

Увод в радиоастрономията

д-р Росица Митева

ИКИТ-БАН

rmiteva@space.bas.bg

летен семестър 2019

Съдържание

1. История на радиоастрономията
2. Въведение. Радиотелескопи.
3. Механизми за радиоизлъчване
4. Източници на радиоизлъчване (Слънцето)

Литература

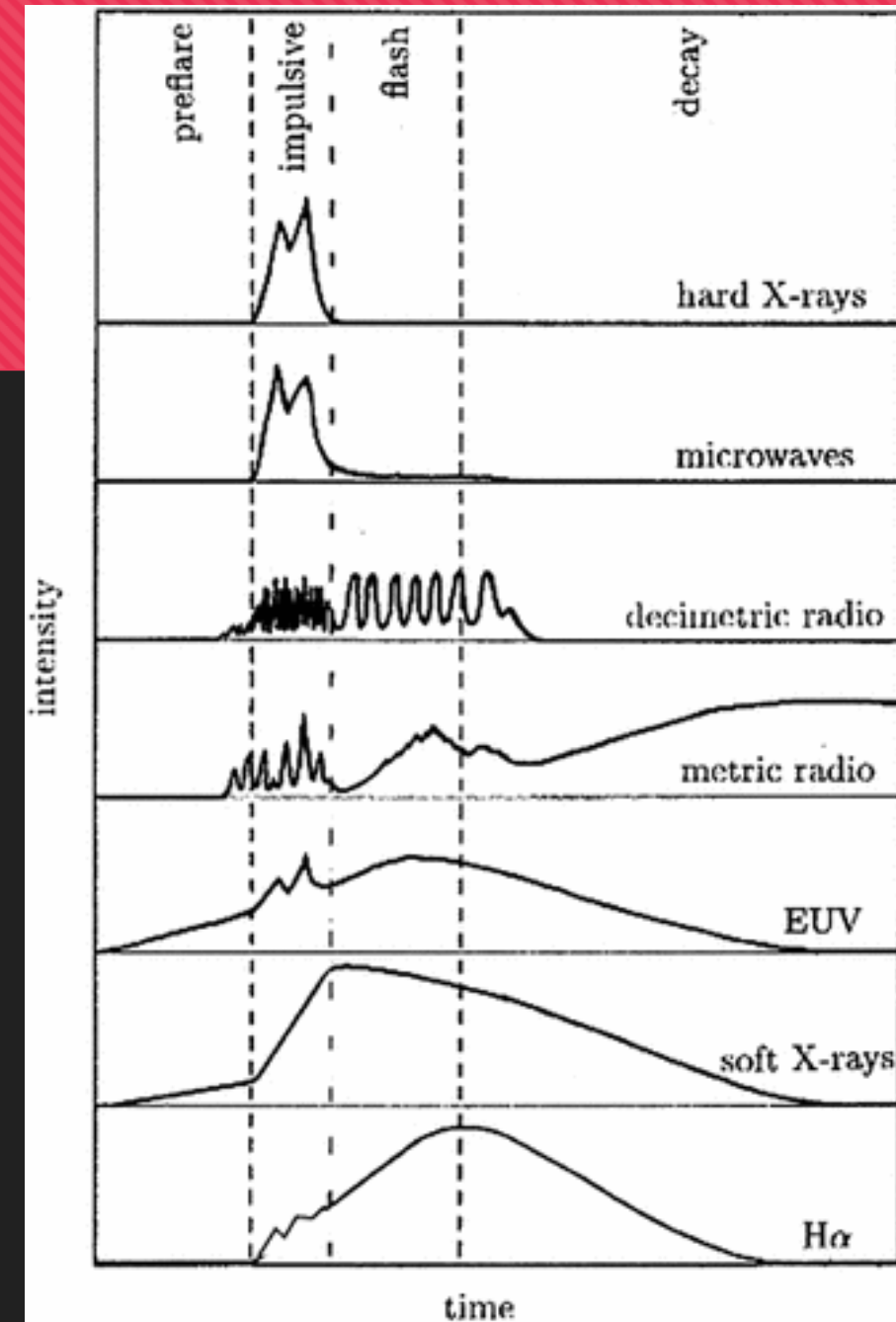
- Francis Graham-Smith, Unseen cosmos – the universe in radio, Oxford University Press, 2013
- Basics of radio astronomy: <https://www2.jpl.nasa.gov/radioastronomy/>
- Essential radio astronomy: https://www.cv.nrao.edu/course/ast534/ERA_old.shtml

Слънцето

- Радиометри – едночестотни записи на радиоемисията
- Спектрографи – емисия по честота, време и интензитет
- Хелиографи – разположение на слънчевия диск (в проекция)
- 3D – разположение в междупланетното пространство

Радиометри

- Радиометри – едночестотни записи на радиоемисията
- Наблюдение на Слънцето като точков източник



Радиометри

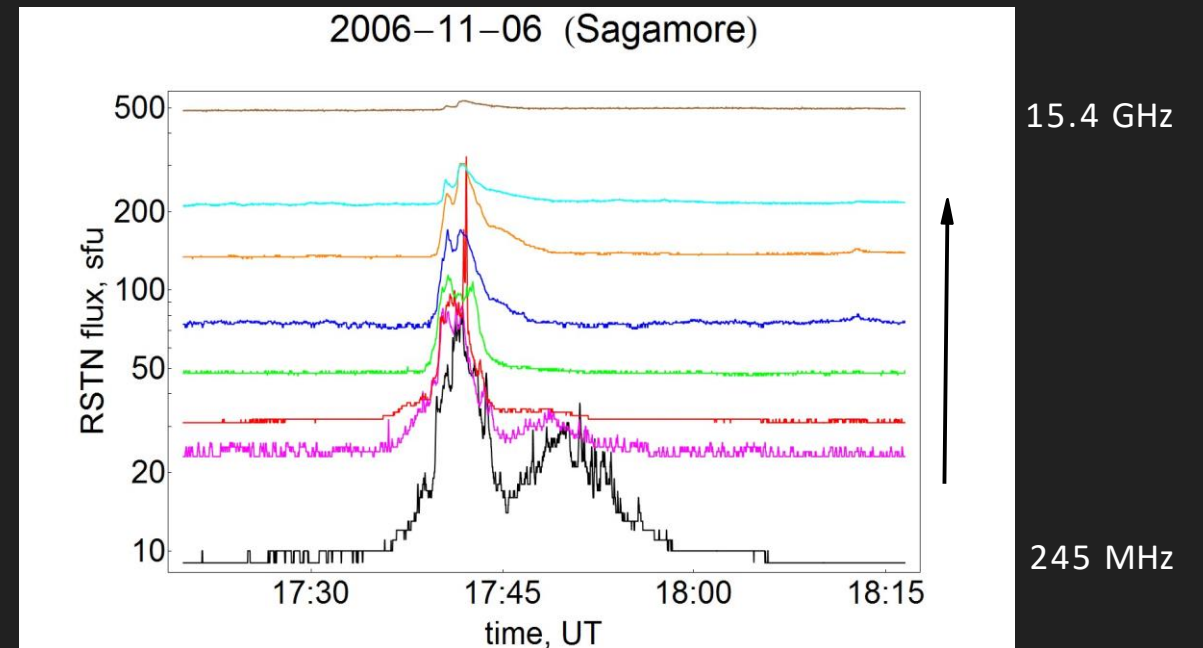
○ Radio Solar Telescope Network

245, 410, 606-610, 1415, 2695, 4995, 8800, 15400 MHz

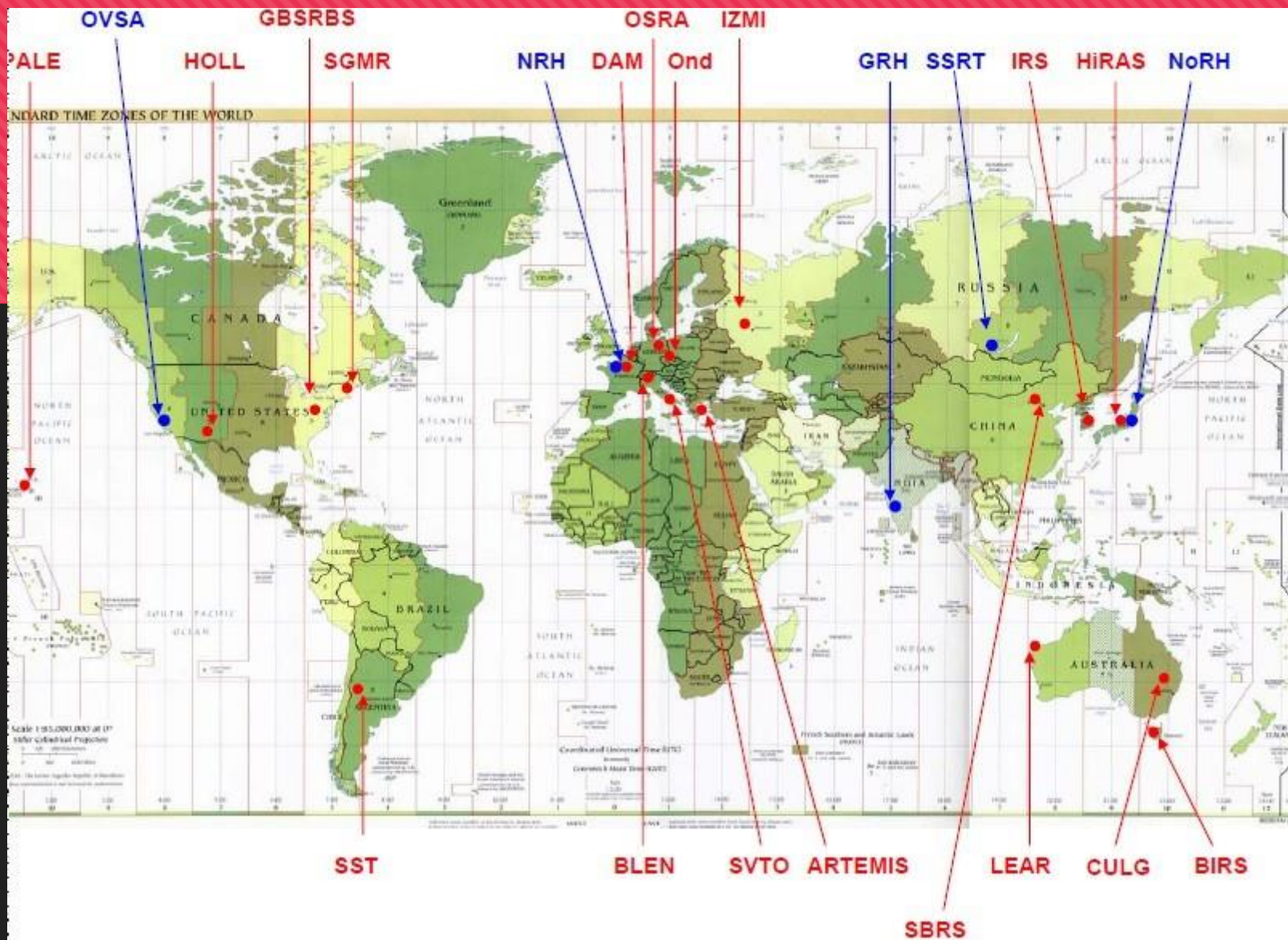
1-sec

<https://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-features/solar-radio/rstn-1-second/>

https://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-features/solar-radio/rstn-1-second/documentation/rstn-seon-usaf_ktegnell_31mar16.pdf



Радио инструменты



Single-frequency record (full-Sun integrated, sufficient UT-coverage)

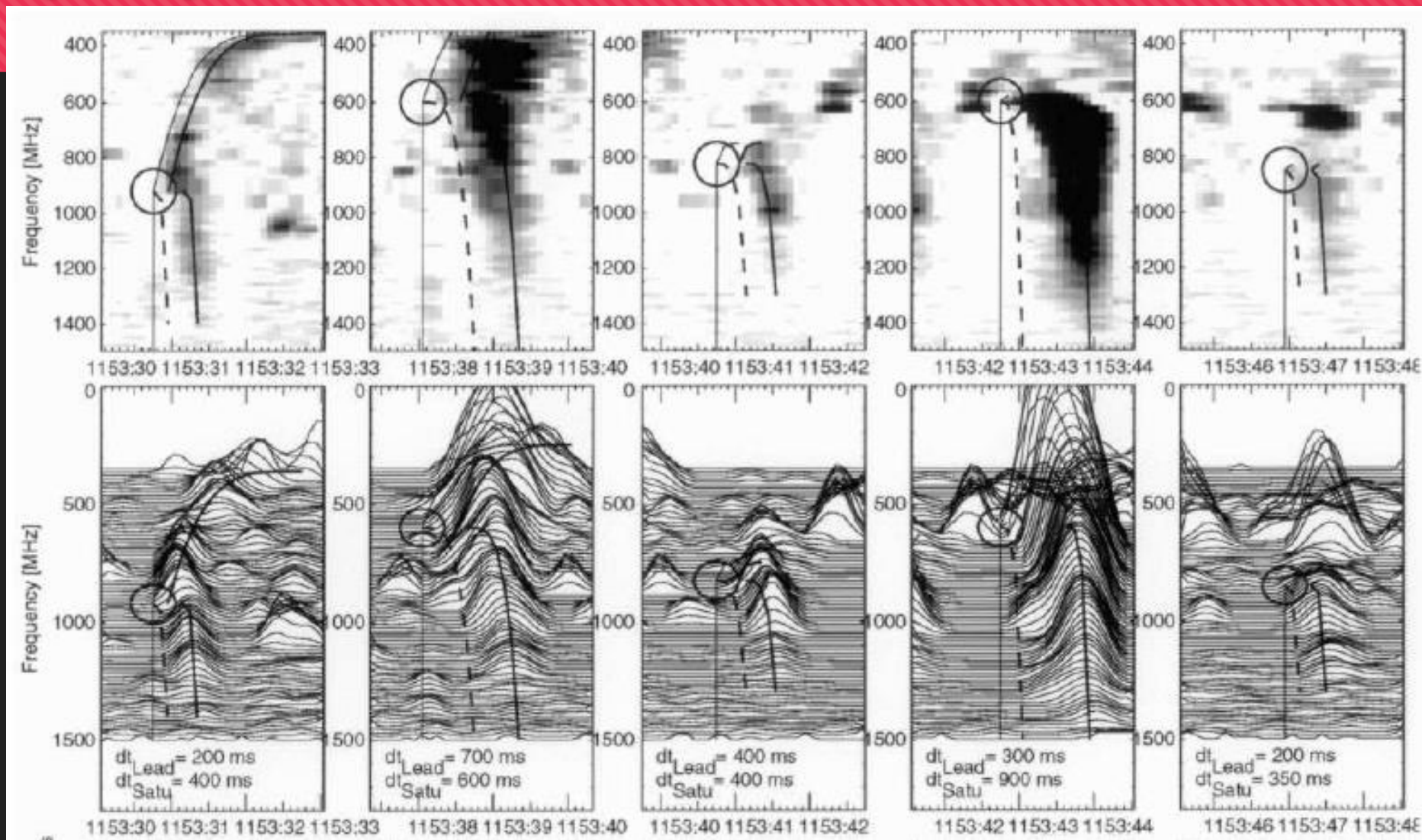
Dynamic radio spectrum (full-Sun integrated, partial UT-coverage)

Radio-heliograph (projection on the solar disk, poor UT-coverage)

Wind/WAVES
STEREO/WAVES

Спектрографи

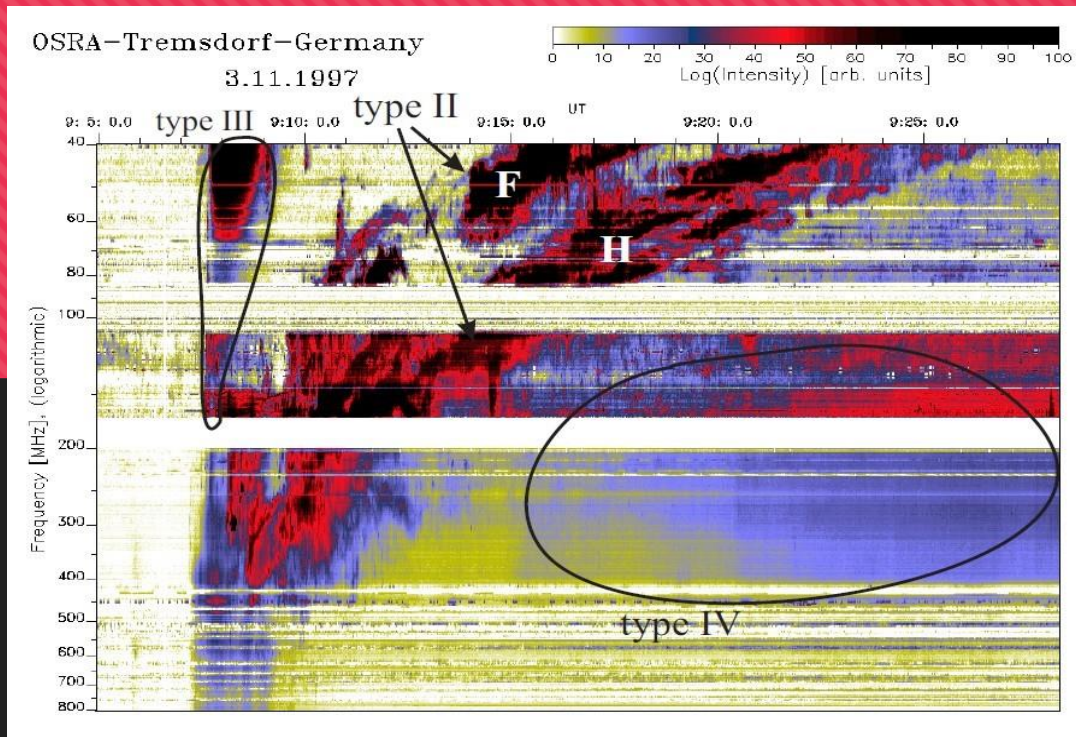
- Спектрографи – емисия по честота, време и интензитет
- Наблюдение на Слънцето като точков източник



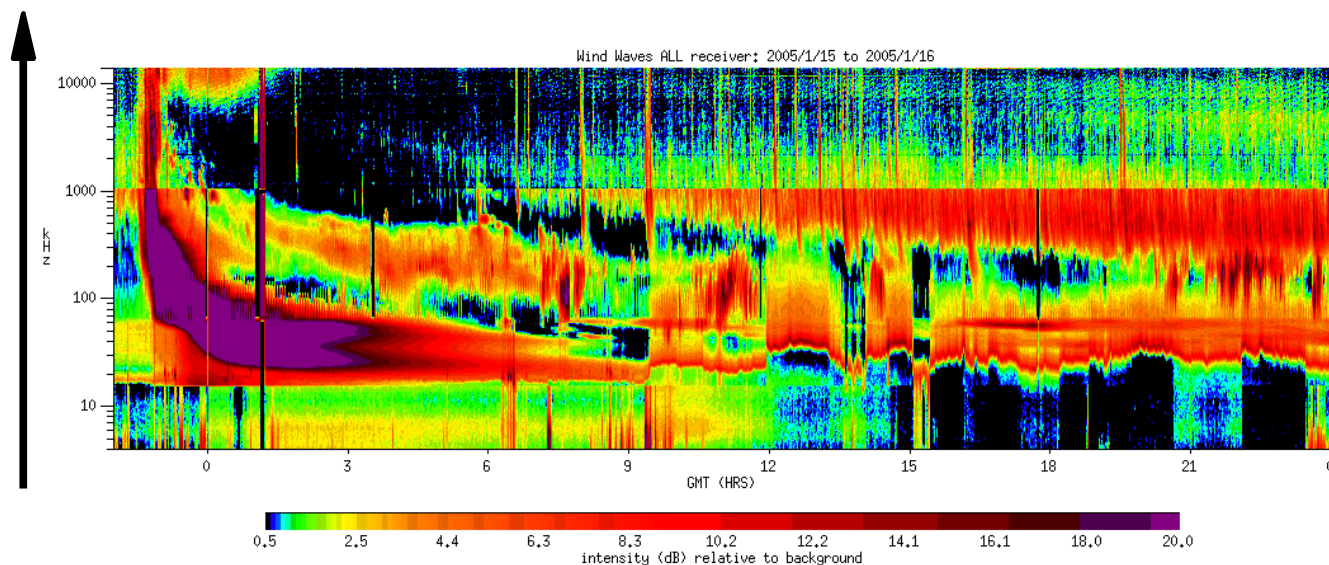
Спектрографи

○ От наземни и спътникови инструменти

f [MHz]



t [UT]



<http://secchirh.obspm.fr/>

<http://www.asu.cas.cz/~radio/info.htm>

<http://www.e-callisto.org/>,

<http://soleil.i4ds.ch/solarradio/callistoQuicklooks/>

https://solar-radio.gsfc.nasa.gov/wind/data_products.html

<http://www.astro.umd.edu/~white/gb/>

Спектрографи – радиоизбухвания

○ Обобщение на класификацията на радиоизбухванията по типове

В зависимост от вида им в динамичния радиоспектър:

честотен диапазон

времеви диапазон

дрейф (но трябва модел на

плътността)

$$D_f = \frac{df}{dt} = \frac{f}{2} \frac{1}{N_e} \frac{dN_e}{dt} v_{\text{source}}$$

https://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-features/solar-radio/rstn-1-second/documentation/rstn-seon-usaf_ktegnell_31mar16.pdf

Type	Characteristics	Duration	Frequency Range	Associated Phenomena
I	Short, narrow-bandwidth bursts. Usually occur in large numbers with underlying continuum.	Single burst: ~1 sec Storm: Hours - days	80 – 200 MHz	Active regions, flares, eruptive prominences.
II	Slow frequency drift bursts. Usually accompanied by a stronger second harmonic. Drift from high to low frequencies.	3 – 30 min	Fundamental: 20 – 150 MHz	Flares, proton emission, shockwaves.
III	Fast frequency drift bursts. Can occur singularly or in groups.	Single burst: 1 - 3 sec Group: 1 - 5 min	10 kHz – 1 GHz	Active regions, flares.
IV	Stationary Type IV: Broadband continuum. Drift from high to low frequencies.	Hours – days	20 MHz – 2 GHz	Flares, proton emissions.
V	Smooth, short-lived continuum. Follows Type III bursts and never occur in isolation.	1 – 3 min	10 – 200 MHz	Active regions, flares.

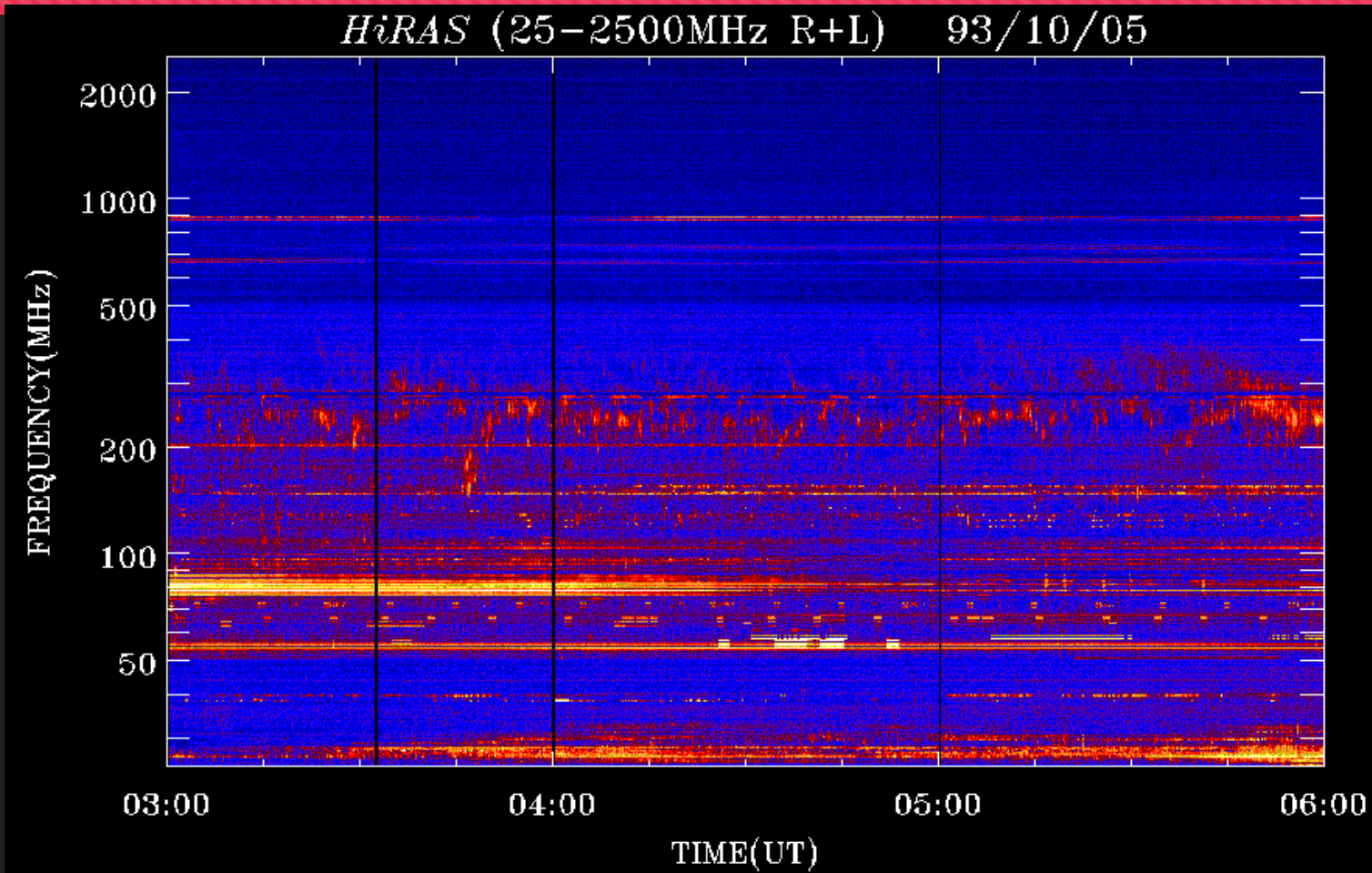
Радиоизбухвания – тип I

○ Тип I

→ Групи от тесноивични (10-ки MHz), стационарни в динамичния спектър ($D_f \sim 0$), краткотрайни по време (< 1 s), неизвестна причина, най-вероятно плазмена емисия, но не са свързани с избухванията

→ Буря от тип I – непрекъсната емисия с множество вградени тип I, продължителност – с дни, неизвестна причина, свързани с процеси на продължително присъединяване над активни области

→ Електрони с топлинни енергии, в затворени силови линии

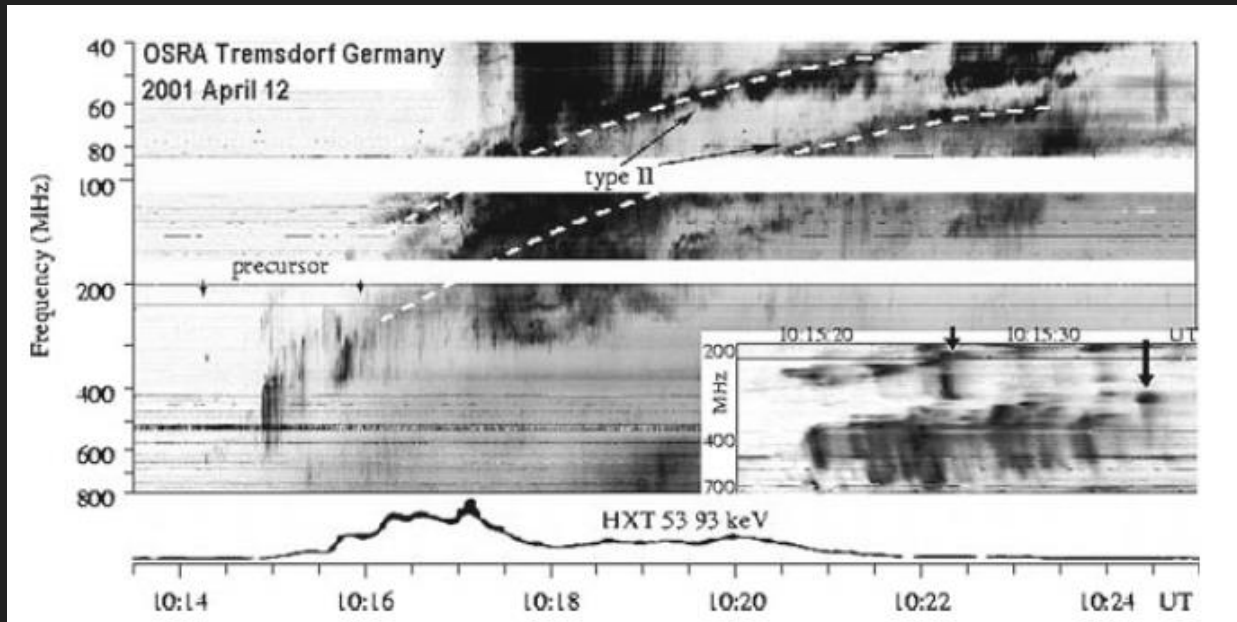


Радиоизбухвания – тип II

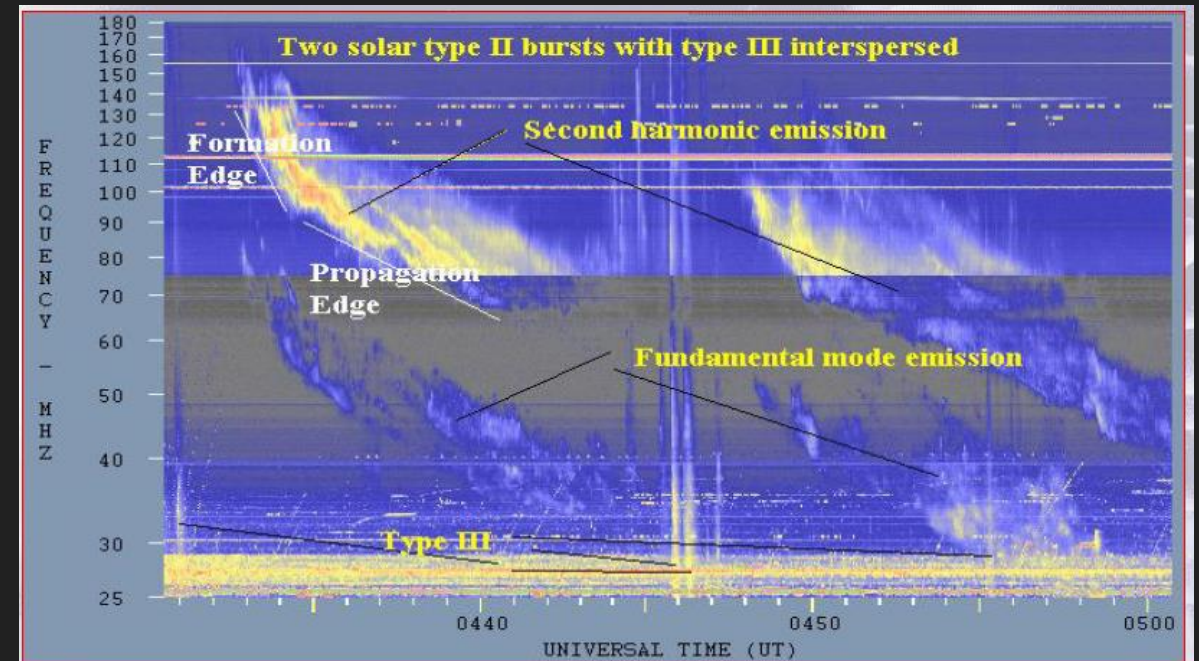
○ Тип II

→ Тесноивични ивици (няколко MHz), движение ($D_f \sim 0.1\text{--}1\text{ MHz/s}$), 5–20 минути, често с фундаментална емисия и на втора хармоника, емисията е плазмена, в короната и междупланетната среда

→ причината е ударна вълна, движеща се със скорост 500-2000 km/s към слоеве с по-ниска плътност/по-ниска честота



Klassen et al. (2003)



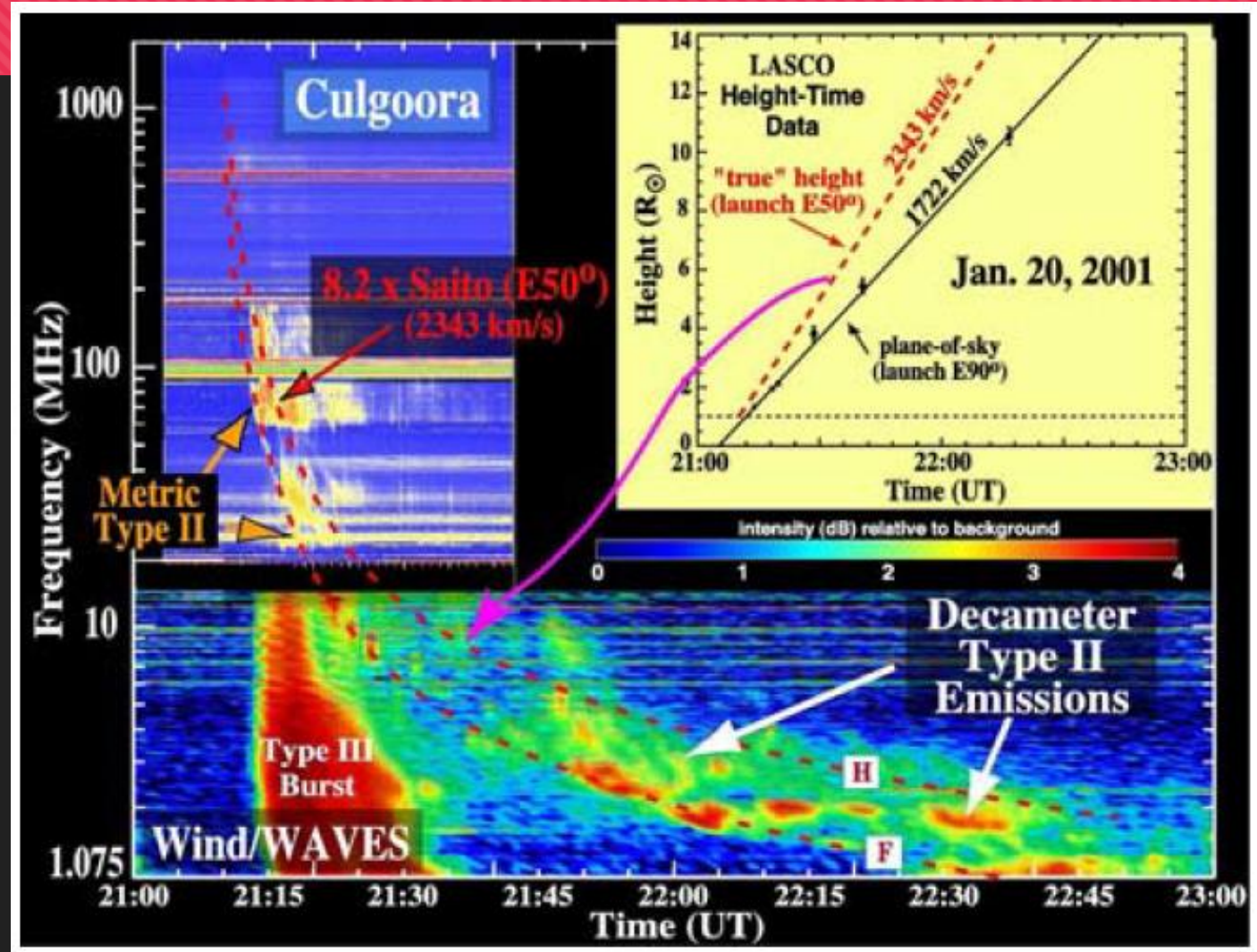
Tegnell (2016)

Радиоизбухвания – тип II

○ Тип II

→ в короната

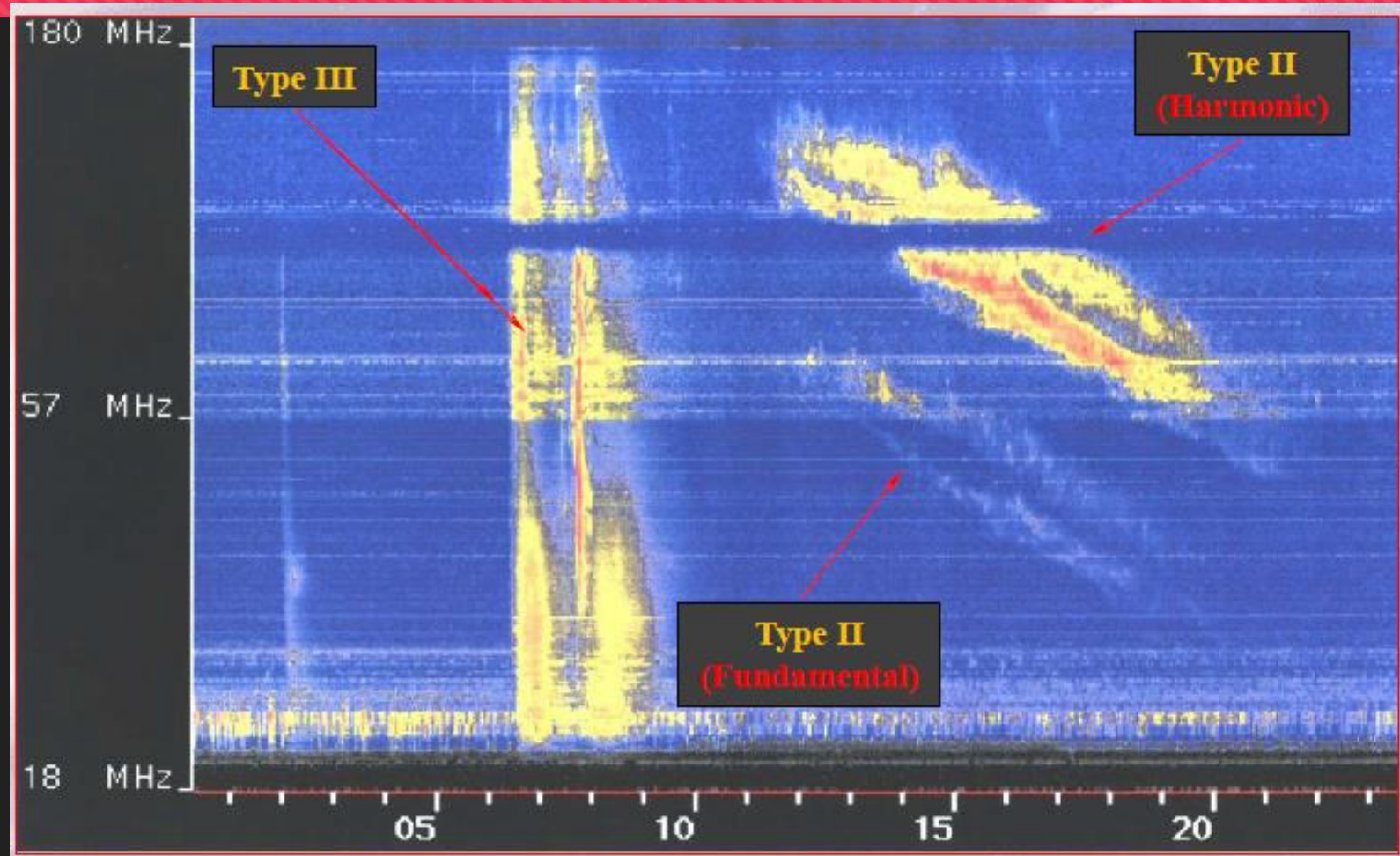
→ в междупланетната среда –
прекъснати емисионни ивици



Reiner et al. (2003)

Радиоизбухвания – тип II & III

- При големи по интензитет избухвания се наблюдават и двата типа

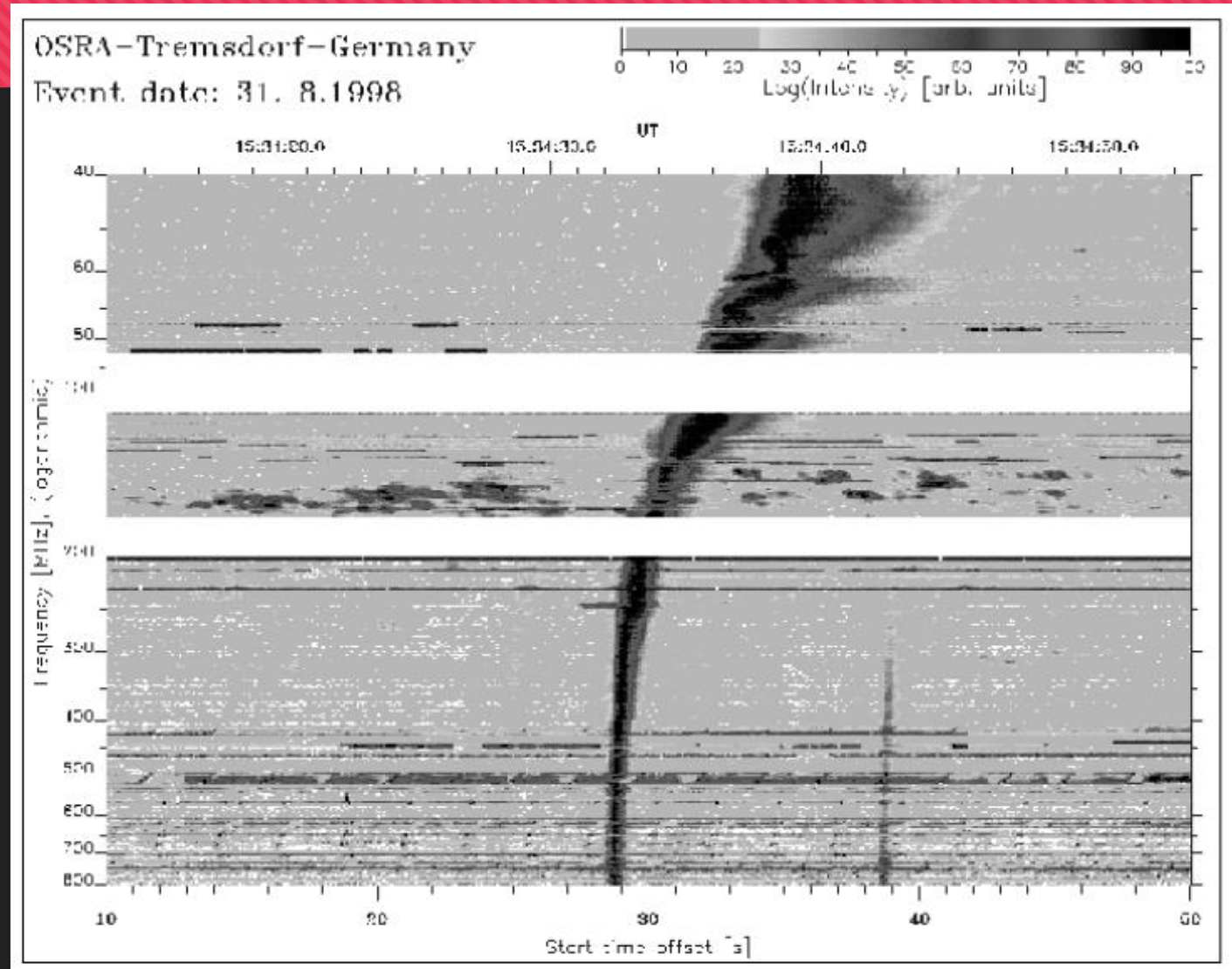


Радиоизбухвания – тип III

○ Тип III

Причината е поток или сноп от електрони движещи се със скорост $\sim c/3$, по-често в посока от ниската корона към междупланетното пространство, но има и в посока към ниска корона – RS (reverse slope).

Warmuth & Mann (2005)

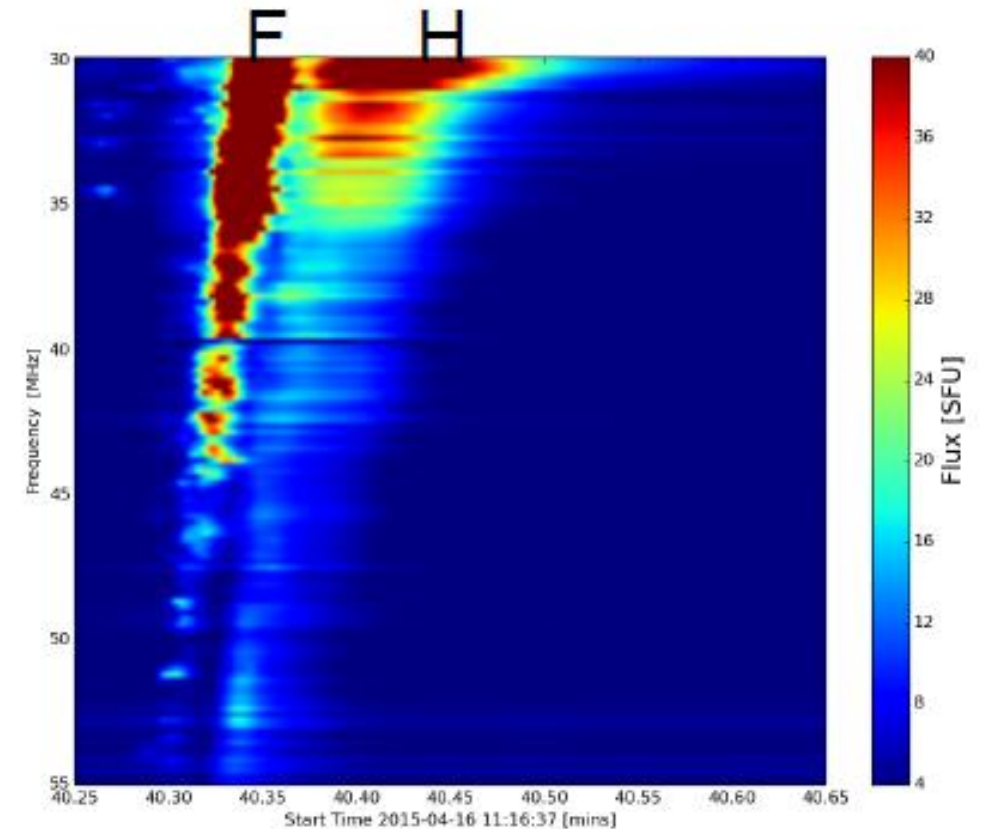


Радиоизбухвания – тип III

○ Тип III

Бърз дрейф (drift), стуркурата е често фундаментала (поляризация от o-mode) и втора хармоника (слаба (15%) x-mode)

Времетраене: от секунди до няколко минути

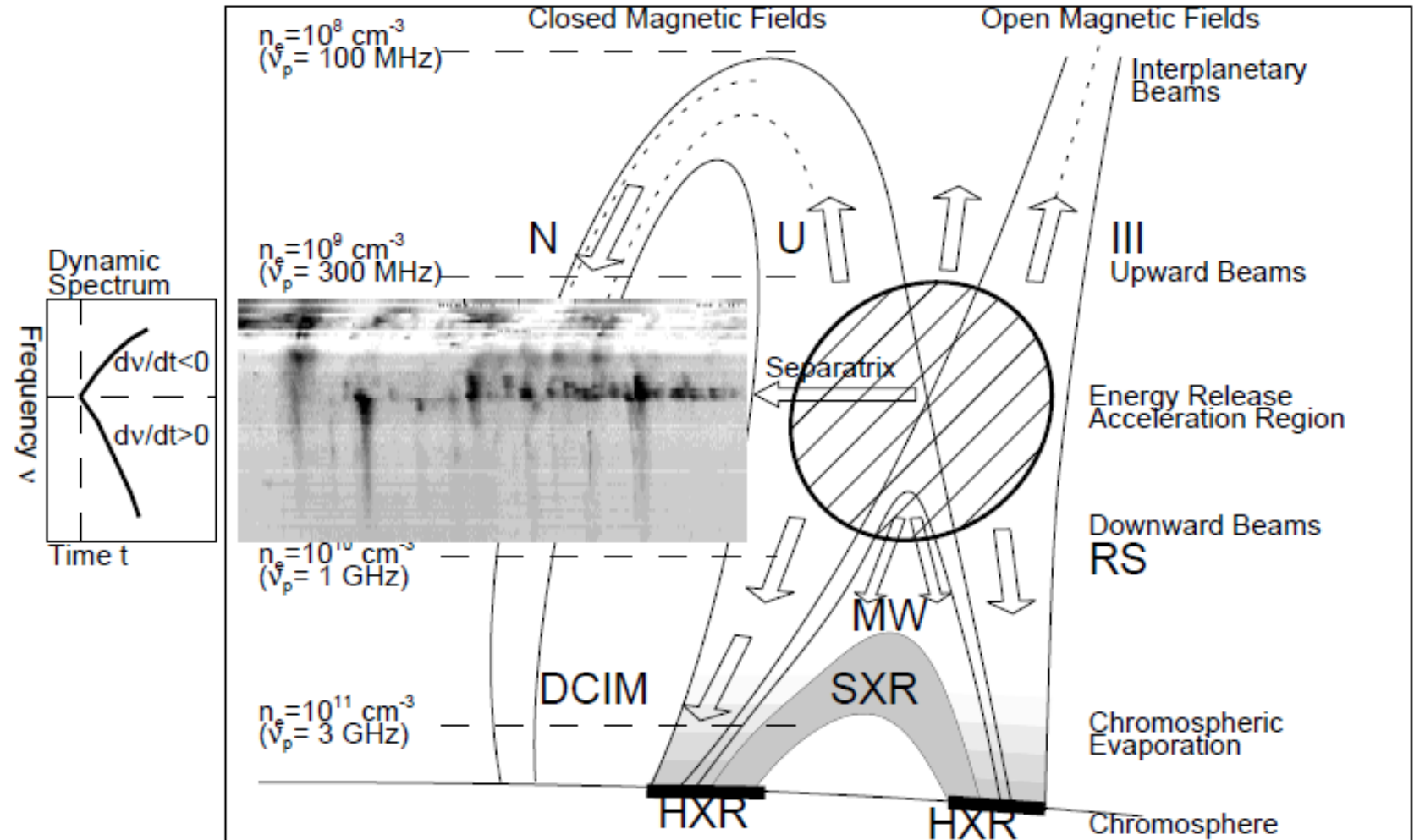


F: $v=0.11c$ H: $v=0.18c$

Конфигурация – тип III

○ Тип III

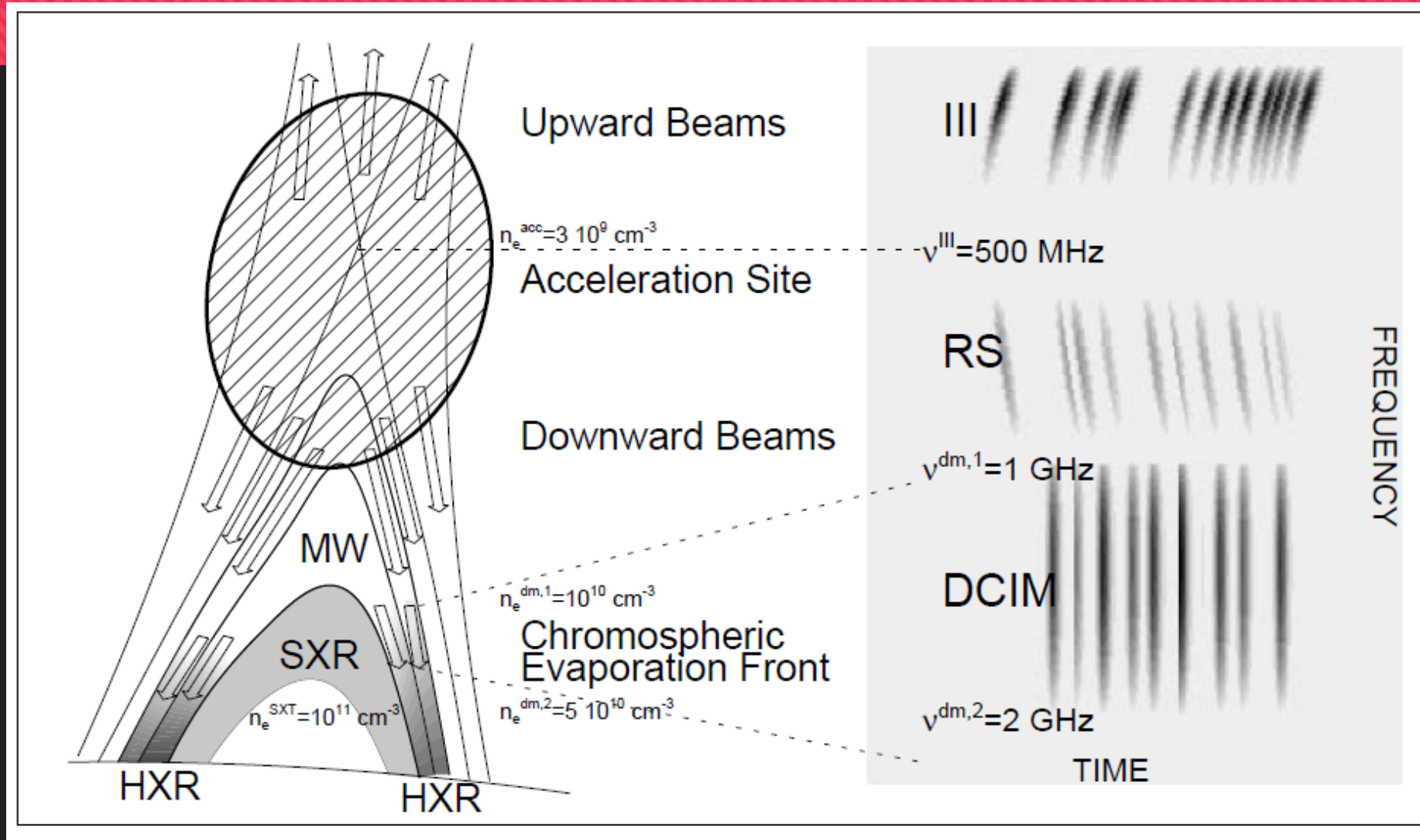
Движение в различни посоки в слънчевата корона по отворени или затворени силови линии



Конфигурация – тип III

○ Тип III

Движение в различни посоки в слънчевата корона по отворени или затворени силови линии

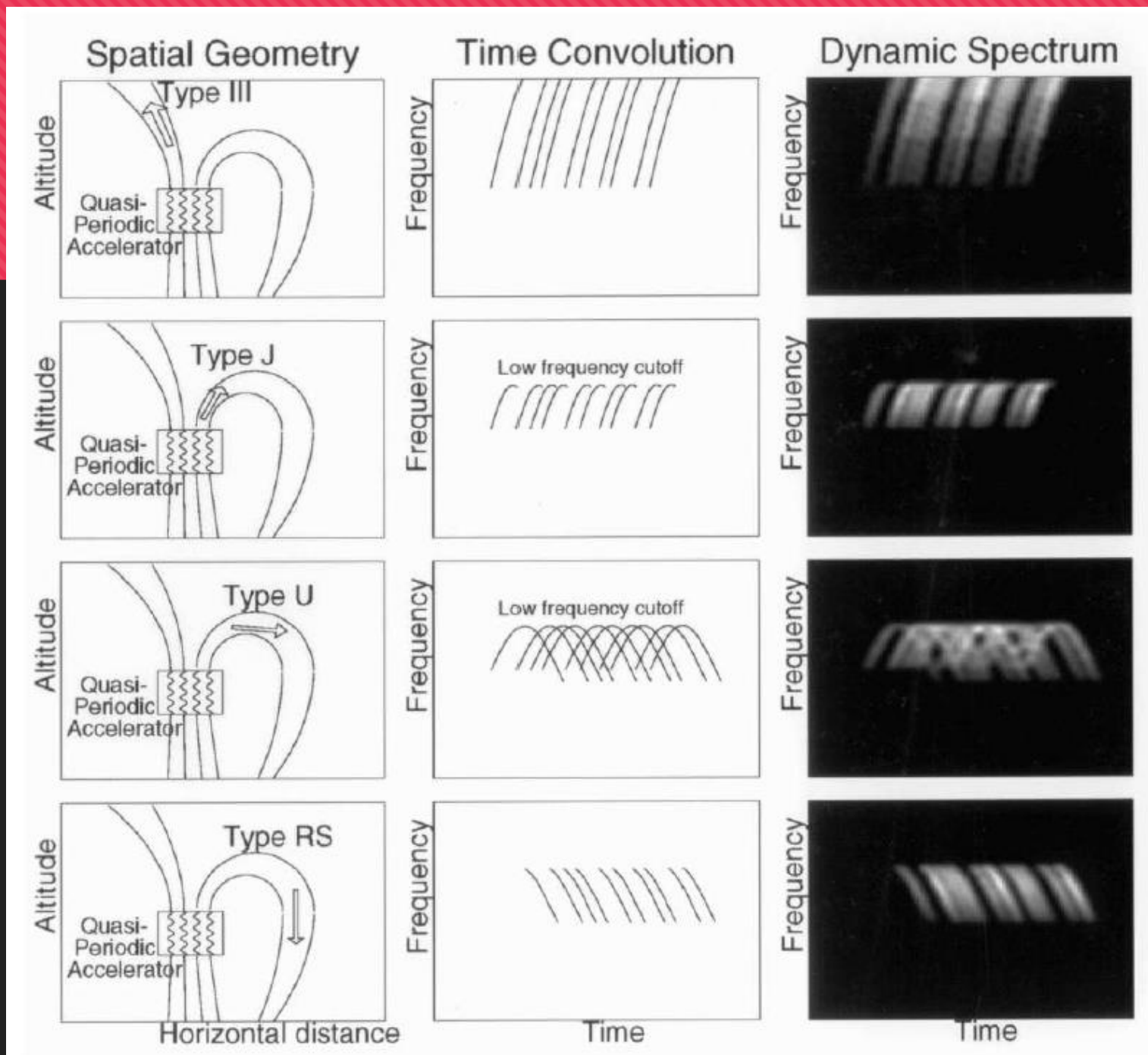


Видове тип III

○ Тип III

Движение в различни посоки в слънчевата корона по отворени или затворени силови линии

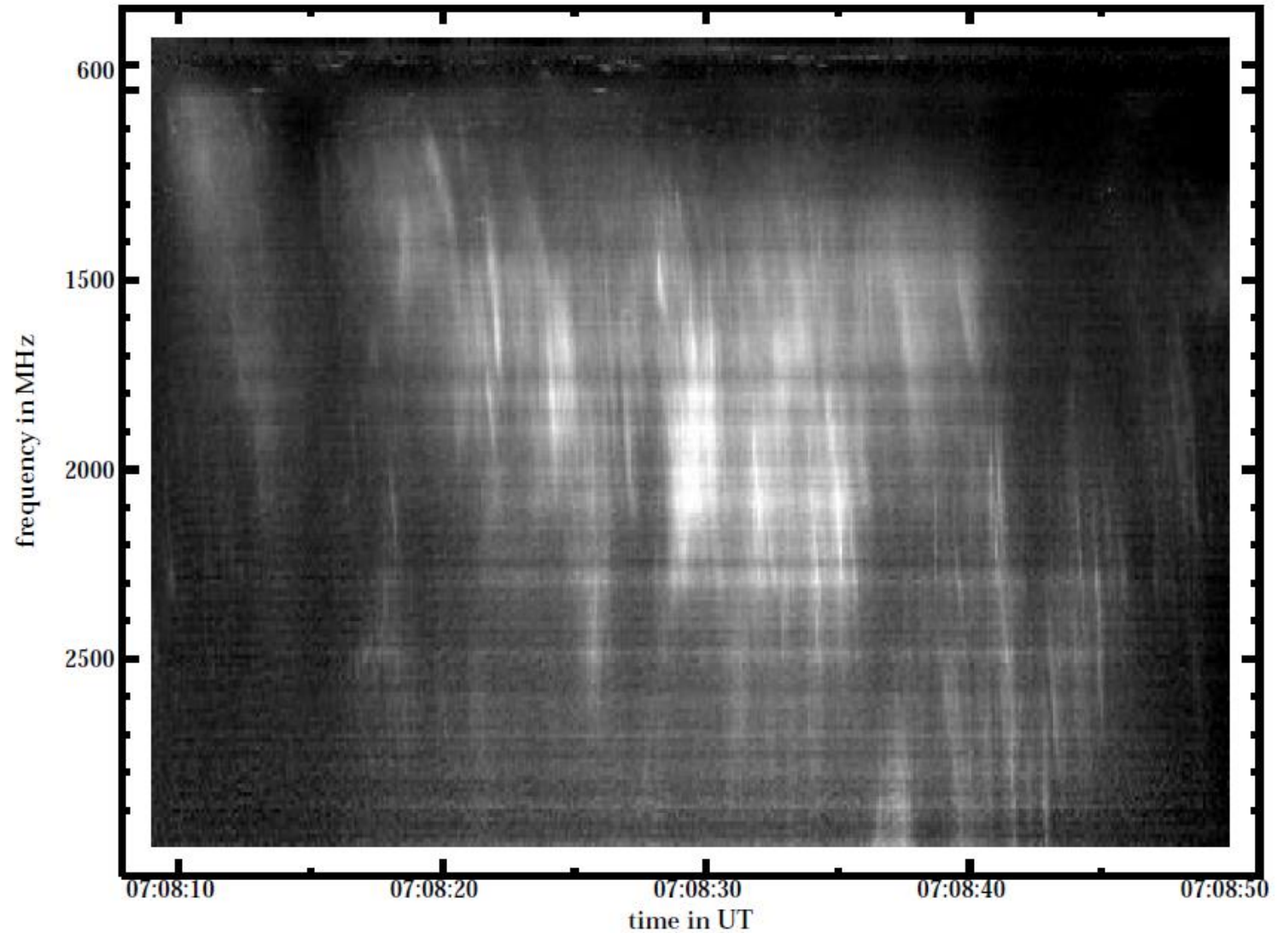
Aschwanden et al. (1994)



Видове тип III

- Тип III
дециметрови

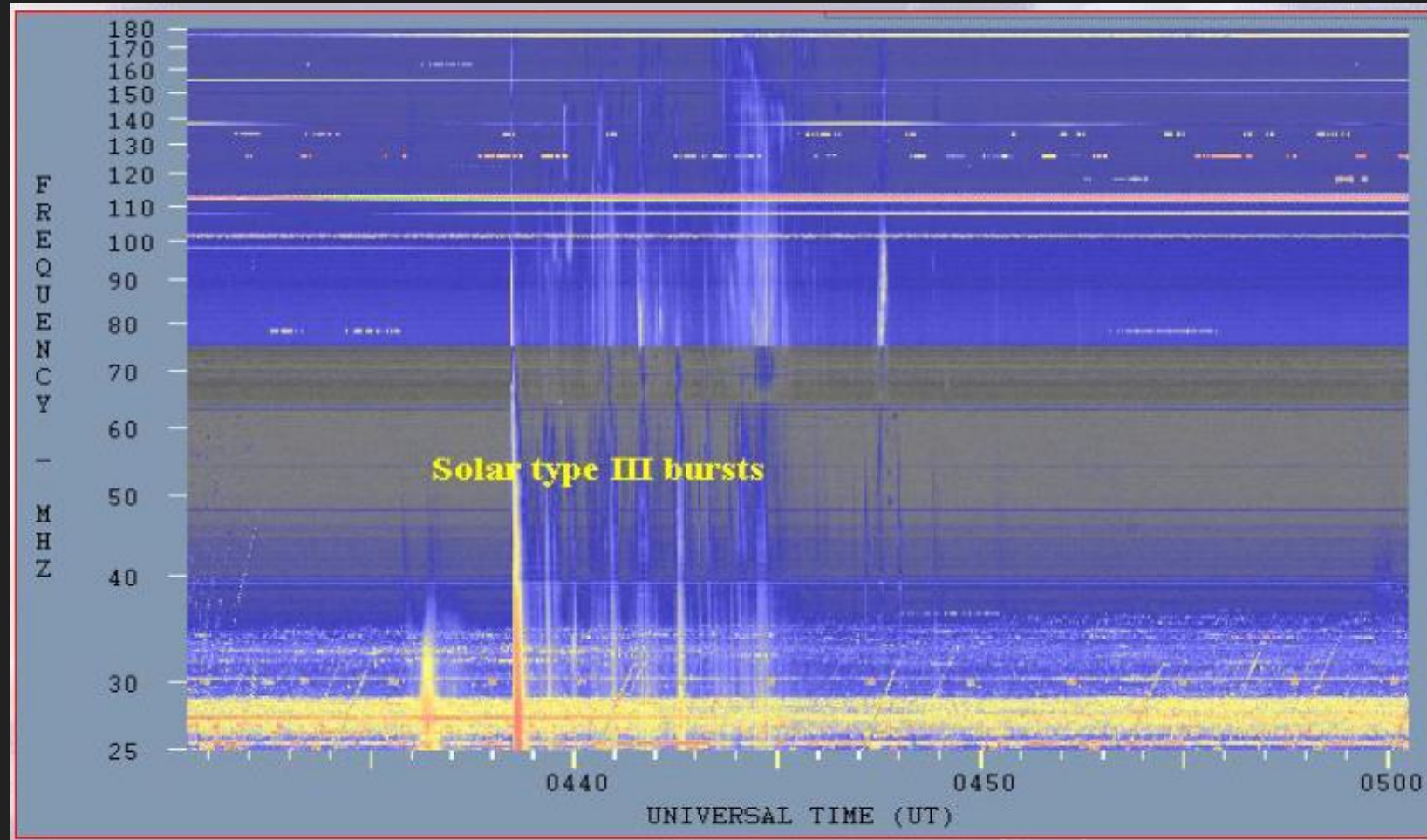
Isliker & Benz(1994)



Радиоизбухвания – тип III

○ Тип III

Буря от тип III -- дългопериодични (ден или повече), серия от радиоизбухвания, по двойки или континуум

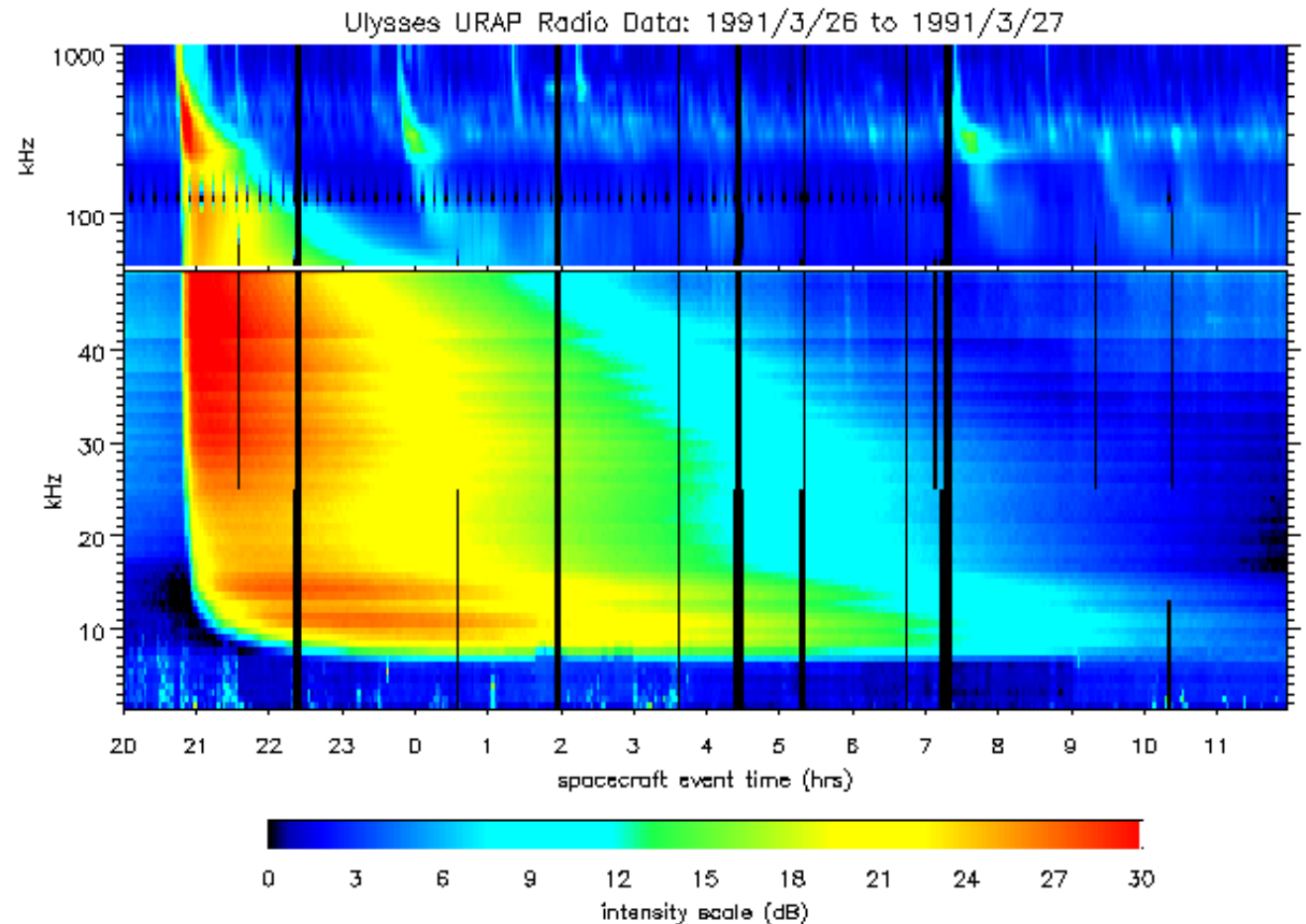


Радиоизбухвания – тип III

- Определяне на локалната електронна плътност от „спиране“ на наблюдаваната радиоемисия

Наблюдаваната радиочестота спира рязко на около 7 kHz, защото спътника се намира в плазма със същата собствена плазмена честота.

По този начин радиовълните изващи от Слънцето с честоти по-малки от тази не могат да достигнат до спътника.



Композитен спектър

○ Тип IV

Стационарен тип IV - широкоивична непрекъсната емисия, понякога силно поляризирана, поради плазмена (o-mode) или синхротронна емисия (x-mode).

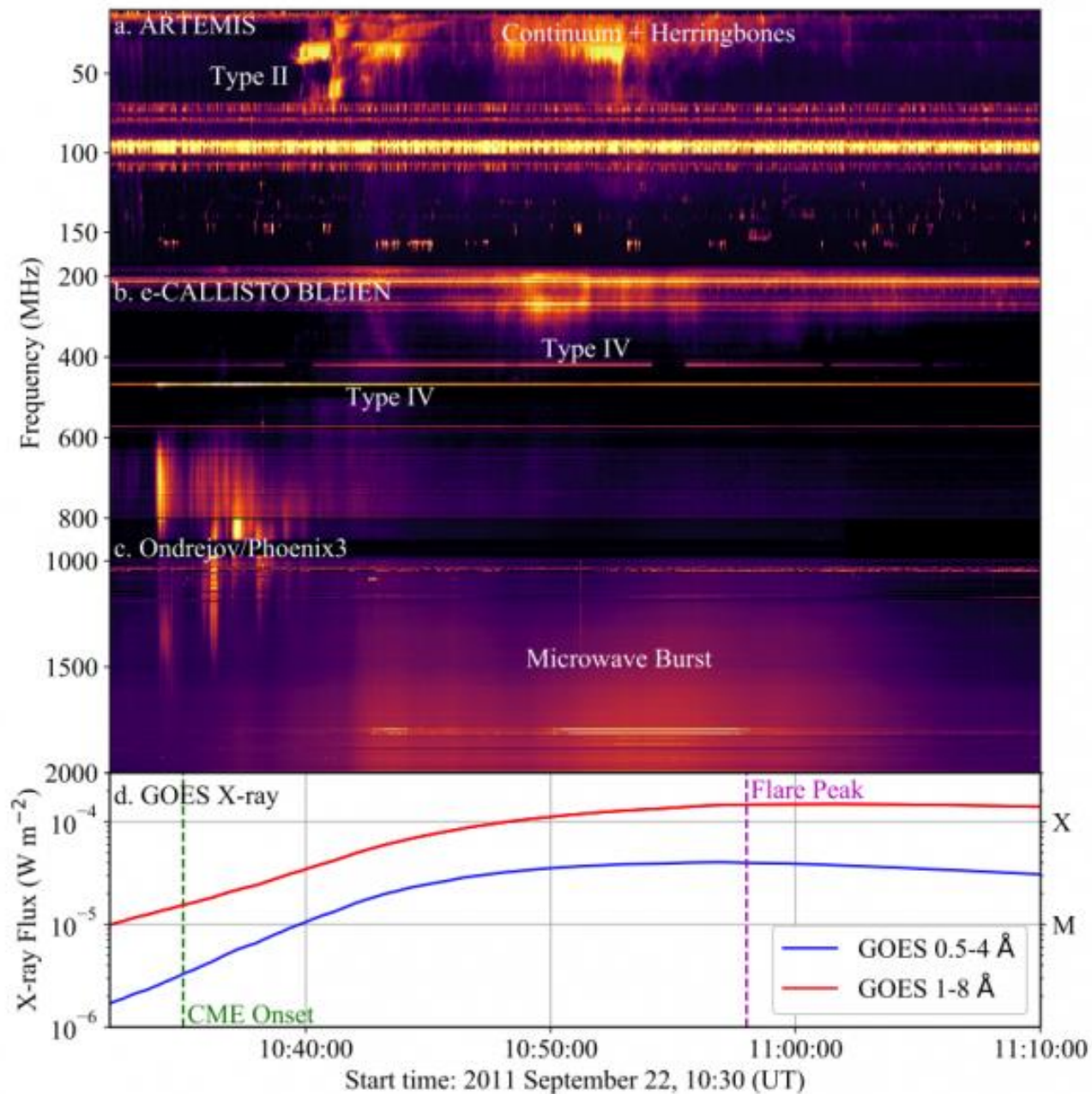
Причината е плазмоид или високи силови линии, изпълнени със заредени частици

Движещ се тип IV - от подобен източник, но емисията е поради разширяваща се магнитна арка или движение на коронално избухване на маса.

Времетраене: от 10 минути до часове

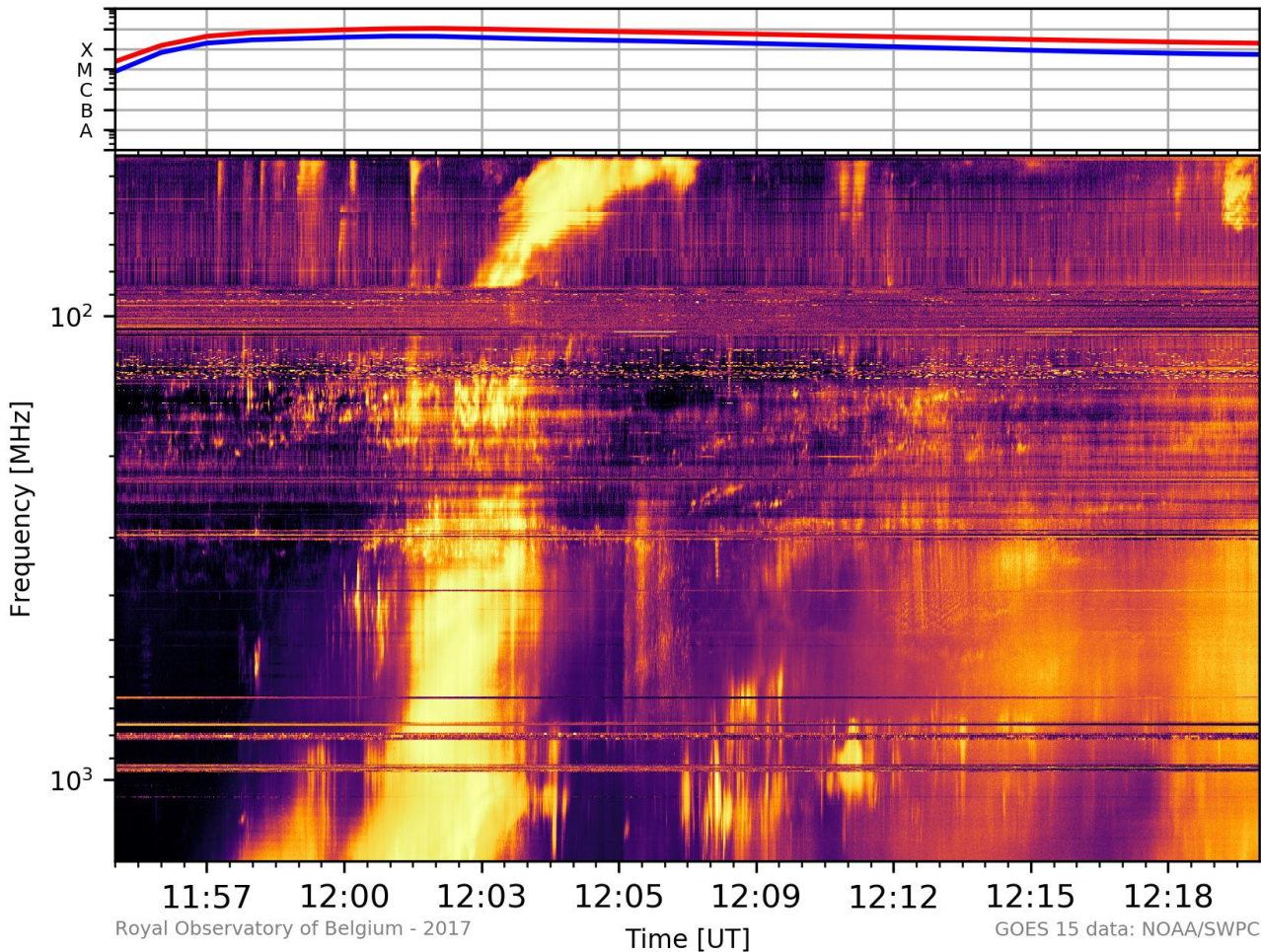
Фина структура – краткотрайни, различна форма в динамичния спектър.

Наблюдава се предимно в дециметровия и метровия диапазон.

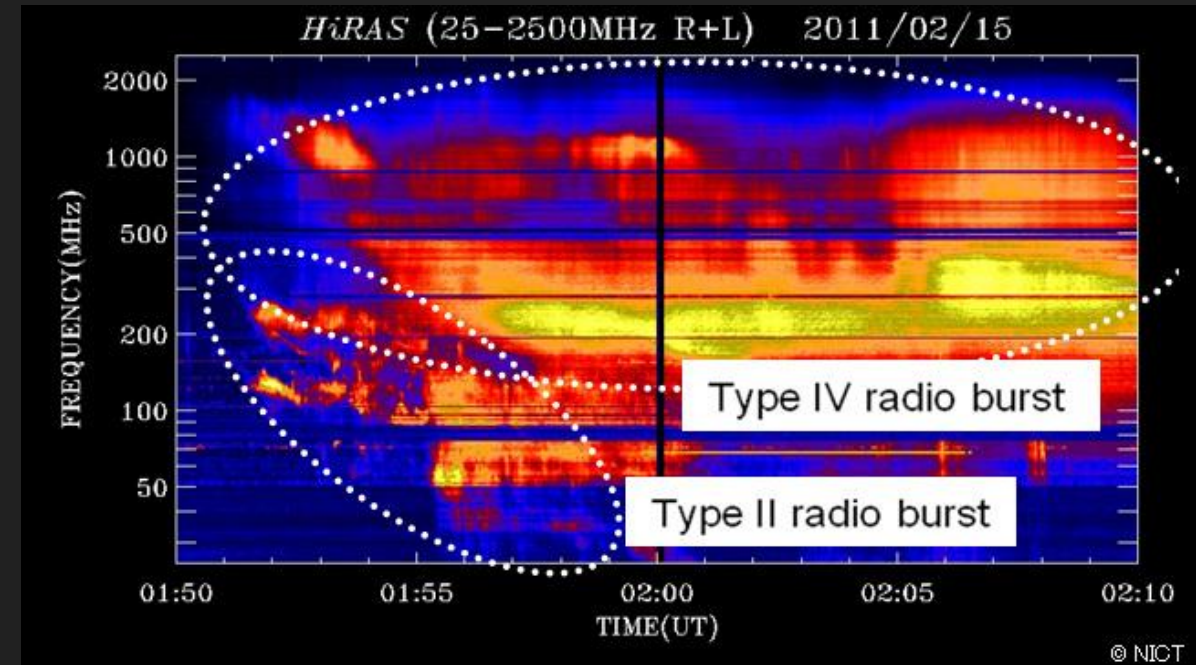


Радиоизбухвания – тип IV

GOES Xray Flux | Humain radio spectra [ARCAS + HSR5] - 2017/09/06



http://sidc.be/humain/event_x9_20170906.php



<https://watchers.news/2011/09/07/solar-radio-bursts/>

Радиоизбухвания – тип V

○ Тип V

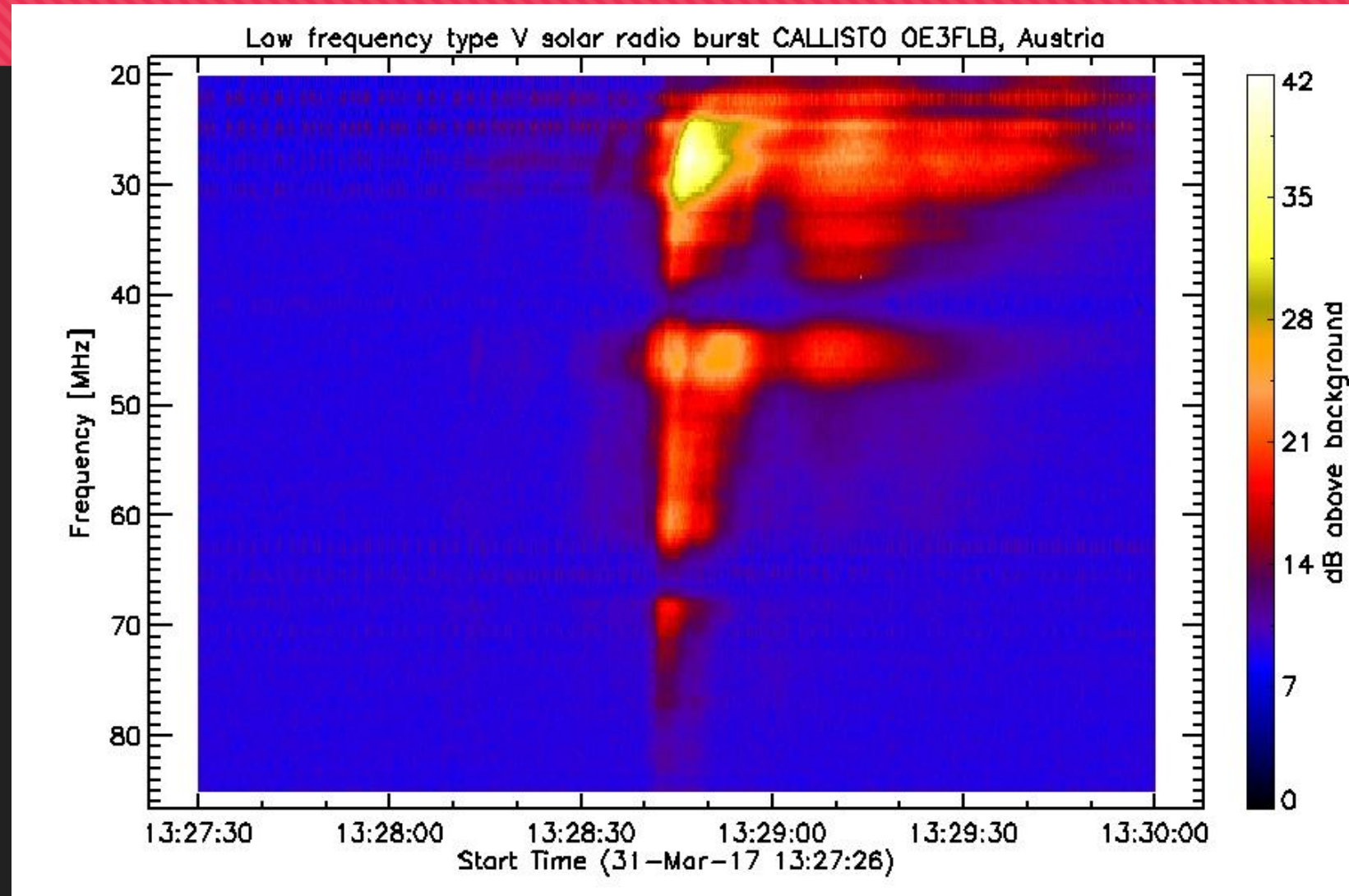
Непрекъсната емисия след тип III, поляризирана x-mode (противоположно на свързания с нея тип III).

Причината е по-бавни, тип III-подобни електрони, движещи се около раздалечаващи се силови линии, които създават вълни в две противоположни посоки (също може да има влияние от предишен тип III).

Оценка: следва тип III в 10% от случаите

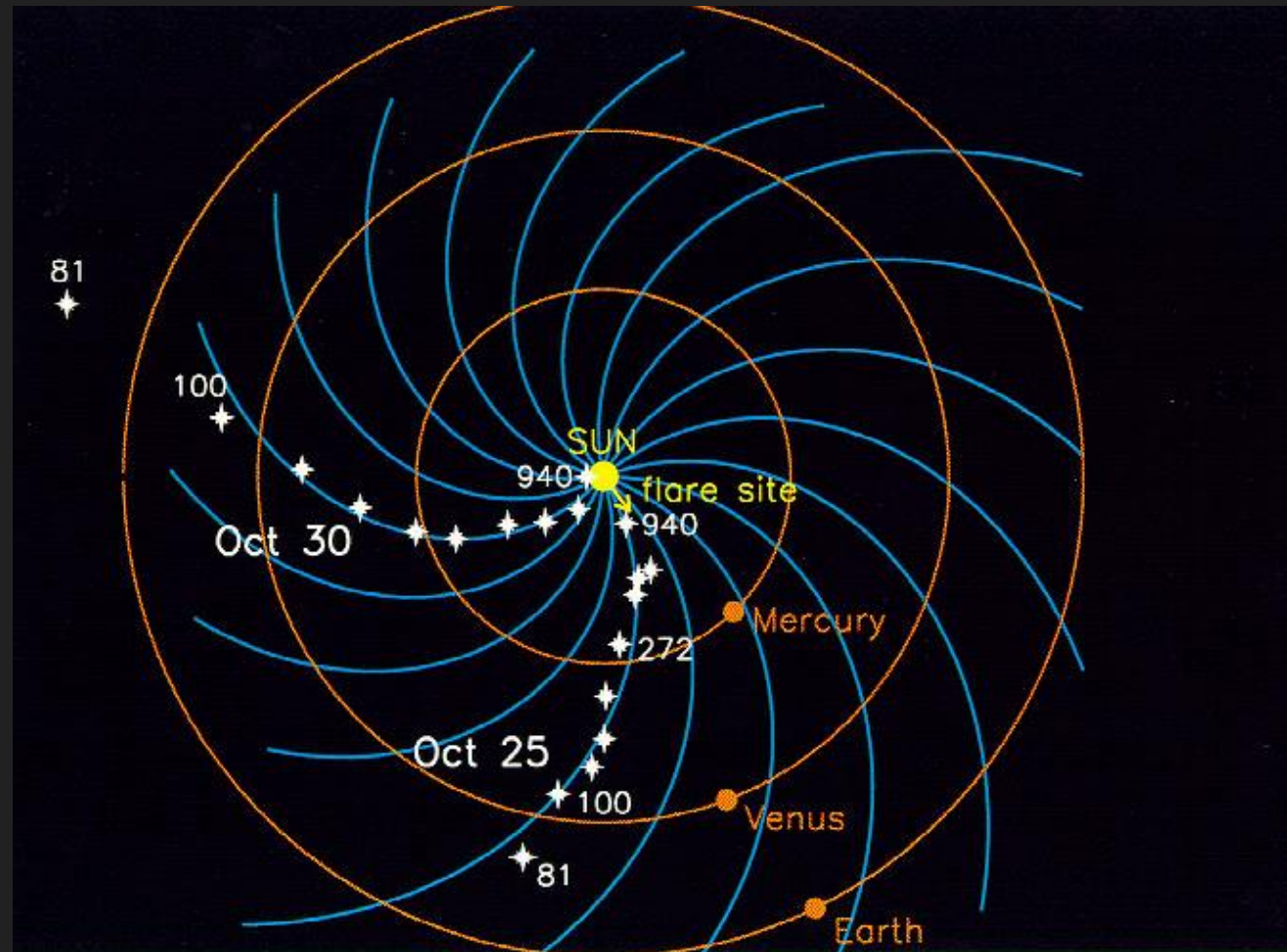
Наблюдава се: 5–150 MHz

Времетраене: няколко минути



Междупланетно пространство

- Тип III се наблюдават от слънчевата корона достигайки до земната орбита и при по-далече. Използвайки спътник с ротационен дипол, посоката на емисията може да се определи. От измерената честота (която е пропорционална на квадрата на плътността) и модел на междупланетната плътност с разстоянието може да се определи къде минават електронните снопове.
- Пример за проследяване на два тип III от Слънцето в междупланетната среда. Електроните следват магнитното поле, което описва архимедова спирала (спирала на Паркър).



Хелиографи

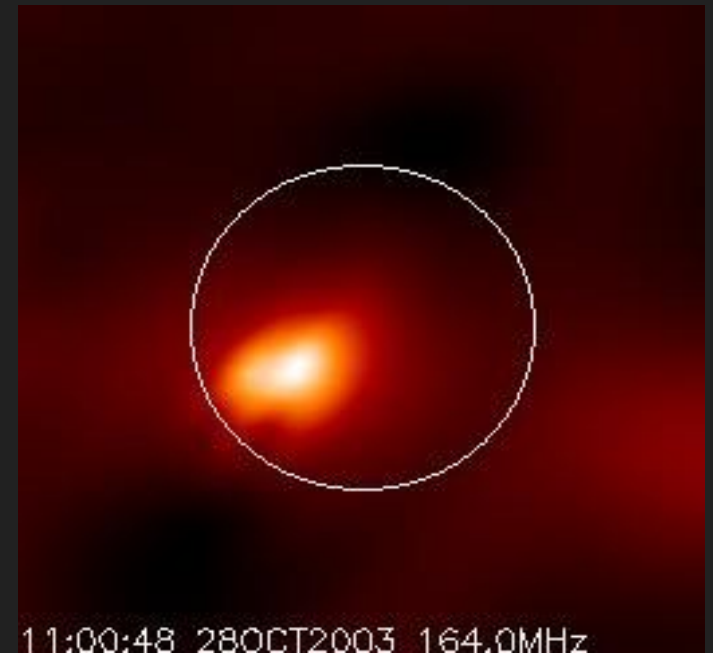
○ Nançay (NRH)

47 антени (Т-конфигурация, 19 E-W, 25 N-S)

150–450 MHz

<https://www.obs-nancay.fr/-Radioheliographie-.html>

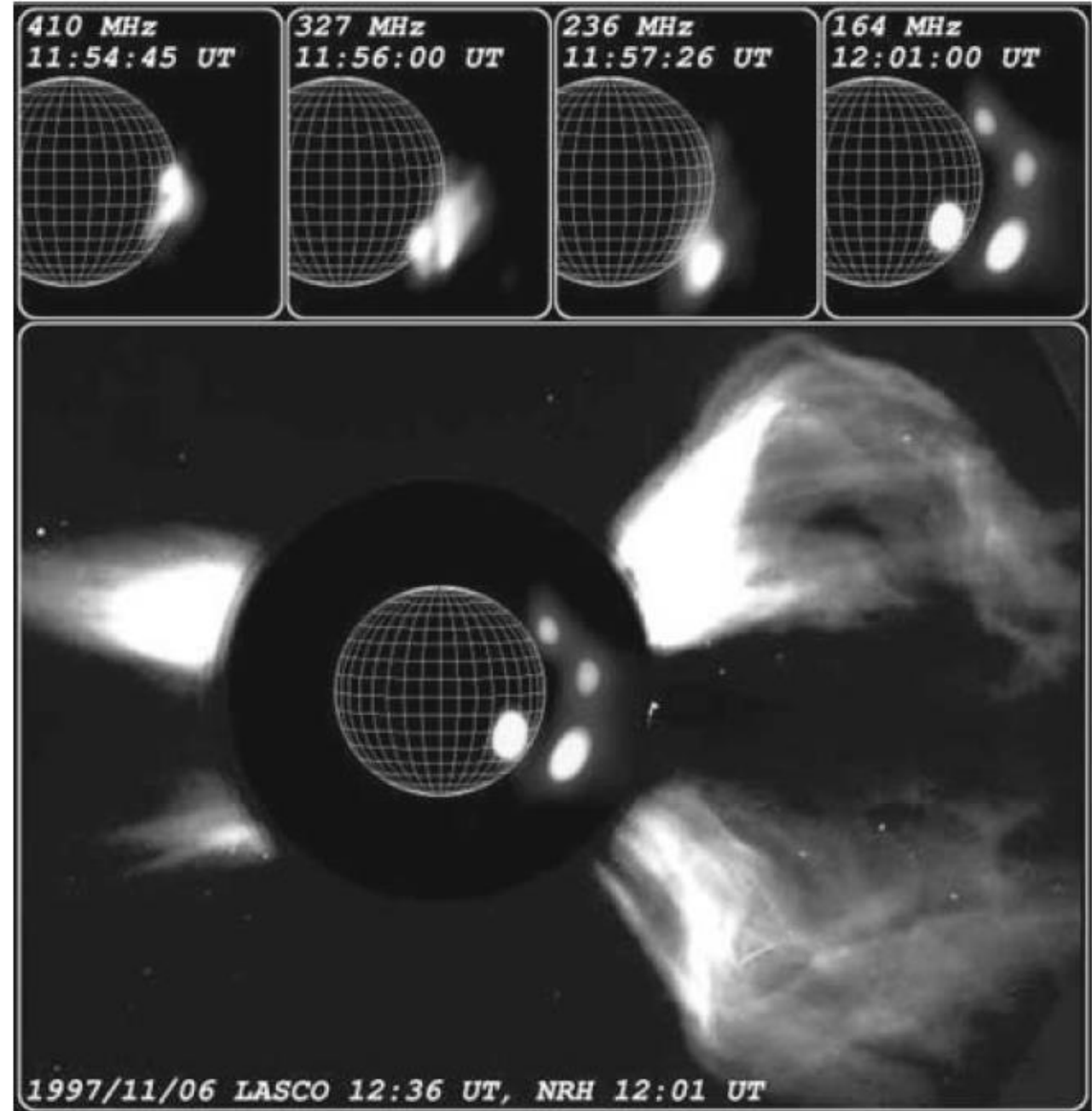
<http://secchirh.obspm.fr/>



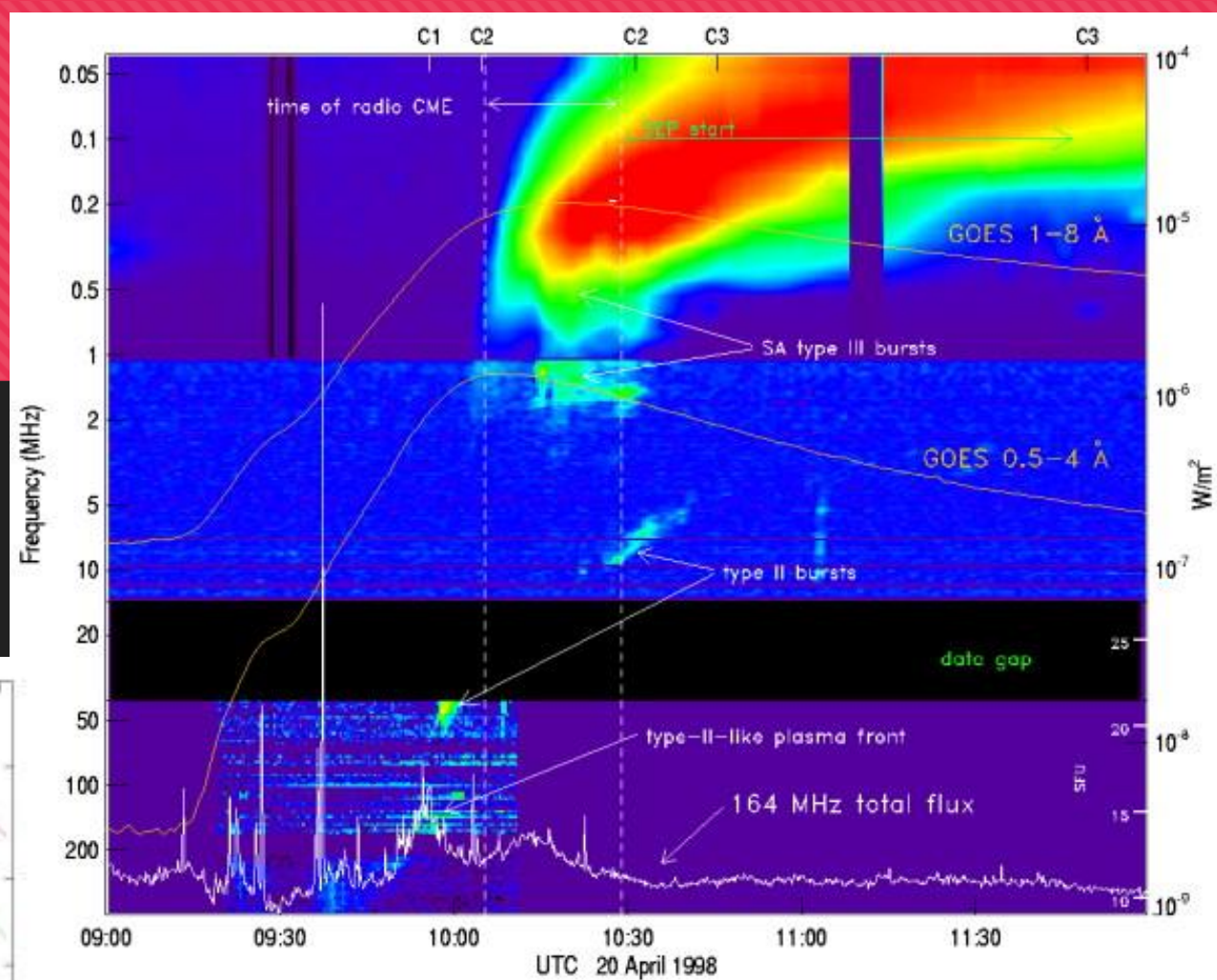
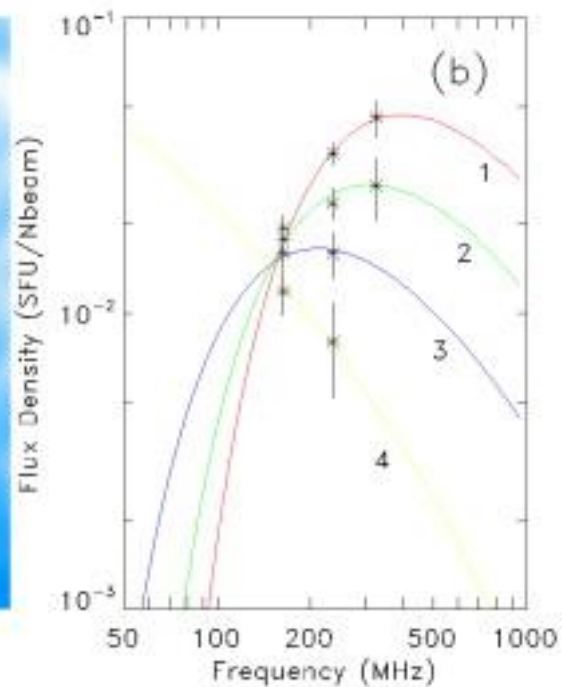
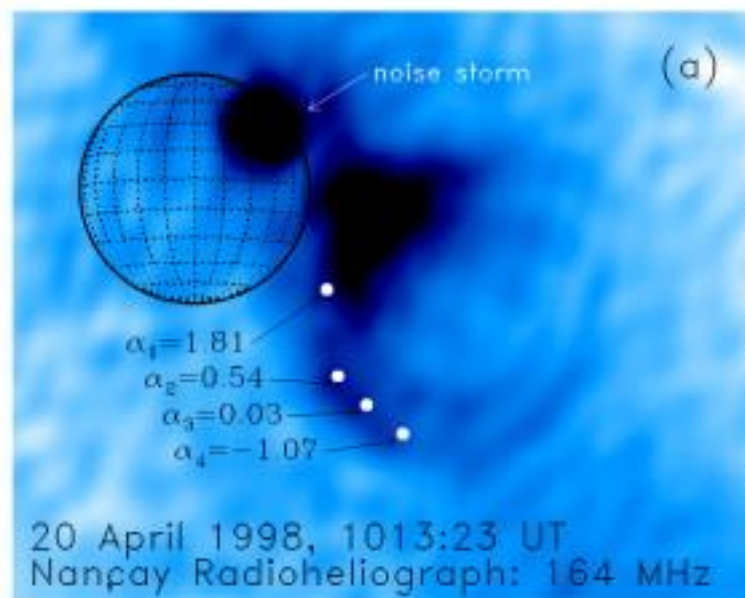
Хелиографи

- Наблюдение на големи плазмени структури

Maia et al. (1999)

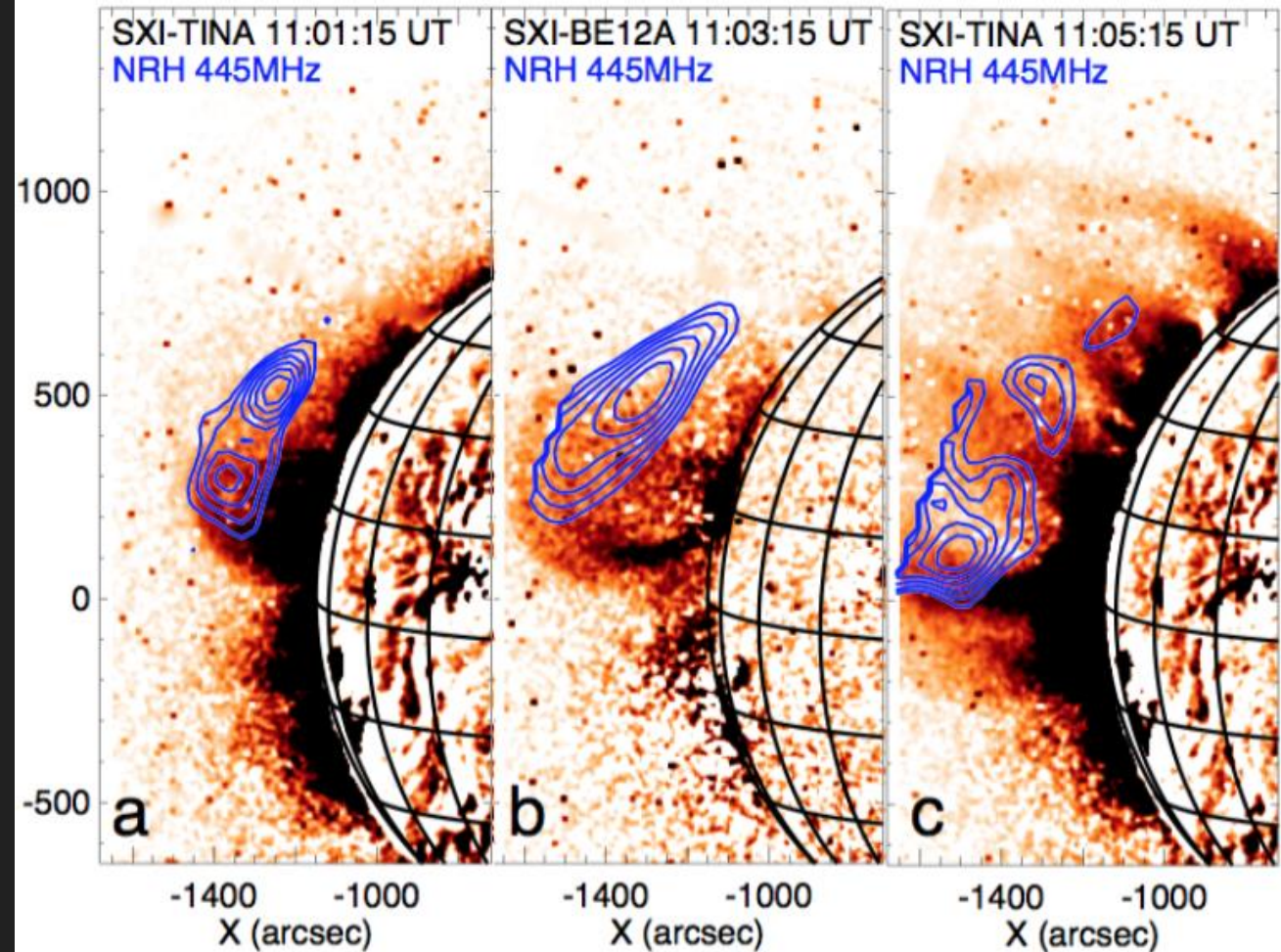


Хелиографи



Хелиографи

○ SXR & NRH



Хелиографи

○ Nobeyama (NoRH)

Радиоинтерферометър

84 параболични антени с диаметър 80 cm, по линията E/W 490 m, N/S – 220 m

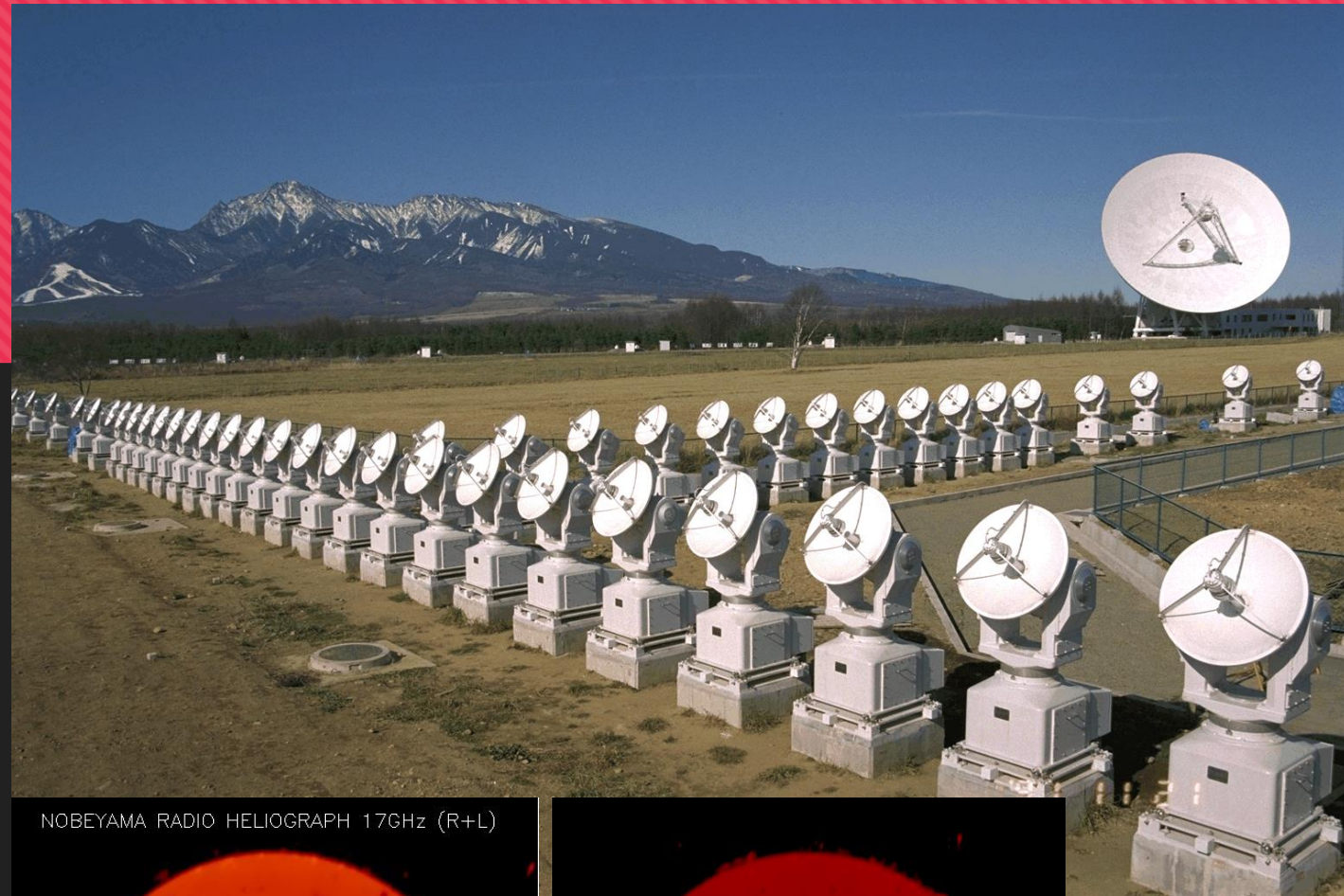
17 GHz (R+L, 10''), 34 GHz (интензитет, 5'')

0.1–1 sec

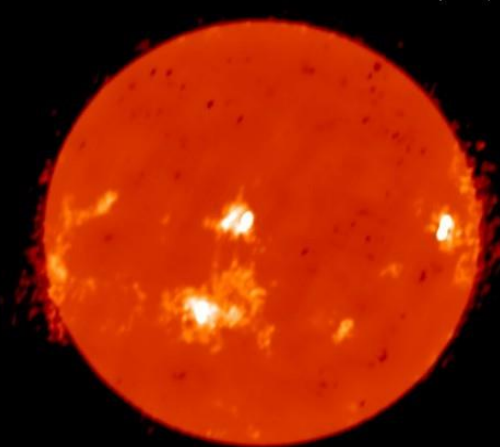
<https://solar.nro.nao.ac.jp/norh/>

<https://solar.nro.nao.ac.jp/norh/html/daily/>

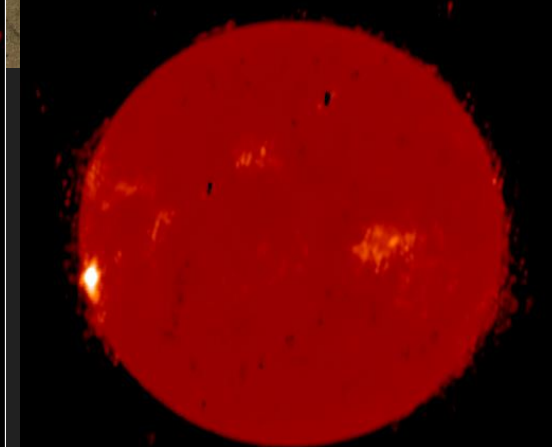
<https://cdaw.gsfc.nasa.gov/>



NOBEYAMA RADIO HELIOGRAPH 17GHz (R+L)



2003-10-28 02:44:35.488



NoRH 17GHz 2014-02-25 01:30:01

Хелиографи

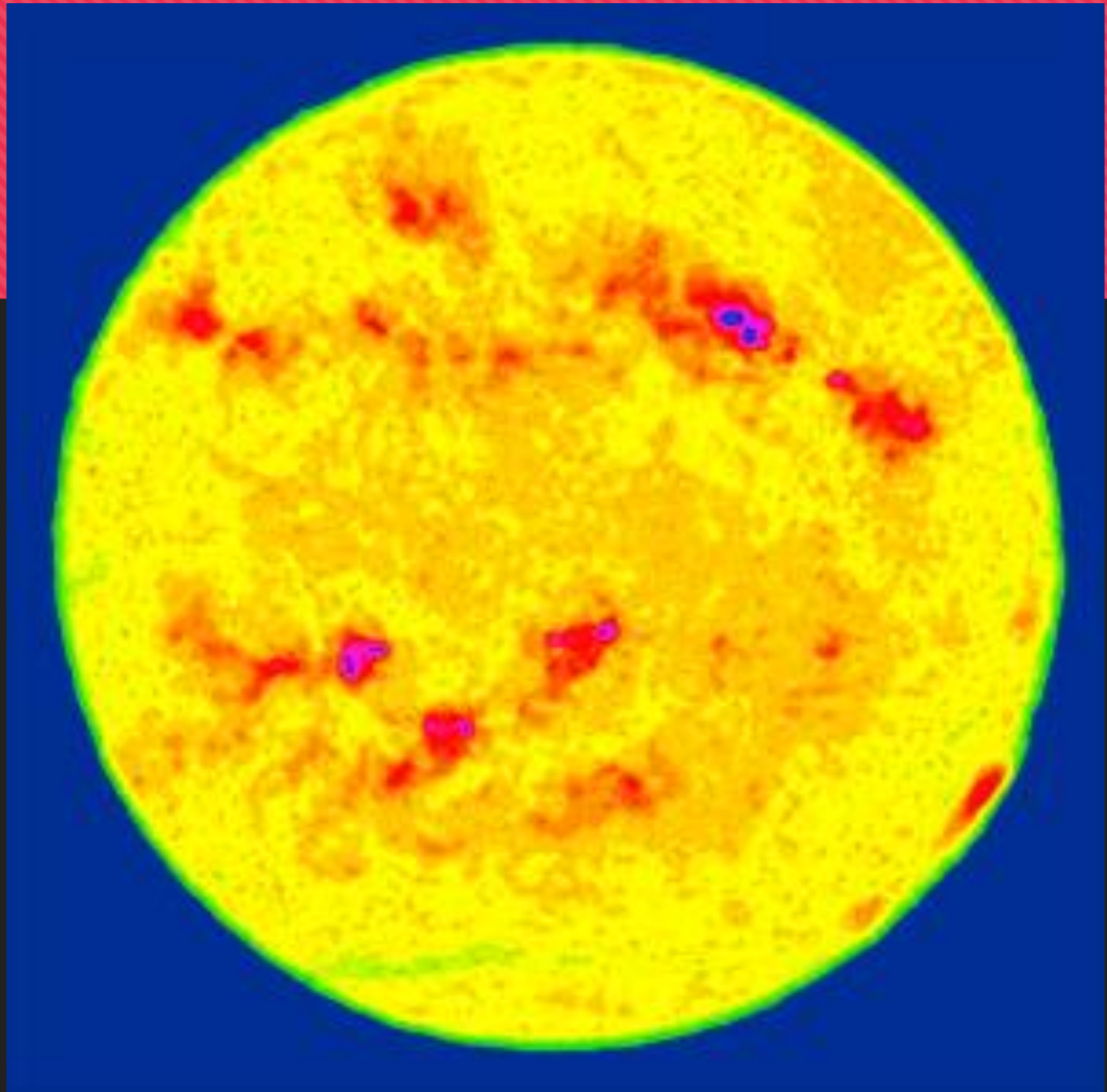
○ ALMA

Радиоинтерферометър

66 антени (повечето 12 m в диаметър)

30 to 350 GHz/0.4 mm – 3 mm

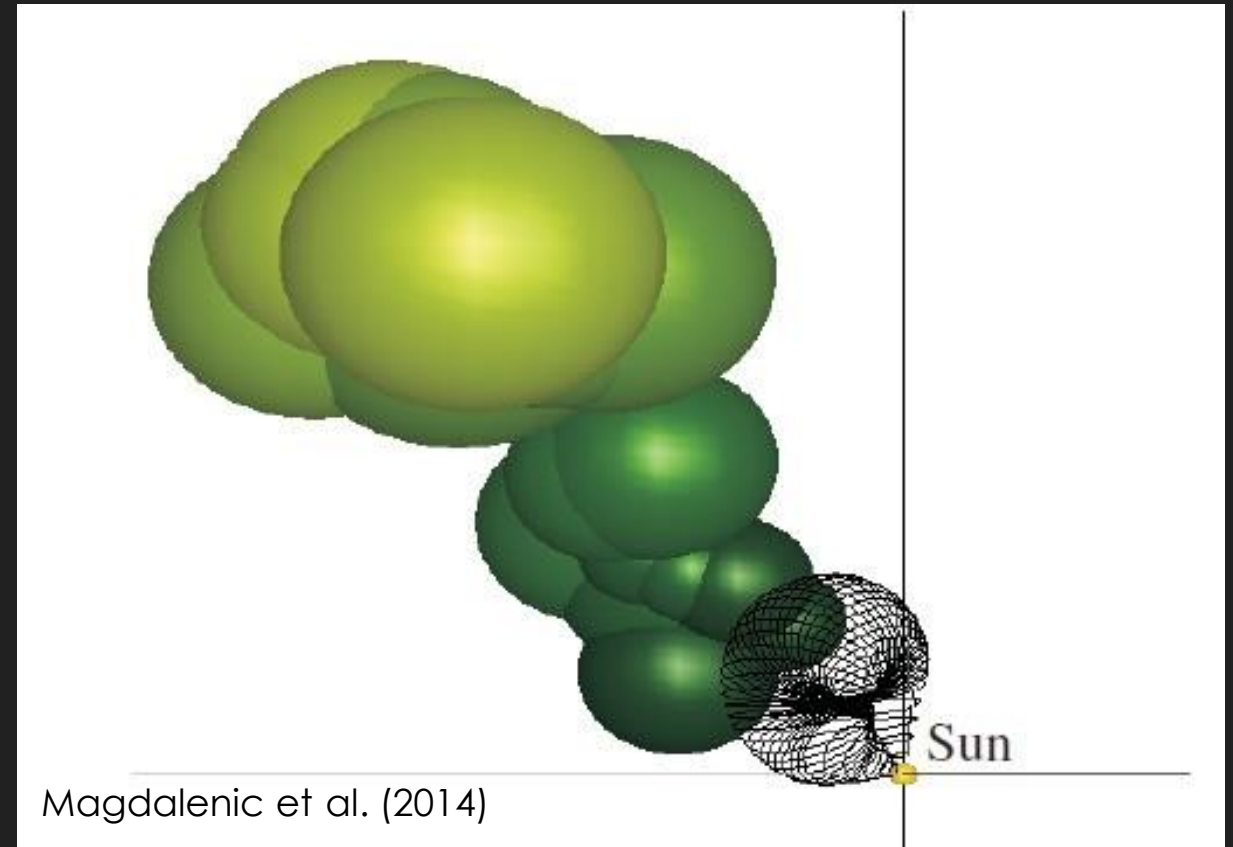
<https://www.almaobservatory.org/en/about-alma-at-first-glance/how-alma-works/capabilities/the-sun/>



Пространствено разположение

○ 3D – разположение в междупланетното пространство

Триангулация



Видове механизми

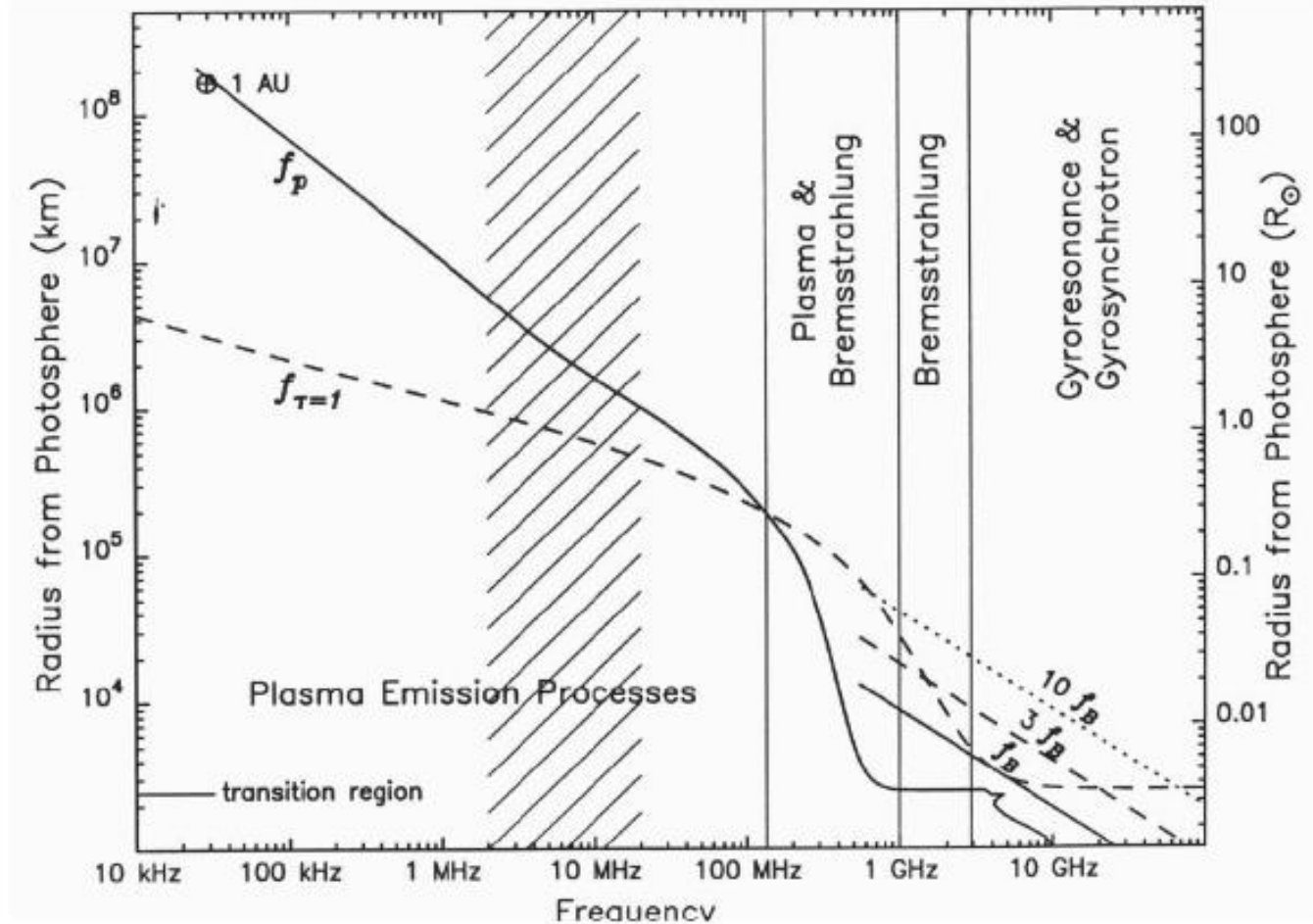
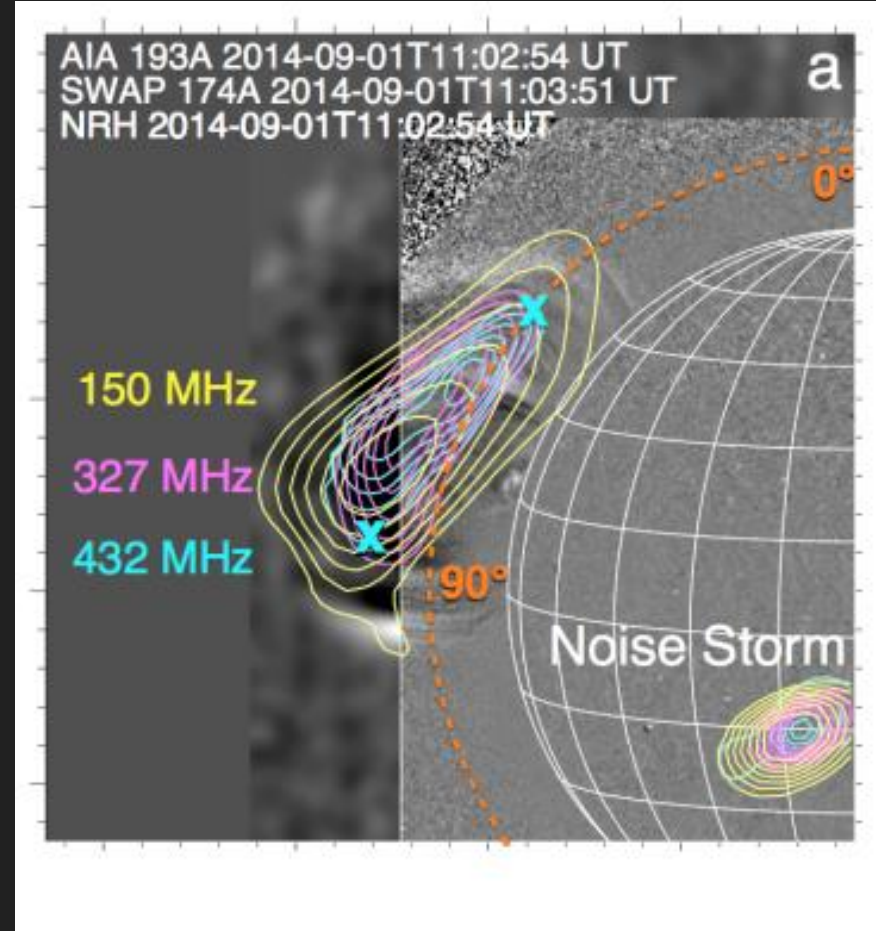
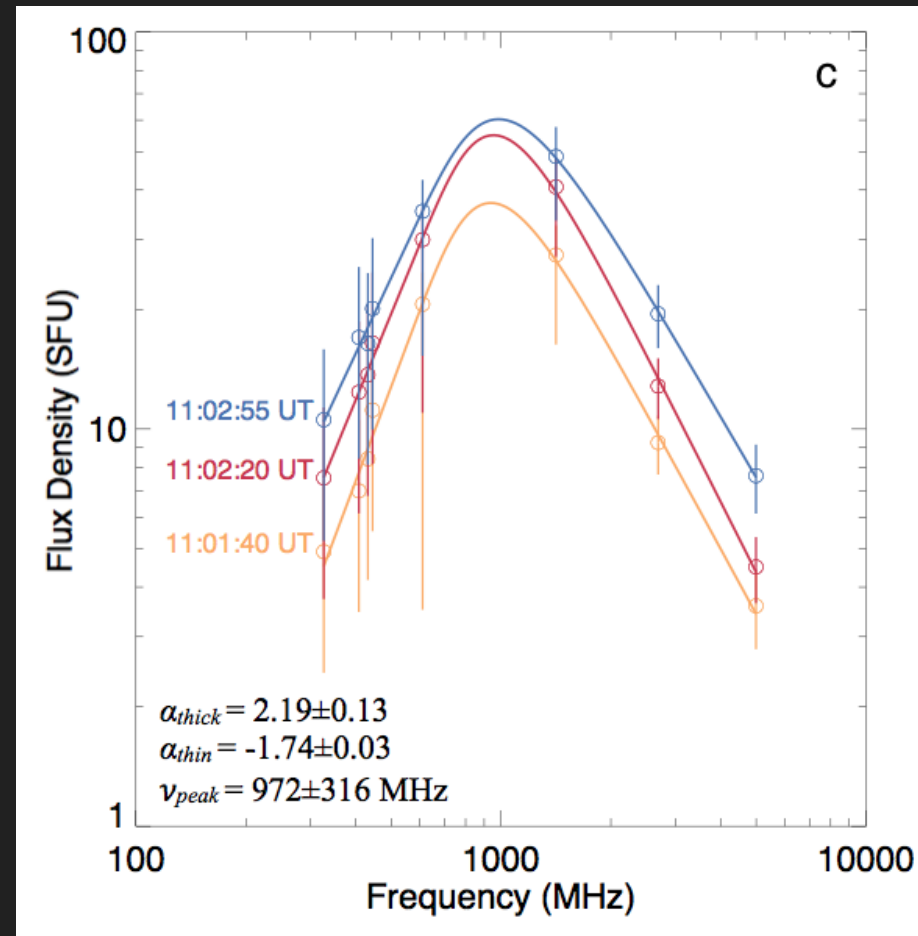


Figure 15.1: Characteristic frequencies for radio emission in the solar corona and heliosphere. The plasma frequency (solid line) and the frequency where the free-free opacity is unity (dashed line) are shown as distance from the photosphere versus frequency. The regimes of dominant plasma emission, bremsstrahlung emission, and gyroresonance or gyrosynchrotron emission are marked as a function of frequency (Gary & Hurford 1989).

Слънцето: gyrosynchrotron radiation

- Спектър (RSTN)
- Позиции (SDO/AIA, NRH)



Формули

Лекции:

<https://web.njit.edu/~gary/728/Lecture1.html>

nature
astronomy

ARTICLES

<https://doi.org/10.1038/s41550-019-0689-z>

Multiple regions of shock-accelerated particles during a solar coronal mass ejection

Diana E. Morosan^{1,2*}, Eoin P. Carley^{1,3}, Laura A. Hayes^{1,3}, Sophie A. Murray^{1,3}, Pietro Zucca⁴, Richard A. Fallows⁴, Joe McCauley¹, Emilia K. J. Kilpua², Gottfried Mann⁵, Christian Vocks⁵ and Peter T. Gallagher^{1,3}

Electron beam velocity estimates. The frequency of plasma emission, f_p , is directly proportional to the electron plasma density and can be expressed by the following relation: $f_p = C\sqrt{n_e}$, where C is a constant (see equation (1)) and n_e is the electron density. For radio emission at the plasma frequency ($f=f_p$), the frequency drift rate df/dt , can be used to determine the velocity, v , of the electron beam generating plasma emission using the following relation:

$$v = \frac{2\sqrt{n_e}}{C} \left(\frac{dn_e}{dr} \right)^{-1} \frac{df}{dt} \quad (1)$$

The unknown in the above equation is plasma density, n_e . Since the electron density decreases radially in the corona, it is necessary to consider a density model, $n_e = n_e(r)$, to obtain the density at a specific height. We used the Newkirk density model⁴⁸ to obtain the velocities of herringbone electrons in the ‘Multi-wavelength observations’ section. The drift rate (df/dt) of herringbones was estimated directly from dynamic spectra by computing the ratio between total frequency bandwidth and total duration of each herringbone.

Формули

The exciter speed, v , can be estimated from the frequency drift:

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{dz/\cos\theta}{dt} = -\frac{H_f}{\cos\theta} \frac{1}{f} \frac{df}{dt}, \quad (1)$$

where H_f is the frequency scale height, s is the distance along the path of the exciter, z is along the vertical and θ is the angle between the two. We note that v in (1) is independent of the nature of the exciter.

The frequency scale height is twice the density scale height and, for an isothermal corona:

$$H_f = 2H = 2 \frac{kT}{\mu m_p g_\odot} \left(\frac{R}{R_\odot} \right)^2 \approx 100 T[\text{MK}] \left(\frac{R}{R_\odot} \right)^2 [\text{Mm}] \quad (2)$$

where μ is the mean molecular weight (≈ 0.6 in the corona), k is the Boltzmann constant, m_p is the proton mass, T is the temperature, $g_\odot$ is the acceleration of gravity in the photosphere and R the distance of the emission region from the center of the sun ($R = z + R_\odot$, with z the height above the photosphere). For a given frequency, R can be computed from a coronal density model.