

Sluneční výzkum s ALMA:

Příspěvek české astronomie k rozvoji světové observatoře

Miroslav Bárta & the Czech ARC node Team

barta@asu.cas.cz



EUROPEAN ARC
ALMA Regional Centre || Czech



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

Cíl: Naučit observatoř ALMA pozorovat Sluníčko

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 k 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 skanování jednou anténou (TP) kvůli zachycení velkých škál v obraze a absolutní kalibraci

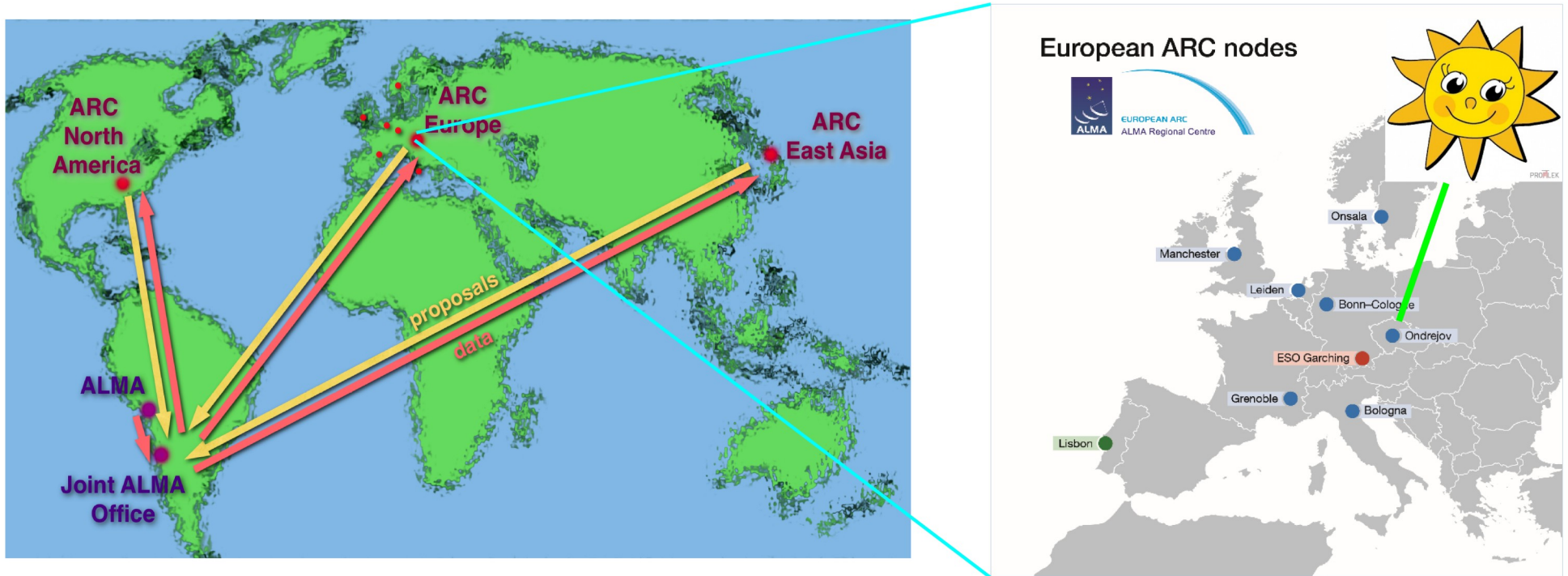
Proč vůbec zkoumat Slunce s pomocí observatoře ALMA ?

- 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 přídavné informace z rychlého skanování jednou anténou (TP) kvůli zachycení velkých škál v obraze a absolutní kalibraci

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

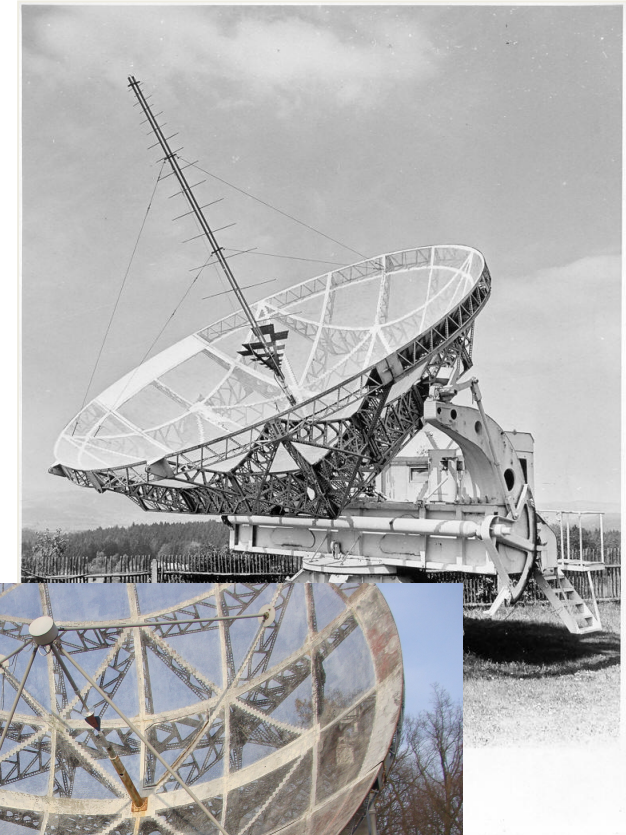
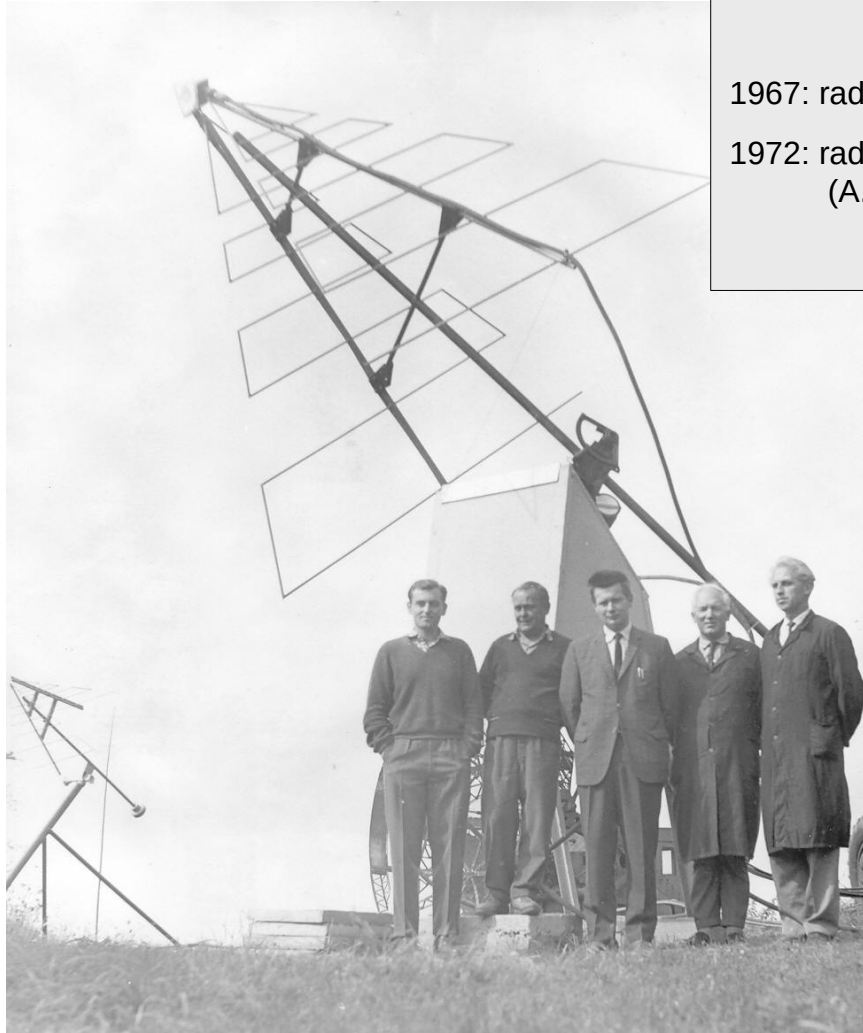


EUROPEAN ARC
ALMA Regional Centre

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

1967: radiospectrograph 50 – 210 MHz

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



ESO pověřilo český uzel vedením evropské účasti ve vývoji Solar ALMA Observing Mode

EOC project *Solar Research with ALMA (2014-2017)*

Project strategy translated into *Working Packages*

- ❑ WP1: Science use-cases for solar research with ALMA
 - Develop and investigate a set of detailed use cases for solar observing with ALMA
 - Request input from the community
 - Define requirements for spatial/spectral/temporal resolution, FOV, polarisation, ...
 - Use CASA simulation package for TA
- ❑ WP2: Solar Observing Modes and Calibration
 - Research in possible new solar observing modes and analyse calibration requirements
 - Solar attenuators („filters“)
 - MD1/MD2 w/wo attenuation
 - SD/TP fast-scanning observations
- ❑ WP3: Software Requirements
 - Produce requirements for observing preparation, execution and post-processing

Project team

- ❑ Core: **M. Bárta (PM)**, **R. Brajša (PI)**, **I. Skokič**, M. Karlický, P. Heinzel
- ❑ ESO Coordinator: **R. Laing**
- ❑ External collaborators (ESO): A. Hanslmeier, M. Temmer (Uni Graz, AT), A. Benz (FNHW Windisch, CH), E. Kontar (Uni Glasgow, UK), S. Wedemayer-Boehm (Uni Oslo, NO), R. Hills (Cambridge, UK)
- ❑ Cooperation with similar activity at NA and EA ARCS: S. White (US Air Force Research Lab, Albuquerque, US), T. Bastian (NRAO, Charlottesville, US), M. Shimojo (NAOJ, JP), A. Kazamusa (NAOJ/Nobeyama)

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 ?

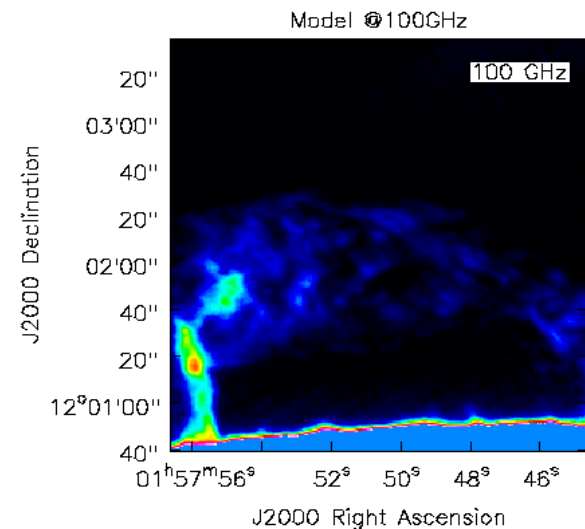
- Pozorování mohou zodpovědět řadu otevřených klíčových otázek sluneční fyziky. Bylo to zřejmé už při plánování observatoře.
Science with ALMA document (+ Karlicky et al. 2011, S. Wedemeyer et. al 2015,...)
- Smysluplné využití denního pozorovacího času, kdy není excelentní „počasí“ → zvýšení vědecké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

Sluneční zvláštnosti: Proč potřebujeme speciální režim pro pozorování Slunce

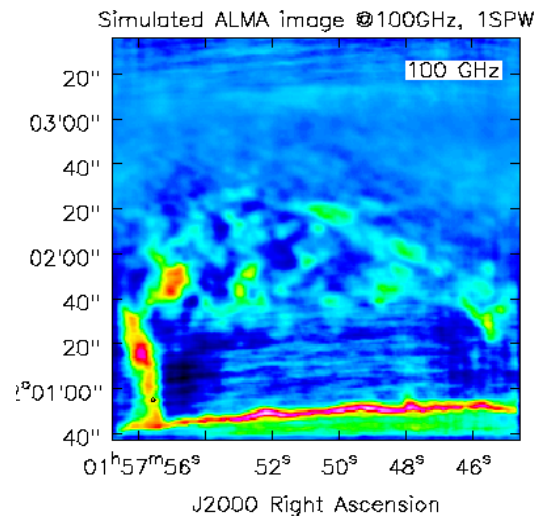
- Slunce je mnohem jasnější i na mm vlnách než ostatní nebeské zdroje
problém dynamického rozsahu (především pro „simultánní“ pozorování Slunce a srovnávacích objektů – kalibrátorů)
- Slunce je výrazně proměnlivé na krátkých časových škálách ($<1s$ ve slunečních erupcích) → **není možné využít rotace 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 přídavné informace z rychlého skanování jednou anténou (TP) kvůli zachycení velkých škál v obraze a absolutní kalibraci

Strategie pozorování a zpracování dat pro sluneční protuberance

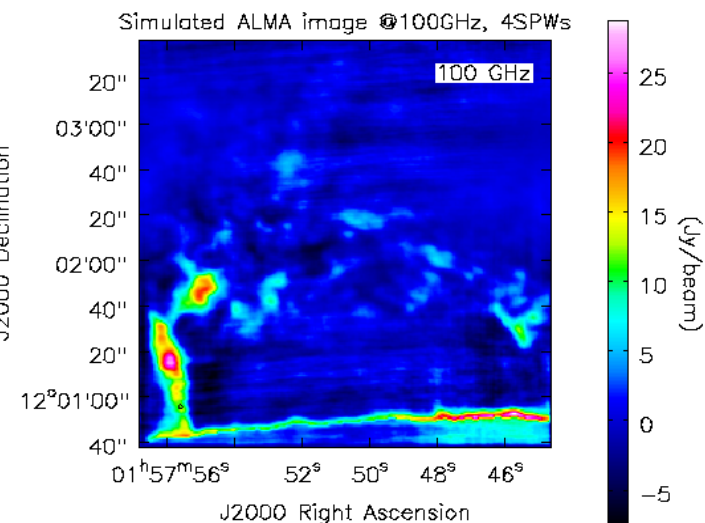
(M. Barta, P. Heinzel)



Model data



Single continuum:1 SPW



Single continuum: 4 SPWs

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

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

Příprava a provedení slunečních pozorování s ALMA

(I. Skokic)

Proper motion of solar sources: Ephemeris/pointings

ALMA OT + *Ephemeris Generator Tool*

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

Author: Ivica Skokic

ALMA Ephemeris Generator Tool

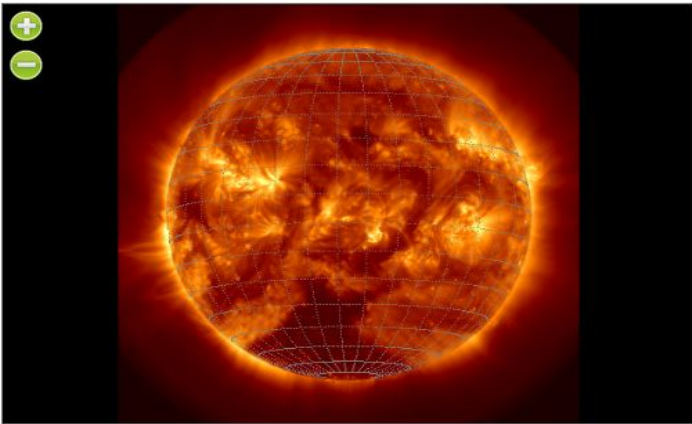
Input FITS file

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

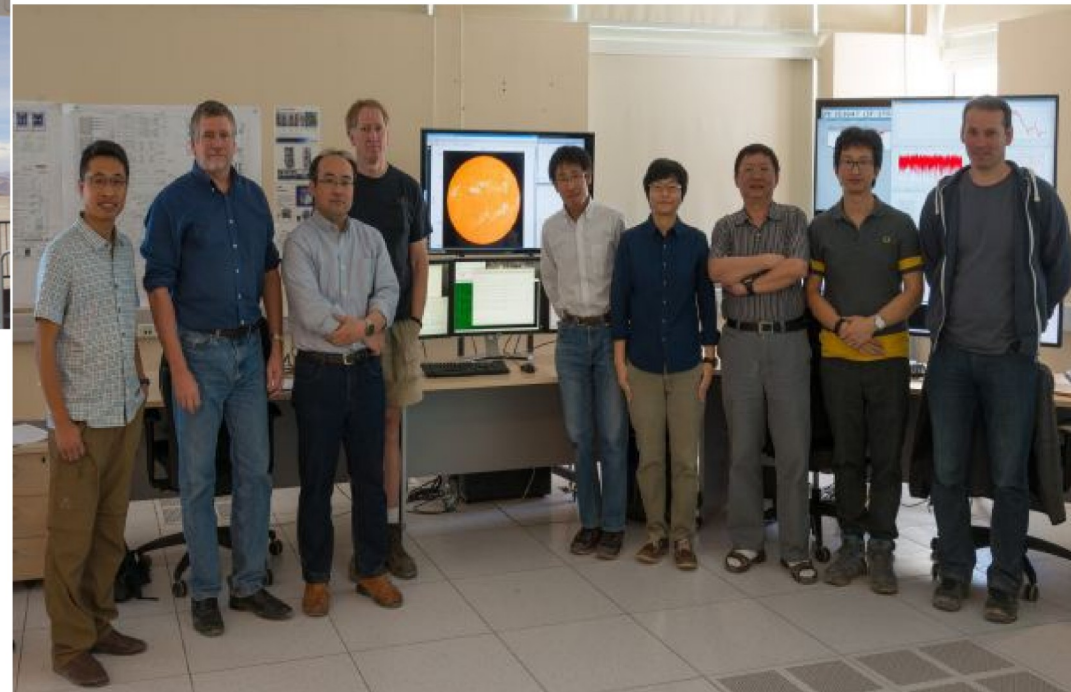
Differential rotation profile: No rotation

A: 0 B: 0 C: 0

Height above photosphere (km): 0

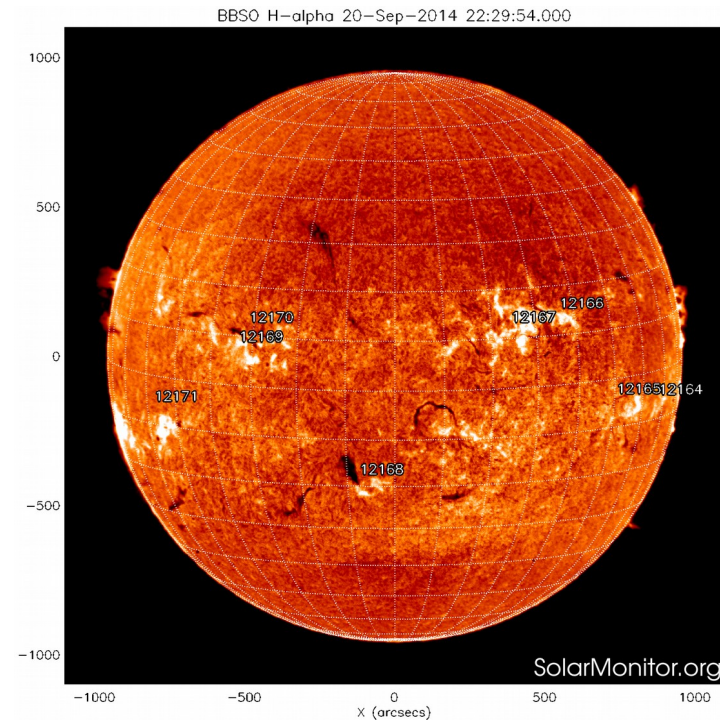
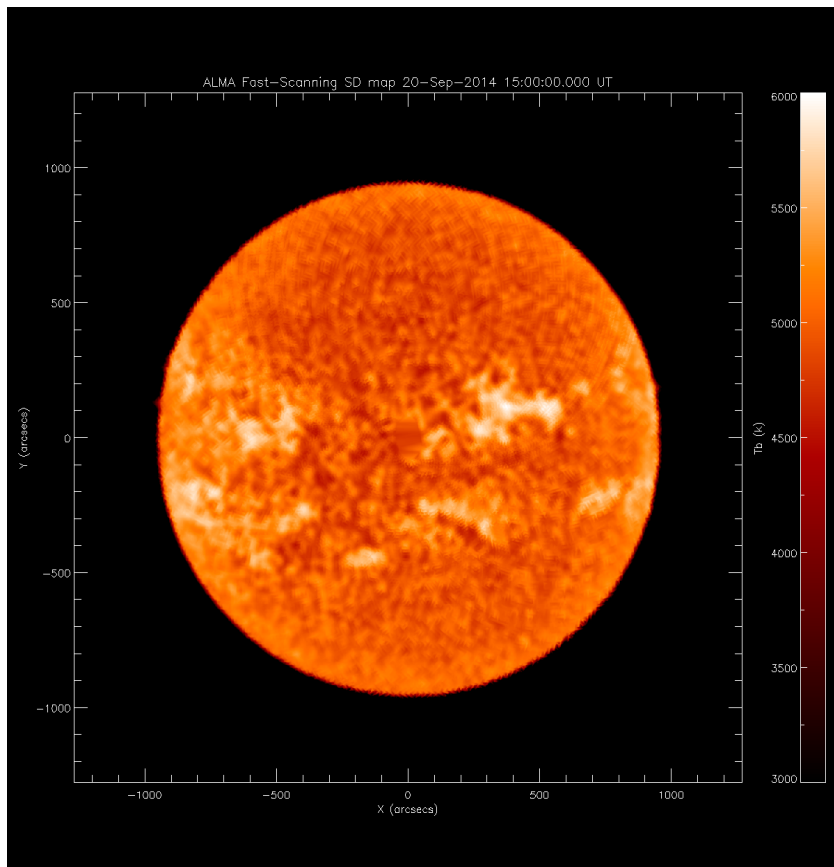
Team

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



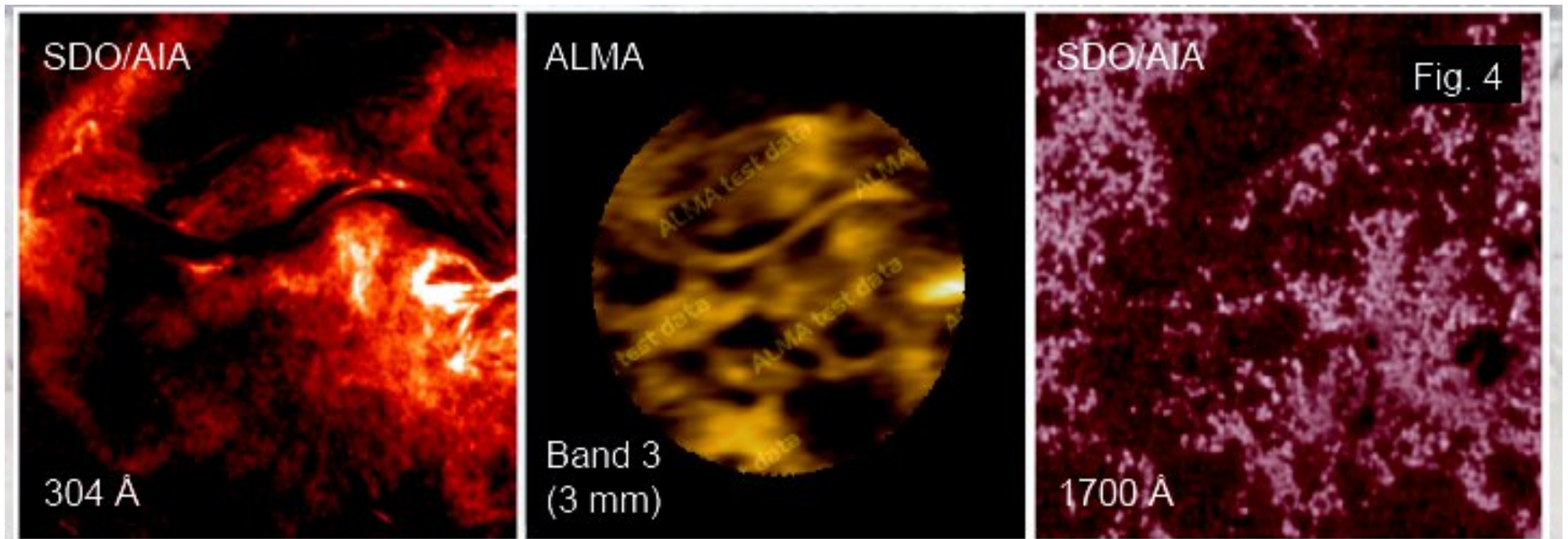
Results

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



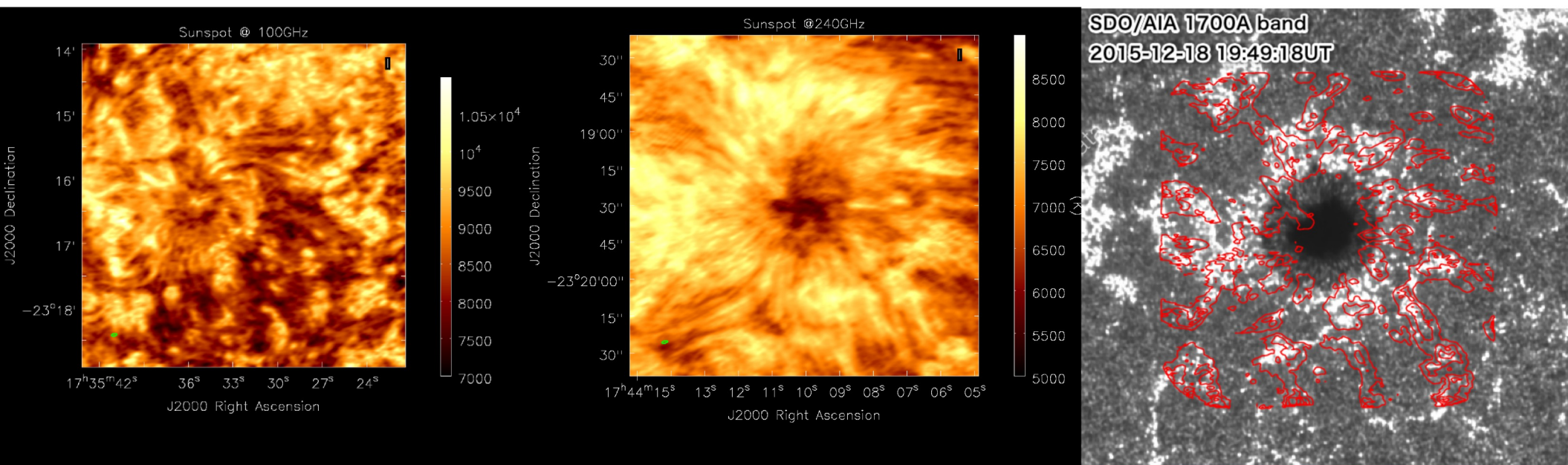
Results

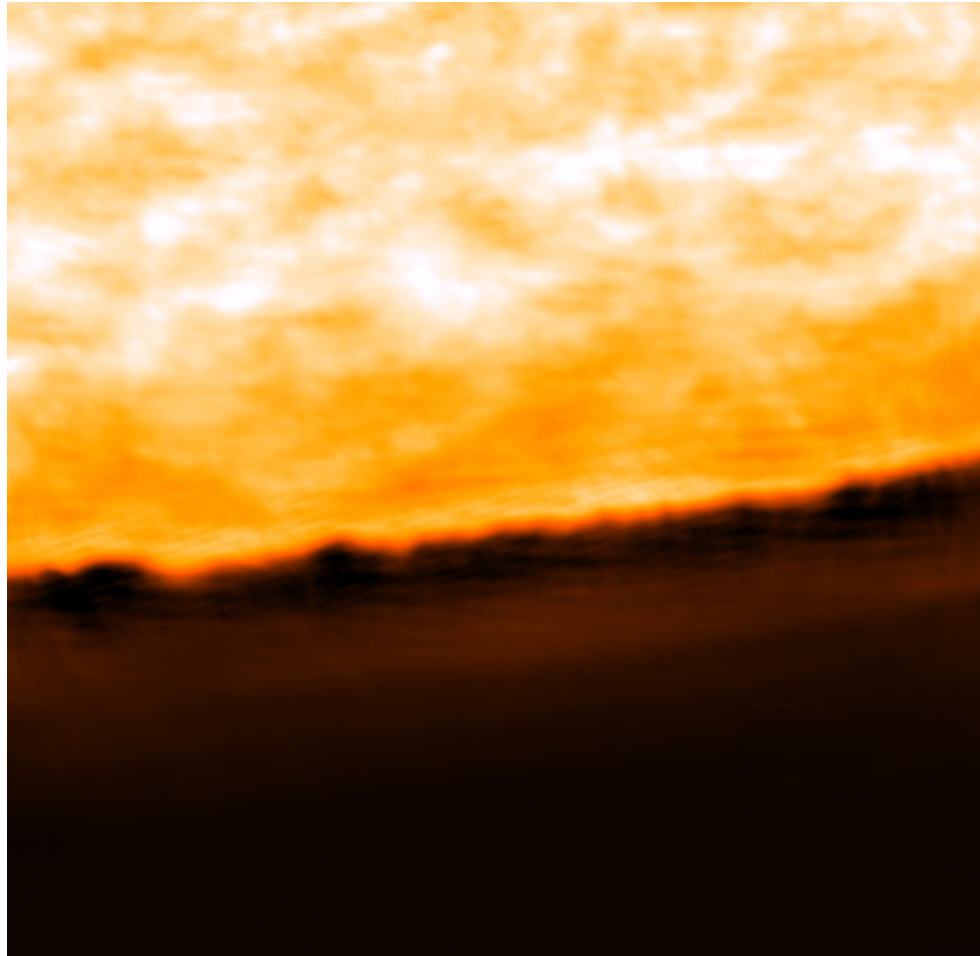
Filament in ALMA continuum @100GHz (Band 3 – middle panel), compared with AIA observations at 304Å (left) and 1700Å (right). IF image – main array (BL correlator only; Dec 2014)



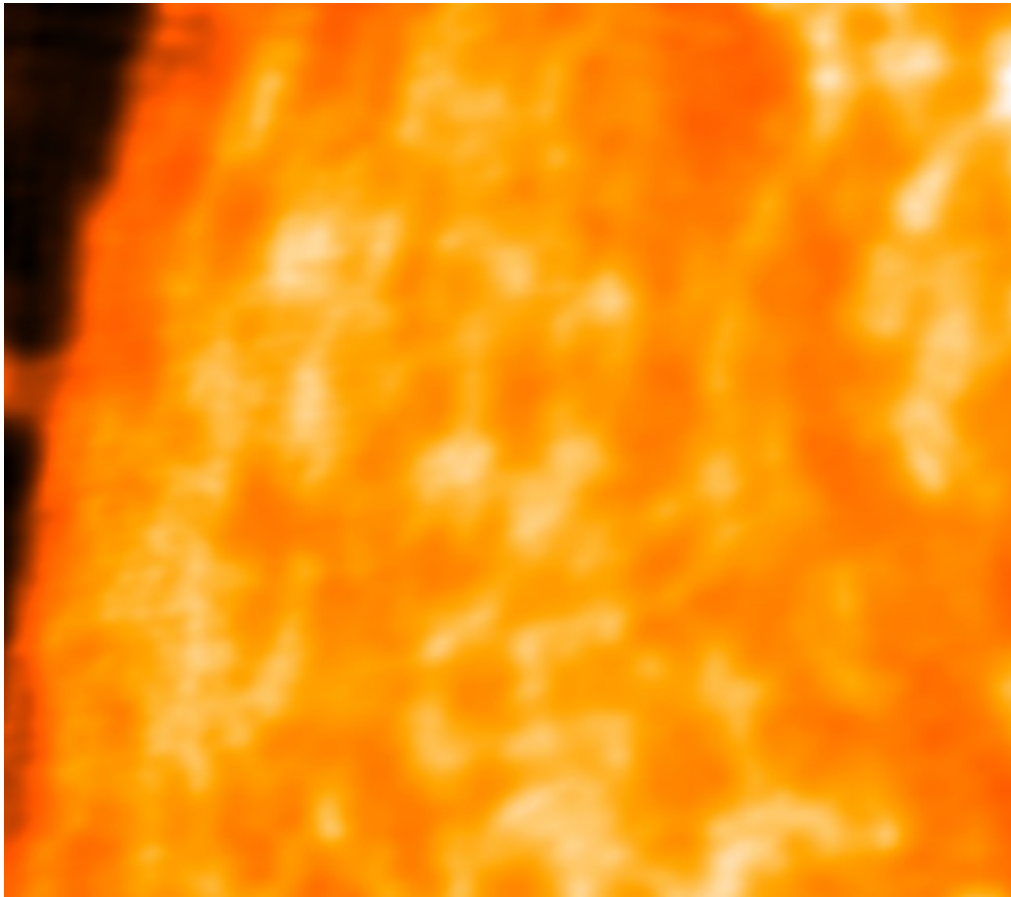
Results

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.**

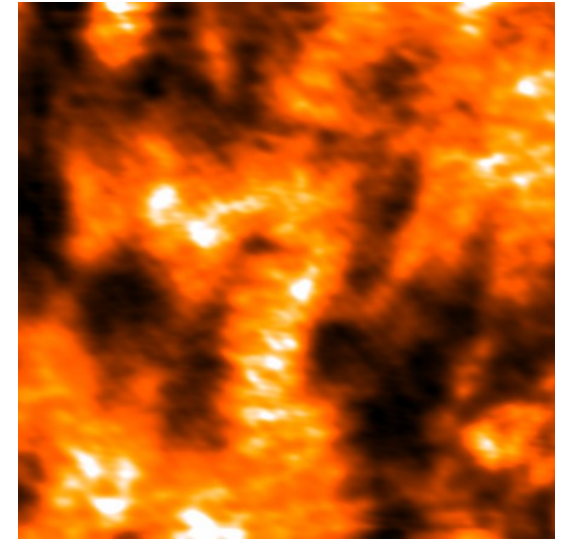




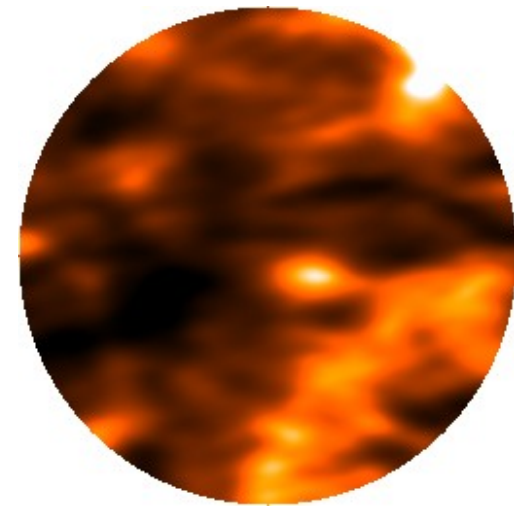
South pole, 239 GHz



100 GHz, prominence, small mosaic



100 GHz, AR, small mosaic



100 GHz, AR, single pointing

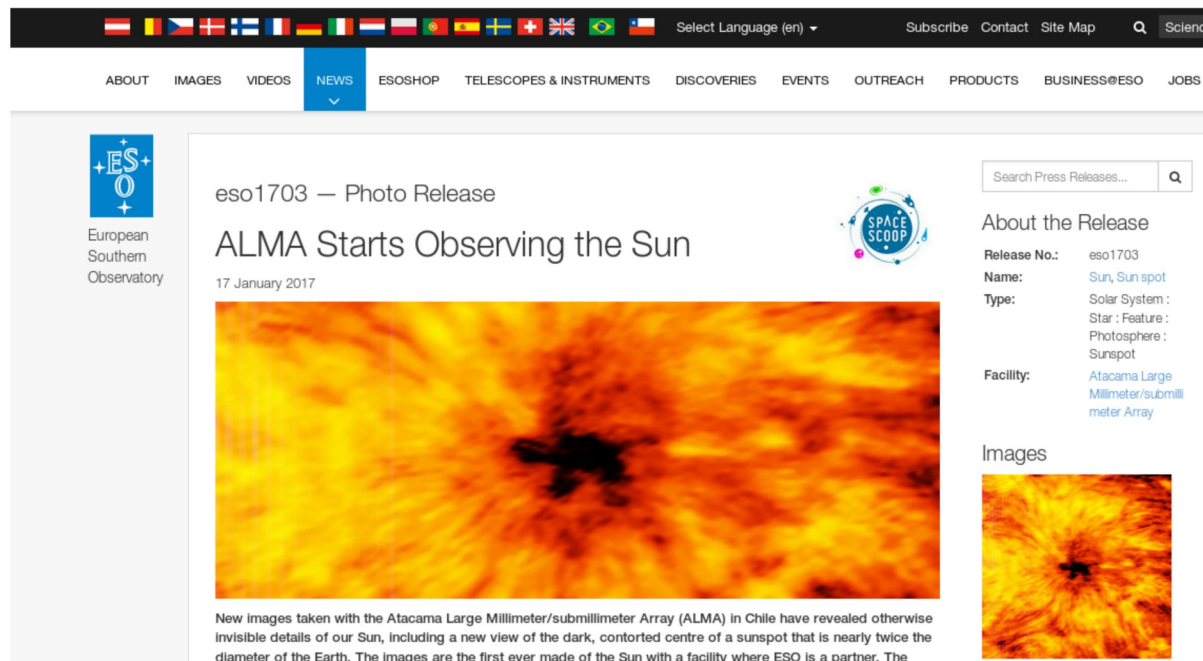
CSV data release

<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 interface. At the top, there is a navigation bar with flags for various countries and a language selector set to 'en'. Below this is a main navigation menu with categories like 'ABOUT', 'IMAGES', 'VIDEOS', 'NEWS', 'ESOSHOP', 'TELESCOPES & INSTRUMENTS', 'DISCOVERIES', 'EVENTS', 'OUTREACH', 'PRODUCTS', 'BUSINESS@ESO', and 'JOBS'. The 'NEWS' menu is highlighted. The main content area features the ESO logo and the text 'eso1703 – Photo Release' and 'ALMA Starts Observing the Sun' dated '17 January 2017'. A large, vibrant image of the Sun's surface is displayed, showing a sunspot. To the right, there is a search bar for press releases and a section titled 'About the Release' with the following details: Release No.: eso1703, Name: Sun, Sun spot, Type: Solar System : Star : Feature : Photosphere : Sunspot, and Facility: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. Below this is an 'Images' section with a smaller version of the sunspot image. At the bottom of the page, there is a caption: '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'.

- ❑ Výzkum v oblasti sluneční fyziky patřil od samého začátku k plánovaným vědeckým programům observatoře ALMA. ALMA má kapacitu poskytnout odpovědi na mnohé dosud otevřené otázky sluneční fyziky. Na druhou stranu, pozorování Slunce představují efektivní využití pozorovacího času, který by nešlo využít jinak.
- ❑ Pozorování Slunce ale nejsou zdaleka úplně přímočará – kvůli mnoha zvláštnostem oproti “standardním” pozorovacím cílům bylo nutné vyvinout specifický pozorovací režim – **Solar ALMA Observing Mode**, který tyto obtíže řeší a **vědecky využitelná pozorování Slunce vůbec umožňuje**.
- ❑ Na vývoji *Solar ObsMode* spolupracovali všechna tři ALMA Regional Centers (EU, NA a EA ARCs), **vedením evropské účasti pověřilo ESO (centrála EU ARC) český uzel**.
- ❑ Naše úsilí podpořilo ESO projektem Solar Research with ALMA (2014-2017, 70 kEUR). V jeho rámci byl dokončen základní vědecky využitelný pozorovací režim pro Slunce a umožnil zařazení slunečních pozorování do programu pozorovacího Cyklu 4 (jaro 2017). Nicméně, další rozvoj *Solar ObsMode* pokračuje (zahrnutí dalších *ALMA capabilities*) a český uzel EU ARC je stále u toho!
- ❑ Díky jedinečné odbornosti českého ALMA centra v oblasti sluneční fyziky mezi uzly evropské sítě EU ARC se **onřejovský uzel stal expertním evropským centrem** v tomto oboru výzkumu. Kromě dalšího rozvoje Solar ObsMode a práci na pokročilém zpracování časových řad slunečních pozorování sloužíme jako podpůrné centrum **všech evropských ALMA projektů zaměřených na pozorování Slunce**.

[Více na webu Astronomického ústavu AV ČR](#)



Díky za pozornost!