolkeral; see tähendab, et nende röntgenikiirte oluline osa jõuab meie atmosfääri. Teiseks, atmosfääri mis tahes koostisosa ioniseerimiseks on vaja 10 elektronvolti (eV) energiat; 1-8 Å röntgenikiirguse footonite energia ületab seda üle 100 korra.

10,7 cm footonite energia on 0,00001 eV ehk 1 000 000 korda liiga madal, et ioniseerida midagi meie atmosfääris. Seega 10,7 cm voog annab meile ainult teada aktiivsete piirkondade olemasolust Päikesel, mitte otse ionosfääri ioniseerumisolekust. Kui see ei oleks veel piisavalt halb, siis on leitud, et 10,7 cm voog võib tulla Päikese kroonist piirkondade kohal, mis on ida- ja lääneservade taga. Need piirkonnad on palju vähem tõenäolised, et nende ioniseeriv kiirgus jõuab otse ionosfääri. Seega 10,7 cm vool on oma eesmärk, näidates aktiivsete piirkondade olemasolu, aga on viga arvata, et selle voo muutused on alati otseselt seotud meie ionosfääri seisundiga.

Öeldes kõike seda, lubage mul lõpetada, osutades, et NOAA annab 1-8 Å röntgenikiirguse voo (X-Ray flux) väärtused vahemikes, mis erinevad teguritega 10, näiteks A 2,3, B 4,0 või C 1,5. Numbrid on kordajad ja tähed annavad kategooria. Nüüd olen loginud 1-8 Å röntgenikiirguse voo läbi kogu tsükli 22 ja nüüd tsükliks 23. Minu kogemuse summa ja sisu on üsna lihtne: A-vahemik leiab aset Päikese miinimumi ümber, B-vahemik tsükli tõusva ja langeva osa peal ja C-vahemik tsükli tipu ajal.

Kuidas on siis tsükliga 23? Me liikusime äkki A-vahemikust välja (sporaadiliste B-pursetega) 97. aasta augustis, hõljusime madalas B-vahemikus kuni 98. aasta märtsini, olime keskmises B-vahemikus kuni praeguse ajani kui olid hiljutised pursked C-vahemikus. On veel liiga vara öelda, kas päikeseaktiivsus on liikunud C- või Päikese maksimumfaasi; enne sellise hinnangu tegemist on vaja mitme kuu andmeid.

Kuid 1-8 Å röntgenikiirguse voo logimine annab teile ülevaate ionosfääri seisundist ja kordused graafikus osutavad DX'imise headele/halbadele aegadele. Kuigi 1-8 Å diagrammi piigid võivad viidata "kuumadele aegadele" DX'imiseks, võivad need olla lühikesed ja raskesti ära kasutatavad. On produktiivsem vaadata laiemaid voo tippe DX'imise planeerimisel. Päikese pursked ja kroonimassi väljavood, mis on seotud aktiivsuse pursetega, mis nüüd toimuvad, on tõenäolisemalt

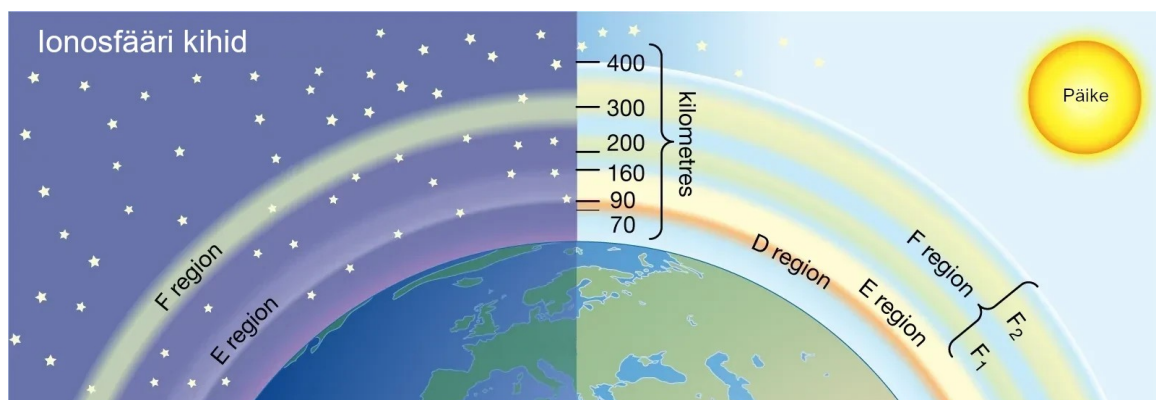
halvad levimistingimustele, sest järgneb kogu geomagnetiline aktiivsus. DX'imiseks on laiad tipud produktiivsemad.

Kõik ülaltoodu hõlmas sõnu, mitte suuri matemaatilisi ülesandeid. Aga mulle meeldib siduda see kokku matemaatiliselt, kasutades lihtsat proportsiooni, mida kõik saavad kiiresti haarata:

Kui rääkida ionosfääri oleku muutustest, siis röntgenikiirgus on päikesemüra nagu DX'imise puhul on suundantennid dipoolidele.

Olles rääkinud ionisatsiooni tekkimisest kõrgel pea kohal, elektronidest ja positiivsetestioonidest, tekivad kohe igasugused praktilised küsimused. Ja ka mõned teoreetilised. Me jätame teooria hilisemaks ajaks kui DX'imine on lõdvem ja on rohkem aega varuks.

Aga kui tegemist on praktiliste küsimustega, siis peame oma sagedusspektri viskama vastu ionosfääri ja vaatama, kuidas see kõik välja kukub. Loomulikult tehti seda juba üle 50 aasta tagasi, üks sagedus korraga, ja tekkis kriitiliste sageduste idee. Need olid signaalide jaoks, mis läksid vertikaalselt ülespoole erinevatesse ionosfääri kihtidesse pea kohal, nii saadi kriitilised sagedused foE ja foF2, mis on ionosfääri E- ja F2-kihtide jaoks, mis andsid kõrgused ja sageduspiirid, millest edasi signaalid jätkasid edasiliikumist järgmisesse kihti või lõpmatusse.



Aga suheldes saadame me signaale kaldsuunas horisondi poole ja see teeb vahe, meie kõrgemad sagedused tungivad rohkem läbi kui madalamad, enne kui nad maapinna poole tagasi suunduvad. Ning me peame märkima, et meie RF ergastab ionosfääris vabu elektrone, raputades neid lainesagedusel, aga nad põrkuvad lähedal asuvate aatomite ja molekulidega, kandes mõningase lainetest saadud energia üle atmosfäärile. See on see, kuidas signaalid neelduvad, soojendades atmosfääri.

Kuid elektronide jaoks on vahe, kas neid ergastab 28 MHz RF või 1,8 MHz RF. Seda ühe asja jaoks, kui sageli elektronid põrkuvad lähedal asuvate aatomite ja molekulidega. Kõrgetel sagedustel, näiteks 28 MHz, on lainesagedus kõrge võrreldes vabade elektronide kokkupõrke sagedusega ja neeldumiskaod on suhteliselt väikesed. Sama ei saa öelda 1,8 MHz signaalide kohta, seal on laine ja kokkupõrke sagedused võrreldavad, mis tähendab, et vabad elektronid võtavad RF-energiat ja annavad selle kiiresti üle atmosfäärile.

Võib läbi käia kogu matemaatika, kuid vastuse võite peaaegu ära arvata: neeldumine on piirav tegur madalate sagedusribade jaoks 160, 80, 40 meetrit, ja ioniseerumine või kriitilised sagedused (MUF'd) on piiravad tegurid kõrgete sagedusribade jaoks, 15, 12, 10 meetrit. See muudab

keskmised või ülemineku sagedusribad 30, 20, 18 meetrit nendeks, kus nii neeldumine kui ka ioniseerumine on olulised.

Me võime seda sõnastada ka praktilisel viisil – 160 meetri operaatorid teevad kogu oma DX'imise pimedas öös, kui seal pole Päikese UV- ega röntgenikiiri, mis loovad kõik need elektronid, mis neelavad RF'i. Samal põhimõttel teeb 10 meetri rahvas oma DX'imise päevavalguses, kui kogu sidetrass on valgustatud.

Need on äärmused, kuid praktikud "tööhobuse ribal", 20 meetril, peavad üles seadma mõlemad ebakindlused, nii MUF'des ja ka elektronide neeldumises. Kuid sellistel aegadel nagu praegu on seal üleval piisavalt ioniseerumist, et toetada DX'imist koidu ja eha ajal, kui neeldumine on minimaalne.

Need ideed, pimedus ja päikesevalgus sidetrassidel, toovad esile kaardistamisega programmid 160 meetri riba pimeduse ja 10 meetri riba päevavalguse kontrollimiseks, samuti MUF-programmid sagedusribade jaoks alates 10 MHz ülespoole. Need viimased programmid peaksid olema ka võimalised andma signaali / müra suhteid SSB ja CW ribalaiuste jaoks. Aga sellegipoolest, signaali saamine DX-asukohast ei maksa palju kui seda ei saa lugeda üle müra. Minu jaoks on VOACAP nimekirja tipus, kuid sellel on järglasi ja seal on ka teisi programme. Kuid ma ei saa piisavalt rõhutada kaardistamisprogramme; peate lihtsalt nägema, kuhu üritate minna ja takistusi sidetrassil nagu auroravööndid.

Ioniseerumise mõjud

Praegu on seal üleval piisavalt palju ioniseerumist, et toetada DX'imist madalatel sagedustel, 160 kuni 40 meetrit. Kuid kõrgemad sagedused on endiselt üsna laigulised, peamiselt madalatel laiuskraadidel või lühikeste päikesetegevuse puhangute ajal. Kuid 10 meetrit naaseb; uskuge mind.

Senine arutelu on käsitlenud ioniseerumise teket ja seda, kuidas erinevad sagedused meie LL spektris hakkama saavad nii levimise kui ka neeldumise osas. Selle arutelu üks kitsaskoht on see, et on jäetud välja, kuidas aja jooksul ioniseerumine jõuab püsiva oleku elektrontiheduseni seal üleval.

Seega pöördume selle poole, aga teeme seda nii lihtsalt kui võimalik. See tähendab, et keskendume elektronidele, positiivsetele ja negatiivseteleioonidele. Päikese UV- ja röntgenikiired loovad need hapniku ja lämmastiku molekulidest meie atmosfääris. Ma võin öelda, et see on suur, keeruline ionkeemia labor seal üleval, aga me jääme üldisele tasemele, lihtsalt elektronid ja positiivsed ioonid.

Lihtsustatult öeldes on seal tootmise ja ionisatsiooni kadumise vahel konkurents nagu teie pangakontol, kus konkureerivad palga sissekandmine ja arvete tasumine. Seega meie jaoks tekib ionosfääris kuupmeetri õhu kohta sekundis teatud arv elektrone päikesekiirguse toimel ja olenemata elektronide arvust, kaotatakse mõned neist positiivseteioonidega taasühinemisel neutraalseteks aatomiteks või molekulideks. Kui need kaks, kasv ja kadu, on võrdsed, on ionisatsioon püsiv; vastasel juhul tekib sekundis puhaskasum või -kahjum mingil põhjusel.

Ma pole seda veel öelnud, aga atmosfäär on ainult kergelt ioniseeritud, ütleme, et üks elektron või positiivneioon miljoni neutraalse osakese kohta. Seega elektronidel on suurem tõenäosus põrgata neutraalse osakesega (nagu ionosfääri neeldumisel) kui positiivseiooniga, et taasühineda neutraalseks aatomiks või molekuliks. Ja muidugi on nende kiiruste vahel suur erinevus ionosfääri

alumiste osade, alla 90 km asuva D-kihi ja üle 300 km asuva F2-kihi vahel. Seega Päikesest pärineva UV-kiirguse poolt tekitatud elektronid neelatakse D-kihis kiiresti, kuid F2-kihis püsivad need peaaegu terve päeva.

Tänapäeval leidub häid näiteid kiiretest protsessidest, nagu päikesepursked, mis kiiritavad poolt maakera kõrge energiaga röntgenikiirtega (nagu need, mis on 1-8 angströmi vahemikus). Nad tungivad D-kihti, vabastavad elektrone, mis kiiresti kannavad laineenergiat atmosfääri. Niipea kui päikesepurse lõpeb, lõpeb ka äkiline ionosfääri häire (SID) või raadioside katkemine, kuna D-kihi elektronid rekombineeruvad kiiresti ja signaali tugevus taastub normaalseks.

Elektronide püsimine F2-kihil on osalt vastutav selle eest, et pimeduse tundidel on endiselt ionisatsiooni ja levimist. Lühidalt öeldes rekombineeruvad kõrgel kõrgusel olevad elektronid pärast päikeseloojangut aeglaselt. Kuid selles loos on veel midagi, Maa magnetvälja roll. Lubage mul selgitada.

Maa atmosfäär on sukeldatud geomagnetilisse välja, seega kõik laetud osakesed, näiteks Päikese UV-kiirguse tekitatud ionisatsioon, kogevad seega nende liikumisest tulenevat jõudu välja. Elektronide jaoks tähendab see, et nad spiraalivad mööda väljajooni kui UV-kiirgus neid vabastab, ja ei lenda üheski suunas teise kohta, kõrgemale või madalamale ionosfääris. Levimisäris nimetatakse seda geomagnetiliseks kontrolliks, mis tähendab, et Maa väli määrab suuresti elektronide jaotuse ionosfääris. Tõsi, Päikese UV loob neid ja nad on kõige arvukamad seal, kus Päike on pea kohal, kuid nad on kinni väljajoontel ja püsivad pärast pimedust, meie suureks eeliseks.

Aga ka Maa väli tekitab probleeme, eriti madalate sagedusalade operaatorile. Selgub, et elektronide gürosagedus mööda väljajooni on umbes 1 MHz ja võrreldav sagedusega 160 meetri vahemikus. Seega tuleb teha üldisem lähenemine levimise teooriale sel sagedusel, lisades Maa välja mõjud ionosfääri elektronidele. Tulemused on üsna keerulised, koos elliptiliselt polariseeritud lainetega madalatel sagedustel, kus lineaarselt polariseeritud lained oli lugu varem kõrgetel sagedustel. See on teema omaette ja tuleb jätta vihmasteks päevadeks. Kuid need pole ainsad viisid, kuidas Maa väli siseneb levimispilti. Püsi lainel.

Varem ütlesin, et on ka teisi viise, kuidas Maa väli levimispilti siseneb. Aga see on nagu minu arengust ette jõudmine, seega lähme natuke tagasi ja vaatame ajaloolist pilti.

Geomagnetismi uurimine ulatub rohkem kui 100 aasta taha, palju enne raadio tulekut. Teati, et magnetiliste tormide esinemine oli seotud Päikese tsükliga ja samamoodi, ei läinud kaua aega kui mõisteti, et ka LL levi on sellega seotud. Need kaks tulid tõeliselt kokku umbes 70 aastat tagasi kui kommertsraadiotelefoni teenus loodi üle Atlandi ookeani. Siis sai see varsti ilmseks, et magnetiliste tormide ajal oli teenuses katkestusi. Seda kõike arutatakse I.R.E. ajakirjades 1930ndate alguses.

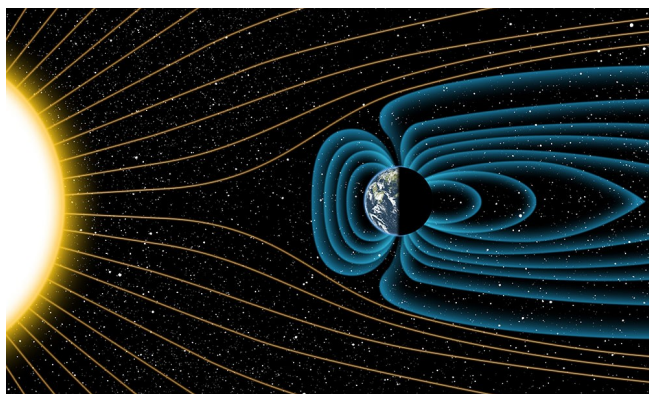
Sellel perioodil arvati, et ionosfäär on Päikese UV-kiirguse tulemus, footonid jõuavad Maale 500 sekundi pärast peale Päikeselt lahkumist. Kuigi teati, et magnetitormid häirivad raadiolainete levimist, ei olnud ilmset seost, kuna kogemus näitas, et magnetitormid toimusid paar päeva pärast suurt purset Päikesel. Tõsi, oli idee, et päikesematerjal, elektronid ja prootonid, mida nimetatakse "plasmaks", lähenesid Maale pärast Päikese purskamist, haarates endasse Maa geomagnetvälja, isegi surudes seda kokku. Kuid plasma ja UV-kiirguse kaks mõju tundusid olevat eraldatavad lihtsalt lennuaja erinevuste tõttu läbi "tühja ruumi", mis olid seotud kahe efektiga.

Kuid kõik muutus kosmoseajastul kui avastati, et päikesetuul oli kogu aeg olemas ja et see puhus meist mööda erinevate kiirustega 200-1200 km/s, ka erinevate osakeste tihedustega ja kandis kaasa

isegi magnetväljasid. Kuid meile, Maaga seotud hingede jaoks oli suureks üllatuseks see, et päikesetuul moonutas Maa magnetvälja, võttes sisuliselt mõned väljajooned Päikese poolelt ja tõmmates need Maa taha, moodustades magnetosaba. Enamgi veel, kui Päikese plasma meile vastu tuli, sai selgeks, et korrapärane dipoolväli ei kehtnud igavesti, vaid ulatus ainult 8-12 maa-raadiuseni Päikese poolses suunas ja isegi see sõltus Päikese aktiivsusest.

Te küsite, kuidas see siis leviga seotud on. Noh, mäletate, ma ütlesin, et geomagnetiline kontroll ionosfääri üle tähendab, et elektronid hoitakse magnetvälja liinidel, mis teeb Maa välja justkui ionosfääri elektronide reservuaariks. Aga kui väljajooned võivad olla moonutatud, mõjutaks see kindlasti ka nende ümber tiirlevate ionosfääri elektronide tihedust ja ka LL levi.

Halvim stsenaarium on siis kui magnetvälja jooned tõmmatakse kaugemale tagasi magnetosaba sügavustesse päikesetuulerõhu suurenemine tõttu, võttes ionosfääri elektronid kaasa. Allpool olev Maa magnetvälja konfiguratsioon on algeliselt visandatud, kus on näidatud kokkusurutud väljajooned Päikese suunas Maa ees, ja Päikesest eemale suunatud magnetosaba väljajooned:



See tähendaks elektronide ammendumist F2-kihi kõrgusel ja märkimisväärset vähenemist MUF'des, mis mõjutab levimist. Õnneks on see saatus reserveeritud peamiselt kohtade jaoks kõrgetel laiuskraadidel, aurora vööndite ümbruses ja polaaraladel.

See, mida ma kirjeldasin, toimub suure geomagnetilise tormi ajal. Taastumine on aeglane protsess, kuna ionosfääri elektronid peavad tavapärasel viisil asenduma - Päikese UV toimel ja päevast päeva kui Päike on üleval. Seega võib taastumine võtta päevi kui tugev magnetiline torm vähendab MUF'isid suurel määral.

Nüüd olles jälle praktiline, geomagnetiline aktiivsus Maal on põhjustatud päikesetuule vastastikmõjudest seal geomagnetilise välja eesliinil. Maad ümbritsevat välja piirkonda kutsutakse magnetosfääriks, seega me räägime mõjudest kõrgetel laiuskraadidel asuvatele väljajoontele, mis lähevad magnetopausi, mis on eralduspind maapealse ja planeetidevahelise piirkonna vahel. Aga tuleb tunnistada, et selline asi ei ole sisse ja välja lülitatud; see toimub kogu aeg kui päikesetuul möödub. See on vaid astme küsimus. Aga kuidas sellega DX'imise puhul toime tulla?

Vihje tuleb magnetosfääri sisest vastastikmõjust, kohalikud elektronid on kiirendatud kõrge energiaga ja siis spiraalivad mööda väljajooni alla, et teha nähtavaks aurora ja ionisatsioon E-kihi kõrgustes. Need sündmused vallanduvad päikesetuule koostoime tõttu magnetopausis, millega kaasnevad horisontaalsed hoovused E-kihis, mis ilmnevad magnetiliste vaatlustena maapinnal. Seejärel tuleb kasutada kohalike magnetiliste mõjude tugevust aurora piirkonna laiuskraadidel, koos K- ja A-indeksitega nagu need, millest te kuulete WWV raportis, et hinnata päikesetuulest lähtuvat energiasisendit.

Kokkuvõtteks võib öelda, et head levitingimused on olemas siis kui on olemas tugev UV-sisend ionosfääri ja madalad magnetilised indeksid, 3-tunnine K-indeks alla 4 ja päevane A-indeks on väiksem kui 25. Kohutavad levitingimused leidsid aset 27. augusti magnetormis kui K-indeks saavutas oma piiri 9, ja planeetidevaheline A-indeksi keskmine oli 112. Aga see oleks võinud olla ka hullem! Vaatame aga järgmisena asja helgemat külge, kuidas signaalid jõuavad Ast Bsse.

Jätame kumera ionosfääri pärastiseks ja teeme natuke "Lame Maa füüsikat", et näha, kuidas signaalid jõuavad punktist A punkti B. Selleks alustame lihtsast ionosfääri mudelist, kus elektronide tihedus suureneb ülespoole ja saavutab tipptaseme umbes 300 km kõrgusel. See on midagi nagu öine ionosfäär.

Nüüd võib tunduda kummaline, kuid võib tõmmata analoogia pesapalli lennu ja RF'i vahele, mis läheb tõustes läbi ionosfääri. Pesapalli puhul õpetab keskkooli füüsika, kuidas arvutada kui kõrgele pesapall lendaks kui seda visata vertikaalselt ülespoole. Kolledžis pall visatakse või lüüakse nurga all ülespoole. Meetod on mõlemal juhul sama: pall tõuseb kuni tema potentsiaalse energia kasv Maa gravitatsiooniväljas on võrdne kineetilise energia, mis tal oli algsest vertikaalsest liikumisest.

Jättes tähelepanuta hõõrdumise, on pesapalli tee parabool, mis on sümmeetriline oma kõrgeima punkti suhtes ja pall naaseb maapinnale vertikaali suhtes sama nurga all kui see välja lasti. Kuigi see ei ole tegelikult paraboolse kujuga, on raadiosageduse lend läbi selle lihtsa ionosfääri sarnane, tippkõrguse saavutamine, mis on määratud sageduse ja stardinurgaga, sümmeetriline umbes tipust ja naasmine maapinnale sama nurga all. Kuidas see juhtub? Lase mul selgitada.

Pesapalli lend ja RF-trass lihtsas ionosfääris määratakse gradientidega, palli gravitatsioonienergiaga esimesel juhul ja elektrontiheduse jaotusega teisel. Kui on olemas väärtuse muutus kõrgusega, näiteks gravitatsioonienergia või elektrontihedus, mis on kõrgem suurematel kõrgustel kui madalamatel kõrgustel. Gradiendid vastutavad painde või kõveruse eest trassidel mõlemal juhul ja arvuliselt on need antud väärtuse muutusega km kohta kõrguse muutuses.

Hoolimata "Kodujooksude Tormist" tänapäeval, jätame analoogia pesapalliga ja keskendume sellele, mis juhtub raadiosagedusega. Nii näeme, et hüpped; kui RF tõuseb ja seejärel naaseb maapinnale, on ionosfääri elektrontiheduse vertikaalse gradiendi tulemus. Maapinnal peegeldumisel on langemis- ja peegeldusnurgad võrdsed ning teekond jätkub jälle ülespoole.

Kuid võib olla ka horisontaalseid gradiente, näiteks üle terminaatori, kus on rohkem ionisatsiooni päikesepaistelisel küljel kui pimeduses. Seega, kui algselt saadeti RF-signaalid paralleelselt terminaatoriga, siis võib eeldada, et RF on päikesevalguse poolsest küljest eemale painutatud, koos selle kõrgema ionisatsiooni tasemega, ja pimeduse poole. See on viltune - RF murdub suurema ionisatsiooni piirkonnast eemale.

Kõrgus, milleni pesapall jõuab, sõltub selle kiirusest ja suunast; RF puhul tähendab see sagedust ja stardinurka. Kuid seda näeb erinevatest argumentidest. Lubage mul lisada paar sõna. Ionosfääris on igal kõrgusel elektronid ja positiivsed ioonid. Kui müstiliste jõududega suudaksite haarata igast ühe peotäie ja seejärel need lahti tõmmata, erinevalt laengutest tõmbuvad nad üksteise poole elektriliste jõudude poolt ja vabanemisel sipleksid nad edasi-tagasi, sooritades võnkuvat liikumist. Selle liikumise sagedust nimetatakse plasmasageduseks ja see sõltub tihedusest või osakeste arvust ruumalaühikus N.

Ionosfääris, kus ionisatsioon suureneb koos kõrgusega, suureneb ka plasma sagedus. Meie öise juhtumi puhul võib elektronide tipptihedus F-kihis vastata plasma või kriitilisele sagedusele 7 MHz.

Nüüd näitab vertikaalne ionosfääri sondeerimine, et alla 7 MHz RF-impulsid suunatakse tagasi maapinnale, samas kui kõik üle 7 MHz tungivad läbi ionosfääri tipu ja lähevad lõpmatusse.

Kaldsuunas levimise jaoks peame leidma RF'i efektiivse vertikaalsageduse, täpselt nagu pesapalli kiiruse vertikaalkomponendi. RF'i puhul leitakse see samamoodi, korrutades sageduse seniitnurga koosinusega. Seega oleks "Lameda Maa" lähenduses, 7 MHz RF, mis saadetakse maapinnalt välja 30 kraadise nurga all horisondi peale (või 60 kraadi vertikaalist), efektiivne vertikaalsagedus 3,5 MHz. "Pesapalli analoogia" ütleks, et kaldus RF-signaal tõuseb, kuni saavutab kõrguse, kus kohalik plasmasagedus on 3,5 MHz, ja naaseb seejärel maapinnale. Muidugi oleks see nii kumeral trassil, RF liiguks trassi ülaosas paralleelselt maapinnaga ja naaseks maapinnale sama nurga all kui välja saatmisel nagu pesapalli puhul.

Pesapallil on hõõrdumine ja see muudab pesapalli lendu. Me ei lisa "hõõrdumist" RF-juhtumisse. Selle asemel võib elektrontihedus antud kõrgusel piki trassi muutuda, näiteks muutuda väiksemaks. See aitaks "kallutada" ionosfääri tasemeid ülespoole ja nõrgendada tihedusgradienti. Selle tulemusel oleks pärast tippkõrgust vähem murdumist või painutamist kui varem ning see kalle aitab suurendada hüppe pikkust ja muuta RF-nurka, naasmisel madalamale väärtusele.

Tegelikkuses võib eeldada, et elektrontihedus muutub mis tahes trassil, suurenedes, kui trass läheb päikesevalgusega piirkondadesse, või vähenedes pimedusse minnes. Seega, kui isegi midagi muud ei muutuks, ei eeldaks, et hüppepikkused ja kiirgusnurgad jäävad kogu trassi jooksul alati täpselt samaks.

Ülaltoodud lähenemisviis, mis on samaväärne peegli RF'i peegeldustega, on newtonlik selles mõttes, et analoogia käsitleb RF-trassi nagu osakest (pesapall), mitte lainet. Kui rakendatakse Maxwell'i või laine lähenemist, leitakse, et murdumine on sama, välja arvatud see, et mõju varieerub pöördvõrdeliselt laine sageduse ruuduga. Seega on ionosfääri teatud osas 80 meetri RF-trass murdunud või painutatud vertikaalselt või horisontaalselt palju rohkem kui 10 meetrit.

MUF ja RF sumbumine

Nüüd on meil kriitiliste sageduste ja hüpete idee, seega pole suur asi välja mõelda, kuidas levimine trassil võib olla DX'i jaoks antud sagedusel avatud või suletud. Kuid selleks on meil vaja vähemalt kaarti selle kohta, kuhu RF suundub, ja ettekujutust, mitu hüpet oleks kaasatud. Peale selle on vaja mõningaid ionosfääri üksikasju, kriitilisi sagedusi kõnealusel kuupäeval ja kellaajal.

Kui selle kõigega jõuda matemaatikasse, siis selgub, et F-kihi kaudu võivad hüpped ulatuda umbes 3500 km kaugusele ja madalama E-kihi kaudu poole vähem. Seega neid ideid kasutades saab hinnata hüppe olukorda, vähemalt seni, kuni ei ole segu E- ja F-hüpetest. Seega kaaluge trassi minu QTH-st Londonisse, mis on umbes 7500 km pikk. Esimesel hinnangul töötaks see välja 3 F-hüpet, igaüks 2500 km. Kuidas on lood kriitiliste sagedustega hüpete tippudel; kui kõrged need on ja millised sagedusalad võivad olla mulle avatud, näiteks kell 1200 UTC?

Sellele küsimusele vastamiseks oleks vaja mingit andmebaasi, vaatluste massiivi, millest saaks hinnangu interpoleerimise teel, või andmebaasi matemaatilist simulatsiooni, mida saaks kasutada kriitiliste sageduste arvutamiseks. Tegelikult kasutatakse tänapäevastes leviproгноosimise programmides mõlemat meetodit, kuid mõlemal juhul võib hüpete tippude jaoks saada sobivad arväärtused. Aga mida nende andmetega peale hakata?

Ühe hüppe trassi puhul on asi lihtne; välja saadetava RF'i efektiivne vertikaalsagedus peab olema lõpule viidud trassi jaoks kriitilisest sagedusest väiksem. Pole probleemi. Kahe hüppe korral peab RF'i efektiivne vertikaalsagedus olema väiksem kui kahe hüppe kriitiliste sageduste väikseim, et tagada täielik trass. Töösagedust, mis annab kõrgeima efektiivse vertikaalsageduse, mis suudab trassi läbida, nimetatakse maksimaalseks kasutatavaks sageduseks (MUF) sellel ajahetkel ja vastavatel Päikese tingimustel.

Aga trass minu QTH'st Londonisse hõlmab 3 hüpet; mis seal toimub? Ajalooliselt käsitleti seda ideed nagu 2-hüppe trassi, kasutades kriitilisi sagedusi esimesel ja viimasel hüppel, et määrata MUF. Idee oli, et kui levimine ebaõnnestub, siis tavaliselt on selle põhjuseks tingimused ühes või teises raja otsas. Igatahes nimetatakse seda "kontrollpunkti" meetodiks ja seda kasutatakse enamikus lihtsates leviprogrammides. Keerukamad lähenemisviisid kasutaksid kriitilisi sagedusi igas hüppes ja kõige madalam oleks oluline, mis piirab levimist.

Tuleb märkida, et kontrollpunkti meetod on MUF-arvutuste jaoks täiesti rahuldav kui keskmise hüppe kriitiline sagedus ei ole väiksem kui trassi kummaski otsas. See kehtib trasside puhul, mis kulgevad üle jõulise ionosfääri madalatel laiuskraadidel, kus Päike on päeva jooksul rohkem pea kohal. Kuid MUF-arvutused, mille puhul kasutatakse kahte kontrollpunkti kõrgete laiuskraadidega trassidel, näiteks Northwest'st London'sse, võivad need olla eksitavad, kuna keskmise hüppe kriitiline sagedus (Põhja-Kanadas ja Gröönimaal Inglismaa suunas kulgeva trassi puhul) võib olla madalam kui lõpp-punktides ja seega ei toeta levimist kogu trassi ulatuses, kasutades kahe kontrollpunkti MUF'sid.

MUF-arvutused mängivad olulist rolli levimise prognoosimisel, kuid tuleb meele pidada, et signaali tugevus võrreldes müraga on oluline kaalutlus. Nagu varem märgitud, on ionisatsioon ja MUF'd olulisemad amatöörspedri kõrgemate otsade puhul ja signaali/müra kaalutlused madalamate otsade puhul. Igal juhul peab sidepidamiseks olema avatud või kättesaadav trass ning signaalid peavad olema loetavad ja usaldusväärsed.

Kogu senine arutelu on käsitletud levimist tavapärasest vaatenurgast - see on määratud ionosfääriga, mis on üleval pea kohal ja mida omakorda kontrollib Päikese aktiivsuse tase. Ilmselt levimine on keeruline protsess ja see võib tunduda veidi naiivne, aga me püüame teha kõik oma prognoosid antud kuupäeval, kasutades andmebaase, mis toetuvad vaid mõnele päikesepolekkide numbrile ja magnetilistele indeksitele. Ei ole üllatav, et prognoosid ei ole 100% usaldusväärsed. Nii kõrged ootused eitaksid ionosfääri sondeerimisest saadud algsete andmete muutlikkust ja ei kajastaks dünaamiliste Päikese muutujate rolli.

Siiani on see lühikokkuvõtte LL leviga seotud põhipunktid keskendunud peamiselt sõnadele ja mõistetele. Edasijõudnumad teemad nõuavad rohkelt graafikat, seega aeg-ajalt viitan ühele või kahele joonisele ühes või mitmes varem esitatud võrdlusraamatus. Kuigi joonised on parim viis materjali edasiandmiseks, püüan ka ideid esitada lihtsate sõnadega, mis kannavad suurema osa tähendusest.

Minu jaoks muutus ionosfääri ja levimise uurimine märgatavalt kosmoseajastu algusega. Nii hakkasid Rahvusvahelise Geofüüsika Aastaga 1957. aastal stratosfääri õhupallid, raketid ja satelliidid uurima piirkondi, kus varem olid olnud ainult raadiolained. Seega "fotokeemiline ajastu", kus päikesefootonid ja atmosfääriprotsessid arvati kontrollivat ionosfääri dünaamikat, andis teed "plasma ja väljade ajastule", milles me praegu oleme, kus päikesetuule koostoime Maa magnetvälja ja atmosfääriga on levimist kontrollivad tegurid.

Lihtsustatult öeldes ei vaata raadioamatöörid enam aknast välja, et näha kohalikku ilma, mis määratakse kindlaks päeva, kellaaja ja aastaaja järgi, vaid pöörduvad nüüd interneti poole, et saada igapäevane aruanne kosmoseilma kohta. Teatud mõttes muutus levi ja DX'imine just vähem salapäraseks ja veelgi huvitavamaks. See on see, millele me viitame Propagation 201-s, valmistudes kõigi üksikasjadega Propagation 301-s. Nii et minge internetis ringi tiirutama ja vaadake, mida te vahepeal üles leiate.

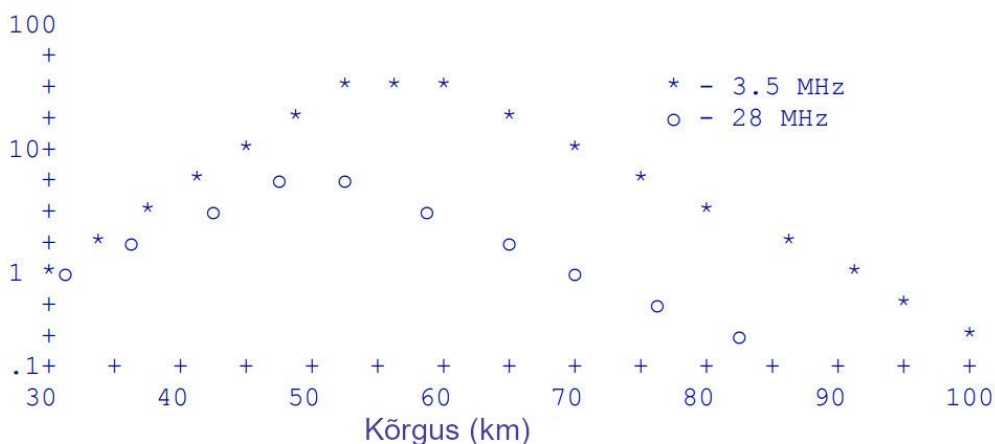
Ei ole saladus, et edu DX'imise puhul tähendab seda, et DX-jaamale ja DX-jaamast saadakse signaale ning et neid kuuldakse ja loetakse mõlemas trassi otsas. Kuid nende kahe otsa vahel toimub ionosfääris palju asju ja mõned neist tunduvad hästi hoitud saladustena. Seega loodame, et osa sellest saab järgnevas arutelus hajutatud. Aga me vajame algust ja küsimus on, kust alustada. Võtame lihtsa tee ja käsitleme kõigepealt vanu asju, nimelt ionosfääri neeldumist, millest varem juttu oli.

Seega pöördume tagasi idee juurde, et RF-energia ergastab ionosfääri läbimisel vabu elektrone, pannes need lainete sagedusel võdisema. Ja nad pörkuvad lähedalasuvate aatomite ja molekulidega, kandes osa lainetest saadud energiat atmosfääri. Nii toimub neeldumine, enamasti D-kihis. Kuid nüüd tuleks rääkida sagedussõltuvusest, kuidas neeldumine muutub koos QRG ja kõrgusega, sest elektronide kokkupõrkesagedus ei ole konstantne, vaid väheneb kõrgusega ja see on abiks.

Kuid sellest aimu saab? Kui vaadata äärmusi, mis asuvad madalal D-kihis, ütleme umbes 30 km kõrgusel, kus kokkupõrkesagedus on suurem kui kõik meie LL spektri sagedused. Sellisel juhul toimuvad kokkupõrked nii tihti, et elektronidel ei ole kunagi võimalust võtta mööduvast RF'st energiat. Teisalt, suurtel kõrgustel, näiteks umbes 100 km kõrgusel, toimuvad kokkupõrked üsna harva ja elektronid kiirgavad suurema osa saadud energiast tagasi ning annavad kokkupõrgetega väga vähe energiat atmosfääri edasi.

Seega on see vahepeal, kus laine- ja kokkupõrkesagedused on võrreldavad, kus elektronid võtavad RF-energiat tõhusalt üles ja annavad selle seejärel kiiresti edasi atmosfääri. Seega, kuna kokkupõrkesagedus väheneb kõrguse kasvades, siis 28 MHz RF neeldub madalamal kõrgusel kui 3,5 MHz RF nagu allpool näidatud:

Suhteline neeldumise efektiivsus elektroni kohta



See graafik illustreerib midagi, mida DX'erid juba teavad, et LL madalama sagedusega signaalid neelduvad rohkem kui kõrgemad, kuid see näitab, kus see kõik toimub. See on uudis, vähemalt mõne jaoks.

Et minna sellest kvalitatiivsest tulemusest kaugemale, peab olema analüütiline vorm kõverate esitamiseks, nimetades seda $F(f,h)$ sageduse f ja kõrguse h jaoks. Seejärel korrutatakse $F(f,h)$ elektronide arvuga N kuupmeetri kohta kõrgusel h ja lisatakse füüsikalised konstandid, et saada õiged ühikud, dB/km. Kui kõik on öeldud ja tehtud, on tulemuseks:

$$\text{Sumbumine (dB/km)} = 4.6E-2 * N * F(f,h)$$

Aga see on ainult ühes kohas, kus elektronide tihedus on N . Meie DX'eri signaali nõrgendavad KÕIK RF-trassil kohatud elektronid punktist A punkti B, see tähendab, et me peame teadma midagi levimisviisi, elektronide jaotuse kohta ja summeerima tulemused kilomeetrite kaupa piki trassi.

See on suur ülesanne, kuid kui see on tehtud, võimaldab see meie DX'eril leida kui palju kiirgusvõimsusest P on säilinud kui ta läheb A'st B'sse. Kuid see, kas meie DX'erit on kuulda, sõltub ikkagi sellest kui hästi on sumbunud signaal võrreldav müra võimsusega, mis jõuab vastuvõtjani B. Aga ma lähen endast juba ette.

Ülaltoodud algeline graafik võib aidata paljude lihtsate asjade mõistmisel. Näiteks on võimalik tuvastada erinevaid ionosfääri häireid lihtsalt nende tekitatud neeldumise järgi. Üks lähenemisviis on kasutada LL vastuvõtjat, et jälgida 30 MHz-l vertikaalselt saabuvat galaktilist raadiomüra. Galaktiline müra tungib otse läbi F-kihi, sest 30 MHz on üle selle kriitilise sageduse, isegi ekvatoriaalsetel laiuskraadidel, kus see võib ühe päikesetsükli jooksul ulatuda 20 MHz'ni. Seda instrumenti nimetatakse riomeetriks, mis tähendab suhtelise ionosfääri läbipaistmatuse mõõtja (relative ionospheric opacity meter), ja neid kasutatakse tavaliselt kõrgetel laiuskraadidel, kus ionosfääri häired on kõige sagedasemad.

Seega nüüd, kui mingi häire suurendab elektronide tihedust D- või E-kihis, siis näeme, et galaktilise müra signaal nõrgeneb ja näitab häire olemasolu. Kuid on olemas häired ja siis on olemas HÄIRED. Seega, graafik ütleb meile ka seda, et kõik, mis häirib madalamat D-kihti, põhjustab galaktilise raadiomüra tugevat nõrgenemist ja elektronide puhul on nõrgenemine palju väiksem kui häire tekitab ionisatsiooni palju kõrgematel kõrgustel.

Esimesel juhul on tegemist polaarmütsi neeldumise (PCA) sündmustega nagu me kõik 1998. aasta mais kogesime. Sellistel juhtudel tekitavad päikeseprootonid palju ionisatsiooni umbes 40-50 km kõrgusel ja põhjustavad kümnete detsibellide suurust täiendavat neeldumist 30 MHz sagedusel ning katkestavad kaldus sidetrassid, mis ületavad polaaralasid. Näiteks auroraalsed sündmused, mis on seotud magnetiliste tormidega, tekitavad tugevat ionisatsiooni üle 100 km kõrgusel, kus graafik näitab, et neeldumise efektiivsus on palju madalam, ja auroraalse neeldumise sündmused näitavad vaid mõne dB suurust galaktilise müra neeldumist 30 MHz sagedusel. Loomulikult on nendel kahte tüüpi sündmustel ka muid erinevusi, näiteks kuidas ionisatsioon jaotub laius- ja pikkuskraadidel ning kui kaua need kestavad. Sellest lähemalt hiljem.

Üks viimane häire, mis on jällegi midagi, mida me hiljuti kogesime seoses kogu 98. aasta suvise purskeaktiivsusega, on äkilised ionosfääri häired (SID), mis tulenevad Päikese röntgenikiirguse pursetest. Need röntgenikiired, mis on 1-8 Å vahemikus, mida varem käsitleti, langesid Maa päikesepoolkeral ja sõna otseses mõttes lämmatasid ionisatsiooni normaalse jaotuse madalatel kõrgustel, andes intensiivse neeldumise signaalidele, mis läksid üle päikesepoolse piirkonna. Kuid kogemus ja graafik näitab, et mõju oli kõige suurem spektri alumises otsas, pühkides ära 80 meetri

töö, kuid avaldades vähe mõju 28 MHz-l, välja arvatud võib-olla mõned põletamisega seotud Päikese mürapursked.

See oleks võib-olla üsna akadeemiline kui ei oleks tõsiasi, et neid sündmusi saab interneti kaudu näha vahetult või vahetult pärast seda. Nii on GOES 16 ja 18 satelliitide röntgenikiirguse voo monitoride salvestused näha aadressil:

[GOES X-ray Flux | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center](#)

andes SID ideele rohkem tähendust.

Me jõuame selle juurde hiljem, kuid peamine asi meie jaoks on see, et 0-kraadi kohta tehtud graafikud näitavad, mis läheb atmosfääri, tehes rohkem ionisatsiooni ja mõjutades ionosfääri. 90-kraadi graafikud hõlmavad kiirgusvöödesse lõksu jäänud osakesi ja on rohkem värvilised kui informatiivsed.

Kuigi häired tulevad ja lähevad, mõjutades meie võimet töötada DX'i, on meil tõesti vaja teada midagi normaalsest olukorrast, näiteks ionosfääri elektronide jaotumist nii kõrguse kui ka laiuse ja pikkuse järgi. See on suur tellimus, kuid, uskuge või mitte, seda võib sisaldada üks arvuti kõvaketas. Ma räägin Rahvusvahelisest Etalonionosfäärast (International Reference Ionosphere, IRI), mis on aastakümneid kestnud ionosfääri sondeerimise kokkuvõtte üle kogu maailma.

Ionosfääri elektronide jaotus

Eelmisel leheküljel toodi välja, et edasised edusammud levimise osas eeldavad teadmisi ionosfääri elektronide jaotumise kohta. Loomulikult on see erinev, päeval ja öösel, samuti aastaegade ja Päikese tsüklite puhul. Jällegi, oleks lihtne viis pöörduda tagasi millelegi eelmisel leheküljel, näiteks öise ionosfääri juurde ja jätkata arutelu sealt edasi. Aga see tähendaks tohutut hüpet üle vahemaa ja loogika, mis ei ole liiga produktiivne. Seega räägime/kõnnime end kõrgemale, alustades sealt, kus me praegu oleme, D-kihist.

Esiteks hõlmab D-kiht palju tuttavaid ideid ja me saame sealt edasi töötada. Näiteks allpool 90 km kõrgust on meie atmosfäär üsna hästi segunenud, mahu järgi umbes 78% lämmastiku molekulidest ja 21% hapniku molekulidest. Ülejäänud 1% koosneb püsivatest koostisosadest nagu väärisgaasid, aga ka vesinik, metaan ja lämmastikoksiidid. Loomulikult teab iga kooliõpilane muutuva koostisosi nagu vesi, süsinikdioksiid, osoon ja mitmesugused tööstusjäätmed, sudu, mida leidub tihedalt asustatud piirkondade ümbruses.

Globaalsed ilmasüsteemid hoiavad alumist atmosfääri mehaanilises mõttes pidevalt liikumises, kuid see ei tähenda, et soojusenergia ülekanne päikesekiirgusest on Päikese ainus mõju. Tõepoolest, alumises D-kihis on Päikese EUV ja röntgenikiirguse poolt vabastatud elektronid ja positiivsed ioonid. Võib arvata, kui Päike loojub, siis kogu ionisatsioon kaob rekombinatsiooni teel ja kiht muutub deioniseerituks ja neutraalseks.

Loomulikult on ionosfäär alati elektriliselt neutraalne, positiivsete ja negatiivsete laengute arv on võrdne, kuid rekombinatsioon vähendab nende arvu. Mõned ionisatsioonid jäävad siiski alles, mida tekitavad muud allikad; nende hulka kuuluvad tähevalguse UV- ja röntgenikiirguse footonid, päikesevalgus, mida hajutab Maad ümbritsev gaasiline keskkond, ja isegi laetud osakesed, energiarikkad prootonid galaktilises kosmilises kiirte voos.

Sellest järeldub, et ionosfääri neeldumine väheneb oluliselt pärast pimeduse saabumist, kuid ei lähe nulli. Selles arutelu on siiski ka hea uudis, sest mõned elektronid eemalduvad öösel neeldumisahelast, kinnitades hapniku molekulide külge. Need negatiivsed ioonid on nii massiivsed, et neid ei saa mööda minev RF liigutada ja nad lihtsalt ei osale neeldumisprotsessis.

Ja öösel kasvab molekulaarse hapniku negatiivsete ionide arv suureks D-kihi alaosas 85 km tasemelt allapoole minnes. See on just see põhjus, miks need eelnevalt mainitud päikeseprooton- või PCA-sündmused näitavad palju vähem neeldumist kui Päike loojub. Kuid kui Päike tõuseb, eraldavad päikesefootonid negatiivsetest ionidest elektronid ja neeldumine läheb jälle tagasi päevase tasemeni. Seda ei juhtu auroraalsündmuste puhul ja see on teine lugu, mis puudutab teist kihti kõrgemal ionosfääris. Sellest rohkem hiljem.

Igal juhul on sagedussõltuvus endiselt olemas, olenemata sellest, milline on neeldumine, mis mõjutab tugevalt madala sagedusega signaale. Kuid see ei ole ikkagi saatuslik levimise jaoks, isegi madalatel sagedusaladel. Seega teavad kõik, et ringhäälingu jaamad tulevad pärast pimedat paremini ja neid signaale saab kuulda väga suurte vahemaade taha, nagu paljud SWL'id tunnistavad. Ja isegi piiratud võimsusega saavad 160 meetri operaatorid ikkagi teha suurepärase DX-tööd. Kuid lõppkokkuvõttes puutuvad nii SWL'd kui ka madala sagedusala DX'erid kokku ühe ja sama probleemiga, müraga. Ka see on pärit madalatest kõrgustest, seega me saame sellega tegeleda kohe kui oleme selles kihis.

Müra kirjeldatakse kui inimtekkeliste või looduslikku päritolu elektrilahenduste laiaribalist kiirgust. Olenemata sellest, kas tegemist on raadiosignaaliga, levib müra nagu iga teine signaal samal sagedusel. See tähendab muu hulgas, et müra signaalid, mis jäävad alla kriitilise sageduse F-kihi kohal, piirduvad madalama ionosfääriga, hajuvad seal allapoole ja ei pääse lõpmatusse. Samamoodi kaovad kriitilisest sagedusest kõrgemal olevad mürasignaalid ja ei sega meid väga palju kõrgematel LL sagedusaladel. Kuid madalamatel sagedusaladel on probleem; seega räägime sellest.

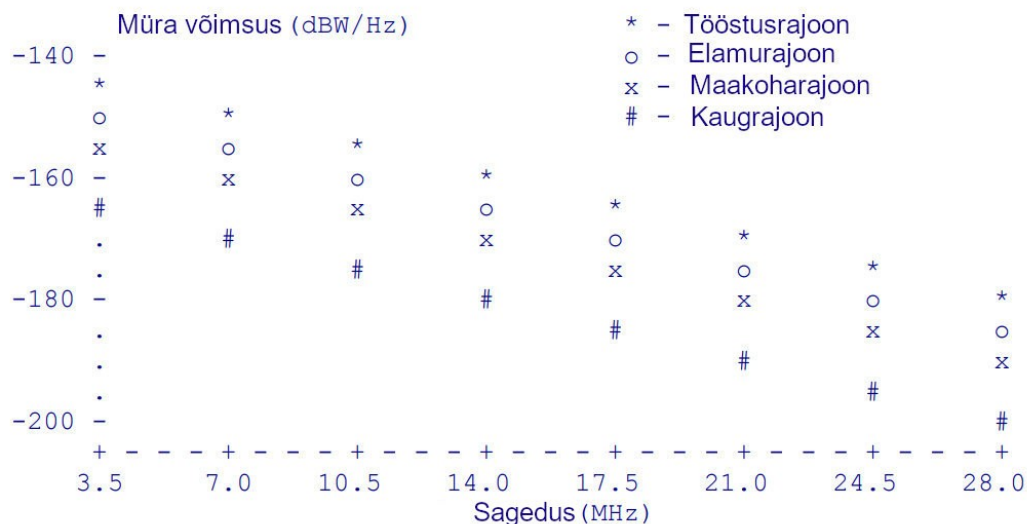
Atmosfäärilise päritoluga müra pärineb välgulöökidest ning on hooajaline ja pärineb üsna täpselt määratletud piirkondadest. Võimsate müraallikate hulka kuuluvad Lõuna-Ameerika, Lõuna-Aafrika ja Indoneesia madalate laiuskraadide piirkonnad. Kuid meil on ka oma müraallikas, kaguosariikides suvekuudel. Seega pärineb laialivalguv müra nendest piirkondadest ja levib kaugele ja laialt läbi pimedate piirkondade. Kuid kui Päike tõuseb, võtab ionosfääri neeldumine üle ja ainus kuuldav müratase on kohaliku päritoluga, staatilised raksatused, mis pärinevad lähedal asuvatest välgulöökidest.

Eespool nimetatud punktid ei ole kodumaistele DX'eritele uudised; nad on oma olukorraga üsna hästi kursis ja oskavad selle piires töötada. Kuid need, kes lähevad DX-peditsioonidele, lähevad sageli tundmatule territooriumile ja ei mõtle alati atmosfäärimüra probleemile. Nii on 160 meetri operaatoreid DX-peditsioonidel teadaolevalt tervitanud S-9 müra kui vastuvõtja esimest korda sisse lülitati. See tekitab koheselt paanikat ja paneb aluse jõupingutustele probleemi leevendamiseks, näiteks erinevate antennide proovimine ja muu taoline. Need ei toimi iga kord ja tagantjärele on sageli näha, et probleemi oleks võinud vältida kui DX-peditsioon oleks planeeritud talvisele, mitte suvisele pööripäevale.

Loomulikult on teine müraallikas üsna kohalik, inimtekkeline ja pärineb erinevatest elektriseadmetest. Kui atmosfäärimüra globaalseid mõõtmeid on viimase umbes 50 aasta jooksul põhjalikult uuritud, siis sama kehtib ka inimtekkelise müra kohta, mida saab päritolu järgi liigitada ja isegi sagedussõltuvust määrata.

Mis puudutab päritolu, siis kõige halvem on olukord tööstuslikus keskkonnas, seejärel on väiksemad probleemid elamute, maapiirkondade ja kõrvaliste kohtade puhul. Sellega seoses võimaldab VOACAP'i leviprogramm valida vastuvõtja asukoha ja arvestab seejärel seda ning tööliigi ribalaiust (Hz), et arvutada signaali/müra suhe, mis oleks eeldatavalt trassi jaoks vajalik.

Loomulikult sisestatakse iga arvutuse jaoks töösagedus, mis annab müravõimsuse tulemused, mis on sarnased allpool näidatud ligikaudse sageduse variatsiooniga:



Tuleb mõista, et need müratugevuse väärtused on ööpäeva keskmised väärtused, mis võivad märkimisväärselt varieeruda seoses inimtegevuse muutustega. Seega ei kuule hommikuti madalal sagedusalal istuvad DX'erid kettsaagide või umbrohusöõjate surinat, kuid nad võivad olla sunnitud taluma muud müra, näiteks sädemeid tekitavaid kütteseadmeid akvaariumides või arvutite, telerite või erinevate olmeelektroonika räsi lähedalasuvatest kodudest.

Lõpuks on olemas ka maavälised müraallikad, mis pärinevad galaktikast, nagu on märgitud seoses riimeetrite ja päikesemüra väljapaiskumistega. Galaktiline raadiomüra on üsna nõrk ja vastuvõtmiseks on vaja väga tundlikke vastuvõtjaid, mis asuvad inimtekkelistest müraallikatest kaugel. Päikesemüra on aga teine asi ja see võib olla üsna tugev ajal kui käimas on päikesepursked.

Nagu võis oodata, päikesemüra võib läbida F-kihi kui selle allapoole suunatud trassi vertikaalsagedus on suurem kui F-kihi kriitiline sagedus. Seega oleks päikesemüra sagedamini kuulda amatööride spektri ülemises osas, eriti kui Päike on taevas suure nurga all. Ja see võib kohati olla üsna tugev, vinguvad helid, mille intensiivsus tõuseb ja langeb, isegi võimeline ületama kõrgemate LL sagedusribade CW ja SSB signaale. Illustratsiooniks olgu öeldud, et päikesemüra avastasid Briti teadlased II maailmasõja ajal ja algselt arvati, et see on uus Saksa radarite segamise moodus.

Maavälised müraallikad lähevad natuke kaugemale, seega me peaksime parem tagasi minema D-kihti ja sealt edasi liikuma, minema üle 90 km ja vaatama, kuidas asjad hakkavad muutuma. Nüüd peame D-kihist ülespoole liikuma, üle 90 km kõrgemale suurematesse kõrgustesse. Seejuures tuleb rääkida mitte ainult ionosfäärist, vaid ka selle all olevast neutraalsest atmosfäärist.

Alustuseks piisab paarist sõnast ionosfäärist, sest seda oleme juba käsitlenud. Näiteks on ionosfääri neeldumise arutlemisel üsna oluline elektronide kokkupõrgete sagedus neutraalse ümbrusega. Ja ma mainisin, et see langeb kõrguse kasvades. Sama kehtib ka neutraalsete komponentide kokkupõrgete

kohta. Nii et neutraalsete ja neutraalsete kokkupõrgete sagedus langeb umbes $6,9 \times 10^{10}$ /sek merepinnal kuni $1,2 \times 10^4$ /sek 90 km kõrgusel, langedes umbes kuue suurusjärgu võrra. Sama kehtib ka tiheduse numbri kohta, mis langeb $2,5 \times 10^{25}$ osakesest/m³ merepinnal $5,9 \times 10^{19}$ osakeseni/m³ 90 km kõrgusel.

On selge, et ülespoole liikudes asjad hõrenevad ja kokkupõrked muutuvad palju harvemaks. Muidugi, te kahtlustasite seda kõike, kuid nüüd te teate mõningaid numbreid. Kuid te ei pruukinud kahtlustada, kuidas need muutused mõjutavad DX-töö tegemist LL'l, isegi ULL'l. Nii et püsige lainel kui ma veidi edasi lähen, siis jõuan "poltide ja mutrite" juurde.

Et edasi minna, ma mainisin, et atmosfäär on kergelt ioniseeritud, ning viitasin ka sellele, et elektronide ja positiivsete ionide saatuseks on rekombinatsioon, eriti pärast pimedat. Kuid see toimub ka päikesevalguses ja üks protsess hõlmab hapniku positiivsete molekulaarioonide (O⁺⁺) rekombinatsiooni elektronidega. Kui see juhtub, moodustub neutraalne molekul (O₂) uuesti, kuid liigse energiaga; seega lendab see kaheks hapniku aatomiks (O). Kuid arvestades kui kergelt ioniseeritud on asjad ionosfääris, siis vaevalt saab seda pidada tugevaks hapnikuaatomite allikaks.

Kuid päeva jooksul ujutab atmosfääri üle energieetiliste päikesefootonite voog; mõned neist, nagu me teame, ioniseerivad hapniku molekule ja võivad seega ionosfäärile kaasa aidata. Teised lagundavad hapniku molekule kaheks aatomiks. Kuid nii madala kokkupõrgete sageduse tõttu 90 km kõrgusel võib hapniku aatom umbes nädal aega viibida, enne kui ta leiab teise hapniku aatomi ja taasühendub, et moodustada uuesti molekulaarset hapnikku.

Seega lühidalt öeldes on nii, et atmosfääri pideva päikesevalguse tõttu võib aatomhapnik koguneda atmosfääri oluliseks koostisosaks üle 90 km kõrgusel asuvas atmosfääris. Üks samm edasi ütleb meile, et ka aatomhapniku ioonid, O⁺, tekivad kõigi nende päikese footonite poolt, mis mööduvad. Kui kaua need ioonid siis kestavad? Hea küsimus; see sõltub sellest, millist protsessi vaadeldakse, ehk rekombinatsiooni elektroniga, et moodustada neutraalne aatom. Tuleb välja, et kui rekombinatsioon oleks O⁺ ionide ainus võimalik saatust, siis jääksid ka need pikalt püsima. Tundub, et juhtub veel midagi, kuid enne selle juurde jõudmist vaatame veidi sügavamalt O⁺ olukorda üle 90 km kõrgusel.

O⁺ rekombinatsioon elektroniga on kiiruslik protsess, kusjuures liigne energia eraldub footonina, samal ajal kui aatom taganeb, et säilitada hoogu. Aga see on aeglane, ma mõtlen väga aeglane asjade skeemil. Ja see näib olevat nii ka teiste sarnaste kiirusprotsesside puhul, näiteks metallioonidega. Tundub, et elektronil ja metallioonil kulub lihtsalt igavesti aega, et kokku saada ja rekombineeruda. Aga nüüd tuleb lõugiliin; ülemises atmosfääris on metallioone, meteoriiditolmu ja -prahti, mis on kosmosest alla triivunud ja ioniseeritud päikesefootonite poolt.

Ja kuna rekombinatsioon on aeglane protsess, jäävad nad pikalt püsima. Tegelikult võivad nad viibida ja sattuda aeg-ajalt toimuvasse ilmastikutegevusse umbes 100 km eemal, tuuleilidesse. Ja kuna nad on justkui väljajoonte külge seotud, võib tuuleil need õhukeseks kihiks kokku suruda. Kuid nende elektronid pole kaugel, nii et see moodustab ka õhukese elektronide kihi. Seega nüüd sa arvasid ära; ma räägin sporaadilistest E kihtidest kuni umbes 100 km kõrgusel või nii.

Elektronide populatsioon, mis on kokku surutud õhukesse kihti, näeb lainete levimise osas välja nagu metalliline, nii et RF tõesti peegeldub nende kihtide poolt, millest me rääkisime juba Prop 101. peatükis, kallutatud peegeldavad kihid. Praegusel juhul oleks kallutused need magnetvälja jooned, mis hoiavad laenguid. Aga kalle ei ole DX'eri jaoks nii oluline; oluline on tugeva, peegeldava kihi olemasolu umbes 100 km kõrgusel.

E-sporaadiline on teadaolevalt häirivaks teguriks LL levile. Oma kohalolekuga võib see RF'i katkestada F-kihi kaudu (mis asub umbes 300 km kõrgusel) ja seega häirida pikamaa sidet. Ja peegeldusomadused võivad olla nii suured, et need peegeldavad raadiosagedusi mitte ainult LL spektri tipust, 28 MHz DX'erite tüütuseks, vaid peegeldavad raadiosagedusi ka amatöörsppektri ULLosas, 50 MHz ja 144 MHz DX'erite rõõmuks. Ma peaksin lisama, et mõnedele võistlejatele meeldib E-sporaadiline, sest nad saavad minna kõrgematele sagedusaladele ja teha palju lühikesi kontakte sagedusaladel, mis muidu oleksid üsna surnud. Kõik see sellest, et rekombinatsioon on aatomhapniku ja metallioonide puhul nii aeglane.

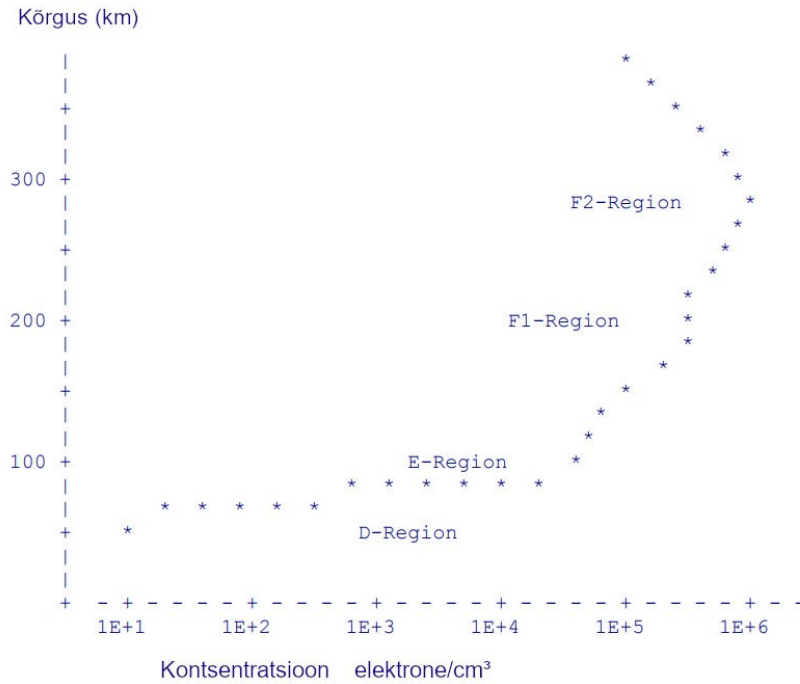
Rääkides edasi aatomhapniku tähtsusest atmosfääri D-kihis, selle teke päikesekiirguse mõjul hapnikumolekulide lagunemisel aitab lisada seda erinevate saabuvate kiirguste 'sihtmärkide' hulka, olgu need footonid või laetud osakesed, mis läbivad ülemist atmosfääri. Ja et minu märkused oleksid üsna "ajakohased", siis kui te nägite paar nädalat tagasi septembri lõpus heledat aurorat, siis see roheline värvus, mida te nägite, oli aatomhapniku spektriline joon, lainepikkusega 5577 Å. Ma pean lisama, et roheline aurora "kustub" suure vaatluskauguse juures halliks auroraks. See on silma omadus, on mulle öeldud.

Ja kui rääkida suurtest vaatluskaugustest, siis parim aatomhapniku lugu, mida ma tean, on seotud Rooma algusaegadega. Tundub, et põhjataevas nähti punast helendust ja roomlased arvasid, et need on hunnid, kes rüüstavad külasid põhjas. Seega nad saduldasid hobused, istusid oma vankritesse ja kihutasid öösel minema. Hunne ei leitud, kuid järgmisel ööl helendas taevast uuesti. Ratsutati veel, kuid hunne ikka polnud. Tänapäeval teame, et neid narriti aatomhapniku punase joonega, 6300 Å, leitud 1000 km kõrgusel. Saate teha lihtsa graafilise arvutuse, et leida aurora kaugus roomlastest. (Kasutades Maa raadiuseks 6,371 ja minu plastmassist joonlauda/kompassi, saan umbes 3300 km; see teeb umbes 30 laiuskraadi, mis asetab aurora Norra põhjaranniku kohale. Kõlab minu arvates õigesti!)

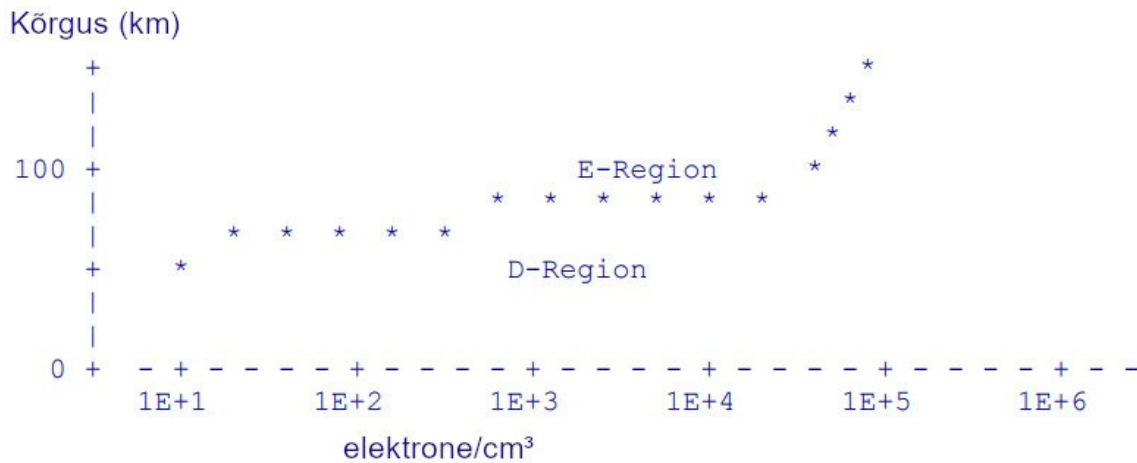
Kuid tagasi ionosfääri ja O⁺ iooni juurde. Nagu ma märkisin, toimub selle rekombinatsioon elektronidega väga aeglaselt, mis tähendab, et see võib läbida muid, tõenäolisemalt toimuvaid protsesse. Pikka juttu lühidalt rääkides, lämmastiku molekulides võib toimuda ioon-aatomi vahetus, kus hapniku ioon O⁺ asendab lämmastiku aatomit ja moodustab positiivse lämmastikoksiidi iooni, NO⁺.

Nii et nüüd on meil kõik peamised osalejad ionosfääri draamas, elektronid ja molekulaarse hapniku negatiivsed ioonid ning kõik molekulaarsed ioonid, hapnik, lämmastik ja nüüd lisame lämmastikoksiidi. Nende ionide füüsika ja keemia, neutraalse atmosfääri juuresolekul, on see, mida me peame vaatama, et mõista kõiki LL levi saladusi.

Kuid nüüd, kui meil on täis koosseis, peame me töötama üle 90 km. Nii et järgmine peatus on E-kiht, umbes 105 km kõrgusel. Päeva jooksul on see üks allpool näidatud täieliku elektronide jaotuse tasemetest:



Jätkame sealt, kus me pooleli jäime, minnes üles E-kihti. Mäletate, see on esimene "aste" ionosfääris, mis asub D-kihi kohal, sisuliselt murdepunkt kõveras, mis kirjeldab elektronide vertikaalset jaotumist:



Ionosfääri sondeerimise varajastel päevadel oli see murdepunkt piisav, et tekitada kaja, mis tegi selle kirjetes märgatavaks, nagu F-kihi tipu. Ja see on seal kogu aeg, see on ionosondi salvestuste kõige tuntum ja uuritum osa. Kuid samas vahemikus oli ka üllatusi salvestustes, sporaadiline E-kiht. Kuid need on tuntud oma ebaregulaarse ja ettearvamatu käitumise poolest ja moodustavad eraldi uuringu, mis meid siinkohal ei puuduta.

Kuid need sondid olid kalibreeritud sageduse, mitte elektrontiheduse järgi, ja seega andsid nad andmeid kriitiliste sageduste kohta. Kui teha natuke ionosfääri teooriat, siis leitakse, et elektrontihedus ja kriitiline või plasmasagedus on seotud järgmiselt:

$$f_c = (9 \cdot E - 6) \cdot \text{SQRT}(N)$$

kus f_c on MHz ja N on elektrone/ m^3 . Kui lähtuda ülaltoodud kõverast, on elektronide tihedus 100 km kõrgusel ligikaudu $8E+4$ elektroni/ cm^3 või $8E+10$ elektroni/ m^3 , mis annab kriitiliseks sageduseks 2,6 MHz.

Eespool esitatud elektrontiheduse profiil kehtib päevaste tingimuste kohta, nii et ionosfääri alumisele osale langevad signaalid liiguksid edasi F-kihti kui nende efektiivne vertikaalsagedus oleks üle 2,6 MHz. Näitena võib tuua, et 30° nurga all välja saadetud 7 MHz RFi efektiivne vertikaalsagedus oleks 3,5 MHz ja see jõuaks kergesti F-kihti, samas kui 15° nurga all oleks efektiivne vertikaalsagedus ainult 1,8 MHz ja RF oleks blokeeritud või "ära lõigatud" F-kihist. Olen kindel, et olete seda terminit seoses leviprogrammidega varemgi kuulnud.

Nüüd tegin paar märkust aatomhappniku positiivse iooni (O^+) kohta: et selle rekombinatsioonikiirus on üsna madal ja see võib läbi teha ioon-aatomi vahetuse molekulaarse lämmastikuga, et saada positiivne lämmastikoksiidi ioon (NO^+). Lihtsalt selleks, et tulla välja mõne numbriga, kontrollisin olukorda siin minu QTH-s, kasutades Rahvusvahelise Etalonionosfääri (IRI) programmi kohaliku keskpäeva kohta hiljutise pööripäeva ajal. Aatomhappniku ioon osutus vähemaks kui 1% positiivsetestioonidest 100 km kõrgusel; samuti selgus, kasutades mõningaid ioonkeemia kiiruskoefitsiente, et molekulioonid rekombineeruvad elektronidega 150 korda kiiremini kui see on aatomhappniku ionide puhul. Saate aru, mida ma mõtlen?

Suhtelised kiirused jäävad samaks koos Päikese seniitnurgaga, mis tähendab, et madalatel kõrgustel D- ja E-kihis ei ole O^+ aeglane kadumiskiirus rekombinatsiooni teel oluline ja ionisatsioon kaob suures osas, kuna molekulaarioonid rekombineeruvad elektronidega kui Päike loojub. Teisisõnu, ionisatsiooni taset E-kihis kontrollib tegelikult Päikese seniitnurk, olles suurim siis kui Päike on taevas kõrgeima nurga all, ja ionisatsioon kaob kiiresti elektronide rekombinatsiooni teel kui Päike loojub.

Muidugi mängib rolli ka Päikese tsükli faas, nii et eksperimentaaluuringud näitavad, et E-kihi kriitiline sagedus f_oE päevastel tundidel on antud järgneva avaldise kaudu:

$$f_oE \text{ (MHz)} = 0.9 \cdot [(180 + 1.44 \cdot \text{SSN}) \cdot \cos(Z)]^{0.25}$$

kus Z on Päikese seniitnurk, SSN on päikeseplekkide arv ja nurksulgude vahel olev avaldis tõstetakse neljandik astmesse. Tuleb märkida, et see avaldis ei kehti kõrgetel laiuskraadidel, kus auroraalne ionisatsioon on samas kõrgusvahemikus tavaline ja lisandub Päikese päritolu ionisatsioonile. Samuti ei kehti see öösel, kus on erilised tingimused vahetult E-kihi kohal. Sellest rohkem hiljem.

Kuid lisaks nendele hoiatustele tuleb mees pidada, et andmed, millel see algoritm põhineb, on seotud mõningase eksperimentaalse määramatusega, näiteks 5%-10% üksikute f_oE kirjete puhul, mis on saadud ionosondi toorandmetest. Seega oleks viga usaldada prognoose, mis ei ole kooskõlas sisestatud andmetega. See kehtib kogu ionosfääriga seotud tööde puhul; ionosfäär ei ole kõrgkvaliteetne seade ja kuigi andmebaasidest saadud tulemusi saab anda suurele hulgale arvudele, ei ole need kõik tõeliselt olulised.

E- ja F-kihi kriitiliste sageduste kaardid

Mõelge nüüd oma vaimusilmas, et Maa on kerakujuline ja Päike asub mõnes punktis Vähi ja Kaljukitse vahel. Maapinnal asetsevad ringid, mis on tsentreeritud subsolaarsele punktile, oleksid kohad, millel on võrdsed Päikese seniitnurgad ja seetõttu oleks neil sama väärtus foE jaoks. Loomulikult oleks kõrgeim foE väärtus subsolaarses punktis. Hiljutise pööripäeva ajal kui efektiivne SSN oli umbes 75, oleks foE väärtus 4,1 MHz ekvaatoril kohaliku keskpäeva puhul. Ja foE väärtus oleks kohalikul keskpäeval sama suvise ja talvise pööripäeva ajal, vastavalt Vähi ja Kaljukitse troopikas, kui SSN püsiks samana.

Kui teie QTH asuks päikesepaistelisel poolkeral, saaksite pea kohal oleva ionosfääri foE leida, määrates ära, millisel ringil teie QTH paikneb. Veelgi parem kui te tunnete suur-ringi navigatsiooniga nagu mõned paadisõidu huvilised, siis võiksite foE ise välja arvutada. Kõik, mida teil on vaja teada, on kuupäev, kellaaeg ja teie enda koordinaadid, et leida Päikese seniitnurk, kasutades selleks oma käsikalkulaatorit või, mis veelgi parem, U.S. mereväe arvutiprogrammi; ülejäänud selgitab ülaltoodud võrrand.

See viimane punkt toob esile, et "Lameda Maa füüsikat" kasutavad arutelud peavad lõppema. Et asju õigesti teha, peame tõesti panema sisse Maa kõveruse ja ionosfääri. Seega edaspidi käsitleme ionosfääri sfäärilise ja Maaga kontsentriselt paiknevana. Kui me juba selle juures oleme, oleks parem panna ionosfäärile põhi, umbes 60-70 km kõrgusel, kus D-kihi ionisatsioon kiiresti nulli poole langeb. Kui mitte midagi muud, siis seda on vaja selleks, et leida õige nurk efektiivse vertikaalsageduse arvutamiseks ehk trassi osa, mis läbib D-kihi ionisatsiooni.

Need, kes tunnevad suur-ringi navigeerimist, näevad üsna hästi, kuidas see toimiks, kuid teised geomeetrikud, kes on osavad gradueeritud kompassi ja joonlauaga, võivad siiski mõningaid olulisi fakte märgata. Näiteks on üsna lihtne näidata, et RF'i lähenemisnurk kõverale ionosfäärile on väiksem kui tasapinnalisele kihile, mis tõstab efektiivset vertikaalsagedust ja muudab tõenäolisemaks, et RF suudab sellest kihist läbi murda. Samuti on lihtne näidata, et kaldsuunas trass läbi kumera ionosfääri on pikem kui tasapinnalise kihi puhul, mistõttu RF läbib trassil rohkem elektrone ja suureneb ionosfääri neeldumine.

See, kas E-kiht on probleem või mitte, sõltub töösagedusest. Seega, LL amatöörsppektri kõrgemas otsas, kus F-kihi MUF'd on olulised, on töösagedus suurem kui foE ja on võimalik, et RF tungib otse läbi E-kihi kõrgemal asuvasse F-kihti. Kuid see ei tähenda, et E-kihi läbimisel ei toimu mõningast paindumist/refraktsiooni. See on lihtsalt väike võrreldes refraktsiooniga, mis toob signaalid kaldsuunas tagasi maapinnale.

LL amatöörspektri madalas otsas on E-kiht vaenlaseks, mis hoiab signaale lühikeste hüpete ja suure neeldumisega trassidel. Seda tuleb DX'eritel iga hinna eest vältida, nii et nende tööajad on ainult tundidel, mil huvipakkuvatel trassidel on täielik pimedus. Seega päikeseloojangu saabudes algab tegevus ja päikesetõusu saabudes lõpeb see. Nii lihtne see ongi, kuid selle käigus läheb palju uneaega kaotsi.

See on üleminekuala, 10-18 MHz, kus nii E- kui ka F-kiht on olulised. Seega korraldatakse seal tegevust sageli nii, et need langeksid kokku E-kihi koidu või ehaajaga, samal ajal kui F-kihi kriitilised sagedused on endiselt kõrged. Seda nimetatakse "hämäriku joone" tööks ja see on eriti kasulik DX'eritele, kes on huvitatud pika tee levist. Sellest rohkem hiljem.

RF-levimise kaardistamine

Siiani oleme olnud D- ja E-kihis, rääkides sellest, kuidas elektronide kokkupõrked vastutavad signaalide neeldumise või nõrgenemise eest. Samuti saime võrrelda signaali efektiivset vertikaalsagedust E-kihi kriitilise sagedusega, et määrata, kas signaal blokeerub või läheb üles F-kihti. Meil on isegi algoritm E-kihi kriitilise sageduse jaoks, vähemalt siis kui Päike on üleval.

Praegu peab edasine areng ionosfääri kõrgematesse kihtidesse ootama, kuni me lahendame mõned pakilised küsimused: trassidest punktist A punkti B ja sellest, kuidas neid mõjutab E-kihi ionisatsioon kui Päike on üleval. Teisiti öeldes, peame tegema mõned kaardistused, näidates trassi detaile punktist A punkti B ja kus see asub Päikese valgustatud piirkondade suhtes.

Loomulikult tõstatab kaardistamine küsimuse koordinaatidest ja raadiosageduste levimisest. Koordinaadid on lihtsad; vaja on vaid head atlasi. Kuid neid ei ole alati lihtne leida. Näiteks kulutasin ma väikese varanduse 'National Geographic Society' uue atlase ostmiseks, et teada saada, et selles ei ole mingit teavet koordinaatide kohta. Ma mõtlen "mitte mingit!"

Sain sünnipäevaks kingituseks Rand McNally atlase 'Tänane Maailm', ja avastasin, et selles on koordinaatvõrgustik, 1 kraad laiuskraadi ja 1 kraad pikkuskraadi järgi. Ma arvan, et seda võib pidada 'piisavalt heaks valitsuse tööks' või ionosfääri leviks, kuid ma tuginen Goode'i maailma atlasele, mida keskkoolid kasutasid aastaid tagasi.

Raadiotöös võetakse trasside puhul esmapilgul arvesse, et need kulgevad mööda maakera suur-ringe. See oleks hea, välja arvatud asjaolu, millele ma osutasin varem, et RF võib kannatada külgmiste kõrvalekallete all, mis kalduvad ühte või teise suunda, mis on tingitud elektronide tihedusgradientidest kogu trassi ulatuses. Kuid LL sagedusalas on see kõrvalekalle suhteliselt väike, nii et vähemalt alguses võime minna ideega, et suur-ringid on sobivad näitamaks, kuhu RF suundub.

Kõige lihtsamalt öeldes, suur-ring on rada sfääril, mis tekib siis kui seda lõikab tasapind, mis läbib sfääri keskpunkti. Võib-olla kõige tuntum suur-ring on terminaator, mis jagab maakera Päikese valgustatud ja mittevalgustatud regiooniks. Seega valgustab Päike poolt maakera ja kui võtate selle piiri, on see samuti tasapinna ja sfäärilise Maa lõikepunkt.

Raadiotrassid on erinevad selles mõttes, et need on ainult osa Maa suur-ringist, mis kulgeb punktist A punkti B. Seda nimetatakse lühikeseks teeks punktist A punkti B ja selle sfäärikaare pikkus võib olla kuni 20 000 km. Aga kuidas see trass kaardil paistab on huvitav küsimus; see sõltub projektsiooni tüübist.

Nüüd peaksin kohe alguses ütlema, et kui vaatate mis tahes atlase algusosa, siis leiate arutelu erinevate kaardiprojektsioonide tüüpide üle. Üks, mida me sageli näeme, on Mercatori või riskülikukujuline projektsioon. Seal suurenevad moonutused laiuskraadidega ja mis tegelikkuses on kaks punkti, põhja- ja lõunapoolus, moonutatakse lõpuks kaardi üla- ja alaosas asuvateks joonteks. Päikese valgustatud ja pimedate piirkondade jaotus, mida terminaator näitab, ilmub midagi siinuskõverat meenutavana, vähemalt aastaagadel, mis on pööripäevadest eemal. Ja sõltuvalt pikkusest on ka raadiotrassil selline kõverus.

Meie eesmärkide jaoks on vajalik nii trass kui ka terminaator, huvipakkuva kuupäeva ja kellaja jaoks. Trassi pimedas osas ei toimu neeldumist mingil määral, samas kui Päikese valgustatud regioonis olev osa on ionosfääri mõttes ohus. Neid, kes töötavad madalatel sagedusaladel, 40 meetrist kuni 160 meetrini, huvitavad ainult ajad, mil kogu tee on pimedas. Kuigi päikesetõusu ja loojangu tabelitest on mõningast abi, muutub kaardistamine siinkohal tõesti oluliseks.

Kuid kõigepealt tehke paus ja vaadake päikesetõusu/päikeseloojangu tabeleid nagu need, mis on ARRL'i kasutusjuhendites. Eeldades, et trass jääb täielikult pimedasse poolkerasse, siis tööajad ilma tõsise neeldumise ohuta sõltuvad sellest, kas trass on esmasest QTH'st läänes või idas. Kui trass suundub DX'i poole läände, on trassil pärast DX'i päikeseloojangut täielik pimedus kuni Päikese tõusuni teie QTH's. DX'i puhul ida poole, on see just vastupidi, alates teie päikeseloojangust kuni päikesetõusuni idas. Pean ütlema, et tabelite kasutamine on tüütu ja ei anna suurt resolutsiooni aja ja asukohtade osas, tõesti kehv asendus kaardistusprogrammile. Kuid mõned inimesed kasutavad neid ikka veel.

Kaasaegsed LL levi prognoosimise veebirakendused:
F5UII MUF, foF2 põhinev LL prognoos [HamDXMap : MUF, foF2](#)
VOACAP mootoril põhinev veebirakendus [VOACAP Online for Ham Radio](#)

Olles seda kõike öelnud, peame liikuma edasi, E-kihist ülespoole, ionisatsiooni, mis on suures osas vastutav levimise eest, F-kihi tipu suunas. See viib meid otse edasi leviproгноosimise küsimuseni sagedusalade kaupa, nii põhitõdedest kui ka arvutiprogrammidest lähtuvalt.

Loomulikult olen ma juba öelnud, et täisteenust pakkuv leviproгноosimise programm sisaldaks müra, näiteks signaali/müra suhet. Nüüd saate vist aru kui ma ütlen, et levist huvitatud inimene ei saa ilma hea kaardistusprogrammita hakkama. Ideaaljuhul oleksid nii prognoosimise- kui ka kaardistusprogrammid samal arvutikettal. Kui see ei õnnestu, peaksid vähemalt mõlemad olema DX'erile hõlpsasti kättesaadavad.

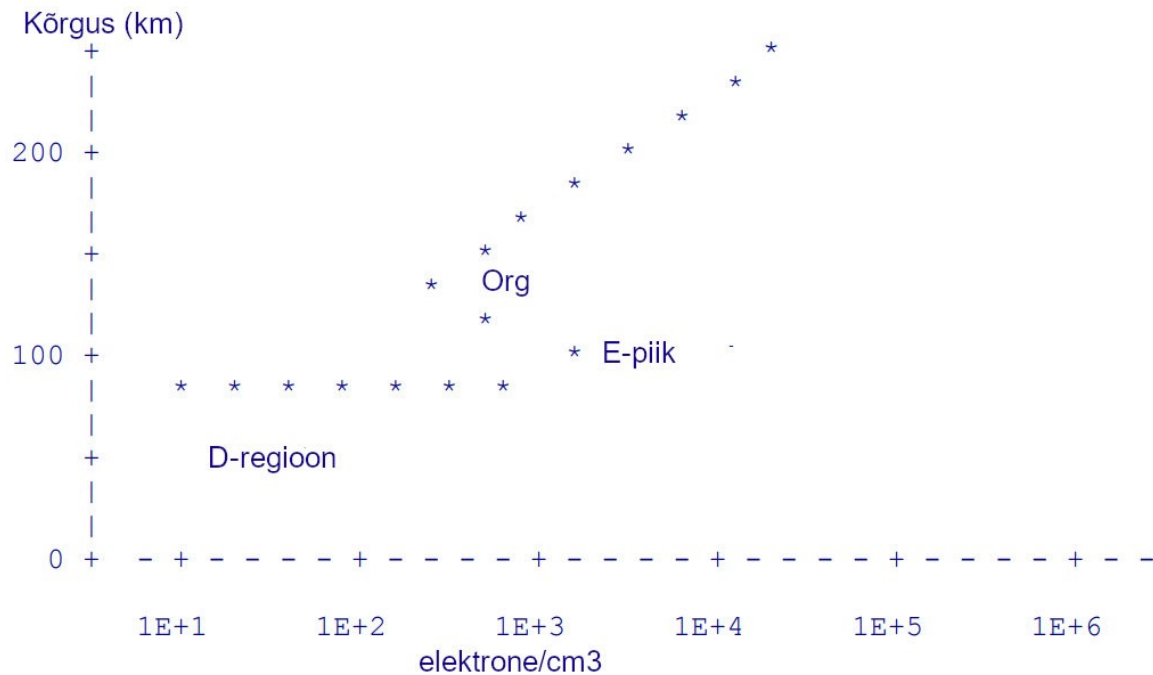
E- ja F-kihi ionisatsioon

Nüüd peame laskuma juhtumite juurde, tegeledes D- ja E-kihi kohal asuva ionosfääriga. Kuid üleminek on sujuv, minnes hästi segunenud kihist, mis koosneb suures osas molekulidest ja molekulaarioonidest, kihti, kus kokkupõrkeid esineb vähem, aatomeid on rohkem ja koostisosad hakkavad sorteeruma nende keemilise massi järgi. Me ei jõua tegelikult kunagi selleni, kus vesinik on domineerivaks koostisosaks, kuid see on idee, gravitatsiooniline eraldumine, ülemistes kihtides meie peade kohal.

Ionisatsioon E-kihis on päikesekontrolli all ja seda näitas kriitiline sagedus, sõltuvalt Päikese seniitnurgast. Nüüd, kõrgemale minnes, F-kihi tipu suunas, jätkub päikesekontroll, kuni F1-kihini umbes 200 km kõrgusel. Seega väljendub kriitiline sagedus foF1 päevasel ajal sarnaselt:

$$foF1 \text{ (MHz)} = [4.3 + 0.01 * SSN] * [\cos(Z)]^{0.2}$$

Nagu eespool näidatud, on elektronide tihedus F1-kihis suurem kui E-kihis ja sama kehtib ka kriitilise sageduse kohta. Ja konstantse sageduse piirjooned on tsentreeritud sub-solaarse punkti ümber. Kuid suurte seniitnurkade korral on algoritm vähem usaldusväärne ja öösel väheneb ionisatsioon F1-kihis madalatele väärtustele. Elektrontihedus ei lange öösel E-kihi kohal kaduvale tasemele, vaid selle asemel on elektrontiheduses "org" nagu allpool näidatud:



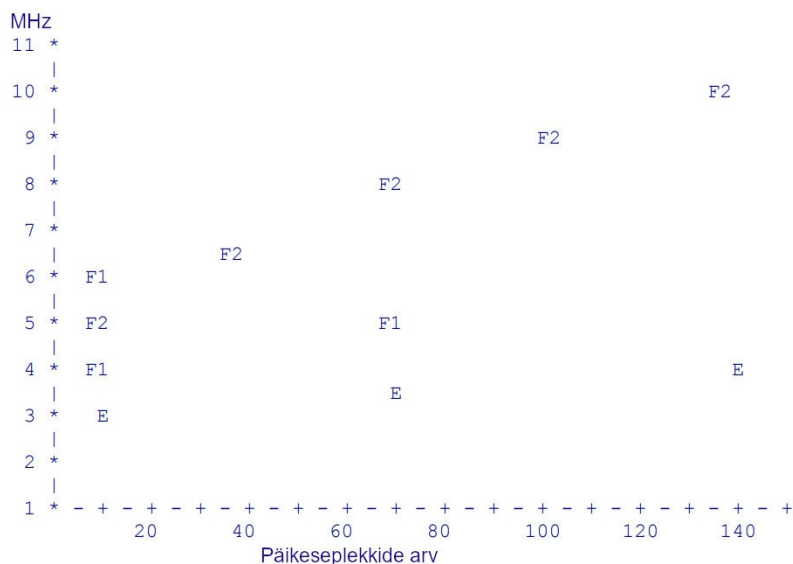
Oru päritolu on keeruline, seotud muutustega all madalal asuvates hapniku ja lämmastiku molekulaarionides kuni aatomhapniku ilmumiseni ja ioon-aatomi vahetusega üle 90 km kõrgusel, mis toodab lämmastikoksiidi (NO) molekulaarioni. Jällegi, ioniseerumine pimeduses on sama päritolu nagu E-kihis.

Olenemata sellest, kas on päev või öö, ei ole D-kihi ionisatsioon piisavalt suur, et oluliselt painutada või murda LL signaale. Teisest küljest võib päeval ajal E-kihi ionisatsioon katkestada signaalide jõudmise F-kihti. Lühidalt, sellised signaalid lähevad päeval ajal madala nurga all, lühemate E-hüpetena.

Öösel läbivad LL signaalid lihtsalt E-kihi nõrga ionisatsiooni (mis on ülal näidatud) justkui seda ei olekski olemas. See on teine viis öelda, et öösel on foE väärtus väga madal, isegi alla 0,5 MHz, ja see piirkond ei takista LL signaalide edasiliikumist. Teisalt, see ei kehti signaalide kohta 160 meetri sagedusalas. See saab olema väga huvitav, kuid teeme kõigepealt mõned muud asjad.

Vaatame näiteks, kuidas kriitilised sagedused varieeruvad koos päikesepolekkide arvuga, et saaksime erinevate ionosfääri kihtide mõju perspektiivi panna. Esiteks, kuna kihtide kõrgused on erinevad, E-kiht umbes 100 km, samas kui F1-kiht on umbes 200 km ja F2-tipp umbes 300 km kõrgusel, näitavad sageduste andmed, kuidas signaalid tungivad läbi pea kohal oleva ionisatsiooni. See mõjutab tekkivate hüpete pikkusi, või mis on mõttekam, meie võimet töötada DX'iga erinevatel sagedusaladel.

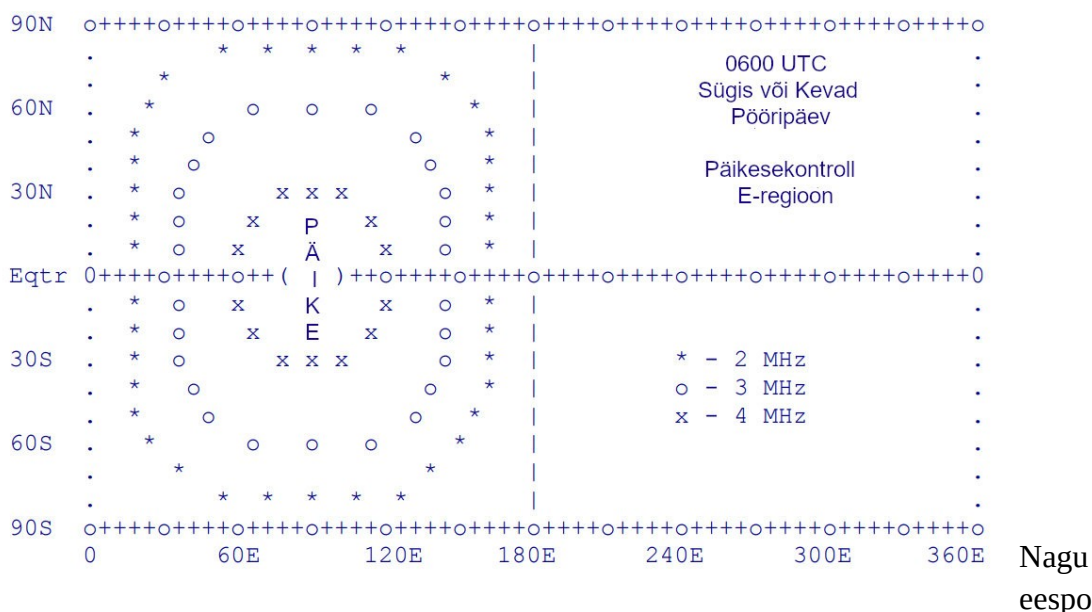
Nii et vaadake mõningaid keskmiste laiuskraadide kriitiliste sageduste andmeid päevaste tingimuste kohta:



See algeine graafik nõuab, et te kasutaksite oma meelt, et luua seoseid andmepunktide vahel, kuid tulemused on üsna selged: alumised E- ja F1-kiht, mis on päikesekontrolli all, näitavad vaid tagasihoidlikke muutusi kriitilises sageduses või elektronitiheduses kui päikeseplekkide arv kasvab koos Päikese aktiivsusega. F-kiht seevastu näitab suuri muutusi kriitilises sageduses ja ei ole päikesekontrolli all, ilma lihtsa algoritmiga, mis hõlmaks Päikese seniitnurka nagu E- ja F1-kiht.

Parim viis E-kihi päikesekontrolli ja F-kihi olukorra erinevuse illustreerimiseks on kaartide kasutamine, mis näitavad mõlema kihi isosageduskontuure. Seega illustreerib alljärgnev kaart olukorda kevadise ja sügisese pööripäeva kell 0600 UTC. Loomulikult on päike ekvaatoril ja kell 0600 UTC asub ta 90E pikkuskraadi juures. Isosageduskontuurid on kujutatud allpool, ringid, mille keskmeks on sub-solaarne punkt (mis on Mercatori projektsiooni tõttu moonutatud).

Joonise vasakpoolne osa on Maa päikesepaisteline osa, parempoolne osa on pimeduses ja terminaator koosneb kahest sirgjoonest 0E ja 180E pikkuskraadi juures.

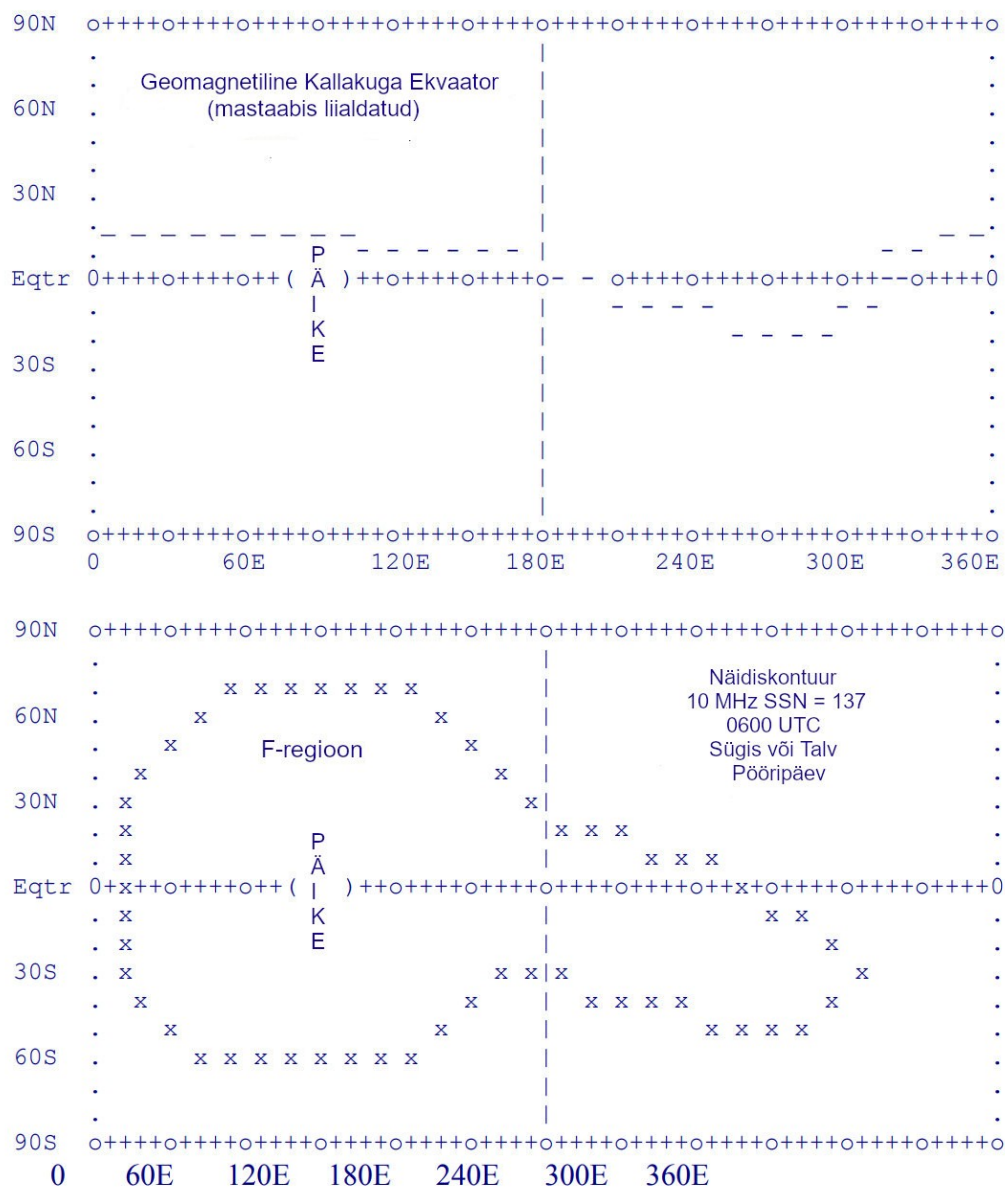


märgitud, on olukord sarnane F1-kihi puhul, kuid kriitilised sagedused on mõnevõrra kõrgemad. Kuid päikesekontrolli idee on sellisest joonisest selge; ionisatsioon on seal, kus Päike paistab ja pimeduses sisuliselt mitte midagi!

Mis puudutab F-kihti, siis selle tipp on umbes 300 km kõrgusel ja sõltub aastaajast, kellaajast ja päikeseplekkide arvust. Kuid nendel kõrgustel on elektronide kokkupõrgete sagedus madal ja

elektronide rekombinatsioonikiirus positiivsete ioonidega (O_2^+ ja NO^+) on üsna madal. Seega jätkub ionisatsioon ka pärast päikeseloojangut; samuti näitab ionosfääri geomagnetilist kontrolli asjaolu, et F-kihi kriitilise sageduse foF2 kaart on paremini korraldatud geomagnetiliste koordinaatide kui tavaliste geograafiliste koordinaatide järgi.

Allpool esitatud kaardid on paratamatult algelised, kuid need näitavad, kuidas geomagnetilise kallakuga ekvaatori kuju on võrreldav F-kihi isosageduskontuuriga madalatel laiuskraadidel (geomagnetiline ekvaator erineb geograafilisest ekvaatorist ja see nihkub. Seda nähtust kasutatakse Maa magnetvälja uurimisel ja see on oluline navigatsiooni ja kommunikatsiooni jaoks):



Päikesepoolkera ja pime poolkera on samad kui varem, kuid on näha, et F-kiht jätkub pärast päikeseloojangut, eriti madalatel laiuskraadidel ja piki geomagnetilise kallakuga ekvaatorit.

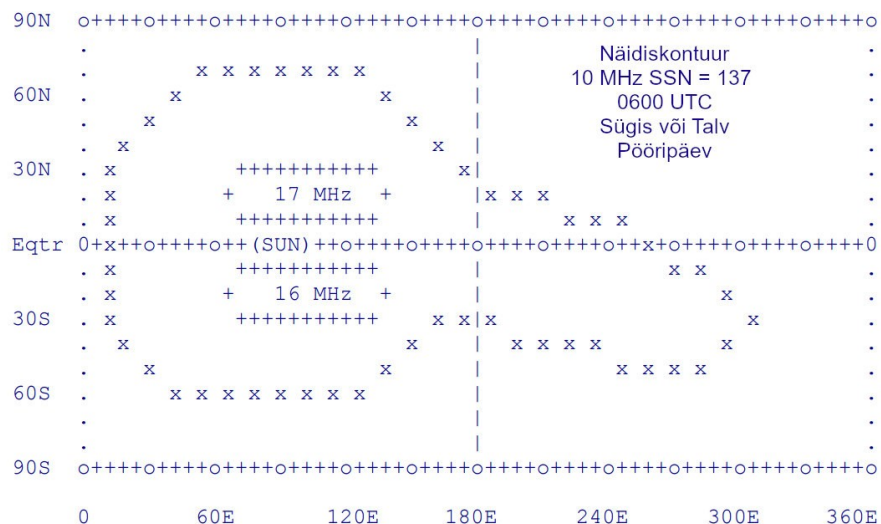
Sellised kriitilise sageduse kaardid näitavad, et ionosfääri kontrollib suurtel kõrgustel geomagnetiline väli, kuid madalamal on ionisatsiooni jaotumine Päikese kontrolli all. Üleminek toimub ülespoole minnes läbi F1-kihi. Mis puutub DX'i levimisse, siis seda kontrollib vaikesel

aegadel geomagnetiline väli, kuid ei ole vaja palju kujutlusvõimet, et arvata, et igasugune välja häirimine häiriks DX'i levimist. Rohkem hiljem!

Ionosfääri vähendamine

Eelmistel lehekülgedel näitasin F-kihi globaalse kaardi ühte näidiskontuuri 10 MHz jaoks kui SSN oli 137. Võite minna tagasi kaardile, et näha, kuidas see pimeduse tundidesse üle valgus. Aga see oli ainult üks kontuur. Nii et küsimus langeb ülejäänud kaardile, millised olid teised kontuurid ja nende piirid kriitilisel sagedusel. Vaadates näidiskontuuri, on lihtne arvata, et sub-solaarsele punktile lähemal asuvatel maakera osadel on kriitilise sageduse väärtused suuremad, kuni 16-17 MHz. Lõppude lõpuks oli Päike seal rohkem üleval ja Päikese UV-kiirgusel oli vähem atmosfääri läbida. Kuid suuremate seniitnurkade juures, eriti polaarpiirkondade suunas, oleksid kriitilised sagedused madalamad, ulatudes 6-7 MHz'ni. Kõik see SSN'i 137 jaoks.

Mis saab madalamast SSN-st, ütleme päikesemiinimumi suunas? Siis võib piirkonda, kus kriitiline sagedus oli varem 10 MHz, panna lihtsalt 5-6 MHz ja kõrgematel laiuskraadidel 3-4 MHz, samas kui madalatel laiuskraadidel on see väärtus 11-12 MHz. Aga mis iganes on SSN, kõige kõrgemad kriitilised sagedused on alati madalamatel laiuskraadidel. Praktiliselt on see selgitus, miks võistlus-DX-peditioonid suunduvad ekvatoriaalpiirkondade poole; seal on sagedusalad alati avatud ja küsimus on lihtsalt selles kui kaugele nende signaalid polaarselt ulatuvad, enne piisava ionisatsiooni lõppemist. Seega mulle meeldib öelda, et madalate laiuskraadide piirkonnad on ionosfääri kõige jõulisemad. Kuid "jõulisel" ja "jõulisel" on erinevus, näiteks päikesemiinimumi ja päikesemaksimumi puhul. Enne selle juurde jõudmist peaksin märkima, et madalatel laiuskraadidel on "ionisatsioonisaared" nagu näitavad allpool esitatud lisakontuurid:

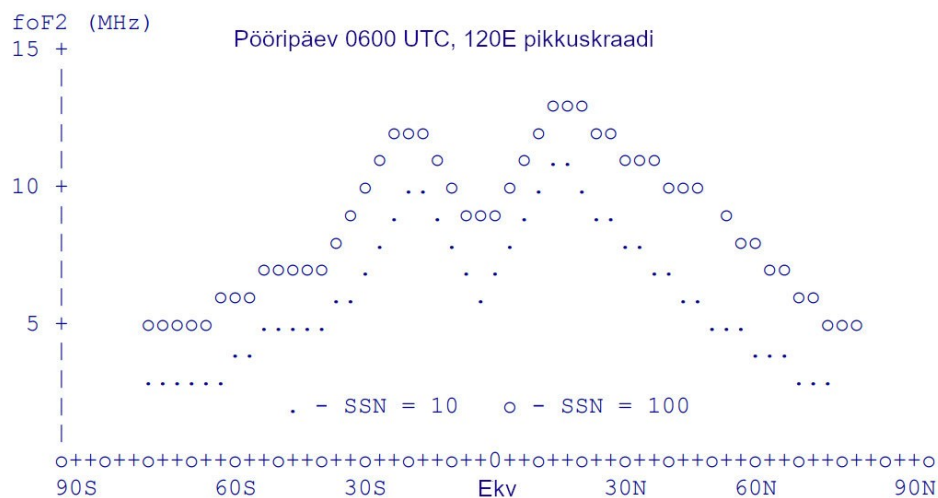


See, mida ma näitasin, on mõnevõrra mõõtkavast väljas, liiga lai laiuskraadide poolest ja halvasti paigutatud pikkuskraadide suhtes kui vaataksite F-kihi algset globaalset kaarti. Kuid see annab edasi idee, tugeva ionisatsiooni saartest pärastlõunastel/õhtustel tundidel. Seda nimetatakse "ekvatoriaalseks anomaaliaks" ja sellel on sügav mõju levile, tekitades pikki, akordilisi hüppeid LL's ja DX'i ULL's. Need piirkonnad on päevast päeva ionosfääri tavaline osa ja sealne kõrge ionisatsioonitase lisab jõulisust, millest ma varem rääkisin.

Paar lõiku varem mainisin, et F-kihi globaalsed kaardid muutuvad vastavalt Päikese aktiivsusele. Üks viis, kuidas muuta need ideed meeldejäävamaks, on mõelda neist kui reljeefkaartidest, mille

on "sageduspeid", mis tõuseb või langeb, kuna kriitilised sagedused muutuvad koos SSN'i suurenemise või vähenemisega.

Selle lähenemisviisi numbriline tahk on nähtav, kui teha lõige läbi globaalsete kaartide põhjast lõunasse, mida saadakse näiteks PropLab Pro programmist, kahe erineva päikeseplekkide arvu jaoks:



Need N-S lõiked F-kihi kaartidel näitavad ekvatoriaalse anomaalia kahte "saart" ja nende vahel olevat sügavat salku. Samuti näitab taas ionosfääri geomagnetilist kontrolli 120E juures ionosfääri asümmeetria kaudu, tulenevalt asjaolust, et magnetilise kallakuga ekvaator asub sel pikkuskraadil umbes 5 kraadi põhja pool geograafilisest ekvaatorist.

Eespool esitatud graafikud on üsna algelised, kuid need hõlmavad ionosfääri peamisi aspekte - E-, F- ja F2-kihi kaarte, mis näitavad, kuidas ionisatsioon on jaotunud ja kuidas see muutub vastavalt Päikese aktiivsuse muutustele. Just nendes kihtides püüame me signaale levitada. Seega peaksime panema paika mõned suur-ringid, et näha, kuhu trassid ionisatsiooni suhtes kulgevad. Test on muidugi see, kas efektiivne vertikaalsagedus mööda trassi on väiksem kui kohatud kriitiline sagedus. Niikaua kui see kehtib, jätkub levimine; vastasel juhul tungib RF F-kihti ja kaob lõpmatusse.

Viimast graafikut vaadates on näha, et "test" muutub raskemaks kõrgetel laiuskraadidel, kus kriitiline sagedus on madalal, paar MHz. Seega on nurgad, mille puhul RF tungib ionosfääri ja ei jõua tagasi maapinnale. See on 'vahelejätmine', mille avastas John Reinartz 1920. aastate keskel, ja ilmselgelt muutub see kõrgematel sagedustel hullemaks.

Selles suhtes on üks "kõrvalvalgus", mis on kõrgematel sagedusaladel. Seega on üsna lihtne "läbida test" ja töötada näiteks 21 MHz-l lõuna suunas, kuna ionosfäär on N-S suunas üsna "jõuline". Kuid viimast joonist vaadates on näha, et ionosfäär on "väeti" E-W suunas, kus kriitilised sagedused on väga madalad. Seega, kui jälitate DX'i 21 MHz'l, muudab 'väljajätmine' võimatuks kuulda jaama idas või läänes, mis sai Lõuna-Ameerikaga kontakti.

Siinkohal taandub meie arutelu ionisatsiooni vertikaalse ja horisontaalse jaotuse aspektide uurimisele. Vertikaalne jaotus määrab, kuidas signaalid piki teed murduvad või painduvad, samas kui horisontaalne jaotus määrab, kas hüpe on lõpule viidud või kui pikk trass see olla võib. On kaks lähenemist, mida me järgida saame, karm oleks jälgida kiirte trasse läbi mudel-ionosfääri, samas praktiline oleks kasutada mudelit leviprognnoomise programmis, vaadates trassil kriitilisi sagedusi kahe kontrollpunkti juures, et näha, mis oleks MUF ja kas RF läbib testi.

Kiirguse jälgimine viib meid tagasi analoogia juurde pesapalli lennu ja raadiosageduskiirguse vahel läbi ionosfääri. Matemaatiliselt on palli lend välja töötatud Newton'i seaduste abil, kasutades kahe- või kolmemõõtmelisi liikumisvõrrandeid. Te ei peaks olema üllatunud kui ma ütlen teile, et RF'i liikumisvõrrandeid saab välja töötada, kusjuures ionosfäär mängib gravitatsiooni rolli. Seega, nagu iga pesapalli või isegi kosmoselaeva puhul, toimivad mehaanika meetodid ka RF'i puhul ja lahendatakse samm-sammult liikumisvõrrandid, et leida RF'i trassi. Selles mõttes on PropLab Pro suurepärase programm; kõik, mida te peate tegema, on sisestada jaamade asukohad, kuupäev ja kellaaeg ning päikeseplekkide number, ning see lahendab need liikumisvõrrandid ja joonistab välja RF trassi. Lihtsalt fantastiline!

Kuid tuleb lisada veel üks asi; PropLab Pro sisaldab ka geomagnetvälja osa liikumisvõrrandites. LL spektri ülemises otsas ei ole see oluline, kuna QRG on suur võrreldes elektronide gürosagedusega väljajoonte suhtes. Kuid 160 meetri ümbruses on 1 MHz gürosagedus võrreldav 1,8 MHz'ga ja magnetvälja mõju ei tundu enam olevat liikumisvõrrandites tähtsusetu. Sellel on mõned huvitavad tagajärjed nii laine polarisatsioonile kui ka signaali neeldumisele. Lisaks, signaalid võivad jääda lõksu sellesse orgu öise E-kihi kohal ja juhitakse suurtele vahemaadele väikeste kaduga. Aga selle juurde jõuame hiljem; kõigepealt MUF programmid.

Ionosfääri mudelite toimivus

Nüüd saame rääkida leviproгноosidest. Ma ütlen seda nii nagu te mõistate, et prognoosid nõuavad ionosfääri kaartide (E- ja ka F-kihi) mingisugust kujutamist ja meetodit, mis vaatab, kuidas efektiivsed vertikaalsagedused on võrreldavad kriitiliste sagedustega piki suur-ringjoont.

Pean tunnistama, et olen lisanud arutelluse mõiste "efektiivne vertikaalsagedus" (EVF); tavaliselt ei näe seda terminit kui loed LL levimise kohta. McNamara raamatus kasutatakse arutellust teist vormi, "ekvivalentne vertikaalne esinemissagedus", kuid minu arvates on see lihtsalt liiga sõnarikas ja pealegi sobib minu valik EVF ja räägib lugu. Ma loodan, et te nõustute.

Igatahes me teame, millise testi läbib meie RF pärast välja saatmist: kui selle efektiivne vertikaalsagedus on väiksem kui kohalik kriitiline sagedus, siis ionosfäär hoiab seda kinni ja kui mitte, siis see läheb F-kihi tipust mööda ja kaob lõpmatusse. Edasikandumise prognoosimine on seotud sellega, kuidas seda katset tehakse - millise ligikaudse või üksikasjaliku testiga ja millise ionosfääri mudeliga.

Olen juba maininud kontrollpunkti meetodit, mille puhul testitakse trassi esimest ja viimast hüpet. See meetod töötati välja juba II maailmasõjas Smith'i poolt USA's ja Tremellen'i poolt Ühendkuningriigis ning see põhines arusaamal, et kui trass ebaõnnestub, siis tavaliselt ühes või teises otsas. Märgin, et see töötab hästi kui trassi keskel olevatel hüpetel ei ole madalamaid kriitilisi sagedusi. Peale selle peaksite meeles pidama, et see meetod kujutas tol ajal endast suurt edasiminekut, kuigi see oli siis kui ionosfääri kaardistamine oli alles lapsekingades.

Seega põhines kontrollpunktimeetod ligikaudsel hinnangul ja selle kasutamine hõlmas andmebaasi, mis oli vähemalt alguses piiratud ja ebakindel. Tänapäeval on andmebaas üsna palju paranenud, kuid tulevikus tuleb seda siiski veel muuta, sest Rahvusvahelist Etalonionosfääri (IRI) ajakohastatakse aeg-ajalt.

Ma tõesti ei tea kontrollpunkti meetodi esimeste kasutusala üksikasju, kuid praegu olen mõnega tuttav. Näiteks raadioamatöörade ringkondades oli pioneerprogramm MINIMUF, mille lähtekood avaldati esimest korda QST's detsembris 1982. See meetod kasutas QRG jagamiseks Mfaktoreid, numbraid 3 ja 4 vahel, et saada EVF võrdlemiseks kriitiliste sagedustega umbes 2000 km kaugusel trassi otsest; selleks kasutas MINIMUF andmebaasi, MINIMUF kasutas andmebaasi, mis põhines kaldus ionosfääri sondeerimisel.

MINIMUF'i lähtekoodi võib süüdistada selles, et see ei võta arvesse Maa välja, jätab välja ekvatoriaalse anomaalia ja korraldab ionosfääri ainult geograafiliste koordinaatidega. Peale selle oli andmebaas üsna piiratud ulatusega. Kuid MINIMUF äratas raadioamatöörade kujutlusvõimet ja MINIMUF'le lisati igasuguseid tarvikuid, näiteks ionosfääri neeldumine ja inimtekkeline müra.

MINIMUF'i puudused, geomagnetilise kontrolli puudumine meetodis ja kiirgusnurga arvestamata jätmine panid selle halvasti konkureerima teiste programmidega, mis tulid ja parandasid need puudused. Pean siinkohal silmas Raymond Frickeri tööd BBC's. Ta avaldas 80'ndate keskel sellised programmid nagu MICROMUF ja MAXIMUF, mis sisaldasid geomagnetvälja rolli ja panid sisse kiirgusnurgad, et saaks võrrelda MUF-prognoose mitte ainult madalaima levimisviisi jaoks.

Veidi hiljem võtsid sakslased kasutusele programmi FTZMUF2, mis kasutas CCIR-andmebaasist kriitiliste sageduste saamiseks ruudustikupunktmeetodit ja kasutas interpolatsiooni, et saada ruumilisi ja ajalisi andmeid prognooside tegemiseks. Edasi näitasid nad, et FTZMUF2 andis CCIR-atlase andmete kohta 3000 km MUF'i puhul parema tulemuse kui MINIMUF. Peale selle lisasid nad FTZMUF2 omaenda MUF-prognoosiprogrammi MINIFTZ4.

Kuid Fricker kasutas oma arvutuste andmebaasi puhul hoopis teistsugust lähenemist; ta kasutas matemaatilisi funktsioone CCIR andmebaasi simuleerimiseks, mis on nüüd IRI's. Seejärel kasutas ta funktsioone, et arvutada foF2 esimese ja viimase hüppe keskpunktis oma programmides MICROMUF 2+ ja MAXIMUF nagu kontrollpunkti meetodis.

Need olid olemasolevad leviprognosimise programmid, kuni 70'ndate lõpus George Lane'i poolt Ameerika Hääls välja töötatud IONCAP programm, mida siis Teters ja teised NTIA/ITS jaoks arendasid, viidi väiksemasse suurusesse, nii et seda oleks võimalik lisada koduarvutitesse. Erinevalt IONPRED'st, mille Frickeri meetod põhines ainult F-kihi kaalutlustel, kuid andis oma piirangutega täpseid tulemusi, tegeleb IONCAP signaalitugevuse kõikumistega, kasutab D-kihi tegurit ja võtab arvesse inimtekkelist müra. Tänapäeval on DXLab Suite'i PropView ainus rakendus, mida alati hooldatakse ja mis kasutab vähendatud IONCAP'i funktsioone.

Siis tulid kõik programmide seeriad, mõned nii täpsed kui VOACAP mudel Windows 16- ja 32-bitise platvormi jaoks. Enamik neist kasutas Raymond Frickeri ja teiste teadlaste välja töötatud uusi funktsioone või otse VOACAP'i mootorit ilma täiendavate algoritmidega.

Igal juhul on võrdluste tulemus täna see, et Raymond Frickeri programmid ja George Lane'i tehtud täiustused on IRI'ga lähedases kooskõlas. Seejärel tulid kõik mitte-VOACAP-põhised rakendused, mis annavad ligikaudse hinnangu levimistingimustele.

Ja kaugele maha jäid kõik DOS's käivitavad programmid nagu MINIFTZ4 ja teised MINIMUF'd, mida peetakse kõige kehvimateks ja mis tihti kuvavad vähe informatsiooni.

Aga kui hästi VOACAP'i andmebaas vastab tegelikule ionosfäärile võrreldes IRI'ga, mis on praegu kättesaadavates parim?

Sellega seoses uurisin, kuidas Frickeri MAXIMUF'i matemaatiline F-kihi algoritm on võrreldav IRI'ga, mitte ainult ühe või kahe trassi puhul, vaid üle kogu maailma. Seega arvutati Frickeri

matemaatiliste funktsioonide abil foF2 väärtused 5° laiuskraadi ja 5° pikkuskraadi kaupa ja võrreldi neid IRI vastavate väärtustega. See meetod näitas, kus Frickeri väärtused olid madalad, kus kõrged, ning andis üldmõõdiku tema meetodite kohta.

Tulemuseks oli, et Frickeri meetodi kasutamine F-kihi kaardi koostamiseks andis kogu maakera ulatuses hea kooskõla IRI väärtustega punktide kaupa, kuid kooskõla oli võimalik isegi märkimisväärselt parandada kui tema meetodite abil arvutatud foF2 väärtustele lisada lihtne 1 MHz suurune nihke. Teisisõnu, Frickeri foF2-kaart oli väga sarnane IRI kaardiga, kus tulid esile sellised detailid nagu ionisatsioonisaared ja mitmesugused geomagnetilise kontrolli aspektid, kuid kriitilised sagedused olid veidi madalad. Kokkuvõttes leidsin, et see on hämmastav!

Ja see lähenemine osutub lihtsalt järjekordseks viisiks F-kihi algoritmide testimiseks, et näha, kas need suudavad teha hea ionosfääri kaardi või mitte. MINIFTZ4 algoritm saab selles osas häid hindeid, aga koos selle interpolatsiooni meetoditest tulenevate probleemidega, samas kui MINIMUF'i F-kihi kaart ei sarnane globaalses mastaabis tegelikule ionosfäärile. See selgitab mõningaid tema ebakorrektsed DX prognoose.

Kahjuks ei olnud IONCAP'i F-kihi algoritm minu testide tegemise ajal kättesaadav, nii et võrdlused IRI'ga tuleb teha VOACAP'ga, mille algmaterjal on kättesaadavad NTIA/ITS's.

Võib-olla teeb seda tulevikus mõni VOACAP'i arendaja. Kuid olenemata tulemustest on VOACAP alati parim LL levi programm ja pakub mõningaid teisi leviprognoomise aspekte, mis on olulised. Seega, lisaks MUF, LUF ja muude HPF arvutamise meetoditele, tegeleb see ka kriitiliste sageduste väärtuste vahemikuga, mis tuleneb statistilistest variatsioonidest sondeerimisandmetes.

Siin viitan statistilistele terminitele nagu mediaan ning sondeerimis mõõteandmetest tulenevad kriitiliste sageduste ülemise ja alumise detsiili väärtused. Levimise puhul oleks andmete mediaanväärtus teataval tunnil ühe kuu jooksul selline, et pooled täheldatud väärtused jäävad sellest kõrgemale ja pooled sellest madalamale. Kui leviarvutustes kasutatakse mediaanväärtust, saadakse trassi nn. maksimaalne kasutatav sagedus (MUF). Kriitilise sageduse ülemine ja alumine kümnendik on seotud 90% ja 10% piiridega. Seega, kuu vaatluse ülemine detsiilväärtus on sagedus, mis ületatakse ainult 10% ajast, 3 päeva, samas kui kuu alumine detsiilväärtus on sagedus, mis ületatakse 90% ajast, 27 päeva.

Kui neid väärtusi kasutatakse leviarvutustes, saadakse Kõrgeim Võimalik Sagedus (HPF) ja Optimaalse Ülekande Sagedus (FOT). Sellise arvutuse näide on esitatud allpool (MHz) trassi kohta Boulderist St. Louis'i, jaanuaris kui SSN on 100 :

GMT	FOT	MUF	HPF	GMT	FOT	MUF	HPF
1	10.7	13.6	17.4	13	6.4	7.5	8.4
3	7.4	9.6	12.0	15	13.0	15.3	17.1
5	5.7	6.9	8.7	17	16.6	19.3	22.0
7	6.1	7.4	9.7	19	18.1	21.1	24.0
9	6.5	8.0	9.4	21	17.7	20.6	23.5
11	5.0	6.1	7.2	23	15.9	18.5	21.1

Neid numbreid vaadates näete, et HPF- ja FOT-väärtused on umbes 15% kõrgemad ja madalamad kui MUF-väärtused. See peaks teid tähele panema. Kui teie kasutatav leviprogramm annab ainult MUF-väärtusi, võivad ionosfääri reaalsajalised väärtused erineda kuni +/- 15%. Ja see tuleneb ainult statistilistest erinevustest lähteandmetes; seal meetodis on muret tekitavad ligikaudsed arvutused, samuti ka geofüüsikalised häired.

Kuid need märkused kehtivad peamiselt kõrgemate LL sagedusalade kohta; 80 ja 160 meetril ei ole ionisatsioon kaldtrassidel probleemiks. Mürä ja ionosfääri neeldumine seavad piirangud sellele, mida on võimalik seal saavutada. Ja leviprogrammid on nende sagedusalade puhul kasutud, sest peamine kriteerium on pimedus piki trasse, mitte MUF. Kuid geomagnetvälja roll on oluline ja mõjutab võimalikke levimisviise. Kuid kõik omal ajal.

Mis puutub geofüüsikalistesse häiringutesse, siis need on meie peamised jõupingutused järgmises peatükis ja ei pea neid siinkohal puudutama. Keskendume tegelikult häireteta ionosfäärile ja selle omadustele või levimisviisidele, kuigi need võivad olla muutlikud. Ja rääkides veel VOACAP programmist, siis tasub märkida, et selle meetodid ei tegele ainult F-kihi ionisatsiooni statistikaga, MUF'de jms. kaudu, vaid ka madalamal, kus neeldumine ja müra saavad oma alguse. Seega VOACAP'l on F-kihi meetodid, mis annavad mitte ainult trassi kättesaadavuse päevade osakaalu kuus, mil see on antud sagedusel avatud, vaid ka D-kihi meetodid, mis annavad levimisviisi usaldusväärsuse, signaali/müra suhte ületamise aja osakaalu, mis on antud ribalaiuse jaoks nõutav miinimum.

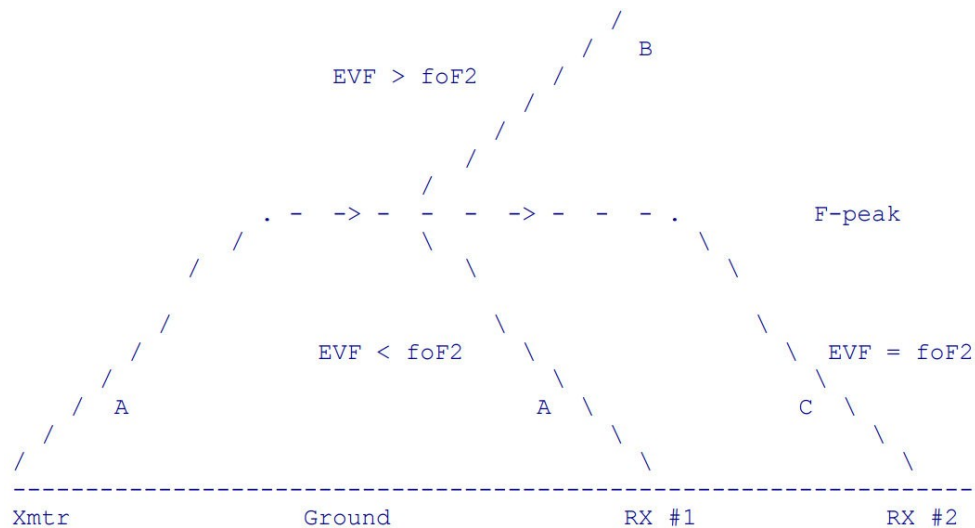
See ei olnud mõeldud VOACAP'i kiitmiseks, kuid minu jaoks on see parim LL levi analüüsi ja prognoosimise programm, mis mul on minu käsutuses punktist-punkti prognoosimise seisukohast. Tõsi, on ka teisi sellel põhinevaid programme ja te peate ise otsustama, kas need programmid vastavad teie vajadustele või mitte. Sa peaksid lugema ülevaateid LX4SKY veebilehel, QST's ja „The DX Magazine's”, et saada aimu, mida nad võivad sulle DX'i püüdlisel pakkuda. Kui võimalik, kontrollige koos mõne kasutajaga, kas programm vastab teie eesmärkidele või vajadustele DX'i tegemiseks.

Levimisviisid ja DX'imine

Olles veetnud mõnda aega ionosfääriga, peame nüüd olema praktilisemad, rääkima levimisviisidest ja asjadest, mis DX'i tegemisel valesti võivad minna. Aga levimisviisid on esimene asi. Sellega seoses teavad kõik LL hüppeid erinevatest ionosfääri kihtidest - vahemikus 1500-1750 km E-kihist ja umbes 3000-3500 km F-kihist. Loomulikult sõltub see sagedusest ja kiirgusnurgast, mille all signaalid välja saadetakse.

Elektronide jaotus, mille tihedus on suurem kõrgematel kõrgustel, murrab alati signaale allapoole. See võib tunduda veidi kummaline, kuid nii see on; tõusvad kiired painduvad tagasi Maa suunas ja sama kehtib ka allapoole liikuvate kiirte kohta. Kiirte paindumise määr on suurem kõrgematel kõrgustel kui kiired on lähemal suurimale elektronide kontsentratsioonile, kuid see on alati eemal kõrgema ionisatsiooni piirkonnast. Ja nagu ma varem märkisin, sõltub kiirte edasiliikumine ionosfääris efektiivsest vertikaalsagedusest (EVF), millega need välja saadeti, täpselt nagu pesapall. Mäletate?

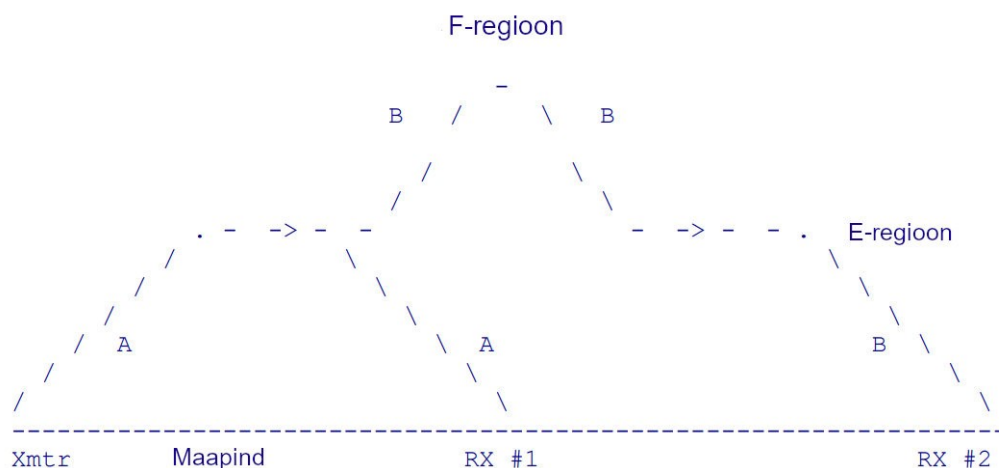
Võtame mõne kiirte juhtumi, kus EVF on väga lähedal kriitilisele sagedusele F-kihi tipus. Alljärgneval joonisel on kiir A selline, kus EVF on väiksem kui foF2 ja see paindub tagasi Maa poole, samas kui kiir B on selline, kus EVF on suurem kui foF2 ja see tungib läbi F-tipu ja läheb edasi lõpmatusse. Aga pange tähele, et mõlemad kiired A ja B on painutatud või murdunud eemale kihist, kus ionisatsioon on kõige suurem, F-kihi tipust. See on refraktsiooni üldine omadus LL spektri ülemises vahemikus. Nüüd veel üks asi; tundub, et elektromagnetilises teoorias on võimalik kiiri pöörata, nii et kiir B võiks olla tee galaktilisele raadiomürale, mis tungib läbi allpool asuva F-kihi.



Nüüd jõuame kiir C juurde, kus EVF on väga, väga lähedal F-kihi kriitilisele sagedusele. Seda tüüpi kiirt, mis liigub peaaegu paralleelselt maapinnaga, nimetatakse Pederseni kiireks. Need kiired võivad anda väga pikki hüppeid, kuid on olemuselt ebastabiilsed selles mõttes, et mõjutab iga väike elektrontiheduse tõus või langus ja need lähevad lahku, lähevad tagasi maapinnale nagu kiir A või läbi F-tipu lõpmatusse nagu kiir B.

Juhul, kui te ei saanud aru, siis Pederseni kiired F-kihi tipus hõlmavad spektri ülemist osa, kuna kaldtrass peab jõudma nendele kõrgustele. See ei ole võimalik LL spektri alumises osas (3 MHz), kuna isegi vertikaalsed kiired ei suuda tungida nii kaugele ionosfääri, sest foF2 on lihtsalt liiga kõrge.

Kuid see ei tähenda, et Pederseni kiired on võimatud LL spektri alumises osas. Seda tüüpi murdumine toimub E-kihi ümbruses, kus elektronide tihedus muutub ühtlaseks lühikese kõrguse vahemiku jooksul. Nii et vaatame mõningaid kiirte trasse 80 ja 160 meetri signaalidele, mille EVF (efektiivne vertikaalsagedus) on lähedane foE väärtusele, eriti öösel:



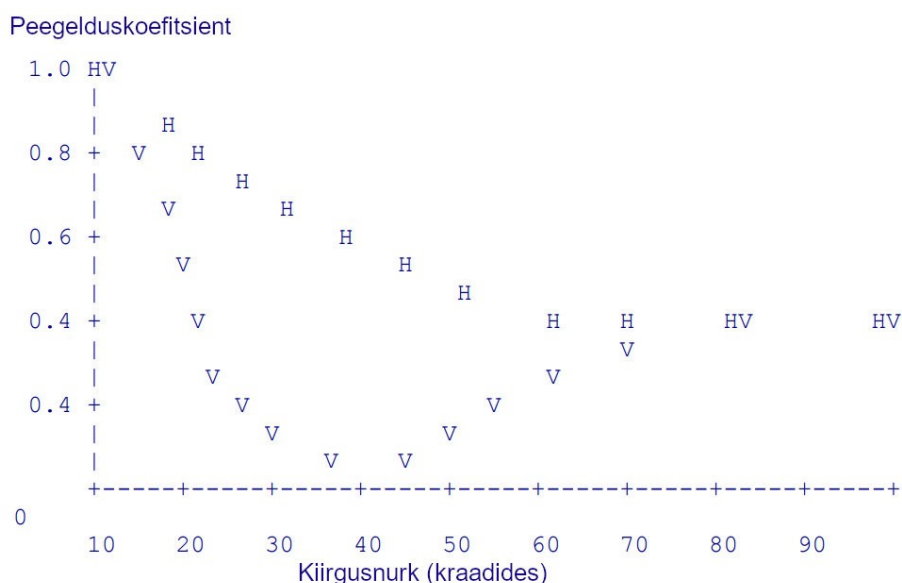
Kiire A trass vastab E-hüppele, kus $EVF < foE$ ja katab ainult lühikese vahemaa vastuvõtjani RX#1. Kuid kiire B trass on selline, kus signaali EVF on väga, väga lähedal foE'le, kuid see tungib läbi E-kihi ja tõuseb F-kihti. Selle EVF on siiski liiga madal, et jõuda F-kihi kõrgematesse osadesse, ja seega murdub see tagasi alla. Kui kiire laskumisnurka ei ole mõjutatud, jätkab see teatud vahemaa piki E-kihi taset ja naaseb seejärel maapinnale, vastuvõtjani RX#2. Mõnes mõttes sarnaneb see trass Pederseni kiirega, kuid see on lühike väljumine F-kihti, mis teeb sellest E-F-trassi.

Nii E-kihi kui ka F-kihi tasemel katavad Pederseni-sarnase murdumisega trassid suuremaid vahemaid kui lihtsad E- või F-hüpped. Sellisena aitaksid nad kaasa väheste hüpete ja tugevamate signaalidega trassidele; kuid nagu eespool märgitud, võivad nad olla ebastabiilsed ja eksisteerida vaid lühikest aega. Amatöörade kasutuses olevate mitmekesiste trasside puhul ei ole sellised olukorrad kergesti tuvastatavad; ärikasutuses fikseeritud trasside puhul on aga hoopis teine lugu. Sellega seoses on Davies'i raamatus märgitud, et LL Pederseni kiired tekivad Põhja-Atlandi fikseeritud trassidel tavaliselt kohaliku keskpäeva paiku, kui tihedusgradiendid trassidel on minimaalsed.

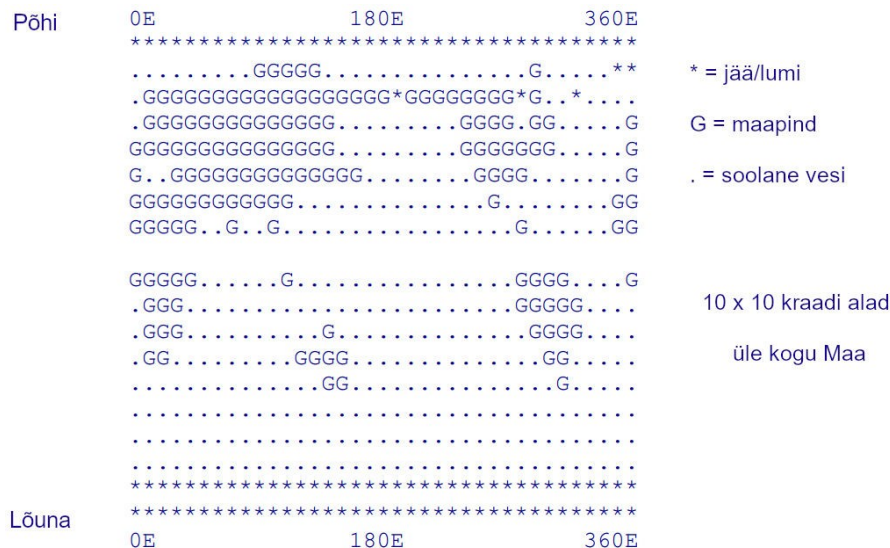
Seega hõlmavad ülaltoodud näited lihtsaid, üksikuid hüppeid, mis võivad esineda, alates lühikestest E-hüpetest kuni pikkade E-F-hüpeteni, seejärel F-hüpeteni ja isegi pikkade Pedersen-hüpeteni. Pärast seda jõuame mitmekordsete hüpete juurde; need on muidugi keerulisemad, kuid teises ja kolmandas hüppes on mõningane lihtsus selles osas, et peegeldused hõlmavad võrdseid langemis- ja peegeldumisnurki pinnalt. Kuid isegi siis on võimalus keerukuse tekkeks, kui pind ei ole tasane või ei ole sile. Eelnev muudaks kiire järgmist stardinurka, liites või lahutades pinna kaldenurga selle algsele nurgale horisontaalsuuna suhtes.

Konarlikud pinnad võivad tekitada hajusat peegeldust, mis vähendab algses suunas edasi kantud energiat. Pinnapeegelduste korral võib esineda mõningane signaalikadu, mis sõltub signaali polarisatsioonist, pinna materjalist ja sagedusest. Nagu te teate, eristame horisontaalselt ja vertikaalselt polariseeritud laineid, mis tähendab, et laine elektriväli on kas maapinnaga paralleelne või sellega risti, nagu horisontaalse dipooli või vertikaalantenni kiirguse puhul.

Kuigi peegeldumisel võib esineda signaali kadu (dB), käsitletakse protsessi kõigepealt peegelduskoefitsientide osas, mis tähendab peegeldunud laine amplituudi võrreldes siseneva laine amplituudiga. Allpool olev graafik illustreerib juhtumit hea pinnase materjali ja 14 MHz signaalide puhul. Ilmselt tähendab väike peegeldustegur vertikaalse polarisatsiooni umbes 25° juures seda, et selle kiirgusnurga all sisenevate lainete signaalikadu on suur. Kuid horisontaalne polarisatsioon on selles suhtes palju parem ja see on põhjus, miks enamik DX'ereid eelistab horisontaalselt polariseeritud antenne.



Muidugi, kui signaalid lahkuvad antennist, on nende edasiliikumine osa arutelust levimise kohta. Kõik teavad, et soolane vesi on raadiosagedusi kõige paremini peegeldav pind ja õnneks on 78% Maa pindalast kaetud ookeanidega. See aitab tõesti DX'ida. Kuid märkimisväärne osa maapinnast (ja amatööride populatsioonist) asub põhjapoolkeral ja ülejäänud osa Maast hõlmab jää ja lumi polaaraladel, nii et allpool näidatud pinnamaterjali jaotumine on signaalide leviku seisukohalt huvitav:



Hiljem käsitleme peegelduskaos teemat rohkem, kuid praegu on oluline teada, et see esineb ja vähendab iga põrkega signaali tugevust. Kuid on veel üks punkt, mida tuleb meeles pidada: peegeldusnurk võib olla sama oluline kui polarisatsioon, pind või sagedus. Seega on vee peegelkaod madala nurga all umbes 1 dB, erinevate pinnasevormide peegelkaod umbes 3 dB ja lume/jää peegelkaod üle 6 dB. Suuremate kiirgusnurkade puhul muutub olukord järk-järgult halvemaks, seega madalad kiirgusnurgad peaksid olema päevakorras. Aga te teadsite seda, lihtsalt seetõttu, et madalate nurkade puhul on hüpped pikemad.

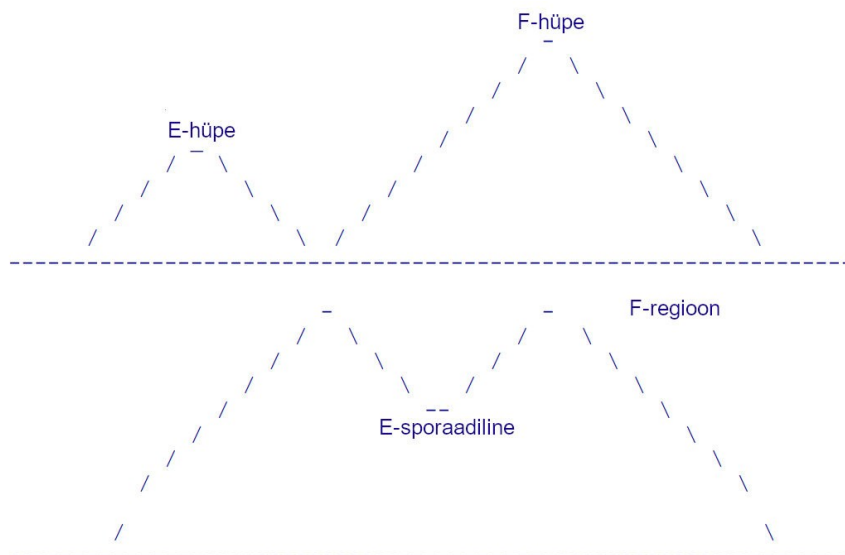
Lõpuks tuleb märkida, et me oleme üsna hästi eeldanud, et ionosfäär on kerakujulise Maaga kontsentriline. See on muidugi lihtsustus ja me peame arvestama kallutustega ionosfääris ning need avaldavad mõju suurematelt kõrgustelt tagasitulevatele lainetele. Esiteks muudab kalle piki trassi maapinnale tagasipöördumise nurka; teiseks, kui trassi suunas on kallak, mõjutab see polarisatsiooni nii, et mis oli horisontaalselt polariseeritud laine, võib nüüd omada vertikaalset komponenti. Seega muutub järgmine maapealne peegeldus veidi keerulisemaks, signaalikadu sõltub nüüd sellest, kuidas kaks polarisatsiooni peegelduvad. Ja siis on peegeldumisel faasimuutused. Aga keegi ei öelnud ju, et raadio on lihtne.

Jätkame mitme hüppega, paneme rohkem üksikasju sisse. Üks huvipakkuv küsimus on kiirgusnurk kogu trassi ulatuses. Seega võiks valida ühe nurga, näiteks antenni kiirgusmustri haripunkti juures, ja püüda seda mööda trassi jälgida. Kuid kuigi optika seadused kehtivad, mille kohaselt nurgad on võrdsed pinnale langemise ja pinnalt peegeldumise korral, võib nurk muutuda ionosfääri kallutatuse tõttu ühel hüppel või peegelduspunktis maapinna kalde või kalde muutuse tõttu.

Seega kiirgusnurgas võib olla mõningane varieeruvus. Ja muidugi ei ole ionosfääri kõrgus piki trassi muutumatu kui tee läheb päikesevalgusest pimedusse. Need trassi aspektid muudavad vahemaad ühe hüppe kohta või seda, kui lähedale jõuab trass antud kiirgusnurgaga sihtkoha QTH'le.

Jättes kõrvale variatsioonid, mis tulenevad pinna peegelduste ja sarnaste nähtuste tulemusena, on võimalik trassi struktuure illustreerida, luues erinevaid hüpete kombinatsioone.

Mainimata konkreetseid ionosfääri olusid, on allpool näidatud mõned levinud trassid:



võimalikud on ka mitmesugused muud kombinatsioonid. Eespool näidatud levimisviisid on määratletud kui E-F ja F-Es-F. Pikemate trasside puhul võib E- ja F-hüpete arv olla suurem, sõltuvalt sellest, kuidas trass asub terminaatori suhtes. Mis puutub soovitavusse, siis reegel on, et trassil olevad E-hüpped on need, kus toimub enamik kadusid, koos ionosfääri imendumisega päikesepaistelistel lõikudel ja maapinna kadudega, samas on F-hüpetel pimeduses vähem kadusid ja vähem maapinna peegeldusi antud vahemaal punktist A punkti B.

E-sporaadilise peegelduse olemasolu, ilma ühegi vahepealse maapinna peegelduseta F-kihi peegelduste vahel, toob esile teist tüüpi trassi, mis aitab kaasa pikamaa levile.

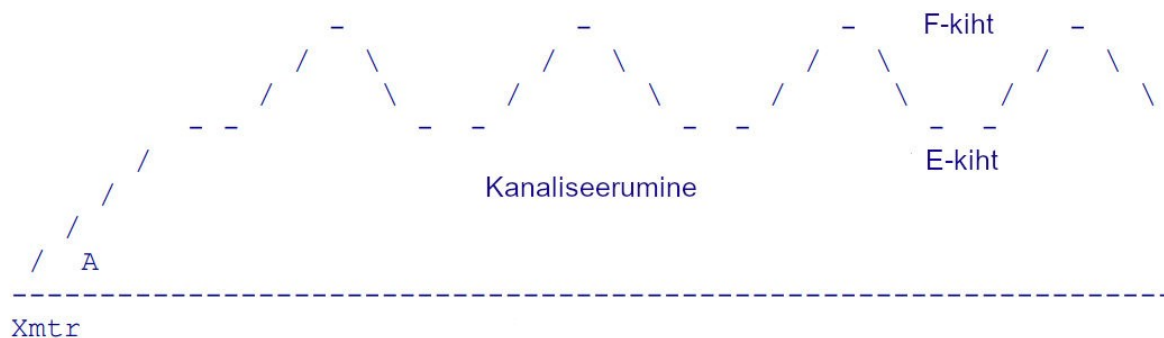
Sin on sama idee, mis Es-peegelduse puhul, välja arvatud see, et maapealne peegeldus on puudu, sest F-kihi kahe osa vahel on ionosfääri kallutused, mis on kujutatud punktiiridena:



Ülaltoodud joonis on "Lame Maa füüsika", kuid tegelikkuses paindus F-kihi esimesest osast peegeldunud kiir allapoole, kuid see ei läinud kaugele alla, kumer Maa langes sellest eemale, nii et kiir ei puutunud Maad ja liikus edasi F-kihti jälle. Tehke kumer joonis, et näha, mida ma mõtlen.

Kuigi ülalnäidatud kallutused on liialdatud, leitakse selliseid olukordi regulaarselt trassidel, mis ületavad pärastlõunal/õhtul geomagnetilist ekvaatorit, ja need põhjustavad pikki, akordilisi hüppeid vastavalt tugevamate signaalidega. Kuid tuleb märkida, et "kallutused" on tegelikult teine viis kujutada muutusi elektrontiheduse jaotuses piki trassi. Seega ülespoole suunatud kalle, mis annab pikema hüppe, on tegelikult sama kui elektrontihedus väheneb piki trassi suunda ja põhjustab vähem allapoole murdumist. Seda nimetatakse negatiivseks gradiendiks ja loomulikult on positiivne gradient vastupidine.

Lõpuks on veel üks huvitav variatsioon trassi struktuurist, mis tuleneb negatiivsest gradientist piki trassi – kanaliseerumine. Sellisel juhul on olukord sarnane viimati arutatud E-F hüppega, kuid kõrvalekaldeid F-kihti korduvad mitu korda:



Jällegi, ülaltoodud esitus on "Lame Maa füüsika" ja hõlmab negatiivset gradienti, nagu ka varem mainitud akordihüpe. Kuid need pikad hüpped on iseloomulikud LL spektri ülemisele otsale, 14 MHz ja kõrgemale, ja nende lõpetamiseks on vaja peaaegu kogu ionosfääri kõrgust. See on nii, sest isegi elektrontiheduse vähenemine piki trassi ei vähenda murdumist kõrgematel sagedustel suurel määral.

Ülaltoodud kanaliseerumine on madalama otsa LL spektri jaoks ja hõlmab väiksemaid trasside vertikaalseid kõrvalekaldeid võrreldes akordiliste hüpetega. See on nii, kuna murdumine muutub sõltuvalt sageduse pöördruudust; seega, sama gradiendi või elektrontiheduse vähenemise korral piki trassi on langussuunalise murdumise muutus palju suurem LL spektri madalamas otsas ja samade efektide saavutamiseks on vaja vähem ionosfääri.

Nüüd, olles läbi käinud laia valiku võimalikest levimisviisidest, saab neid ideid kasutada levimise käsitlemisel. Aga, RF läheb ühe antennimustri järgi kõikvõimalikesse levimisviisidesse, olgu need siis E-, E-F või F-hüpped ja sõltuvalt töösagedusest on võimalikud ka mõned eksootilisemad levimisviisid nagu akordhüpped või akordkanaliseerumine. Kuid levimisviis, mis teie DX-ühenduse jaoks läbi pääseb, on omamoodi 'ellujääja', andes signaale seal, kus teised on imendumise tõttu hääbunud või on kiirgusnurk trassi või vastuvõtuantenni jaoks vale.

Kuid praegu oleme valmis mõtlema vaid tavalisematele levimisviisidele ja need toimuksid suhteliselt rahulikes, stabiilsetes tingimustes. Ühesõnaga, me vaataksime näitajad SSN ja muu taoline, võib-olla kaarti, millel on suur-ringjoonte trassid ja suunaksime oma kiired õigetes suundadesse. Aga "millal, miks ja kuidas" on veel arutamata, rääkimata asjaoludest, mis on ebatavalised.

Ma ise pean 'millal, miks ja kuidas' levimiskohustuseks, ideedeks, mida iga DX'er peaks meeles pidama enne transiiveri sisselülitamist, 'Uue' kontakti otsingul. Lühidalt, need mõtted peaksid

olema 'teiseks loomuseks', selliseks asjaks, mida mõtleksite, kui oleksite laevahukuga sattunud üksikule saarele, kus on ainult ham raadiojaama ehitamise vahendid teie kasutuses. Sa peaksid suutma mõelda DX QTH'le, omama tunnet, mida antud kuupäeval teha saaks, ja mõtlema, millal valitud sagedusalale minna. Mõnikord ei pruugi vastused olla meelepärased, kuid vastus peaks tulema ilma liigse peamurdmiseta.

Seega vaatame, mida me teha saame, et seda õigesti teha, vähemalt normaalsetes tingimustes, ja siis tegeleme häiretega ja vaatame, mida need meile tähendaksid. See ei ole liiga koormav, sest kui üldised piirjooned on paika pandud, on teil leviprogramm, mis täpsustab numbreid ja fakte juhtum juhtumi haaval.

Nüüd oleme arutanud mõningaid üldisi ideid, mis puudutavad levimist LL sagedusala osas, ja teil peaks olema hea arusaam, millest see kõik sõltub - piisav ionisatsioon pea kohal, et murda signaale allapoole, hoides neid F-kihis, ja signaalid, mis läbivad ionisatsiooni D-kihis piisava võimsusega, et ületada kohalik müra.

Praktilise juhtumi analüüs

Sellest lähtuvalt uurime levimist praktilise näite abil, näiteks luues ühenduse USA keskpaiga ja Togo (Lääne-Aafrika) vahel eelseisval CQ WW CW võistlusel novembri lõpus. See oleks hea test, et näha, kui kaugele me suudame levimist ennustada seni välja töötatud lihtsate ideede abil. Kui see on tehtud, võime vaadata, kuidas arvutiprogrammid seda teevad ja milliseid muid üksikasju nad pakuvad.

Kasutagem siis QTH'na USA's Omaha City, mis asub 41°N 96°W. Togo on veidi keerulisem, seega peame World Map'st vaatama, et see asub 6°N 1°E juures, Greenwichi meridiaani lähedal. Neid koordinaate vaadates on üks asi kohe selge - Omahast Togosse on üsna pikk maa, enam kui 90° erinevus pikkuskraadides ja 35° erinevus laiuskraadides.

Arvestades, et Maa ümbermõõt on umbes 40,000 km, võib kohe järeldada, et vahemaa Omahast Togosse on suurem kui 10,000 km, mis on veerand teekonnast ümber maakera. Seda kinnitab ka ekvidistantse asimuutprojektsioonikaardi vaatamine Kesk-USA jaoks; Togo asub poolel teel antipodaalse ringini, mis teeb sellest päris pika sõidu. Kuid see pole sugugi nii raske, kui oled õigel sagedusalal õigel ajal.

*Ekvidistantset asimuutprojektsioonikaarti saab vaadata
veebirakenduses [DXCC map v2.2.8.6](#)*

Nüüd räägime selle aasta hilisest novembrist, nii et võime efektiivse päikeseplekkide arvu võtta umbes 80, lähtudes NOAA hiljutistest aruannetest. Võimalused kõrgematel sagedusaladel ühenduse loomiseks on üsna head, kui arvestada, et Togo asub madalal laiuskraadil, kus F-piirkonna elektronide jaotus on üsna tugev. Seega peame muretsema ainult Omahast LL kõrgema otsa RF'i välja saatmise pärast.

Esimese ligikaudse hinnanguna võiksime proovida kontakti saamist 28 MHz sagedusel. Selleks on olulised ionisatsioon ja MUF, mis ütlevad meile, et kontakti peaks proovima ajal, mil trass on hästi valgustatud. Kuna pikkuskraadide erinevus on umbes 97°, siis sooviksime, et Päike oleks vähemalt poolel teel kahe QTH vahel, ütleme umbes 47°W pikkuskraadil. Päikese lääne suunas liikumisega

15° pikkuskraadi tunnis tähendab see, et aeg peaks olema umbes 3 tundi pärast 1200 UTC ehk 1500 UTC.

Aga pidage meeles, et Togo asub madalal laiuskraadil, seega on F-piirkonna kriitiline sagedus seal vähem probleemne kui Omahas. Sel juhul oleks parem valida hilisem tund, kui Päike on lähedal Omaha pikkuskraadile, tõstes niiviisi kriitilist sagedust seal lähedal. Kuid aeg ei tohiks olla nii hiline, et Päike loojub trassil kuskil. See tähendab, et peame vaatama World Map'st, millal Päike loojub Togos.

Sellega seoses annab World Map täpseks päikeseloojangu ajaks Togos kell 1736 UTC. See viitaks esimese parandusena, et 28 MHz sagedusriba võiks proovida vahemikus 1530 UTC kuni 1730 UTC. Sama kehtiks ka 21 MHz sagedusriba kohta. Teades, et sellel sagedusribal on levimiseks vaja vähem ionisatsiooni, nii et tööakent võiks laiendada, alustades varem ja lõpetades hiljem, näiteks vahemikus 1500 UTC kuni 1800 UTC.

Kõrvalepõikena peaksin ütleva, et viimasel ideel on teatud üldpõhimõtte, vähemalt nende sagedusribade puhul, kus MUF on oluline. Seega antud QTH'st avanevad madalaimad sagedusribad kõige varem, kõrgeimad sagedusribad kõige hiljem ja sagedusribade sulgumine toimub vastupidises järjekorras. Loomulikult on see ainult trassi kättesaadavus; signaali/müra olukorda tuleb siiski vaadata parimate tööaegade leidmiseks.

Üleminekusagedusribade, 10 MHz kuni 18 MHz puhul mängib rolli neeldumine ja hea mõistus viitab sellele, et mõju saab minimeerida, vältides aegu, mil trass on hästi valgustatud ja Päike selle keskpunkti läheduses. Lisaks teame, et ionisatsioon püsib pärast päikeseloojangut, tänu geomagnetvälja rollile ning elektronide ja positiivsete ionide aeglasele rekombineerumiskiirusele seal üleval F-kihis. Selle tulemusena toetatakse levimist nendel sagedusaladel päikeseloojangul ja õhtutundidel.

Lisaks avaks trassil, Omaha lähedal tõusev päike levimise, vähemalt seni, kuni neeldumine muutub liiga suureks. Seega võime oodata, et sagedusribad avanevad varsti pärast päikesetõusu Omahas, kell 1350 UTC, vastavalt World Map'le. Ja kuna päikeseloojang Togos on kell 1730 UTC, võiks tööaega pikendada veel kahe või kolme tunni võrra.

Asjad hakkavad ilmet võtma, vähemalt nende sagedusribade jaoks, kus F-kihi ionisatsioon ja D-kihi neeldumine on olulised. See annaks alguspunktiks päikesetõusu Omahas, umbes 1400 UTC, ja sulgumisaajaks umbes 2030 UTC üleminekusagedusribade jaoks. Kõrgemad sagedusribad algaksid muidugi hiljem ja lõppeksid varem, nagu varem mainitud üldpõhimõtte.

Madalamad sagedusribad, 160 meetrit kuni 40 meetrit, kus domineerib D-piirkonna neeldumine, oleksid avatud alates päikeseloojangust Omahas kuni päikesetõusuni Togos. World Map'st näeme, et madala sagedusala toimingud võiksid alata Omahas umbes 2300 UTC ja lõppeda umbes 0545 UTC

Kuid siin on müra küsimus, olgu see siis inimtekkelist või atmosfäärilist päritolu, mis konkureerib signaalidega. Siin näitab kogemus, et inimtekkelist müra on vähem, kui on möödunud tund tööpäeva lõpust. Ja atmosfääriline müra, näiteks Togos, oleks madalaim aegadel, mis on lähedal koidikule. Seega madala sagedusriba kasutamine oleks tõenäoliselt produktiivsem tööakna hilisematel tundidel. Kuid arvestades ionosfääri neeldumise kõrget taset ja sellega seotud vahemaad, võib madalamatel sagedustel kontakti loomine olla palju raskem kui kõrgematel sagedustel. Lisaks mängivad antennid ja võimsus selles spektriosas suuremat rolli. Neid ressursse arendavad aja jooksul DX'erid ja need on seotud nende töökogemusega amatööride spektri selles

osas. Teisisõnu, DX'imine madalamatel sagedusribadel, 80 ja 160 meetrit, on raske ja mitte alati rahuldust pakkuv juhuslikele operaatoritele.

Et lisada sellele arutelule realistlik pööre, lubage mul öelda, et ma töötasin eelmisel aastal 5V7A'ga 20 m CW peal kell 2312 UTC, 29. novembril. Kui te seda uurite, siis näete, et see oli rohkem kui viis tundi pärast päikeseloojangut Togos! (Näete? Ionisatsioon püsib pimedas, eriti madalatel laiuskraadidel!) Loodan, et saate sel aastal sama teha. Vähemalt ülaltoodud näide näitab, kuidas saate uut "teravalt tulistada", isegi kui teie käsutuses on ainult primitiivsed tööriistad. Proovige järele.

Minu hea sõber Carl/K9LA tegi nende jaoks leviproгноosi ja te näete, kuidas ka teie võiksite nendega töötada. Kui te seda teete, tahaksin sellest kuulda e-posti teel, ja oleksin tänulik, kui saaksin teie QSO analüüsi.

Ma ei töötanud välja kõiki 5V7A võistluse levitamise aspekte; näete, mida nende enda leviguru välja mõtles, kuid olen kindel, et see põhines minu poolt eespool kirjeldatud põhimõtetel. Olen varem sellist asja teinud, hiljutiste 8Q7AA ja 3B7RF DX'peditsioonide jaoks. Sellises olukorras on mõte prognoosida, et nad saaksid kogu maailma töötada. Seega tuleb vaadata iga ajavahemikku ja igas suunas, et leida parim viis, kuidas nad võistlusel tegutseda saavad.

Esimene 8Q7AA grupi jaoks läks väga hästi, töö toimus põhimõtteliselt nagu ennustatud. Kuid teine 3B7RF grupi jaoks sattus väiksesse sekeldusse; see oli iseenesest huvitav, kuna see viib meid geofüüsikalise päritoluga ionosfäärihäirete teemani. Jättes selle hilisemaks, lähme aeglastest, mehaanilistest meetoditest kaugemale, sellest kuidas "muistsed" levimisprobleemi käsitlesid, ja vaatame, kuidas seda teevad arvutid.

Nagu te teate, teevad need kõike praktiliselt valguse kiirusel. Kuid kui hästi nad seda teevad? See on hea küsimus. Tegelikult arvestades seda, mida te nüüd teate, võite imestada, kas nad lihtsalt teevad vanamoelisi arvutusi kiiremini ja ei lisa probleemile palju juurde. Seega me läheme sellega natuke aega kaasa, vaadates, kuidas arvutid neid küsimusi käsitlevad ja seejärel vaatame mõningaid uusi ideid.

Leviennustusprogrammid

Nüüd kasutas viimane väike harjutus vanamoelisi tööriistu, et teha 5V7A'le leviennustust, kuid masendavalt aeglase tempoga. Need põhinesid tõepoolest kolmel põhimõttelisel ideel - F-kihi ionisatsiooni olemasolul, D-kihi neeldumisel, mis piirab signaali tugevust ja geomagnetväljal, mis korraldab ionosfääri. Nii andsid ainult päikesetõusu ja -loojangu ajad nende kontseptsioonide põhjal kvalitatiivse ülevaate levist. Kuid ilma konkreetsete numbrite, MUF'ide ja signaali/müra suheteta ei vastaks see kunagi DX-ekspeditsiooni või DX-võistluse tegevuse keeruliste otsuste tegemise vajadustele.

Arvutite kaasamisega asjasse saab päikesetõusu ja -loojangu aegu arvutada astronoomilise täpsusega ning leida DX-aknad 5V7A'ga töötamiseks madalatel sagedusribadel. Järgmine suur probleem oleks leida signaali tugevus, mida võiks oodata. Seega on vajalik teadmine tööliikidest või hüppestruktuuridest, mis on peamiselt kahe mõõtmeline probleem suur-ringi trassi tasandil. Sellist asja tehakse väga hästi kiirte jälgimisega PropLab Pro programmis.

Kõrgematel LL sagedusaladel, kus MUF-id, neeldumine ja E-lõikepunktid on murekohaks, suudavad arvutiprogrammid päris hästi leida, kuidas tavalised levimisviisid päeva jooksul

muutuksid, näiteks E-hüpped päeval ja F-hüpped öösel ning kombineeritud levimisviisid üle päikesetõusu ja -loojangu. Kuid need programmid ei suuda toime tulla ionosfääri mõjudega, mis tulenevad elektrontiheduse gradientidest terminaatori või geomagnetilise ekvaatori lähedal, seega teatud viisid, nagu akordilised hüpped ja kanaliseerumine, ei ole nende analüüsis kaasatud. See jätab täieliku ennustuse osas tühimiku. Seega on arvutid kiired, kuid ei ole nii täielikult kvantitatiivsed, kui varem kasutatud kvalitatiivseid jõupingutusi asendades loodeti.

Nagu võite eeldada, kõige varasem amatöörkasutuses olev arvutiprogramm MINIMUF sarnanes skeemiga, mis kasutas ionosfääri kaarte ja kasutas MUF'ide jaoks ainult kontrollpunkti meetodit F-kihi levi kaudu. Ei arvestatud ei signaali tugevust ega müra, seega töötas meetod kõige paremini amatöörspedri tipus ja väga kõrge päikeseaktiivsuse tasemete juures. See oli kahetsusväärne, kuna amatöörid kasutasid samu meetodeid madala päikeseaktiivsuse tasemete juures, tihti eksitavate või pettumust valmistavate tulemustega.

Kuid MINIMUF äratas paljude amatööride kujutlusvõime ja originaalkoodile lisati täiendavaid funktsioone, sealhulgas E-kihi katkestuste arvutused. Näiteks MINIPROP Versioon 1 kasutas MINIMUF's F-kihi mudelit ja sisaldas ka E-kihi katkestuste ning signaali tugevuse arvutusi. Raymond Frickeri varajane töö, MICROMUF 2+, mille avaldas Radio Netherlands, oli sarnane, kuid E-kihi katkestust peeti LUF'i madalaima kasutatava sageduse väärtuste andmiseks. See pole õige, kuna LUF on D-kihi küsimus.

Aga Frickeri MICROMUF 2+ ja MINIMUF'i vahel oli põhimõtteline erinevus, kuidas kriitilise sageduse teavet saadi. Frickeri F-kihi algoritm kasutas 13 matemaatilist funktsiooni, et simuleerida vertikaalsetest sondeerimistest saadud kriitiliste sageduste andmebaasi, samas kui MINIMUF tugines vaid ühele funktsioonile, mida kohandati piiratud hulga kaldsondeerimiste tulemuste esitamiseks.

Teises programmis, IONPRED, tutvustas Fricker uudset hüpete testimise skeemi. Põhimõtteliselt vaatles programm iga hüpet üksikasjalikult, punktides, kus E-kiht ületati ja kõrgeimas punktis, kus F-kihi kriitiline sagedus oli oluline. Seega hõlmas hüpete testimine levimisviisi usaldusväärsuse määramist, kontrollides, kas töösagedus oli piirsagedusest 5% võrra kõrgem või madalam ja vähem kui 5% F-kihi kriitilisest sagedusest.

Esialgse kiirgusnurga valikuga saab trassi struktuuri sorteerida E- ja F-hüpete järgi, sõltuvalt trassil tehtud testide tulemustest. Fricker kohandas ka F-kihi kõrgust vastavalt kohalikule ajale, nii et hüpete pikkused polnud trassil püsivad. Selle tulemusena võis trass langeda nii sihtmärk-QTH ette kui ka selle taha. Kui viga oli suurem kui 25 km, valiti teine kiirgusnurk ja protsess algas otsast peale. IONPRED's arvutas Fricker välja ka ionosfääri neeldumise (dB) ja lisas selle signaali kaole, mis tuleneb ruumilisest levikust, nõrgenemisest ja maapealsetest peegeldustest.

Veel üks IONPREDi uuenduslik funktsioon oli trassi kättesaadavuse kasutamine, päevade arv kuus, mil trass oleks usaldusväärseks suhtluseks avatud. See oli midagi FOT-MUF-HPF idee sarnast, mida varem arutati, kuid IONPRED'i puhul käsitleti päevade arvu pideva muutujana erinevalt FOT-MUF-HPF meetodi ülemise või alumise detsiili lähenemisviisist.

IONCAP programmil on palju muid meetodeid peale FOT-MUF-HPF ja mõned annavad pikaajalisi kättesaadavusnäitajaid, kuu aja jooksul trassi avatud oleku osakaalu, samuti usaldusväärsuse väärtusi, ajavahemiku osakaalu, mil signaali/müra suhe ületaks mingi minimaalse väärtuse. Seega, erinevalt Frickeri meetodist, mis põhineb ainult F-kihi kaalutlustel, tegeleb IONCAP signaali tugevuse kõikumistega, D-kihi faktoriga, samuti inimtekkelise müraga.

Tänapäeval on Frickeri IONPRED's kasutatud meetodit täiustatud levimisviisi otsingu kasutamiseks programmis MINIPROP PLUS. Seal on mõte töötada välja mitu edukat levimisviisi ja seejärel leida kõige suurema signaalitugevusega viis. 1980'ndate arvutitega oli Frickeri meetod äärmiselt aeganõudev, kuid tänapäeval on arvutikiirused sellised, et kogu levimisviisi otsimise protsess võtab vaid sekundi või kaks.

Seetõttu ilmus W6ELPro'ga samal ajal palju uusi leviprogramme ja täna, üks põlvkond pärast IONCAP'i on amatööridele kättesaadav üle 50 rakenduse, nende hulgas VOACAP ja teised WinCAP Wizard 3. Aga tulge korra tagasi PropLab Pro juurde.

Mõnes mõttes on PropLab Pro kiirguse jälgimine nagu hüpete testimine, kuna see liigub edasi antud kiirgusnurga valikul ja arvutus peatub, kui jälg kaob lõpmatuse või peatub sihtmärgi QTH läheduses. Nagu võite eeldada, on selle lähenemise peamine probleem see, et hüpped võivad jääda lühikeseks või minna sihtmärgist kaugemale, muutes RF trassi leidmise punktist A punkti B aeglaseks, korduvaks protsessiks. Lisaks peab kasutaja hindama trassi sobivust, kas E-hüpete arv muudaks selle sumbunuks või teisipidi. Sel põhjusel imetlen ma seda, kuidas PropLab Pro probleemi lahendab, kuid see on liiga aeglane kannatamatu inimese jaoks nagu mina.

Kuid me saame kasutada PropLab Pro programmi kiire jälgimist, et näha trasse nii kahe- kui ka kolmemõõtmelisena. Peab ütlema, et 2-D on üsna lähedal probleemi lahendamisele õiges mõttes, sisestades iga hüppe jaoks sobiva ionosfääri, võttes arvesse kuupäeva, kellaaega ja SSN-i. Kuid see ei võta arvesse maastikku, näiteks maapinna kallet ega peegeldava pinna olemust. Võttes ühe hüppe korraga, võetakse arvutuses arvesse ionosfääri kõrguse muutust, kuid mitte kaldeid ega gradiente. See jääb 3-D jaoks.

Kolmemõõtmeline kiirte jälgimine põhineb kiire trassi liikumisvõrrandite lahendamisel, täpselt nagu Newtoni mehaanika leiab satelliitide ja kosmoselaevade teed. Suur-ringis piki ja ülespoole liikumiseks, samuti selle tasapinnaga risti liikumiseks on võrrandid. Radade kalduvus on LL vahemikus väike ja seetõttu jäetakse see kiirte jälgimisel tavaliselt tähelepanuta. Selle põhjuseks on asjaolu, et murdumine toimub pöördvõrdeliselt, kuna vaikselt ionosfääris esinevate trasside sageduse ja elektrontiheduse gradientide ruut on suhteliselt väike. Selle väite erandiks on auroraalvööndid, kus esinevad suured gradiendid.

Madalamatel sagedustel, nagu 1,8 MHz, muutub madalama sageduse tõttu trasside murdumine või paindumine suuremaks ja muud mõjud muutuvad oluliseks. Eriti oluline on, et ionosfääri elektronide spiraalne tiirlemine ümber Maa magnetvälja joonte toimub sagedusega, mis on võrreldav 1,8 MHz signaali sagedusega. Seetõttu tuleb kogu lähenemine ionosfäärile uuesti läbi mõelda, panna see üldisematesse terminitesse ilma igasuguste ligikaudsusteta. See täielik teooria, mis oli Appletoni töö, kannab nimetust ja on olnud kasutusel umbes 60 aastat.

Polarisatsioon ja RF'i sidestamine ionosfääriga

Üldisema teooria tulemuste hulka kuulub nüüd see, et levimine sõltub kiire tee ja kohaliku magnetvälja vahelisest nurgast. Lisaks on keskkonnas levivad lained elliptiliselt polariseeritud, mis tähendab, et need koosnevad kahest teineteise suhtes täisnurga all olevast komponendist, mille

vahel on faaside erinevus. Peale selle on kaks lainetüüpi, millel on elektrivälja vektori pöörlemise vastassuunad - tavalised lained (ordinary waves) ja erakordsed lained (extraordinary waves).

Lihtsad, lineaarselt polariseeritud lained, mis on LL signaalide käsitlemisel nii tuttavad, on vaid elliptilist polarisatsiooni piirav juhtum, kui ühel kahest täisnurga all olevast komponendist on teisega võrreldes väga väike amplituud. Magnetioonilises teoorias tekib see piirav polarisatsioonitüüp siis, kui signaalid saadetakse magnetväljaga risti. Teine juhtum on ringpolarisatsioon, kui signaalid saadetakse piki magnetvälja. Siis on kaks täisnurga all olevat komponenti amplituudilt võrdsed ja 90 kraadi faasist väljas.

Need levimise iseärasused olid ilmsed juba ionosfääri sondeerimise varajastel päevadel, kuna iga üles saadetud signaali kohta saadi kaks kaja tagasi, tavalised ja erakordsed lained, ja te näete neid mis tahes ionogrammidel. Seega on magnetiooniline teooria osa raadiolevi reaalsusest. Kuid DX'erite jaoks on seal teatud rõõmus lihtsustus, kuna pikamaa levimisel neeldub erakordne laine tugevasti ja arvesse tuleb võtta ainult tavalist lainet.

160 meetri sagedusribal levimise juures on veel üks huvitav aspekt - RF-i sidumine ionosfääri. Nagu te teate, on antenni poolt kiirgatud lainetel polarisatsioon ja 160 meetri ribal kasutatakse kõige sagedamini vertikaalantenne. See on tingitud sellest, et lainepikkus on nii pikk, et enamik horisontaalseid dipoolantenne ei saa panna väga kõrgele (lainepikkuse mõttes), ja seetõttu kannatavad nad suure kiirgusnurga all, olles nn. "pilvesoojendajad".

Magnetioon teoorias muutub laine polarisatsioon ionosfääris pidevalt, kui see levib läbi geomagnetvälja. Kuid on kaks piiravat polarisatsiooni, tavaliselt umbes 60 km kõrgusel, kus laine siseneb ionosfääri punkti A lähedal ja kus see lahkub ionosfäärast punkti B lähedal. Üksikasjalikult välja töötatud teooria ütleb, et toimub signaali kadu, mis tuleneb mistahes sobitamatuses antennist tuleva laine polarisatsiooni ja piirava (elliptilise) polarisatsiooni vahel sissepääsupunktis A.

Näiteks signaalid, mis liiguvad ida-lääne suunas ekvaatoril vertikaalsest antennist, on ionosfääri halvasti sidestatud polarisatsiooni mittevastavuse tõttu, kus vertikaalselt polariseeritud lained lähevad vastu horisontaalsetele väljajoontele. Samamoodi võib signaali kadu tekkida väljumispunktis B, kui seal esineb mistahes mittevastavus ionosfäärast väljumisel piirava polarisatsiooni ja punktis B asuva antenni polarisatsiooni vahel.

Nagu märgitud, on magnetiooniline teooria üsna keeruline, elliptiliselt polariseeritud lainetega ja kõige sellega. Kuid signaalide puhul, mis liiguvad punktist A punkti B, ei pea me muretsema selle pärast, mis toimub kõrgel ionosfääris nende kahe punkti vahel, vaid ainult antennitüüpide ja piiravate polarisatsioonide pärast teekonna lõpp-punktides. See teeb elu palju lihtsamaks.

Veel üks punkt selle sagedusvahemiku kohta; signaalid võivad öösel E-kihi kohal olevas elektrontiheduse orus lõksu jääda. Seega, kui nad sisenevad sellesse piirkonda, võivad nad peegelduda edasi-tagasi F-kihi põhja ja E-kihi ülemise piiri vahel. See tähendab, et nad kihutavad nende piiride vahel edasi-tagasi nagu pall, mis libiseb mööda siledat renni alla. Pall pääseb välja ainult siis, kui renni seinte kõrgus muutub, teisisõnu, signaalid pääsevad kanalist välja, kui alumine ionosfäär muutub. Selles suhtes on kanaliseerumine kahtlemata vastutav 160 meetri pikkade DX-sidede eest, kuna see väldib korduvaid maapeegeldusi ja alumise ionosfääri läbimisi, mis neelavad signaale väga suurel määral.

Raadiolevi põhialused

Pöörame nüüd tähelepanu levimise teistele faktoritele, alates ennustustest kuni asjaoludeni, mis võivad levimist häirida ja ennustused nurjata. Kuid selle tegemisel aitaks natuke ajalugu. Esiteks on raadio nüüdseks enam kui 100 aastat vana ja sündmuste käik on kulgenud edasi ja ülespoole, sageduses ja ionosfääris. Seega olid varaseimad signaalid kHz piirkonnas ja nüüd on tehnoloogia arenenud sinnamaani, kus amatöörid tegutsevad GHz spektri osas. Kuid see on olnud pidev edasimineku sageduses ja nagu me nüüd teame, tähendab see, et signaalid lähevad üha kõrgemale ja kõrgemale ionosfääri, kuna nende efektiivne vertikaalne sagedus on suurenenud.

Amatöörtegevus algab kesksagedusalas (MF) 160 meetri ribaga, 1,8-2,0 MHz. Kui vaadata selle riba kiirusjooniseid, on selge, et tavalistes olukordades jäävad signaalid enamasti alla 200 km taseme. Loomulikult on sellel ribal ionosfääri neeldumine nii suur, et DX-tegevust üritatakse ainult täielikus pimeduses olevatel trassidel.

Minnes kõrgsagedusalasse (LL), 3 - 30 MHz, liiguvad signaalid kõrgemale F-kihi tipu suunas, umbes 300-400 km kõrgusele ja pimedus muutub vähem vajalikuks spektri ülaosas. Tegelikult on vaja päikesekiirgust, et tõsta ionisatsiooni taset levimiseks nõutavale tasemele.

Ajalooliselt, kui töösagedused tõusid, suurenes ka DX-ühenduste ulatus ja ilmnes, et päikesetsükkel mängib levimisel rolli. Lisaks ilmnesid mitmesugused häired. Seega avasid amatöörid 1920. aastate alguses transatlantilise tegevuse, mis 1920. aastate lõpus kommertsialiseeriti koos raadiotelefoni ühenduste loomisega Euroopasse. Sel ajal avastati, et sideühendused ebaõnnestusid geomagnetiliste tormide ajal. Need võisid kesta päevi, kuid esines ka kummalisi katkestusi, mis kestsid vaid mõnest minutist kuni tunnini. Aastal 1937 leiti, et lühilaine ühenduste kadumised on seotud päikesepursetega. Lisaks sai selgeks, et magnetitormide häired ilmnesid päev või paar pärast päikesepursete toimumist.

Kõigest sellest sai selgeks, et Päike on raadioside levis oluline tegija ja teadlased hakkasid uurima üksikasju. Sidekatkestuste probleem oli suhteliselt lihtne, olles vaid elektronide vabanemine ionosfääris Päikese röntgenikiirguse fotoelektrilise efekti tõttu. Magnetitormi efekt oli keerulisem probleem, kuna see viitas aeglasemale protsessile, mitte röntgenikiirte valguse kiirusel liikumisele läbi Päikesesüsteemi. Sellega seoses pakkusid Maa magnetvälja uurivad geofüüsikud, et Päikesest saadeti välja ainevoog ja siis selle kokkupuude geomagnetväljaga oli käivitusmehhanism. Päikesepursete ja tormide vaheliste ajaviivituste põhjal tehti esimesed hinnangud päikeseaine liikumiskiiruse kohta. Rohkemat nad sel ajal öelda ei osanud.

See tõstatab küsimuse, kui kaugemale geomagnetvälja jooned Maast ulatuvad. Loomulikult käib see tol ajal kasutusel olnud geomagnetvälja mudeli kohta. Lihtsustatult öeldes oli see midagi sellist, kui torkaksid maasse magnetvarda ja vaataksid, kuidas väljajooned Maa pinnast kaugemale ulatuvad. Lühidalt öeldes oli 40ndatel ja 50ndatel aastatel kasutusel olnud mudel selline, mille kohaselt tsentreeritud dipoolväli oli geograafiliste koordinaatide suhtes kallutatud, dipooltelg läbis maapinda 79,3° N ja 71,8° W põhjapoolusel ja lõunapoolusel vastava antipoodi kaudu.

See oli väli, mida kasutati esimeste Pioneer kosmoselendude ajal pärast Rahvusvahelist Geofüüsika Aastat, eksperiment, milles vaadeldi Maa välja tugevust ja orientatsiooni, kui kosmoselaev liikus Maast eemale. See lend tõi kaasa tõelise üllatuse, Maa väli muutus aeglaselt ja korrapäraselt, kui kosmoseaparaat liikus väljapoole, kuid äkki, kui see jõudis umbes 8 Maa raadiuse kaugusele, muutus väli nõrgemaks ja vähem organiseerituks, peaaegu juhuslikuks oma orientatsioonis. Ilmselt ei kirjeldanud korrapärane dipoolväli enam olukorda nendel kaugustel, andes teed

planeetidevahelise magnetvälja olemasolule. Ja see, mida varem peeti tühjaks ruumiks, välja arvatud meteoriiditolm ja praht, leiti sisaldavat ka plasmat (prootoneid ja elektrone), mis voolas eemale Päikesest.

Enne selle äärmuse uurimist peaksime vaatama dipoolvälja ja nägema, mida sellelt oodata võiks. Nagu te teate oma keskkooli füüsikakursusest, väljajooned lähevad lõunapoolkeralt välja ja pärast teatud kaugusele jõudmist pöörduvad tagasi ning sisenevad Maa põhjapoolkerale. See oli klassikaline pilt; vaatame siis, mida see ütleb, vähemalt seni, kuni me Pioneeri andmetega hätta jääme.

Nüüd on magnetilisel dipoolil oma koordinaatsüsteem, mis on seotud selle telje suunaga geograafilise telje ja ekvaatori tasandi suhtes. Eespool esitatud dipooli orientatsiooni abil saab välja arvutada iga Maa punkti magnetilised koordinaadid. Näiteks minu asukoht 48,5° N ja 122,6° W vastab dipoolkoordinaatides 54,4° N, 62,1° W.

Aga vaatame dipooli ja selle väljajooni. Need lähevad välja lõunapoolkeralt ja tulevad tagasi põhjapoolkerale. Aga kui kaugale nad välja lähevad? See oleks oluline, kui mõtleme päikesepalsma kokkupõrkele dipoolväljaga, mida geomagnetikud on soovitanud. Pole raske välja arvutada, kus magnetvälja jooned ristuvad geomagnetilise ekvaatori tasandiga ja selle kauguse ning magnetilise laiuse vahel, kust väljajooned algavad, on lihtne seos:

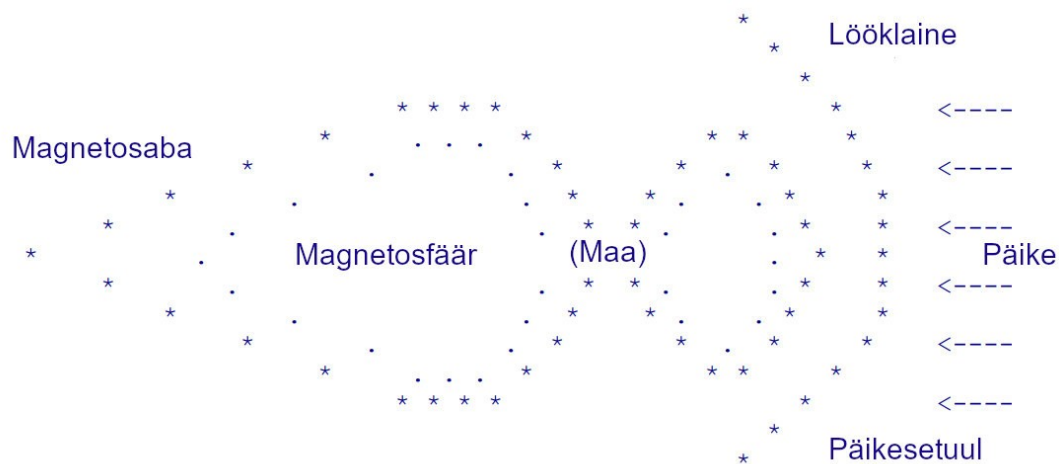
$$\sqrt{L} = 1 / \cos \varphi$$

kus φ on magnetiline laiuskraad ja L on kaugus, mõõdetuna Maa raadiustes (R_e). Kui te nüüd kujutate endale ette dipooli, mida ümbritsevad selle magnetilised jõujooned, siis näete, et madalate laiuskraadide väljajooned ei ulatu Maa pinnast väga kaugemale. Kuid suurte laiuskraadidega on asi teisiti ja kui need välja arvutada, saame järgmise tulemuse:

Mag Lat (deg)	Distance (L in R_e)
10	1.03
20	1.13
30	1.33
40	1.70
50	2.42
60	4.00
70	8.55
80	33.2

Seega on kõrgete laiuskraadide väljajooned need, mis on Päikeselt tuleva plasma ja Maa välja kokkupõrkes ohus. Ja samamoodi, madalatel laiuskraadidel paiknevad väljajooned, mis ulatuvad Maa keskpunktist vaid lühikese vahemaa kaugusele, on päris hästi kaitstud päikeseplasma ja geomagnetvälja vahelise kokkupõrke otseste mõjude eest. Loomulikult, see sobib teie kasutuskogemusega, polaarpiiri ületavad trassid on palju rohkem häiritud kui madalatele laiuskraadidele suunduvad trassid.

Enne Päikesest tulenevate erinevate levimismõjude olemuse käsitlemist peaksime lühidalt märkima, et sissejuhatuses antud vaade maaväljale ei ole päris täielik. Eelkõige, pakuti välja, et geomagnetvälja takistuse poolelt puhuv päikesetuul on nagu kuuli vooluprobleem õhus, kuid nüüd on kuul (geomagnetväli) fikseeritud ja õhk (päikesetuul) suhtelises liikumises. Seega pakuti välja (ja kontrolliti), et päikesetuule vibušokk on seal magnetosfääri ees:



Nüüd, aerodünaamikat veelgi kaugemale viies, pakuti välja, et lööklaine asukoht võiks varieeruda, liikudes Maa poole lähemale suurematel päikesetuule kiiruste puhul. Ja see osutuski nii, mis saadi satelliitvaatlustega pärast algset tööd Pioneer I'ga. Kuid geomagnetiline väli on natuke teistsugune kui kõva takistus ja eeldati, et magnetväli võib aeg-ajalt olla kokkusurutud, eriti kui päikesetuul saabub äkilise löögina. Ja nagu te arvasite, on see tõesti nii, nagu näitavad geostatsionaarsete satelliitide magnetilised andurid. Mõnede tugevate magnetormide ajal teatavad need satelliidid tingimustest, mis asetavad need otse planeetidevahelisse magnetvälja, näidates, et magnetosfäär on päikesetuule poolt kokku surutud ja et magnetopaus oli ajutiselt Maast 6,6 Re kaugusel. Tõeliselt hämmastav!

Olles rääkinud teile geomagnetvälja jõujoonte probleemidest, mõelge veidi tagasi sellele, mida ma varem ütlesin: need on asjad, mis hoiavad teie väärtuslikke ionosfääri elektrone paigal! Seega võib-olla pole kõik need levihäired magnetormide ajal nii üllatavad, arvestades, et päikesetuul lükkab väljajooni ringi.

Magnetormi mõjud on enamasti kui lihtsalt Maa ees olevate väljajoonete kokkusurumine. Nagu ma juba sissejuhatuses vihjasin, saab magnetosfääri esiküljel olevaid jõujooni tõmmata magnetosabasse. Selles protsessis eemaldatakse F-kihi ionosfääri elektronid nendelt väljajoonelt magnetosfääri esiküljelt ja sisuliselt jaotatakse need palju pikematele väljajoonetele magnetosfääri tagaküljel. Mõlemal juhul kannatab kõrge laiuskraadiga F-kihi ionisatsioon kaotuse all ja kriitilised sagedused mõjutatud piirkondades vähenevad. Loomulikult paistab Päike päevast päeva, nii et mõningase magnetilise vaikuse korral taastab päikesevalgus need piirkonnad ja side kõrgetel laiuskraadidel naaseb normaalseks.

Nendest seletavatest sõnadest peab piisama, sest magnetosfääri probleemid on üsna keerulised, tundmatute või mitteklassikaliste ideedega, ja nende lahendamine on parem jätta magnetosfääri füüsikaspetsialistide lahendada. Me ei pea üksikasjadesse takerduma, vaid peame suutma ära tunda, millal tekib probleem ja millised tagajärjed sellele järgnevad. Selles osas on kõrgete laiuskraadide magnetomeetrite andmed meie parim valik, kuna need annavad elavad kirjeldused tekkivatest tormidest, tänu samaaegsetele, kuid sekundaarsetele mõjudele, mis tekivad. Sellega ma mõtlen nii optilist kui ka raadio aurorat, samuti voolusüsteeme, mis tekkivad päikesetuule tekitatud häiringu ajal.

Jällegi, üksikasjad ei pea meid huvitama, kuid põhijooned on need, mida me märkame: 100 km kihist kõrgemalt tulev optiline kiirgus, ULL aurora peegeldused, aktiivse auroraaltsooni läbivate signaalide ionosfääriline neeldumine ja maapeal täheldatavad tugevad magnetilised häired, mida täheldatakse maapinnal voolusüsteemidest, mis tekivad piki ioniseeritud piirkonda. Sellest lähemalt järgmine kord.

Geomagnetilised häired

Chapmani ja Bartelsi raamatu "Geomagnetism" teise köite lõpus on huvitav kirjeldus, mis käsitleb Celsiuse ja ühe tema doktorandi esimesi magnetilisi vaatlusi Rootsis. Teades, mida me praegu teame, pean ma seda kosmoseajastu "esimeseks päevaks". Kuid ma pean imestama, et kulus 75 aastat, enne kui Oersted tuli välja ideega, et vool (nagu ionosfääri elektrijuga) tekitab kompassi magnetilisi kõrvalekaldeid (maapinnal aurora all). Võrrelge seda aega viie aastaga, mis kulus Prantsuse matemaatikutel Biot-Savart'i seaduse mõistmiseks, mis käsitleb voolude magnetilisi mõjusid. Huvitav!

Lõpuks võib Brekke raamatu "Ülemise Polaaratmosfääri Füüsika", mis avaldati Wiley & Sons'i poolt 1997. aastal, viimases peatükis leida suurepärase arutelu Norras tehtud varajaste auroraalvaatluste üle. Brekke, olles norralane, avaldab austust Stoermeri poolt loodud heade auroraalfüüsika töödele ja traditsioonile. Uskuge mind, see on lugemist väärt.

Eelneval lehel märkisime, et magnetitormid põhjustavad auroraalseid häireid optiliste emissioonidega, mis tulevad üle 100 km kõrgusest kihist; ULL peegeldused auroraalsete kuvade ionisatsioonis, aktiivset aurooravööndit läbivate signaalide neeldumine, ja tugevad magnetilised häired maapinnal, mis on täheldatavad piki ioniseeritud piirkonda. Kõik see tuleneb päikesetuule tugevnemisest, võib-olla suurema kiirusega, suurema osakeste tihedusega või koos interplanetaarse magnetväljaga, mis on võrreldes Maa väljaga suunatud lõunasse.

Tänapäeval saame kõigist nendest muutustest lugeda internetist. Kuid kõige olulisem on magnetitormide puhul seotud planeetidevahelise magnetväljaga ja selle orientatsiooniga. Kui väli on suunatud lõunasse, s.t. Bz on negatiivne, saab planeetidevaheline väli ühineda Maa magnetväljaga ning magnetosfääri esiosas olevad väljajooned kanduvad sabapiirkonda, kui päikeseplasma mööda liugleb.

Need ideed tulid esile 50ndatel, tänu J. Dungey ja teiste Ühendkuningriigi teadlaste pingutustele. Nagu ma varem ütlesin, lähevad need kaugemale elementaarsetest kaalutlustest, mida me klassikalises elektromagnetismi teooria kursuses saame, ja need on kõige parem jätta teoreetikute arutada. Meil on vaja teada ainult seda, mis juhtub ionosfääriga, ja seal on uudised halvad, kuna F-kiht kaotab ionisatsiooni magnetilise tormi arenedes.

E-kiht võib ioniseeruda, kui sinna tungivad auroraalsed elektronid. Need osakesed pärinevad magnetosfääri enda seest, mitte otse päikesetuulest, ja neid kiirendatakse kohapeal, minnes elektron-voldi murdosast kuni kümnete kilovoltideni. Nende voog võib olla üsna suur, põhjustades elektronide kokkupõrgetest atmosfääri koostisosadega elektronide tihedusi miljon või rohkem kuupsentimeetri kohta, kõrgusel kümneid kilomeetreid üle 100 km. Virmaliste värvid on tunnistajaks kokkupõrgetest neutraalsete koostisosadega ja tekkinud elektronide tihedused võivad põhjustada signaali neeldumist.

Viimane punkt võib tunduda kummaline, kui vaadata tagasi kõveraid, mis olid antud leheküljel 10. Seal langes suhteline neeldumise efektiivsus elektroni kohta üsna kiiresti üle 100 km. Kuid virmaliste puhul on seal üleval miljoneid elektrone kuupsentimeetri kohta ja isegi kui elektron-neutraalsete kokkupõrgete sagedus üle 100 km on vähem sagedane, tekivad kaod lihtsalt tohutust ionisatsioonist, mis käib koos virmalistega.

Aga kui anda mõned numbrid, siis auroraalset neeldumist kuni umbes 5 dB on leitud riomeetri andmetest 30 MHz galaktilise raadiomüra kohta, mis tuleb vertikaalselt. Kuid see on ainult ühe läbimise jaoks ionosfäärist. Raadioamatööride kommunikatsiooni puhul, näiteks 28 MHz sagedusel, tuleks see kahekordistada täieliku hüppe jaoks, suurendada veelgi 3-4 korda kaldus nurga tõttu teekonnal ja kohandada vastavalt sageduse pöördruut variatsiooni jaoks. Madalamatel sagedustel näitab see viimane kohandus veelgi suuremaid kadusid nendel sagedusaladel. Seega ei tohiks olla üllatav, et auroraalne neeldumine kujutab endast ebasoodsat tegurit raadioamatööride kommunikatsioonis.

Need märkused käsitlesid elektronide tihedust; samuti tuleks tähele panna aurora geomeetriat ja aktiivsust. Geomeetria osas piirdub aurora aktiivsus igal ajahetkel kitsas laiuskraadide vahemikus. (Vt teadustöö märkusi) Kuid see võib ulatuda laiale pikkuskraadide vahemikule ja aktiivsuse tüüp varieerub läänest itta. Õhtutundidel on aurora tavaliselt vaikne ja ei sisalda palju energeetilisi osakesi (ja ionisatsiooni). Kesköö paiku võib aktiivsus järsult suurened, kusjuures näidud vilguvad metsikult pea kohal ja on märkimisväärses liikumises. Selgetest kiirgusstruktuuridest on isegi võimalik märgata, et elektronide sissevool tuleb alla kallutatud magnetvälja joonte. Seejärel muutub aurora hommikutundidel hajusamaks, näitab mõningaid pulseerivaid laike ja rohkem ionosfääri neeldumist, mis on aeglaselt muutuv võrreldes keskööga ja palju suurem kui enne keskööd.

Need märkused käsitlesid elektronide tihedust. Samuti tuleks tähele panna aurora geomeetriat ja aktiivsust. Geomeetria osas piirdub aurora aktiivsus igal ajahetkel kitsas laiuskraadide vahemikus. Kuid see võib ulatuda laiale pikkuskraadide vahemikule ja aktiivsuse tüüp varieerub läänest itta. Õhtutundidel on aurora tavaliselt vaikne ja ei sisalda palju energeetilisi osakesi (ja ionisatsiooni). Kesköö paiku võib aktiivsus järsult suurened, kusjuures nähtused vilguvad metsikult pea kohal ja on märkimisväärses liikumises. Selgetest kiirgusstruktuuridest on isegi võimalik märgata, et elektronide sissevool kulgeb kaldus magnetvälja joonte kaudu. Seejärel muutub aurora hommikutundidel hajusamaks, näitab mõningaid pulseerivaid laike ja rohkem ionosfääri neeldumist, mis on aeglaselt muutuv võrreldes keskööga ja palju suurem kui enne keskööd.

Kõrgsagedussignaaliid, mis läbivad auroraalset piirkonda, näitavad tegevusele iseloomulikke mõjusid – stabiilsed signaaliid, mis liiguvad kohalikul õhtul, märkimisväärne kiire neeldumine ja värelus liikuvatest ionisatsioonipiirkondadest kohaliku kesköö paiku ning kohaliku hommiku paiku lihtsalt tugev neeldumine. Muidugi tuleb kõiki neid ideid leevendada kaasatud sagedusega, kusjuures 160 meetril on hävitav neeldumine ja võimalikud auroraalpeegeldused kõrgemal LL sagedusalas.

Kõrgetel laiuskraadidel esinevad magnetilised häired, mis kaasnevad auroraaga, annavad kvalitatiivse mõõtmel magnetosfäärile päikesetuule mõjul sisestatud energia kohta. Tänapäeval saab NOAA satelliidiandmetest vaadata energia sisendi numbrilisi väärtusi kuni 25 keV energiaga auroraalsete elektronide sissevoolu kohta. Need numbrid võivad olla üsna suured, ulatudes 1 kuni 500 gigavatini ühe poolkera kohta. Sellised sissevoolud võivad avaldada sügavat mõju, auroraal kuumenemist ja magnetilist aktiivsust. Kuid meie huvi on ainult sidega seotud, seega peame uurima, kui sageli need sündmused esinevad ja kas neid saab ette näha.

NOAA poolt hiljuti avaldatud andmed annavad ülevaate magnetilise tormi aktiivsusest päikesetsükli 17-22 jooksul, et anda aimu, kuidas magnetilise aktiivsuse tase võib muutuda aasta-aastalt tsükli 23 jooksul. Nüüd, kui tegemist on magnetilise aktiivsusega, kasutatakse indekseid, et iseloomustada, milline on häirete tase (vaiksetest tingimustest), näiteks 3-tunnise perioodi või päeva keskmisena. Selleks on valitud hulk observatooriume, mis pakuvad andmeid planeetaarkeskmete arvutamiseks. Tegelikud andmekogumid on normaliseeritud ühiste skaalade järgi, 3-tunnise Kp-indeksi puhul 0 kuni 9 ja ööpäevase Ap-indeksi puhul 0 kuni 400.

Üks võimalus nende andmete saamiseks on internetist ning nende salvestamine, et jälgida, kas esineb kordumise tendentse. Tõepoolest, selliseid tendentse leidub ning Ap indekseid logimine on üks viis ennustada võimalikke häireid, mis tulenevad Maa ümber liikuvatest pikaajalistest päikesevoogudest või stabiilsetest aktiivsetest piirkondadest, mis on suurenenud ioniseeriva kiirguse taseme allikaks.

Magnetiliste tormide aktiivsust kategoriseeritakse Ap väärtuste alusel, kusjuures väiksemad tormid vastavad Ap taseme tõusule, tegelikud tormid vastavad Ap väärtusele üle 40 ja rasked tormid, kui Ap on üle 100. Selles kontekstis oli 3. mai 1998. aasta tormi Ap väärtus 112, samas kui kõigi aegade suurim torm registreeriti septembris 1941 ja selle Ap väärtus oli 312! Sarnaselt märtsis '89 toimunud tormile, mis jättis Quebeci provintsi päevaks pimedusse, mõjutas see torm kirdeosa elektrivõrku. Tänapäeval on energeetikatööstus teadlik magnetiliste tormide probleemist ja püüab probleeme ennetada, saades satelliitidelt päikesetuule andmeid, mis asuvad maast eespool ja päikesetuules.

Igatahes, nii väikesed kui ka suured tormid mõjutavad LL levi tundide kaupa või terve päeva, halvendades F-kihi ionisatsiooni. Kuid tugevad tormid võivad muuta sagedusalad päevadeks tühjaks kõrbeks. Levi ei taastu enne, kui aeglased fotoionisatsiooni protsessid F-kihi elektronid uuesti asendavad.

Nagu võite arvata, on magnetiliste tormide mõju suurim kõrgematel laiuskraadidel ja kõrgematel sagedustel. Sidepidamiseks mis tahes kaugusele tähendab erinevus pikkuskraadides, et suur-ringtee sidetrassid suunduvad tavaliselt põhja poole ja on seetõttu magnetilise aktiivsuse ajal ohus. Lühikese vahemaa suhtluse puhul ei ole see nii halb, kuna võimaluste aknad võivad olla üsna laiad. Kuid pikkade vahemaaade puhul ei ole see nii; seal avaneb sidetrass koos F-piirkonna kriitilise sageduse tõusuga päikesetõusul ja sulgub varsti pärast seda, kui D-piirkonna neeldumine madalamatel kõrgustel suureneb. Lühidalt, kui antud päeval võimalus kaob, tuleb oodata teist päeva ja uuesti proovida. Kuid olles veetnud palju toredaid tunde pikkade vahemaaade kontaktide otsingul, võin öelda, et see on seda väärt.

Pöördudes prognooside pikemate vahemike juurde, siis hiljutine NOAA ennustus magnetitormilisuse kohta tsükli 23 jooksul on näidatud allpool:

Tsükkel 23	Magnetitormid		
	Nõrk	Kesk	Tugev
1997	12	4	1
1998	15	7	2
1999	24	17	4
2000	29	18	3
2001	26	11	3
2002	30	23	5
2003	33	16	3

2004	34	12	2
2005	42	17	2
2006	34	6	1
2007	15	4	1

Arvestades seda prognoosi, võib oodata, et tormide aktiivsus tõuseb tsükli 23 kuuendaks aastaks (2002) umbes kahe tormini kuus. See ei ole hea väljavaade, kuid prognoosides on ebakindlust, nii et võib loota vähemale ja vaadata, mis juhtub.

10,7 cm päikesekiirguse voog on näitaja aktiivsetest piirkondadest päikesekettal ja see on väärtus, mida tasub logida. Tsükli alguses hakkavad ilmuma uued aktiivsed piirkonnad, kuid hiljem, eriti päikesemaksimumi ajal, on mõned piirkonnad üsna stabiilsed. Teadmine, millal voog võib uuesti tippu jõuda, on DX-eritele väga kasulik.

Magnetilise aktiivsuse päritolu erineb kogu päikesetsükli vältel, kusjuures tsükli varajases osas esineb rohkem juhuslikke koronamassi purskeid, mis põhjustavad päikesetuule plahvatusi, mis tabavad magnetosfääri. Seevastu tsükli hilisem osa on iseloomulik kiiretele voogudele, mis pärinevad koronaalaukudest, mis mööduvad Maast. Need võivad kesta kaua, mistõttu magnetilise aktiivsuse jälgimine, näiteks Boulder A-indeksi abil mitme päikesetsükli jooksul, on hea mõte, mis võimaldab vältida tugeva magnetilise aktiivsuse aegu.

Tugeva magnetilise aktiivsuse üks aspekt on virmaliste kuvade laienemine ekvaatori suunas, mis on seotud magnetvälja joonte kaotamisega magnetosfääri esiosast magnetosfääri sabasse. Leviku seisukohalt põhjustab see polaaraladel väga madalaid maksimaalseid kasutussagedusi (MUF). Kuid sellega kaasneb ka polaarala laienemine, mis võib põhjustada tugevat ja pikaajalist ionosfääri neeldumist. Selline olukord on seotud Päikeselt pärit prootoni sündmustega, mida tuntakse kui polaarala neeldumist (PCA). Need sündmused erinevad märkimisväärselt virmaliste neeldumise (AA) sündmustest, kuid mõlemad võivad esineda samal ajal. Need sündmused on meie järgmine aruteluteema.

Geomagnetilised tormid ja virmalised

Oleme nüüd jõudnud levi häireteni, nendesse tülikatesse nähtustesse, mis võivad meid vaevata, mõnikord isegi ilma, et me seda teaksime. Viimane teema oli magnetitormid ja virmalised. Need esindavad vastavalt F- ja E-kihtide häireid.

Magnetitormide mõju võib olla globaalne selles mõttes, et ionosfääri elektronid eemaldatakse magnetvälja jõujoontelt, alandades maksimaalseid kasutatavaid sagedusi (MUF) pikkadel vahemaadel. Suurim häiring ionosfääris toimub polaaraladel, kuna just seal on jõujooned kõige suuremas ohus. Taastumine magnetitormidest on aeglane protsess, kus F-kihi elektronide taastäiendamine toimub päikesevalguse abil – aeglane ja vaevuline protsess, mis võib pärast tugevat tormi kesta päevi.

Aurora mõju on iseenesest palju lokaalsem selles mõttes, et suurenenud ionisatsioon on piiratud nende magnetvälja jõujoontega, mis juhivad allapoole liikuvaid aurora elektrone. Kui ei ole tegu täiemahulise magnetitormiga, kipuvad mõjud olema lühiajalised, kestes minuteid või tunde, ning kui aurora lõpeb, toimub see suhteliselt kiiresti. Põhimõtteliselt seisneb probleem selles, et ionisatsioonis osalevad elektronid peavad rekombineeruma positiivsete ioonidega, mis tekkisid energeetiliste aurora elektronide sissevoolu tagajärjel.

Aga nüüd jõuame Päikeselt lähtuvate prootonisündmusteni. Need mõjutavad D-kihti ja pärinevad Päikeselt, kus prootonid ja teised osakesed kiirenevad energiateni, mis ulatuvad miljonite, mõnikord isegi miljardite elektronvoltide (MeV või BeV) tasemele. Päikesel kiirenevate prootonite energiad on seetõttu kõrged, vastupidiselt virmaliste elektronidele, mis kiirenevad kohapeal magnetosfääris, ulatudes kümnete kiloelektronvoltide tasemeni. Prootonid kiirenevad seoses teatud päikesepursetega ja võivad seejärel sündmuskohalt lahkuda, läbides nii Päikese kui ka planeetidevahelise välja.

Interplanetaarne väli osutab üldiselt kas Päikese suunas või sellest eemale ning prootonite liikumine sõltub sellest, kuivõrd nad liiguvad mööda välisjooni või risti nendega, kui nad Päikesest eemalduvad. Kuid interplanetaarne väli ei ole nii hästi korrastatud nagu Maa lähedal asuv geomagnetväli, mistõttu prootonid hajuvad selles piirkonnas ja nende liikumine sõltub nende impulsist või nende trajektoori kõverusraadiusest. Mida suurema energiaga prootonid on, seda suuremad on nende kõverusraadiused, võrreldes välja muutuste mastaabiga, seega liiguvad need prootonid sirgjoonelisematel radadel. Teisalt, väiksema energiaga prootonitel on väiksemad kõverusraadiused väljas ning nende liikumine sarnaneb rohkem difusioonile, kus nad hajuvad interplanetaarses väljas.

See kõik tähendab seda, et kõrge energiaga prootonid lahkuvad Päikese lähedalt kiiremini ja nende mõju avaldub kiiremini, kuigi lühiajaliselt. Madala energiaga prootonid seevastu hajuvad aeglasemalt läbi välja ja nende mõju kestab kauem. Siiski ei tohiks unustada, et ka kiirendusprotsessi kestus on oluline. Üldiselt arvatakse, et see kestab sama kaua kui päikesepurske protsess ise, kuid see võib olla lühike, kestes minuteid, või pikem, ulatudes tundidesse.

Teine viis sama asja seletamiseks on, et kui leekpiirkond asub Päikese ketta idapoolses osas, peavad Maa suunas liikuvad päikeseprootonid liikuma läbi magnetvälja jõujoonte, mis on nende trajektoori suhtes enam-vähem risti. See on aeglasem protsess ning prootoneid võib magnetväljas kinni hoida ajaperioodiks, mis on palju pikem kui kiirendusprotsess, mis neid käivitas. Näiteks oli mul kogemus ühe idaserva sündmusega augustis '79, kus päikeseprootonid jõudsid lõpuks Maa ionosfääri 18 tundi pärast leeki! Vapustav, difusioon? Jah!

Teiselt poolt saadavad läänepoolkera plahvatuskohad Päikese pinnal prootoneid välja väljadele, mis jäävad üldiselt pöörleva päikese taha ja me saame justkui "pritsitud" piki välisjooni liikuvaid prootoneid. Seda nimetatakse "aia vooliku" efektiks. Suur Päikese plahvatuse sündmus 23. veebruaril 1956 oli selle kohta hea näide, kus läänepoolkera plahvatusest oli osakeste liikumisaeg mõõdetav minutitega. Need olid relatiivsed osakesed ja nii suure energiaga (üle 10 BeV), et nad tungisid maapinnani isegi magnetilisel ekvaatoril! Olin seal, nägin seda!

Aga millised on nende mõjud? Arvestades eelmist lõiku, võib eeldada, et Maa prootonipommitamise kestus sõltub päikesepurske asukohast. See on üks levimisvihje, mida NOAA iga päikesepurske teatamisega pakub – kaasatud päikesepikkuskraad. Seega on huvipakkuvaks teguriks, kas purse asub keskmeridiaanist idas või läänes.

Aga prootonite mõju sõltub nende voost ehk prootonite arvust ruutsentimeetri kohta sekundis ja prootonite energiast. Madala vooga ja madala energiaga Päikeselt pärinevad prootonisündmused olid vaid oletus kuni kosmoseajastuni, kuid tänapäeval tuvastavad neid satelliidid ning andmeid saab vaadata NOAA veebisaidil. Suurema voo ja kõrgema energiaga sündmused võivad aga tungida läbi Maa magnetvälja ja jõuda ionosfääri, atmosfääri ning harvadel juhtudel ka maapinnani.

Meie huvi on muidugi ionosfääriliste mõjude vastu, ja kuna prootonid on energeetilised laetud osakesed, jätavad nad atmosfääri läbides maha ionisatsiooni jälje. Jälje ulatus sõltub prootonite suhtelisest arvust erinevates energiavahemikes – umbes 1 MeV, umbes 10 MeV, ligi 100 MeV ja rohkemgi. Kuid üldiselt, kuna prootonid on nii energeetilised kui ka massiivsed osakesed võrreldes nõrkade virmaliste elektronidega, tungivad prootonid sügavamale ionosfääri (kui nad geomagnetväljast üldse läbi pääsevad) ja suur ionisatsioon nende füüsiliste vahemike lõpus võib põhjustada signaalide suurt ionosfäärilist neeldumist, kuna D-kihi sügavuses on suurem elektronide ja neutraalsete osakeste kokkupõrke määr.

Selleks, et Päikeselt pärit prootonid jõuaksid alla ionosfääri, peavad nad esmalt sisenema Maa geomagnetvälja magnetopausi juures ja järgima seejärel jõujooni vastavalt oma impulsile. Praegune arusaam nendest protsessidest on teravas kontrastis ionosfääriuurimise algusaegadega. Tol ajal võeti Maa magnetvälja dipoolmudel standardiks ja kõik arutelud Päikeselt pärinevate prootonite mõju kohta põhinesid Norra aurora-füüsiku Carl Stoermeri töödel. Tookord arvati, et prootonid sorteeritakse välja vastavalt nende impulsile (või energiale) ja et energiakünnis varieerus vastavalt laiuskraadile. Kuid Rahvusvahelise Geofüüsika Aasta (IGY) ajal olukord muutus; riomeetrite kasutamine, mis mõõtsid ionosfääri neeldumist prootonite tõttu, näitas, et energiakünnise idee oli vale ja polaarala oli täiesti avatud, täis madala energiaga prootoneid, mis jõudsid auroraalpiirkondadeni, kus energiakünnis pidi olema 100 MeV. See oli üks esimesi vihjeid, et Maa magnetväli ei ole dipoolne; hiljem tegid satelliitide magnetomeetrite mõõtmised lõpliku selguse, kirjeldades magnetvälja konfiguratsiooni, mida ma eespool visandasin.

Suurte polaaralade katmine Päikeselt pärinevate prootonitega on teravas kontrastis auroraalvööndite kitsama laiuskraadilise katvusega, mida põhjustavad energeetilised elektronid. Lisaks sellele on erinevused neeldumistasemetes: Päikeselt pärinevate prootonite puhul võib see ulatuda kümnetesse detsibellidesse 30 MHz sagedusel, võrreldes auroraalsete elektronide mõne detsibelliga. Kokkuvõttes võivad ionosfääri jõudvad Päikeselt pärinevad prootonisündmused, niinimetatud polaaralade neeldumissündmused (PCA) olla hävitavad kõrgetel laiuskraadidel levivate raadiolainete jaoks.

Kuid PCAdes (polaaralade ionosfääri häired) on veel mõned aspektid, millele mõelda. Näiteks, on üks asi Päikesest pärinevate prootonite juurdepääs polaaralale, kuid on leitud, et Päikesest pärinevad prootonid võivad pääseda magnetosfääri ka läbi magnetosaba. Samuti ei ole Päikesest pärinevate prootonite juurdepääs mõlemale polaaralale alati võrdne, nagu on näha satelliitide andmetest. Seega võivad kahe polaarala ionosfääri aruanded olla erinevad, sõltuvalt päikesevalgusest kummalgi alal ja prootonite juurdepääsust. Kõik see teeb levi huvitavaks ja segaseks!

Kui rääkida amatöörraadio levist, on olemas leviefekt, mis võib varjata ligipääsu polaaraladele. Siin viitan asjaolule, et ionosfääri neeldumine väheneb pimeduses – neeldumise dB väheneb umbes 5 korda. Põhjuseks on see, et Päikese prootonite poolt tekitatud elektronid võivad kinnituda hapniku molekulidele ja moodustada negatiivseid ioone. Negatiivsed ioonid on nii massiivsed, et nad ei osale neeldumisprotsessis. Seega on neeldumine pimedal polaaralal, öösel või talvel, väiksem ja seda võib tõlgendada kui madalat prootonivoogu.

Elektronid, mis on seotud negatiivsetesse ioonidesse, vabanevad, kui päikesevalgus taastub D-kihti. See kehtib prootonisündmuste korral, kuid mitte auroraalsete elektronisündmuste puhul, kus ionisatsioon toimub palju kõrgematel kõrgustel ja elektronide eraldumine toimub kokkupõrgetes aatomhapnikuga, mida leidub ohtralt üle 100 km kõrgusel. Seega auroraalsed absorptsioonisündmused (AA) ei näita päev/öö efekti nagu PCA sündmused.

Kokkuvõttes ja asju perspektiivi paigutades: virmaliste neeldumisahtused on ajaliselt ja ruumiliselt piiratud ning esinevad magnetiliste häirete ajal, olgu need suured või väikesed. Polaarmütsi neeldumine katab laia ulatusega laiuskraadid, kogu polaarmütsi ning võib kesta päevi pärast mõningaid päikesepurskeid. Ja ionosfääri neeldumine on suur, mis teeb polaarmütsi neeldumistest tõsise ohu amatöörraadiosidele. Kui polaarmüts magnetstormi hilisfaasis laieneb, võivad Päikeselt pärinevad prootonid jõuda palju madalamatele laiuskraadidele ja avaldada veelgi suuremat mõju meie kõrgsagedusliku (LL) levi tingimustele.

PCAdel ilu, kui seda nii võiks nimetada, seisneb selles, et need on suhteliselt harvad. Tegelik oht amatöörradio sidele tuleneb päikesetuule mõjust, seega ütleksin, et magnetstormid on see, mida tuleks tähele panna. K- ja A-indeksi logimine aitab tuvastada võimalikke kordusi ning igapäevane kontrollimine, mis iganes meetoditega võimalik, on vajalik. Magnetstormid on suurim oht meie rahule ja vaikusele; selle, mida Päike annab kõrgemate kriitiliste sageduste näol UV-kiirguse kaudu, võib päikesetuule puhang, mis käivitab väikese või suure magnetstormi, hetkega ära võtta.

Seega, jälgi või logi magnetindekseid; need on võtmetähtsusega edukaks sidepidamiseks kõrgematel laiuskraadidel! Aga kui kõrgemad laiuskraadid on häiritud, proovi teisi suundi, näiteks üle ekvaatori. See on üsna ohutu, kuna sealsetel magnetvälja joonetel on päikesetuule hävitava mõju eest kaitse. Samuti leidub seal palju haruldasi DXsid, mis teeb asja huvitavamaks.

See on lõpp-punkt ja aeg lõpetada arutelu. See peaks jagunema kaheks osaks: teoreetiline osa, mida võrdleme eksperimentaalse osaga. Teooria osas oleks kõige üldisem arutelu selline, mis kasutab kiirte jälgimist koos parima saadaoleva ionosfääri ja geomagnetvälja mudeliga. Seda on lihtne öelda, kuid nagu tead, on sõnu lihtne öelda. Vaatame, kuidas seda tehakse ja mida see meile tähendab. Seejärel võime liikuda eksperimentaalse osa juurde.

Appletoni magneto-iooniline teooria

Nüüd võib see kõlada kummaliselt, kuid mainitud magneto-iooniline teooria on täielikult sõnastatud sageduste kaudu. Ilmselgelt on töösagedus (QRG) kõige olulisem. Kuid lisaks sellele on kolm muud sagedust; nende suhe töösagedusega määrab levimise eripärad.

Esimene sagedus on **plasma sagedus**, mis antud ionosfääri kohas väljendab elektronide tihedust. Plasma sagedused madalamas ionosfääris suurenevad kõrgusega kuni F-kihi tipuni ning vähenevad laiuskraadide kasvades pooluste suunas. Lisaks sõltuvad need keerukalt Maa magnetväljast ja päikesevalgusest. Kuid signaalide ohjeldamiseks (mitte läbimiseks ionosfääri ülemistesse kihtidesse) peab nende efektiivne vertikaalne sagedus (EVF) olema madalam kui plasma sagedus F-kihi tipus.

Teine sagedus on **põrkesagedus F_c** elektronide ja neutraalsete osakeste vahel. Nagu teate, määrab F_c ionosfäärilise neeldumise, mis on suurim (< 2 MHz piirkonnas) madalamas ionosfääris. Oluline on võrrelda töösagedust QRG ja F_c . Kui QRG $>> F_c$, siis pole ionosfääriline neeldumine oluline. Hea näide on 10-meetri riba. Kuid plasma sagedus ja päikesevalguse mõju trassil jäävad olulisteks.

Kolmas sagedus on elektronide **gürosagedus F_g** – elektroni tiirlemise sagedus mööda kohalikke magnetvälja jooni. Maa magnetvälja korral jääb see vahemikku 0,6–1,6 MHz (ekvaatorilt poolusteni). QRG ja F_g võrdlus muutub kriitiliseks 160-meetrisel ribal, kus 1,8 MHz on sarnane F_g

väärtustele trassil. Geomagnetvälja arvestamine ionosfääriteoorias on oluline ega tohi seda levimist analüüsides unustada.

Enne nende juurde jõudmist tuleb märkida, et senistes aruteludes on geomagnetilisi mõjusid peaaegu ignoreeritud. Tõsi, mainiti, et Maa väli takistab elektronide lahkumist ionosfäärist, kuid see oli peamine. Seega on amatööride jaoks teooria lihtne: madalamatel ribadel esineb ionosfäärilist neeldumist, muidu on RF lineaarselt polariseerunud (sõltuvalt antennist). Kuid Appletoni üldistatud teooria, mis sisaldas geomagnetvälja, muutis kõike. Tulemused pole rasked saavutada, kuid raskesti mõistetavad vana teooria tõttu. Vaatame mõnda neist:

Esiteks sõltub levimine laine suunast magnetvälja suhtes. Enamikule amatööridest on see uus idee – üldisemas teoorias on RF-lained elliptiliselt polariseerunud, sõltuvalt levimissuunast. Kujutlege lainet, mille elektrivälja vektor keerleb levimissuuna ümber, joonistades ellipsi.

Lisaks on kaks lainetüüpi (**tavalised** ja **ekstraordinaarsed**), mis levivad erineva kiirusega ja neelduvad erinevalt (mäletate pörkesagedust F_c ?).

Polarisatsioonid lihtsustuvad, kui laine levib piki või risti magnetväljaga. Ka "kvaasipikisuunalised" ja "kvaasiristsuunalised" juhtumid muudavad elliptilised lained peaaegu ringikujuliseks või lineaarseks, tehes teooria kergemini mõistetavaks.

See on lühikokkuvõtte RF-st, kui QRG on võrreldav elektronide gürosagedusega ($\sim 1,8$ MHz). Lisandub polarisatsiooni mitesobivus D-kihi alumises osas, mis põhjustab energia kadusid madalamatel sagedustel. Samuti neeldub ekstraordinaarne laine tugevamini, suurendades võimsuskadusid.

Appletoni teooria näitas, et ionosfääri elektronide käitumine RF-i ja magnetvälja mõjul võimaldab lainete juhtimist (ducting) elektronitiheduse gradientide abil.

Faraday pööre – lineaarne polarisatsioon pöörleb, kuna kaks vastassuunas ringpolariseerunud lainet liiguvad erineva kiirusega. See efekt on oluline ULLs, kuid madalamatel sagedustel domineerib ainult üks laine tüüp.

Eksperimentaalsed aspektid hõlmavad geomagnetvälja, neutraalset atmosfääri, päikese mõju ionosfäärile ja päikesetuult. Need on seotud süsteemid, mistõttu tuleb arvestada kõigi teguritega.

Tänapäeval kasutatakse arvutimudeleid, näiteks **Rahvusvaheline Geomagneetiline Võrdlusväli (IGRF)** ja **Rahvusvaheline Võrdlusionosfäär (IRI-2001)**, saadaval Leicesteri Ülikooli ja NSSDC veebilehtedel). Need integreeritakse tarkvarasse nagu PropLab Pro või DXAtlas.

Levikuprognoosid peavad arvestama kriitiliste sageduste, geomagnetiliste tingimuste ja erakordse ionisatsiooniga (nt päikeseprootonid). NOAA veebilehed ja kaardistusvahendid on väärtuslikud.

Näitena: 8.–14. november 1998 oli magnetiliselt aktiivne (A-indeksid: P 68, E 78, T 6, K 4, N 4, R 60, L 38). Päikesepuhatus põhjustas 14. novembril prootonisündmuse (300 p.f.u.), mis mõjutas ionosfääri. Ilma selliste andmeteta oleks prognoosid ebarealistlikud.

Kokkuvõtteks – edukaks DX-imiseks tuleb jälgida kõiki häireid, kasutada usaldusväärseid andmeallikaid ja olla valmis proovima ka ebasoodsatel tingimustel. Nagu suur mees ütles: "See on kõik, inimesed!"

73,

Bob Brown, NM7M, 1998.