

OBŘÍ LABORATOŘE

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“



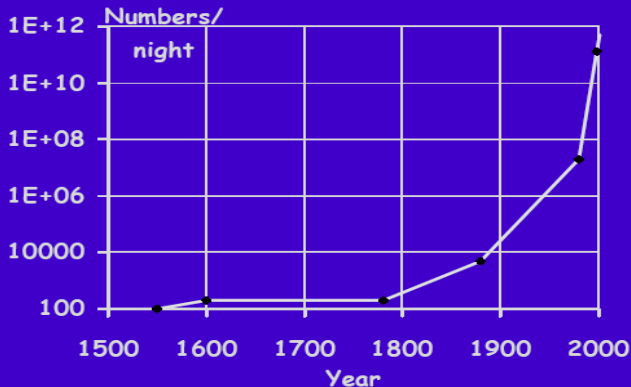
600 000 CD = 372 TB (CD = 650MB)
600 000 DVD = 2.5 PB (DVD = 4.5GB)

Bruce Monro
Kilmington UK

Lavina dat

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

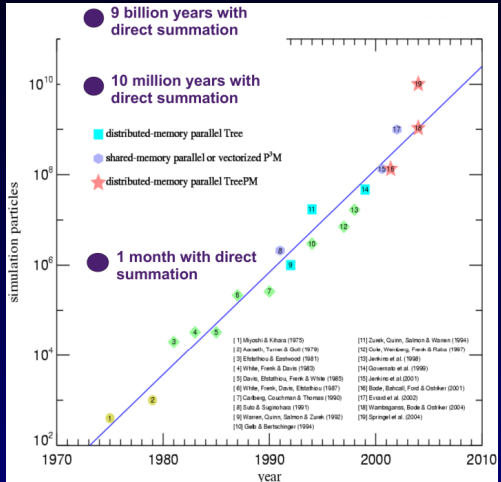
Data v astronomii – zdvojení za < 1 rok ! (1000 krát /10 let)



$T_2 < 18$ 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

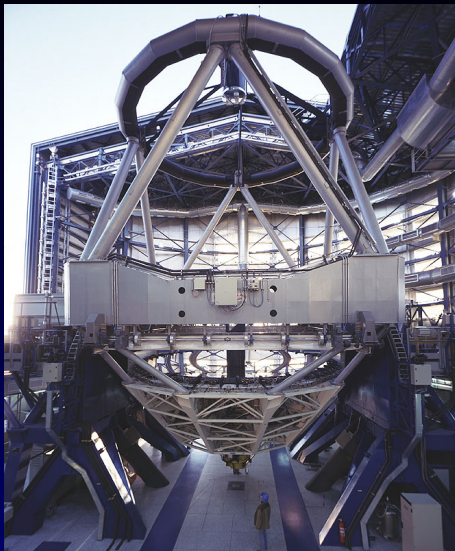
(Velmi Velké Dalekohledy - Cerro Paranal)



Antu, Kueyen, Melipal, Yepun

VLT - Very Large Telescopes

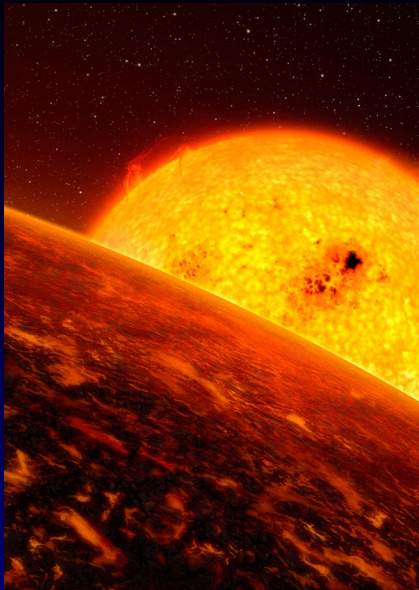
- Dalekohledy jsou pojmenovány v jazyce místních indiánů kmene Mapuche - Antu (Slunce), Kueyen (Měsíc), Melipal (Jižní Kříž), Yepun (Večernice).
- Průměry jednotlivých hlavních zrcadel 8,3 m.
- Doplněny dalšími čtyřmi pomocnými mobilními (na kolejnicích) teleskopy s průměrem zrcadel 1,8 m. Společně, 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 planethvězdy 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 miliónů 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 - splnutí dvou neutronových hvězd nebo černých děr.



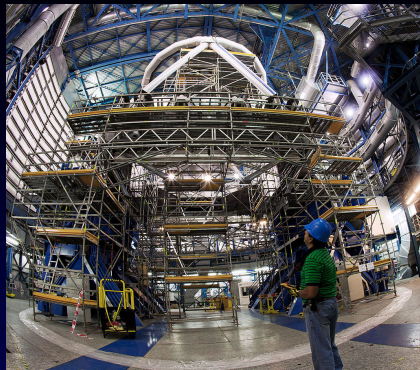
Video otevřete kliknutím na následující odkaz:

[Central_Black_Hole.mp4](#)

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 Yapun (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

Video otevřete kliknutím na následující odkaz:

[ELTtrailer.mp4](#)

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!

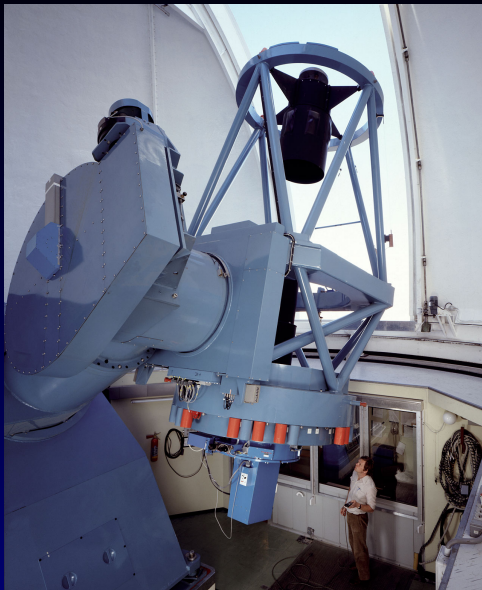
38 miliard objektů x 1000 měření
38 bilionů měření - 5 PB záznam



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

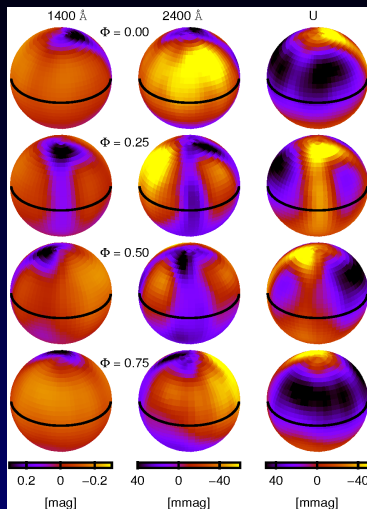


Dánský 1,54m teleskop



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 - φ Dra.



Rozložení Si a Fe na povrchu CP hvězdy φ 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

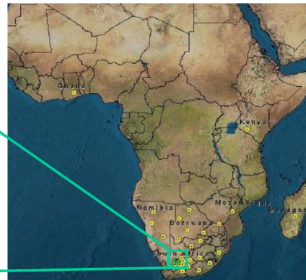
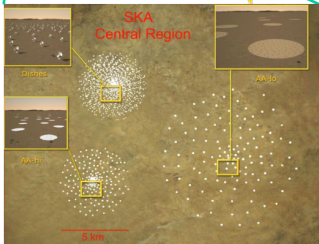
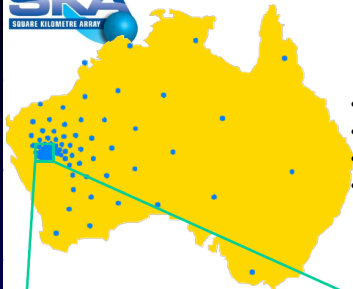


SKA - square kilometer array

(radioteleskopická síť o celkové rozloze 1 km²)

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



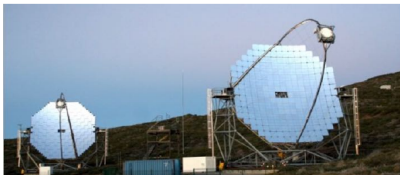
SKA



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

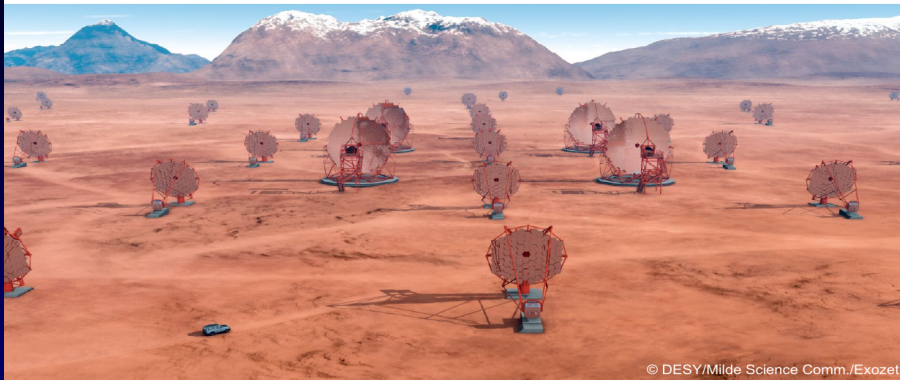
@ Jeff Grube

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
- ◆ 2018-2023: production phase
- ◆ Observatory open to the community



© DESY/Milde Science Comm./Exozet

Simulace Millenium

10^{10} částic

Od gigaparseku po 10
kiloparseků

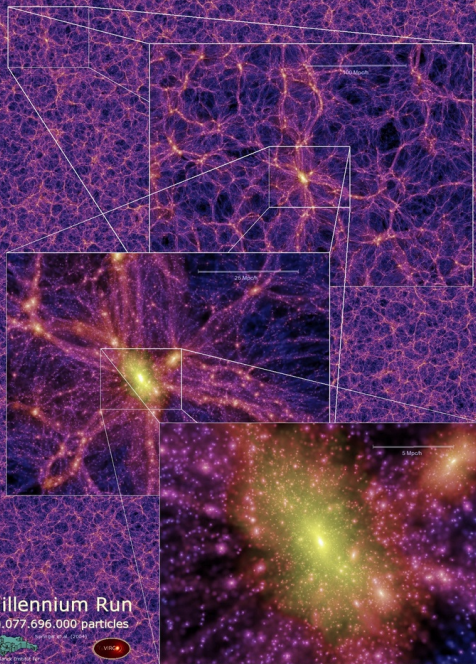
Krychle o hraně 2
miliardy l.y.

1 měsíc výpočetního
času

25 TB RAM

Vývoj 20 mil. galaxií

Vývojový animovaný
diagram



Simulace Millenium - struktura vesmíru

Video otevřete kliknutím na následující odkaz:

[millennium.mp4](#)

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.

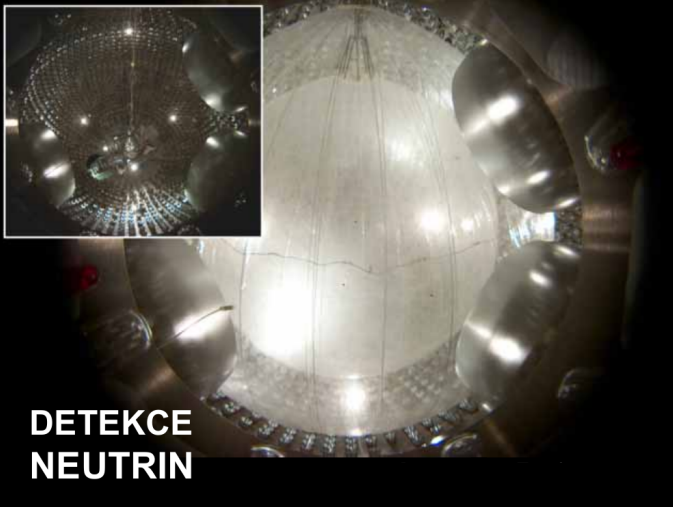
Simulace Millenium - struktura vesmíru

Video otevřete kliknutím na následující odkaz:

[slowzoom.mp4](#)

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”



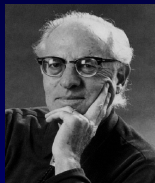
- Částice zhruba miliónkrát lehčí než elektron (fermion)
- Produkt beta rozpadu - elektricky neutrální, prakticky neinteraguje s okolní hmotou

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



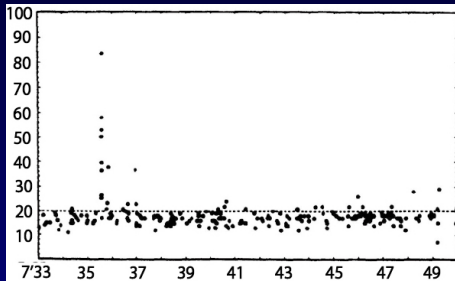
Frederick Reines

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 ($< 1,5 \text{ eV}$).
- V roce 1998 potvrzen objev oscilací neutrin, jiná skladba neutrin ze směru nad detektorem, než ze směru skrze Zemi.



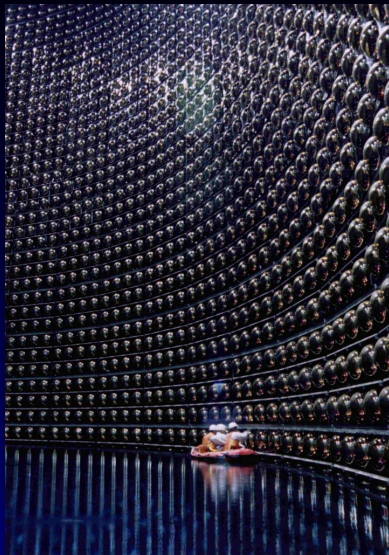
SN 1987A



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 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

Video otevřete kliknutím na následující odkaz:

[ligo.mp4](#)

Centrální černá díra v Galaxii

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.Hanisich, 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

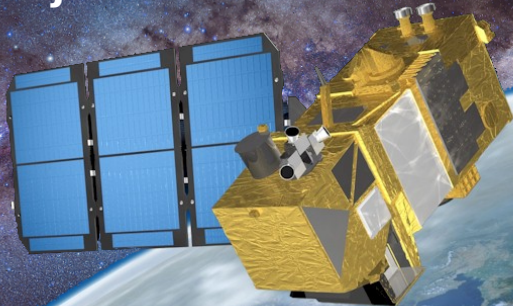
X - Informatika

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

Astroinformatika

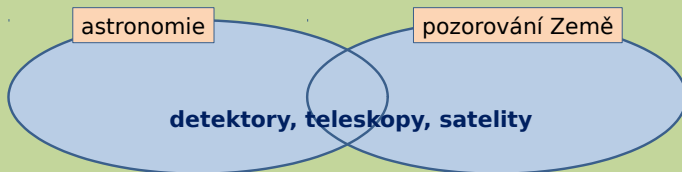
- Analogie – bioinformatika (analýza genomů pomocí sítí a ATB)
- Data mining („dolování“ dat) – virtuální observatoř - NEURAL, DAME
- Příklady
 - Fotometrické červený posuv
 - Hledání kvasarů (světelné křivky, multi-spektroskopie)
 - Automatické klasifikace světelných křivek (GAIA, LSST)
- Nové způsoby 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)



výpočetní zdroje, výběr, uchovávání, údržba, sběr a archivace digitálních dat, numerické metody, hledání poznatků v obrovských zásobárnách dat, „strojové učení“



sentinel-1A

(European radar imaging satellite)

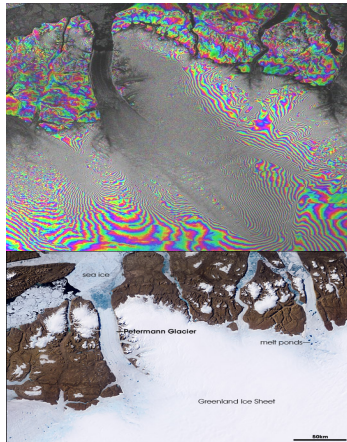
Datum vypuštění: 3. duben 2014
2,4 TB/den dat z radarových snímků
 zobrazování radarových dat po **7 let**
 (zcela otevřené přístup k datům)

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**

Éra velkých dat už nastala!

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

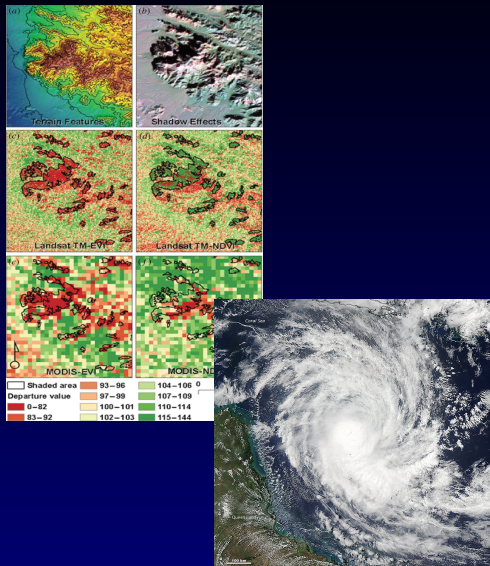


Vizualizace „velkých dat“



Sledování intenzity přenosu dat pomocí sítě Twitter

Dálkové snímání - „velká data“



Datové zdroje pro:

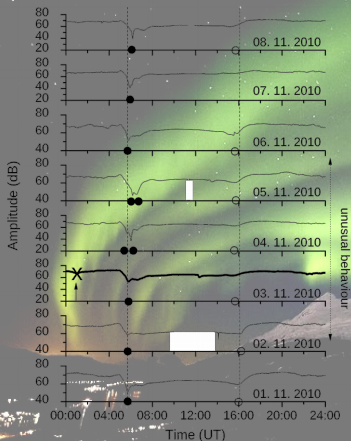
- zemědělství
- lesnictví
- těžbu rud a nerostů
- monitorování zdrojů vody
- automatické zobrazování terénu
- monitorování odolnosti budov
- mobilní síť – prevence neštěstí

Výstupy jsou přizpůsobené potřebám uživatelů

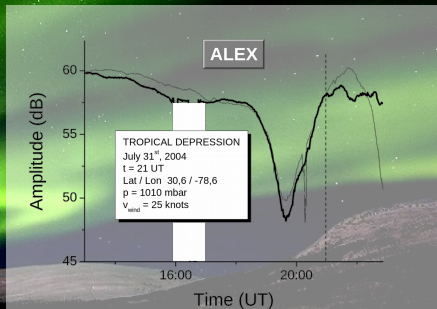
Změny v ionosféře a předpovídání přírodních katastrof

Zemětřesení

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



Atmosférické cyklóny

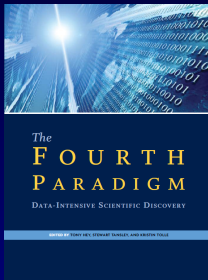


Dopady nových metod

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

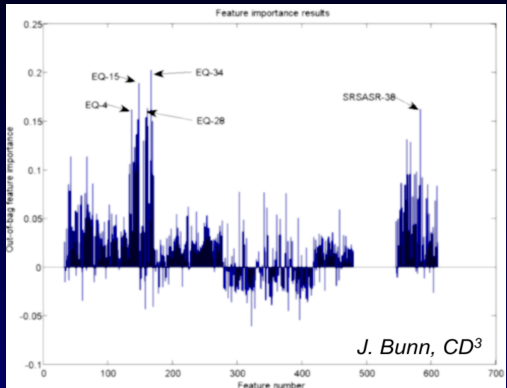
Úspěch při dalším výzkumu závisí na schopnosti „dolovat“ a získávat relevantní poznatky z nesmírného množství dat

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

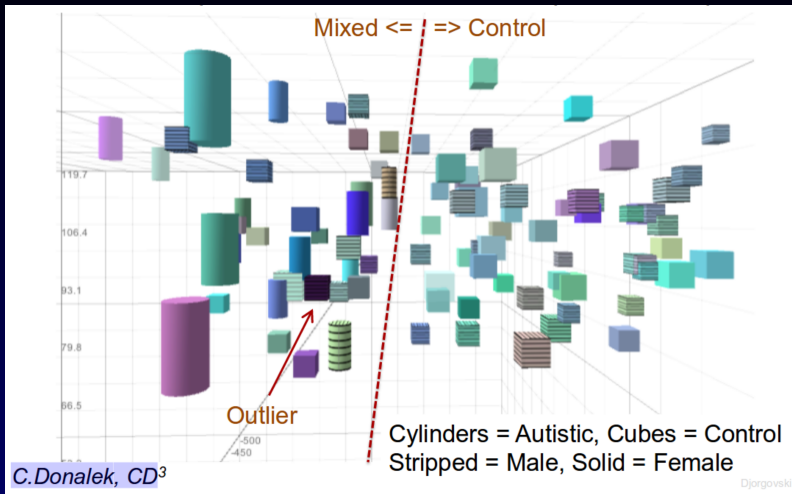


Od výzkumu vesmíru k neurobiologii

- 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)

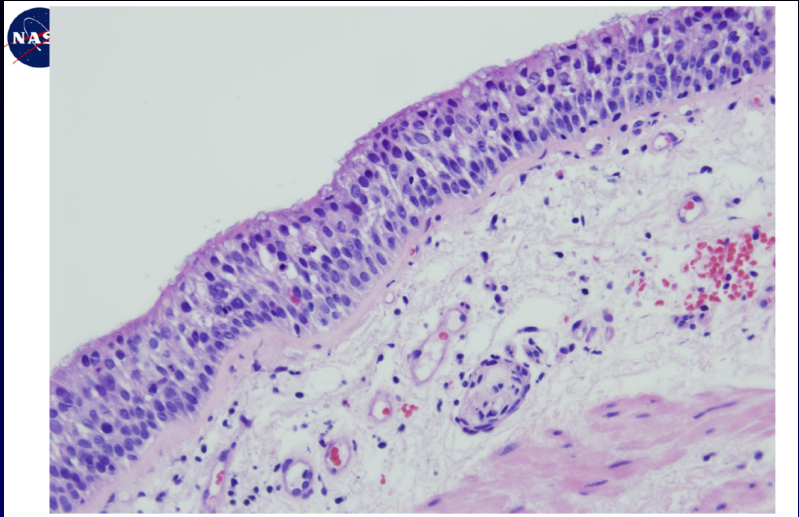


Od výzkumu vesmíru k neurobiologii



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