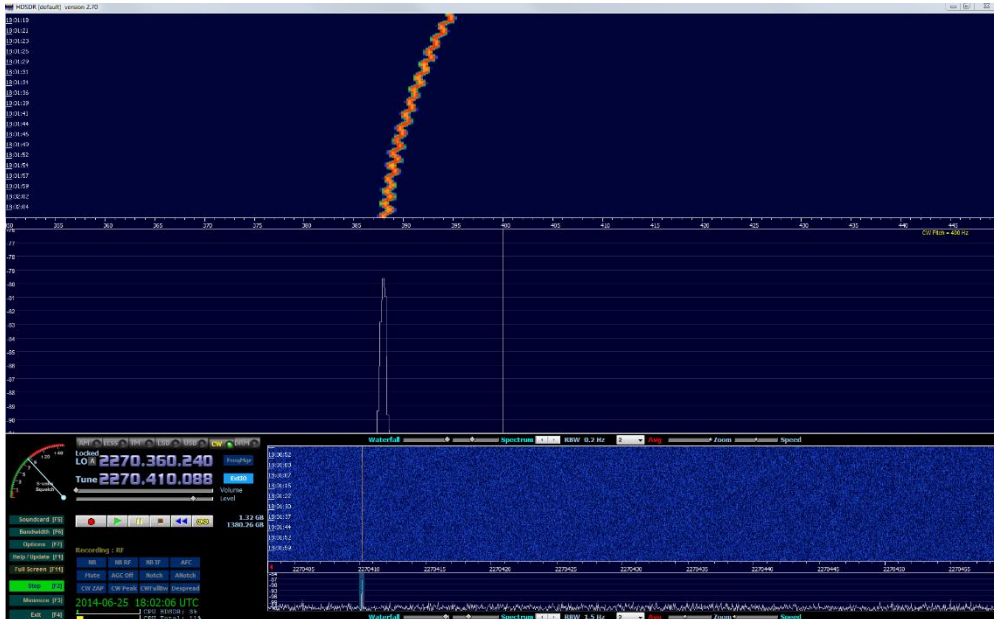
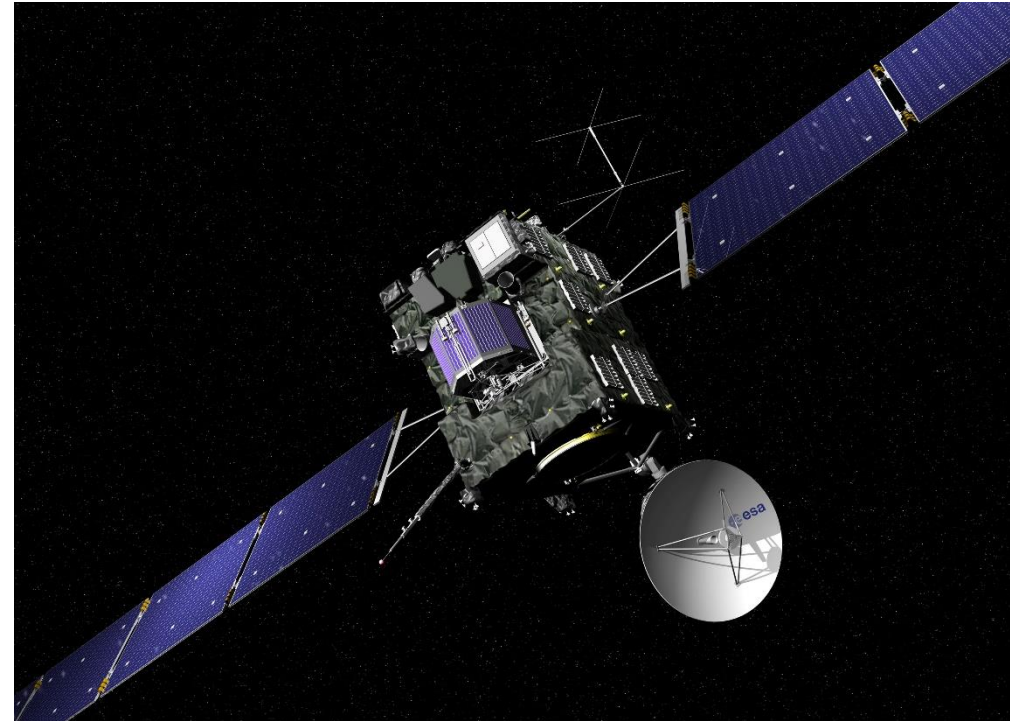


Raadiosignaaliid süvakosmosest



Viljo Allik
ERAÜ Talvepäev 2017
Tartu Observatoorium

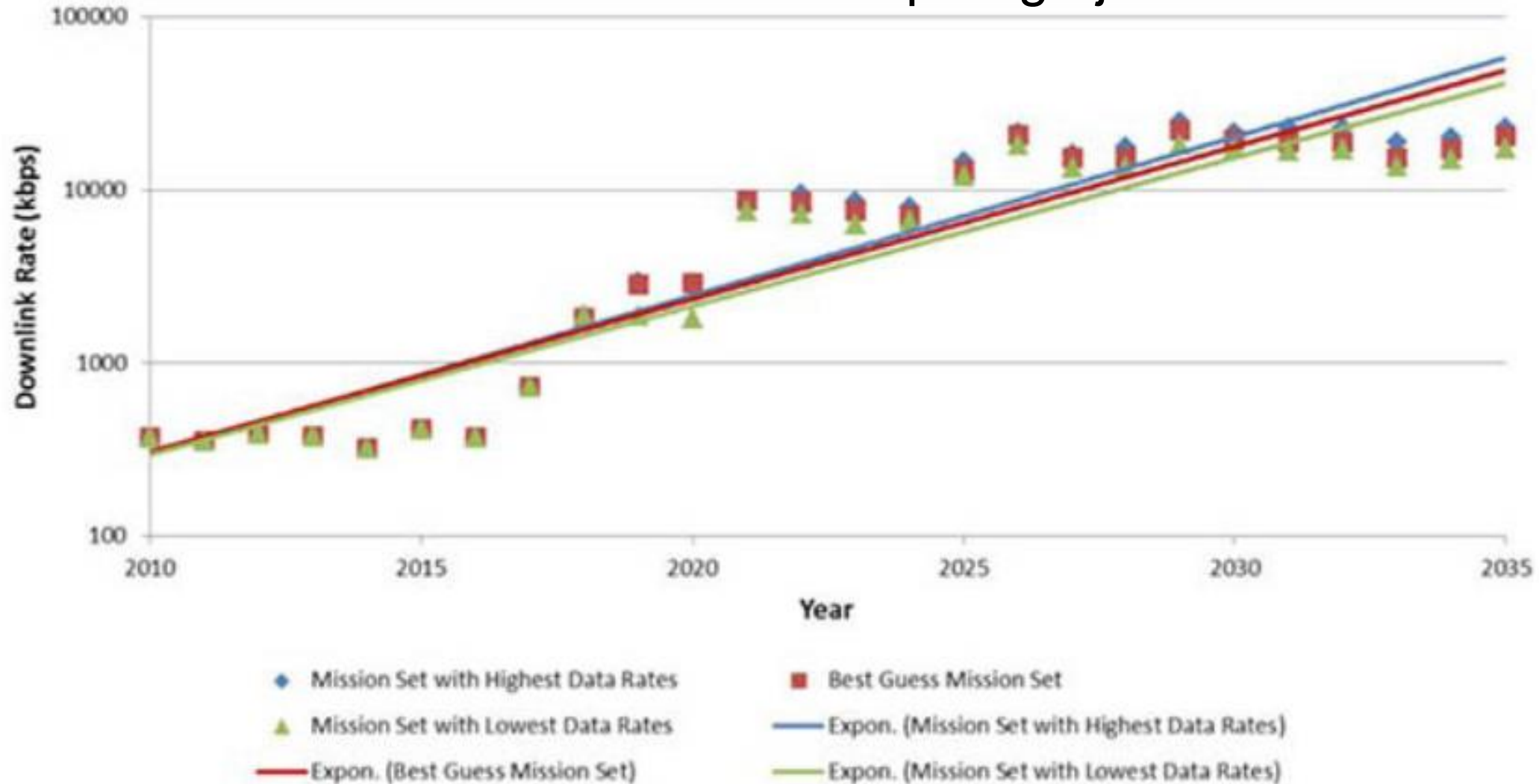
Süvakosmosest pärinevate raadiosignaali jaotus

- Loodusliku päritoluga raadiosignaali allikad
 - Mikrolaineline taustkiirus
 - Tähed
 - Pulsarid
 - Planeedid
- Mõistustlike olendite poolt tekitatud raadiosignaali allikad
 - Inimese poolt ehitatud objektid
 - Võimalikud teiste tsivilisatsioonide poolt tekitatud signaalid

Sidepidamine süvakosmoses liikuvate objektidega

- Väga suured vahemaad
0.013...100 AU (1 AU=149597871 km), Kuu orbiit on näiteks 0.025 AU
- Piiratud saatevõimsused kosmoses asuvatel objektidel
tavaliselt 10 ... 100 W
- Äärmiselt suur töökindlus, et tagada tõrgeteta side pikaajaliste kosmosemissioonidega
- Järjest suuremad nõuded edastatavate andmehulkade mahule

Andmeedastuskiirused praegu ja tulevikus



Kasutataavad sagedusalad

Band Designation	Deep Space Bands (for spacecraft greater than 2 million km from Earth)		Near Earth Bands (for spacecraft less than 2 million km from Earth)	
	Uplink (Earth to space)	Downlink (space to Earth)	Uplink (Earth to space)	Downlink (space to Earth)
S-band	2110–2120	2290–2300	2025–2110	2200–2290
X-band	7145–7190	8400–8450	7190–7235	8450–8500
K-band	*	*	*	25500–27000
Ka-band	34200–34700	31800–32300	*	*

* No allocation or not supported by the DSN.

Süvakosmose raadiolingi „eelarve“

- Vaba ruumi kaod, ehk signaali nõrgenemine saatja ja vastuvõtja vahel:

$$L_S = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 ,$$

λ - lainepikkus

L_S - signaali võimsuse nõrgenemine

r - kaugus saateantenni ja vastuvõtuantenni vahel

Näiteks Nasa Juno: $r=950000000$ km, $\lambda=0.0355$ m,

$$L_S = -290.6 \text{ dB}$$

- Juno antenni läbimõõt: 2.5m, võimendus 8.4 GHz lainealas: 44.5 dB
- Juno saatja väljundvõimsus 25 W = 44 dBm
- Juno EIRP = 44.5 dB + 44 dBm = 88.5 dBm
- Vaba ruumi kaod $L_s = -290.6$ dB
- Maale jõuab: $-290.6 + 88.5 = -202.1$ dBm, kui vastuvõtuantenni võimendus oleks 0dBi
- Näiteks 3m läbimõõduga parabooli korral oleks antenni võimendus 46 dB
- Vastuvõtjasse jõuaks sel juhul: $-202.1 + 46 = -156.1$ dBm
- Tegelikult on kandevsageduse osa nõrgem, kui kogu signaali võimsus, suur osa läheb modulatsiooni külgribade peale
- Reaalselt on meil siis olemas signaal võimsusega ca -160 dBm, mida on raadioamatööri käsutuses oleva tehnikaga täiesti võimalik avastada

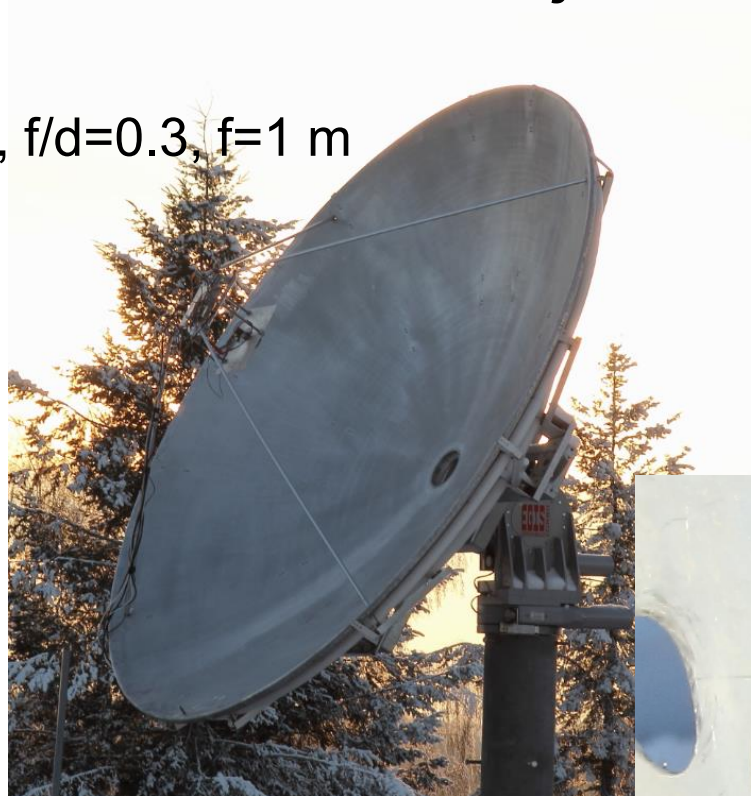
Deep Space Network - DSN

- Teenindab peaaegu kõiki süvakosmoses lendavaid kosmoseaparaate
- Kolm peamist maajaama, mis asuvad pikkuskraadi järgi ca 120 kraadise vahega:
 - Madridi jaam Hispaanias
 - Goldstone jaam Californias USA-s
 - Canberra jaam Austraalias
- Igas jaamas on üks 70 m läbimõõduga paraboolantenn ja 3 või 4 34 m läbimõõduga antenni
- Lisaks tavalisele sidepidamisele kasutatakse DSN-i ka kosmoseapparaatide täpse asukoha määramiseks (ranging)
- Selleks on igas jaamas olemas väga täpne sagedusetalon (sageduse täpsus kuni 10^{-15}). Kauguse määramise täpsus < 10 cm 5 AU kaugusel

Vastuvõtutehnika X laineala jaoks Tõraveres

- Antenn

3 m läbimõõduga parabool, $f/d=0.3$, $f=1$ m

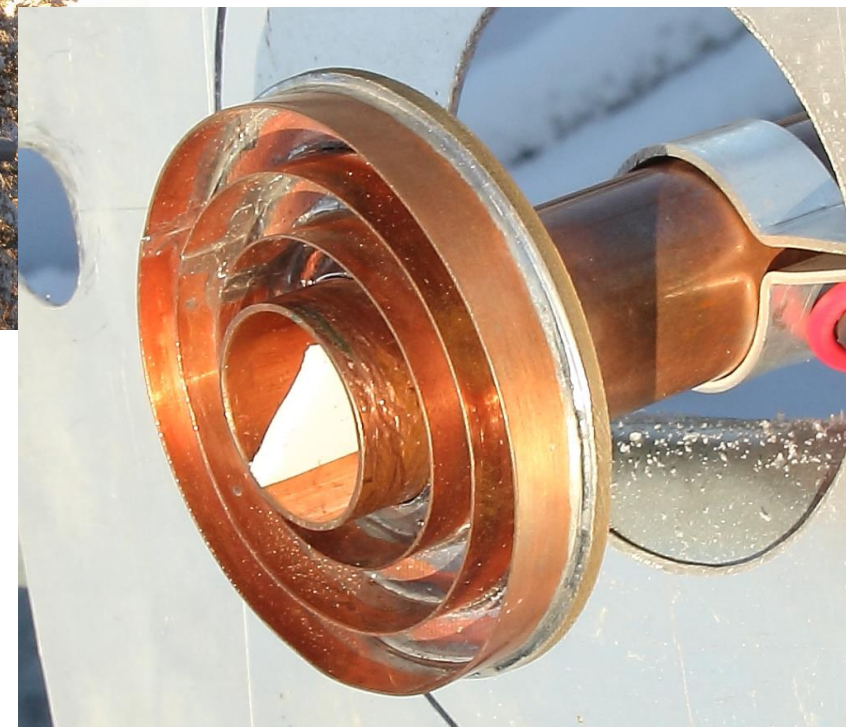


- Antennipööraja

EGIS ProfiTracker XL

- Kiirgaja

Chapparral tüüpi, teflonist depolarisaatoriga ringpolarisatsiooni tekitamiseks



Vastuvõtutehnika X laineala jaoks Tõraveres

- Eelvõimendi (LNA)

KU LNA 8000 B, Super Low Noise Amplifier 8000 ... 8450 MHz: NF=0.8 dB
G \geq 28 dB



- Ribafilter

Lainejuht-filter, vene päritolu lennuki radari moodulist

- Konverter (RF=8400...8500 MHz, LO=7000 MHz, IF =1400 ... 1500 GHz)

Valmistatud NEC 6 GHz mikrolainelingi moodulitest, LO on 7 GHz PLL tugisagedusega 12.8 MHz. Sisemise ostsillaatori asemel tuleb tugisagedus signaalgeneraatorist, mis on omakorda sünkroniseeritud täpse aatomikellaga

Vastuvõtutehnika X laineala jaoks Tõraveres



Vastuvõtutehnika X laineala jaoks Tõraveres

- SDR

USRP N210 + WBX sisendmoodul, SDR on samuti sünkroniseeritud 10 MHz aatomikellaga

Vahesagedus 1.4 ... 1.5 GHz

Tarkvara

- Antenni suuna määramine

Nasa JPL andmebaas Horizons: <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>

Current Settings

Ephemeris Type [[change](#)] : **OBSERVER**
Target Body [[change](#)] : **Mars Express (spacecraft) [MEX] [-41]**
Observer Location [[change](#)] : user defined (**26°27'58.7"E, 58°15'56.7"N, 70 m**)
Time Span [[change](#)] : Start=**2017-02-03**, Stop=**2017-02-04**, Step=**10 m**
Table Settings [[change](#)] : QUANTITIES=**1,4,20,21**; range units=**KM**
Display/Output [[change](#)] : *default* (formatted HTML)

Date__(UT)__HR:MN R.A.__(ICRF/J2000.0)_DEC Azi_(a-appr)_Elev delta deldot 1-way_LT

2017-Feb-03 11:00 *m 00 16 43.23 +01 26 33.2 135.6730 25.5156 2.7911985790E+08 11.6068706 15.517394

2017-Feb-03 11:10 *m 00 16 44.34 +01 26 40.3 138.2690 26.4155 2.7912685614E+08 11.7214333 15.517783

2017-Feb-03 11:20 *m 00 16 45.44 +01 26 47.4 140.9036 27.2706 2.7913392639E+08 11.8472262 15.518176

2017-Feb-03 11:30 *m 00 16 46.54 +01 26 54.5 143.5768 28.0784 2.7914107606E+08 11.9865859 15.518573

2017-Feb-03 11:40 *m 00 16 47.63 +01 27 01.6 146.2883 28.8365 2.7914831415E+08 12.1425562 15.518976

Tarkvara

- Antenni juhtimine

Kohapeal arendatud tarkvara

Võimaldab muuhulgas suunata antenni reaajas objektile, mille kohta on teada otsetõus ja kääne

Suunamise täpsust saab kontrollida Päikese või Kuu järgi

TrackPC
ES5TO GS 3m dish antenna driver

Time (UTC)
13:18:39

Requested Position		Current Position			Position offset		
Azimuth	175.29	Azimuth	175.76	AzErr	0.03	Azimuth	0.5
Elevation	33.21	Elevation	33.63	EIErr	0.02	Elevation	0.4
	Go			AzRotations	0		Tracking Threshold
	Go						0.2

Stop

AutoTrack

- Moon
- Sun
- RA/DEC
- Satellite
- Off

RA.h	RA.m	RA.s	Dec. °	Dec. '	Dec. ''
00	16	47	1	27	40

Raw data: RDEL,33.63,OK

State: Stopped

Time offset, min.

Julian time	Target name	Target Az	Target EI
2457788.05462	ISEE-3	175.3	33.2

Next pass

ADS time	Duration, min.	ADS az.	Max el.	Mode

Exit

Tarkvara

- Kuidas teada piisavalt täpselt vastuvõtusagedust?

Tegelik saatesagedus? Pole alati väga lihtsalt leitav.

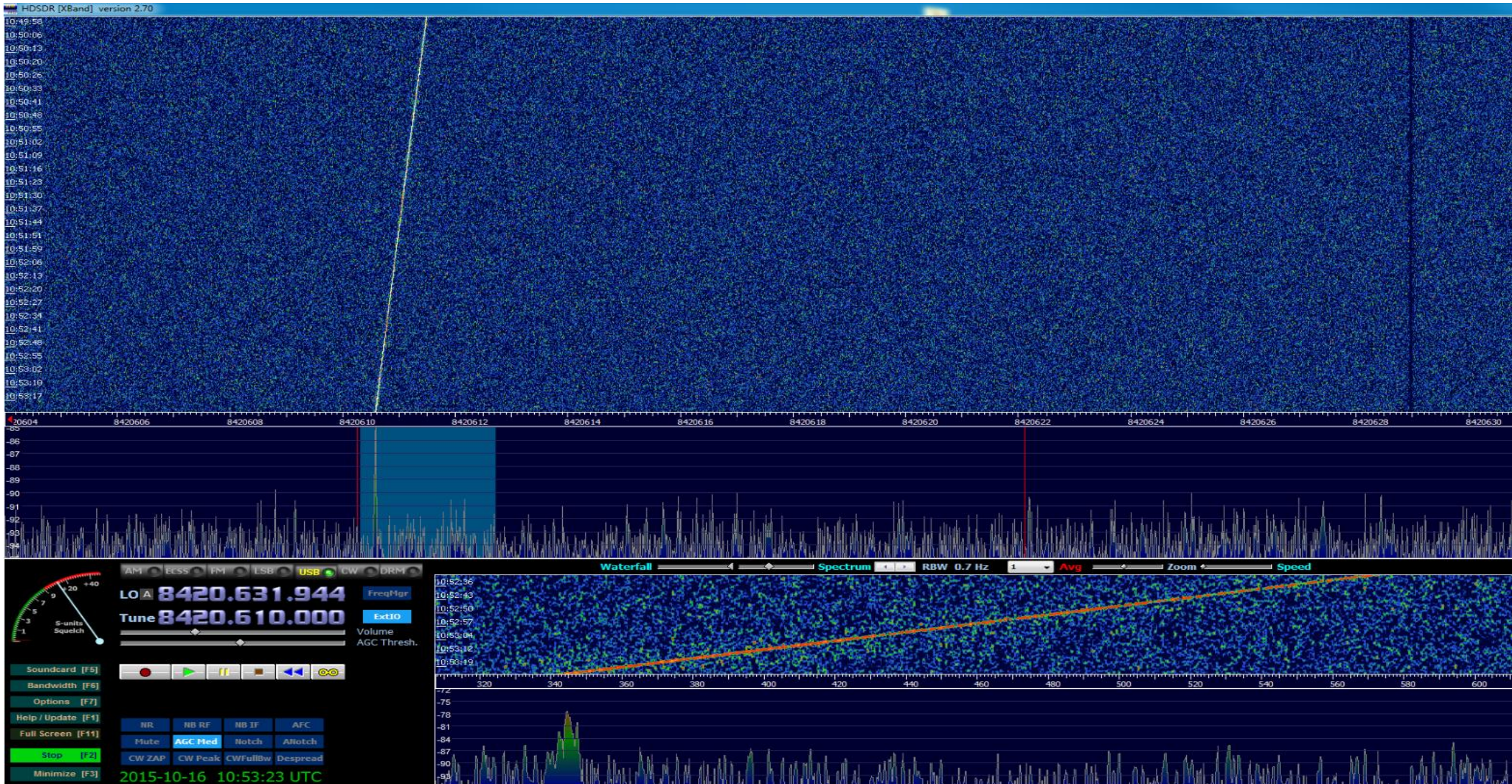
Doppleri efektist tingitud sageduse nihe? Tavaliselt $< \pm 500$ KHz

Horizoni andmebaasist on võimalik teada saada maajaama asukoha ja kosmoseaparaadi suhteline kiirus. Selle järgi saab arvutada eeldatava doppleri nihke

Et lihtsustada vajalikke arvutusi, on Paul, M0EYT teinud Exceli tabeli, mis sisaldab vajalikke andmeid enamiku praegu aktiivsete süvakosmosemissioonide jaoks

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	DSN tracking spreadsheet by Paul M0E'	Info	DSN	Spacecraft TX	Velocity	Doppler corrected	Doppler shift	Tuning Freq
2	Mission Name / JPL Horizons ID	OK ?	Channel	frequency (MHz)	(KM/s)	(MHz)	(KHz)	(MHz)
3	3.02.2017 15:39							
4			3	8400.061729	0.000000	8400.061729	0.000000	8400.061729
5	Mars Science Lab	Y	4	8401.419752	10.000000	8401.139511	-280.241198	8401.147611
6			4	8401.577700	5.591712	8401.420994	-156.705747	8401.420994
7	Phoenix Lander MISSION ENDED	Y	5	8402.777700	10.000000	8402.497414	-280.286494	8402.489414
8			6	8403.977700	10.000000	8403.697373	-280.326522	8403.697373
9	NASA JUNO Jupiter mission	Y	6	8404.126802	-21.000000	8404.715498	588.696140	8404.722898
10	NASA JUNO Jupiter mission	Y		32083.340000	-21.000000	32085.587389	2247.388558	2114.412611
11	NASA JUNO Jupiter mission	Y		32088.510000	-21.000000	32090.757751	2247.750709	2109.242249
12			7	8405.493825	0.000000	8405.493825	0.000000	8405.493825
13	Mars Odyssey -53 (Mars 499)	Y	8	8406.851853	10.000000	8406.571431	-280.422393	8406.571431
14	Hayabasu -130 / Ulysees -55 / Muses-C	Y	9	8408.209877	-4.664834	8408.340711	130.833517	8408.339711
15			10	8409.567903	0.000000	8409.567903	0.000000	8409.567903
16	Planet-C / Pioneer -24 / -23		11	8410.925927	4.261643	8410.806363	-119.563913	8410.806363
17			12	8412.283950	0.000000	8412.283950	0.000000	8412.283950
18	Spitzer space telescope -79	Y	13	8413.626490	-0.546639	8413.641831	15.341326	8413.648431
19			13	8413.641977	0.000000	8413.641977	0.000000	8413.641977
20	Phobos-Grunt MISSION FAILED	Y		8414.633000	1.223345	8414.598663	-34.337085	8414.598663
21	Voyager -31-32 / Stardust -29	Y	14	8415.000000	18.851122	8414.470860	-529.140043	8414.470860

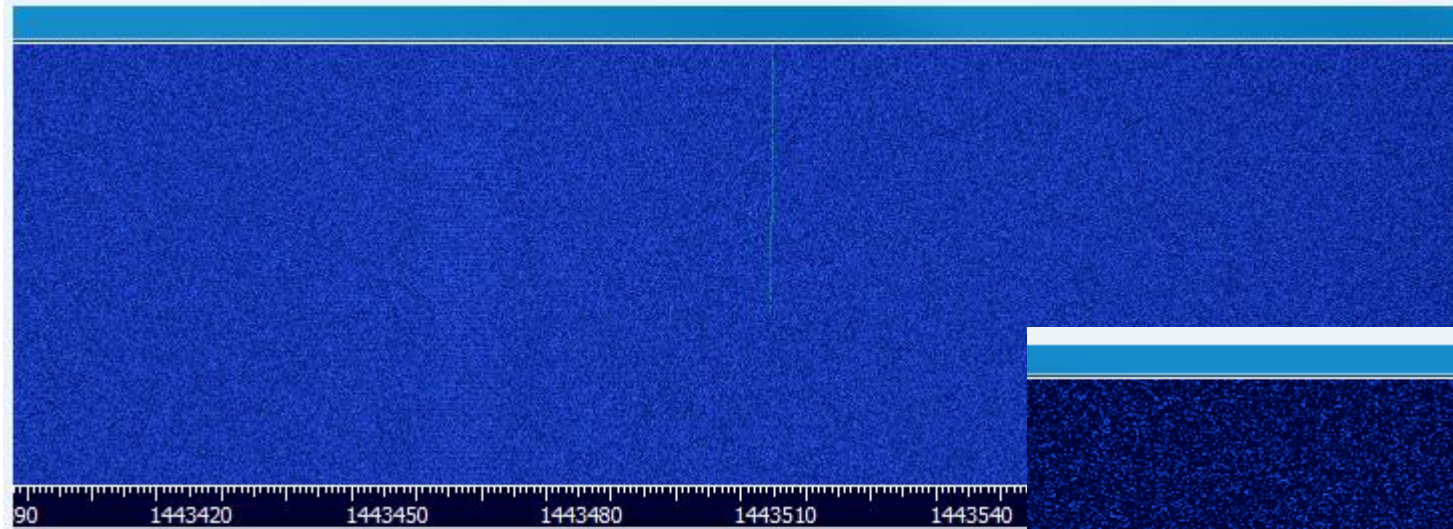
HDSDR



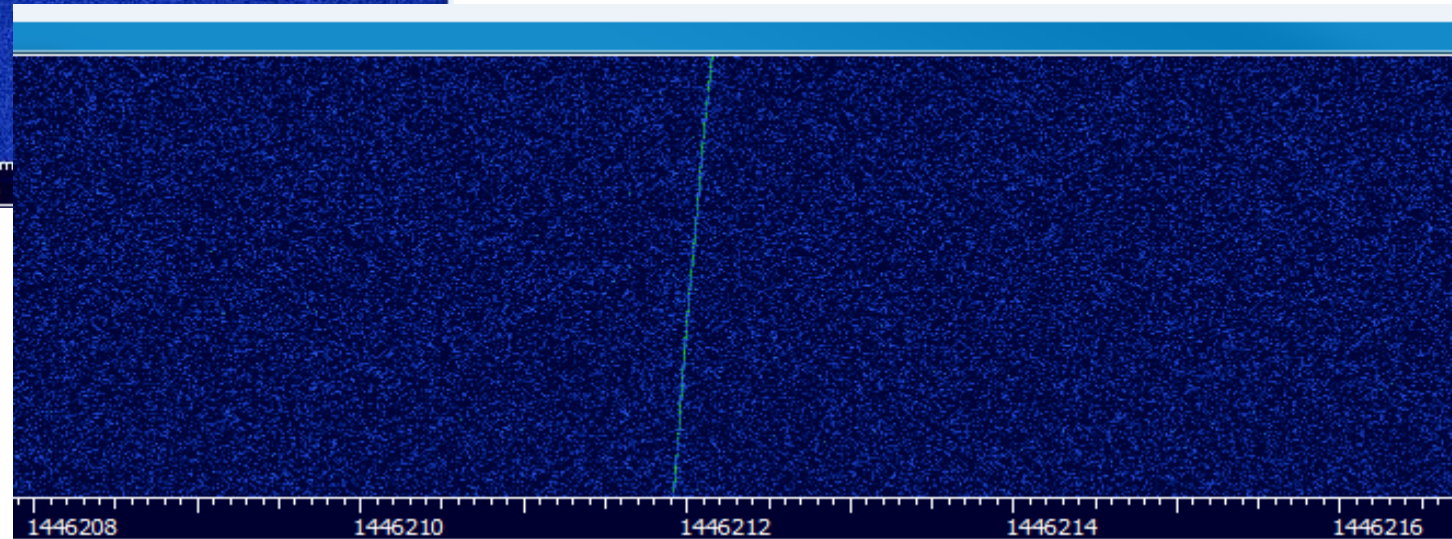
Tulemused

- Esimesed tõeliselt kaugelt (ca 2 AU) detekteeritud raadiosignaaliid

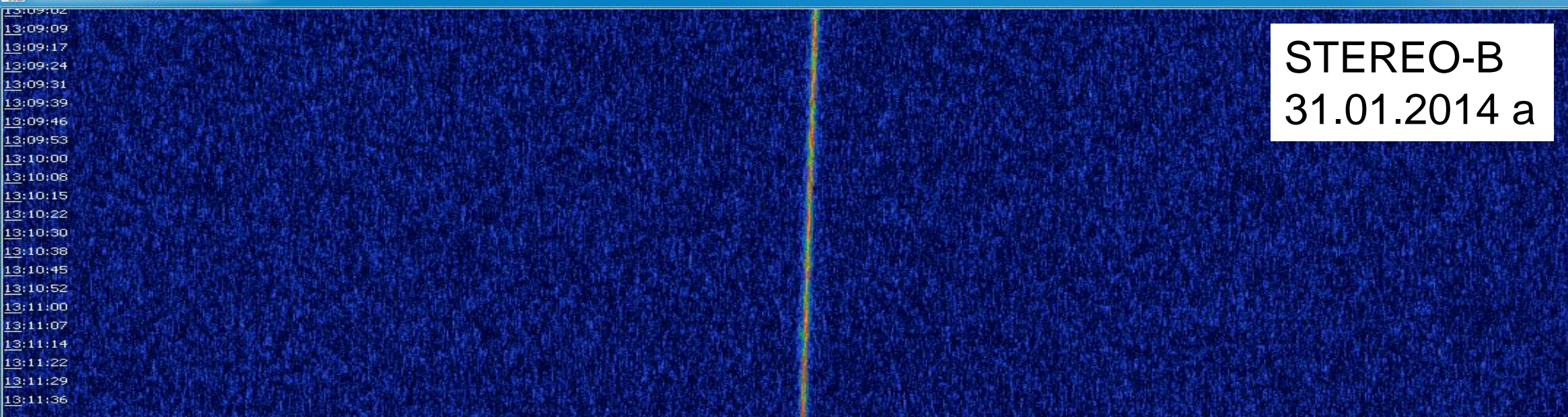
STEREO-A



STEREO-B



STEREO-B
31.01.2014 a



AM ECSS FM LSB USB CW DRM

Lo A **8446.111.827** FreqMgr
Tune **8446.211.827** ExtIO

S-unit Squelch: +20 +40

Volume Level

Soundcard [F5] Bandwidth [F6] Options [F7] Help / Update [F1] Full Screen [F11]

Stop [F2] Minimize [F3] Exit [F4]

NR	NB RF	NB IF	AFC
Mute	AGC Off	Notch	ANotch
CW ZAP	CW Peak	CWFullBw	Despread

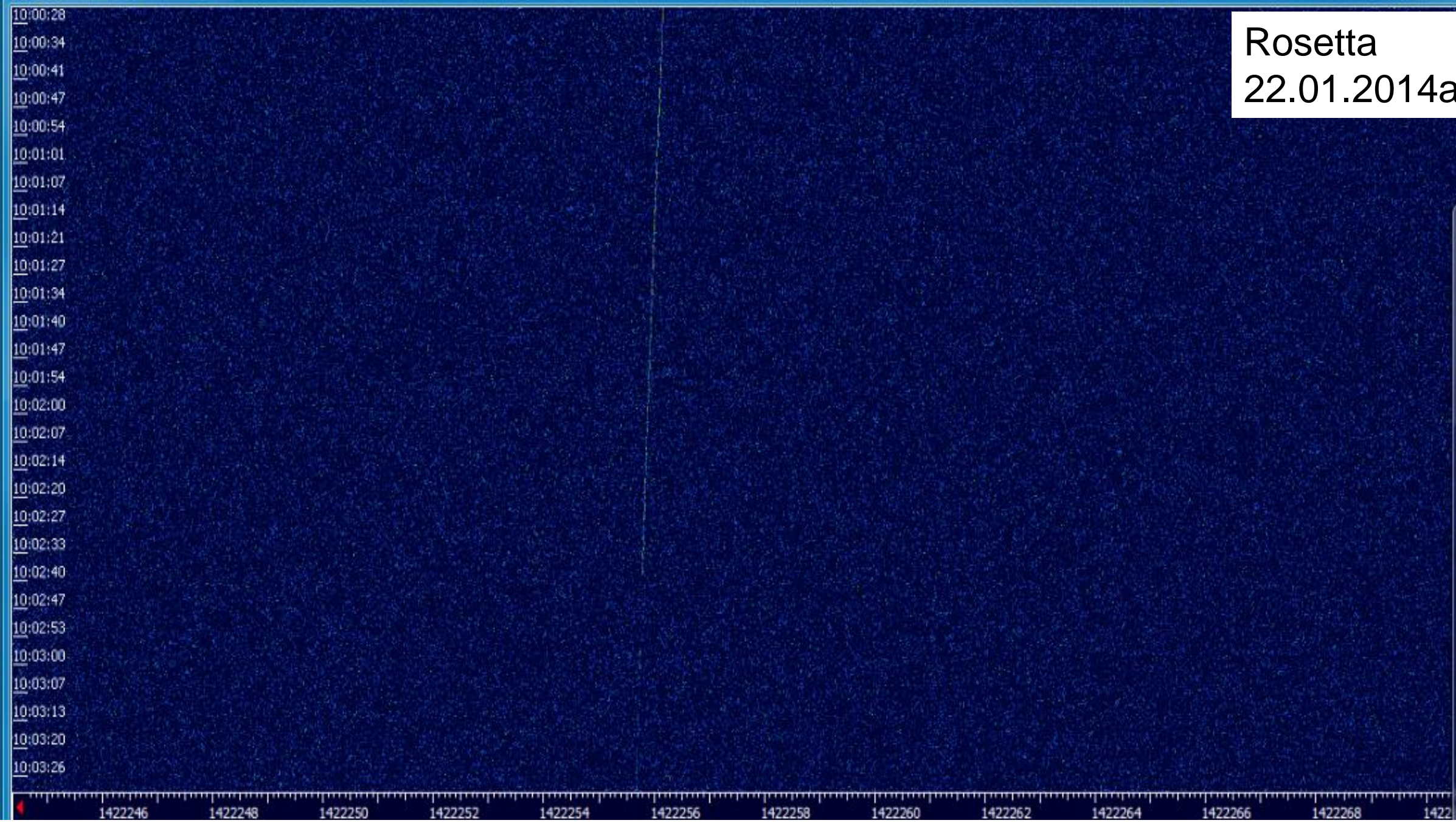
2014-01-31 13:11:42 UTC

CPU HSDR: 1%
CPU Total: 11%

Waterfall Spectrum RBW 1.5 Hz 4 Avg Speed

Waterfall Spectrum RBW 0.1 Hz 4 Avg Speed

CW Pitch = 700 Hz



Rosetta
22.01.2014a

TrackPC

Requested P

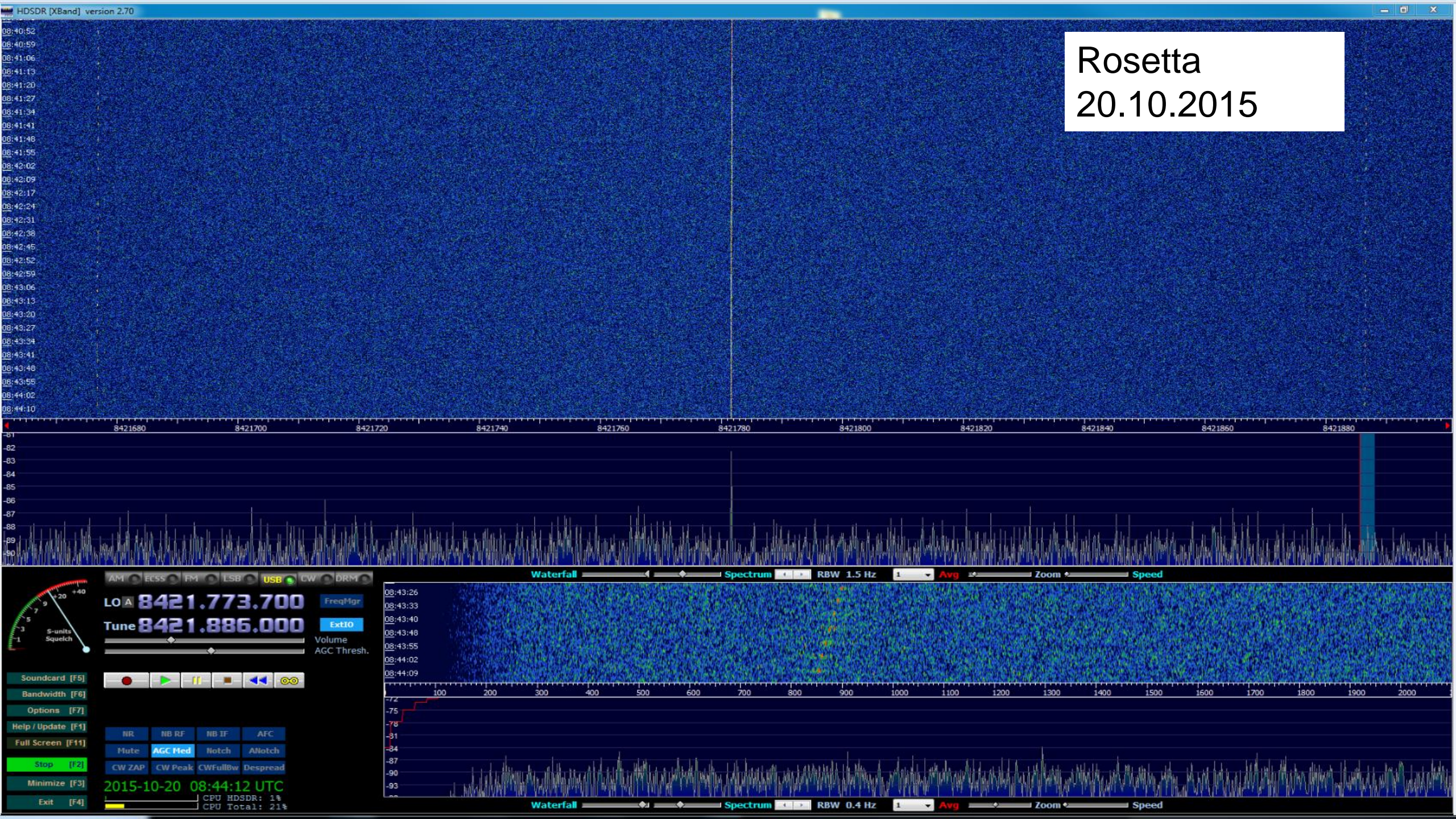
Azimuth
169.22

Elevation
3.85

Stop

+

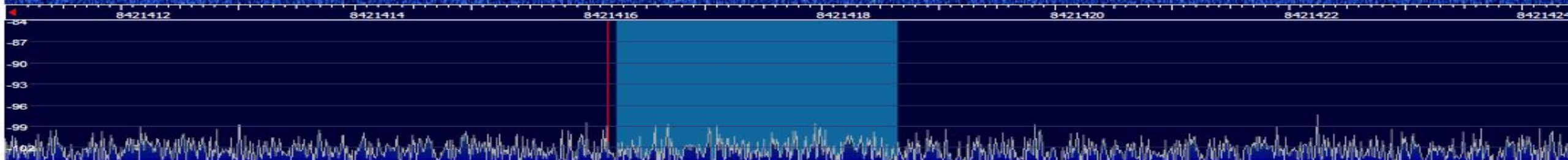
Julian ti



Rosetta
20.10.2015

11:18:05
11:18:09
11:18:13
11:18:17
11:18:21
11:18:25
11:18:29
11:18:33
11:18:37
11:18:41
11:18:45
11:18:49
11:18:53
11:18:57
11:19:01
11:19:04
11:19:08
11:19:12
11:19:16
11:19:20
11:19:24
11:19:28
11:19:32
11:19:36
11:19:40
11:19:44
11:19:48
11:19:52
11:19:56

Rosetta
30.09.2016a



AM ECSS FM LSB USB CW DRM

Locked
LO A 8421.362.350
Tune 8421.416.400

Volume AGC Thresh.

205.52 MB
274.09 GB

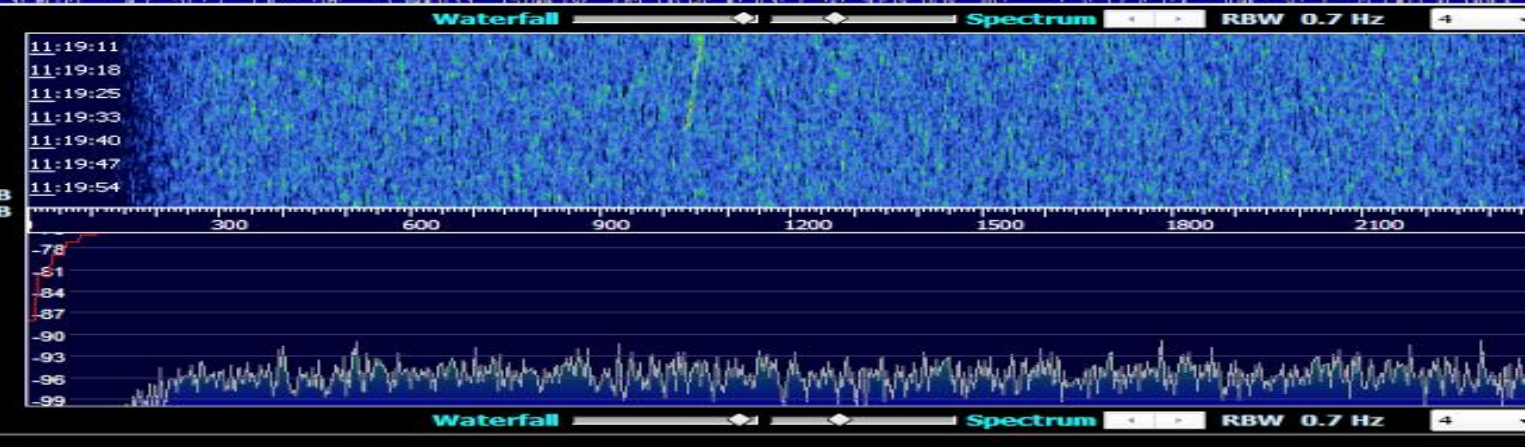
Recording : RF

NR	NB RF	NB IF	AFC
Mute	AGC Med	Notch	ANotch
CW ZAP	CW Peak	CW FullBw	Despread

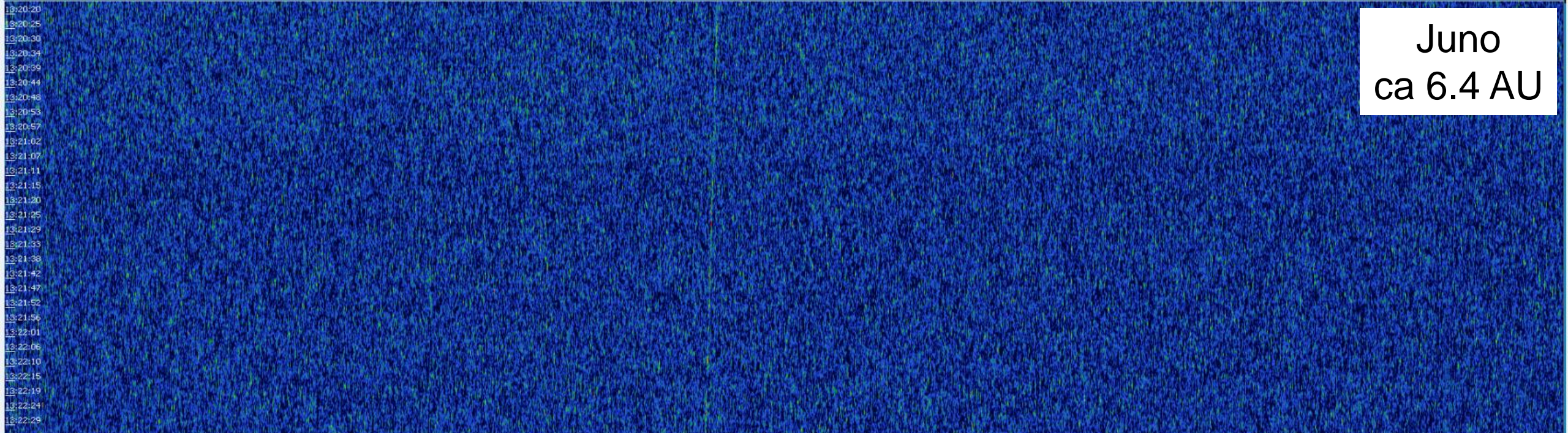
2016-09-30 11:19:58 UTC

CPU HDSDR: 1%
CPU Total: 15%

Soundcard [F5]
Bandwidth [F6]
Options [F7]
Help / Update [F1]
Full Screen [F11]
Stop [F2]
Minimize [F3]
Exit [F4]



Juno
ca 6.4 AU



AM ECSS FM LSB USB CW DRM

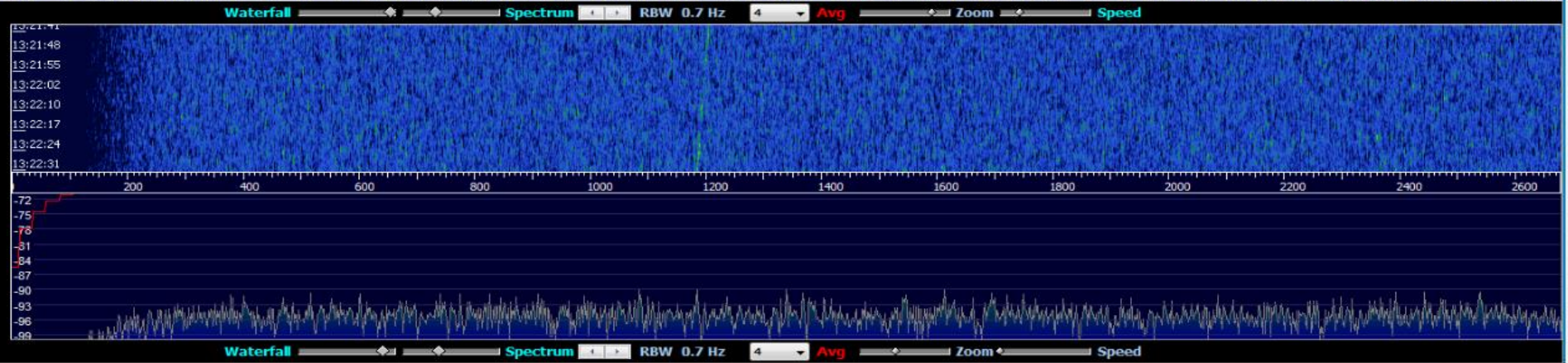
Lo A **8403.700.104** FreqMgr
Tune **8403.717.600** ExtIO

S-units Squelch

Volume AGC Thresh.

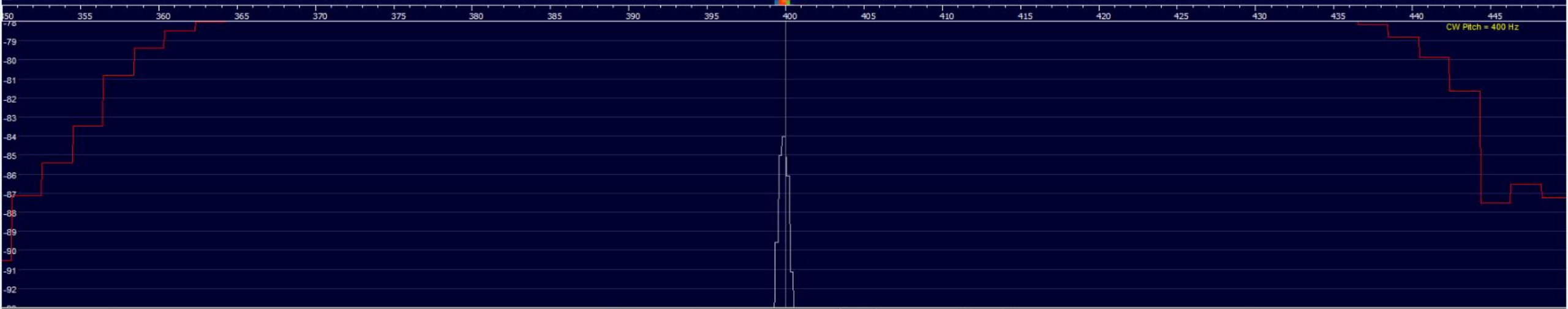
Soundcard [F5] [Mute] [AGC Fast] [Notch] [AllNotch] [CW ZAP] [CW Peak] [CW FullBw] [Despread]

2016-08-15 13:22:32 UTC
CPU HSDR: 2%
CPU Total: 10%



19:44:21
19:44:24
19:44:26
19:44:29
19:44:31
19:44:34
19:44:36
19:44:39
19:44:41
19:44:44
19:44:47
19:44:49
19:44:52
19:44:54
19:44:57
19:44:59
19:45:02
19:45:05
19:45:07

ISEE-3
13.06.2014



AM ECSS FM LSB USB CW DRM

LO A **2270.362.533** FreqMgr
Tune **2270.412.533** ExtIO

Volume Level

Soundcard [F5] [M] [P] [R] [S] [V] [W] [X] [Y] [Z]

Bandwidth [F6]

Options [F7]

Help / Update [F1]

Full Screen [F11]

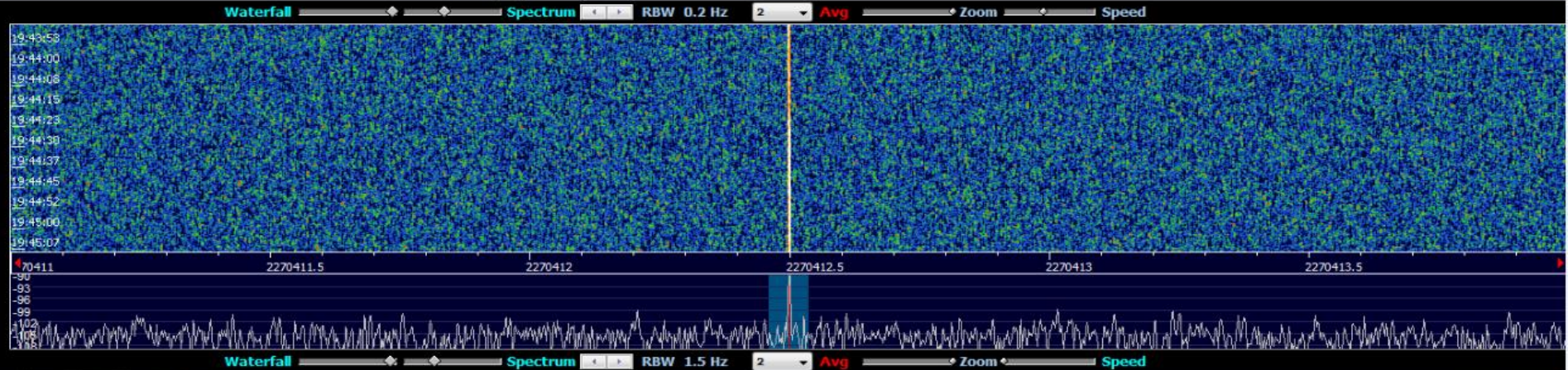
Stop [F2]

Minimize [F3]

Exit [F4]

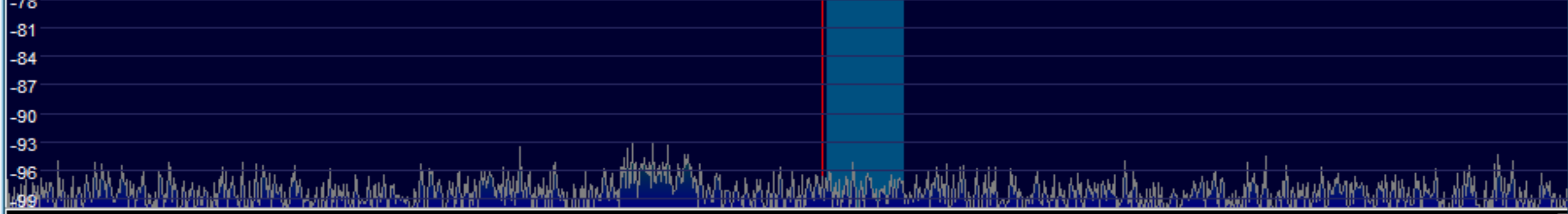
NR NB RF NB IF AFC
Mute AGC Off Notch Allotch
CW ZAP CW Peak CW FullBw Despread

2014-06-13 19:45:08 UTC
CPU HSDR: 2%
CPU Total: 6%



YUTU

22:13:24
22:13:28
22:13:31
22:13:35
22:13:38
22:13:42
22:13:46
22:13:49
22:13:53
22:13:56
22:14:00
22:14:04
22:14:07
22:14:11
22:14:15



AM ECSS FM LSB **USB** CW DRM

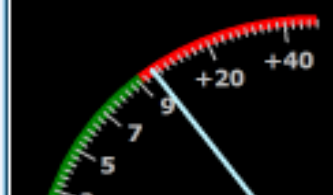
LO A **8461.984.500**

FreqMgr

Tune **8462.084.500**

ExtIO

Waterfall Spectrum RBW 1.5 Hz
Zoom



Infoallikad

- <http://www.uhf-satcom.com/>
- <http://www.uhf-satcom.com/DSN.xls>
- <https://beta.groups.yahoo.com/neo/groups/amateur-DSN/info>
- <https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html>
- <http://www.nitehawk.com/f5pl/>
- ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi
- <https://scienceandtechnology.jpl.nasa.gov/research/research-topics-list/communications-computing-software/deep-space-communications>
- http://descanso.jpl.nasa.gov/DPSummary/Juno_DESCANSO_Post121106H--Compact.pdf

Küsimused?

