

# Exkurse do moderní radioastronomie

---

**Miroslav Bárta**

barta@asu.cas.cz



EUROPEAN ARC

ALMA Regional Centre || Czech



**Astronomical  
Institute**  
of the Czech Academy  
of Sciences

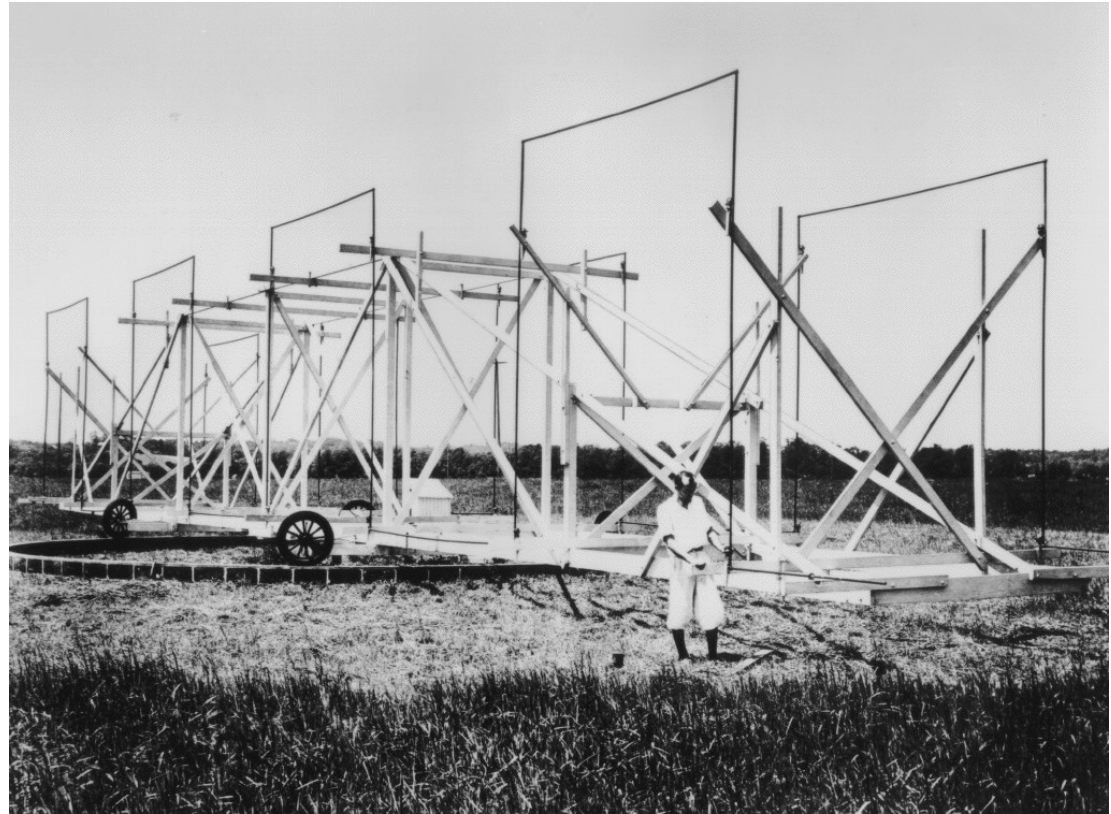
- ❑ Radioastronomie – vymezení oboru
  - ❑ Velké mísy
  - ❑ Anténní soustavy – interferometrie a aperturní syntéza
    - Jak to funguje?
    - Současné a plánované systémy AS
    - ALMA jako učebnicový příklad
      - ▶ Design & parametry observatoře
      - ▶ První úspěchy a perspektivy
      - ▶ ALMA Regional Centers (ARCs): Obslužná infrastruktura observatoře
      - ▶ Český uzel EU ARC – specialista na sluneční výzkum s ALMA
      - ▶ Vývoj *Solar ALMA Observing Mode* (2014-17) – český příspěvek světové astronomii
  - ❑ Trendy a perspektivy
    - DSP a Software-Defined Radio – trendy a příležitost i pro malé observatoře
    - Multi-feed arrays
    - Větší citlivost, mezikontinentální soustavy
  - ❑ Shrnutí
-

# Stručné vymezení oboru

---

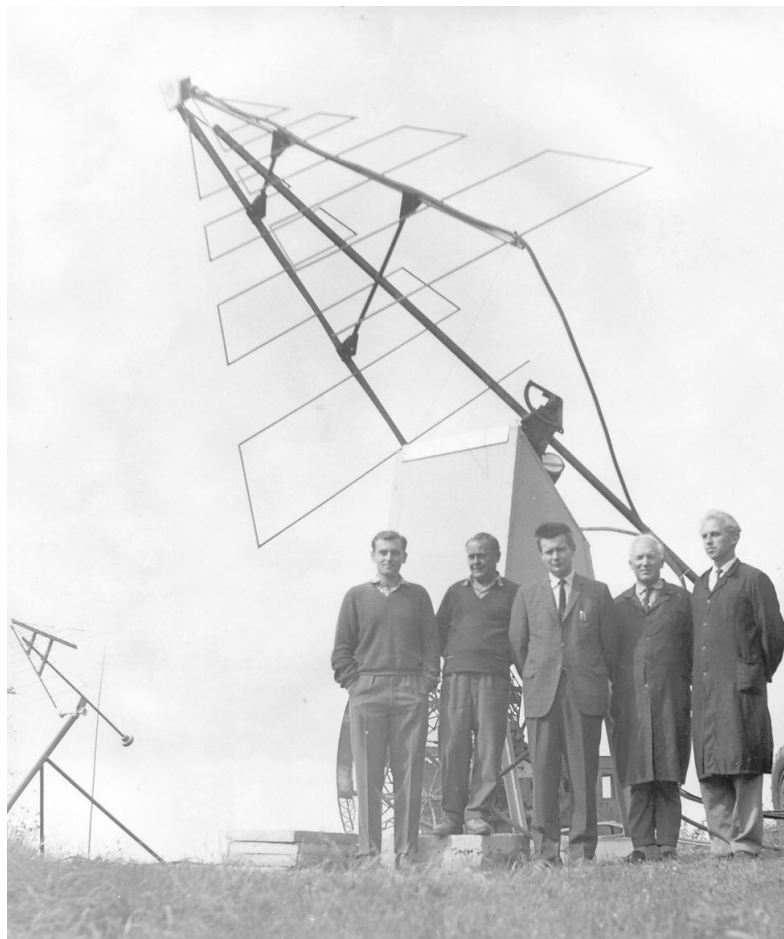


Karl Guthe Jansky 1931





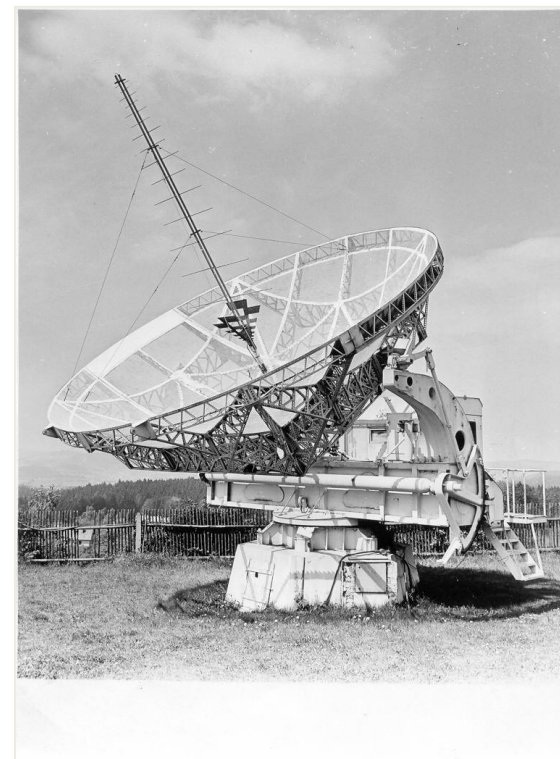
## Počátky radioastronomie v Československu / České republice



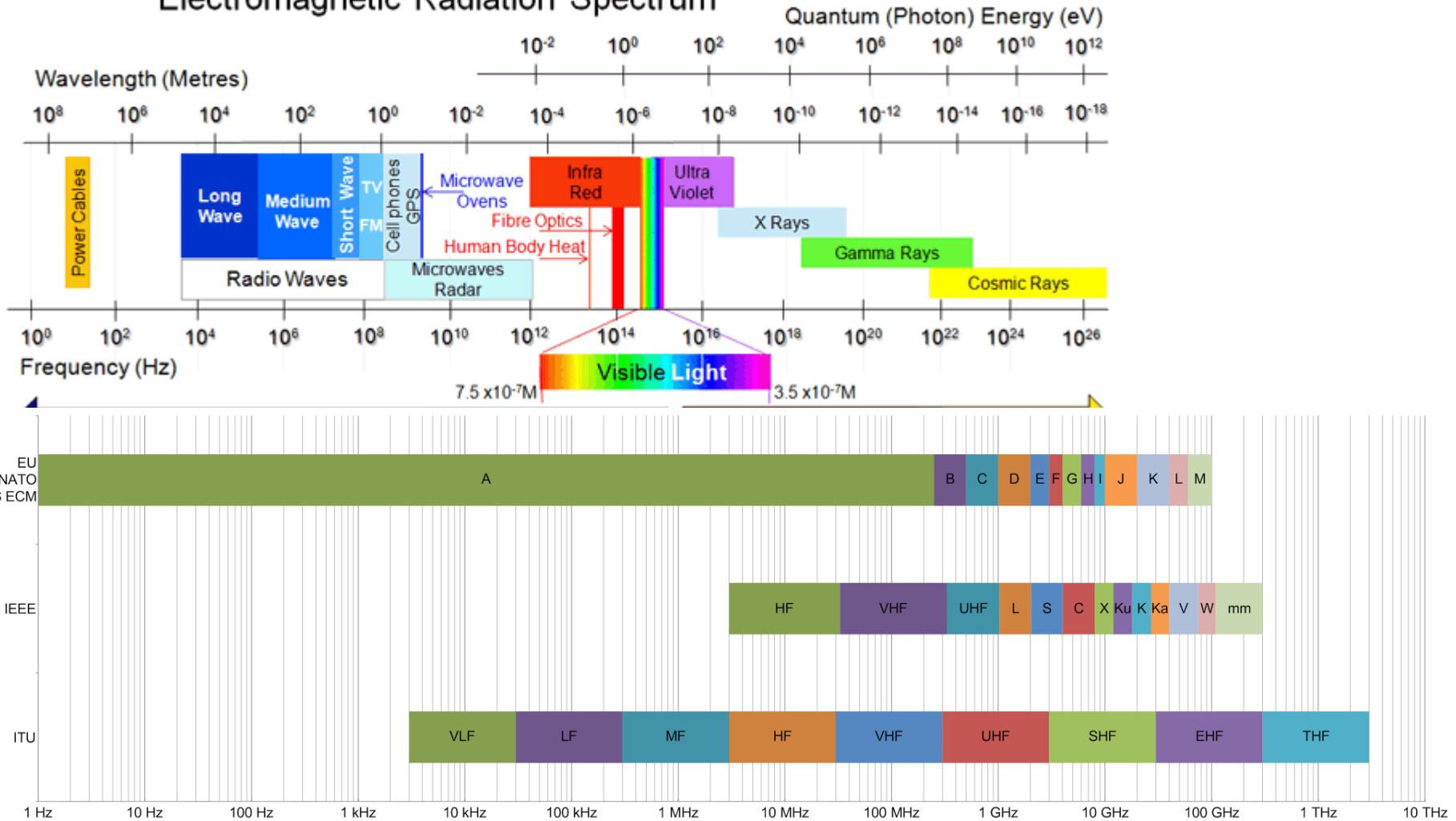
1952: solar radiometer  
at metric wavelengths  
(J. Budějický)

1967:  
radiospectrograph 50 –  
210 MHz (A. Tlamicha)

1972:  
radiospectrograph 70 –  
820 MHz (A. Tlamicha)



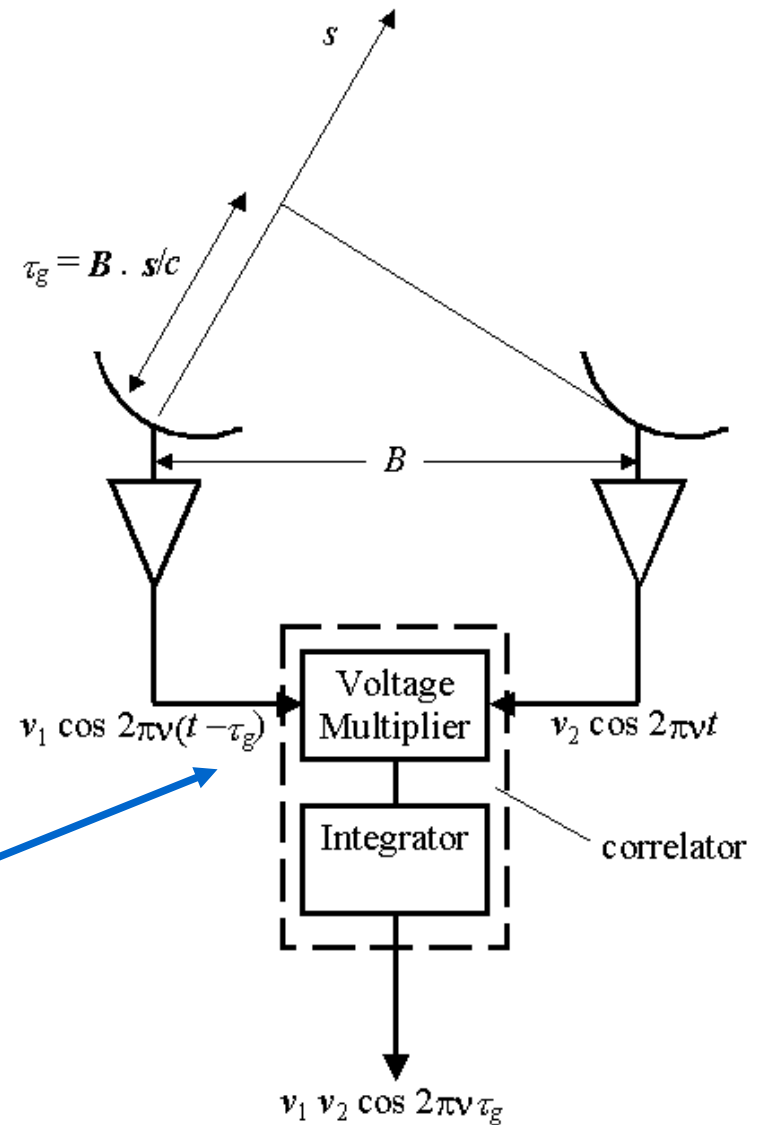
## Electromagnetic Radiation Spectrum

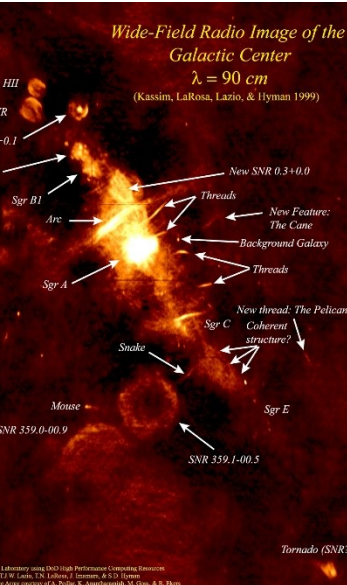
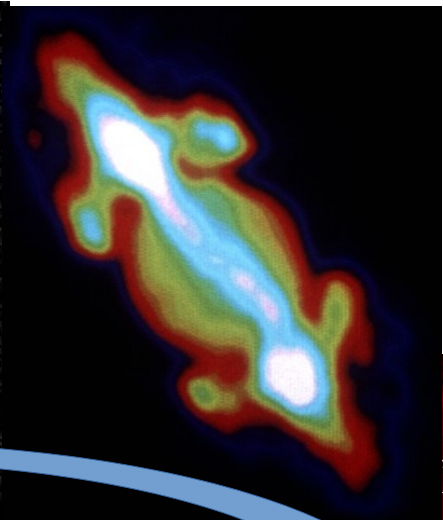
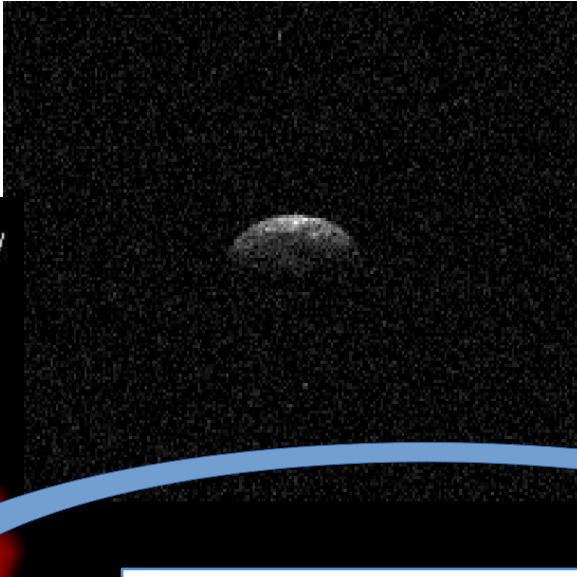
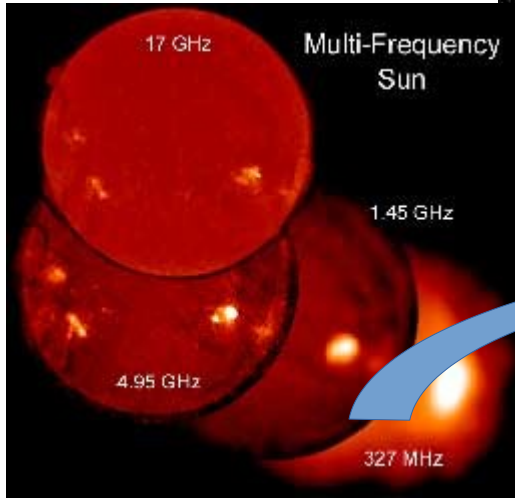




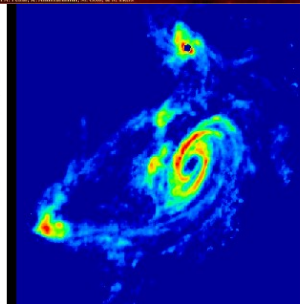
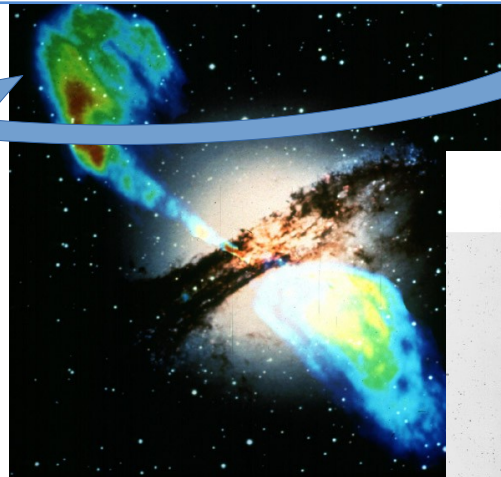
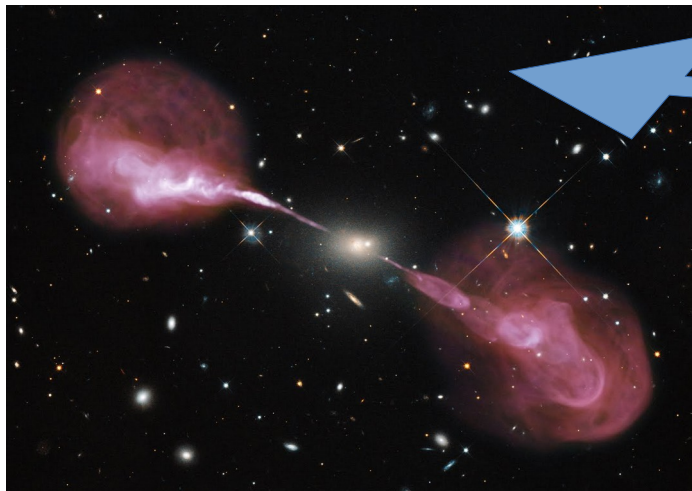
“Radioastronomie je když...”

- signál přijímáme anténami
- a měříme ho “volmetrem”

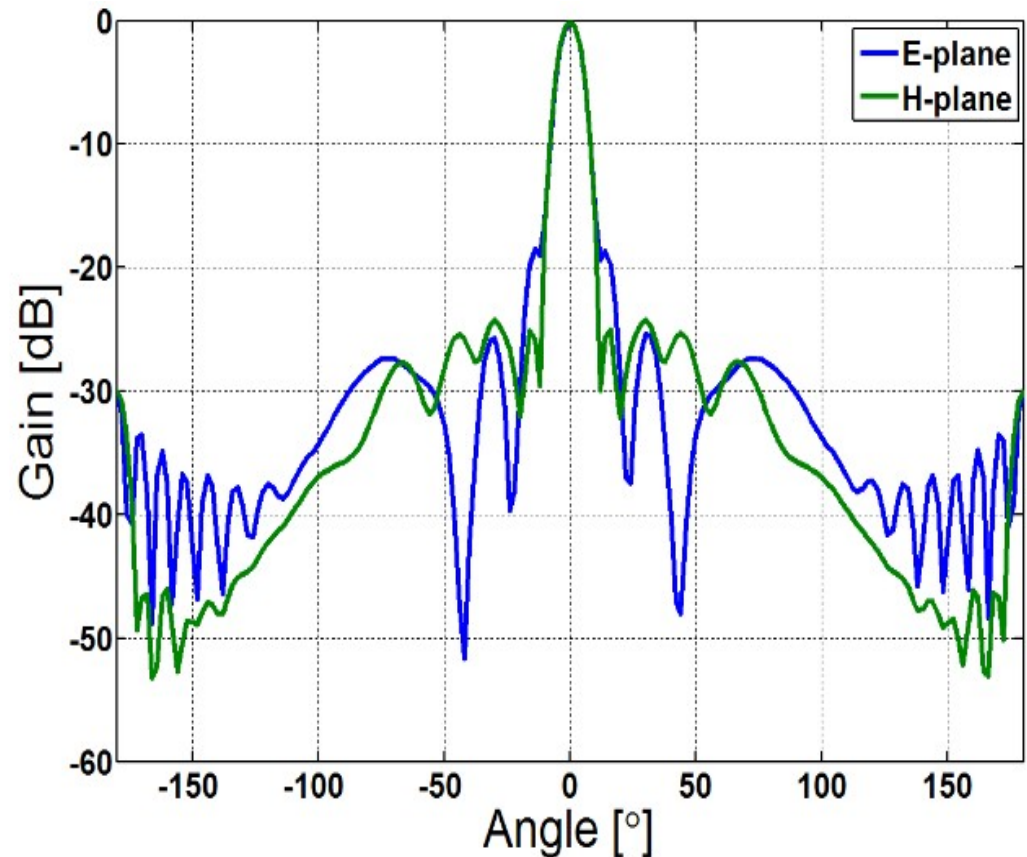
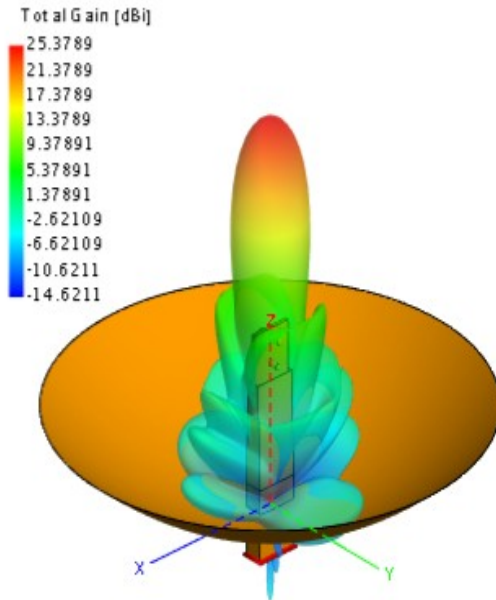




Celý neviditelný vesmír







Antenna aperture / antenna gain: ***Sensitivity***

Antenna primary/main beam & side lobes: ***Spatial resolution***

Přímocharé řešení:  
Velké mísy / Giant single-dishes

---

# Velké mísy – *single-dish* přijímače

RT5 Ondrejov, 10m

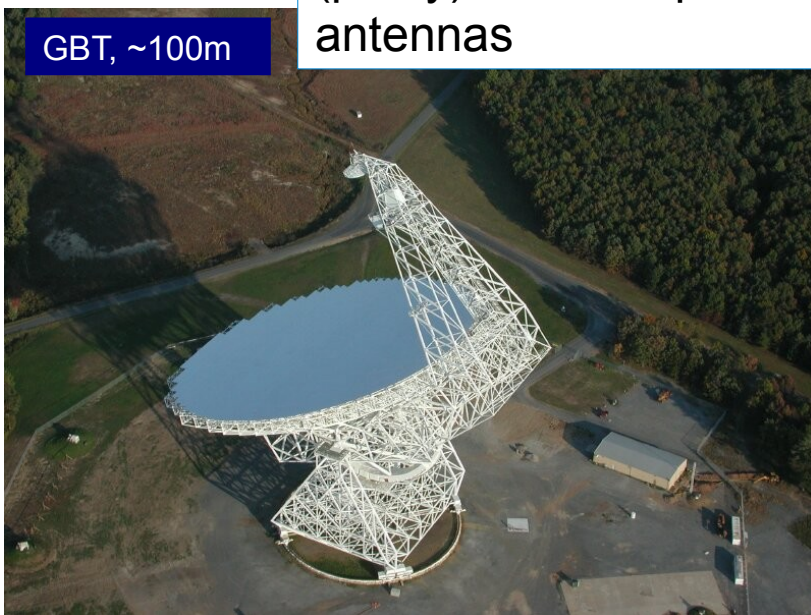


Effelsberg, ~100m



(partly) movable parabolic dishes - 'universal' antennas

GBT, ~100m

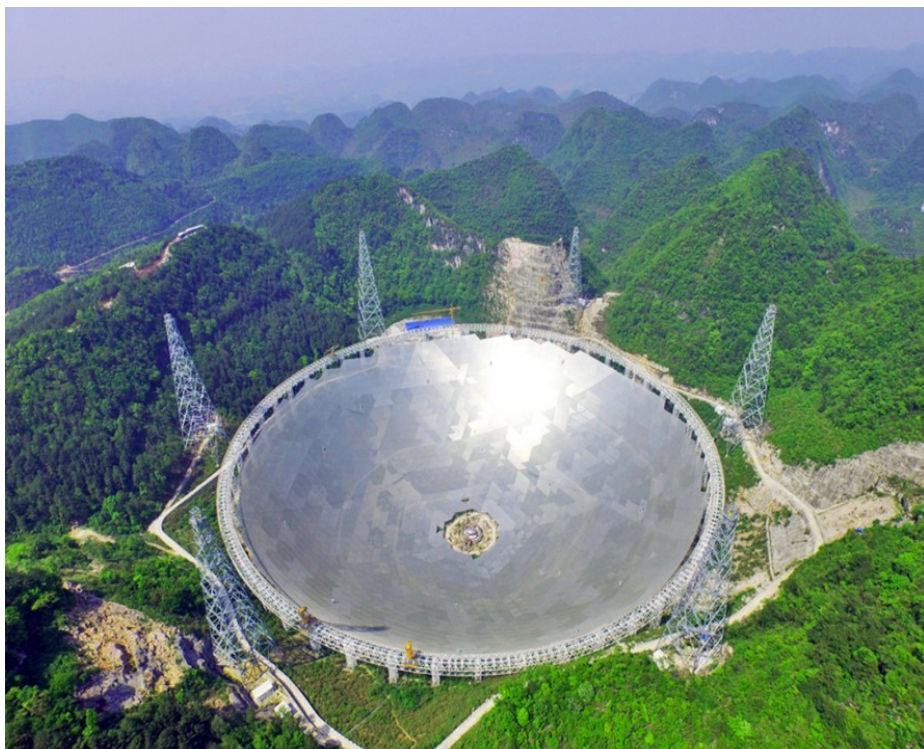


Arecibo, ~300m



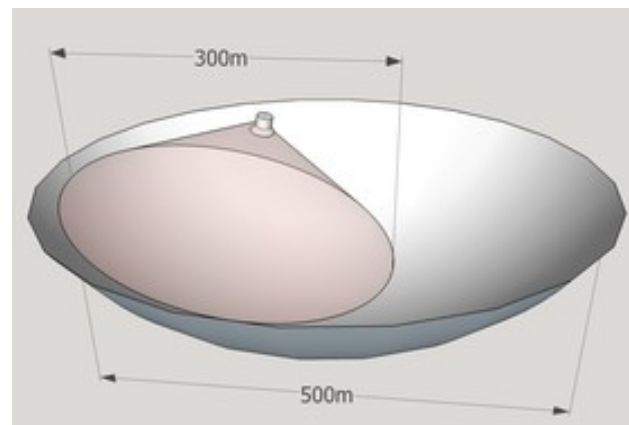


## Velké mísy – *single-dish* přijímače



**FAST, ~500m**

(FAST [webpage](#))



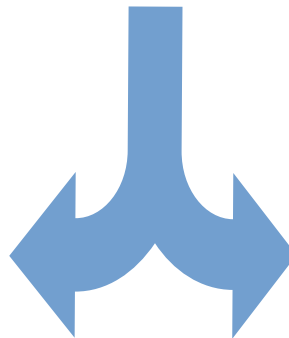
- ❑ Operating frequencies: 70 – 3000MHz
- ❑ Science: Neutral hydrogen maps, pulsars, VLBI, chemistry, FRBs, exoplanets, SETI,...
- ❑ 2016 – 2019: Commissioning & Science Verification; Oct 2019+: Science operation



# Beyond the SD technical limitations: Antenna arrays

Náhrada jedné obří antény soustavou mnoha antén:  
Radiová interferometrie

**Fázované anténní řady  
+ přímé scanování úzkým  
svazkem soustavy  
(historický přístup)**



**Fourierovské zobrazování /  
Aperturní syntéza  
(moderní metoda)**

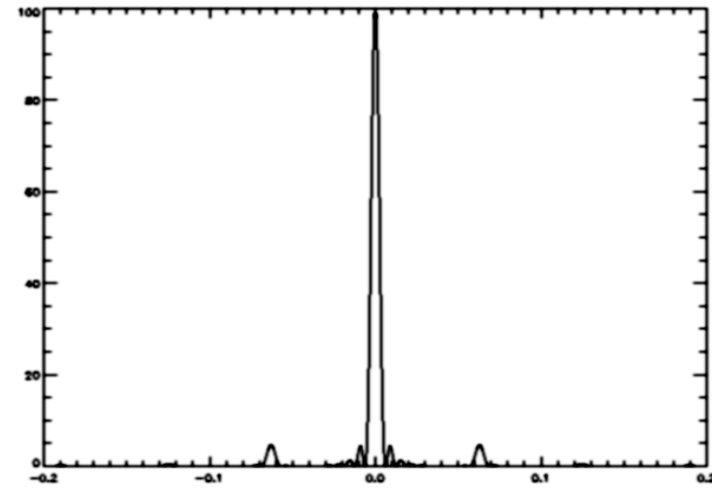
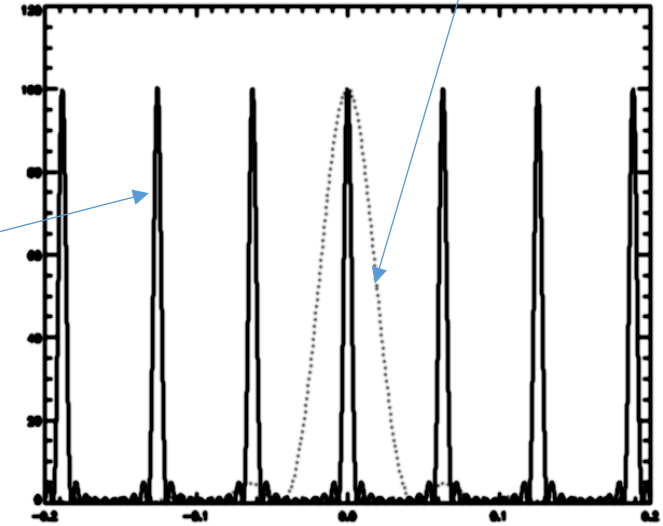
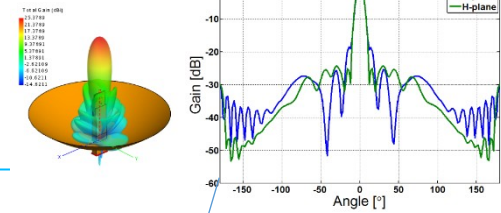
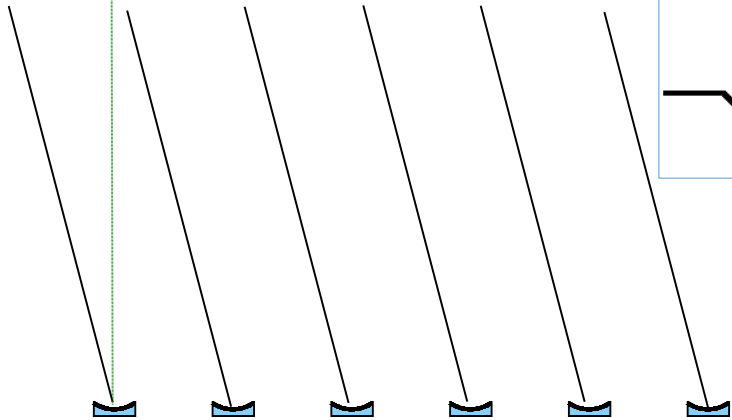
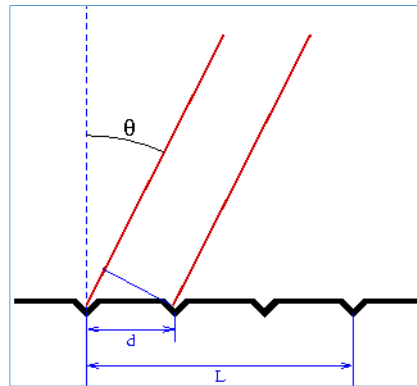
# Rádiová interferometrie – fázované soustavy

Princip: Analogové sčítání signálu  
scanování synt. svazkem



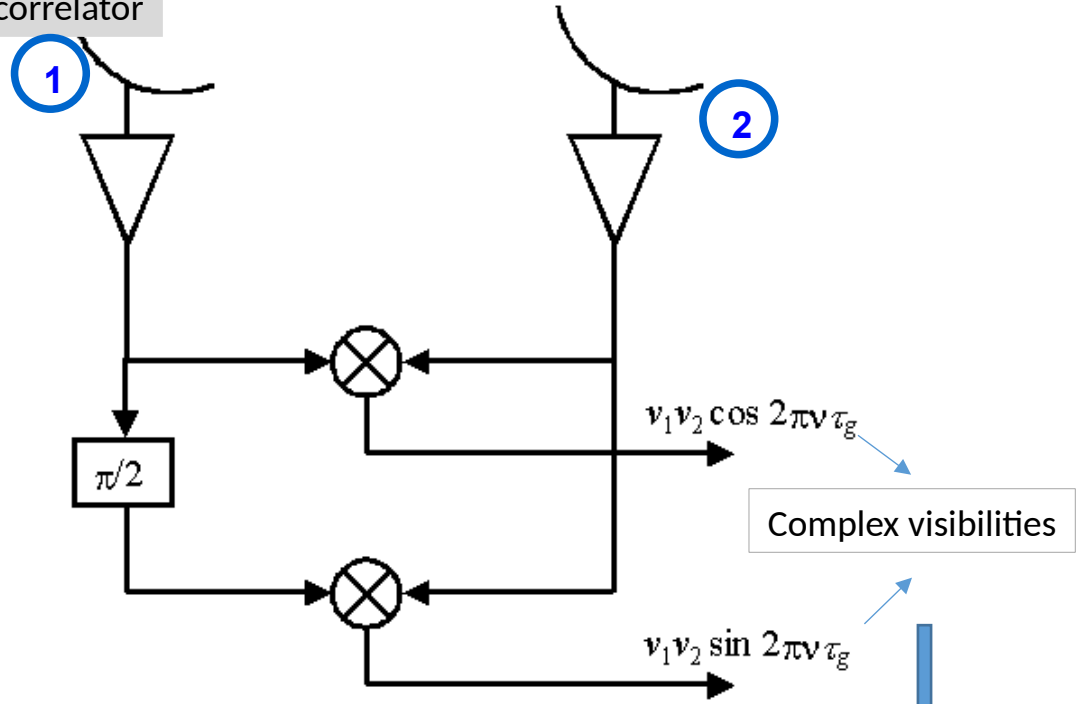
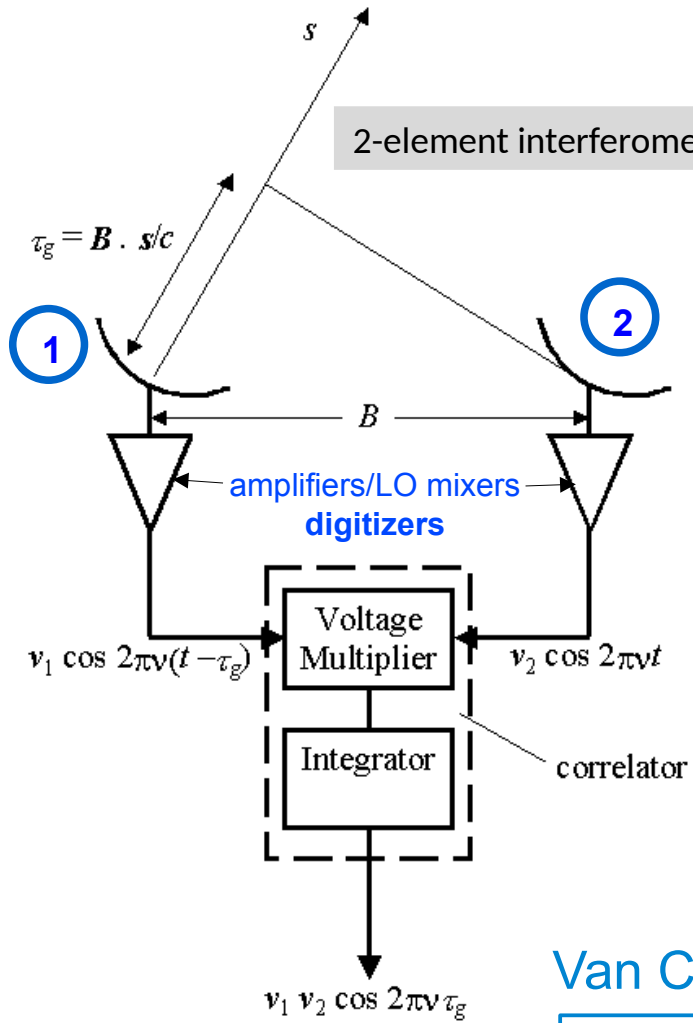
Analogy with optical gratings  
used in spectrographs

$$|I_{\Sigma}(\theta)| = \frac{1 - \cos N \frac{2\pi D}{\lambda} \theta}{1 - \cos \frac{2\pi D}{\lambda} \theta}$$



# Moderní přístup – aperturní syntéza: Jak to funguje?

**Princip: Násobení digitalizovaného signálu  
Fourierovské zobrazování**



Van Cittert -Zernike theorem (see, e.g., [Wikipedia](#))

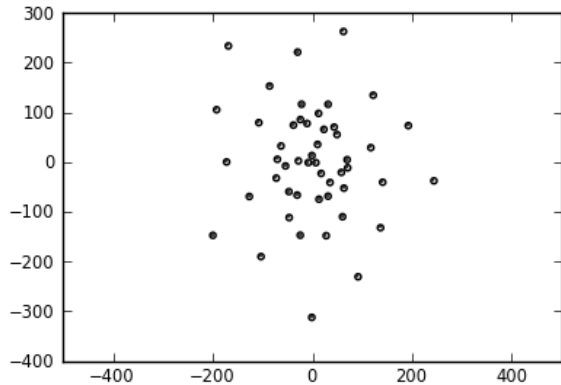
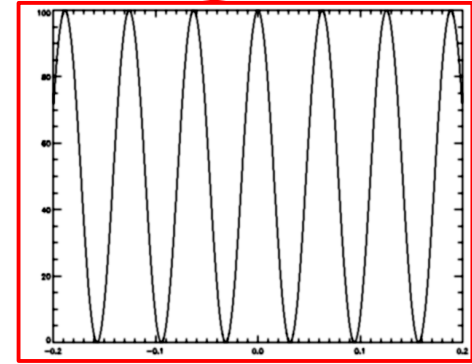
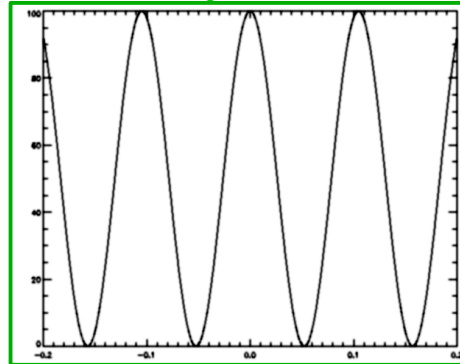
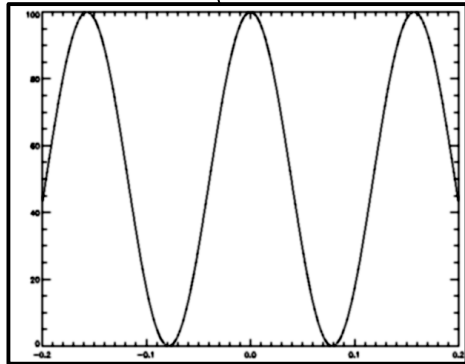
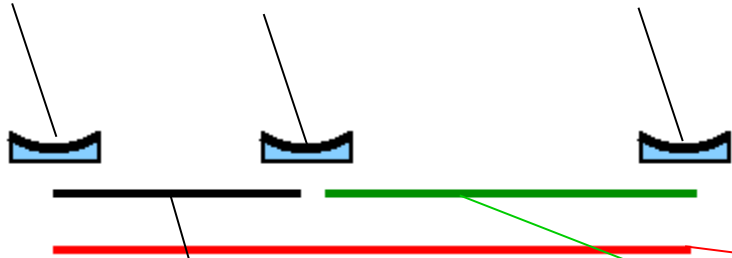
$$V(u, v, w) e^{-i2\pi w} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(x, y) I(x, y) e^{i2\pi(ux+vy)} dx dy$$

$$\langle P_{12} \rangle = \langle U_1 \cdot \overline{U_2} \rangle$$



# Jak AS funguje?

Aperturní syntéza - rozklad obrazu  
do „sinusovek“  
= Fourierova transformace



## Výhody AS:

- Celé FoV najednou
- Multi-wavelength images (3D kostky, tedy spektra i obrazy současně)

# Aperture synthesis: Mathematical foundations

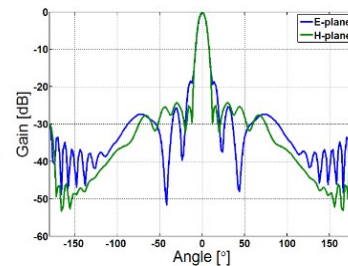
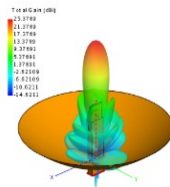
Van Cittert - Zernike theorem: 2-D geometry

$$V(u, v, w) e^{-i2\pi w} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(x, y) I(x, y) e^{i2\pi(ux+vy)} dx dy$$

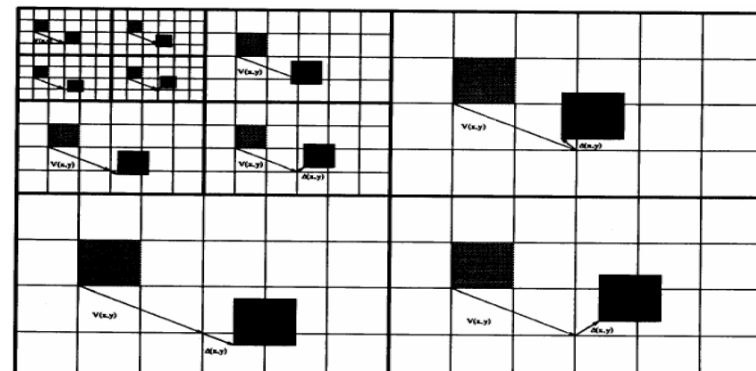
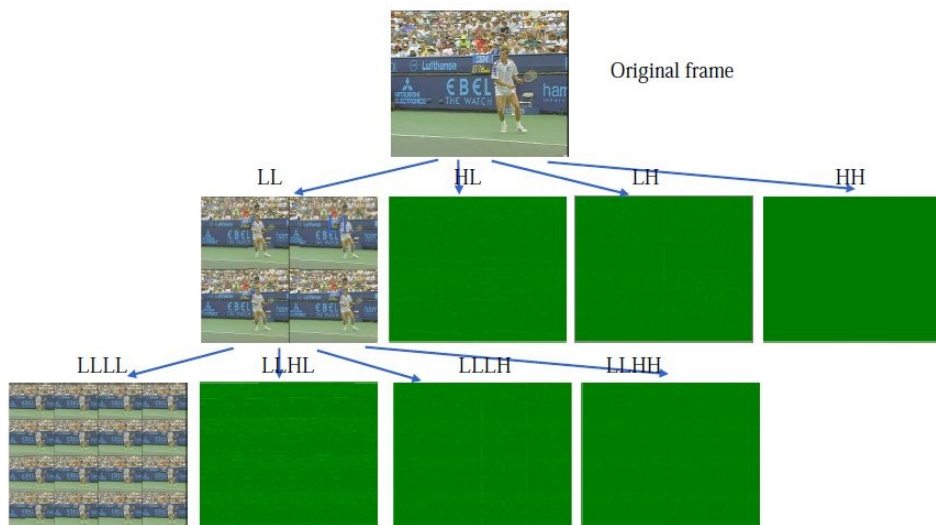
$$V(u, v, w) e^{-i2\pi w} \cong V(u, v, 0)$$

$$I'(x, y) = A(x, y) I(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} V(u, v, 0) e^{-i2\pi(ux+vy)} du dv$$

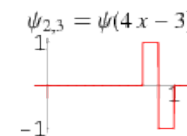
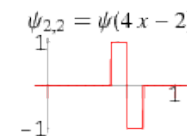
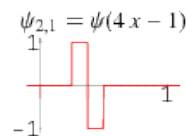
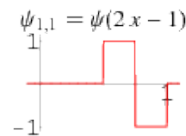
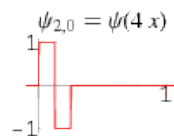
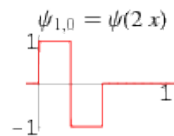
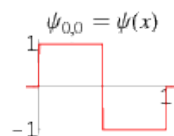
Primary beam (pbcorr)



# Jak AS funguje?

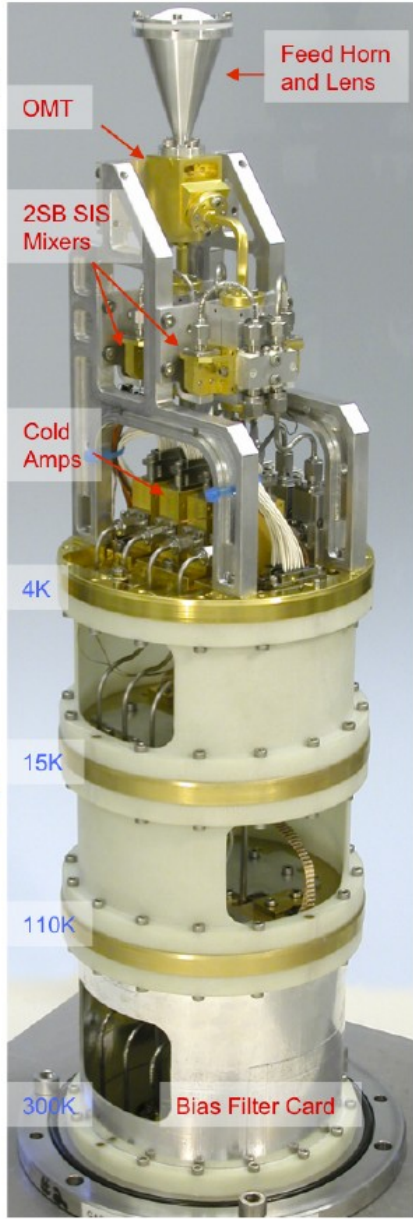
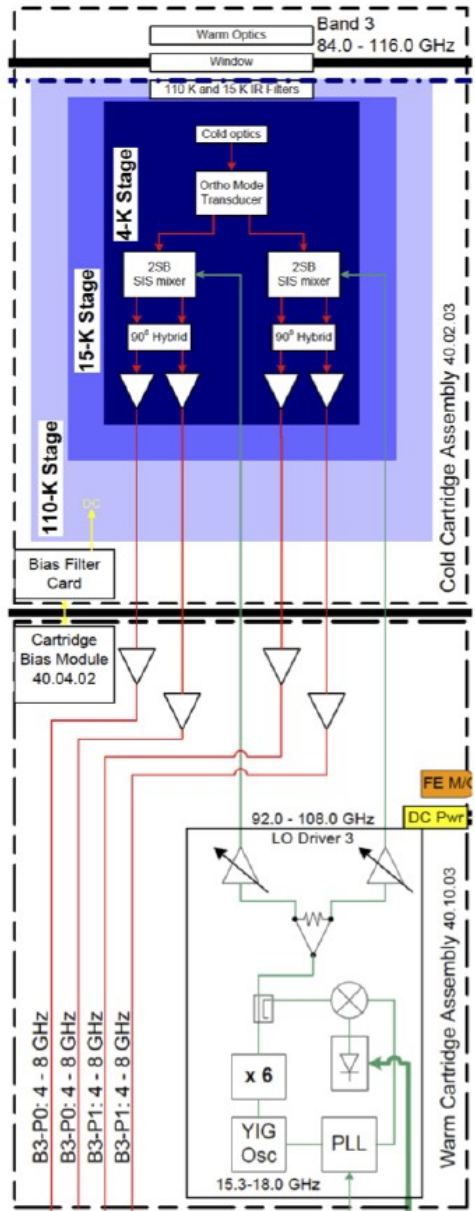


**Digitální TV - rozklad obrazu do „čtverečků“ o různých velikostech = (waveletová transformace)**

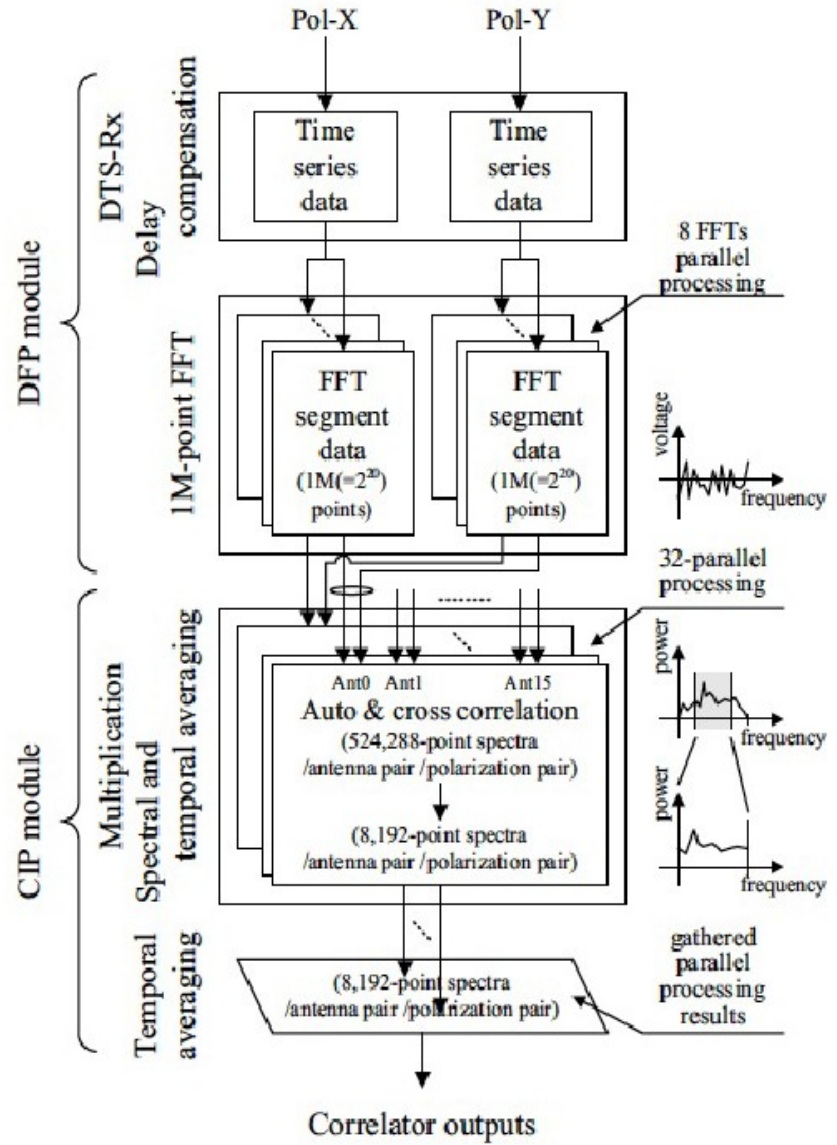




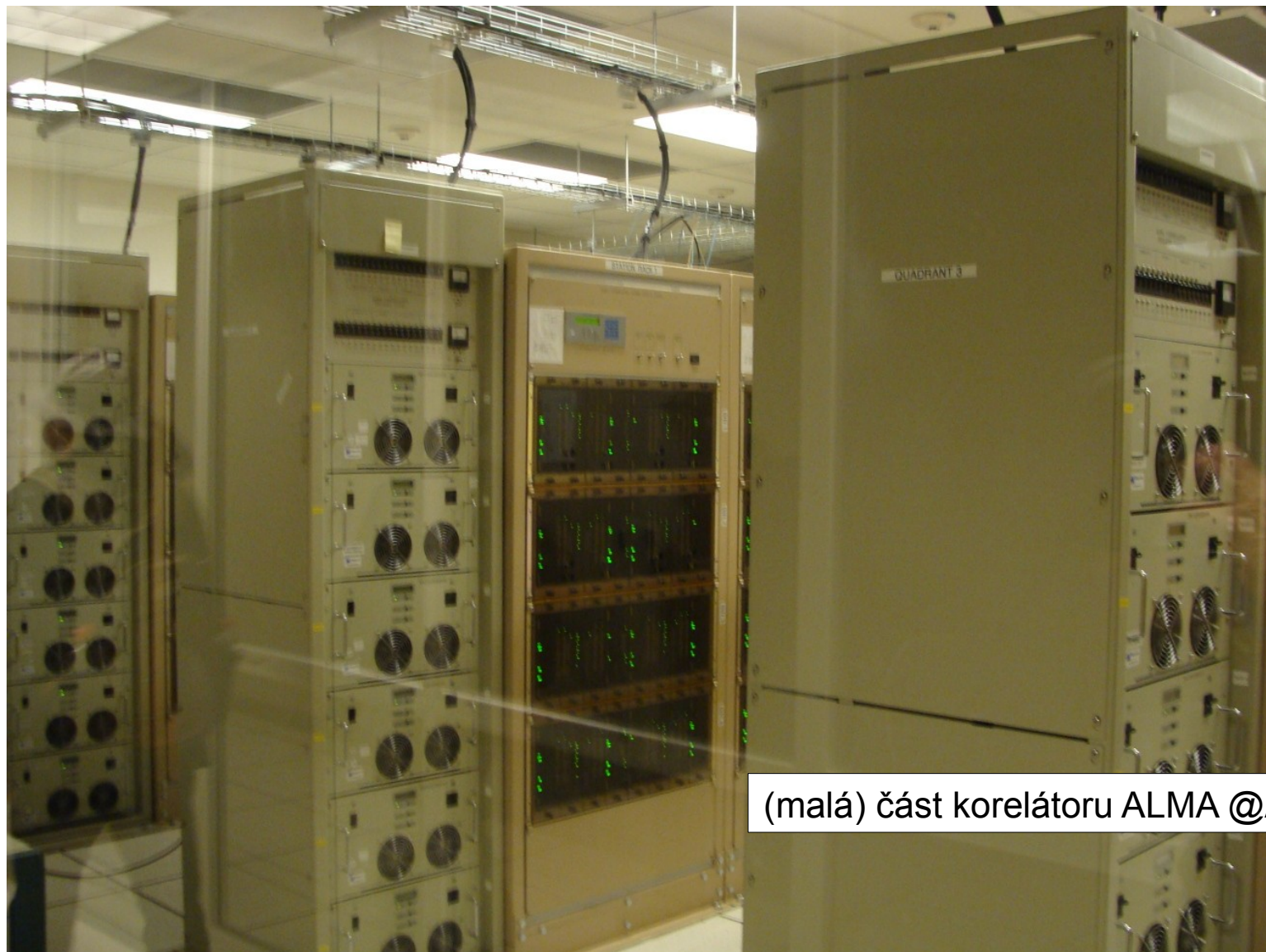
# Příklad: ALMA – cesta signálu



1 Receiver signal pair from 1 antenna  
(2 GHz bandwidth, 2 polarizations)



## Jak AS funguje? Jen díky moderní DSP...



(malá) část korelátoru ALMA @AOS



# Příklady moderních AS systémů



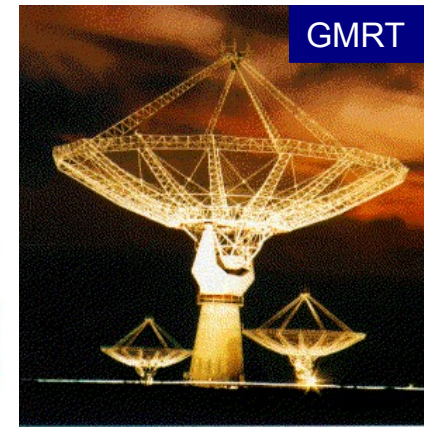
# Příklady moderních AS systémů



SSRT



MUSER



GMRT



LOFAR



ALMA

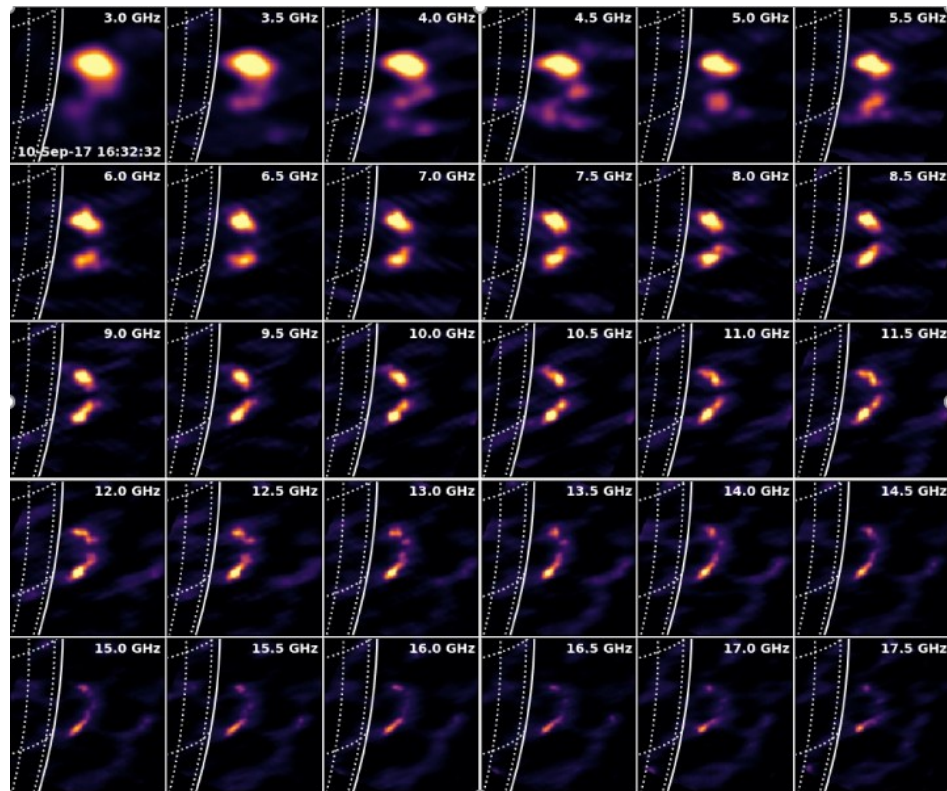
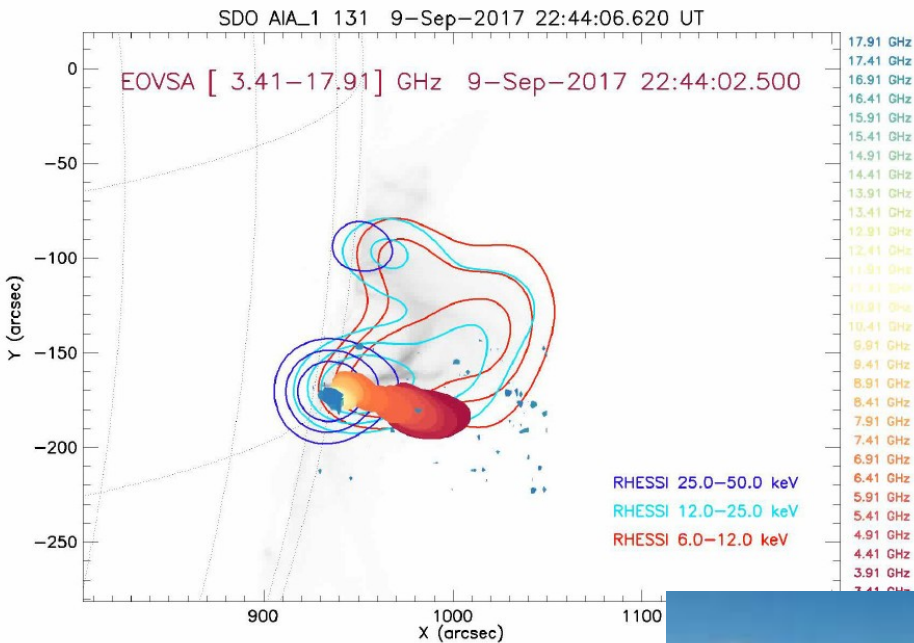


SKA



# Moderní AS systémy – některé dedikované pro sluneční výzkum

- SSRT Badary [RU]
- MUSER [CN]
- E-OVSA [US]



D. Garry, G. Nitta: E-OVSA  
[CESRA 2019](#) presentations



# ALMA: učebnicový příklad moderního systému AS

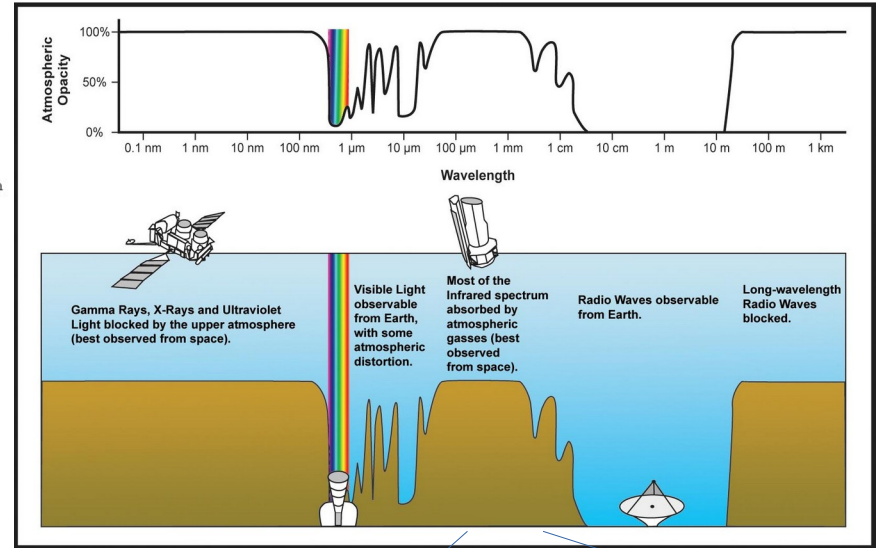
- ❑ ALMA = **A**taacama **L**arge **M**illimeter/submillimeter **A**rray. Největší projekt současné pozemní pozorovací astronomie vybudovaný v chilské poušti Atacama, ~5100 m n.m.
- ❑ Postavený a provozovaný v partnerství **ESO**, NRAO and NAOJ
- ❑ Systém padesáti 12m precizních antén + dvanáct 7m (ACA) sfázovaných do interferometru, + čtyři 12m single-dish (TP)
- ❑ Skvělé prostorové (~10 mas) a spektrální (30 MHz) rozlišení, vysoká citlivost
- ❑ Operuje v dosud málo probádané oblasti mm/sub-mm vlnových délek

1. Cosmology and the high redshift universe
2. Galaxies and galactic nuclei
3. ISM, star formation and astrochemistry
4. Circumstellar disks, exoplanets and the solar system
5. Stellar evolution and the Sun

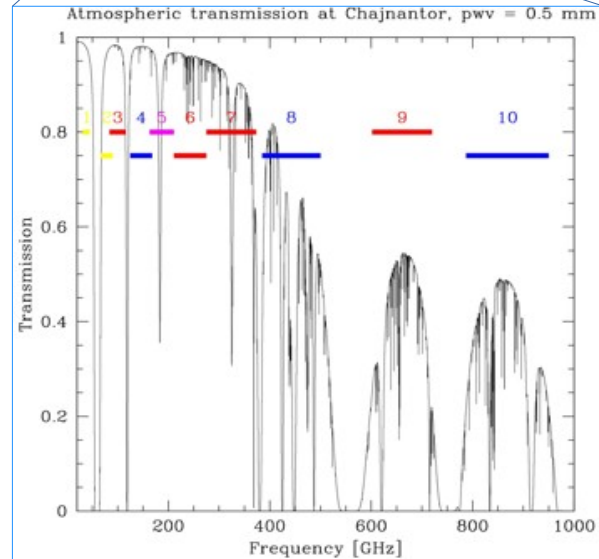
More info at <https://almascience.eso.org/>



# Co je ALMA?



## San Pedro de Atacama





## První úspěchy

- ▶ Early science since 2012 (observing Cycles 0, 1, and 2)
- ▶ Consecutively increasing capabilities (N ants, baselines, bands,...)
- ▶ **Significant discoveries: 10% of ALMA papers are in Nature or Science**

Precise Record of Baby-Stars' Growth on Millimeter Wavelength

31 August, 2018

ALMA Observed an Unstoppable Monster in the Early Universe

<http://www.almaobservatory.org>

Sekce 'Multimedia → videa'

First Science with ALMA's Highest-Frequency Capabilities

17 August, 2018

Pair of Colliding Stars Spill Radioactive Molecules into Space

30 July, 2018

ALMA Observes Enduring Radio 'Echo' Powered by Jets from Gamma-Ray Burst

26 July, 2018

ALMA Discover Exciting Structures in a Young Protoplanetary Disk That Support Planet Formation

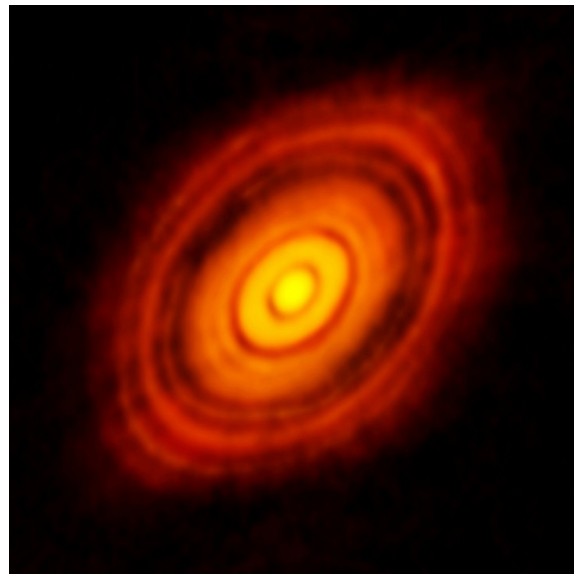
20 June, 2018

ALMA Discovers Trio of Infant Planets around Newborn Star

12 June, 2018

ALMA and VLT Find Too Many Massive Stars in Starburst Galaxies, Near and Far

1 June, 2018



### HL Tau

- ▶ Formation of a new planetary system
- ▶ 450 ly away from Earth

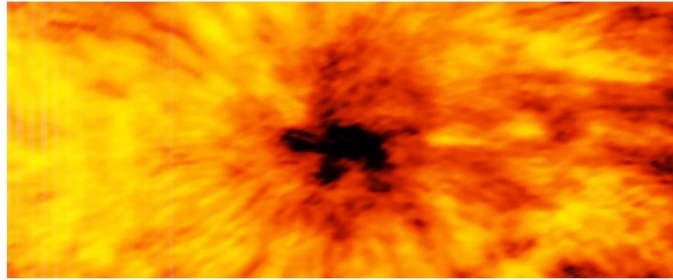


European Southern Observatory

eso1703 — Photo Release

## ALMA Starts Observing the Sun

17 January 2017



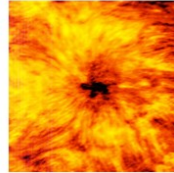
New images taken with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) in Chile have revealed otherwise invisible details of our Sun, including a new view of the dark, contorted centre of a sunspot that is nearly twice the diameter of the Earth. The images are the first ever made of the Sun with a facility where ESO is a partner. The

Search Press Releases...

### About the Release

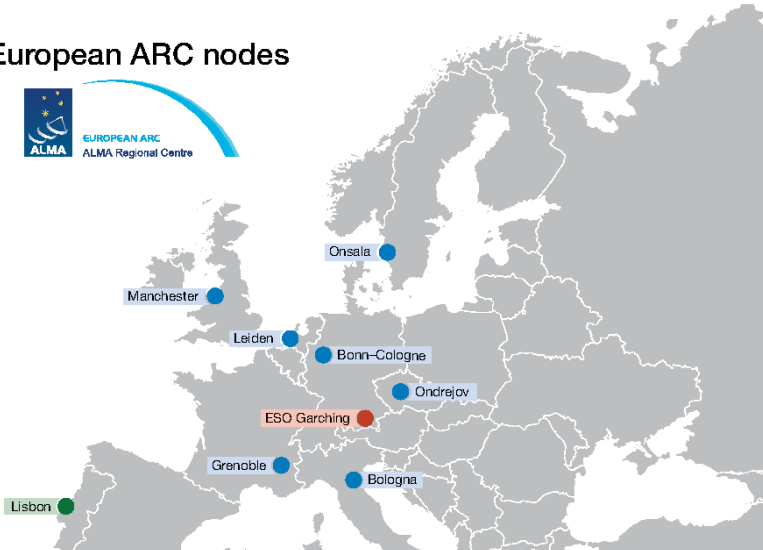
Release No.: eso1703  
Name: Sun, Sun spot  
Type: Solar System ; Star : Feature : Photosphere : Sunspot  
Facility: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

### Images



**ESO/ALMA press-releases spojené s EU ARC.CZ**

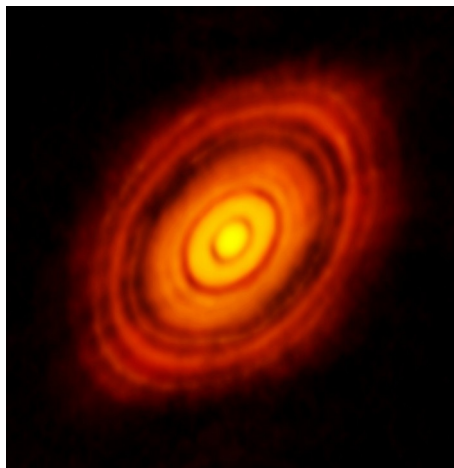
## European ARC nodes



European Southern Observatory

## ALMA explores a Cosmic Jellyfish



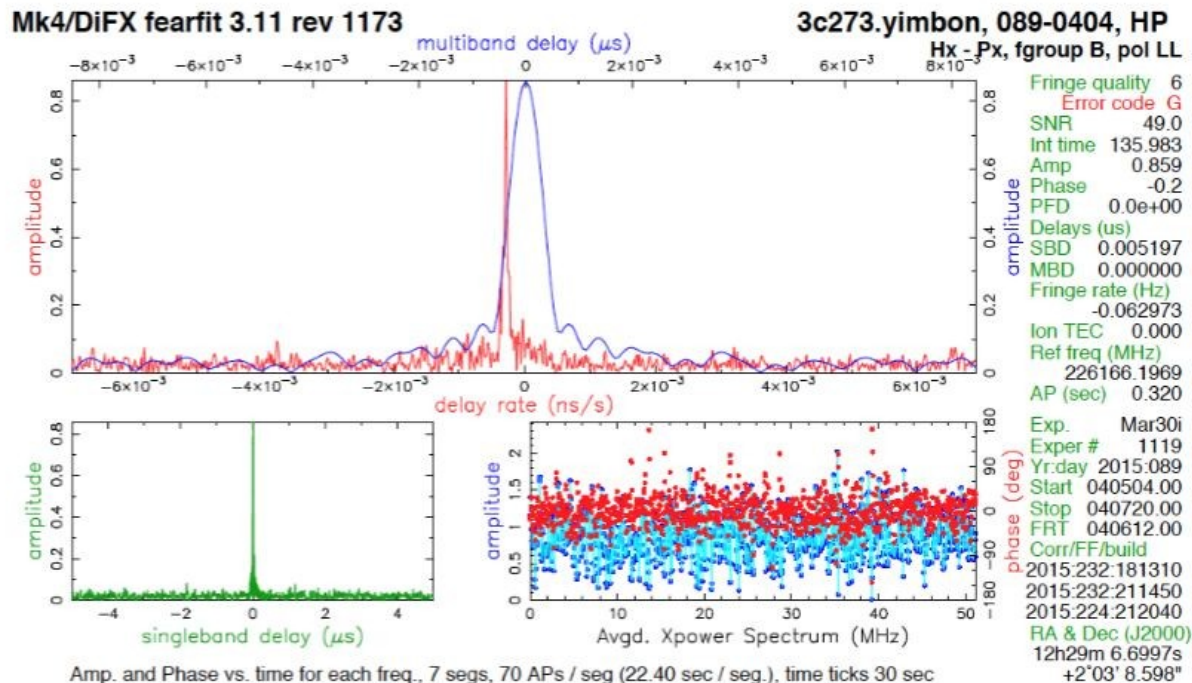


## 2014: ALMA Long Baseline Campaign

([ALMA partnership 2014 paper](#))

in 2015:

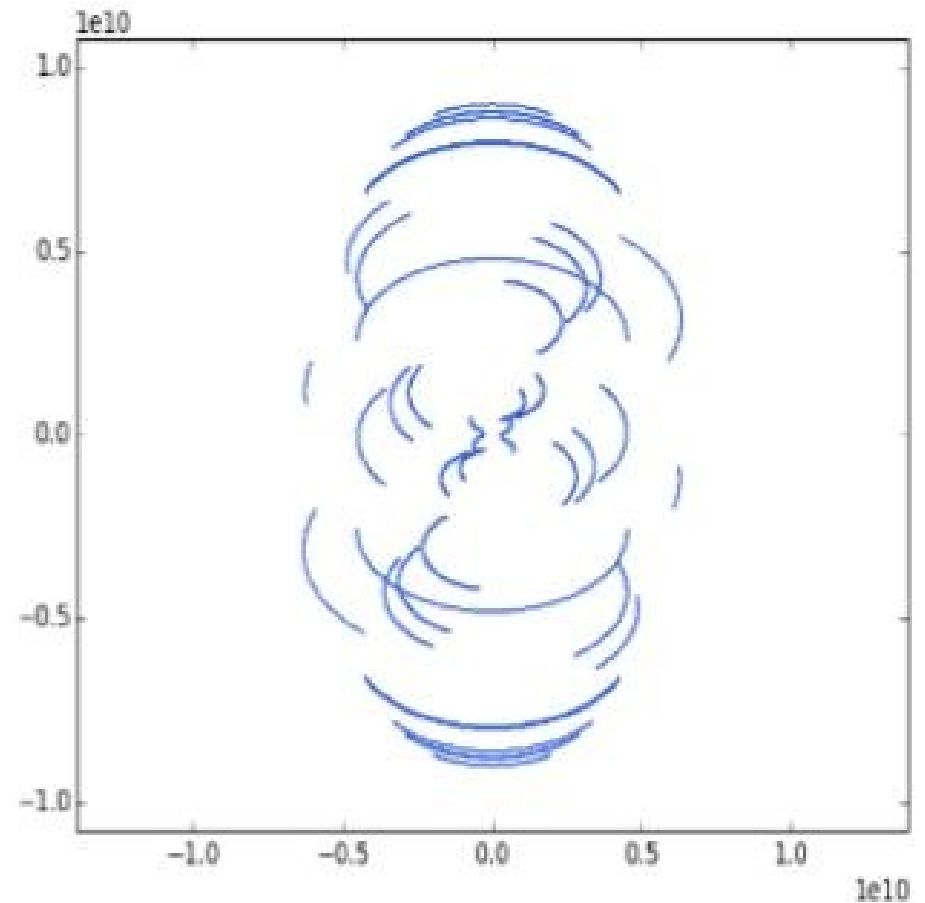
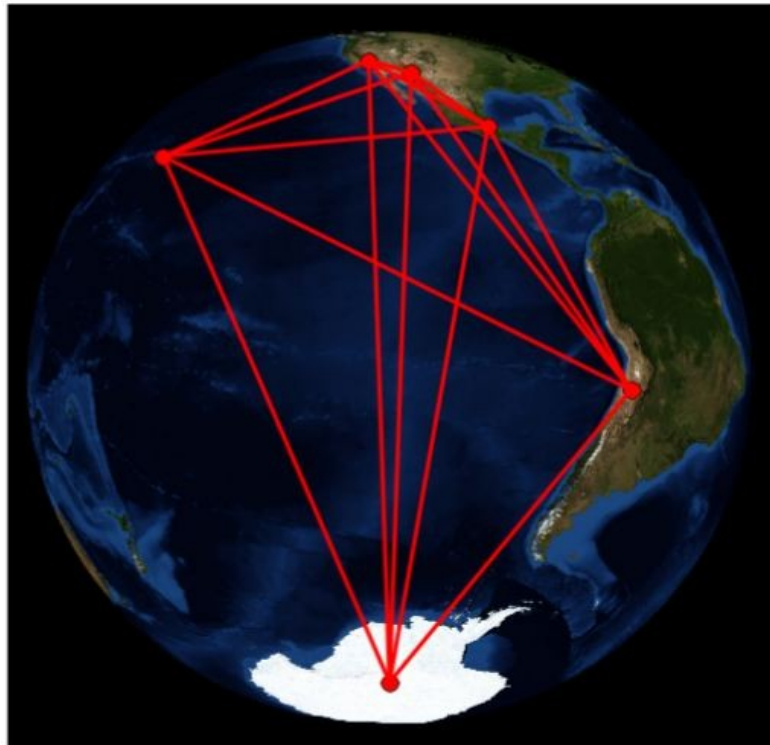
***Recent result!***  
First trans-oceanic fringes at 230 GHz between phased-ALMA (Chile) and IRAM 30m (Spain)





## Současnost a perspektivy

- ▶ Long baselines (up to 15km) in Bands 9 and 10 (11), extending the array to ~30km
- ▶ Wider sidebands / spectral windows (2x 8GHz)
- ▶ Feed arrays
- ▶ Full polarisation
- ▶ Correlator upgrade
- ▶ **VLBI**
  - ▶ Black Hole Cam
  - ▶ Event Horizon Telescope



# This is the first **photo** of a black hole



By **Ashley Strickland**, CNN

Updated 1640 GMT (0040 HKT) April 10, 2019

CNN NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

This is the first ever photo of a black hole

0:03 / 1:25

### News & buzz



CIA spy Virginia Hall to become everyone

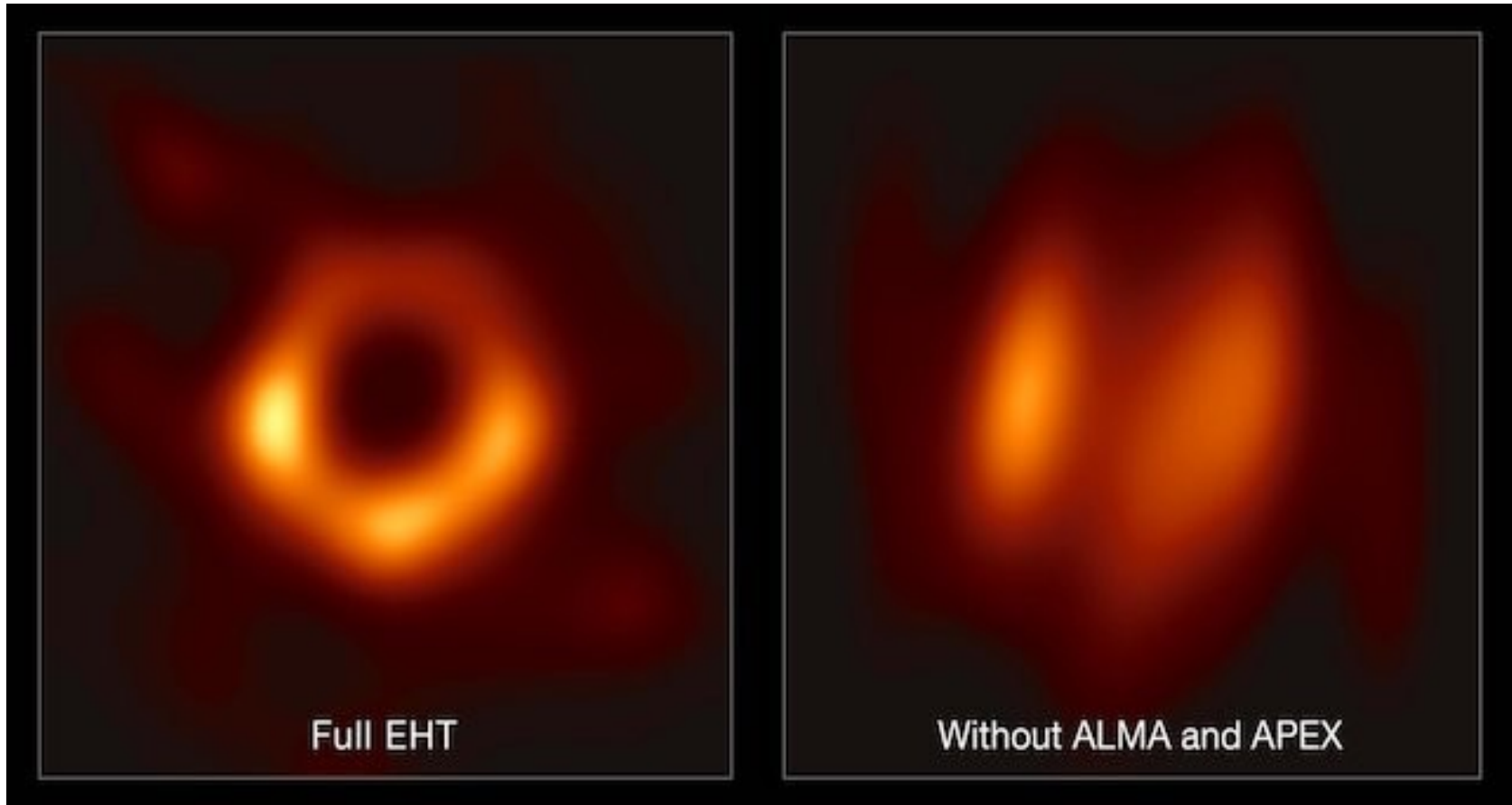


Paris police use tear against 'yellow vest' protesters

Ad

T-Mobile

## BH in M87: ALMA contribution to the success



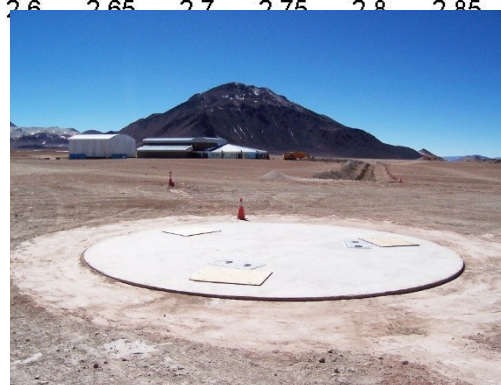
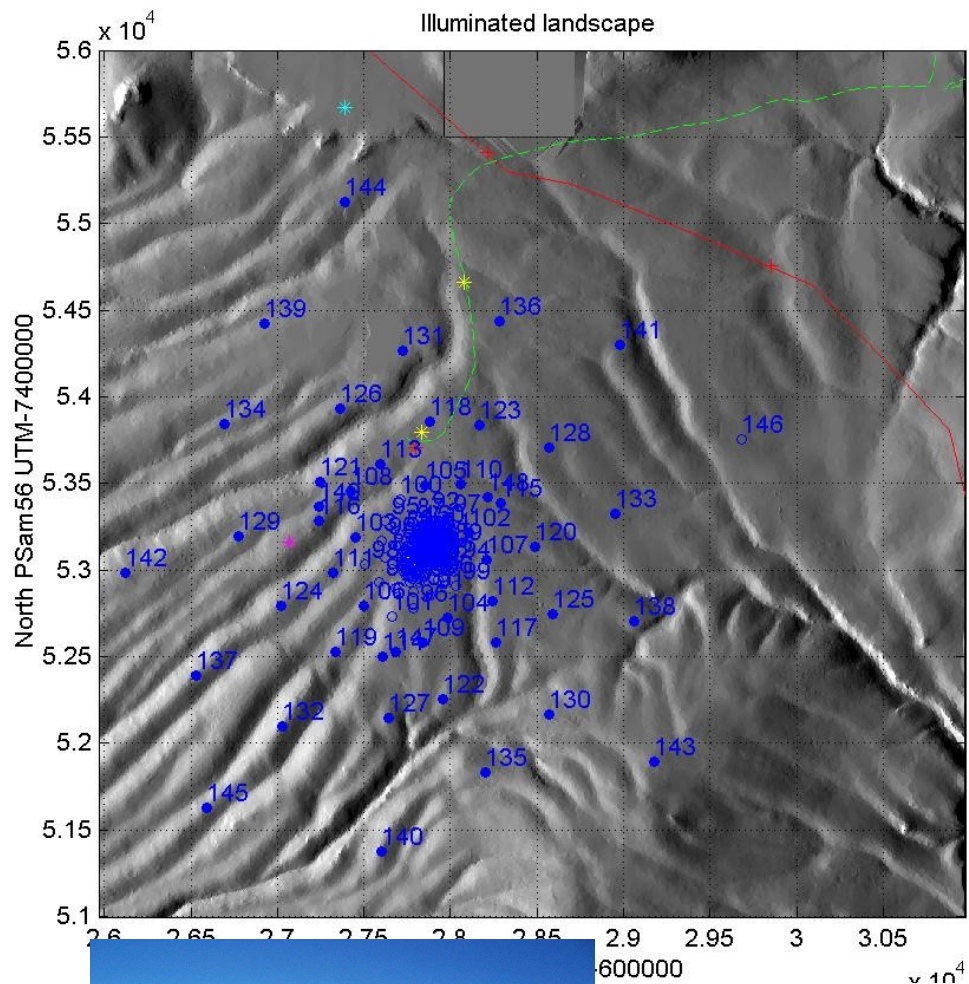
This and further analyses can be found at [ALMA webpage](#).

---



# Jak ALMA funguje?

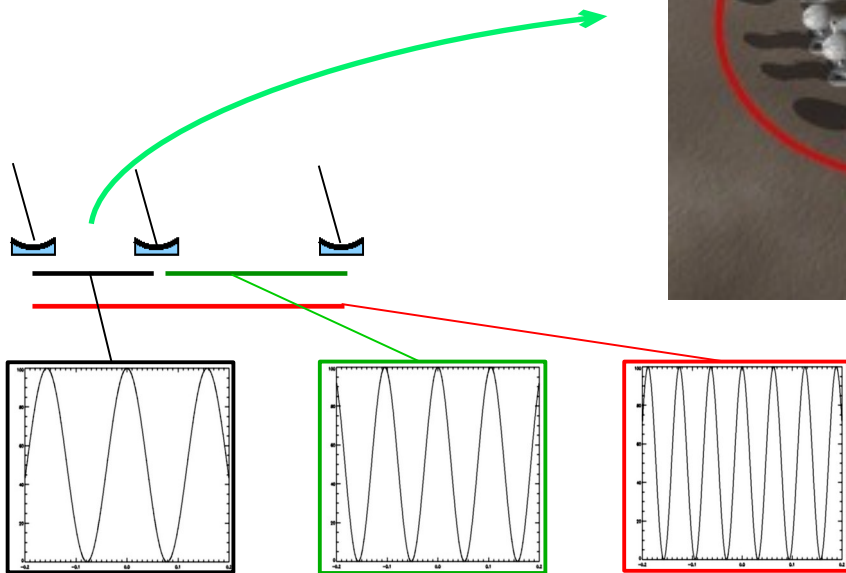
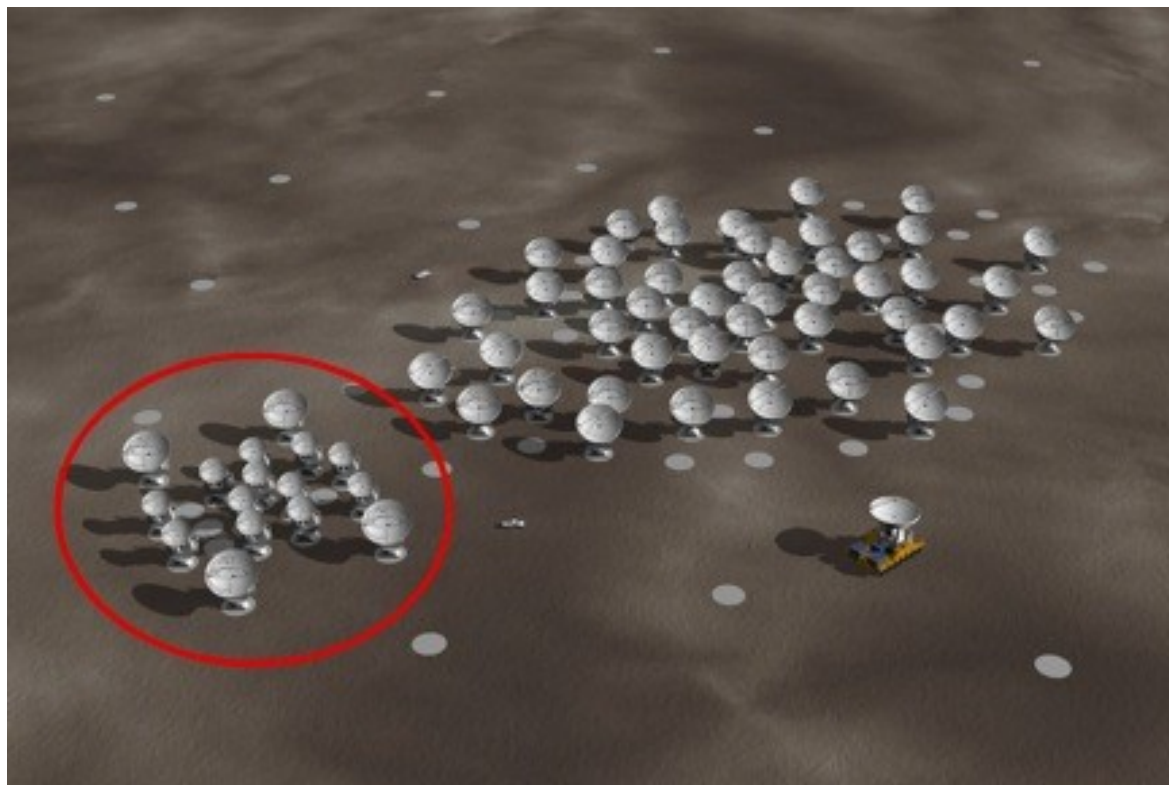
Proměnná konfigurace rozmístění antén  
– základny až do 16km



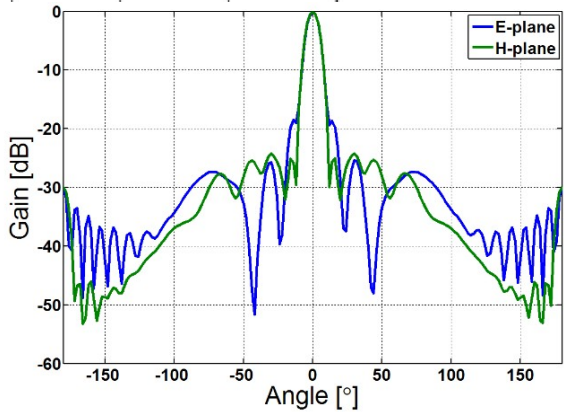
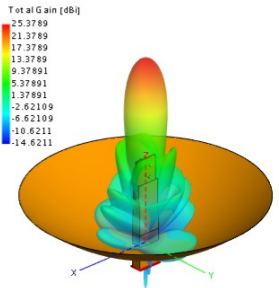
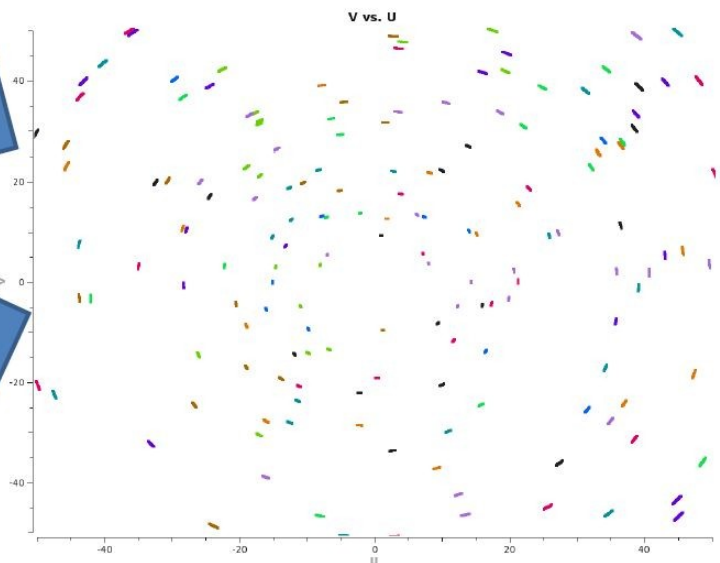
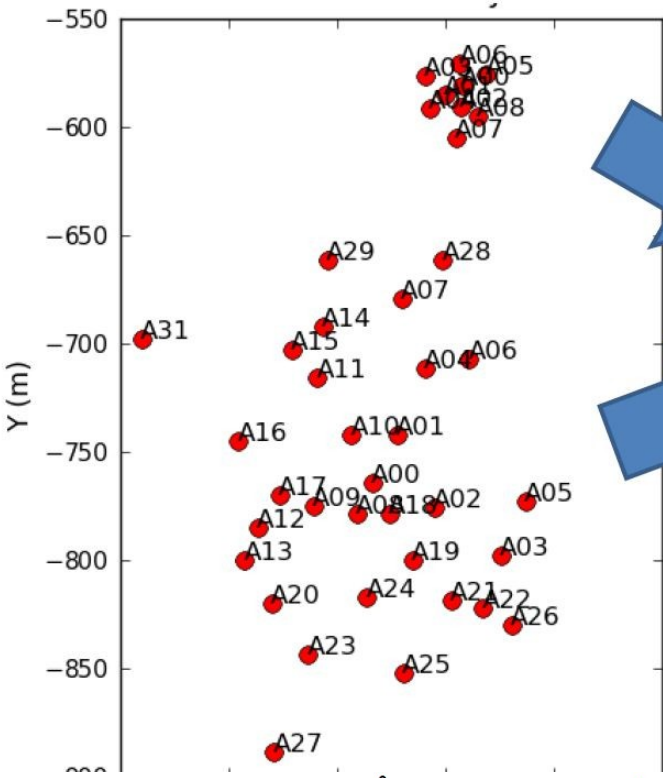
# Jak ALMA funguje?

**ACA** = Atacama Compact Array – dvanáct 7-m antén

**TP** = Total Power – čtyři  
12-m antény



# Jak ALMA funguje?

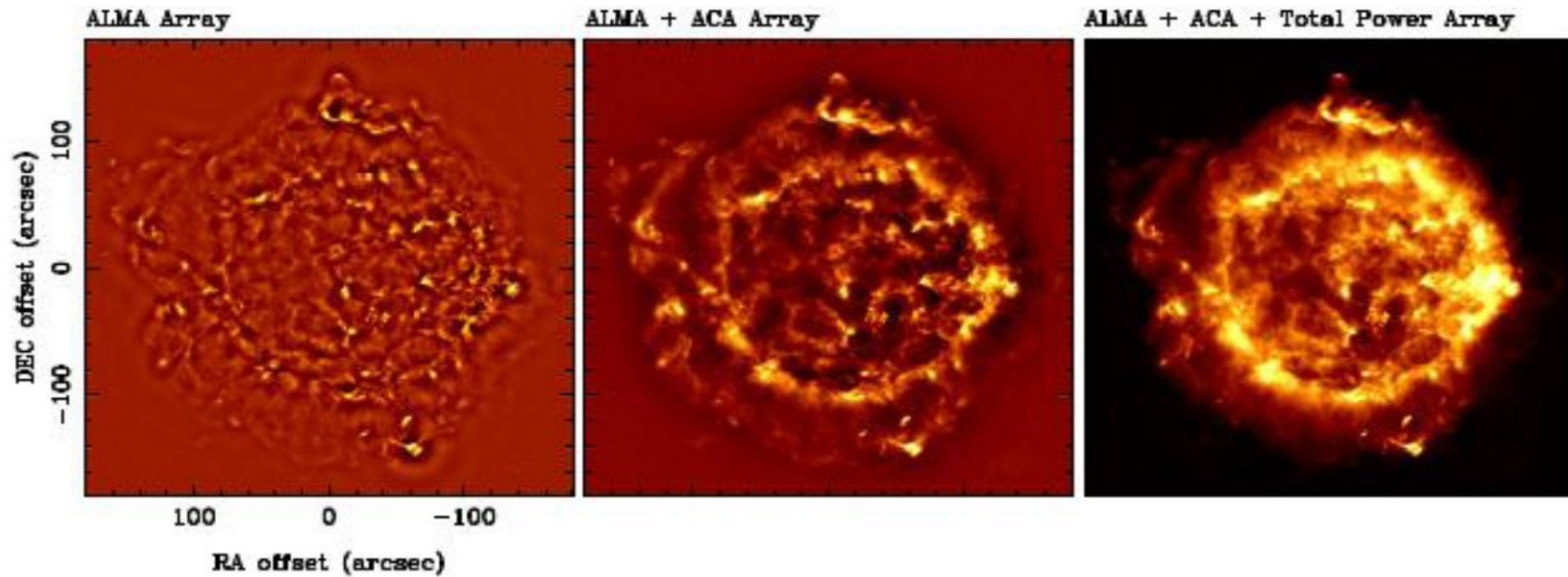


Single-dish (TP) scans to cover long scales



# Jak ALMA funguje?

Extended sources with fine structures: Combined approach



simple simulation of ALMA observation by Y.Kurono

**VertexRSI:** 264 panels spanning 8 rings with 12 (rings 1 and 2), 24 (rings 3 and 4), and 48 (rings 5 through 8) individual panels which are roughly a half-meter-square in area.

**AEM:** 120 panels spanning 5 rings with 8 (ring 1), 16 (ring 2), and 32 (rings 3 through 5) individual panels which are roughly one-meter-square in area.

**Melco 12 m:** 205 panels spanning 7 rings with 5 (ring 1), 20 (rings 2 and 3), and 40 (rings 4 through 7) individual panels which are roughly one-meter-square in area.

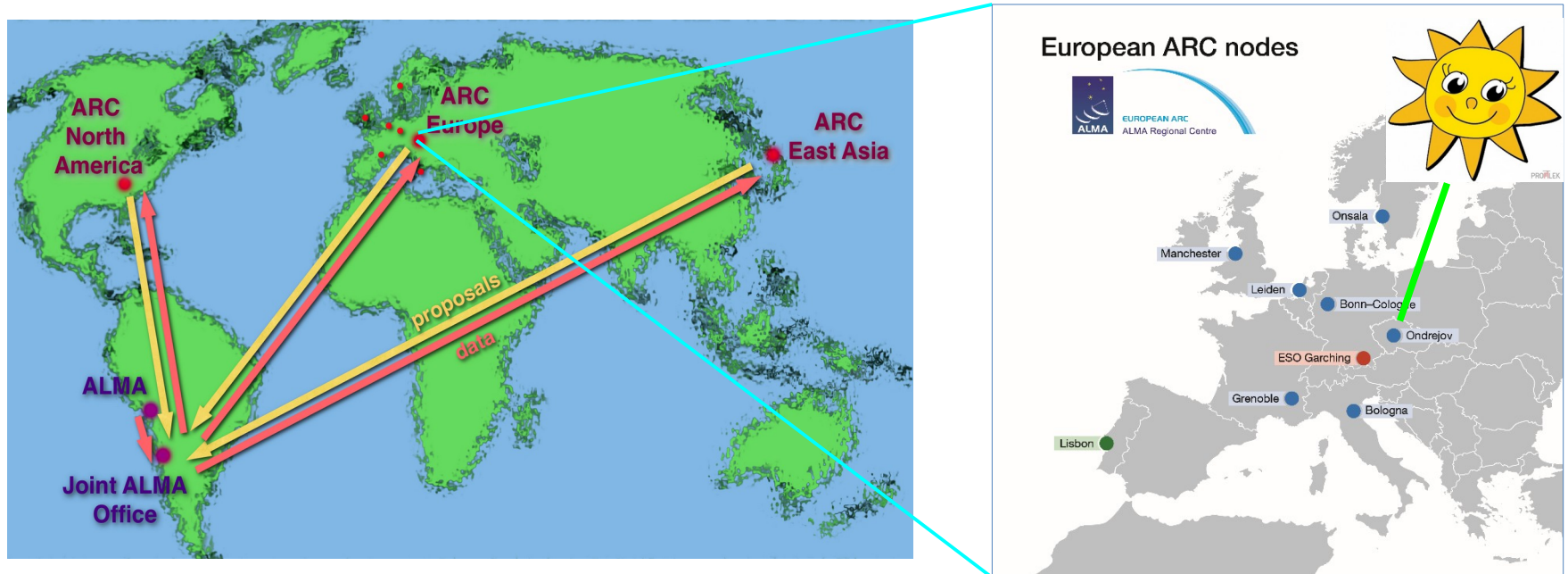
**Melco 7 m:** 88 panels spanning 5 rings with 4 (ring 1), 12 (ring 2), and 24 (rings 3 through 5) panels which are each roughly one-meter-square in area.



Figure A.1: The four different ALMA Antenna designs: Vertex 12 m, MELCO 12 m, AEM 12 m, and MELCO 7 m (from left to right).



# Observatoř a její infrastruktura: ALMA Regional Centers / ARCs and the ARC nodes



ALMA Regional Centers – ARCs:

**Supporting infrastructure** – interface between ALMA observatory and user community

Structure of the European ARC:

- Head in ESO Garching
- Seven nodes across Europe
  - ▶ **One in Ondřejov (Prague), Czech republic**



**EUROPEAN ARC**  
ALMA Regional Centre



EUROPEAN ARC

ALMA Regional Centre || Czech

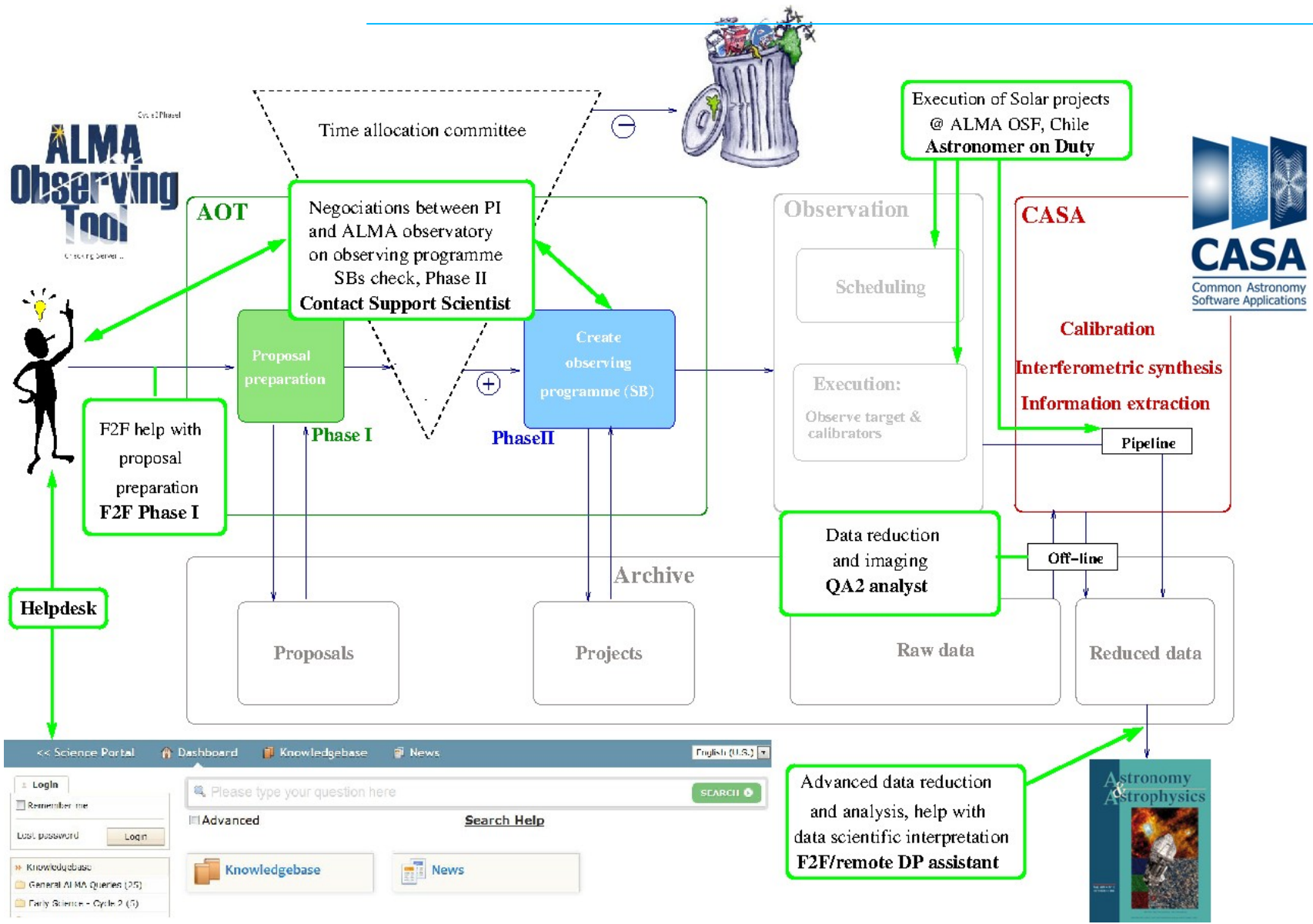
## Status

- ▶ Hosted by the Astronomical Institute ASCR
- ▶ Negotiations with ESO started in 2007, node accepted into EU ARC network in 2009
- ▶ Since 2015 **Research Infrastructure** (support till 2022, listed in CZ *Roadmap*, one of the 42 in CR)
- ▶ Expertise areas: Galactic & extragalactic physics, stars & ISM, **solar physics**, laboratory mw spectroscopy

## Mission

- ▶ **User support**, community building & training, **help with ALMA development**
- ▶ Serves the community in CR and entire CE Europe in all its expertise areas
- ▶ In **solar physics** it supports community on the **European-wide scale**

# Your project of ALMA observation: Data flow and SW



## *Vývoj Solar ALMA Observing Mode*

Cíl: Naučit observatoř ALMA pozorovat Sluníčko

---



# Solar ObsMode Commissioning: A project of world-wide collaboration

## Solar ALMA ObsMode development team

---

Shin'ichiro Asayama, East Asia ALMA Support Center, Tokyo, Japan;

[Miroslav Barta, Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, Ondrejov, Czech Republic;](#)

Tim Bastian, National Radio Astronomy Observatory, USA;

[Roman Brajsa, Hvar Observatory, Faculty of Geodesy, University of Zagreb, Croatia;](#)

Bin Chen, New Jersey Institute of Technology, USA;

Bart De Pontieu, LMSAL, USA; Gregory Fleishman, New Jersey Institute of Technology, USA;

Dale Gary, New Jersey Institute of Technology, USA;

Antonio Hales, Joint ALMA Observatory, Chile;

Akihiko Hirota, Joint ALMA Observatory, Chile;

Hugh Hudson, School of Physics and Astronomy, University of Glasgow, UK;

[Richard Hills, Cavendish Laboratory, Cambridge, UK;](#)

Kazumasa Iwai, National Institute of Information and Communications Technology, Japan;

Sujin Kim, Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon, Republic of Korea;

Neil Philips, Joint ALMA Observatory, Chile;

Tsuyoshi Sawada, Joint ALMA Observatory, Chile;

Masumi Shimojo (interferometry lead), NAOJ, Tokyo, Japan;

Giorgio Siringo, Joint ALMA Observatory, Chile;

[Ivica Skokic, Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, Ondrejov, Czech Republic;](#)

[Sven Wedemeyer, Institute of Theoretical Astrophysics, University of Oslo, Norway;](#)

Stephen White (single dish lead), AFRL, USA;

[Pavel Yagoubov, ESO, Garching, Germany](#)

Yihua Yan, NAO, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

---

## Proč vůbec zkoumat Slunce s pomocí observatoře ALMA ?

- Pozorování mohou zodpovědět řadu otevřených klíčových otázek sluneční fyziky.
- Bylo to zřejmé už při plánování observatoře.
  - *Science with ALMA* document (+ Karlicky et al. 2011, S. Wedemeyer et. al 2015,...)
- Smysluplné využití denního pozorovacího času, kdy není excelentní „počasí“ → zvýšení vědecké výtěžnosti a efektivity observatoře

## Sluneční zvláštnosti: Proč potřebujeme speciální režim pro pozorování Slunce

- Slunce je mnohem jasnější i na mm vlnách než ostatní nebeské zdroje
  - problém dynamického rozsahu (především pro „simultánní“ pozorování Slunce a srovnávacích objektů – kalibrátorů)
- Slunce je výrazně proměnlivé na krátkých časových škálách ( <1s ve slunečních erupcích) → není možné využít rotace Země ke získání více komponent obrazu: hledání jiných cest
- Vedle zdánlivého pohybu středu Slunce mezi hvězdami existuje i vlastní pohyb cílových objektů na Slunci v důsledku diferenciální rotace a meridionální cirkulace → komplikovaná pointace (specifická efemerida daná pohybem Země ve Sluneční soustavě + vnitřní dynamikou Slunce)
- Specifický souřadný systém používaný ve sluneční fyzice – nutnost transformace souřadnic
- Emise vyplňuje (většinou) celé zorné pole → potřebujeme přídatné informace z rychlého
- skanování jednou anténou (TP) kvůli zachycení velkých škál v obraze a absolutní kalibraci

# Sluneční výzkum s ALMA – potřeba specifického pozorovacího modu

## Proč vůbec zkoumat Slunce s pomocí observatoře ALMA ?

- Pozorování mohou zodpovědět řadu otevřených klíčových otázek sluneční fyziky.
- Bylo to zřejmé už při plánování observatoře.
  - *Science with ALMA* document (+ Karlicky et al. 2011, S. Wedemeyer et. al 2015,...)
- Smysluplné využití denního pozorovacího času, kdy není excelentní „počasí“ → zvýšení vědecké výtěžnosti a efektivity observatoře

## Sluneční zvláštnosti: Proč potřebujeme speciální režim pro pozorování Slunce

- Slunce je mnohem jasnější i na mm vlnách než ostatní nebeské zdroje
  - problém dynamického rozsahu (především pro „simultánní“ pozorování Slunce a srovnávacích objektů – kalibrátorů), potřeba specifické kalibrační procedury
- Slunce je výrazně proměnlivé na krátkých časových škálách ( <1s ve slunečních erupcích) → není možné využít rotace Země ke získání více komponent obrazu: hledání jiných cest
- Vedle zdánlivého pohybu středu Slunce mezi hvězdami existuje i vlastní pohyb cílových objektů na Slunci v důsledku diferenciální rotace a meridionální cirkulace → komplikovaná pointace (specifická efemerida daná pohybem Země ve Sluneční soustavě + vnitřní dynamikou Slunce)
- Specifický souřadný systém používaný ve sluneční fyzice – nutnost transformace souřadnic
- Emise vyplňuje (většinou) celé zorné pole → potřebujeme přídatné informace z rychlého
- skenování jednou anténou (TP) kvůli zachycení velkých škál v obraze a absolutní kalibraci

# Sluneční výzkum s ALMA – potřeba specifického pozorovacího modu

## Proč vůbec zkoumat Slunce s pomocí observatoře ALMA ?

- Pozorování mohou zodpovědět řadu otevřených klíčových otázek sluneční fyziky.
- Bylo to zřejmé už při plánování observatoře.
  - *Science with ALMA* document (+ Karlicky et al. 2011, S. Wedemeyer et. al 2015,...)
- Smysluplné využití denního pozorovacího času, kdy není excelentní „počasí“ → zvýšení vědecké výtěžnosti a efektivity observatoře

## Sluneční zvláštnosti: Proč potřebujeme speciální režim pro pozorování Slunce

- Slunce je mnohem jasnější i na mm vlnách než ostatní nebeské zdroje
  - problém dynamického rozsahu (především pro „simultánní“ pozorování Slunce a srovnávacích objektů – kalibrátorů), potřeba specifické kalibrační procedury
- Slunce je výrazně proměnlivé na krátkých časových škálách ( <1s ve slunečních erupcích) → není možné využít rotace Země ke získání více komponent obrazu: hledání jiných cest
- Vedle zdánlivého pohybu středu Slunce mezi hvězdami existuje i vlastní pohyb cílových objektů na Slunci v důsledku diferenciální rotace a meridionální cirkulace → komplikovaná pointace (specifická efemerida daná pohybem Země ve Sluneční soustavě + vnitřní dynamikou Slunce)
- Specifický souřadný systém používaný ve sluneční fyzice – nutnost transformace souřadnic
- Emise vyplňuje (většinou) celé zorné pole → potřebujeme přídatné informace z rychlého
- skenování jednou anténou (TP) kvůli zachycení velkých škál v obraze a absolutní kalibraci



## Proper motion of solar sources: Ephemeris/pointings ALMA OT + *Ephemeris Generator Tool*

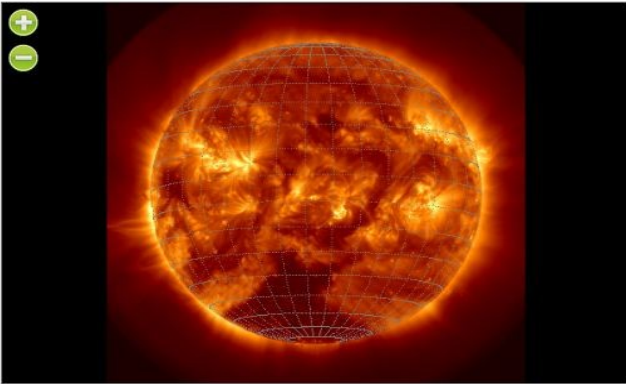
### ALMA Ephemeris Generator Tool

Input FITS file

File: AIA image (test)  Soubor nevybrán.  
Date: 2015-02-27T13:54:42.8 Size: 1024x1024 Format: 32

Visualization

Scaling function: cuberoot Color: heat Frame  0  of 1.  
move=(184,194)=0.7219536304473877



Pointing

pixel (x, y) -  
helioprojective (x, y in arcsec) -  
heliographic (L, B in deg) -

Observation

Start of observation (UT): 2015-08-27T18:10:47  
End of observation (UT): 2015-08-28T18:10:47  
Step size (minutes): 20  
Differential rotation profile: No rotation  
A: 0 B: 0 C: 0  
Height above photosphere (km): 0

<http://celestialszenes.com/alma/coords/CoordTool.html>

Accessible from *ALMA Science Portal*

<http://www.almascience.org>

Author: **Ivica Skokic**

**Nowadays used also for (E)VLA and other observatories**

# Sluneční výzkum s ALMA – potřeba specifického pozorovacího modu

## Proč vůbec zkoumat Slunce s pomocí observatoře ALMA ?

- Pozorování mohou zodpovědět řadu otevřených klíčových otázek sluneční fyziky.
- Bylo to zřejmé už při plánování observatoře.
  - *Science with ALMA* document (+ Karlicky et al. 2011, S. Wedemeyer et. al 2015,...)
- Smysluplné využití denního pozorovacího času, kdy není excelentní „počasí“ → zvýšení vědecké výtěžnosti a efektivity observatoře

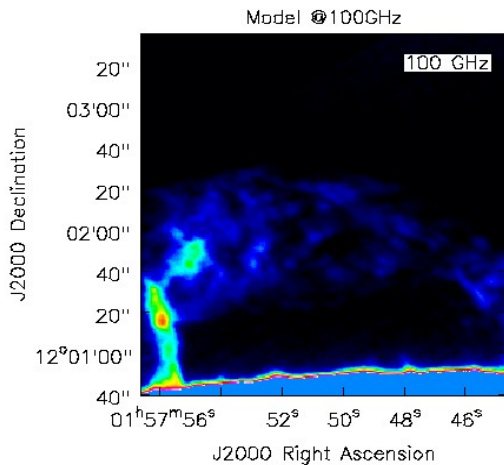
## Sluneční zvláštnosti: Proč potřebujeme speciální režim pro pozorování Slunce

- Slunce je mnohem jasnější i na mm vlnách než ostatní nebeské zdroje
  - problém dynamického rozsahu (především pro „simultánní“ pozorování Slunce a srovnávacích objektů – kalibrátorů), potřeba specifické kalibrační procedury
- Slunce je výrazně proměnlivé na krátkých časových škálách ( $<1s$  ve slunečních erupcích) → **není možné využít rotace Země ke získání více komponent obrazu: hledání jiných cest**
- Vedle zdánlivého pohybu středu Slunce mezi hvězdami existuje i vlastní pohyb cílových objektů na Slunci v důsledku diferenciální rotace a meridionální cirkulace → komplikovaná pointace (specifická efemerida daná pohybem Země ve Sluneční soustavě + vnitřní dynamikou Slunce)
- Specifický souřadný systém používaný ve sluneční fyzice – nutnost transformace souřadnic
- Emise vyplňuje (většinou) celé zorné pole → potřebujeme přídavné informace z rychlého
- skenování jednou anténou (TP) kvůli zachycení velkých škál v obraze a absolutní kalibraci

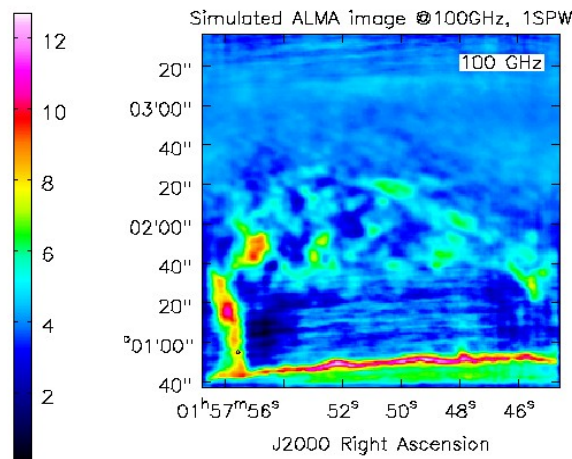
# Sluneční specifika: Strategie optimálního pozorování vědeckých cílů na Slunci

( M. Barta, P. Heinzel )

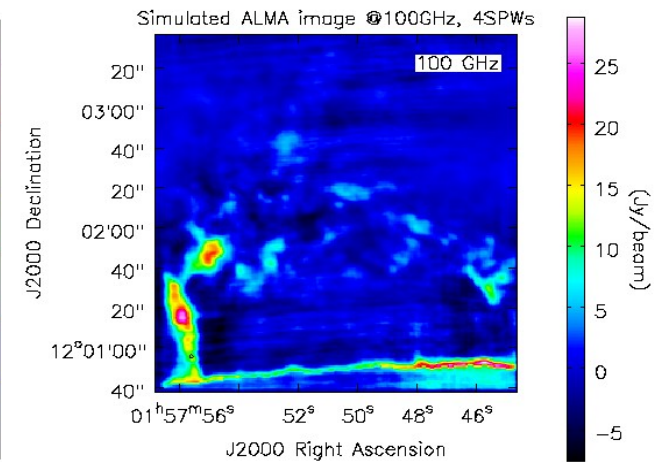
Hledání optimálního modu observatoře pro pozorování jednotlivých *science cases* pomocí simulací *CASA::simobserve()* a *CASA::simanalyze()*



Model data



Single continuum:1 SPW



Single continuum: 4 SPWs

**Result:** MFS improves *uv* Coverage and reconstructed image fidelity even for continuum images

# Sluneční výzkum s ALMA – potřeba specifického pozorovacího modu

## Proč vůbec zkoumat Slunce s pomocí observatoře ALMA ?

- Pozorování mohou zodpovědět řadu otevřených klíčových otázek sluneční fyziky.
- Bylo to zřejmé už při plánování observatoře.
  - *Science with ALMA* document (+ Karlicky et al. 2011, S. Wedemeyer et. al 2015,...)
- Smysluplné využití denního pozorovacího času, kdy není excelentní „počasí“ → zvýšení vědecké výtěžnosti a efektivity observatoře

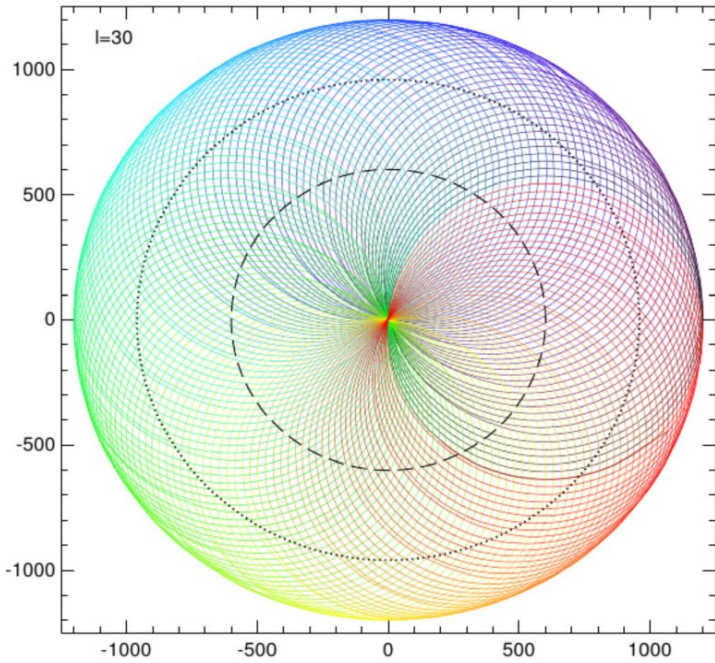
## Sluneční zvláštnosti: Proč potřebujeme speciální režim pro pozorování Slunce

- Slunce je mnohem jasnější i na mm vlnách než ostatní nebeské zdroje
  - problém dynamického rozsahu (především pro „simultánní“ pozorování Slunce a srovnávacích objektů – kalibrátorů), potřeba specifické kalibrační procedury
- Slunce je výrazně proměnlivé na krátkých časových škálách ( <1s ve slunečních erupcích) → není možné využít rotace Země ke získání více komponent obrazu: hledání jiných cest
- Vedle zdánlivého pohybu středu Slunce mezi hvězdami existuje i vlastní pohyb cílových objektů na Slunci v důsledku diferenciální rotace a meridionální cirkulace → komplikovaná pointace (specifická efemerida daná pohybem Země ve Sluneční soustavě + vnitřní dynamikou Slunce)
- Specifický souřadný systém používaný ve sluneční fyzice – nutnost transformace souřadnic
- Emise vyplňuje (většinou) celé zorné pole → potřebujeme přídavné informace z rychlého
- **skenování jednou anténou (TP) kvůli zachycení velkých škál v obraze a absolutní kalibraci**



# Specifics of solar ALMA observations: Solutions for project execution

## TP antenna – double-circle scanning pattern



Single-dish  
scanning

# Sluneční výzkum s ALMA – potřeba specifického pozorovacího modu

## Proč vůbec zkoumat Slunce s pomocí observatoře ALMA ?

- Pozorování mohou zodpovědět řadu otevřených klíčových otázek sluneční fyziky.
- Bylo to zřejmé už při plánování observatoře.
  - *Science with ALMA* document (+ Karlicky et al. 2011, S. Wedemeyer et. al 2015,...)
- Smysluplné využití denního pozorovacího času, kdy není excelentní „počasí“ → zvýšení vědecké výtěžnosti a efektivity observatoře

## Sluneční zvláštnosti: Proč potřebujeme speciální režim pro pozorování Slunce

- Slunce je mnohem jasnější i na mm vlnách než ostatní nebeské zdroje
  - problém dynamického rozsahu (především pro „simultánní“ pozorování Slunce a srovnávacích objektů – kalibrátorů) **potřeba specifické kalibrační procedury**
- Slunce je výrazně proměnlivé na krátkých časových škálách ( <1s ve slunečních erupcích) → není možné využít rotace Země ke získání více komponent obrazu: hledání jiných cest
- Vedle zdánlivého pohybu středu Slunce mezi hvězdami existuje i vlastní pohyb cílových objektů na Slunci v důsledku diferenciální rotace a meridionální cirkulace → komplikovaná pointace (specifická efemerida daná pohybem Země ve Sluneční soustavě + vnitřní dynamikou Slunce)
- Specifický souřadný systém používaný ve sluneční fyzice – nutnost transformace souřadnic
- Emise vyplňuje (většinou) celé zorné pole → potřebujeme přídatné informace z rychlého
- skenování jednou anténou (TP) kvůli zachycení velkých škál v obraze a absolutní kalibraci

# Specifics of solar ALMA observations: Solutions for data processing

( M. Barta, M. Shimojo)

Skripty pro kalibraci a interferometrickou syntézu (zobrazení) slunečních dat z observatoře ALMA

→ Script Generator (→ solar data ALMA pipeline)

```
# ALMA Solar Science-Data Reduction Script
#
# Original template by CSV Solar campaign (assembled by Masumi Shimojo
# <masumi.shimojo@nao.ac.jp>, EA ARC)
# Modified by Miro Barta <barta@asu.cas.cz> (EU ARC, Czech node) on 2018/07/21
# Modified by masumi.shimojo@nao.ac.jp (EA ARC) on 2018/07/11 for CASA 5.3.0
# Step 20 changed by Miro Barta <barta@asu.cas.cz> on 2018/07/28
# Adapted for CASA 5.4 by Miro Barta <barta@asu.cas.cz> on 2018/10/07
#
# Parts that are of special attention of data analysts are marked by _SADA_
# string in the comments
#
# Working in CASA version: 5.3 and higher

=====
# Switch for each process

DM',
n summary info to files',
ble times',
g1',
e Tsys cal tables',
enna-position correction table',
sys and AntPos tables to calibrators and Sun',
g2',
e SPWS',
',
lags',
for the flux calibrator',
start point for calibration',
ation',
re gain cal',
n',
re applycal',
the bandpass and gain cal tables',
cted column',
r applycal',
of the direction')

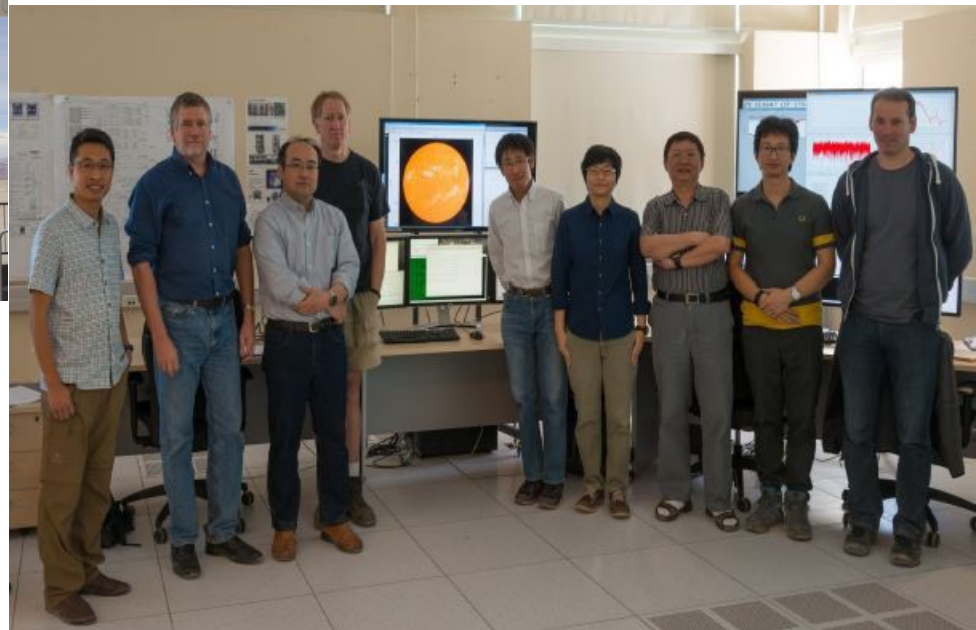
applyonly = False

print 'List of steps to be executed ...', mysteps
thesteps = mysteps

-:--- EB_uid.ms.scriptForCalibration.py Top (8,26) (Python)
Wrote /home/barta/QA2_solar_Cv5/INT/EB_uid.ms.scriptForCalibration.py
```

## Team

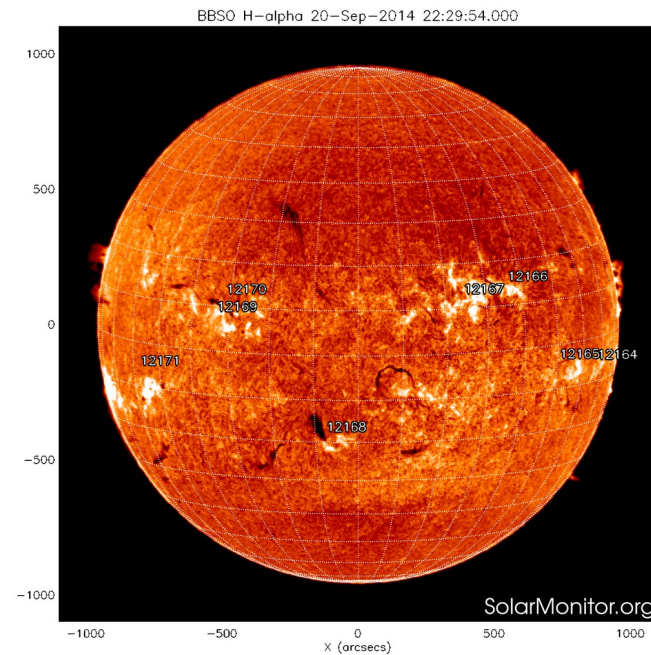
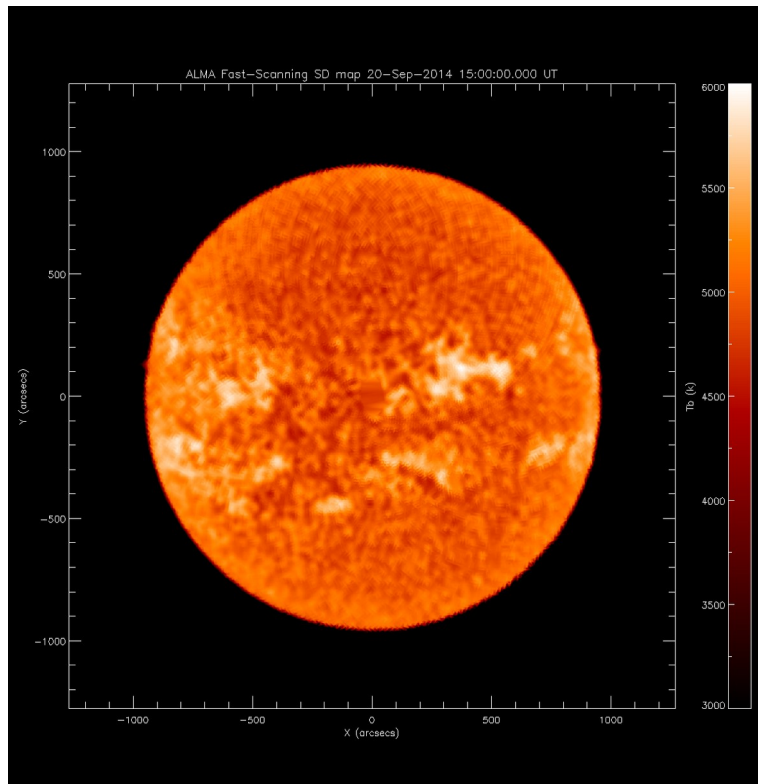
- ❑ EU ARC: M. Bárta (CZ node, Ondrejov), R. Brajša (CZ node, Zagreb), I. Skokic (CZ node Ondrejov)
- ❑ NAARC: T. Bastian (NRAO), S. White (US Air Force Research Lab)
- ❑ EAARC: M. Shimojo (NAOJ), S. Kazamusa (NAOJ/Nobeyama)  
+ strong JAO support (T. Remijan, A. Hales, A. Hirota,...)





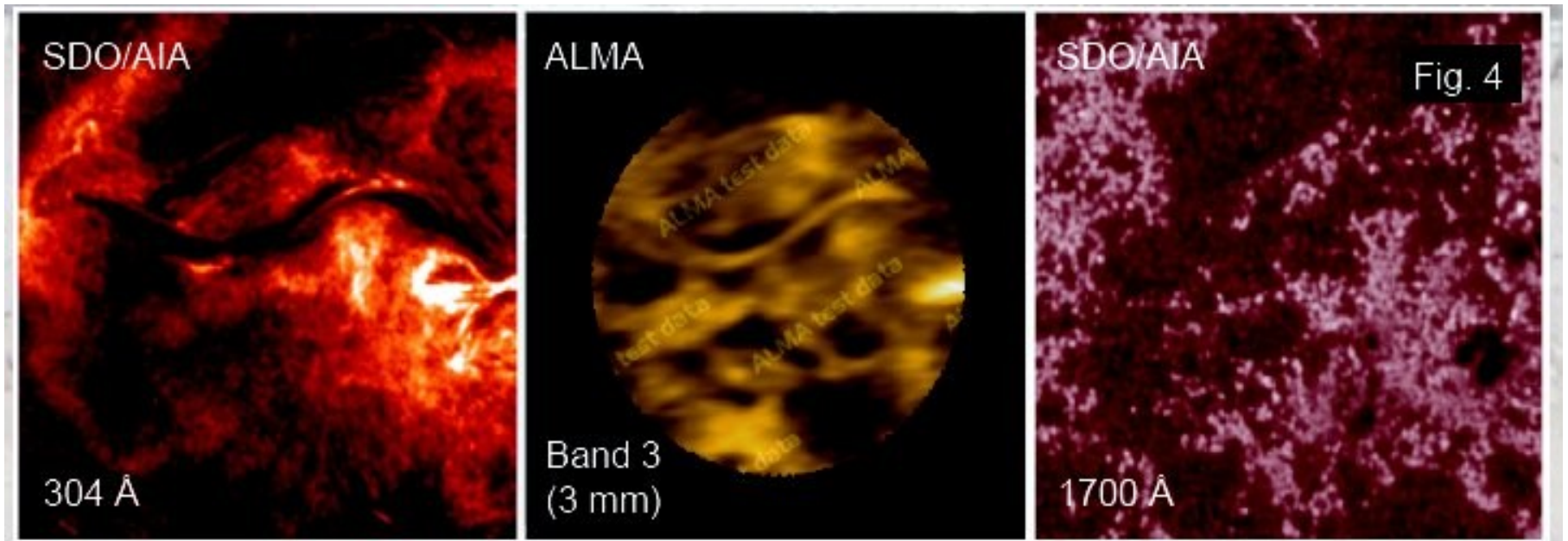
## Results

Whole-disc SD scan in ALMA continuum @240GHz (Band 6, left panel) as compared do H $\alpha$  image from BBSO (Dec. 2014)



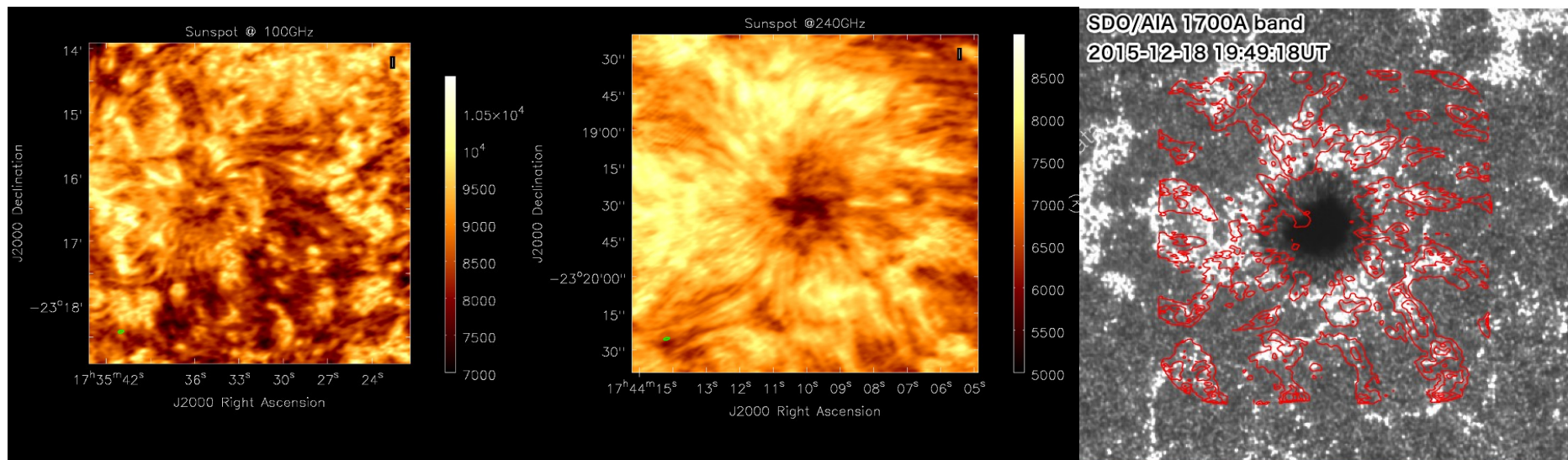
## Results

Filament in ALMA continuum @100GHz (Band 3 – middle panel), compared with AIA observations at 304Å (left) and 1700Å (right). IF image – main array (BL correlator only; Dec 2014)



## Results

The sunspot (NOAA 12470) in ALMA continuum Band 3 @100GHz (left), Band 6 @240GHz (middle) and AIA 1700A (right) – **IF images combined with TP scans**.

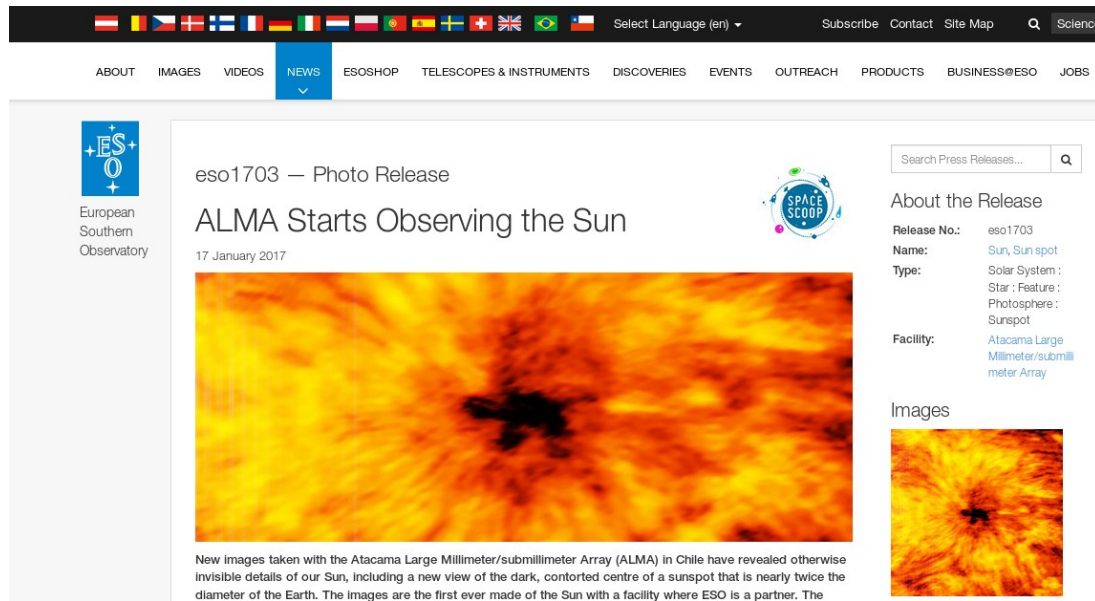


<https://almascience.eso.org/alma-data/science-verification>

# Akceptace *Solar ObsMode* – zařazení pozorování Slunce do standardního vědeckého programu observatoře ALMA

## Final resolution

- ❑ Accepted as a non-standard science mode for Cy 4 with limitations
- ❑ Summary of CSV published in two Solar Physics papers
- ❑ Fast-scanning TP: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2017SoPh..292...88W>  
Interferometric obs.: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2017SoPh..292...87S>
- ❑ ESO press-release no 1703 (also ALMA Science Portal news)



The screenshot shows the ESO website's press release page for 'eso1703 — Photo Release: ALMA Starts Observing the Sun'. The page features a navigation bar with various menu items and a search bar. The main content area includes the ESO logo, the title of the release, the date (17 January 2017), and a large image of the Sun's surface showing a sunspot. A 'SPACE SCOP' logo is also visible. To the right, there is a 'Search Press Releases...' box and a section titled 'About the Release' with details such as Release No., Name, Type, and Facility. Below this, there is an 'Images' section with a smaller version of the sunspot image. The footer of the page contains a short paragraph of text.

eso1703 — Photo Release

## ALMA Starts Observing the Sun

17 January 2017

European Southern Observatory

SPACE SCOP

Search Press Releases...

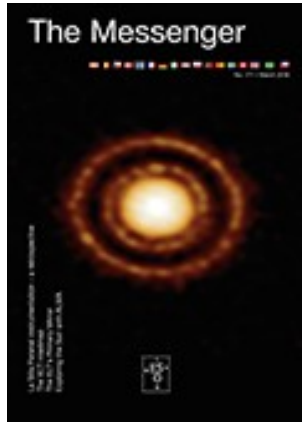
About the Release

**Release No.:** eso1703  
**Name:** Sun, Sun spot  
**Type:** Solar System : Star : Feature : Photosphere : Sunspot  
**Facility:** Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

Images

New Images taken with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) in Chile have revealed otherwise invisible details of our Sun, including a new view of the dark, contorted centre of a sunspot that is nearly twice the diameter of the Earth. The images are the first ever made of the Sun with a facility where ESO is a partner. The





## Exploring the Sun with ALMA

ESO Messenger  
No. 171, March 2018

Timothy S. Bastian<sup>1</sup>  
Miroslav Bárta<sup>2</sup>  
Roman Brajša<sup>3</sup>  
Bin Chen<sup>4</sup>  
Bart De Pontieu<sup>5,6</sup>  
Dale E. Gary<sup>4</sup>  
Gregory D. Fleishman<sup>4</sup>  
Antonio S. Hales<sup>1,7</sup>  
Kazumasa Iwai<sup>8</sup>  
Hugh Hudson<sup>9,10</sup>  
Sujin Kim<sup>11,12</sup>  
Adam Kobelski<sup>13</sup>  
Maria Loukitcheva<sup>4,14,15</sup>  
Masumi Shimojo<sup>16,17</sup>  
Ivica Skokić<sup>2,3</sup>  
Sven Wedemeyer<sup>6</sup>  
Stephen M. White<sup>18</sup>  
Yihua Yan<sup>19</sup>

- <sup>1</sup> National Radio Astronomy Observatory, Charlottesville, USA
- <sup>2</sup> Astronomical Institute, Czech Academy of Sciences, Ondřejov, Czech Republic
- <sup>3</sup> Hvar Observatory, Faculty of Geodesy, University of Zagreb, Croatia
- <sup>4</sup> Center for Solar-Terrestrial Research, New Jersey Institute of Technology, Newark, USA
- <sup>5</sup> Lockheed Martin Solar & Astrophysics Lab, Palo Alto, USA
- <sup>6</sup> Rosseland Centre for Solar Physics, University of Oslo, Norway
- <sup>7</sup> Joint ALMA Observatory (JAO), Santiago, Chile

- <sup>18</sup> Space Vehicles Directorate, Air Force Research Laboratory, Albuquerque, USA
- <sup>19</sup> National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) Observatory opens a new window onto the Universe. The ability to perform continuum imaging and spectroscopy of astrophysical phenomena at millimetre and submillimetre wavelengths with unprecedented sensitivity opens up new avenues for the study of cosmology and the evolution of galaxies, the formation of stars and planets, and astrochemistry. ALMA also allows fundamentally new observations to be made of objects much closer to home, including the Sun. The Sun has long served as a touchstone for our understanding of astrophysical processes, from the nature of stellar interiors, to magnetic dynamos, non-radiative heating, stellar mass loss, and energetic phenomena such as solar flares. ALMA offers new insights into all of these processes.

### [ALMA solar science](#)

Radiation from the Sun at millimetre and

and to gain an understanding of how mechanical and radiative energy are transferred through that atmospheric layer.

Much of what is currently known about the chromosphere has relied on spectroscopic observations at optical and ultraviolet wavelengths using both ground- and space-based instrumentation. While a lot of progress has been made, the interpretation of such observations is complex because optical and ultraviolet lines in the chromosphere form under conditions of non-local thermodynamic equilibrium. In contrast, emission from the Sun's chromosphere at millimetre and submillimetre wavelengths is more straightforward to interpret as the emission forms under conditions of local thermodynamic equilibrium and the source function is Planckian. Moreover, the Rayleigh-Jeans approximation is valid ( $h\nu/kT \ll 1$ ) and so the observed intensity at a given frequency is linearly proportional to the temperature of the (optically thick) emitting material. By tuning across the full suite of ALMA's frequency bands it is possible to probe the entire depth of the chromosphere.

Wedemeyer et al. (2016) comprehensively discuss the potential of ALMA in this context. In brief, observations of thermal emission from material at chromospheric

# Solar ALMA science observations: Cycles 4 - 7



Atacama Large Millimeter/submillimeter Array  
In search of our Cosmic Origins

Jump

Search

DataProcessing

TWiki > DataProcessing Web > QAProceduresForSolarINTData  
(02 Sep 2018, MiroslavBarta)

Raw edit Edit Attach

Hello

Miroslav Barta

Log Out

Create personal sidebar

DataProcessing Web

Create New Topic

Index

Search

Changes

Notifications

RSS Feed

Statistics

Preferences

Webs

AAER

ADC

## The QA2 & Packaging of Solar Interferometric data Cycle 5

### Cautions

### Known issues

- [SCOPS-5181](#) - E2E5 solar testing.
- [PRTSPR-32758](#) - Incorrect field of view of the synthesized images from the solar MOSAIC data
- [The bug in the "sun\\_reduction\\_util.py"](#)

### Local Solar Experts:

- JAO: Antonio Hales
- EU: Miroslav Barta
- EA: Masumi Shimojo
- NA: Tim Bastian

2018: Český uzel spravuje proceduru a dokumentaci k redukci slunečních ALMA dat v celosvětovém měřítku

2021: Projekt *ALMA Development Study* na upgrade Solar ObsMode – pozorování s vysokým rozlišením.

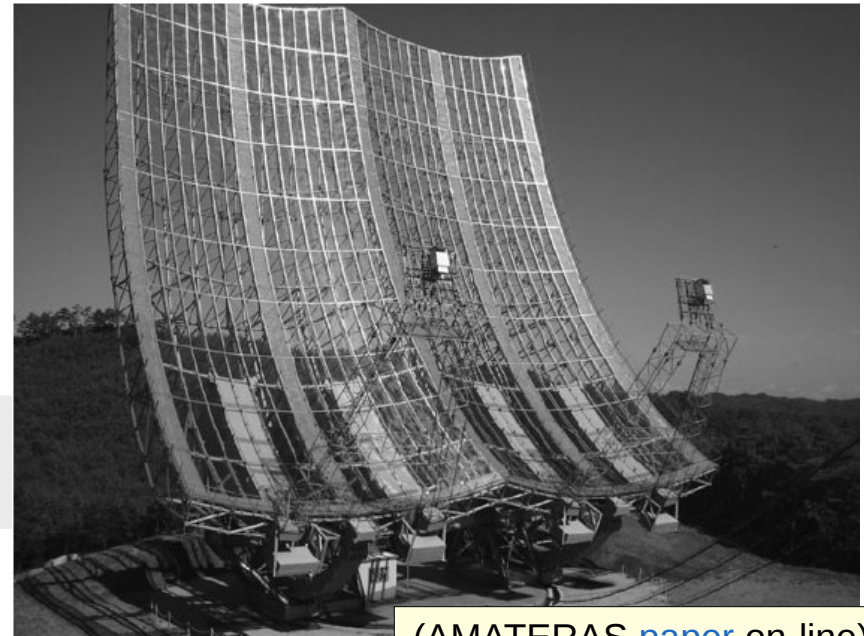
Trendy a perspektivy

---

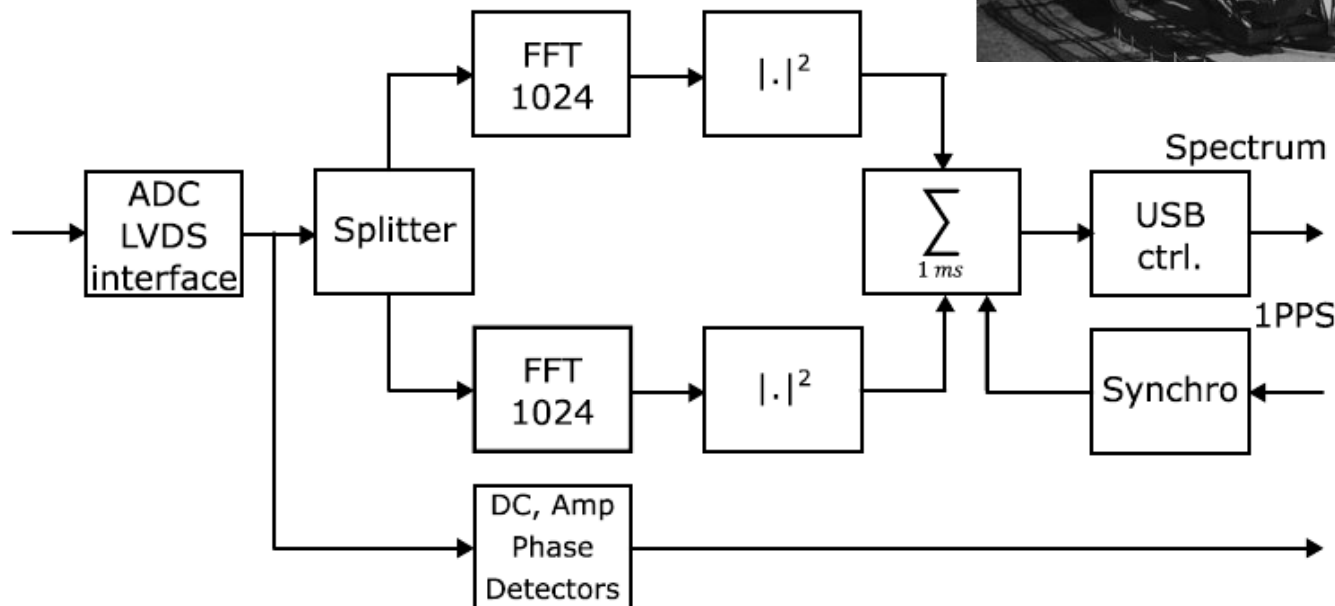
# Pronikání DSP technologií i do menších observatoří

- IPRT/Amateras [JP]
- ARCAS [BE]
- SSPM Badary [RU]
- OSCARS [CZ]

**Spektragrafy/spektró-polarimetry  
postavené jako Software-Defined Radio**



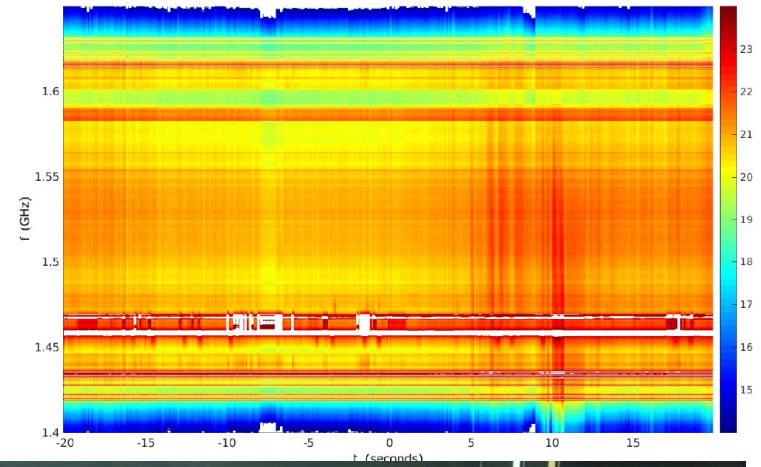
(AMATERAS [paper](#) on-line)



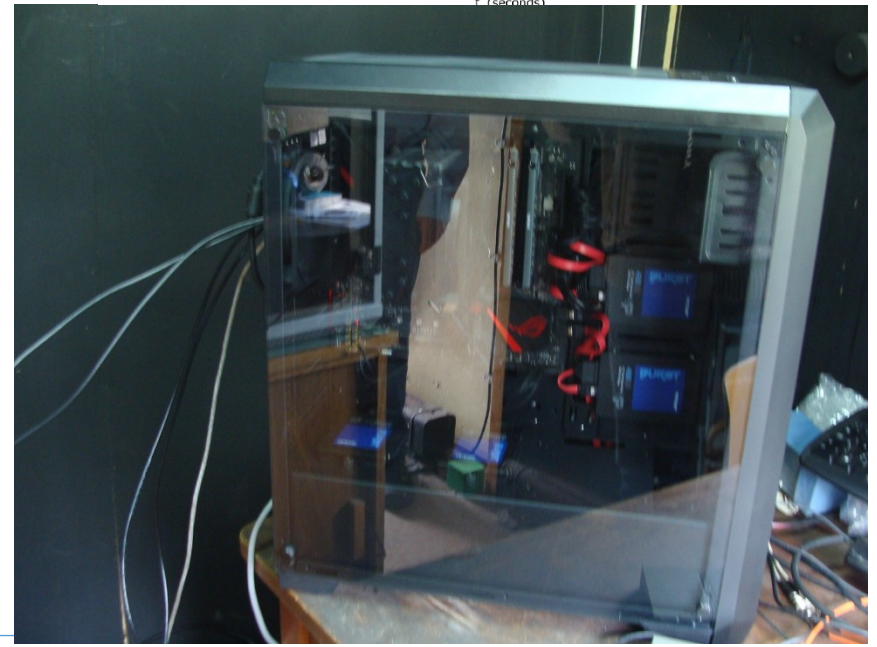


# Pronikání DSP technologií i do menších observatoří

Spektrografy/spektr-polarimetry postavené jako Software-Defined Radio  
Ondřejov Solar hi-Cadence Automated Radio Spectrograph(s) / OSCARS  
(viz také poster o RT2/RT5)



(Puričer, Kovář & Bárta, [Electronics 2019](#))



# Multi-feed arrays

## Single-feed:

FoV je dáno šířkou svazku  
jedné antény (ALMA 12m:  $\sim 1'$ @100GHz).  
Větší pole se mosaikují.

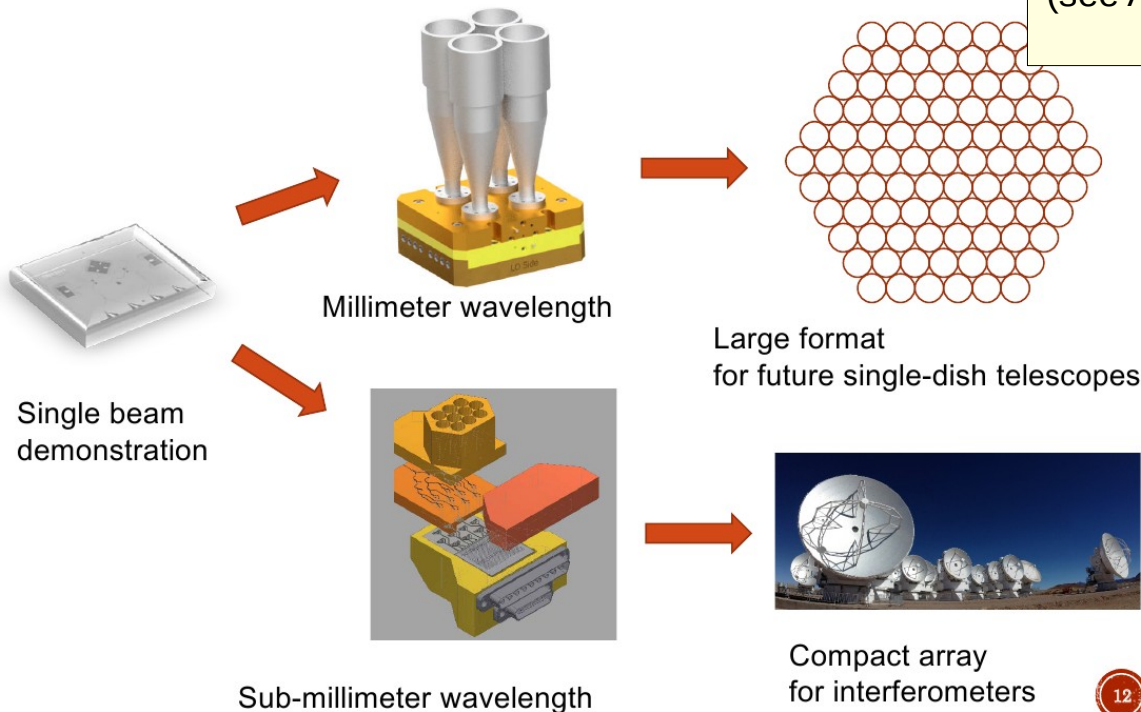
## Multi-feed:

Zvětšení FoV, zrychlení mosaikování



ALFA@Arecibo

(see ALMA Development Workshop 2019  
[on-line proceedings](#))

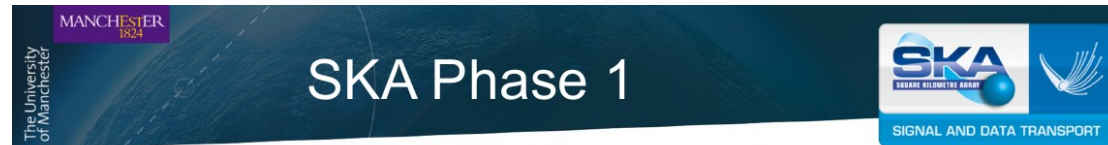
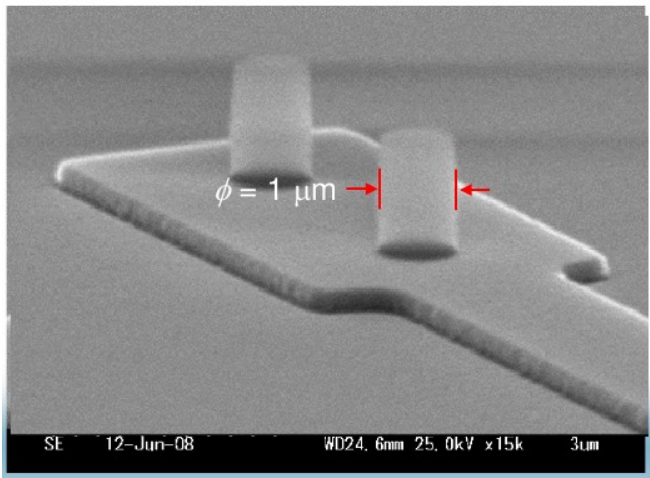
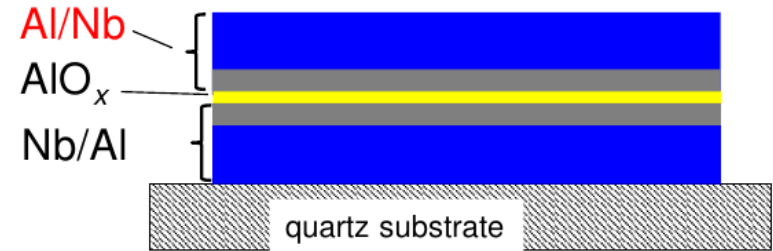
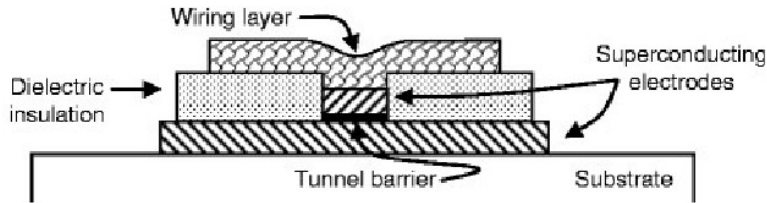


Aplikace v mm/sub-mm  
oblasti



# Ještě větší citlivost a rozlišení

(see ALMA Development Workshop 2019 [on-line proceedings](#))



SKA1\_Mid 350 MHz – 14 GHz  
64 MeerKAT dishes  
133 SKA1 dishes.



SKA1\_Low 50 – 350 MHz  
131,000 aperture array dipole  
512 stations of 256 antennas

- Supravodivé detektory, nanotechnologie
- Vyšší frekvence (THz pásmo)
- Větší observatoře / VLBI síť: Mezikontinentální, v budoucnu pravděpodobně i v kosmu

- ❑ Radioastronomie právě zažívá období bouřlivého rozkvětu a její metody nám přinesly mnoho nových průlomových objevů. Stále se konstruují nové obří *single-dish* přijímače (FAST), ovšem hlavní proud vývoje jde cestou **interferometrických anténních soustav pro aperturní syntézu** (AS; např. LOFAR, ALMA, e-OVSA, MUSER, SKA). Trendem je propojování jednotlivých observatoří do **globálních VLBI sítí**. Tento soudobý **rozvoj je hnán zejména bezprecedentním pokrokem v oblasti DSP technologií a HPC** (superpočítače). Z tohoto rozkvětu radioastronomie **profituje i sluneční fyzika**.
- ❑ Příkladem moderních systémů AS je ALMA – největší současný přístroj pozemní pozorovací astronomie na světě. Přestože se dosud rozvíjí, přinesl už teď řadu objevů a další je možno očekávat. **ALMA představuje klíčový element v globálním VLBI systému EHT**, který přinesl asi hlavní vědecký highlight roku 2019 – **první „obraz černé díry“** v centru galaxie M87.
- ❑ **Od roku 2017 ALMA zkoumá i Slunce**. Podíl na tom má i ondřejovský uzel evropského centra ALMA (EU ARC), který vedl evropskou participaci na vývoji *Solar ALMA ObsMode* (jehož kontinuální upgrade za účasti AsU stále pokračuje) a nyní za EU ARC koordinuje vědecká pozorování Slunce.
- ❑ **Pokrok v oblasti DSP** a snížení ceny digitizérů na přijatelnou úroveň velmi **pomohl i zásadnímu rozvoji** mnohem menších přístrojů – typicky *single-dish* radioteleskopům napájejícím **spektrografy a spektro-polarimetry v metrovém a dm pásmu** (např. i nový receiver/spektrograf OSCARS v Ondřejově) – tzv. *Software Defined Radio* (v MHz oblasti a s užším pásmem pokrytí je dnes dostupné i amatérům).
- ❑ Trend směřuje k **vyšší citlivosti**: supravodivé detektory, ještě větší observatoře, a rozlišení: **mezikontinentální VLBI sítě, ještě vyšší frekvence** – perspektivně pozorování z kosmu



### (Neúplný) Seznam literatury a odkazů:

Další (on-line) zdroje jsou dostupné přímo přes aktivní odkazy v textu prezentace a v citacích prací v níže uvedeném výběru.

- Karlický, M.; Bárta, M.; Dąbrowski, B.; Heinzl, P. (2011): *Solar research with ALMA*, [Sol. Phys. 268](#), 165
- Heinzl, P.; Berlicki, A.; Bárta, M.; Karlický, M.; Rudawy, P. (2015): *On the Visibility of Prominence Fine Structures at Radio Millimeter Wavelengths*, [Sol. Phys. 290](#), 1981-2000
- Wedemeyer, S. et al. (2016): *Solar Science with the Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array—A New View of Our Sun*, [SSR 200](#), 1-73
- Bárta, M.; Skokić, I.; Brajša, R. & Czech ARC Node Team (2016): *Solar research with ALMA: Czech node of European ARC as your user-support infrastructure*, [Procs. of 9th Workshop on Solar Influences](#), 30/05-03/06/2017, Bulgaria. ISSN 2367-7570, 2017, p. 127-132
- Shimojo, M. and the Solar ALMA ObsMode Development Team (2017): *Observing the Sun with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA): High-Resolution Interferometric Imaging*, [Sol. Phys. 292](#), id. 87
- White, S.M. and the Solar ALMA ObsMode Development Team (2017): *Observing the Sun with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA): Fast-Scan Single-Dish Mapping*, [Sol. Phys. 292](#), id. 88
- Bastian, T.S.; Bárta, M.; Brajša, R. et al. (2018): *Exploring the Sun with ALMA*, The ESO [Messenger 171](#), p. 25-30
- Puričer, P., Kovář, P., and Bárta, M. (2019): *Modernized Solar Radio Spectrograph in the L Band Based on Software Defined Radio*, [Electronics 2019/8](#), 861
- Bárta, M (2020): *Přístroje moderní radioastronomie I a II*, Astropis 2020/1 a 2; celé [on-line zde](#).



Díky za pozornost !

---

Projekt ESO “*Solar Research with ALMA*” řešený v Ondřejově

**Sluneční pozorovací kampaň v Chile, prosinec 2014: [Dojmy z cesty](#)**

---











**SOLMAFORO  
UV Rays Indicator**

Alert	Maximum time of exposure (Minutes)		Suggestion
	White tone skin	Matte tone Skin	
Extreme	11 - 22	20 - 33	Avoid the sun, use protection
Dangerous	15 - 30	27 - 45	Seek the shade, wear long sleeve clothing and a hat
High	21 - 40	38 - 60	Plan to wear shade and wear a hat
Medium	30 - 80	54 - 120	You might stay outside with protection
Low	75 - 240	135 - 360	You might stay outside with minimal protection

**SOLMAFORO  
INDICADOR DE RAYOS ULTRAVIOLETA**

Alerta	Tiempo máximo de exposición (minutos)		Sugerencia
	Piel Blanca	Piel Mate	
EXTREMO	11 - 22	20 - 33	Evite el sol, use protección
PELIGROSO	15 - 30	27 - 45	Busque sombra, use manga larga y gorro
ALTO	21 - 40	38 - 60	Use bloqueador y gorro
MEDIO	30 - 80	54 - 120	Puede tomar sol con precaución
BAJO	75 - 240	135 - 360	Puede tomar sol sin protección















INDURA



OXIGENO MEDICINAL

OXIGENO MEDICINAL COMPRIMIDO

Una de las funciones fundamentales para respirar, cuyo objetivo es simplemente lograr que el oxígeno del aire sea atrapado en los pulmones y ser transportado a todas las células del cuerpo que necesitan para su metabolismo y vida.

Cuando no hay suficiente oxígeno disponible, las funciones corporales se resienten y pueden dañarse. En estas circunstancias es vital contar con un oxígeno de alta pureza.

**INDICACIONES**  
Este producto está indicado en condiciones en que la disponibilidad de oxígeno ambiental no es suficiente para asegurar el funcionamiento de los órganos y células. Por ejemplo, a gran altitud donde la presión de oxígeno ambiental se encuentra muy disminuida.

Debe ser convenientemente usado en situaciones de emergencia clínica que requiera usar oxígeno suplementario para socorrer.

Este producto O100 deberá siempre estar supervisado por un médico. Cuando el oxígeno es considerado un medicamento en estas situaciones.

**MODO DE USO**  
Este producto de O100 cuenta con una mascarilla, la que se debe colocar sobre la nariz y boca, con el fin de evitar que escape el oxígeno por los bordes. Una vez accionado el dispensador, aspirar el oxígeno por nariz y boca.

La succión y aspiración lo puede realizar en un tiempo de 2 a 3 segundos, según indicación clínica, por cada acción y aspiración en un tiempo de 40 a 50 aspiraciones aproximadamente.

**COMPOSICIÓN**  
Este producto es de alta pureza, 99.5±0.5% comprimido, obtenido por licuefacción del aire. El oxígeno puro es un elemento necesario para la combustión, debido a esta característica este producto debe ser alejado de fuentes de calor. El oxígeno es incompatible con aceites, pudiendo reaccionar en caso de contacto con dichos aceites. Mantener la zona de aplicación libre de grasas, aceites, cremas o pomos. Debe ser usado sin la presencia de focos de calor, velas, velos, velas de combustibles y con las manos limpias, libres de aceites. Solo sirve cuando es aspirado por la vía aérea y no por la boca y/o nariz, no sirve en otras partes del cuerpo, ni para quemaduras o ropa de ningún tipo.

**RECOMENDACIONES DE USO, PREVENCIÓN Y PRECAUCIONES**  
La utilización de este producto podría estar contraindicada. Este producto es un gas comprimido producido a una presión de 16.5 bares.

Este producto no se debe perforar, golpear o exponer a temperaturas superiores a 30°C. Evitar que los niños tengan acceso al producto. Evitar usar bajo el agua. Evitar la exposición al fuego. Evitar la combustión.

INDURA S.A.  
Las Américas 585  
Cerrillos - Santiago























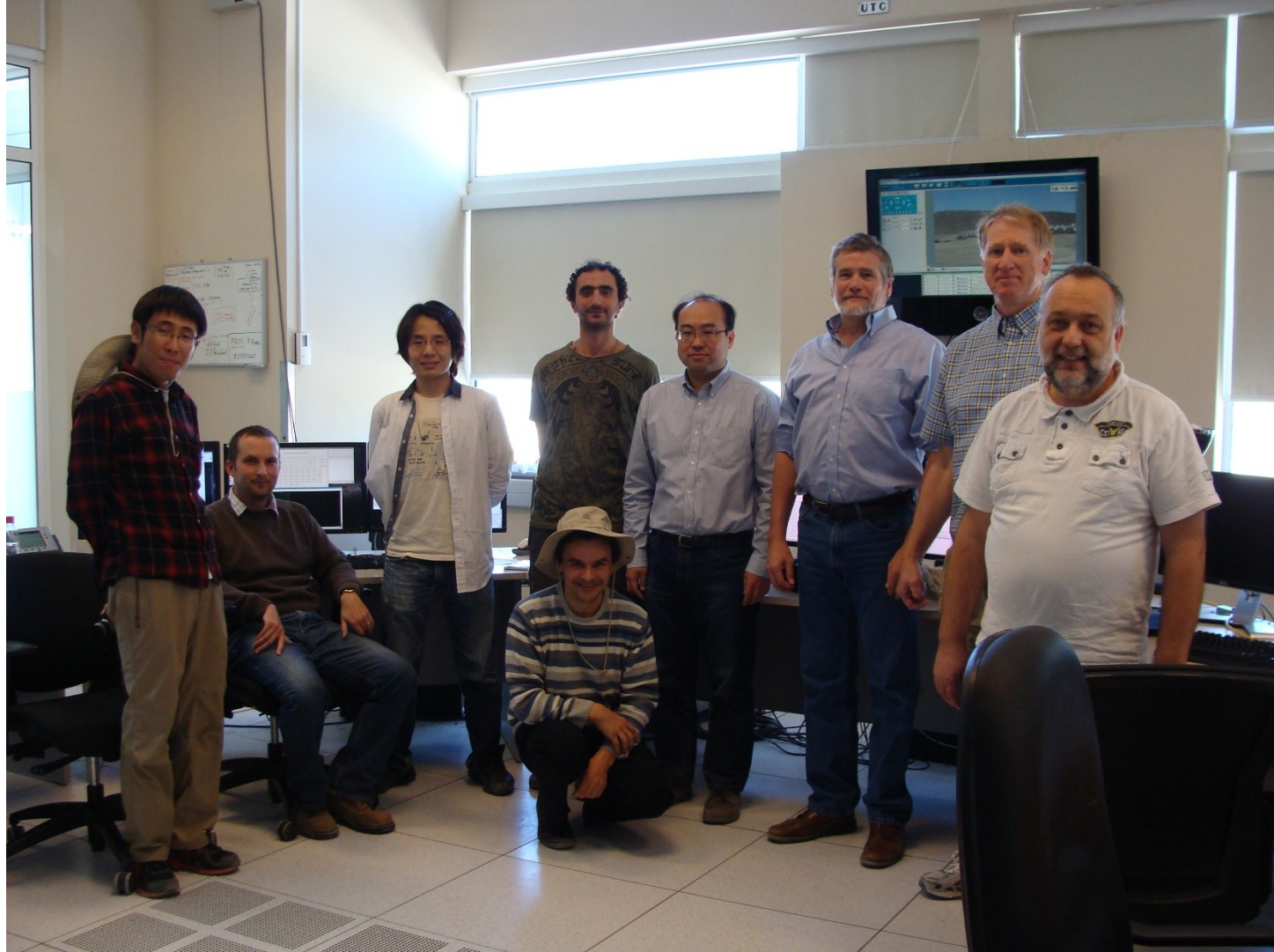




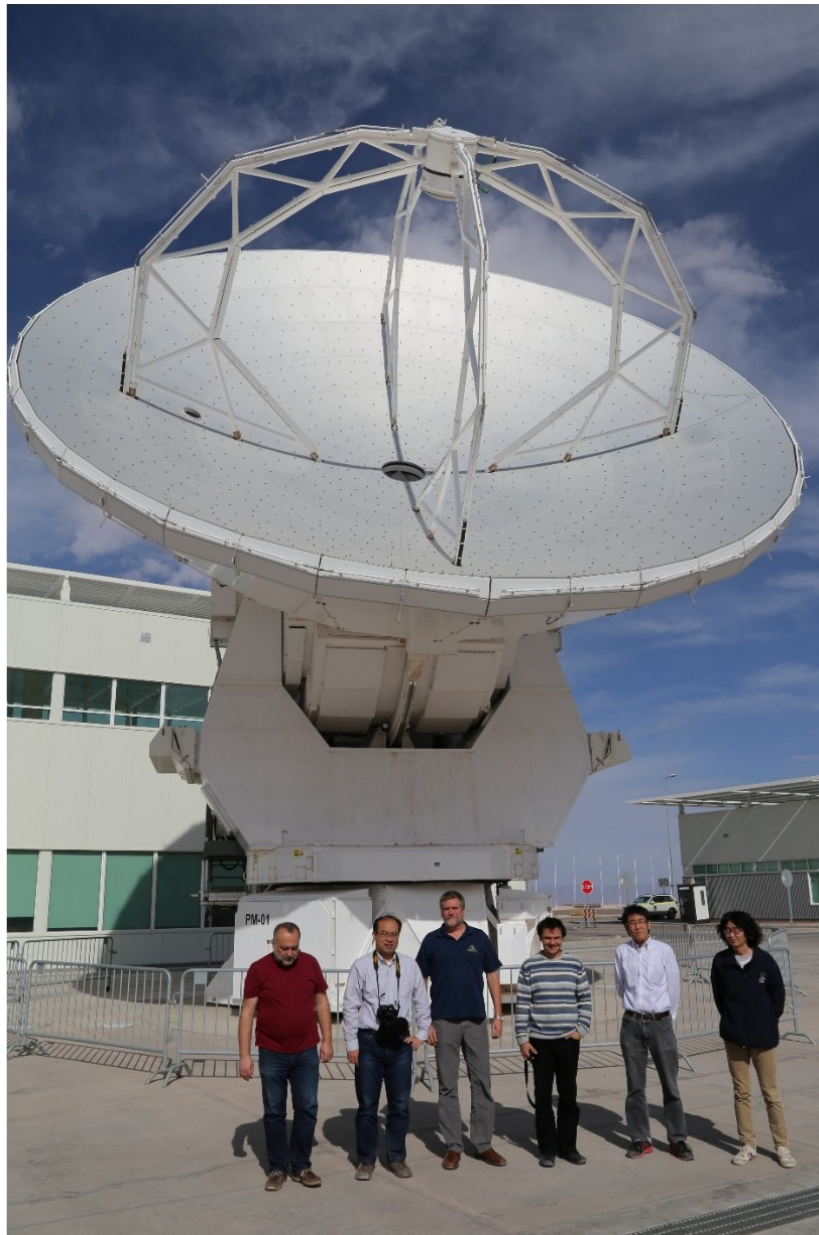














# Solar Science Observation, April 2018



ALMA data flow: From *Schedulling Blocks* to science images

---

# Preparing your project – ALMA OT (Phase I)

ASU/inbox - KMail | documents - Konqueror | ALMA Ephemeris Generator | Unveiling the gas and dust structure of the planet forming candidates S291 and MYLup | GNU Image Manipulation Program | Toolbox | barta@LOCALHOST

File Edit View Tool Search Help | Perspective 1

### Project Structure

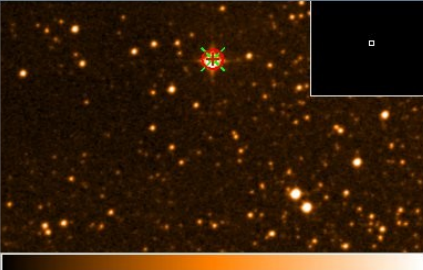
Proposed | Program

SUBMITTED

- Unveiling the gas and dust structure of the planet forming candidates S291 and MYLup
  - Proposal
    - Planned Observing
      - ScienceGoal (Gas mass)
      - ScienceGoal (Kinematics and disk characterization)
        - General
        - Field Setup
        - Spectral Setup
        - Calibration Setup
        - Control and Performance
        - Technical Justification

### Editors

Spectral | Spatial | Field Setup



Source Radial Velocity: 4.730 km/s | lsrk | z 0.000

Target Type:  Individual Pointing(s)  1 Rectangular Field

#### Expected Source Properties

Peak Continuum Flux Density per Beam	0.10000
Continuum Polarization Percentage	0.0
Peak Line Flux Density per Beam	0.50000
Line Width	8.00000
Line Polarization Percentage	0.0

#### Field Center Coordinates

Custom Mosaic:

PointingPattern: Offset

Offset Unit: arcsec

#Pointings: 1

RA [arcsec]	Dec [arcsec]
0.00000	0.00000

Add Source | Load from File... | Export to File... | Delete

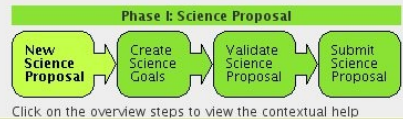
### Feedback

Validation | Validation History | Log

Description	Suggestion
-------------	------------

### Contextual Help

- Please ensure you and your co-Is are registered with the [ALMA Science Portal](#)
- Create a new proposal by either:
  - Selecting **File > New Proposal**





# Project execution – typical *Scheduling Block* (OT Phase II)

ASU/inbox - KMail | documents - Konqueror | ALMA Ephemeris Generator | Unveiling the gas and dust structure of the planet forming candidates SZ91 and MYLup | GNU Image Manipulation Program | Toolbox | barta@LOCALHOST

### Project Structure

Proposal Program

Unveiling the gas and dust structure of the planet forming candidates SZ91 and MYLup

- Unveiling the gas and dust structure of the planet forming candidates SZ91 and MYLup
  - Science Plan
    - ScienceGoal (Gas mass) – generated
    - ScienceGoal (Kinematics and disk characterization) – generated
      - General
      - Field Setup
      - Spectral Setup
      - Calibration Setup
      - Control and Performance
      - Technical Justification
    - SG OUS (Kinematics and disk characterization)
      - Group OUS
        - Member OUS (Sz91)
          - Sz91\_a\_07\_TE[12m Array SB]
            - Group 1 : Calibrators
            - Group 2 : Science
            - 8 Targets
              - query Pointing Template (Cal Group) (Pointing)
              - query Pointing Template (Science Group) (Pointing)
              - query Amplitude (Amplitude)
              - query Phase (Phase)
              - query Check source (Delay)
              - query Bandpass (Bandpass)
              - [R] Sz91 Primary: (Science)
              - MYLup Primary: (Science)
- Resources
  - 8 Field Sources
    - Pointing Template (Cal Group) query
    - Pointing Template (Science Group) query
    - Amplitude query
    - Phase query
    - Check source query
    - Bandpass query
    - Primary: Sz91
    - Primary: MYLup
  - 2 Instrument Setup
    - B6 Pointing Setup[12m Array SB] (4 BBCs)
    - 13CO v=0 3-2 Science setup\_1[12m Array SB] (4 BBCs)
  - 8 Observing Parameters
    - Science Params
    - Science Params
    - PhaseCalParameters

### Editors

Spectral Spatial Group 1 : Calibrators

Visualisation

In the table below, it is possible to define up to 16 spectral windows, 4 per baseband as long as the total Fraction per baseband is no more than 1. Each baseband is 2GHz wide and can be separately configured i.e. each spectral window can have a different bandwidth and resolution. Note that for bands 3, 4, 6, 7 and 8, it is not possible to put 3 basebands in one sideband and the fourth one in the other.

Left/right click to zoom in/out, grab sliding bar to pan  
Note: Moving LO1 here is for experimentation only – actual setup determined by the windows

Observed Frequency

Rest Frequency

Overlays:  Receiver Bands  Transmission  Overlay Lines  DSB Image Select Lines to Overlay

Water Vapour Column Density:  Automatic Choice  Manual Choice 0.658mm (2nd Octile)

Viewport: Pan to Line Zoom to Band Reset

Spectral Type Spectral Line

### Feedback

Validation Validation History Log

Description	Suggestion

### Overview

**Contextual Help**

Retrieve your science proposal from the ALMA server by either:

- Selecting *File > Open Project > From ALMA Archive*
- Or clicking on this [link](#)

**Phase II: Observing Program**

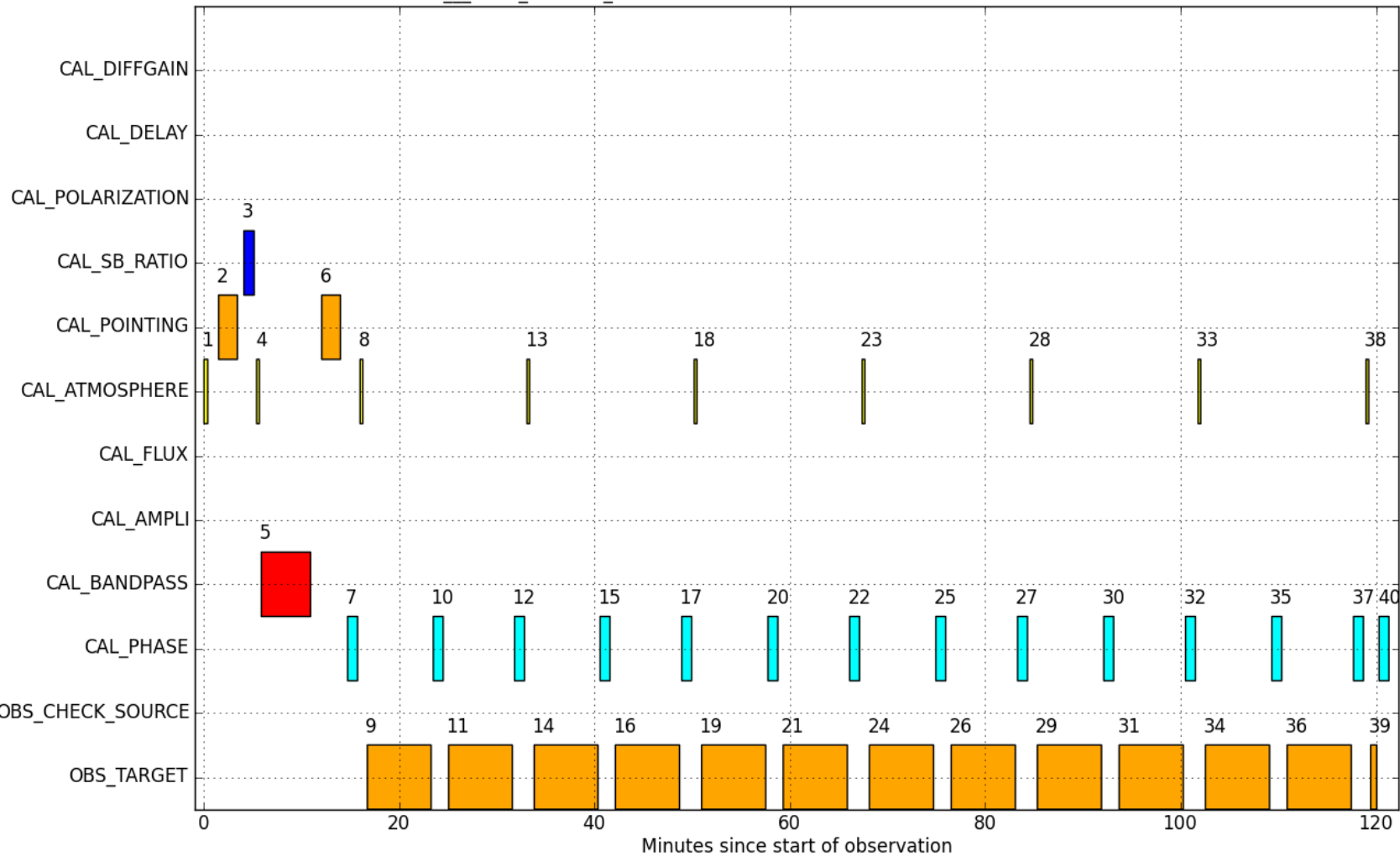
```

graph LR
    A[Retrieve Science Proposal] --> B[Configure System Setup]
    B --> C[Validate Observing Program]
    C --> D[Submit Observing Program]
            
```

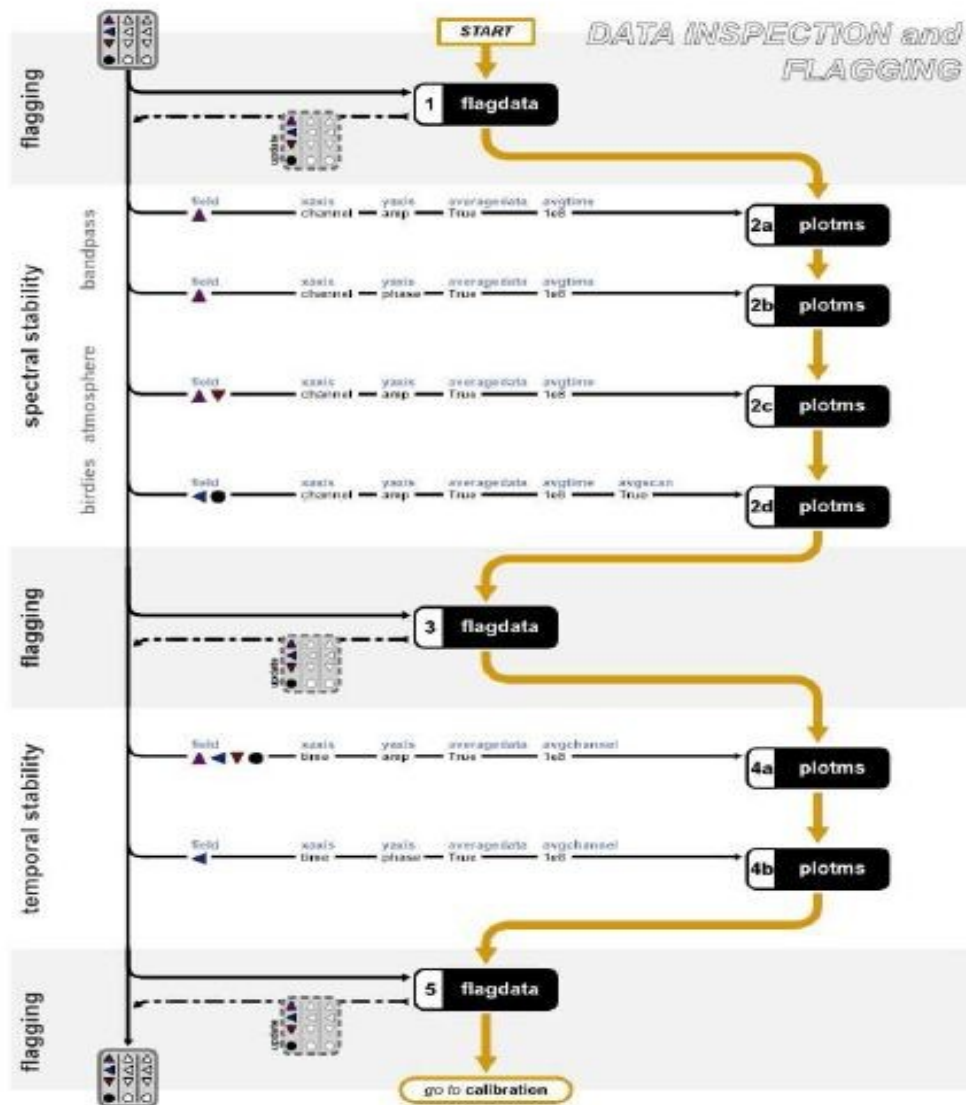
Click on the overview steps to view the contextual help

# Project execution – typical *Scheduling Block* (ObsSim)

Measurement set = uid\_\_A002\_Xd12f5c\_Xdf6b.ms - Start time = 2018-08-28T14:06:39 - End time = 2018-08-28T16:07:59

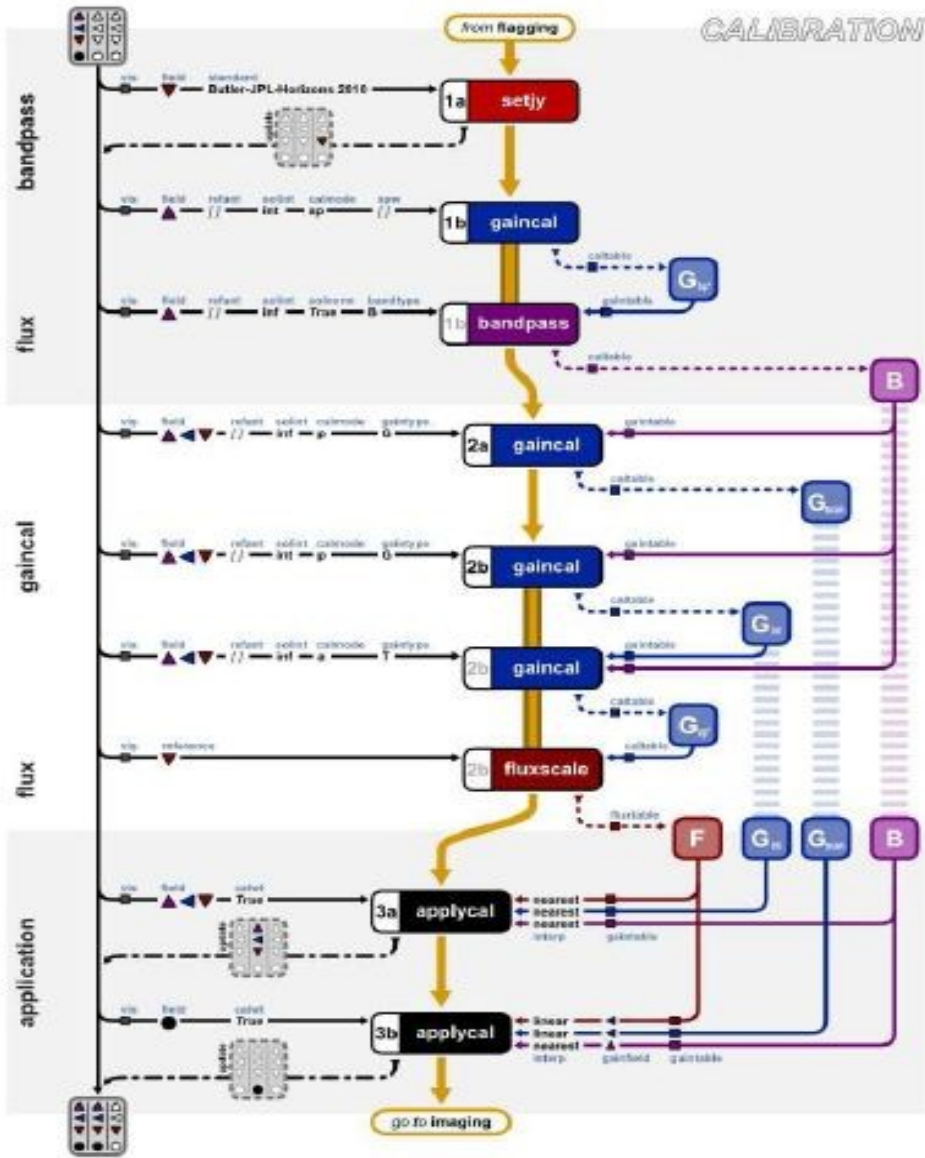


# Postprocessing – calibration and imaging in CASA





# Postprocessing – calibration and imaging in CASA



```

emacs@mobills <2>
File Edit Options Buffers Tools Python Help
Save Undo
mystep = 15
if (mystep in thesteps):
    casalog.post('Step '+str(mystep)+' '+step_title[mystep],'INFO')
    print 'Step ', mystep, step_title[mystep]

# NB: This step is patterned according to CASA guide at
# https://casaguides.nrao.edu/index.php/AntennaeBand7_Calibration
# In this respect it differs from what the Eric Villard's script generator
# has put here.
# In particular, gaintype='G' (_not_ 'T') and calmode='ap' (not 'a') is used
# for amplitude caltable on the scan-time scale. See also Masumi's analysis
# of XX/YY asymmetric distributions and 'T' vs. 'G' gaintype:
# https://www.evernote.com/l/AKegK4x_iKtKkL3pqYOK98qIWUPgK-5msEE.

#--- Collect all calibrator fields to a comma-separated string
allCals=bpascalField
if (fluxCalField!='' and fluxCalField!=bpascalField):
    allCals+=','+fluxCalField
if (phaseCalField!=bpascalField and phaseCalField!=fluxCalField):
    allCals+=','+phaseCalField

#--- Fast (time scale of integration/subscan) phase variations
# Apply band-pass corrections on-the-fly
os.system('rm -rf '+mss+'.phase_int*')

gaincal(vis = mss,
        caltable = mss + '.phase_int',
        field = allCals,
        solint = 'int',
        refant = refAnt,
        gaintype = 'G',
        calmode = 'p',
        minsnr = 3.0,
        gaintable = mss + '.bandpass')

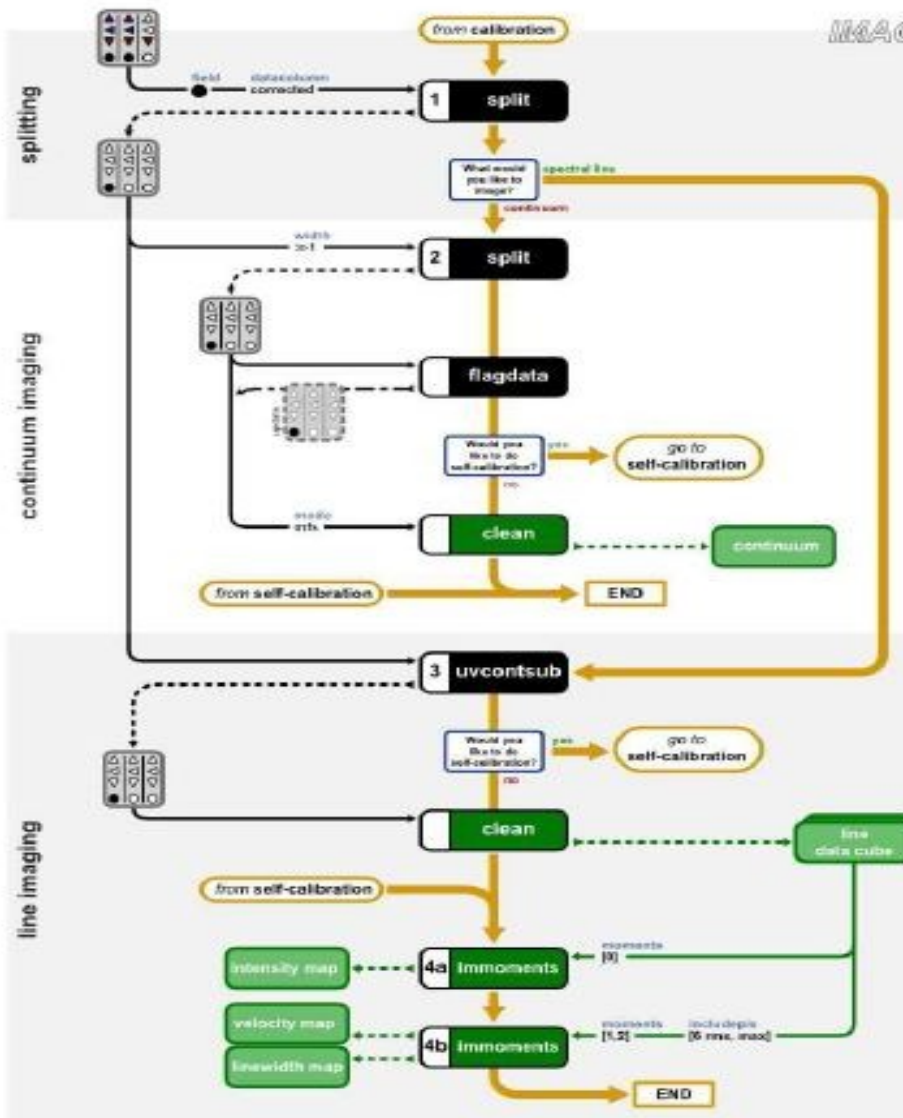
if applyonly != True:
    es.checkCalTable(mss + '.phase_int', msName=mss, interactive=False)

#--- Slow (on the scan timescale) phase variations.
# Apply band-pass corrections on-the-fly
os.system('rm -rf '+mss+'.phase_inf*')

gaincal(vis = mss,
        caltable = mss+'.phase_inf',
        field = allCals,
        solint = 'inf',
        refant = refAnt,
        gaintype = 'G',
        calmode = 'ap',
        minsnr = 3.0,
        gaintable = mss + '.bandpass')
    
```

---- uid\_A002\_Id12f5c\_Idf6b.ms.scriptForCalibration.py 73% (785,0) (Python

# Postprocessing – calibration and imaging in CASA



```

File Edit Options Buffers Tools Python Help
Save Undo
#--- Loop over calibrated MSs
for asdm in asdms:
    print "Cleaning " + asdm

    msc = asdm + '.ms.split.cal'
    imgname = asdm+imgNameSuffix

    print 'Image name: '+imgname
    print ''

    # Remove all remnants from previous clean()
    # CASA has been started using mpicasa - see comments in the script header.
    os.system('rm -rf ' + imgname + '.*')

    # Clean using tclean(). Possibly run in parallel if 'mpi=True' and
    # tclean(vis = msc,
    imagername=imgname,
    field=field,
    intent = 'OBSERVE_TARGET#OM_SOURCE',
    spw = spw,
    cell = cell,
    imsize = imsize,
    outframe='LSRK',
    deconvolver='multiscale', # may try 'mtmfs' or 'hogbom'
    scales = multiscale,
    interactive = interactive,
    weighting = weighting,
    robust = robust,
    niter = niter,
    cycleniter=2000, # may be increased if deconvolution is stable
    specmode='mfs',
    nterms=1, # to be >1 for deconvolver='mtmfs'
    stokes = 'I',
    gridding=gridding,
    usemask = 'pb',
    pbmask=0.2,
    pblimit=0.2,
    pbcor=True, # we use in-line PB correction in tclean()
    gain=0.1,
    threshold=threshold,
    phasecenter=phase_center,
    parallel = mpi)

    #---Make FITS file of the solar image

    # The primary-beam corrected image - main product
    exportfits(imagername=imgname+'.image.pbcor', # append suffix '.tt0' for
    fitsimage=imgname+'.pbcor.fits') # the deconvolver='mtmfs'

    #--- scriptForImaging.py 91% (601.0) (Python)
    
```