



November 12 - 15, 2018

# SCIENTIFIC WORKSHOP

FOR STUDENTS AND YOUNG RESEARCHERS

**Vladimír Karas**

Current and future synergies: astronomers vs. space researchers



**Astronomie  
a astrofyzika dnes**

**GPS – Galileo**  
Globální polohový systém  
pro přesnou navigaci



**Největší a nejmenší**  
základní stavební kameny vesmíru



**Dálkový průzkum Země**  
pohled na naši planetu z vesmíru



**Výzkum vesmíru**  
poznání a objevy

**Meziplanetární tělesa**  
rizika kosmického prostředí



**Neutronové hvězdy**  
magnetismus a rentgenové záření



**ALMA**  
největší rádiová observatoř světa



**Kosmické počasí**  
vesmír v kontaktu s naší civilizací

**Praha astronomická**  
historie napříč staletími



# SCIENTIFIC WORKSHOP

FOR STUDENTS AND YOUNG RESEARCHERS

## ON THE ANNIVERSARY OF



YEARS OF THE **CZECH REPUBLIC** IN 

# Astronomie a astrofyzika dnes

moderní věda, technika a vzdělání pro veřejnost a mladou generaci

Astronomové konstruují obří dalekohledy, radioteleskopy a satelity

- ✦ Optické systémy a interferometrické soustavy
- ✦ Automatické družice pro přesnou satelitní navigaci, předpovědi počasí a monitorování Země z oběžné dráhy
- ✦ Superpočítače
- ✦ Detektory gravitačních vln: nové okno do vesmíru

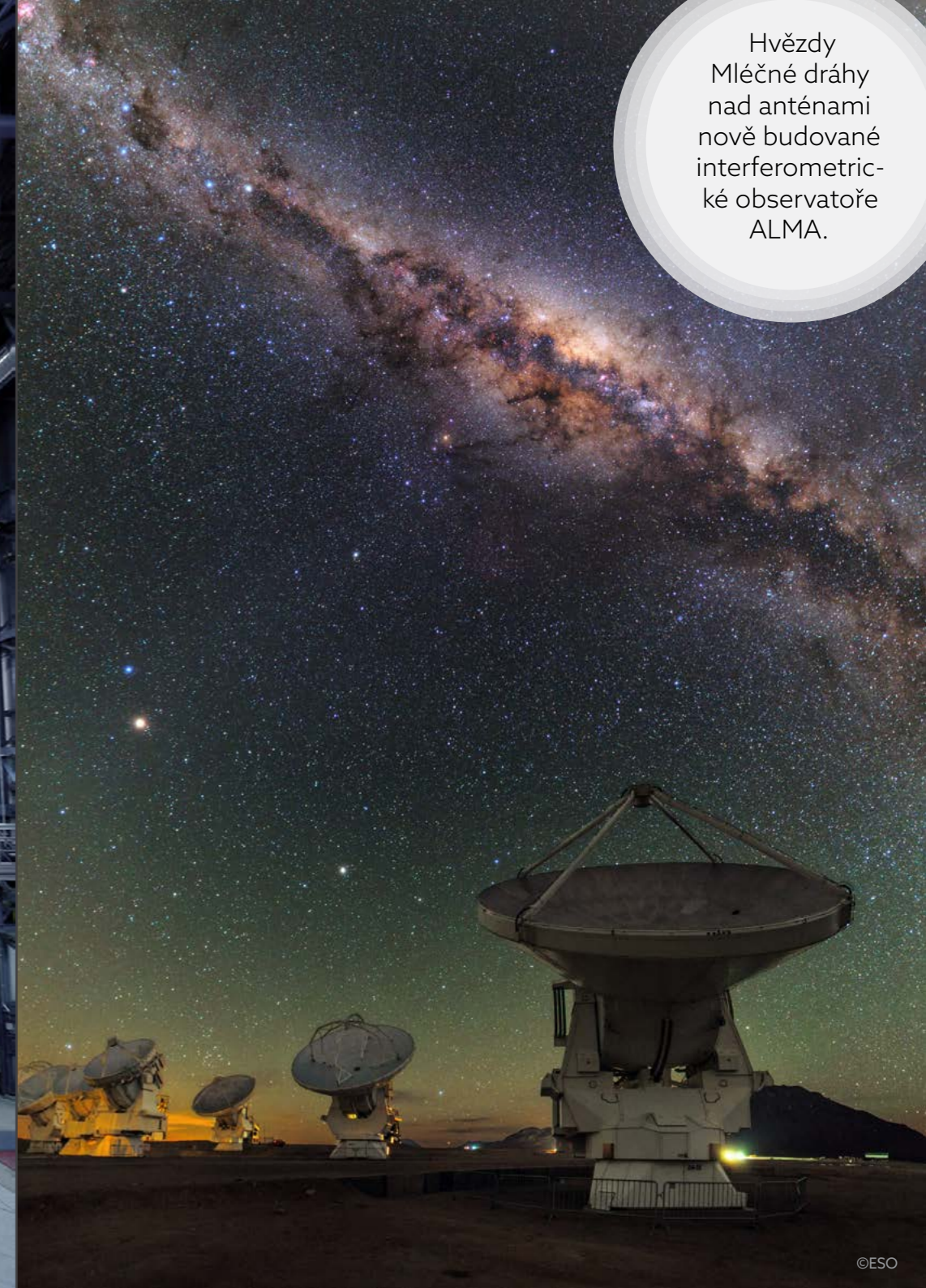
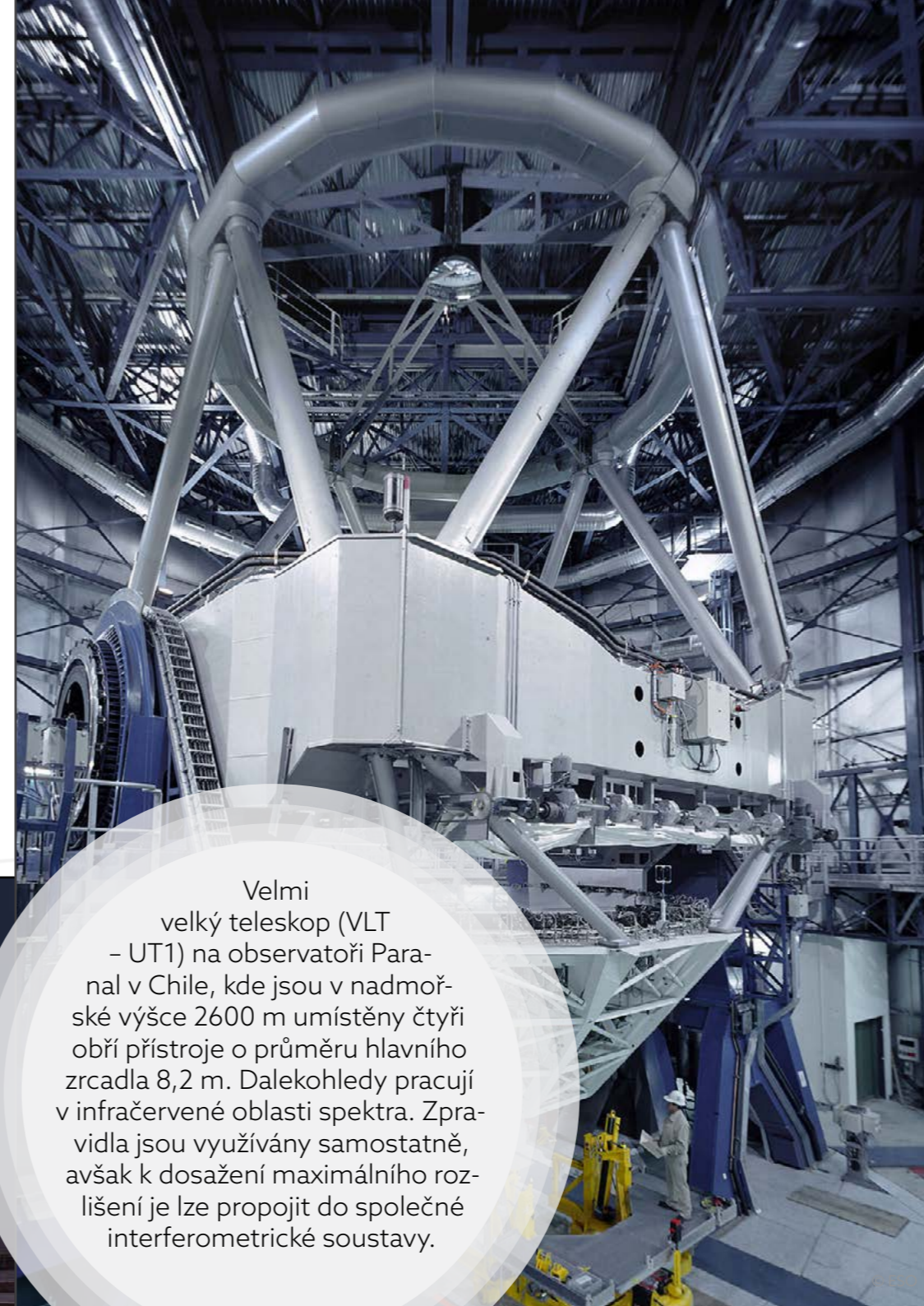
Astronomové zkoumají existenci života na cizích planetách a možnosti jeho udržení na Zemi

- ✦ Vývoj vesmíru a vznik galaxií: od Velkého třesku po současnost
- ✦ Nejmohutnější exploze ve vesmíru: supernovy a gama záblesky

Komplex čtyř mohutných dalekohledů VLT se připravuje na noční pozorování.

Velmi velký teleskop (VLT - UT1) na observatoři Paranal v Chile, kde jsou v nadmořské výšce 2600 m umístěny čtyři obří přístroje o průměru hlavního zrcadla 8,2 m. Dalekohledy pracují v infračervené oblasti spektra. Zpravidla jsou využívány samostatně, avšak k dosažení maximálního rozlišení je lze propojit do společné interferometrické soustavy.

Hvězdy Mléčné dráhy nad anténami nově budované interferometrické observatoře ALMA.

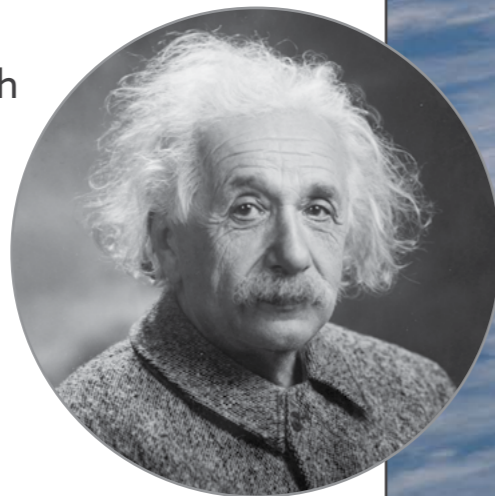


# Největší a nejmenší základní stavební kameny vesmíru

Vesmír je laboratoří jevů, které není možné realizovat ani na těch největších pozemských zařízeních. Jedním z nejhlubších rysů současné fyziky je stále patrnější E mezi strukturou vesmíru jako celku, procesem vzniku a vývoje galaxií a zákony ovládajícími hmotu na těch nejmenších škálách elementárních částic. Těmto otázkám nedokážeme porozumět bez znalosti základních stavebních kamenů hmoty a sil mezi nimi působících.

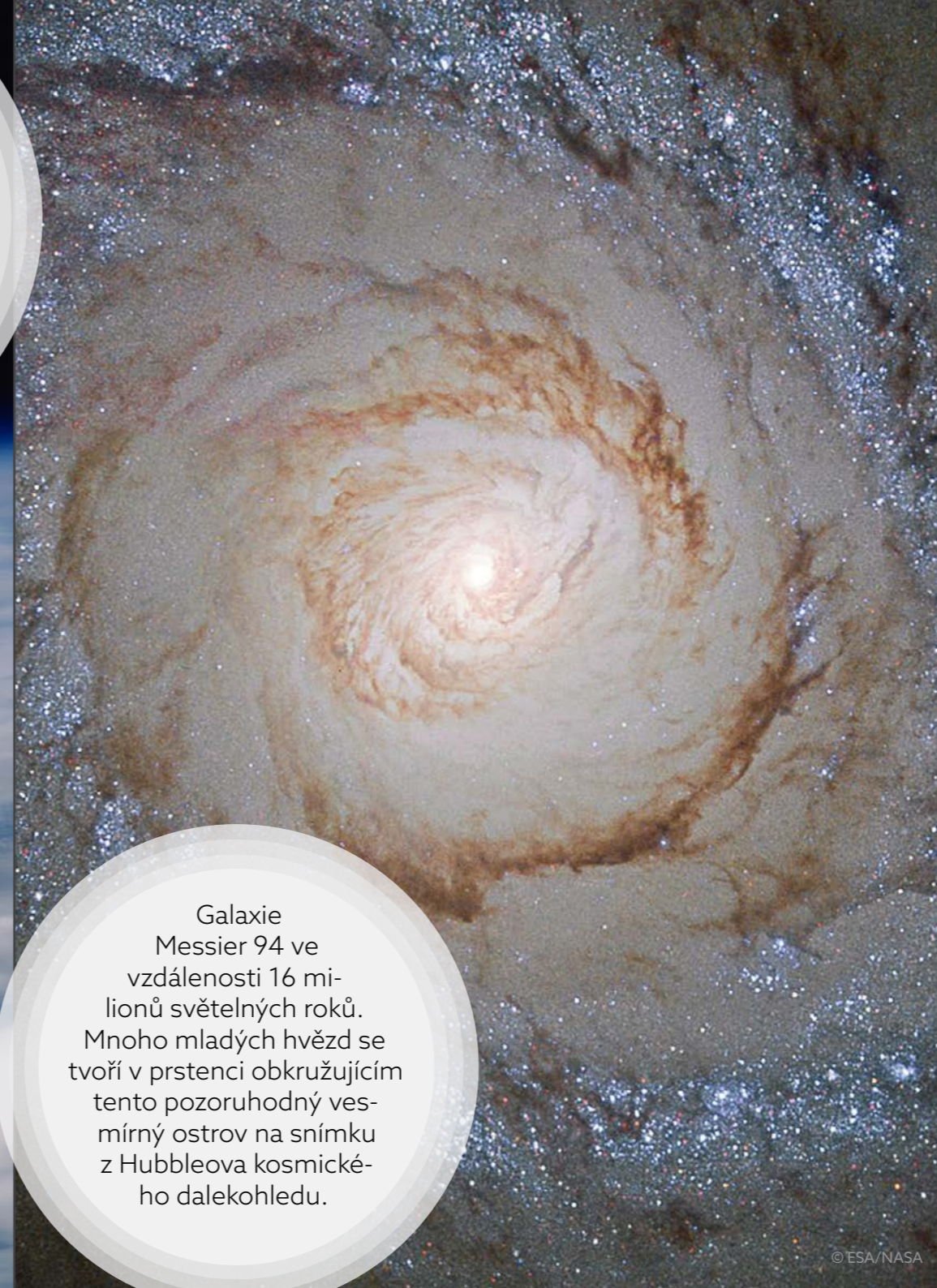
Největší záhady současné fyziky se týkají skladby hmoty a formování struktur v období raného vesmíru. Dosud nevysvětlené pojmy *temná hmota* a *temná energie* v sobě skrývají informaci o nových částicích. Spojující linkou je snaha o konzistentní popis gravitace a kosmologie.

Albert Einstein zasvětil velký díl svých pozdějších let hledání nové teorie, jež by znamenala definitivní sjednocení fyziky. Tehdy ještě doba zdaleka nedozrála a i dnes představuje nalezení „Teorie všeho“ jednu z největších výzev, v níž se prolíná astronomie s kosmologií a teoretickou fyzikou.



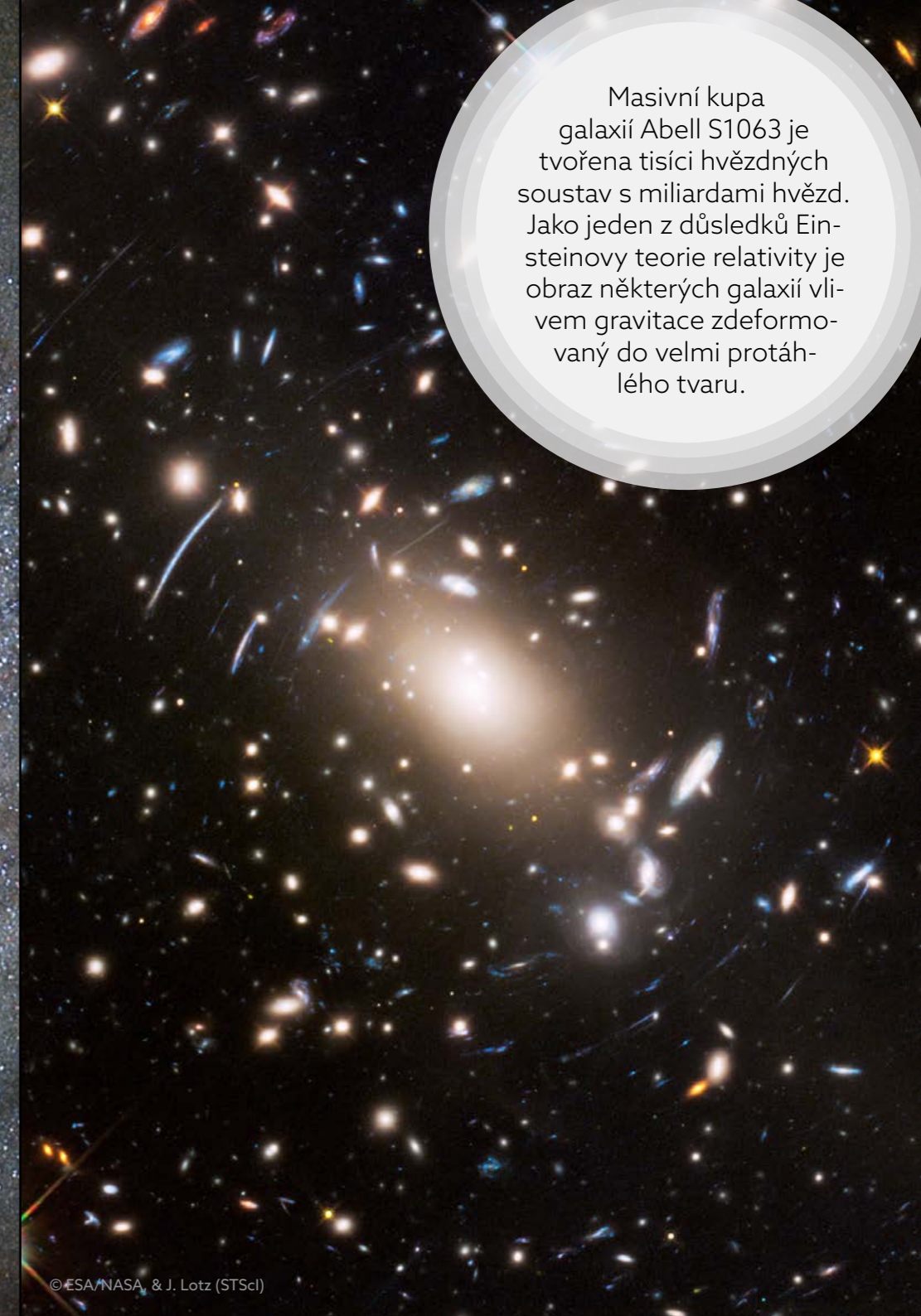
Hubbleův kosmický dalekohled pracuje na oběžné dráze kolem Země od roku 1990. Za více než čtvrtstoletí se vědcům podařilo s pomocí tohoto přístroje učinit mnoho zásadních objevů o naší Sluneční soustavě i o vzdálených galaxiích.

© NASA



Galaxie Messier 94 ve vzdálenosti 16 milionů světelných roků. Mnoho mladých hvězd se tvoří v prstenci obkružujícím tento pozoruhodný vesmírný ostrov na snímku z Hubbleova kosmického dalekohledu.

© ESA/NASA



Masivní kupa galaxií Abell S1063 je tvořena tisíci hvězdných soustav s miliardami hvězd. Jako jeden z důsledků Einsteinovy teorie relativity je obraz některých galaxií vlivem gravitace zdeformovaný do velmi protáhlého tvaru.

© ESA/NASA & J. Lotz (STScI)

# Výzkum vesmíru

## moderní technika, obří dalekohledy a teoretická fyzika

Snaha zachytit a prozkoumat velmi slabé světlo vzdálených hvězd, galaxií a kvasarů vede astronomy k budování mohutných observatoří a konstrukci obřích dalekohledů. Slabý světelný paprsek se poté pomocí nich koncentruje na těch nejcitlivějších detektorech.

Moderní astronomické technologie nacházejí využití v každodenním životě – všude tam, kde je potřeba analyzovat slabý signál. Astronomové rozpoznali potenciál polovodičových prvků s vázanými náboji (CCD) pro zaznamenání světla z dalekohledů. Dnes tato součástka tvoří jádro každého digitálního fotoaparátu.

V posledních letech astronomové výrazně zdokonalili adaptivní optiku, jež snižuje vliv neklidné zemské atmosféry na kvalitu pozorování. Díky tomu je možné dosáhnout mimořádně ostrých snímků. Stejné postupy se dnes uplatňují i v mnoha dalších oblastech zpracování obrazu.

Avšak čím slabší je signál, tím náročnější je jeho analýza a tím větší množství dat se musí utřídit. To umožňují nové informační technologie a superpočítače.

Ilustrace budoucího teleskopu E-ELT v porovnání s londýnským Big Benem. Čeští astronomové jsou součástí mezinárodního konsorcia, které započalo náročnou stavbu teleskopu o průměru zrcadla téměř 40m. Jedním z hlavních úkolů nové observatoře situované na Cerro Armazones bude hledání nových světů ve vesmíru – výzkum extrasolárních planet.

Mléčná dráha nad observatoří Paranal. Laserový paprsek vychází z kopule dalekohledu VLT a vytváří na tmavé obloze umělou hvězdu. Výkonné počítače jsou spojeny s optickou soustavou osmimetrového teleskopu a analyzují nepatrné chvění umělé hvězdy, které vzniká neklidem vzduchu v zemské atmosféře. Systém aktivní a adaptivní optiky koriguje tvar hlavního zrcadla, čímž umožňuje dosáhnout maximální ostrosti obrazu.

Střed Galaxie na kompozitním snímku z infračervené oblasti spektra. Astronomům se podařilo zjistit, že hvězdy v galaktickém centru obíhají okolo kompaktního tmavého tělesa, pravděpodobně velmi masivní černé díry. Na základě měření rychlosti jejich pohybu poté vypočítali hmotnost černé díry, která dosahuje čtyř milionů slunečních hmotností!



# Vesmírné extrémny neutronové hvězdy, extrémní magnetismus a rentgenové záření

Pro mnoho „stálic“ znamenají neutronové hvězdy závěrečné stadium jejich existence. Jaderné reakce v jádru neutronových hvězd již vyhasly a vlivem gravitační přitažlivosti došlo ke zhuštění jejich hmoty na hodnoty nedosažitelné v pozemských laboratořích. Jedna čajová lžička neutronové látky představuje sto milionů tun... Enormní gravitace váže tyto kompaktní objekty pohromadě: mohou rotovat nepředstavitelnou rychlostí až tisíc otáček za sekundu, aniž by je odstředivé síly roztrhaly.

Neutronové hvězdy mají průměr jen několik desítek kilometrů, přičemž jejich magnetické pole dosahuje  $10^8$  Tesla – stamilionkrát víc, než nejsilnější pozemské feromagnety!

Na povrchu neutronových hvězd se tvoří velmi horká vrstva vydávající rentgenové záření a energetické paprsky gama, které však pro jejich krátkou vlnovou délku nelze zachytit běžnými dalekohledy. Astronomové našli nové způsoby zobrazování vhodné pro oblast vysokých

energií. Tyto poznatky nacházejí uplatnění v dalších oborech od medicíny až po bezpečnostní aplikace.



Krabí mlhovina – pozůstatek po výbuchu hvězdy zachycený rentgenovou družicí Chandra. V r. 1054 zaznamenali mohutnou explozi supernovy v souhvězdí Býka čínští hvězdáři. V samém nitru mlhoviny se ukrývá extrémně hustá neutronová hvězda, jádro chladnoucího zbytku umírající hvězdy.



Montáž optické soustavy observatoře Chandra pro detekci velmi slabých rentgenových paprsků z kosmických objektů – neutronových hvězd a vzdálených galaxií.

# Kosmické počasí

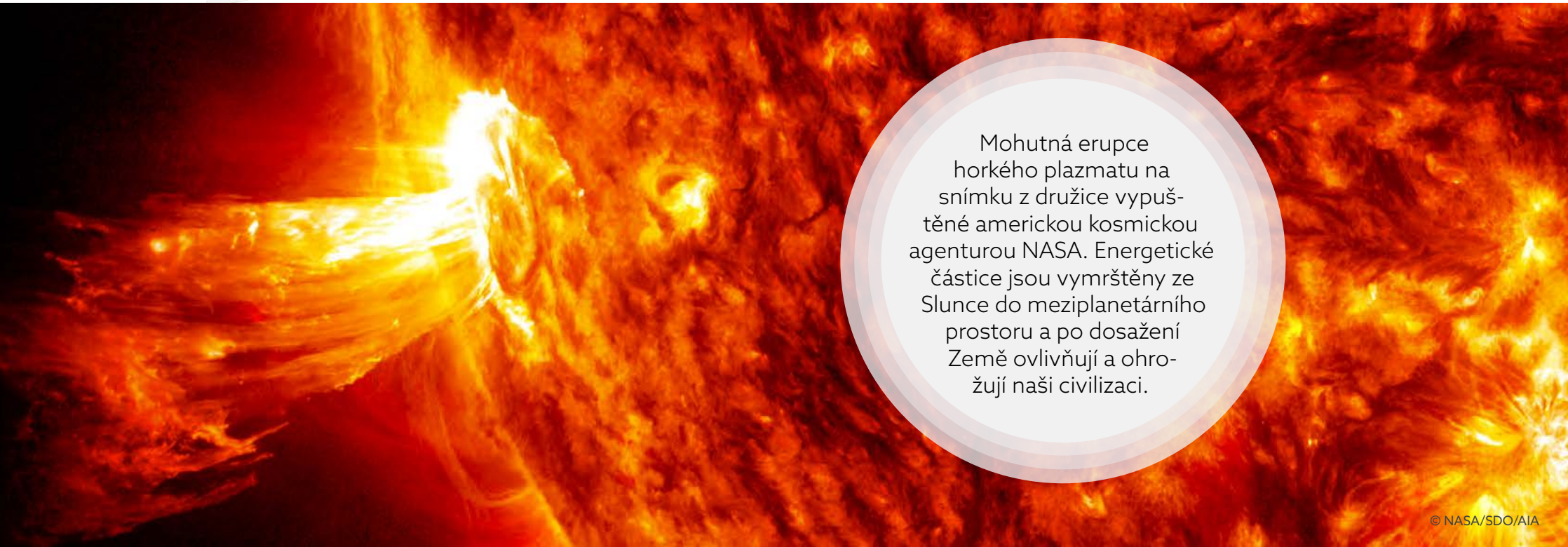
## vesmír v přímém kontaktu s naší civilizací

Život na Zemi by nebyl možný bez slunečních paprsků, které přicházejí po miliardy roků ze Slunce na zemský povrch a přinášejí nezbytnou energii.

Avšak na naší nejbližší hvězdě probíhá i celá škála velmi bouřlivých procesů, které život na Zemi bezprostředně ohrožují. Prudké změny magnetického pole na Slunci jsou příčinou proměnlivého „kosmického počasí“. Vznikají náhlé erupce, které dokážou během sekund


vymrštít do meziplanetárního prostoru miliony tun hmoty. Jakmile vletí rychlé částice do zemské atmosféry, vyvolávají v ní nejenom nádherné polární záře, ale způsobují také nečekané poruchy elektrických rozvodů a výpadky telekomunikačních satelitů.

Astronomové zkoumají kosmické počasí, aby dokázali co nejpřesněji předvídat nebezpečné geomagnetické bouře vyvolané sluneční aktivitou.



Mohutná erupce horkého plazmatu na snímku z družice vypuštěné americkou kosmickou agenturou NASA. Energetické částice jsou vymrštěny ze Slunce do meziplanetárního prostoru a po dosažení Země ovlivňují a ohrožují naši civilizaci.

© NASA/SDO/AIA



Polární záři zaznamenal astronaut na mezinárodní kosmické stanici ISS. Nazelenalý svit způsobují energetické částice ze Slunce v okamžiku vstupu do zemské atmosféry. V pravé části snímku je patrný kráter, který vznikl před 200 miliony roků následkem srážky Země s velkým asteroidem. Mohutná exploze tehdy zdevastovala oblast Kanady o rozměru několika set kilometrů.

© NASA

# Galileo — GPS

## globální polohový systém

Globální polohový systém poskytuje přesnou informaci o geografické pozici na Zemi, přesný časový signál i měření rychlosti pro neomezený počet uživatelů. Nezbytnou součástí GPS je kosmický segment tvořený soustavou specializovaných satelitů s atomovými hodinami pro přesné určení času. Každý uživatel je vybaven přijímačem vyhodnocujícím rádiový signál přicházející z jednotlivých družic. Na jeho základě lze určit polohu s přesností až na jeden metr.

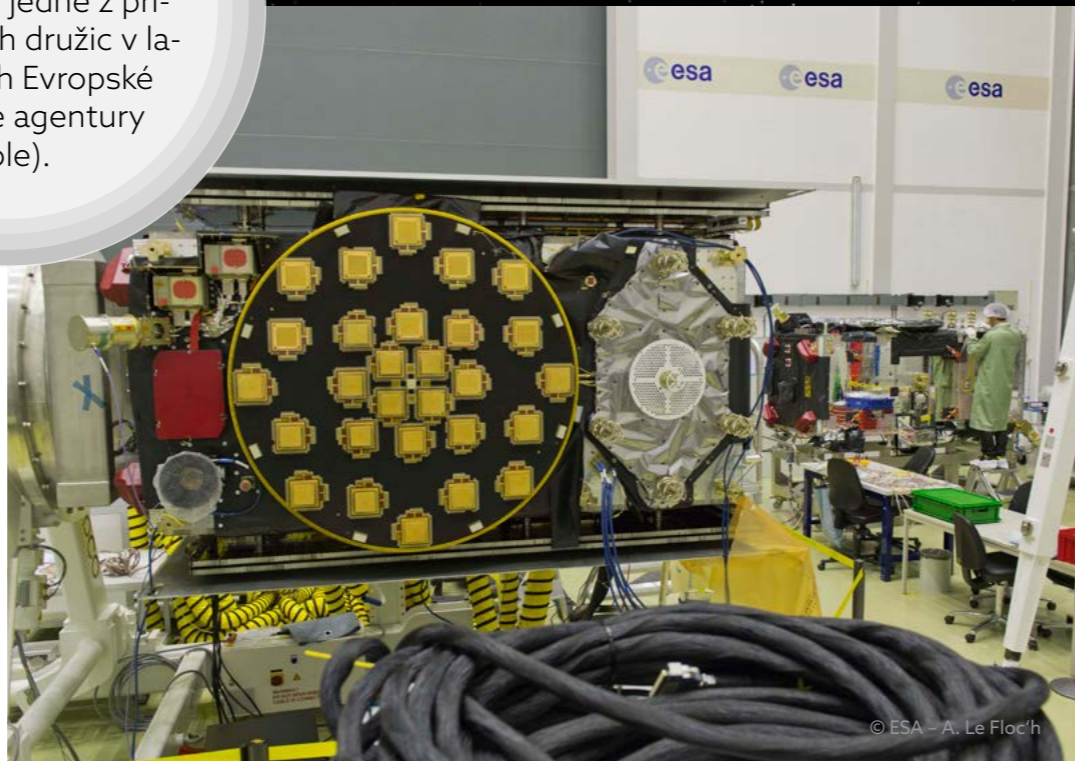
GPS představuje mimořádně užitečné využití kosmické techniky pro širokou škálu lidských činností od dopravy přes geodézii a geologii až po turistiku, zábavu a hry.

Konstrukce GPS spojuje základní výzkum s aplikovanou kosmickou technikou. K dosažení vysoké přesnosti se při výpočtech musí vzít v úvahu i nepatrné vlivy na šíření signálu od družic, které předpovídá fyzika. Bez teorie plazmatu nebo Einsteinovy teorie relativity by chyba v určení polohy byla mnohem větší a systém by nebyl použitelný.

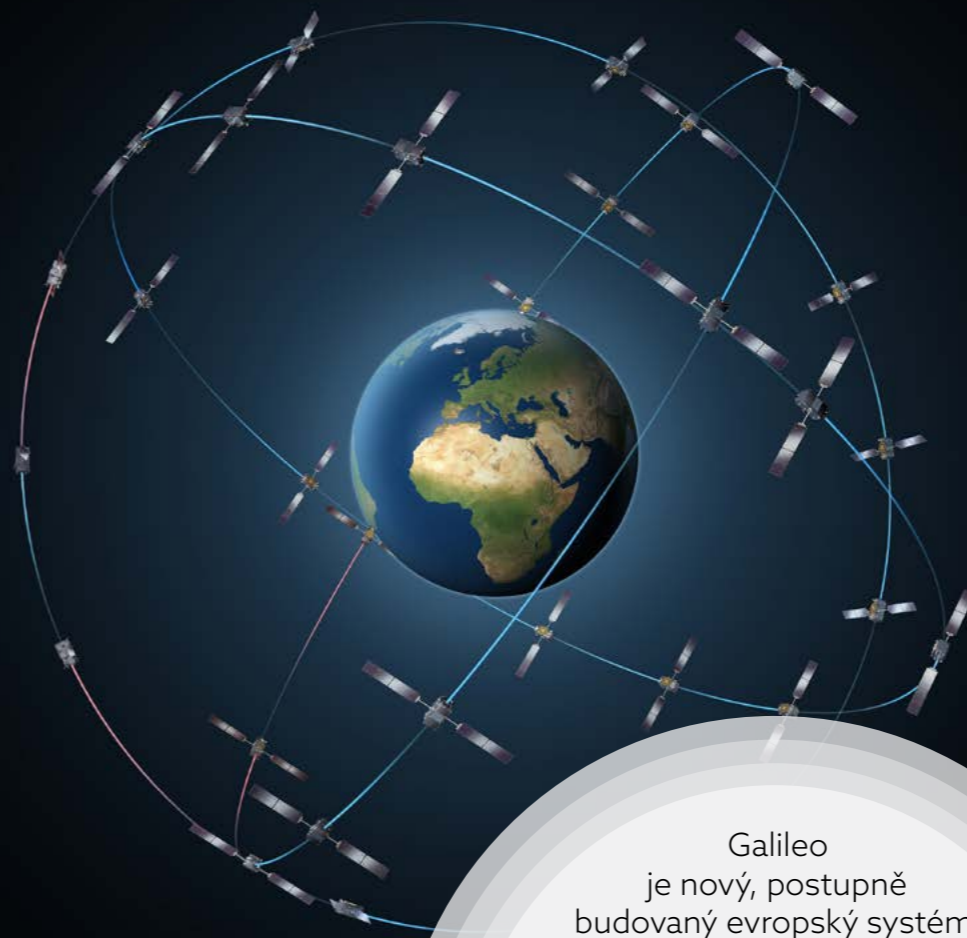
Vizualizace satelitu Galileo na oběžné dráze (nahore) a testování jedné z připravovaných družic v laboratořích Evropské kosmické agentury (dole).



© ESA - P. Carill



© ESA - A. Le Floc'h



Galileo je nový, postupně budovaný evropský systém globální navigace, který bude po dokončení tvořit letka třiceti satelitů. První tucet družic je již vypuštěn na oběžnou dráhu. Po dokončení systému zajistí velký počet družic (z toho tři budou záložní) spolehlivou funkci a možnost určit aktuální polohu s přesností lepší než jeden metr. Administrativní sídlo systému se nachází v Praze.

© ESA - P. Carill, S. Corvaja



Start rakety Sojuz nesoucí dva satelity Galileo z odpalovací rampy Evropské kosmické agentury ve Francouzské Guyaně.



# Dálkový průzkum Země

## pohled na naši planetu z vesmíru

Klimatické změny jsou jednou z největších výzev, které bude naše civilizace muset řešit v nejbližší budoucnosti. Moderní kosmická technika umožňuje vědcům shromáždit přesné informace o současném stavu a probíhající proměně naší planety.

Specializované družice zkoumají ovzduší, oceány i nitro Země. Velkou pozornost kladou vědci vlivu lidské činnosti na biosféru – náš životní prostor. Každý den využíváme meteorologické předpovědi, které se podařilo zpřesnit díky nepřetržitému monitorování atmosféry v několika spektrálních oborech současně. Spolehlivost předpovědi dosahuje až 80 % na následujících 12–24 hodin. Získaná data jsou analyzována na nejvýkonnějších superpočítačích.

Proba-V Evropské kosmické agentury je jednou z nejmenších družic pro dálkový průzkum Země. Její velikost je menší než jeden kubický metr a kompletní zemský povrch zmapuje jednou za dva dny.

Satelitní předpovědi bouří, záplav a dalších jevů extrémního počasí pomáhají chránit životy a mají zásadní význam pro zemědělství, průmysl a dopravu.

Oblačnost na Zemi zachycená v infračerveném spektrálním oboru meteorologickou družicí MSG-4.

MSG-4 SEVIRI First Image  
4 August 2015 10:00 UTC

Full Disk Image - RGB (1.6 μm - 0.8 μm - 0.6 μm)

Meteosat-11  
© 2015 EUMETSAT

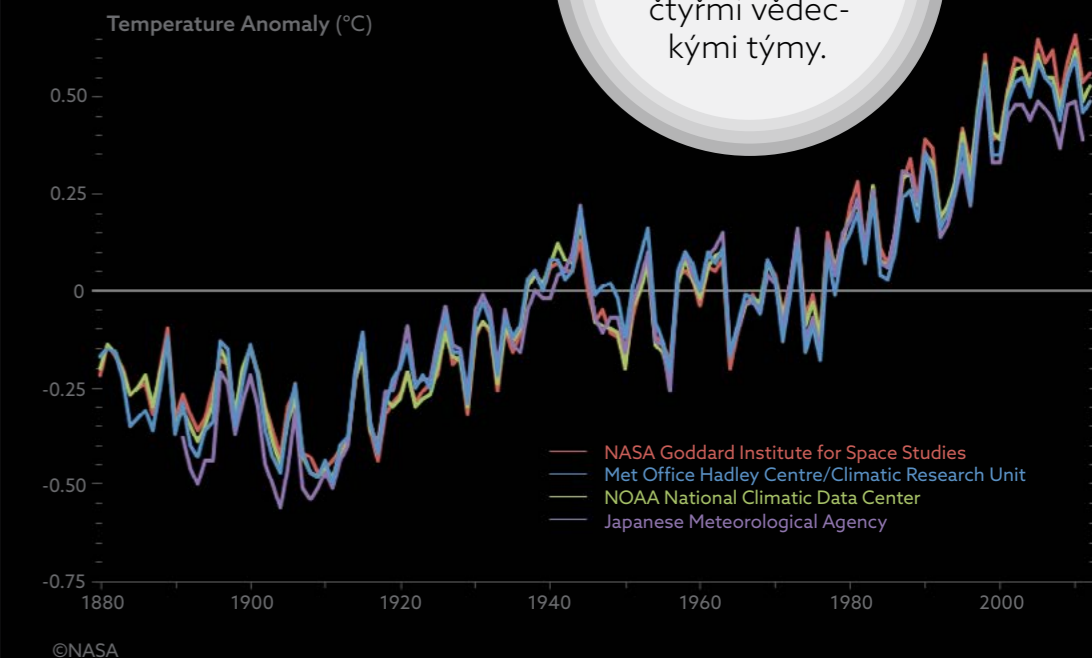
EUMETSAT

Praha na snímku z geostacionární dráhy družice Proba-V s rozlišením 100 m.

Člověkem pozměněná krajina je patrná i na nočním snímku Evropy, ukazujícím světla měst, průmyslu a dalších nočních aktivit. Podle osvětlení se zkoumá urbanizace, demografie, produkce CO<sub>2</sub>, dopady přírodních katastrof, válek, ...

Monitorování změn vegetace umožňuje včas zaznamenat případné problémy ovlivňující zemědělskou produkci, jako např. výpadky v zavlažování, nevhodné odlesnění, opožděná úroda apod.

Teplotní anomálie – varující vzrůst teploty změřeny čtyřmi vědeckými týmy.



# Meziplanetární tělesa

## hrozí srážky se Zemí?

Asteroidy, komety a meteoroidy jsou nejstaršími objekty ve Sluneční soustavě. Jejich chemické složení vypovídá mnohé o podmínkách v éře formování planet.

Některá tělesa se pohybují po drahách křižujících Zemi, takže představují riziko srážky s naší planetou. Menší tělesa o velikostech jednotek nebo desítek metrů se při průchodu atmosférou rozpadají a brzdí. Silná tlaková vlna může způsobit rozsáhlé škody na majetku a ohrozit lidské životy. Přestože srážky s většími tělesy se vyskytují jen velmi vzácně, jejich existence je reálná a znamená nebezpečí s katastrofickým dopadem na úrovni kontinentů a celé planety.

Výzkum těchto objektů má význam nejen z akademického hlediska studia vzniku planet. Astronomové také vyvíjejí systémy včasného varování před možným ohrožením těmito přirozenými kosmickými objekty, aby bylo možné eliminovat negativní dopady srážek na civilizaci.

Jasný bolid Žďár nad Sázavou zachycený 9. prosince 2014 jednou z kamer Evropské bolidové sítě. Průlet bolidu sledovaly tisíce náhodných svědků v oblasti střední Evropy a místo dopadu vypočítali vědci na Astronomickém ústavu AV ČR. Fragmenty meteoritu byly záhy nalezeny v těsné blízkosti vypočtené polohy.

Astronomický ústav AV ČR – P. Spurný et al.

Stopy hvězd nad hvězdárnou La Silla.

© ESO – Iztok Bončina



Astronomický ústav AV ČR

Dva úlomky meteoritu Bunburra Rockhole o hmotnostech 150 g, resp. 174 g, nalezené v roce 2008 ve vypočtené oblasti během expedice do australské pouštní oblasti (nahore). Vlevo dole úlomek meteoritu Košice nalezený v roce 2010 a vpravo dole úlomek meteoritu Morávka (329 g) z roku 2000.



# ALMA

## největší rádiová observatoř světa

ALMA je akronym pro „Atacama Large Millimeter /submillimeter Array“, neboli nejnovější radio-interferometrickou soustavu 66 vzájemně propojených antén. Díky revolučnímu inženýrskému konceptu a ideálním pozorovacím podmínkám daleko od civilizace v suché oblasti chilské pouště otevírá ALMA nové okno do vesmíru.

Observatoř dokáže s nebývalým rozlišením sledovat vznik cizích planetárních soustav v dalekém chladném vesmíru. Během dne pak umožňuje zaznamenat detaily slunečních erupcí.

ALMA je největší projekt pozemské observatoře na světě – v konsorciu zde spolupracují vědci a technici z evropských, amerických a asijských institucí. Jeden z uzlů této mezinárodní sítě se zaměřením na fyziku Slunce zabezpečuje observatoř Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejově.

Speciální transportér přemísťuje jednu z antén soustavy ALMA na místo její instalace v odlehle jihoamerické poušti Atacama v nadmořské výšce 5000 m. Anténa má průměr 12 m a váží 115 tun. Radiová měření lze provádět i za denního světla, zatímco optické dalekohledy musí čekat na západ Slunce a příchod tmy.



© ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



© ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



© ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



© ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

# Praha astronomická

## historie napříč staletími

Se svou tisíciletou historií je Praha privilegovaným městem exaktních věd. Vzdělání návštěvníci nacházejí v tomto živoucím centru národů, náboženství a filosofických hnutí inspirující atmosféru.

Vyvrcholením tolerantní doby vhodné pro rozvoj věd byla především éra vlády Karla IV., Rudolfa II., Marie Terezie či Josefa II., ale také období před 1. světovou válkou a po ní. K nejslavnějším vědcům našeho regionu se řadí Tycho Brahe nebo Johannes Kepler, díky nimž dokážeme přesně vypočítat, jak se pohybují planety kolem Slunce.

I dnes mohou návštěvníci Prahy obdivovat Astronomickou věž z r. 1722 nebo sál barokní knihovny dokončený o pět let později v srdci Klementina.

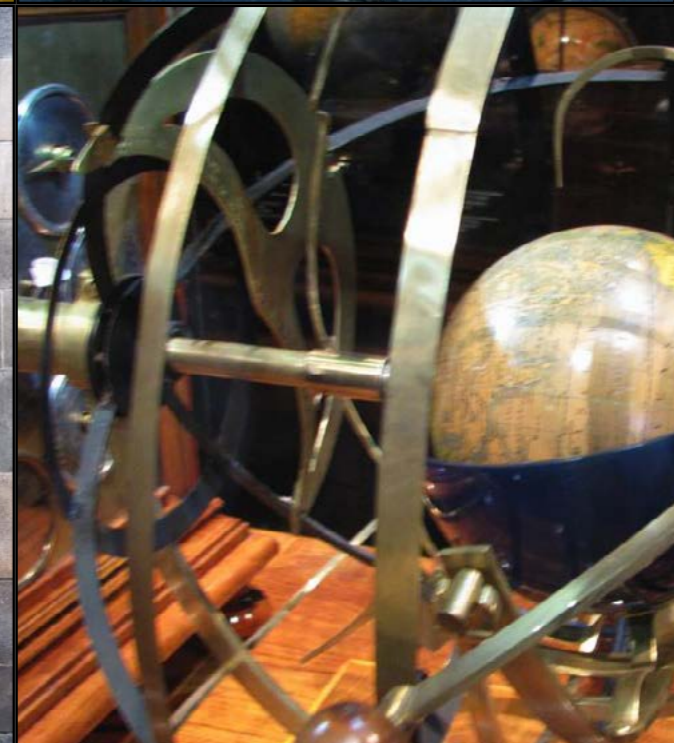
Christian Doppler r. 1842 proslovil v univerzitním Karolinu přednášku, v níž objasnil vliv pohybu světelného zdroje na barvu jeho záření – efekt s mimořádnou důležitostí a mnoha aplikacemi v dnešní vědě a technice. Profesor Albert Einstein pracoval v Praze na základech své teorie relativity.



© Jay8085, CC-BY-SA 2.0



© Petr Janda, CC-BY-SA 4.0



© Petr Janda, CC-BY-SA 4.0



© Martin Mašek

# Astronomický ústav AV ČR, v. v. i. centrum české astronomie

Astronomický ústav Akademie věd ČR je vedoucí vědeckou institucí v oboru astronomie, astrofyziky a kosmické fyziky v naší zemi. Studujeme vznik, vývoj a fyzikální vlastnosti hvězd a hvězdných soustav – vícenásobných hvězd, hvězdokup a galaxií. Pozorujeme vzdálené kvasary. Hledáme zvláštní a exotické objekty ve vesmíru – bílé trpaslíky, neutronové hvězdy a černé díry. Sledujeme Slunce, jeho aktivitu a vliv na Zemi a meziplanetární prostor. Studujeme dynamiku přirozených a umělých těles Sluneční soustavy. Zkoumáme meziplanetární hmotu a její interakci s atmosférou Země.

Podílíme se na vzdělávání studentů na několika českých univerzitách, což vytváří příznivé podmínky pro získávání mladých talentů pro práci ve vědě a výzkumu. Budujeme vysoce úspěšnou národní bolidovou síť pro zaznamenávání pádů meteoritů.

Významně se zapojujeme i v mezinárodním kontextu: jsme členy Evropské jižní observatoře (ESO), kde naši pracovníci pozorují na největších dalekohledech světa, a dále provádíme pozorování na dánském dalekohledu v Chile, jehož modernizaci ústav zajistil; Ondřejov se stal sídlem jednoho z evropských uzlů interferometru



Historická západní kopule v areálu Ondřejov (nahore). Moderní budova v Praze na Spořilově (dole).



ALMA; velmi aktivně se účastníme několika projektů Evropské kosmické agentury (ESA). Věnujeme se i popularizaci oboru pro veřejnost a pro mládež.

Ústav sídlí 35 km jihovýchodně od Prahy nedaleko obce Ondřejov. Kořeny historické hvězdárny sahají až do r. 1898. V rozlehlém areálu moderní observatoře se dnes soustřeďuje většina aktivit a veškeré přístroje. Areál hvězdárny je volně přístupný, do budov je však možno vstoupit pouze s průvodcem. Návštěvy hvězdárny jsou možné od května do září každou sobotu a neděli a také o státních svátcích. V případě výjimečného nebeského úkazu (zatmění, meteorický roj, ...) nabízí naše hvězdárna pozorování jevu spojené s výkladem odborníka.

Dole 2m Perkův dalekohled Stelárního oddělení, největší optický teleskop u nás. Vpravo nahoře zleva budova Slunečního oddělení a její dalekohled; centrální planina s pozorovacími domky a historickou Fričovou pracovnou; 65cm dalekohled Oddělení meziplanetární hmoty. Vpravo dole Sluneční radioteleskop o průměru 10 m.

