


# OBŘÍ LABORATOŘE

An aerial photograph of the Extremely Large Telescope (ELT) dome, a massive circular structure with a large opening, situated in a vast, arid desert landscape. The sun is low on the horizon, casting a warm, golden glow over the scene. The telescope's internal structure, including the primary mirror and secondary mirror, is visible through the opening of the dome. The surrounding terrain is a mix of reddish-brown soil and sparse vegetation, with rolling hills in the distance.

Petr Kurfürst

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky - Masarykova univerzita

Ústav teoretické fyziky - Karlova univerzita

Brno, 16. listopadu 2017

Tato prezentace používá některé údaje z následujících zdrojů: přednáška Petra Škody z Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejově, přednáška Volkera Springela z univerzity v Heidelbergu, údaje z NASA a ESO a rovněž obrázky publikované on-line na internetu.

## Obsah přednášky

- Lavina nových dat v astronomii
- Obří optické teleskopy
- Obří radioteleskopy
- Neutrinové „observatoře“
- Gravitační vlny
- Virtuální „observatoř“
- Astroinformatika
- Budoucnost

# Kvantitativní (množstevní) klasifikace

předpona	číslovka	česky	anglicky	oficiálně zavedeno
Kilo	$10^3$	tisíc	thousand	1795
Mega	$10^6$	milión	million	1873
Giga	$10^9$	miliarda	billion	1960
Tera	$10^{12}$	bilión	trillion	1960
Peta	$10^{15}$	biliarda	quadrillion	1975
Exa	$10^{18}$	trilión	quintillion	1975
Zeta	$10^{21}$	triliarda	sextillion	1991
Yotta	$10^{24}$	kvadrilión	septillion	1991

Název google vychází ze slova „googol“ označujícího číslo složené z jedničky a sta nul ( $10^{100}$ ), které bylo poprvé použito v roce 1938 devítiletým Miltonem Sirrotou, synovcem amerického matematika Edwarda Kasnera.

# „Moře cédéček“



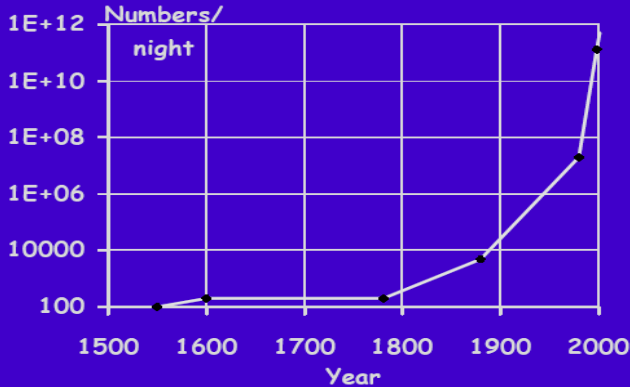
600 000 CD = 372 TB (CD = 650MB)  
600 000 DVD = 2.5 PB (DVD = 4.5GB)

Bruce Monro  
Kilmington UK

# Lavina dat

Moorův zákon pro čipy – zdvojení výkonu každého 1,5 roku

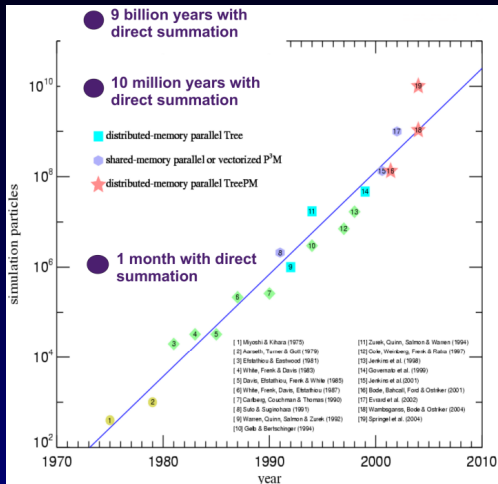
Data v astronomii – zdvojení za < 1 rok ! (1000 krát /10 let)



$T_2 < 18$  mths  
1990-2000

# Lavina dat

- Kosmologické simulace zvýšily během posledních 20-30 let svůj výkon o mnoho řádů
- Počet částic  $N$  jako funkce času
- Počítače zdvojnásobí svoji rychlost každých 18 měsíců (Mooreův zákon)
- $N$  částicové simulace zvyšují svůj záběr každých 16 – 17 měsíců



# Observatoře ESO



ESO provozuje zařízení na třech místech v Chile: Chajnantor, Cerro Paranal a Cerro La Silla. Nově se konstruuje E-ELT (European Extremely Large Telescope) na Cerro Armazones.



# VLT - Very Large Telescopes

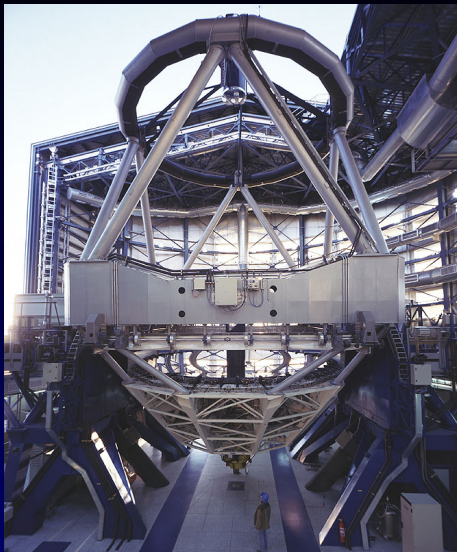
(Velmi Velké Dalekohledy - Cerro Paranal)



**Antu, Kueyen, Melipal, Yepun**

# VLT - Very Large Telescopes

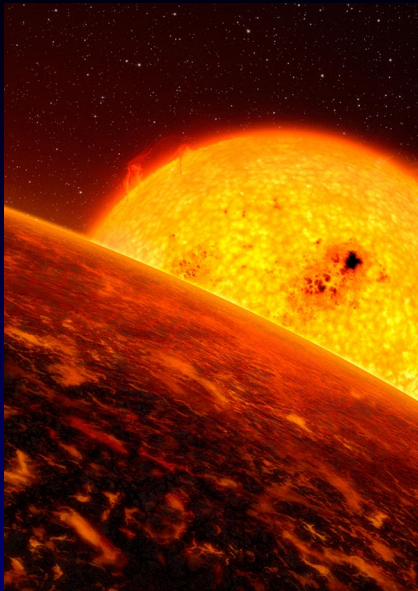
- Dalekohledy jsou pojmenovány v jazyce místních indiánů kmene Mapuche - Antu (Slunce), Kueyen (Měsíc), Melipal (Jižní Kříž), Yepun (Večernice).
- Průměry jednotlivých hlavních zrcadel 8,3 m.
- Doplněny dalšími čtyřmi pomocnými mobilními (na kolejnicích) teleskopy s průměrem zrcadel 1,8 m. Společně, při tzv. interferometrii, mají zobrazovací schopnost ekvivalentní dalekohledu o průměru 16 m.
- Pro korekci obrazu (turbulence) je využíván systém adaptivní optiky.



Teleskop Kueyen

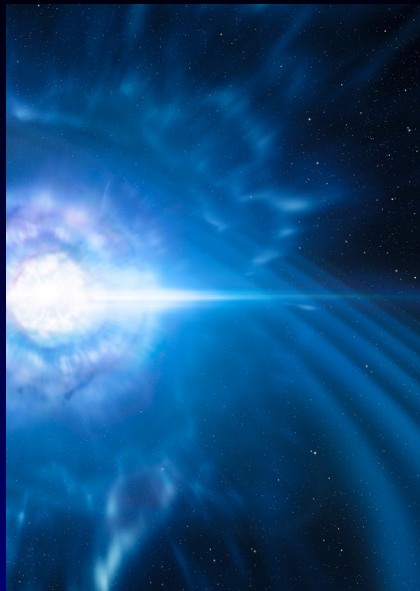
# VLT - Very Large Telescopes

- Klíčový prvek toho, co je možná nejhlubší otázkou pro lidstvo: je život jinde ve vesmíru?
- Pomocí VLT byl pořízen první obraz exoplanety, pětkrát větší než Jupiter.
- Pomocí VLT byl objeven systém sedmi Zemi-podobných planet hvězdy TRAPPIST-1, vzdálené pouhých 40 světelných let. Tři z planet leží v tzv. "obyvatelné zóně" a může se na nich vyskytovat voda.
- Pomocí VLT našli astronomové planetu obíhající nejbližší hvězdu ke Slunci, Proximu Centauri.



# VLT - Very Large Telescopes

- Pomocí VLT byl objeven a studován první viditelný protějšek ke zdroji gravitačních vln.
- Kataklyzmatické následky sloučení dvou neutronových hvězd (kilonova) rozptýlí těžké prvky, jako je zlato a platina v celém vesmíru.
- Tento objev poskytuje nejsilnější důkaz, že krátkodobé výbuchy gama záření jsou způsobeny splynutím neutronových hvězd.
- Tato pozorování znamenají počátek takzvané “multi-messenger” astronomie.



# VLT - Very Large Telescopes

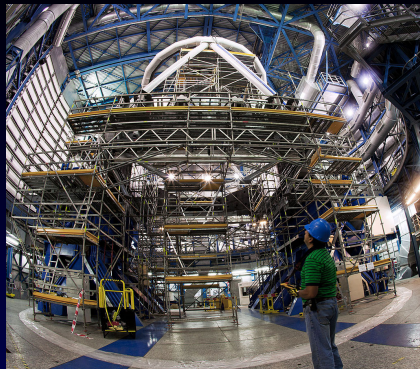
- Gamma-Ray bursts (GRBs) jsou výtrysky vysoce energetického gama-záření, trvající méně než sekundu až několik minut.
- VLT zaznamenal GRB ze zdroje, vzdáleného více než 13 Gly. Vesmír byl tehdy starý méně než 600 milionů let (méně než 5% současného věku).
- Ukazuje se, že GRBs se vyskytují ve dvou typech - krátkodobé ( $< \approx 1$  s) a dlouhé.
- Současný předpoklad: dlouhodobé GRBs - hypernovy, krátkodobé GRBs - splynutí dvou neutronových hvězd nebo černých děr.



Obří centrální černá díra v Galaxii - Sagittarius A

# Very Large Telescopes

- **Gran Telescopio Canarias** (GTC) - je 10,4 m optický dalekohled umístěný na Roque de los Muchachos Observatory v La Palma na Kanárských ostrovech.
- **Hobby–Eberly Telescope** (HET) je 10 m optický dalekohled umístěný na McDonald Observatory, Texas.
- **Keckovy dalekohledy** - dva 10 m optické dalekohledy, vybudované na vyhaslé sopce Mauna Kea na Havajských ostrovech (1993).
- **Southern African Large Telescope** (SALT) - je 10 m dalekohled především pro spektroskopická pozorování.



Rekonstrukce teleskopu Yepun (2012)



Keckovy dalekohledy (Hawaii)

# E-ELT - European Extremely Large Telescope



- Průměr hlavního zrcadla 39 m
- Zachytí 15x více světla než jakýkoli současný dalekohled
- Průměr kopule 86 m



**E-ELT video**

# Large Synoptic Survey Telescope



201 CCD 4k x 4k  
3,2 gigapixelů každých 20 s  
3,5° zorné pole (64cm)  
20 TB/den = 6 PB/rok RAW  
1,5 PB katalog !!!  
zaznamená změny každých 60s!

38 miliard objektů x 1000 měření  
38 bilionů měření - 5 PB záznam



# Dánský 1,54m teleskop v La Silla (Chile) plně robotizován v létě 2012

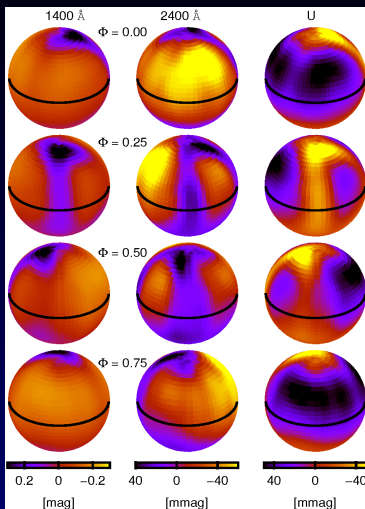


# Dánský 1,54m teleskop



# Studium chemicky pekuliárních (CP) hvězd

- Hvězdy raného spektrálního typu s neobvyklým spektrem, způsobeným abnormálním rozložením těžších prvků na povrchu.
- Zářivá difúze, magnetická pole, pomalá rotace.
- Pozorovaná fotometrická proměnnost hvězdy během rotační periody.
- Spektrointerferometrie, počítačová tomografie → mapy rozložení prvků.
- Jednou z typických hvězd -  $\varphi$  Dra.



Rozložení Si a Fe na povrchu CP hvězdy  $\varphi$  Dra (M. Prvák a kol.)

# Atacama Large Milimeter Array ALMA

64 radioteleskopických antén o průměru 12m  
Chajnator 5000m Chile  
2008-2013

je to spektrograf  
stejně jako ...

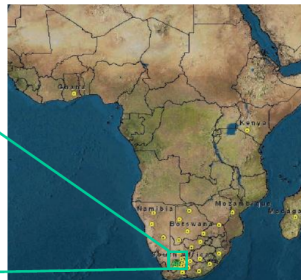
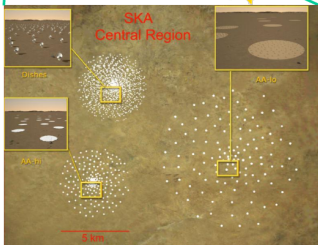
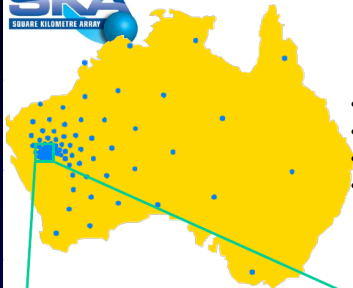
0,5-2 PB/rok RAW



# SKA - square kilometer array (radioteleskopická síť o celkové rozloze 1 km<sup>2</sup>)

## also a Continental sized Radio Telescope

- Need a radio-quiet site
- Very low population density
- Large amount of space
- Possible sites (decision 2012)
  - Western Australia
  - Karoo Desert RSA



# SKA



Dishes



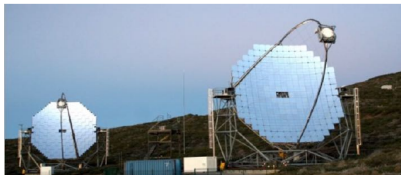
# SKA



Phased Aperture array

# Čerenkovovy teleskopy - současnost

## Currently Operating VHE Instruments



**MAGIC:** located in La Palma, Spain  
Since 2004: single 17m telescope  
Since 2009: system of two 17m telescopes



**VERITAS:** located in Mt Hopkins, Arizona  
Since 2007: four 12m telescopes  
Since 2012: upgraded PMTs



**H.E.S.S.:** located in Khomas Highlands, Namibia  
Since 2002: four 12m telescopes  
Since 2012: added 32m by 24m telescope  
Since 2015: camera upgrades on 12m telescopes

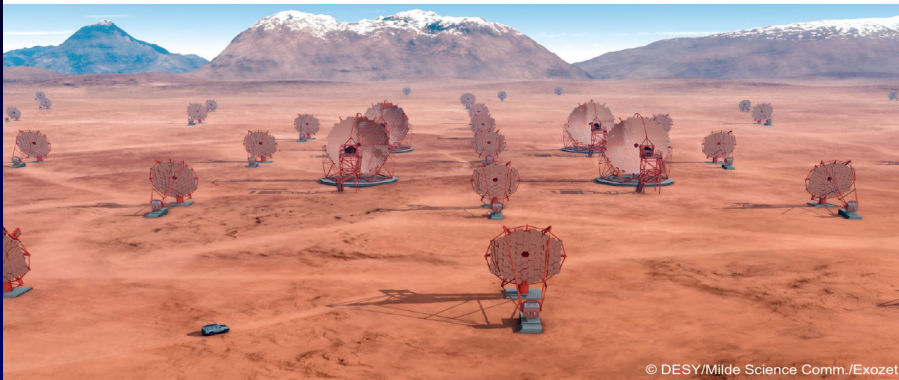
@ Jeff Grube

# Čerenkovova teleskopická síť

Cherenkov Astronomy and CTA



- ◆ Two arrays of 100 (South) et 20 (North) telescopes
- ◆ July 2015: sites selection, Chile (ESO) and La Palma
- ◆ 2016: pre-production phase
- ◆ 2018-2013: production phase
- ◆ Observatory open to the community



© DESY/Milde Science Comm./Exozet

# Simulace Millenium

$10^{10}$  částic

Od gigaparseku po 10  
kiloparseků

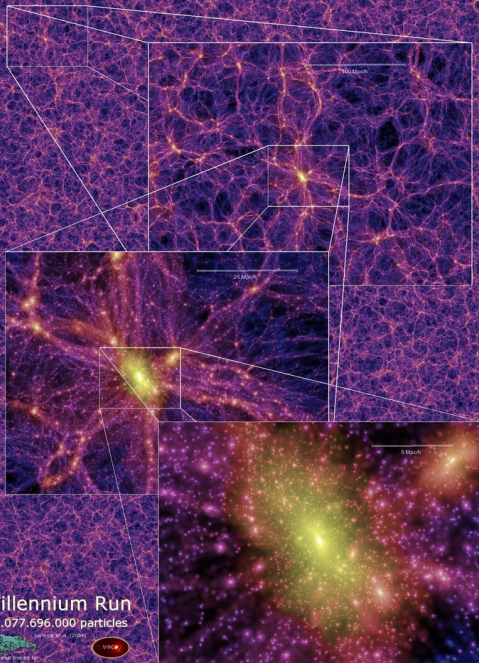
Krychle o hraně 2  
miliardy l.y.

1 měsíc výpočetního  
času

25 TB RAM

Vývoj 20 mil. galaxií

Vývojový animovaný  
diagram



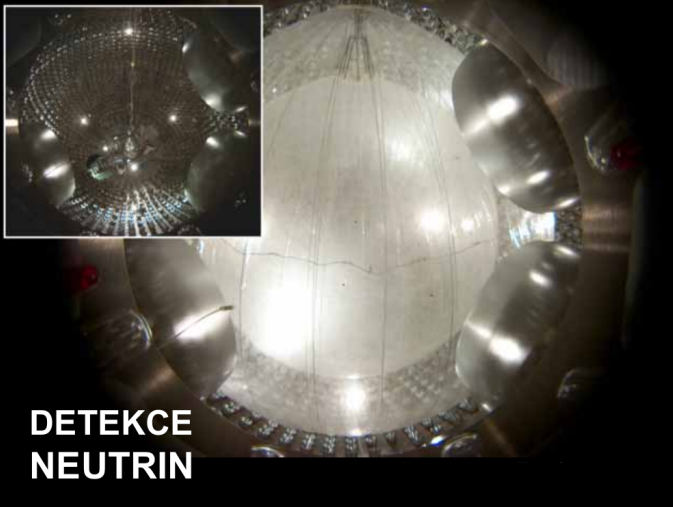
# Simulace Millenium - struktura vesmíru

3-rozměrná vizualizace simulace Millennium. Film ukazuje cestu simulovaným vesmírem. Cestou míváme velké shluky galaxií. Během 2 minut „proletíme“ vzdálenost, kterou by světlo urazilo za 2,4 miliardy let.

# Simulace Millenium - struktura vesmíru

Simulace Millennium - současné rozložení temné hmoty -  
N-částicová simulace 10 miliard částic. Morfologie vesmíru  
s dynamickým rozsahem 1 : 100 000 v jednom směru ve 3D.  
Rozlišení od několika Gpc až po struktury o velikosti 10 kpc.

# Neutrinové “observatoře”



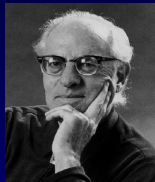
- Částice zhruba miliónkrát lehčí než elektron (fermion)
- Produkt beta rozpadu - elektricky neutrální, prakticky neinteraguje s okolní hmotou

# Neutrinové “observatoře”

- Reliktní neutrina - z doby 1 s po velkém třesku (teplota  $10^{10}$  K), dnes cca 2 K. Dosud nezachyceny.
- Sluneční neutrina - paradox neutrin, neutrinové oscilace.
- Supernovy - neutrina vznikají během fáze tzv. neutronizace, tj. během fáze prudkého gravitačního kolapsu velmi hmotných hvězd, kdy dochází právě k inverznímu beta rozpadu:  $p + e \rightarrow n + \nu_e$ .
- Energie jednotlivých neutrin v řádu desítek MeV, při explozi SN 1987A až 40 MeV.
- Neutrina poskytují jedinečné informace o podmínkách a jaderných reakcích v místě svého vzniku



Wolfgang Pauli



Frederick Reines

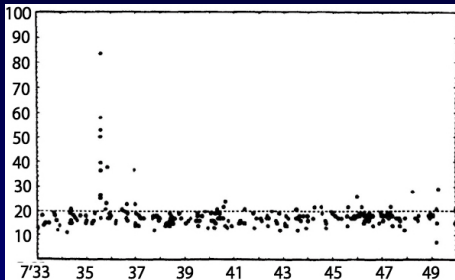


# Neutrinový detektor Super-Kamiokande

- Vodní detektor, Kamioka - Japonsko. V hloubce 1700 m - válcová nádoba o průměru 40 m a výšce 40 m, obsahuje 50 000 tun vody, 13 000 fotonásobičů.
- Detekce Čerenkovova záření.
- V roce 1987 zachyceno 70 neutrin ze SN 1987A - z časového rozdílu oproti fotonům odhadnuta velmi nízká hmotnost ( $< 1,5$  eV).
- V roce 1998 potvrzen objev oscilací neutrin, jiná skladba neutrin ze směru nad detektorem, než ze směru skrze Zemi.



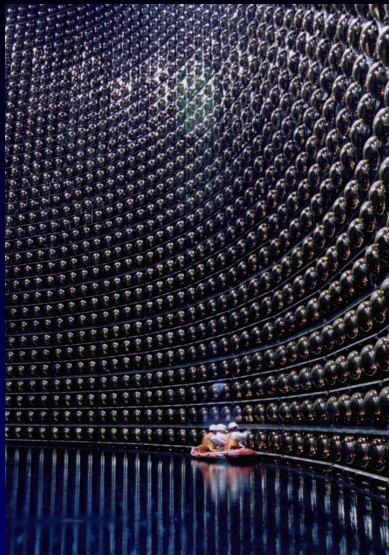
SN 1987A



70 zachycených neutrin

# Neutrinové detektory

- Homestake (Brookhaven laboratory), Jižní Dakota, v opuštěném zlatém dole v hloubce 1600 m nádrž se 615 tunami tetrachloretylenu.
- GALLEX, SAGE (Itálie) - Galiové detektory v pohoří Gran Sasso - nádoba obsahující 100 tun vodního roztoku galiumtrichloridu  $\text{GaCl}_3$ .
- SNO - Sudbury neutrino observatory - těžkovodní detektor v Ontariu v Kanadě.
- IMB - Irvine-Michigan-Brookhaven - vodní detektor, nezávislé potvrzení neutrinových oscilací.



Super-Kamiokande

# Detekce gravitačních vln - LIGO

- **LIGO** (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) je zařízení v USA, které 14. září 2015 jako první přímo detekovalo gravitační vlny (Caltech).
- Pracuje na principu porovnávání dvou identických laserových paprsků v interferometru.
- Dva stejné detektory ve státech Washington a Louisiana (vzdálenost 3 000 km).
- Dvě ramena o délce 4 km svírají pravý úhel.
- Ideálně - paprsky ve stejné fázi. Pokud zařízením projde gravitační vlna, délky obou ramen se nepatrně změní (o cca  $10^{-18}$  m).



LIGO interferometr

Detekce gravitačních vln

# Virtuální observatoř : klíčové principy

- *“Virtuální observatoř se stane systémem, který umožní astronomům používat a prohledávat najednou ohromné množství datových center. To poskytne nové a velmi výkonné nástroje pro analýzu dat a jejich vizualizaci v rámci tohoto systému a tím zpětně poskytne datovým centrům rámec pro publikování a poskytování služeb pomocí jejich dat.”*

*R.J.Hanisch, P.J.Quinn, in “IVOA – Guidelines for participation”*

- **Standardizace** “dat” a “metadat” (údajů o datech), a také o metodách jejich vzájemné výměny a sdílení.
- **Registry**, standardní a neustále aktualizované soupisy všech dostupných služeb a podrobné údaje o tom, co lze s nimi dělat.

Start virtuální observatoře – počátek roku 2000

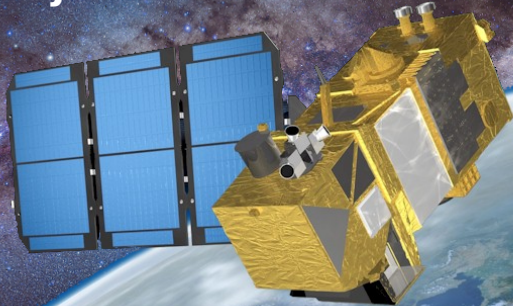
## X - Informatika

- Kompletně mění metodologii vědeckého bádání
- Synergie mezi mnoha různými obory
- Sociologické dopady - komunity výzkumníků pouze „na síti“

## Astroinformatika

- Analogie – bioinformatika (analýza genomů pomocí sítí a ATB)
- Data mining („dolování“ dat) – virtuální observatoř - NEURAL, DAME
- Příklady
  - Fotometrické červený posuv
  - Hledání kvasarů (světelné křivky, multi-spektroskopie)
  - Automatické klasifikace světelných křivek (GAIA, LSST)
- Nové způsoby komunikace (virtuální realita, e-Science)
- Problém „BIG data“, grafické procesory, vizualizace
- Zcela NOVÁ – rozvíjející se disciplína

# Éra „velkých dat“ v pozorování vesmíru a Země - projekt TD 1403 COST



Petr Škoda - reprezentant ČR ve  
výboru členských zemí

# Éra velkých dat v pozorování oblohy a Země (BIG-SKY-EARTH)

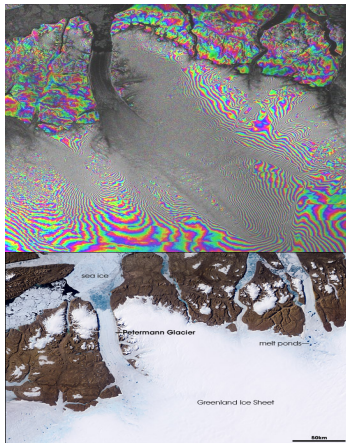






## Éra velkých dat už nastala!

Příklad: snímky + čas = pohyb  
hornin, ledovců a zemských desek



### sentinel-1A

(European radar imaging satellite)

**Datum vypuštění: 3. duben 2014**  
**2,4 TB/den** dat z radarových snímků  
zobrazování radarových dat po **7 let**  
(zcela otevřené přístup k datům)

Využití: oceány a ledovce, pohyb  
kontinentů, bezpečnostní aspekty

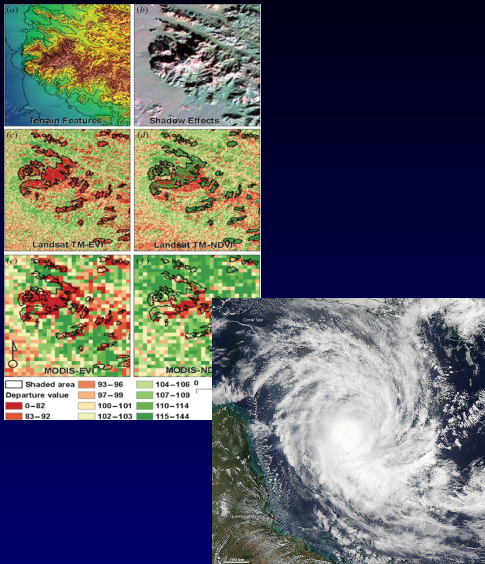
Součást **Evropského programu pozorování Země - Copernicus**: v současnosti nejrozsáhlejší pozorování  
Země: 30 družic: **peta-byty nyní: zetta-byty během deseti let**

# Vizualizace „velkých dat“



Sledování intenzity přenosu dat pomocí sítě Twitter

# Dálkové snímání - „velká data“



Datové zdroje pro:

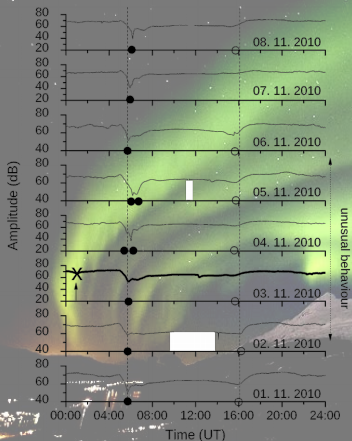
- zemědělství
- lesnictví
- těžbu rud a nerostů
- monitorování zdrojů vody
- automatické zobrazování terénu
- monitorování odolnosti budov
- mobilní síť – prevence neštěstí

Výstupy jsou přizpůsobené potřebám uživatelů

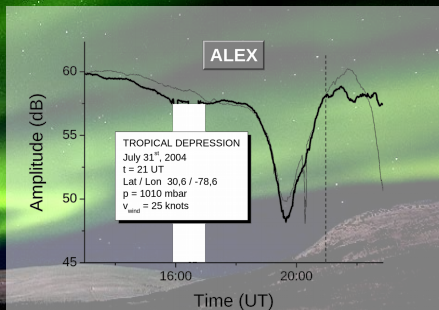
# Změny v ionosféře a předpovídání přírodních katastrof

## Zemětřesení

Kraljevo (43.74 N, 20.69 E), November 3, 2010



## Atmosférické cyklóny

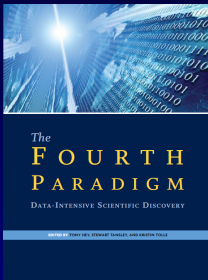


# Dopady nových metod

„Big Data“ nejsou jenom větší, jsou kvalitativně rozdílná!

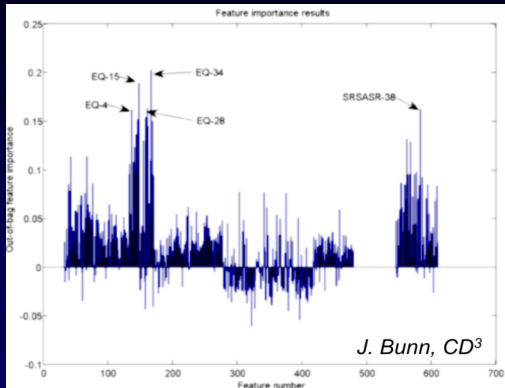
Úspěch při dalším výzkumu závisí na schopnosti „dolovat“ a získávat relevantní poznatky z nesmírného množství dat

O některých ze zásadních a přelomových milníků vědy pravděpodobně zatím nemáme ani tušení!



# Od výzkumu vesmíru k neurobiologii

- Použití nástrojů pro analýzu dat, vyvinutých pro výzkum vesmíru, umožňuje mnohem přesnější diagnostiku autismu
- Datová analýza obrovského množství buněk umožní nacházet vzájemné vazby mezi některými jejich vyčíslitelnými charakteristikami
- Vyhodnocování vzájemných korelací na základě snímkování z magnetické rezonance (MRI)

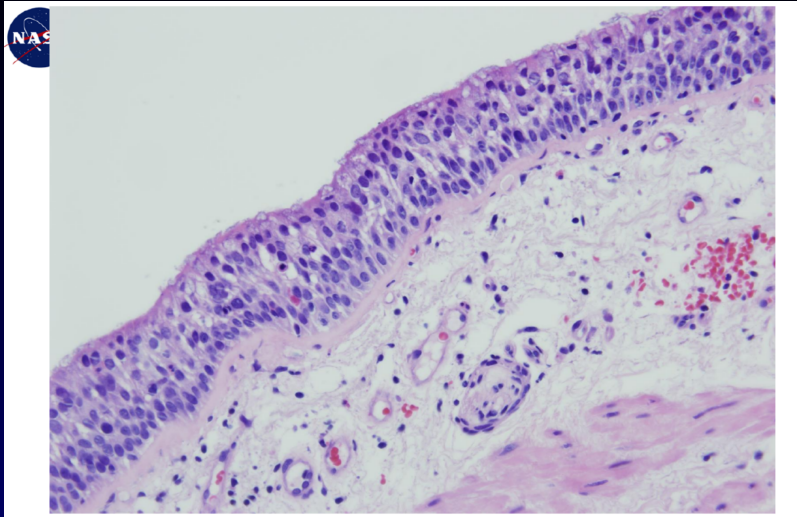


# Od výzkumu vesmíru k neurobiologii



Buňky: válce - autistické, krychle - zdravé, pruhované - mužské, hladké - ženské

# Hledání nádorových buněk v NASA



Hledání nádorových buněk pomocí software, vyvinutého na základě astrofyzikálních algoritmů (EDRN Lung Center, University of Colorado).



# Závěrem

- „Strojové učení“ na archivech **Big Data** může identifikovat nové, dosud neznámé, objekty
- Globální sdružování dat z mnoha oblastí výzkumu
- Klíčová je propojenost a interaktivita
  
- Věda budoucnosti bude multioborová
- Co nejširší spolupráce expertů a informatiků
- Výchova nových odborníků – „datových vědců“
- Transfer technologií – hospodářské zájmy
- **X-informatika** ← filozofie (láska k vědě)
  
- Technologie virtuální observatoře pomůže každému oboru

***Děkuji za pozornost***