

HARRASTERADIOASTRONOMIAA

URSALO

6.11.2014

Janne Peltonen

TAIVAAN RADIOLÄHTEET

- Taivaankappaleet
 - Aurinko
 - Kuu
 - Jupiter
- Galaksin keskusta
 - Sagittarius_A, musta aukko keskellä
- Supernovajäänteet
 - Cassiopeia_A
 - Taurus_A/Rapsumu
- Tähtien muodostumisalueet (star forming region)
 - Vetykaasupilvet
 - Linnunrata
- Radiogalaksit / kvasaarit
 - Säteileviä galaksin keskustoja
 - 3C273, Virgo
- Pulsarit
 - Nopeasti pyöriviä neutronitähtiä
 - Liian vaimeita ja haasteellisia harrastelijoille havaita
 - Havaitseminen vaatii ison antennin ~25m
- Kosminen taustasäteily
 - Mustan kappaleen spektri 2.73K

HAVAINNOMENETELMIÄ RADIOTAAJUUDELLA

- Radiometriset mittaukset aikatasossa (continuum)
 - Mitataan RF-tehoa sopivalla taajuuskaistalla
 - Jatkuva mittaus
 - Hyvin pitkät integrointiajat → useita sekunteja tai minuutteja
 - Hyvin pienet signaalit havaittavissa → esim. 0.025dB:n signaaleja voi mitata
 - Signaalit voivat olla olennaisesti “pohjakohinan” alapuolella ($P_{sig} \ll P_{rx}$)
- Spektrimittauksia taajuustasossa (H-line)
 - Vedyn spektriviiva taajuudella 1420.405MHz
 - Nykyään melko helppoa toteuttaa tietokoneiden avulla
 - RF:n näytteistys IQ-dataksi (kompleksinen signaalidata)
 - FFT:n (Fourierin muunnoksen) laskenta tietokoneessa → aikatasosta taajuustasoon
 - FFT voidaan laskea reaaliajassa nykyisillä koneilla laajakaistaisesti $\sim Bw=40\text{MHz}$
 - Spektriviivan kohdalla/taajuudella havaittavaa tehoa on enemmän kuin “normaalilla” continuum taajuudella
 - Spektriin tulee piikki esim. vedyn emissiotaajuudella
 - Spektripiikin paikasta voi päätellä kohteen suhteellisen nopeuden (doppler)

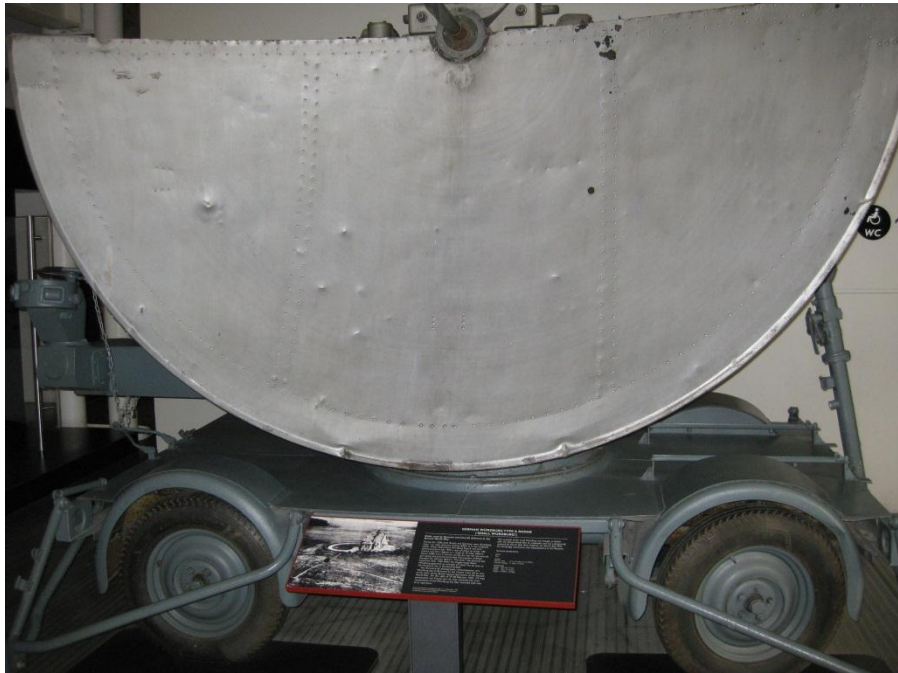
HAVAINTOVÄLINE

- Peilikärky
 - Hinattava laite
 - Kierrätystavarasta
 - Tietokoneohjaus
 - Antenni: 4m peili



PEILIKÄRRYN RAKENTAMINEN

- Esikuvana saksalainen sodanaikainen tutkavaunu "FuMG 62"
 - peili 3 m
 - taajuus ~550 MHz
 - teho 7..11 kW
 - kantama noin 29 km



PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Kolmivaihemoottorit kääntöä varten
 - AZ-EL -tyyppinen jalusta
 - Moottorin ohjaus taajuusmuuttajilla
 - Vaihteet ja moottorit kierrätysromusta
- Antennin suunta mitataan inkrementtiantureilla
 - Anturit suoraan akseleilla
 - 7200 pulssia/kierros → 0.05 astetta/pulssi
 - Suuntalaskurit toteutettu Xilinx FPGA piirillä ja VHDL:llä
 - AZ-EL -laskurien nollaus (3. kanava)
- Kohteen paikan laskenta tietokoneella
 - Kääntötietokoneena nykyään Raspberry-PI
 - Ephem -ohjelma laskee kohteen paikan tiedostoon
 - Kääntöohjelma kääntää peilin tietokoneen laskemaan suuntaan
 - Kääntö voidaan tehdä esimerkiksi muutaman minuutin välein
 - Suunnan kalibrointi tapahtuu helpoiten Auringon avulla
 - Syötön varjo säädetään käsin keskelle peiliä ja offsetit nollataan

PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Moottorit



PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Anturit



PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Kääntötietokone (alkuperäinen systeemi)



PEILIKÄRRYN TEKNIikka

- Peili 4m halkaisija
- Taajuusalue 1GHz..10GHz
- Vahvistus @1.3GHz 33dBi =2000x

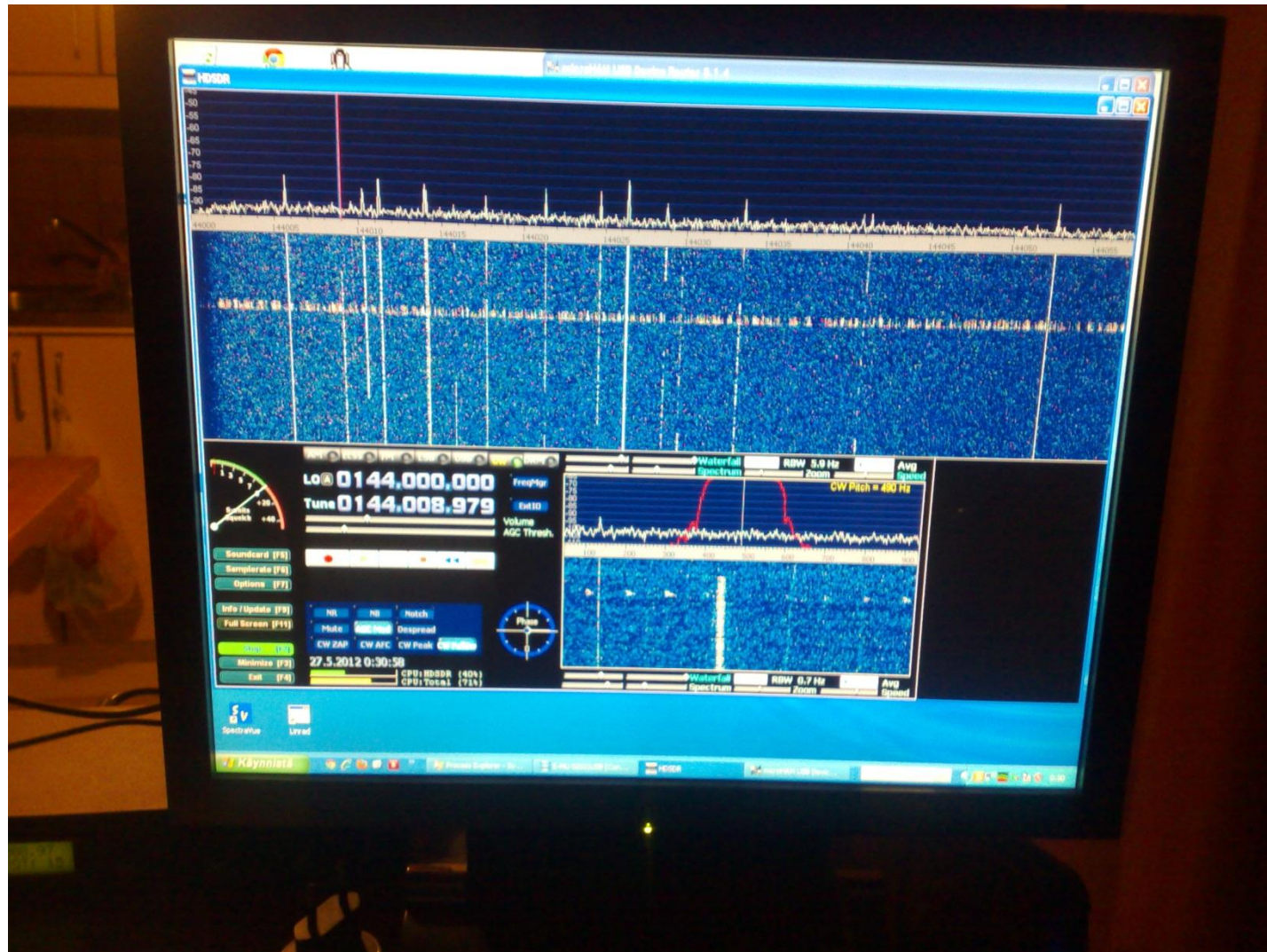


KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- Peilikärryn varsinainen käyttötarkoitus on kuuheijastusyhteyksien pitäminen radioamatööritaajuuksilla
- Taajuudet (Peilikärryssä käytetyt)
 - 1296 MHz (23cm)
 - 2304 MHz, 2320MHz (13cm)
 - 3400 MHz (9cm)
- Lähetystehot noin 150W → Säteilytehoa yli 1MW (3.4GHz)
- Signaalin kaiku Kuusta kuultavissa → Yhteyden pito Kuun kautta mahdollista alueelle, jossa Kuu näkyy samaan aikaan (=noin puolet Maasta kerrallaan)
- Signaalin viive noin 2.8 sekuntia → oman kaiun ehtii hyvin kuulla (TX-RX -vaihtoaika)
- Suuntauksen on oltava tarkka
 - 23cm keilan leveys +/- 2 astetta (-3dB)
 - 13 cm keilan leveys +/- 1.1 astetta (-3dB)
 - 9cm keilan leveys +/-0.75 astetta (-3dB)
- Dopplerkorjaus on tarpeellinen
 - Tietokone laskee dopplerin
 - Dopplerin määrä voi olla luokkaa 10kHz

KUUHEIJASTUS YHTEYDET (EME)

- EME -signaaleja ruudulla



KUUHEIJASTUSYHTEYDET (EME)

- Logi EME -yhteyksistä

26.5.2012 OHØ/OH3TR		KÄRINGSUND RESORT & CONFERENCE	
OK1DFC	U2 ES	OK2DL	
	37B	VJ SV1BTR	
1107	SV1BTR	559	549
22	OK2DL	R559	559
			-GNVE
10/40	LZLus	R559	559R
			-2dq
1214	PA3CSG	559	559
			-2dq
1210	OK1DFC	559	559 ¹
1225	SP7dca	559	569
			-2dq
1240	DL3EBJ	539	559
1257	UA3PTW	559	569
1259	JAGAHB	559	569
1304	RA3YF	559	559
			-GNUG
1312	PA3DZL	539	0/559
			-11-
1321	PA3FXD M	559	
			-11-
1335	RA3AUB	569	579
			-11-
1404	I1NDP	579	579
			-11-
1424	F5SE/P	559	569
1432	SM7FWZ	559	559
1437	G4CEH	579	589
1442	OK1KIR	559	559
1448	SP6JLW	579	589

OHØ/OH3TR 26.5.2012		KÄRINGSUND RESORT & CONFERENCE	
1453	HB9SV	579	579
1500	SM6FHZ	539	559
1517	SD3F	559	569
1523	OK1CS	539	559
	HB6F		
1548	UA3PTW	569	559
2028	K2UYH	559	559
2044	N2UO	559	559
2105	N4PZ	559	569
2126	G3LTF	559	559
2140	ES5PK	539	559

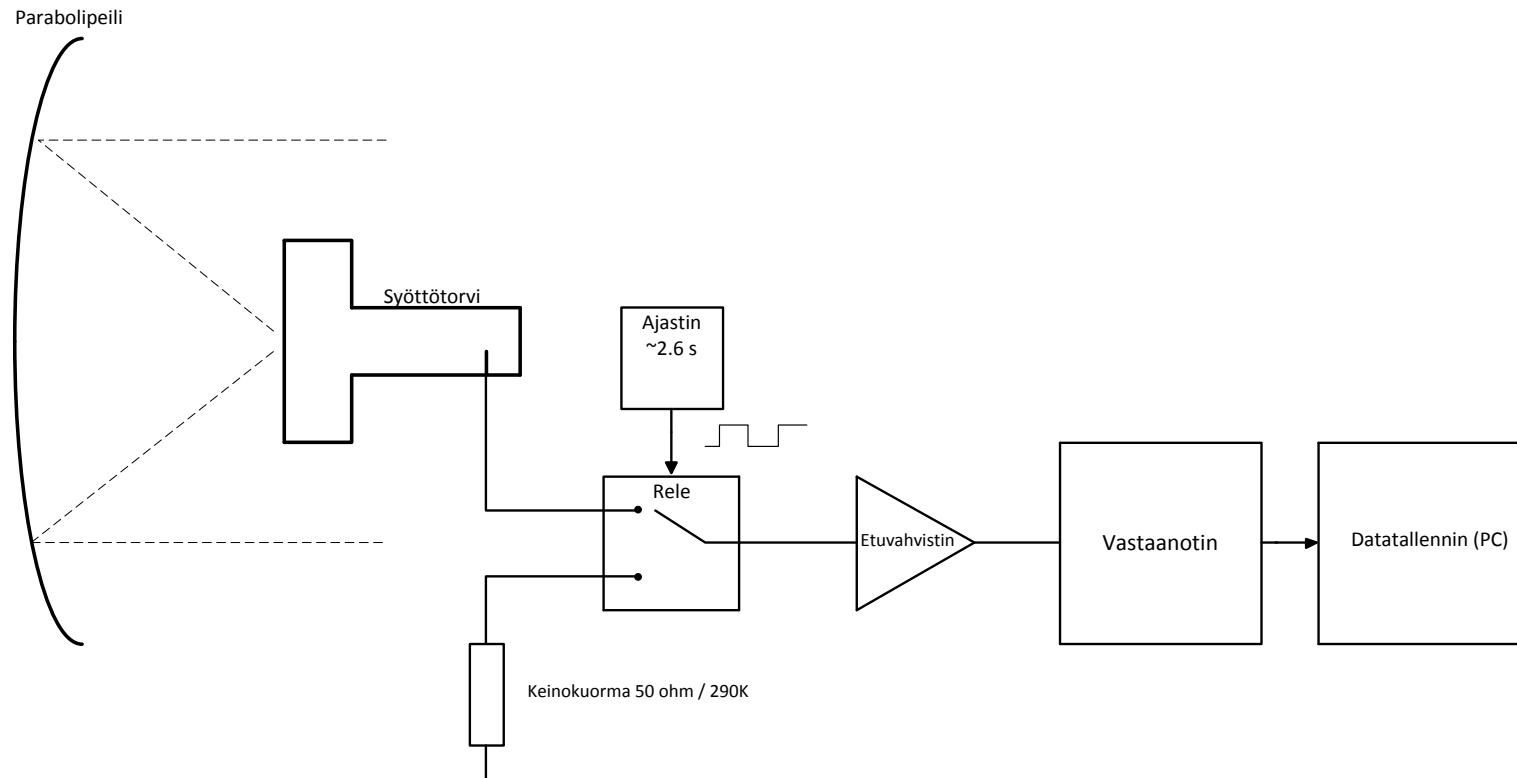
Käringsundsv. 194 FIN 22270 ECKERÖ ÅLAND	+ 358 18 38 000 info@karingsund.ax www.karingsund.ax	ÅAB: 660100-1032564 PG: 2 3902-0 FO-nummer: 2017542-2
Käringsundsv. 194 FIN 22270 ECKERÖ ÅLAND	+ 358 18 38 000 info@karingsund.ax www.karingsund.ax	ÅAB: 660100-1032564 PG: 2 3902-0 FO-nummer: 2017542-2

RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Continuumi mittauksia 1296MHz taajuudella
- Radiometri
- Käytännössä kyseessä on kohinatehon mittaus aikatasossa
- Mittausaika noin 40min/mittaus
- Kohinatehoa mitattiin tiedostoon n. 2Gt
- Kohinasta lasketaan ns. Y-kerroin
- Y-kerroinmittaus vertaa referenssin kohinatehoa antennista tulevaan kohinatehoon
- Vahvistus voidaan säätää suureksi → iso herkkyys
- Laskenta jälkikäteen tietokoneella
- Kiinteä antennin suuntaus ennakkolla (~20 min ennakkoa)
- Maan pyöriminen tuo kohteen antennin keilaan mittauksen aikana

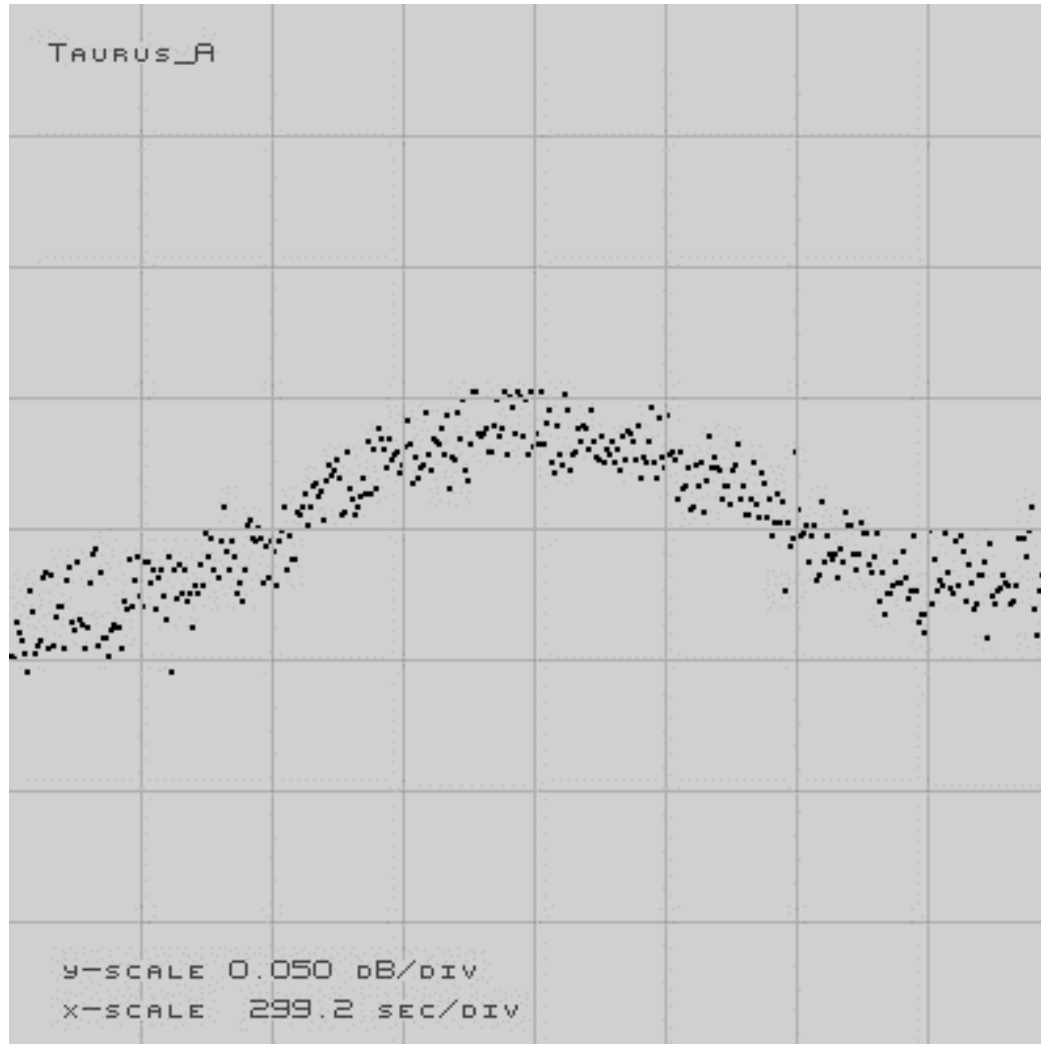
RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Dicken radiometri
- Keinokuorma referenssinä 290K
- Taivaan kohinalämpötila pienempi kuin referenssin ($T_{\text{sky}} \sim 5\text{K}@1296\text{MHz}$)
- Y-kerroin noin 6 dB:tä
- Vastaanottimena edullinen USB-SDR-tikku (Funcube Dongle pro+)



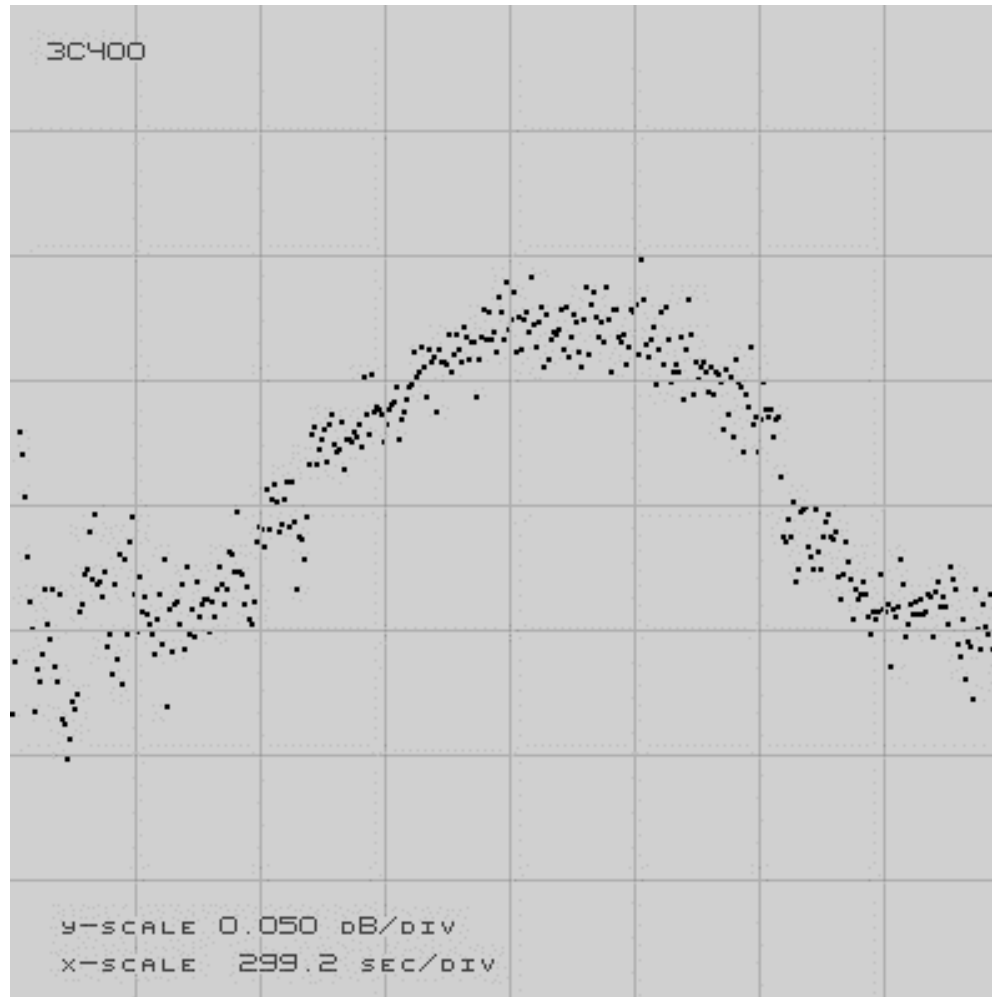
RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Taurus_A=Rapsumu=M1=NGC1952=3C144
- Supernovajäänne



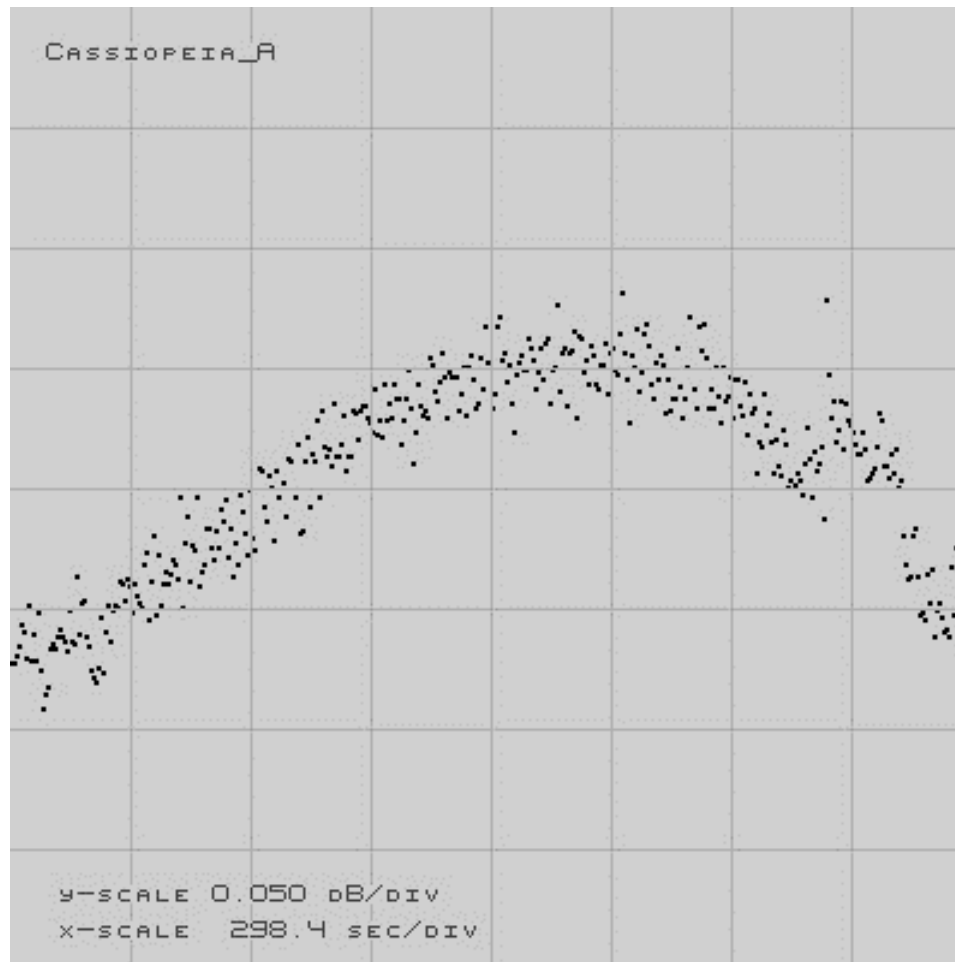
RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- 3C400 Radio galaksi



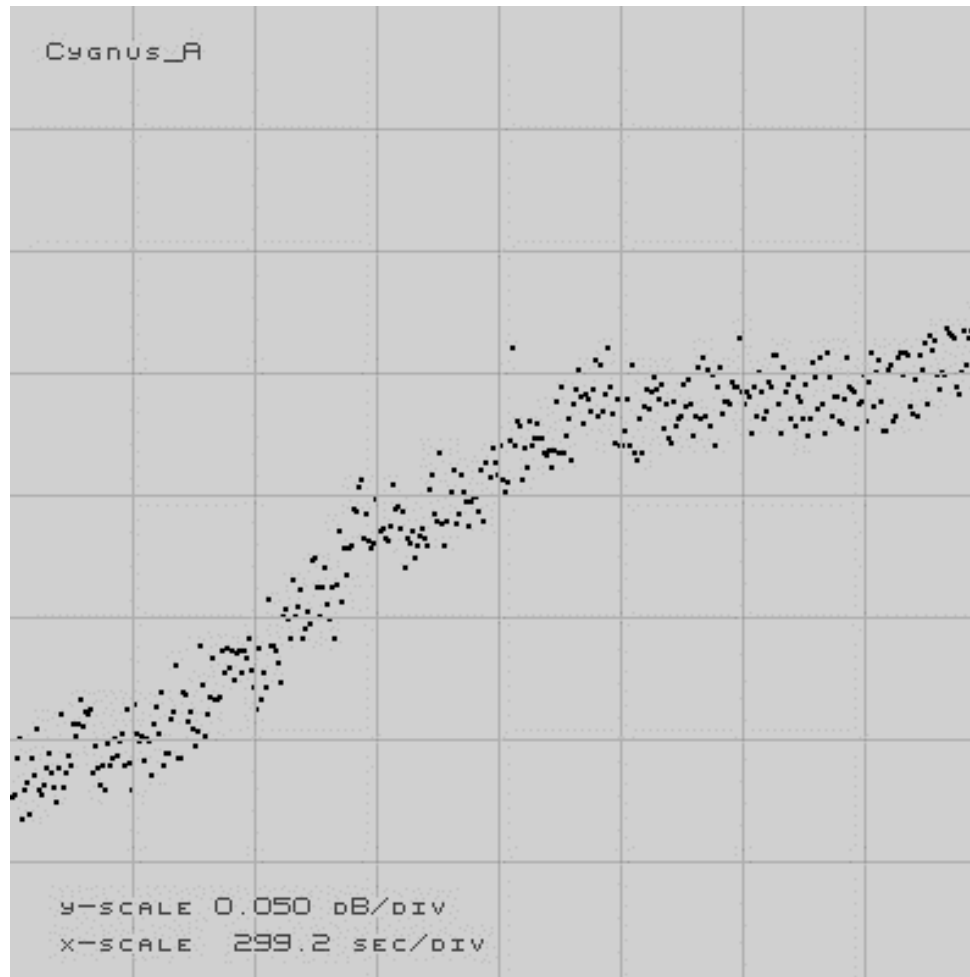
RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Cassiopeia_A=3C461



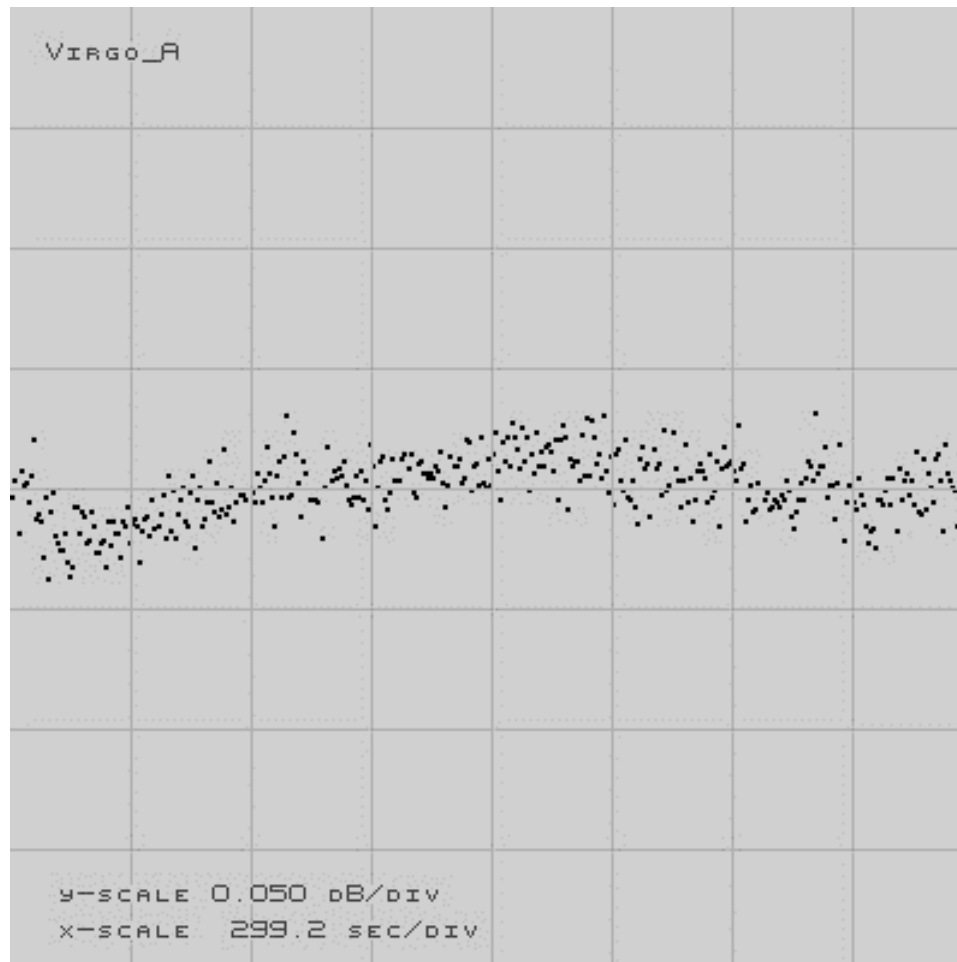
RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Cygnus_A=3C405
- Ryömintä johtunee lämpösuojaamattomasta etuvahvistimesta



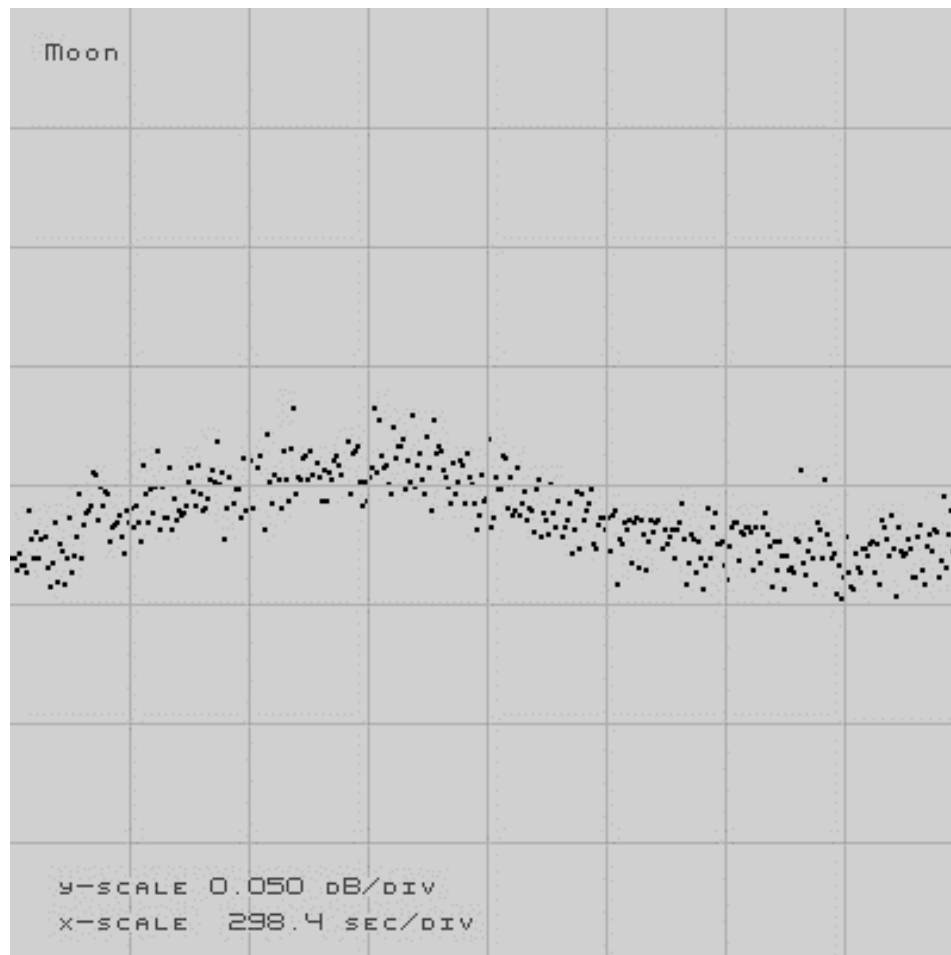
RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Virgo_A=M87



RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Kuu



RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

```
k=1.38*1e-23;          %Boltzmann's constant
To=290;                %Temp in K
NF_system=1.4;         %System noise figure [dB]
N=power(10,(NF/10));   %rx noise factor
r=2.0;                 %4m dish
A=pi*power(r,2)*0.5;   %ant eff area & 50% eff
Jy=1e-26;              %Jansky [W/(m2*Bw)] 1 Jansky is equivalent to -260 dBW/m2/Hz
```

%Flux table for 1420MHz

```
Flux=875;      %Taurus_A=Crab_Nebula=M1=NGC1952=3C144
Flux=576;      %3C400
Flux=2477;     %Cassiopeia_A
Flux=1495;     %Cygnus_A
Flux=560;      %Virgo_A
Flux=[875 576 2477 1495 560];
```

```
T_noise_rx=To*(power(10,NF_system/10)-1)+5
Ta=(A*Flux*Jy)/(2*k)
```

```
%RX noise temp in K +sky noise@23cm
%Detected power in K from antenna
```

```
Y_factor_calculated=(T_noise_rx+Ta)/(T_noise_rx)
Y_dB_calculated=10*log10(Y_factor_calculated)
```

```
%Approximate measured Y-factors in dB
Y_meas_dB=[0.075 0.125 0.200 0.100 0.05]
```

RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

Mittaustulosten vertailu laskennalliseen (Mittaukset 1296MHz, Flux lukemat 1420MHz)

Kohde	Taurus_A	3C400	Cassiopeia	Cygnus_A	Virgo_A
Flux [Jy]	875	576	2477	1495	560
dY-laskennallinen [dB]	0.0744	0.0491	0.2073	0.1263	0.0478
dY-mitattu [dB]	0.0750	0.1250**	0.2000	0.1000	0.0500

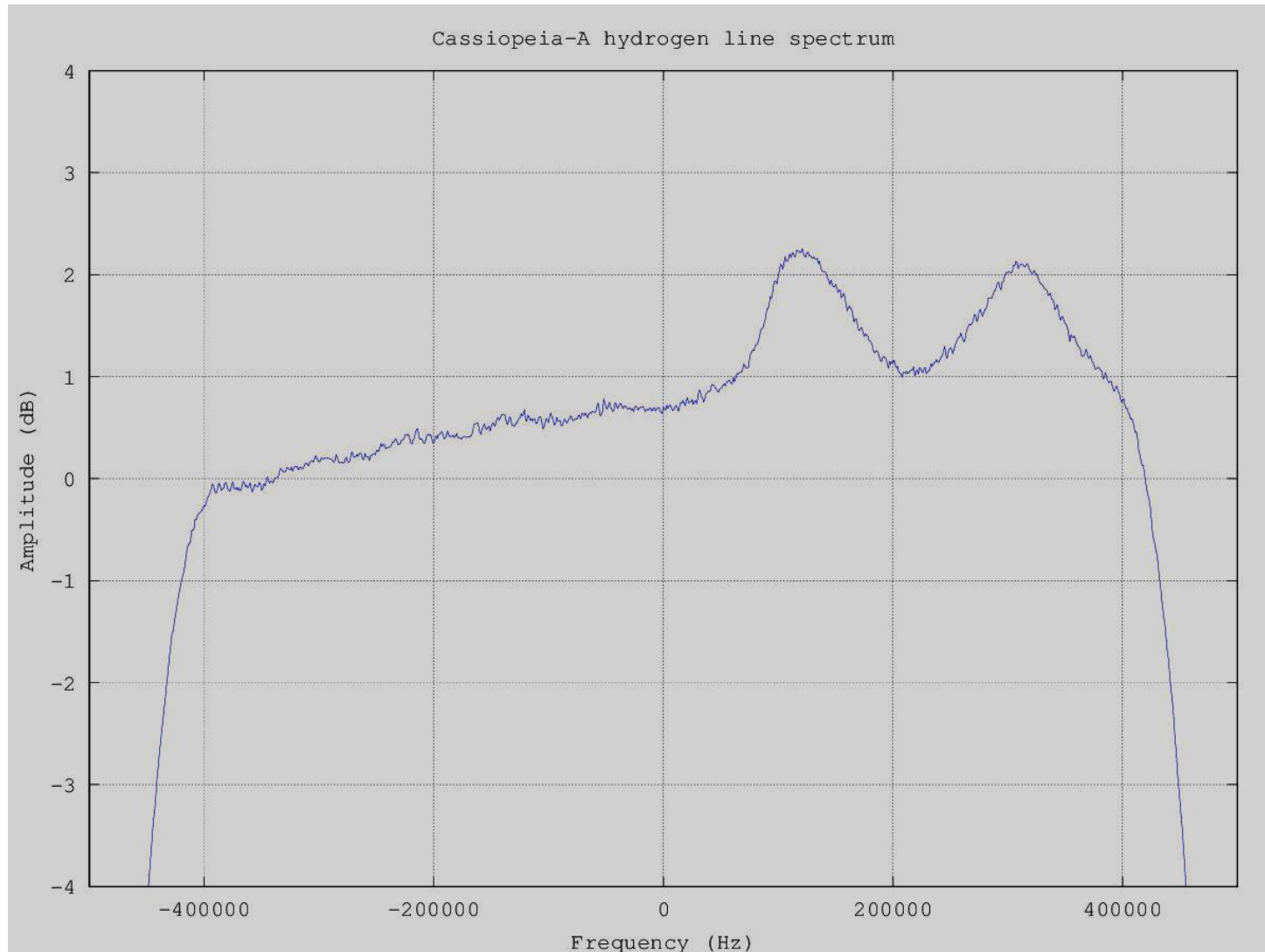
* dY on Y-kertoimen muutos suhteessa kylmän taivaan Y-kertoimeen kohteen ollessa antennin keilassa. Eli Y-kertoimen keskiarvo on vähennetty mitatusta Y-kertoimesta, joka on noin 6dB:tä.

** Kohteen takana oleva avaruus on normaalia kuumempi. Tämä voi selittää eron.

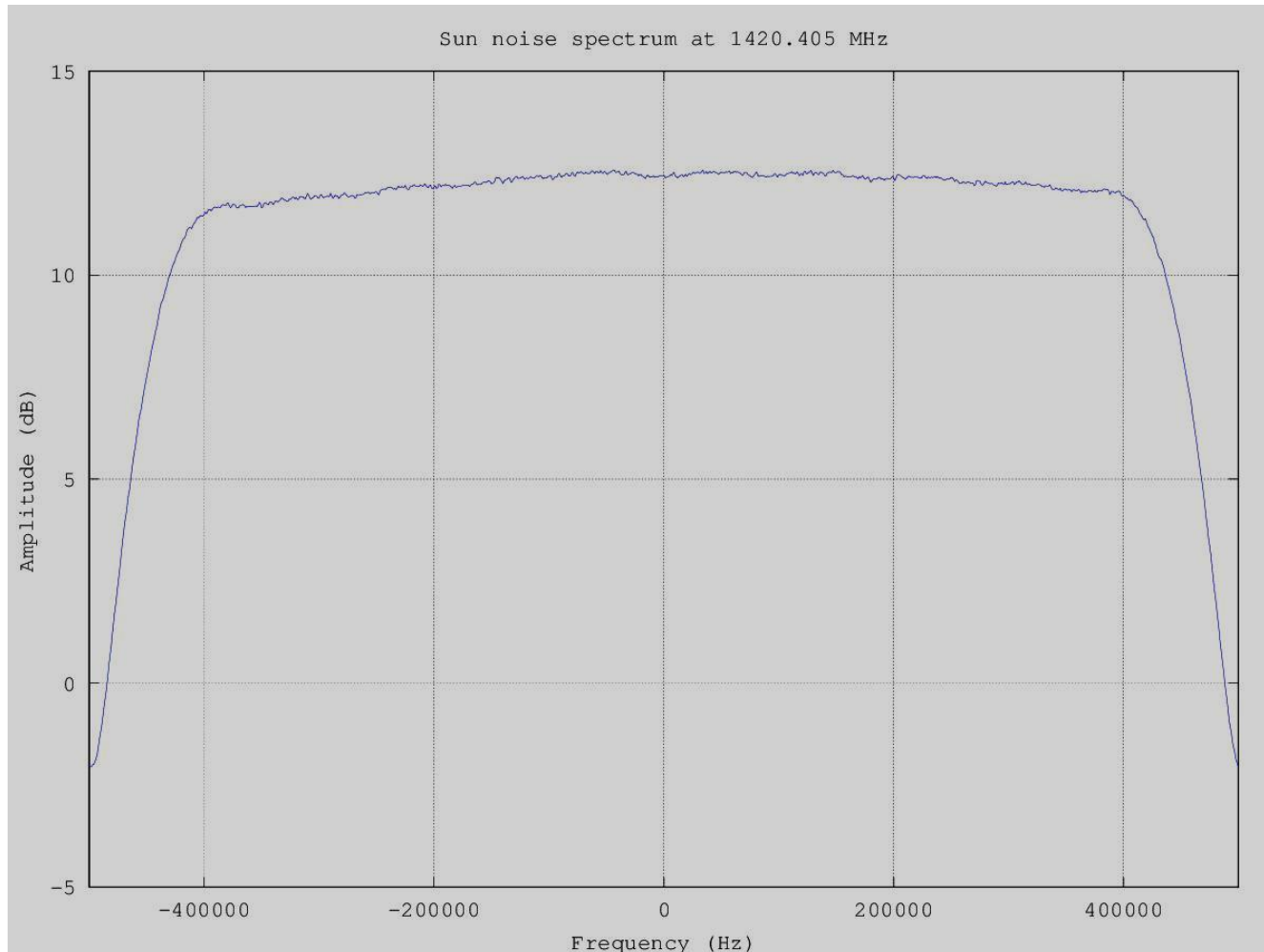
RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

- Mittauksia vedyn emissiotaajuudella 1420.405 MHz
- Kyseessä taajuustason mittaus
- Datat näyttö ja FFT tietokoneella
- Mittausaika muutama minuutti
- Vastaanottimena SDR (Perseus)
 - Samplerate 1Ms/s
 - Tiedoston koko noin 200Mt
- Kuvien laskenta Matlab/Octave-scriptillä
 - FFT
 - Keskiarvotus
 - Plottaus

RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ



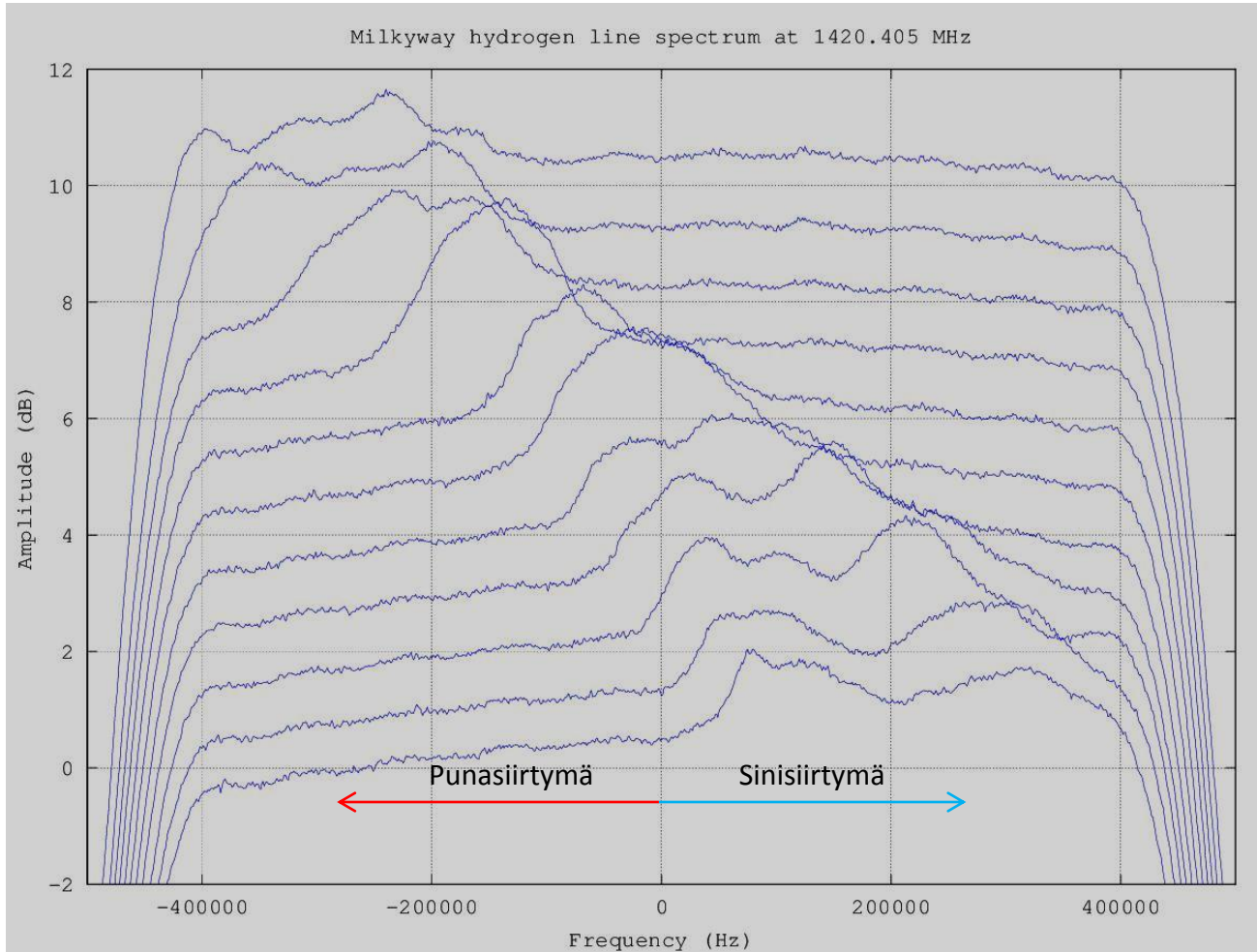
RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ



Auringon kohina noin +13.5dB:tä

RADIOASTRONOMISIA MITTAUKSIA PEILIKÄRRYLLÄ

Useita mittauksia pitkin Linnunrataa 10 asteen välein



Doppler siirtymä noin 300kHz → noin 63km/s
Eli Maa liikkuu Galaksiin nähden!!

THE END

Kiitos!!!