

KOSMICKÉ ZÁŘENÍ JEŠTĚ PO 100 LETECH

Jiří GRYGAR

**Oddělení astročásticové fyziky
Sekce fyziky elementárních částic
Fyzikální ústav AV ČR**

Historická poznámka

XIX. stol.: vzduch je slabě elektricky vodivý –
samovolné vybíjení elektroskopů

1896: *Henri Becquerel* radioaktivita uranu (Nobel, 1903)

Domněnka, že radioaktivita hornin způsobuje ionizaci
vzduchu („zemské záření“)

1909: *Theodor Wulf* (S.J.): měření ionizace vzduchu
v podzemních jeskyních a na vrcholu Eiffelovky:
domněnka nebyla potvrzena!

1910: Ionizační záření přichází ze Slunce?

Průkopník Viktor Hess (1883-1964)

1910 Vídeň (asistent, Císařská akademie věd):
experimentální fyzik a nadšený vzduchoplavec

1911: grant Akademie věd na balónové lety s radiometry
(první dva pokusné lety; balóny plněné svítiplynem;
starty z Prátru)

1912: Další 7 letů: (17. IV. do 2,75 km: částečné
zatmění Slunce – žádný pokles vodivosti vzduchu; 26.-
27. IV.; 20.-21. V. a 3. VI. noční lety ve stálé výšce cca
350 m; (2. přistání u Sadové) – žádné změny proti
denním hodnotám vodivosti

Epochální let 7. VIII. 1912

Balón Böhmen (1 680 m³ vodíku!): start z Ústí nad Labem (dnes Setuza) v 06:12 h. Pilot: *W. Hoffory*, meteorolog *E. Wolf*, *V. Hess* – měření na 3 radiometrech). Maximální výška 5,3 km v 10:45 h. Měření ve výškách 1,7 tis. ÷ 4,8 tis. m (teplota -10° C) a zpět od 4,4 tis. m do 250 m. Přistání u Pieskowa (Branibory) ve 12:15 h v nadm. výšce 140 m.

Od výšky 4 km používal kyslíkovou masku; chtěl dosáhnout výšky 6 km, ale pro příznaky výškové nemoci musel nařídít předčasný sestup. Na klíčový objev růstu vodivosti vzduchu s výškou to však právě stačilo!

Hessova gondola pro lety v balónech



© Archiv Victor-Franz-Hess-Gesellschaft

**Die Ballon-Gondel und die Nobelpreis-
Urkunde von Victor Franz Hess,
ausgestellt im Museum des
Europäischen Zentrums für Physikge-
schichte ECHOPHYSICS, Schloss Pöllau
bei Hartberg/Steiermark.**

Vědecké sdělení V. Hesse o 7 balónových letech uskutečněných v r. 1912

1084 Hess, Durchdringende Strahlung bei sieben Freiballonfahrten. Physik. Zeitschr. XIII, 1912.

wird sie aber gewiß gerne übernehmen; er hat auch einige meiner früheren Blitzaufnahmen übernommen.

Aus der Abteilung für Geophysik, Meteorologie und Erdmagnetismus:

Viktor F. Hess (Wien), Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten.

Im Vorjahre habe ich bereits Gelegenheit gehabt, zwei Ballonfahrten zur Erforschung der durchdringenden Strahlung zu unternehmen; über die erste Fahrt wurde schon auf der Naturforscherversammlung in Karlsruhe von mir berichtet¹⁾. Bei beiden Fahrten ergab sich keine wesentliche Änderung der Strahlung gegenüber der am Erdboden beobachteten bis zu 1100 m Höhe. Auch Gockel²⁾ hatte bei zwei Ballonfahrten nicht die erwartete Abnahme der Strahlung mit der Höhe fin-

ser Behandlung zeigte Apparat 1 eine normale Ionisation von ca. 16 Ionen, Apparat 2 eine solche von ca. 11 Ionen pro ccm und Sek. Die Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig hat an den Apparaten noch eine weitere wesentliche Verbesserung angebracht: bisher erfolgte die Scharfeinstellung auf die Fäden durch alleiniges Verschieben des Okulars, was mit nicht unbeträchtlichen Änderungen der Vergrößerung verbunden war und bei wiederholter Einstellung Ablesungsdifferenzen bis zu 0,5 bewirkte. Die genannte Firma hat jetzt im Okulartubus eine verschiebbare Negativlinse angebracht, welche die Scharfeinstellung bei verschiedenen Spreizungen der Fäden bewerkstelligt, ohne daß damit eine merkliche Änderung der Vergrößerung verbunden wäre. Die Einstellgenauigkeit ist hierdurch erheblich vergrößert.

Da die Wandstärke bei den Apparaten 1 und 2 drei Millimeter betrug, so konnten im wesentlichen nur die γ -Strahlen wirken.

Výsledky měření ionizace při 7. letu (7. VIII. 1912)

7. Fahrt (7. August 1912).

Ballon: „Böhmen“ (1680 cbm Wasserstoff).
Meteorolog. Beobachter: E. Wolf.

Führer: Hauptmann W. Hoffory.
Luftelektr. Beobachter: V. F. Hess.

Nr.	Zeit	Mittlere Höhe		Beobachtete Strahlung				Temp.	Relat. Feucht. Proz.
		absolut m	relativ m	Apparat 1	Apparat 2	Apparat 3			
				g_1	g_2	g_3	reduz. g_3		
1	15h 15—16h 15	156	0	17,3	12,9	—	—	1 1/2 Tag vor dem Aufstiege (in Wien)	
2	16h 15—17h 15	156	0	15,9	11,0	18,4	18,4		
3	17h 15—18h 15	156	0	15,8	11,2	17,5	17,5		
4	6h 45—7h 45	1700	1400	15,8	14,4	21,1	25,3	+6,4 ⁰	60
5	7h 45—8h 45	2750	2500	17,3	12,3	22,5	31,2	+1,4 ⁰	41
6	8h 45—9h 45	3850	3600	19,8	16,5	21,8	35,2	-6,8 ⁰	64
7	9h 45—10h 45	4800	4700	40,7	31,8	—	—	-9,8 ⁰	40
		(4400—5350)		—	—	—	—	—	—
8	10h 45—11h 15	4400	4200	28,1	22,7	—	—	—	—
9	11h 15—11h 45	1300	1200	(9,7)	11,5	—	—	—	—
10	11h 45—12h 10	250	150	11,9	10,7	—	—	+16,0 ⁰	68
11	12h 25—13h 12	140	0	15,0	11,6	—	—	(nach der Landung in Pieskow, Brandenburg)	

Wir stiegen um 6h 12 früh von Aussig a. d. Elbe auf. Wir überflogen die sächsische Grenze bei Peterswalde, Struppen bei Pirna, Bischofswerda und Kottbus. In der Gegend des Schwielochsees wurde die Höhe von 5350 m erreicht. Um 12h 15 mittags landeten wir bei Pieskow, 50 km östlich von Berlin. Am Auf-

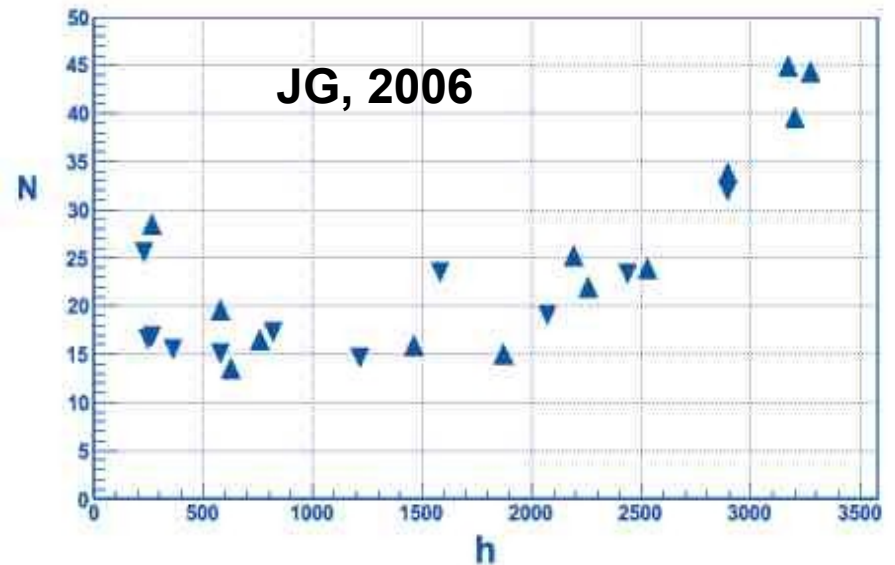
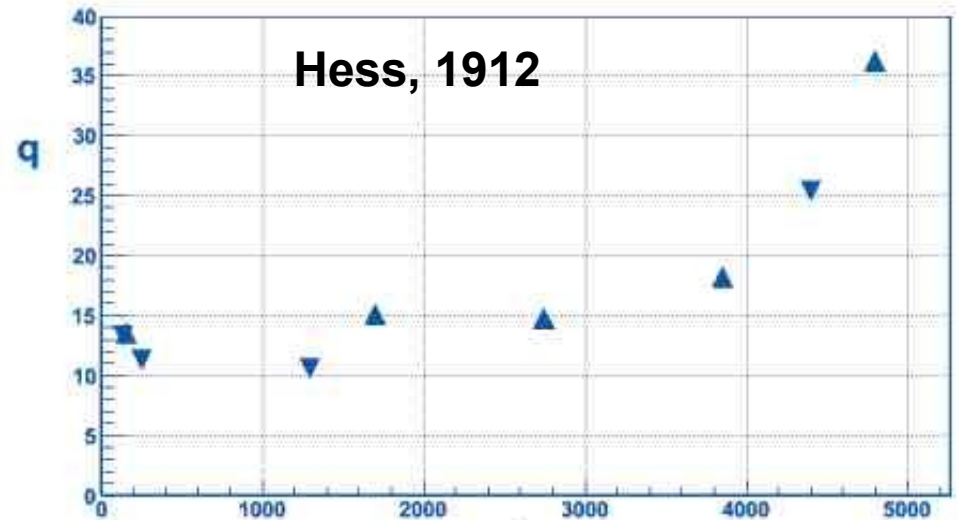
bemerkt, daß wir nie in einer Wolke, ja nicht einmal in der Nähe einer solchen uns befanden, da zur Zeit, als die Kumuluswolken in vereinzelten Ballen über den ganzen Horizont verstreut eintraten, wir uns bereits in Höhen über 4000 m befanden. Über uns befand sich, als wir bereits in der Maximalhöhe fuhren, eine

Balón Böhmen: V. Hess (1912) – ionizace vzduchu Balón Bohemia: J. G. (2006) – tok KZ (čítač GM)

Hess prokázal, že

„výškové záření“ přichází
z kosmu

**Zemská atmosféra
posloužila jako detektor,
který umožnil odhalit
neznámý fyzikální jev**

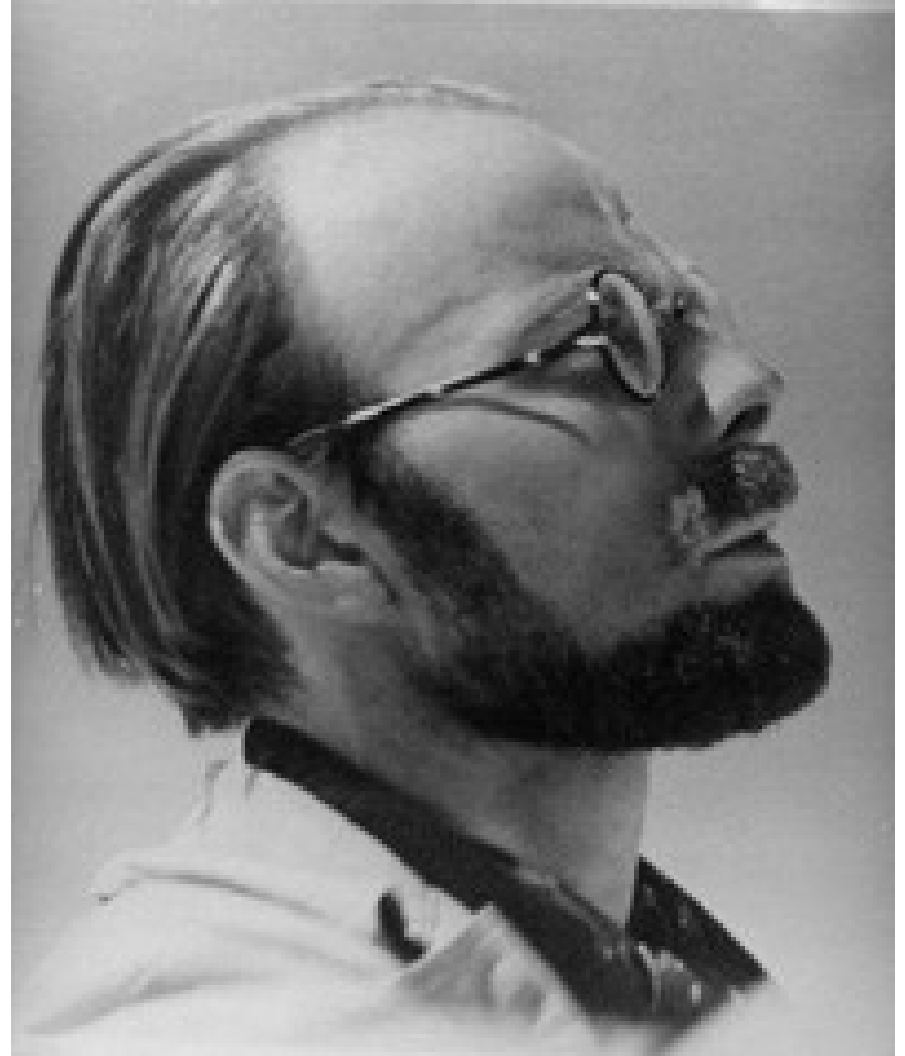


Trio z vídeňského ústavu pro radiologii (1916)

Zleva maďarský chemik **Georg von Hevesy** (pozdější nositel Nobelovy ceny za chemii), uprostřed britský fyzik **Robert Lawson**, který navzdory světové válce mohl stále pracovat v rakouském vědeckém ústavu a zprava **Viktor Hess** ještě netušící, že za svá pozorování v balonu *Böhmen* získá v r. 1936 Nobelovu cenu a o dva roky potom bude muset z Rakouska uprchnout před nacisty



Viktor Hess (1883-1964) a Pierre Auger (1899-1993)

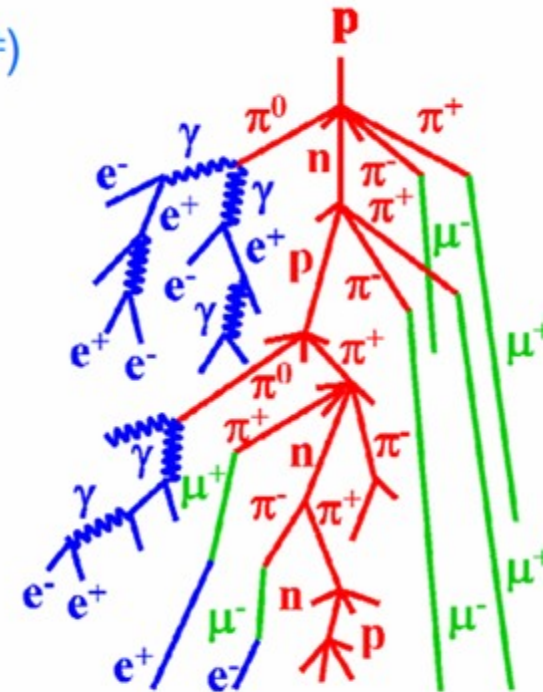
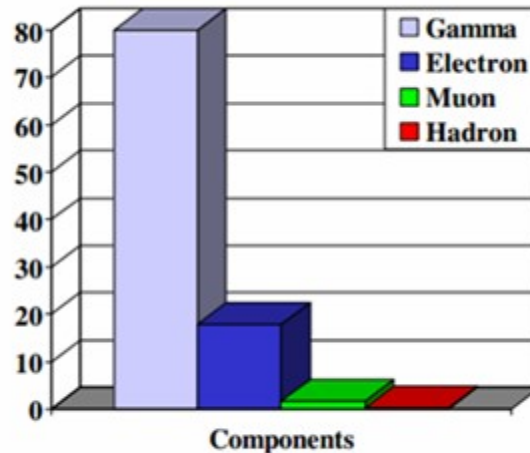


Pierre Auger (skloněný vlevo) objevil r. 1938 spršky sekundárního kosmického záření na svahu Jungfrauochu (3,5 km) v Alpách



Základní složky spršek energetického kosmického záření (podíly na celkové energii spršky)

- 98% Electromagnetic component (80% γ , 18% e^\pm)
- 1.7% Muonic component
- 0.3% Hadronic component



Pro UHE KZ podíl „chybějící energie“ hadronů a mionů stoupá; v „horních patrech“ spršky hadrony převažují

Složky kosmického záření a jejich detekce

Nejnižší energie má kosmické záření ze Slunce.

V r. 1933 zjistil A. Compton, že částice kosmického záření většinou nesou elektrický náboj. Směr jejich letu podléhá vlivu magnetických polí Země, Slunce, mezihvězdného a intergalaktického prostoru. Záření s energiemi <100 MeV odcloní sluneční vítr. Záření s energiemi >1 GeV proniká magnetickým polem Země do atmosféry.

Našimi těly prochází během sekundy ~1 tisíc částic kosmického záření, ale neuvíznou v nás! Z jejich hlediska jsou lidé velmi děravá řешeta (jádra atomů zabírají 1/100 000 průměru atomu).

Mezníky výzkumu kosmického záření



Enrico Fermi (1901-1954); Nobel, 1938

1949 – mechanismus urychlování elektricky nabitých částic v mezihvězdných magnetických polích (pozůstatky po supernovách)

1966: **Mez GZK** (*Kenneth Greisen, Vadim Kuzmin, Georgij Zacepin*): pro částice s energií $>50 \text{ EeV}$ jsou fotony reliktního záření (teplota 3 K) velkou překážkou. Částice s vyššími energiemi sem proto nedolétnou ze vzdáleností větších než mez GZK ($<75 \text{ Mpc} \sim 250 \text{ mil. světelných let; } z < 0,017$)



Vitalij L. Ginzburg (1916 - 2009); Nobel 2003:
Třicet otevřených fyzikálních problémů ve XXI. stol.:
28. Původ kosmického záření ultravysokých energií

Výzkum kosmického záření v Československu



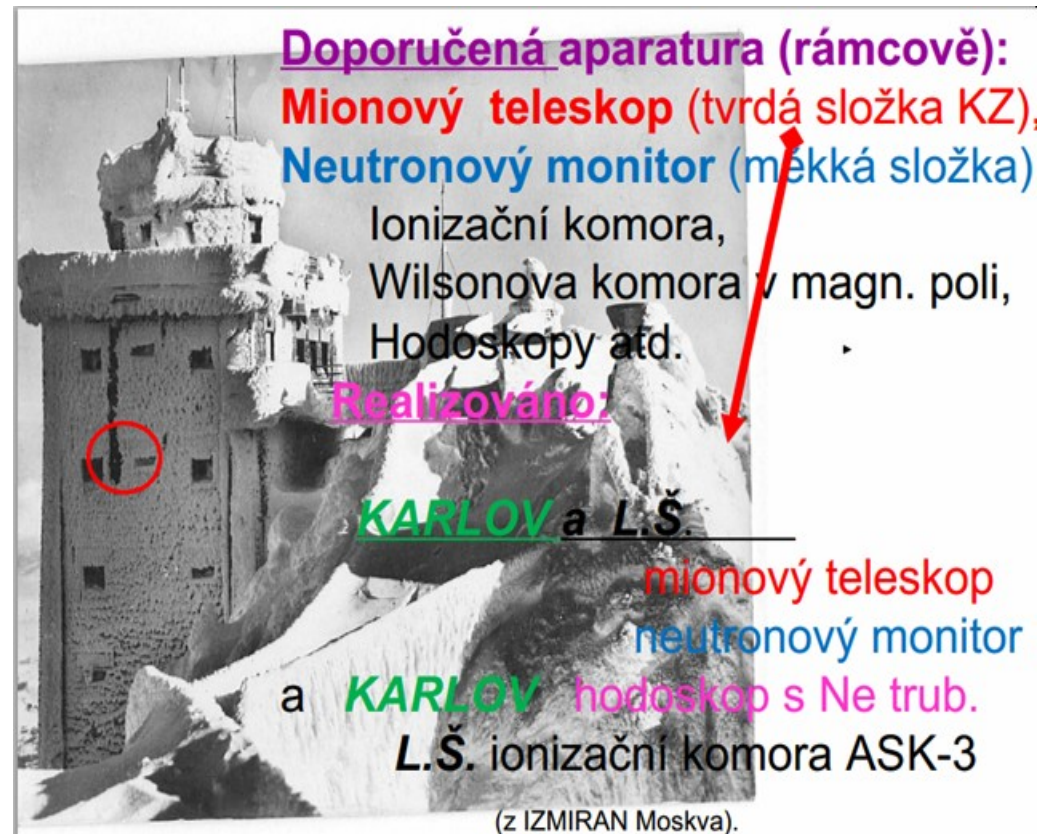
František Běhounek
(1898-1973)
1928 - Italia
(vzducholod')



Václav Petržílka
1905-1976
1954 FZÚ
ČSAV; 1957
FTJF ČVUT



Jaroslav Pernegr
1924 – 1988
FZÚ + SÚJV,
CERN, DESY



1957-58 (**Mezinárodní geofyzikální rok**):
světová spolupráce ve výzkumu KZ

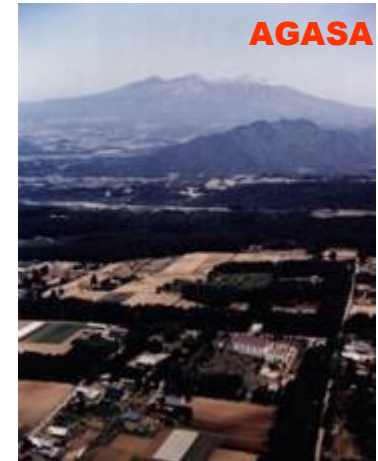
Významné aparatury pro detekci UHE KZ v posledním půlstoletí

8 rozličných typů detektorů zaznamenalo za 45 let ~200 částic
s energiemi >40 EeV, ale jen ~20 částic s energiemi >100
EeV



Pozemní detektory:

- Volcano Ranch, USA (1959 – 1963)
- SUGAR, Austrálie (1968 – 1979)
- Haverah Park, UK (1968 – 1987)
- Jakutsk, Rusko (1970 – dosud)
- **AGASA, Japan (1990 – 2004)**



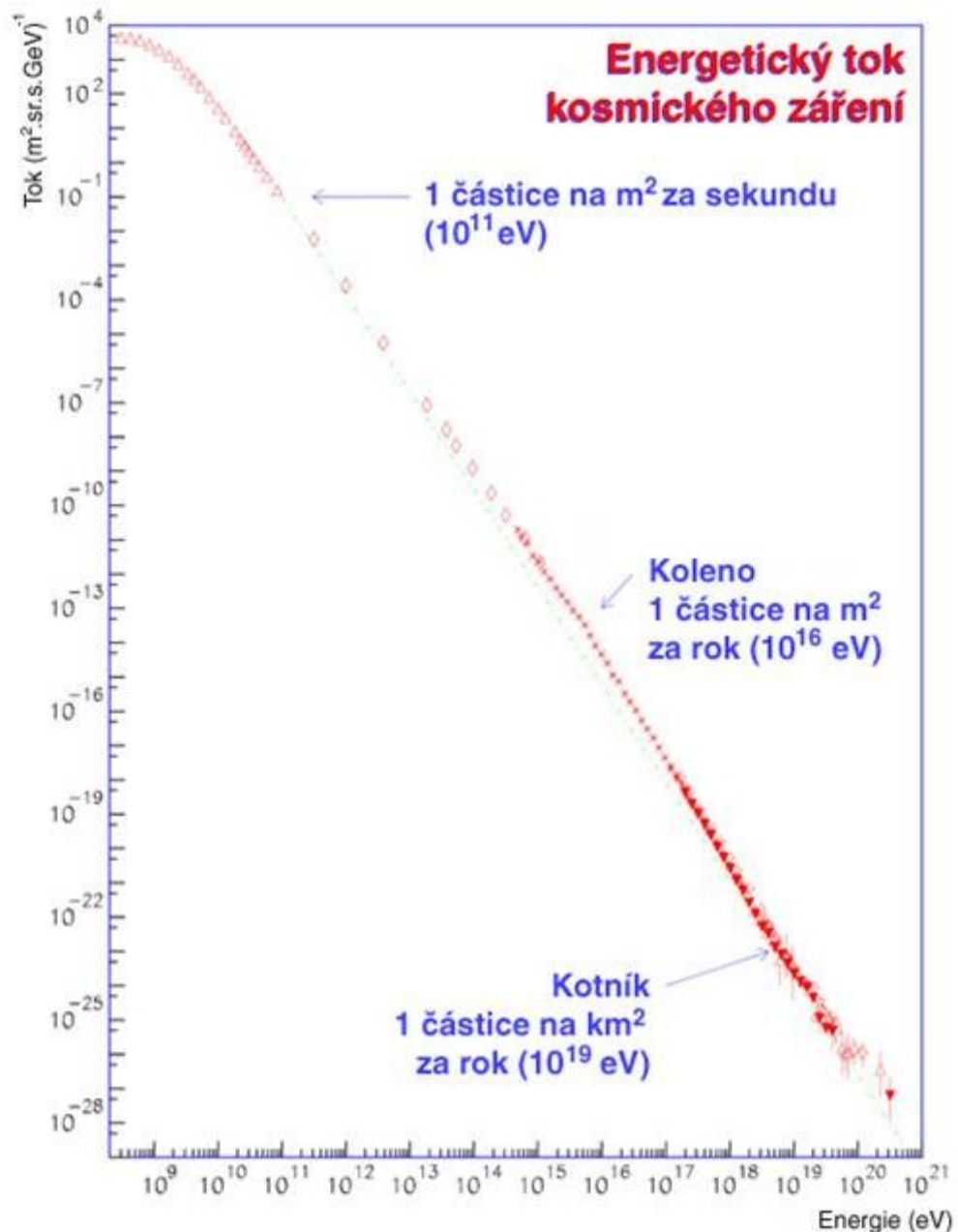
Fluorescenční detektory:

- Fly's Eye, USA (1981 – 1992)
- **HiRes, USA (1998 – 2006)**
- Telescope Array (2008 – dosud)



Závislost toku kosmického záření na energii primárních částic

(Tok klesá zhruba s 3. mocninou růstu energie)



Rekordní energie 320 EeV (50 J) zaznamenaná detektorem Muší oko v Utahu (15 X 1991)



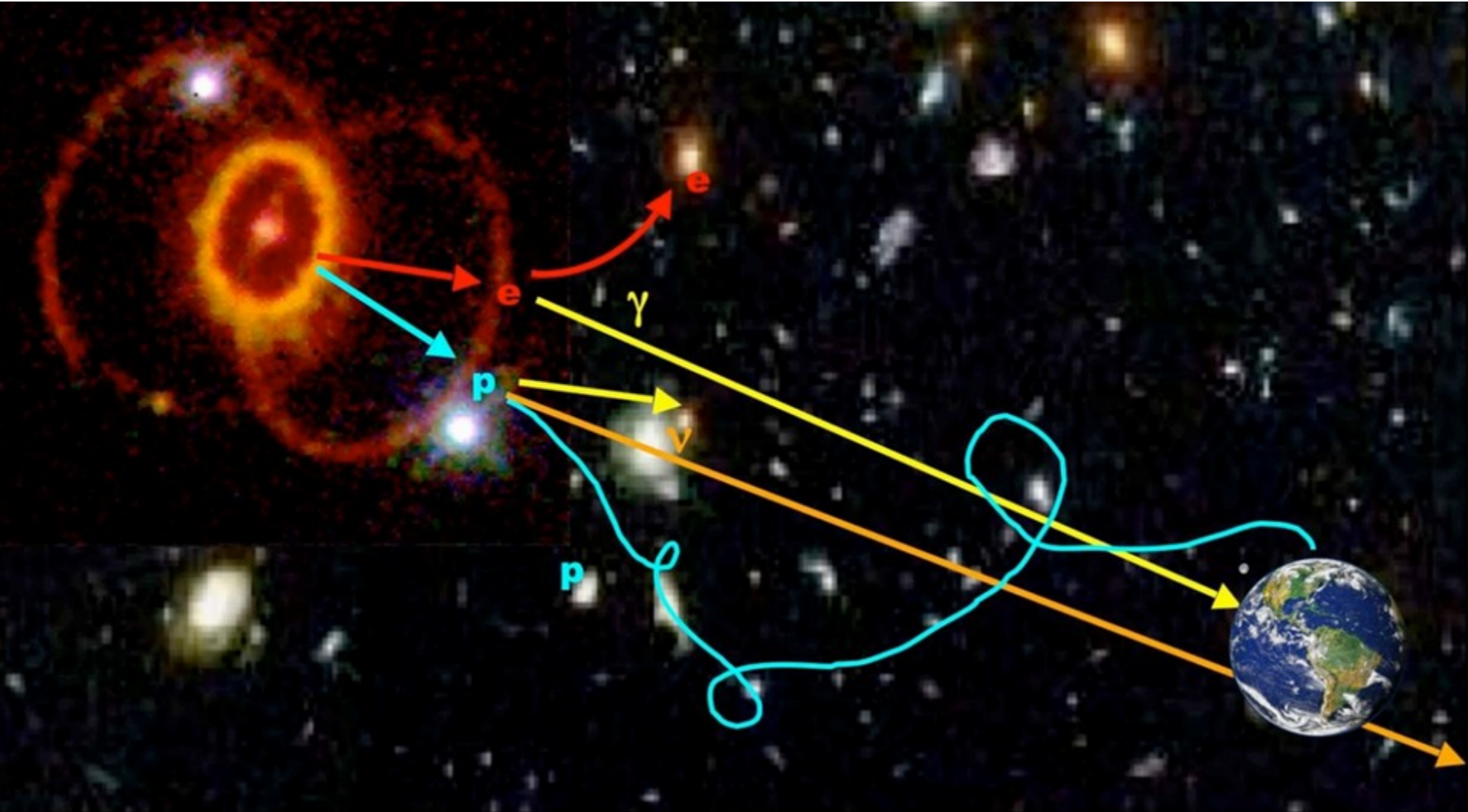
H.E.S.S. - Detektor VHE záření gama (100 GeV – 100 TeV); Namibie od r. 2003 (12 států včetně ČR)



VHE záření gama vzniká zejména následkem urychlování částic kosmického záření. Podává informace o polohách zdrojů

With great sadness we learned of the untimely death of **Dalibor Nedbal**, who passed away on May 15, 2012. In Heidelberg - where he received his Ph.D. in 2008, before returning to Charles University in Prague - and within the whole H.E.S.S. collaboration Dalibor was universally liked and respected, as a scientist and colleague. We extend our deepest sympathy to his family.

Proč dosud neznáme zdroje a mechanismy urychlování kosmického záření? (Vzplanutí supernovy 1987A ve Velkém Magellanově mračnu)



Koncepce Observatoře Pierra Augera (James Cronin, *1931 a Alan Watson, *1938)

Hybridní observatoř

A) Pozemní Čerenkovovy detektory

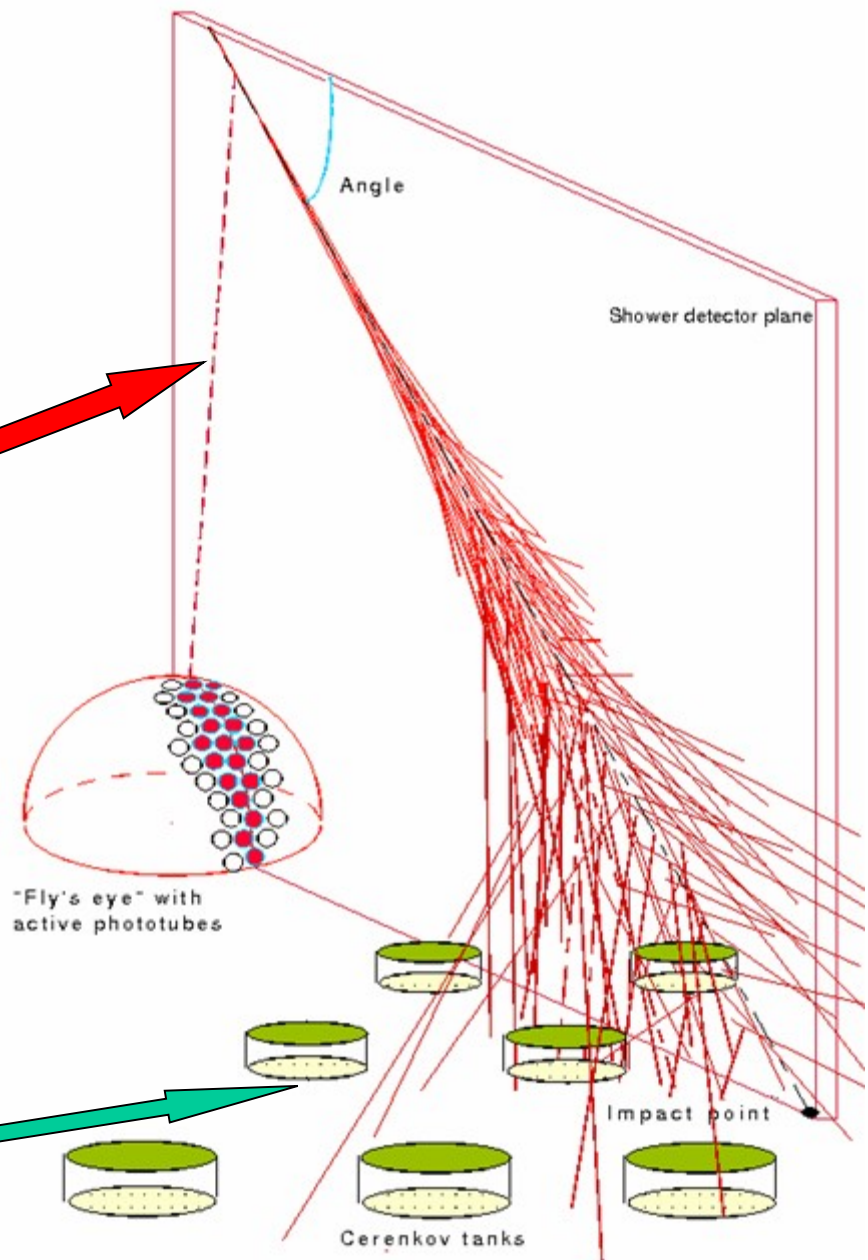
válcové sudy (12 t vody) 1,6 tis. kusů; rozteč 1,5 km;
plocha 3 000 km². Pracovní cyklus nepřetržitý

B) Atmosférické fluorescenční detektory

4 stanice, na každé 6 obřích světelných kamer (ø 3,5 m)
se zornými poli o průměru 30°; segmentovaná zrcadla
ø 0,65 m (60 zrcadel v kameře; 440 fotonásobičů
v ohniskové ploše). Pracovní cyklus za jasných
bezměsíčných nocí (cca 13 %)

Princip hybridní observatoře pro detekci spršek UHE kosmického záření:

Sprška svítí díky
fluorescenci ve
výškách kolem 20 km
nad zemí a štěpí se
na miliardy částic na
úrovni pampy, což
vzorkují Čerenkovovy
detektory



Mezníky při vzniku a výstavbě PAO

1991 – Dublin: základní koncept obří observatoře

1995: návrh rozpracován

15 III 1999 – Mendoza: podpis dohody mezi

účastnickými institucemi 18 III 1999

Inaugurace v městečku Malargüe 23 V 2001

sprška ve fluorescenčním detektoru 31 VII 2001

zásah v pozemních detektorech 9 XII 2001

hybridní pozorování oběma metodami srpen 2005

první výsledky na konferenci listopad 2007

první významné publikace o datech červen 2008

observatoř v plném provozu (~ 50 mil. \$) konec 2008

18 členských zemí, 70 institucí, cca 500 badatelů

Korelace mezi účastí v PAO a na EURO 2012

Členské státy PAO

*Argentina, Austrálie, Bolívie, Brazílie, Česká republika,
Francie, Chorvatsko, Itálie, Mexiko, Nizozemí, Polsko,
Portugalsko, Slovinsko, SRN, Španělsko, USA,
Velká Británie, Vietnam:*

11 evropských států PAO

10 na EURO 2012

7 ve čtvrtfinále

4 v semifinále

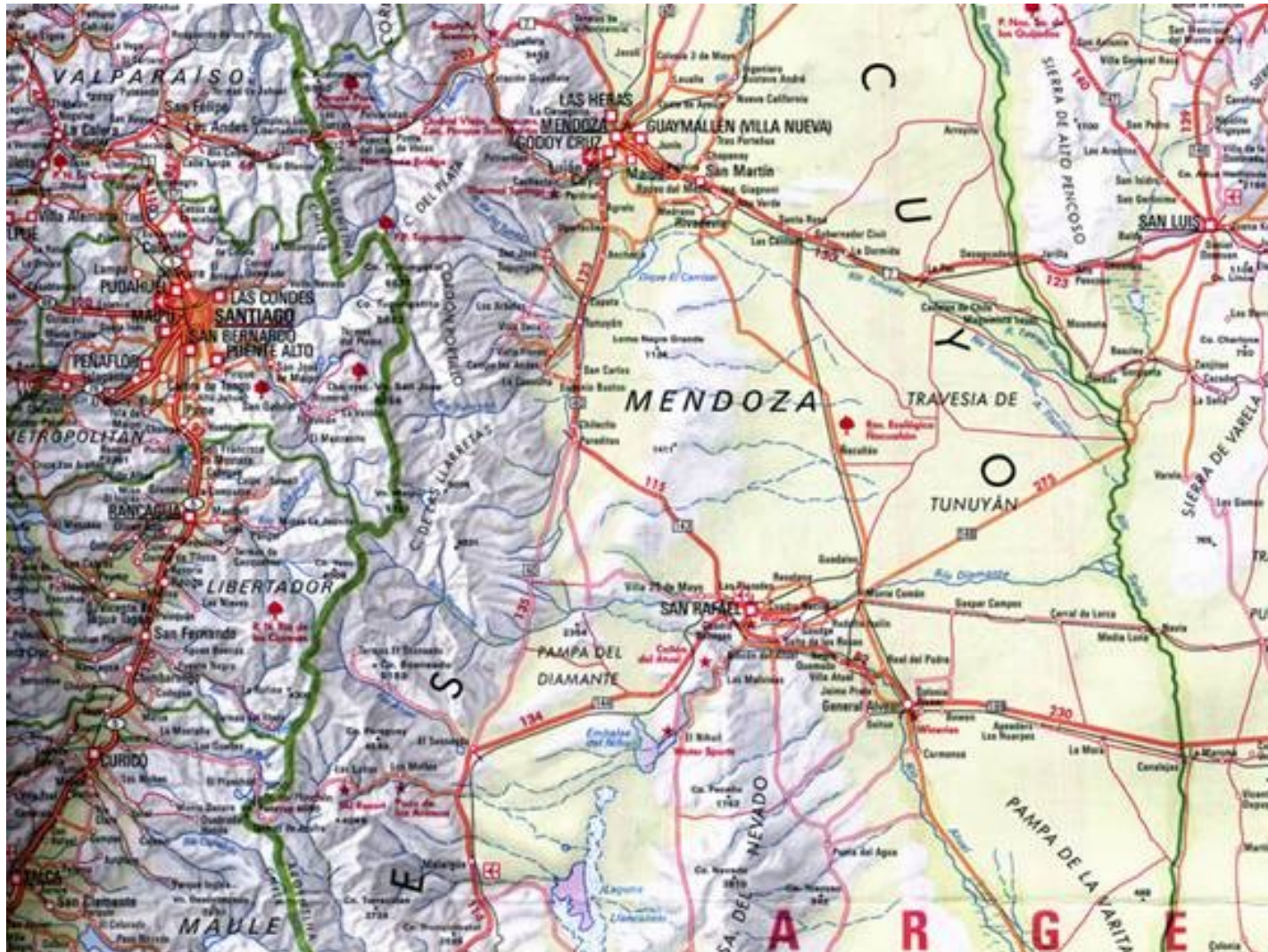
2 ve finále!

Let z Evropy do Argentiny vede přes Andy (Aconcagua)



100 let kosmického záření

Observatoř pro výzkum kosmického záření v argentinské pampě



100 let kosmického záření

„Hlavní městečko“ PAO - MALARGÜE



100 let kosmického záření

Řídící středisko PAO v Malargüe



100 let kosmického záření

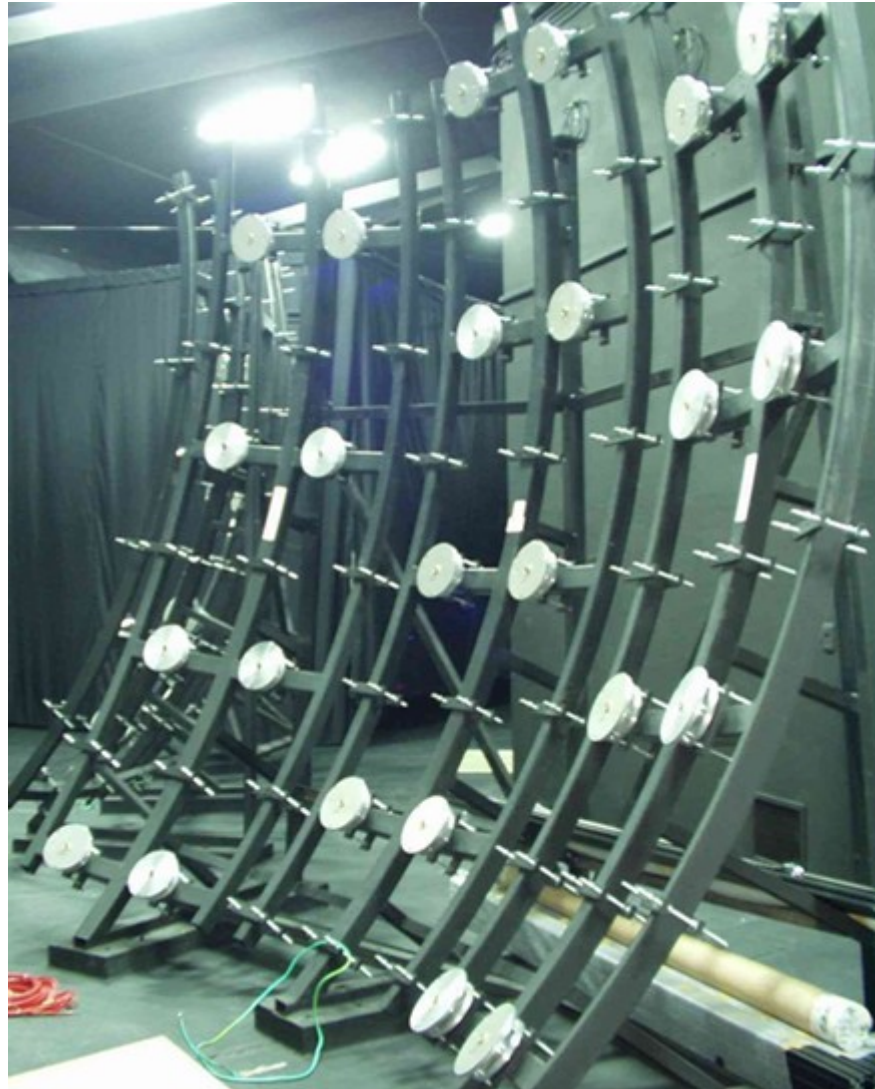
Jim Cronin a duchovní otec české účasti na PAO Jan Řídký v Malargüe



Článek o českých vědcích v mezinárodním projektu PAO v místním tisku (IV 2001)



Kovové kolébky pro zrcadla fluorescenčních detektorů (FZÚ AV ČR)

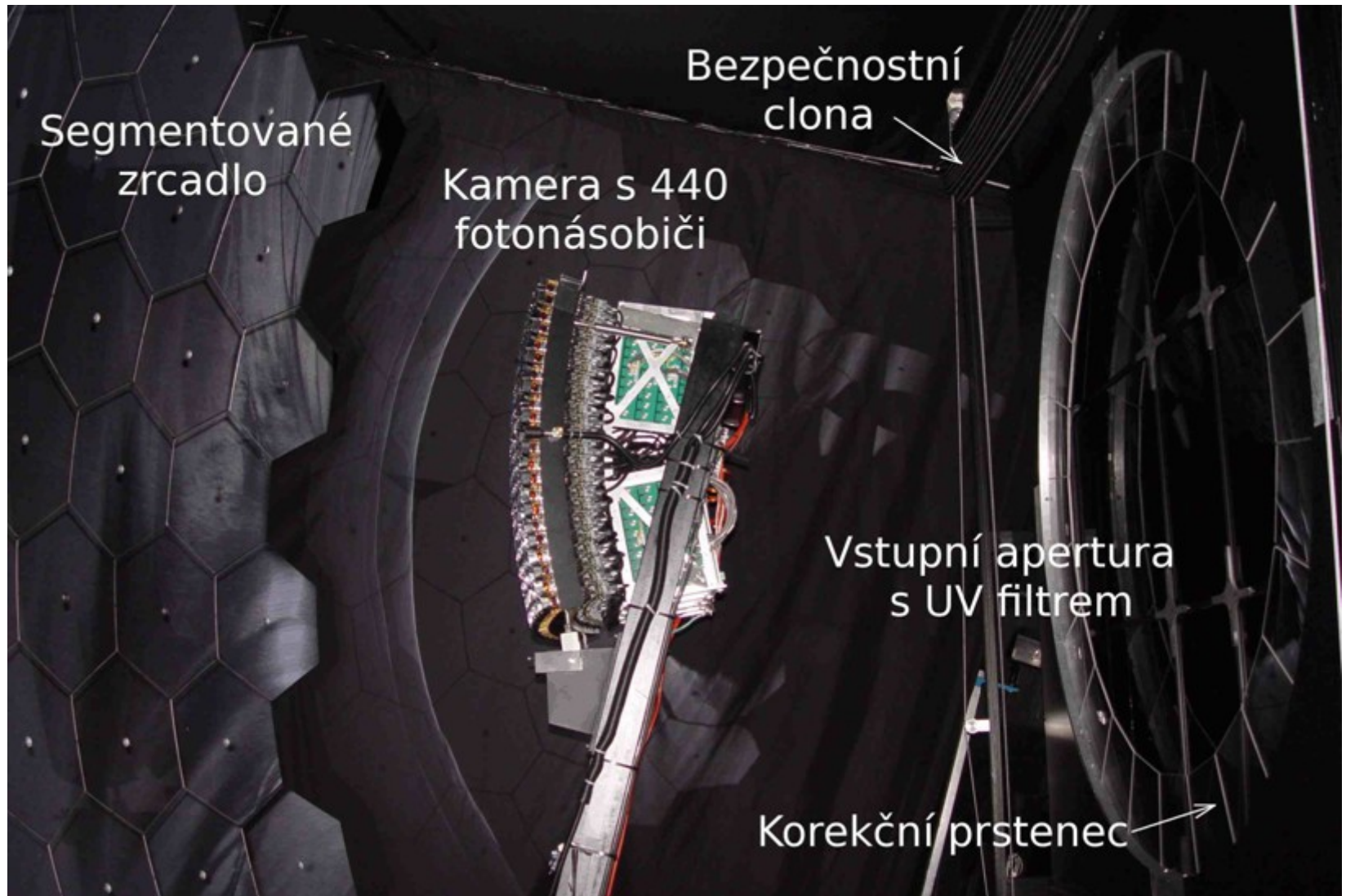


100 let kosmického záření

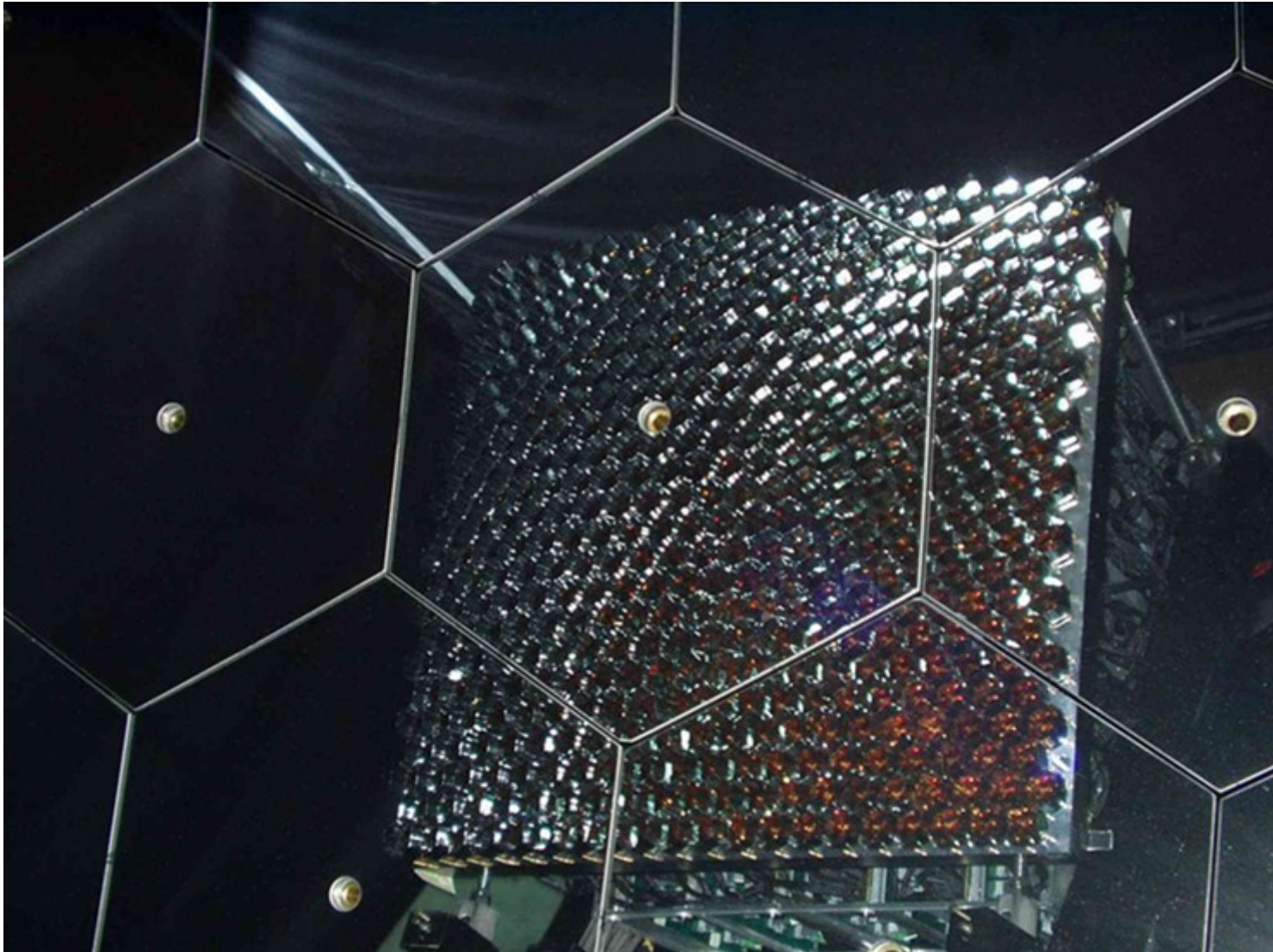
V ohnisku každé kamery PAO se nachází 440 citlivých fotonásobičů



Fluorescenční detektor (CZ)



Ohnisková plocha odrážená v hexagonálních zrcadlech



100 let kosmického záření

První „česká“ stanice pro širokoúhlé kamery spršek kosmického záření v atmosféře

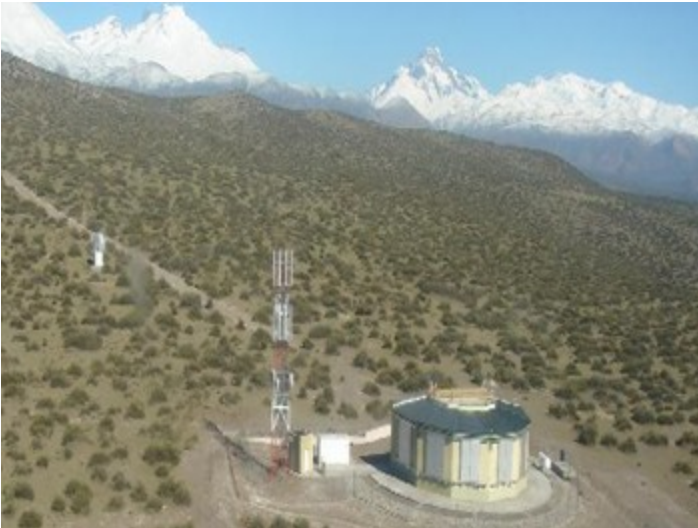


100 let kosmického záření

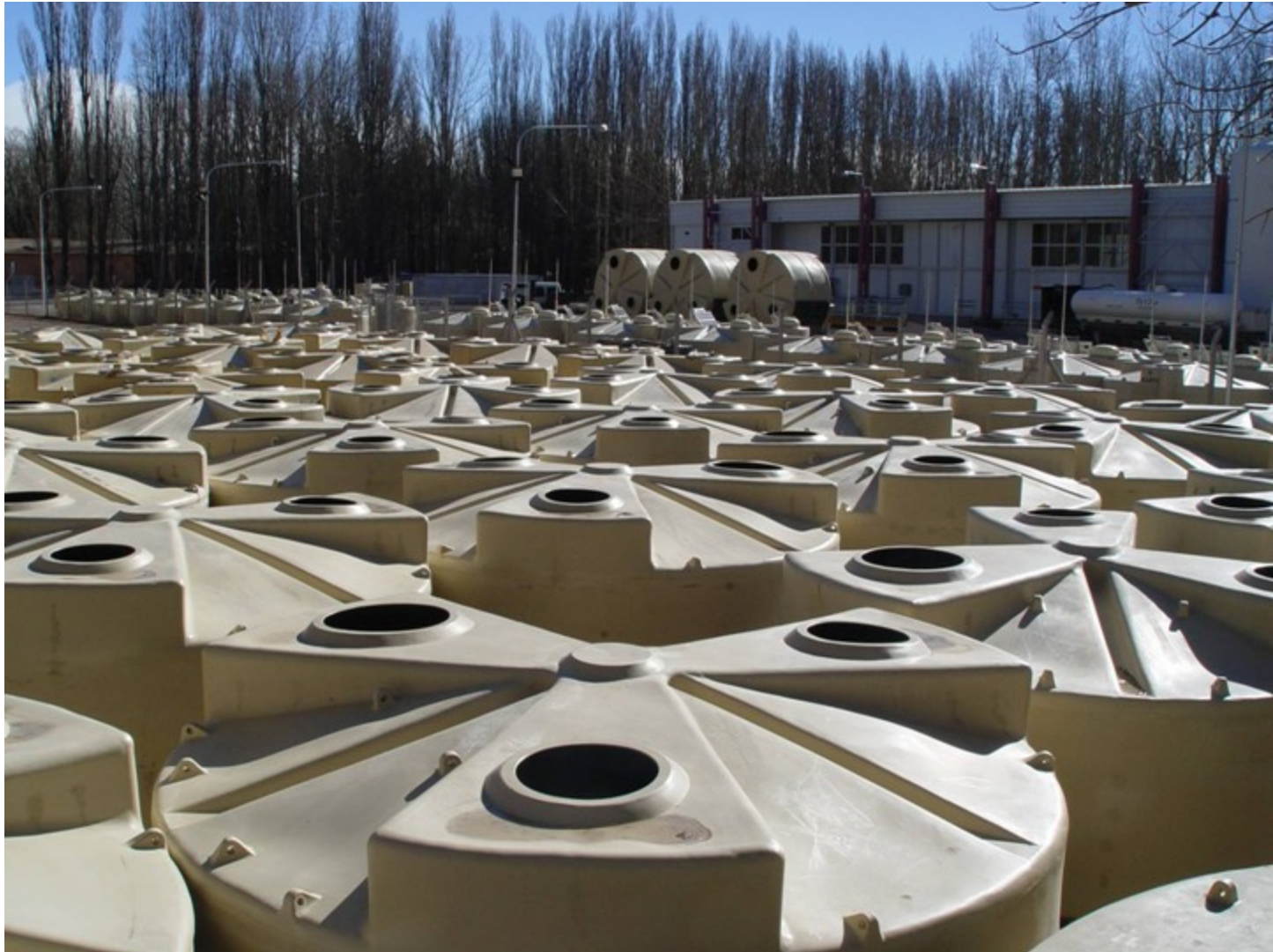
Jasná noc a panorama observatoře *Los Leones* (na panoramatu český robotický teleskop *FRAM*)



Letecké pohledy na observatoře *Coihueco*, *Loma Amarilla*, *Los Leones* a *Los Morados*



Plastové výlisky pozemních detektorů



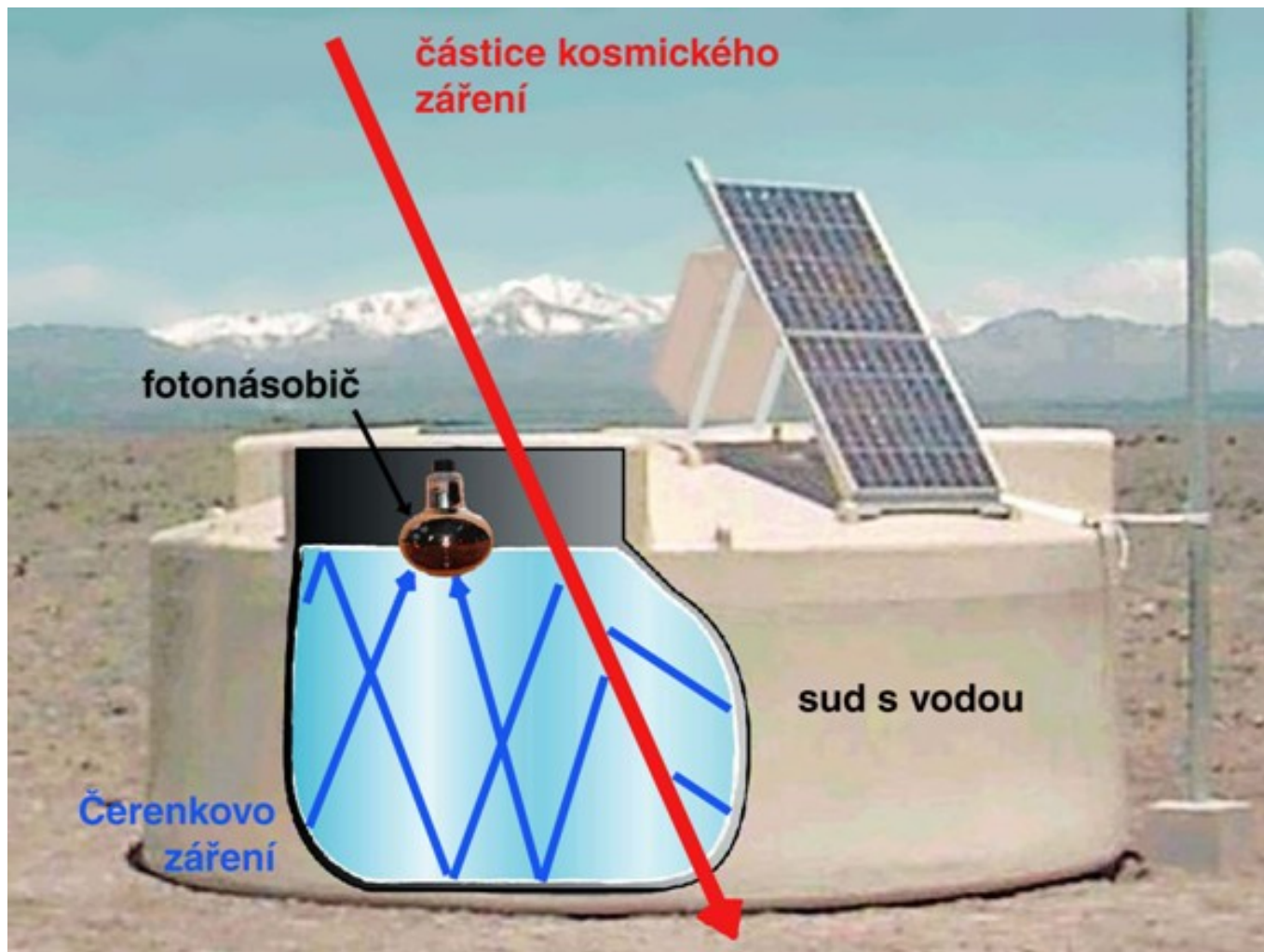
100 let kosmického záření

Ukládání pozemního detektoru v pampě



100 let kosmického záření

Schéma detekce částice sekundárního kosmického záření pozemním detektorem

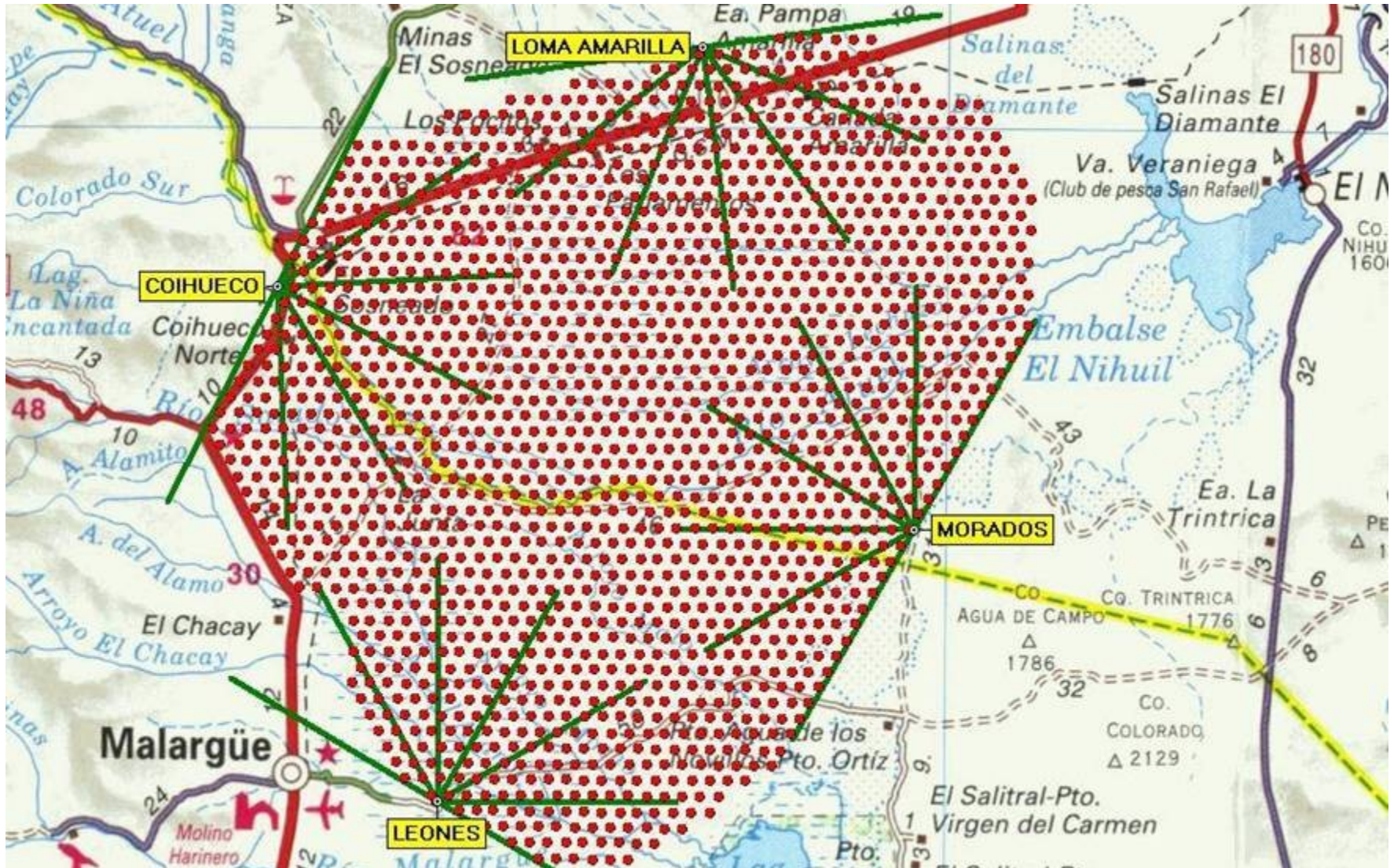


100 let kosmického záření

Instalace prvního (únor 2001) a posledního (červen 2008) pozemního detektoru PAO v pampě



Rozložení pozemních i fluorescenčních detektorů v pampě

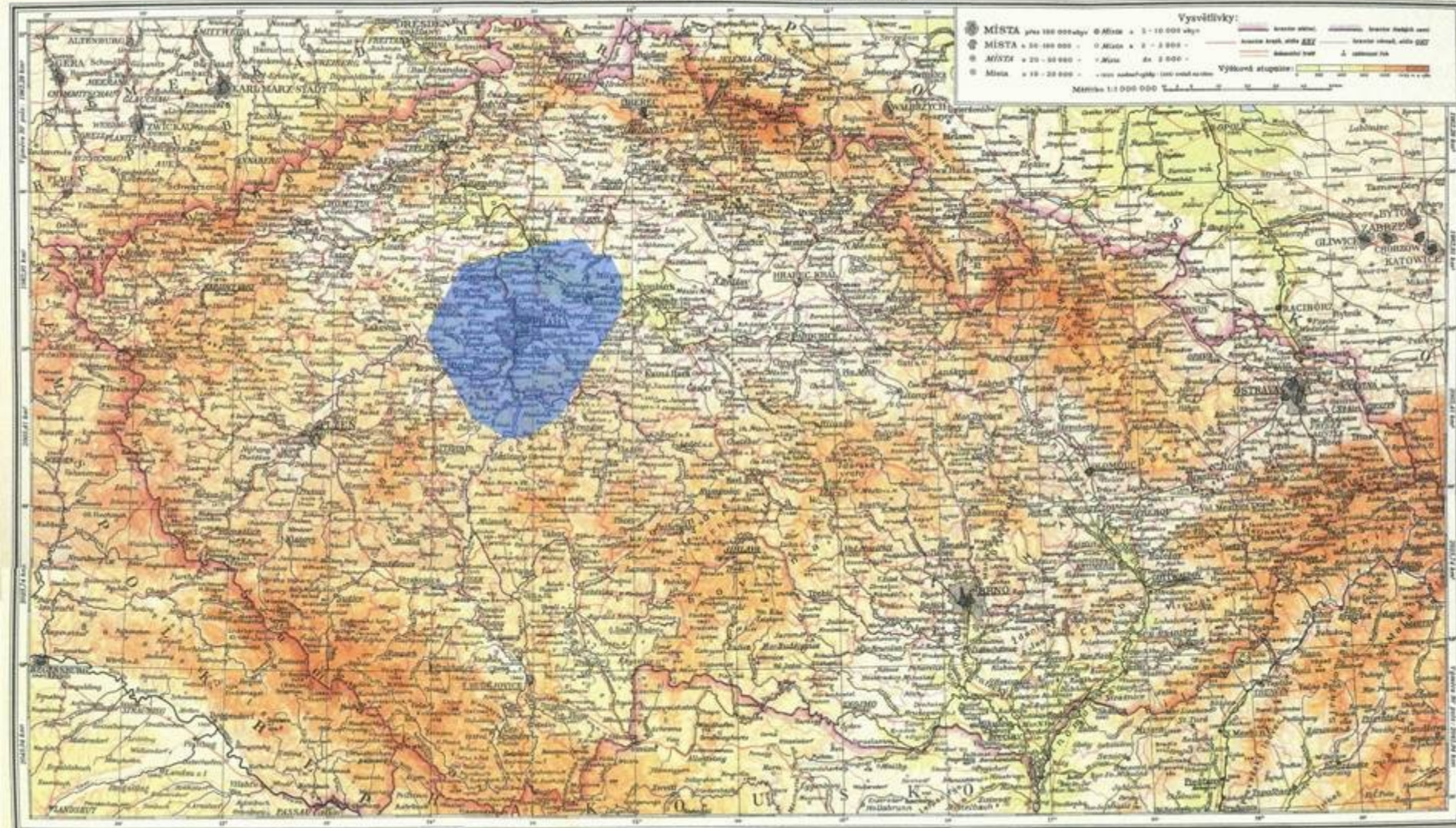


100 let kosmického záření

Plocha PAO na mapě Česka

ČESKOSLOVENSKÁ REPUBLIKA I. ČESKÉ ZEMĚ

Čís. 5



Mapa Československa z roku 1907

Trojice komor HEAT na observatoři Coihueco



100 let kosmického záření

Anténa pro rádiovou detekci spršek a pozemní detektor. V pozadí observatoř Coihueco (FD + HEAT)



Řídící centrum PAO v Malargüe



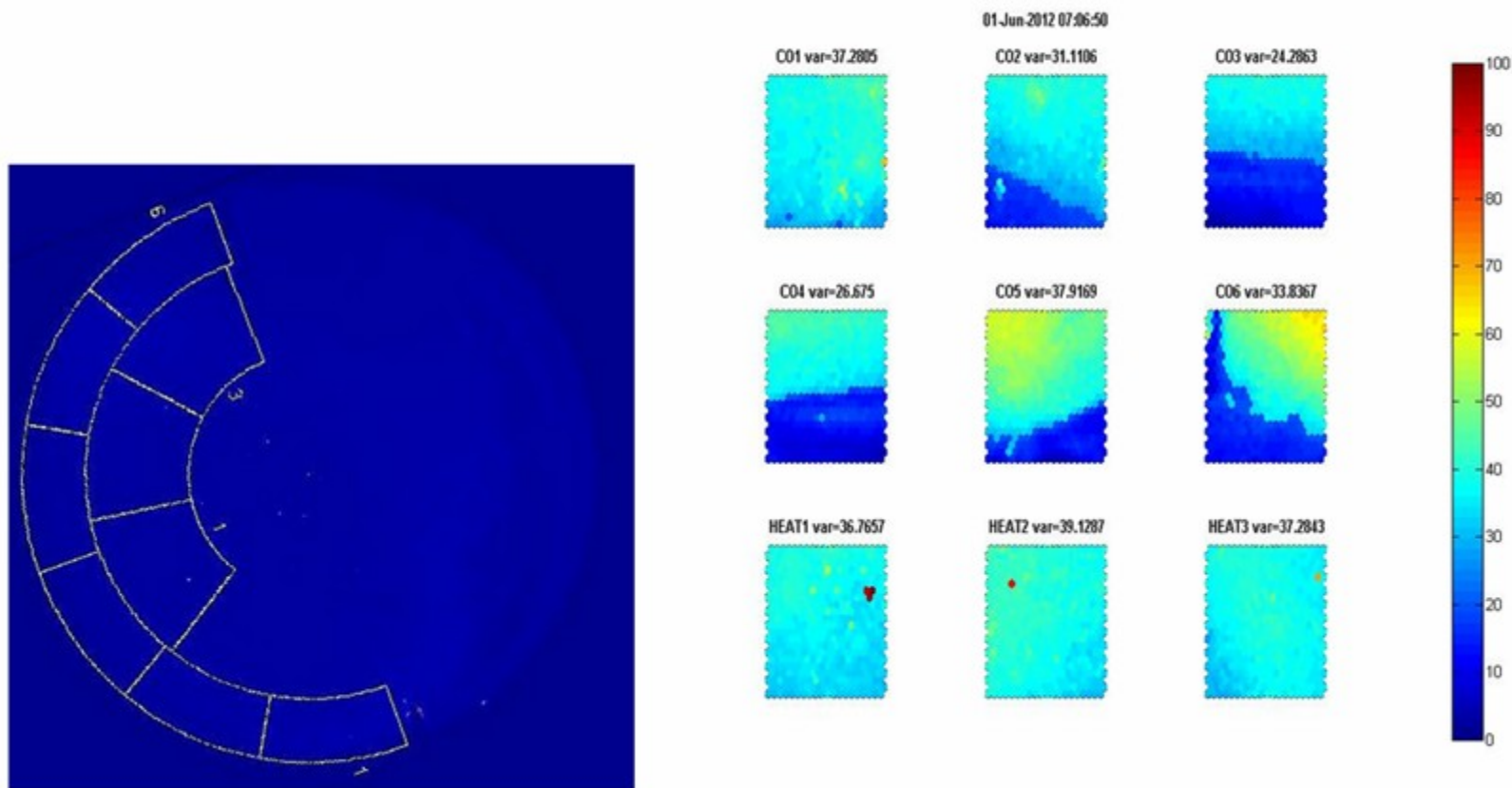
100 let kosmického záření

Řídící pult PAO pro kamery (27) a lidary (6)

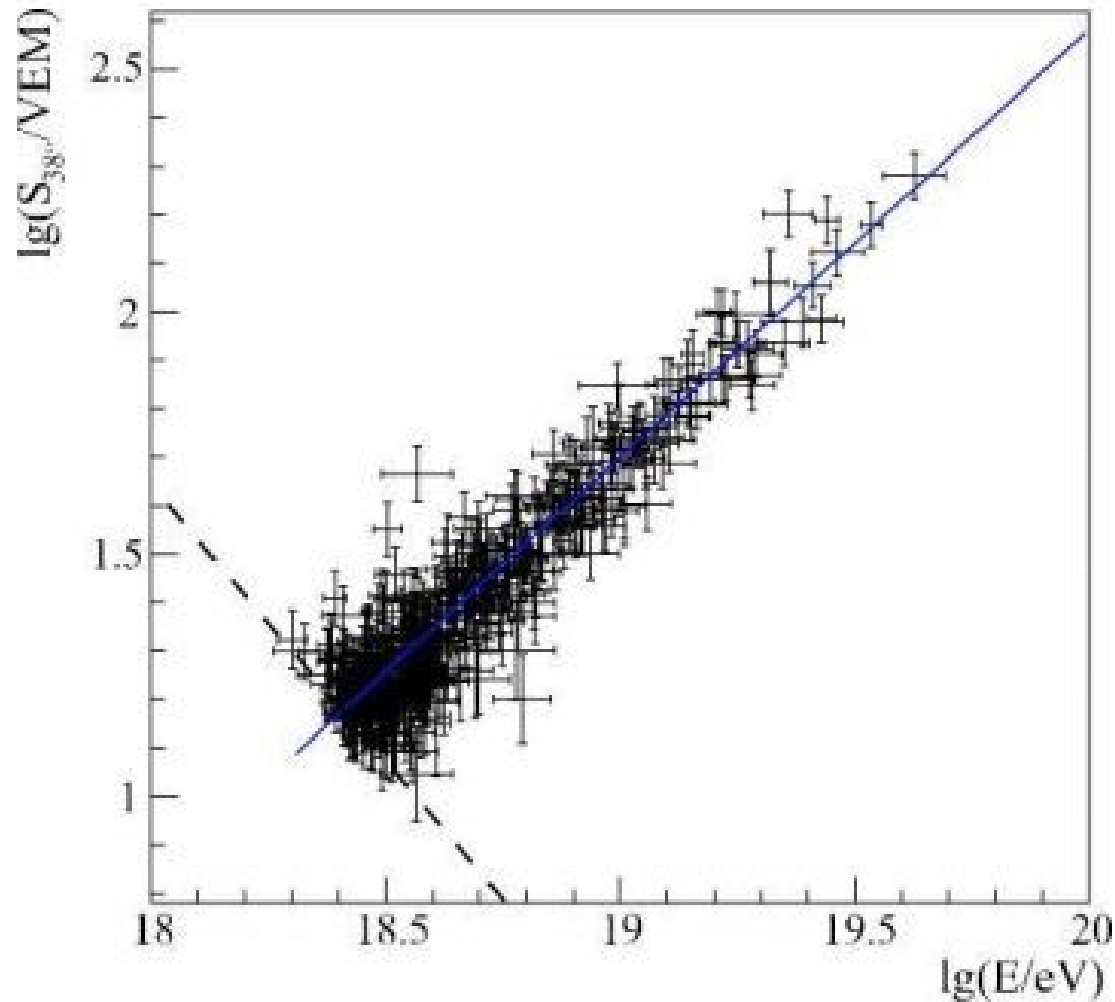


Celooblohová kamera (SLO Olomouc) na observatoři Coihueco

Full Sky Background Camera - Coihueco and HEAT(UP position)

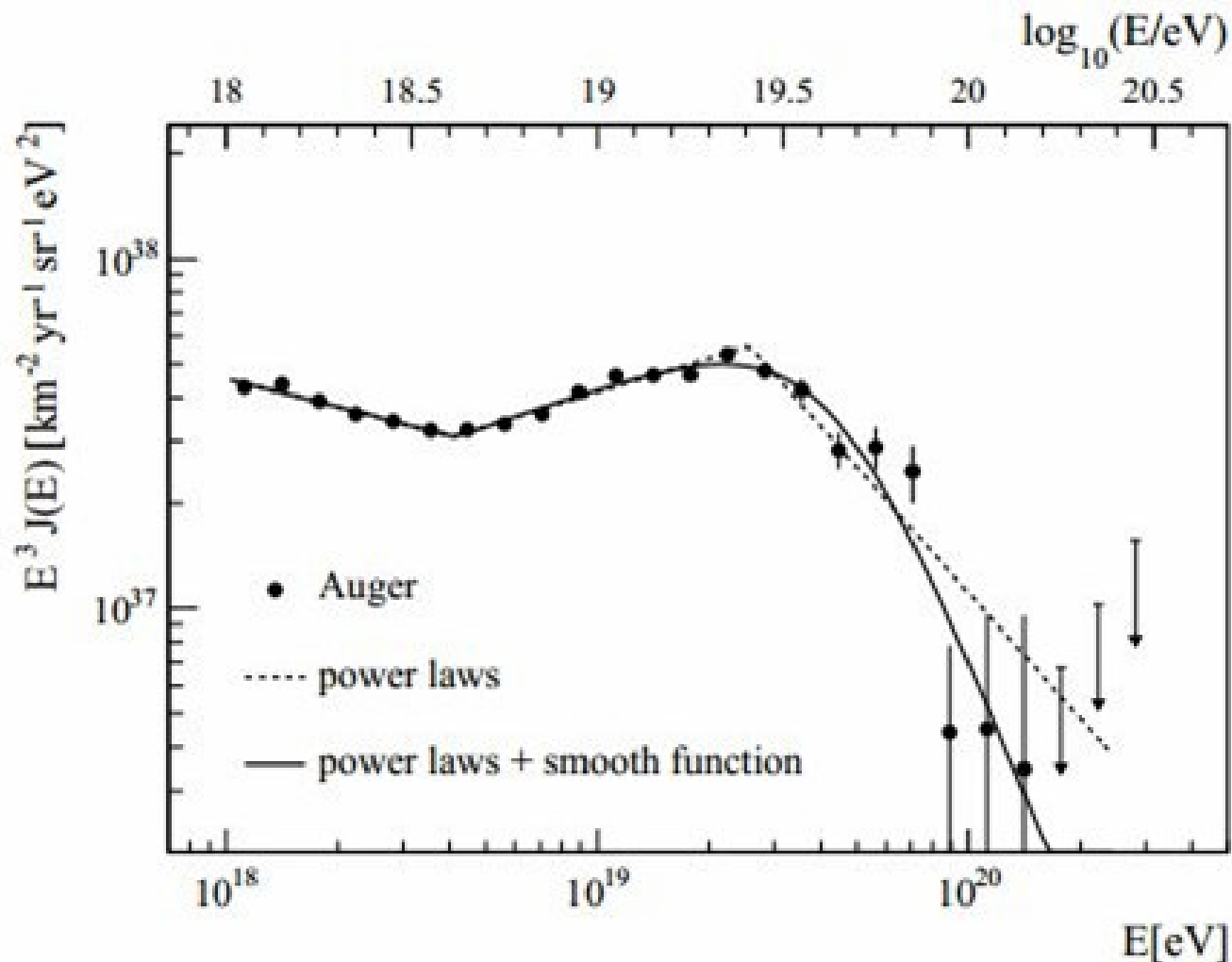


Kalibrace energií spršek pozemních detektorů pomocí dat z fluorescenčních detektorů

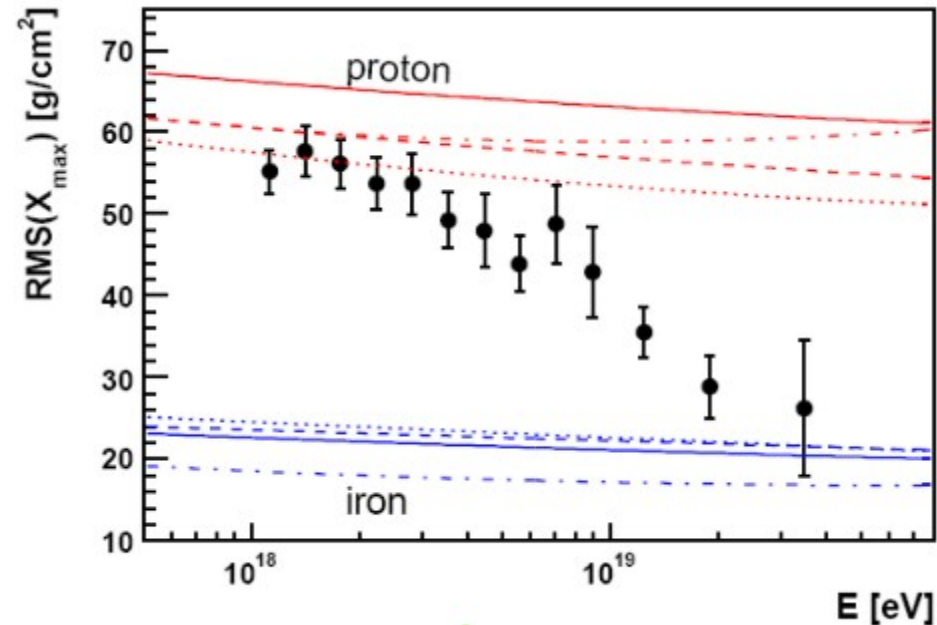
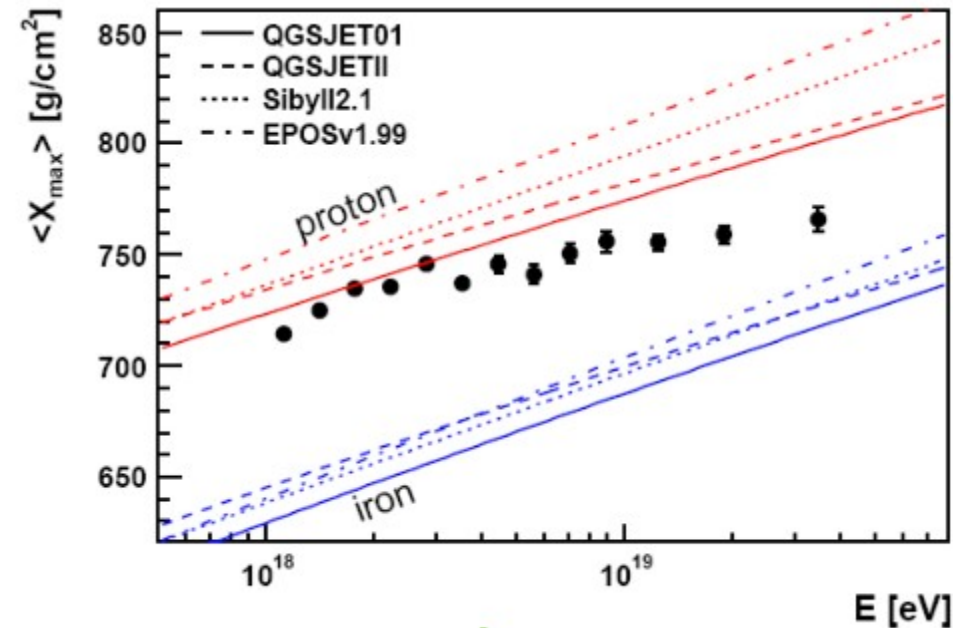


Pokles toku kosmického záření nejvyšších energií

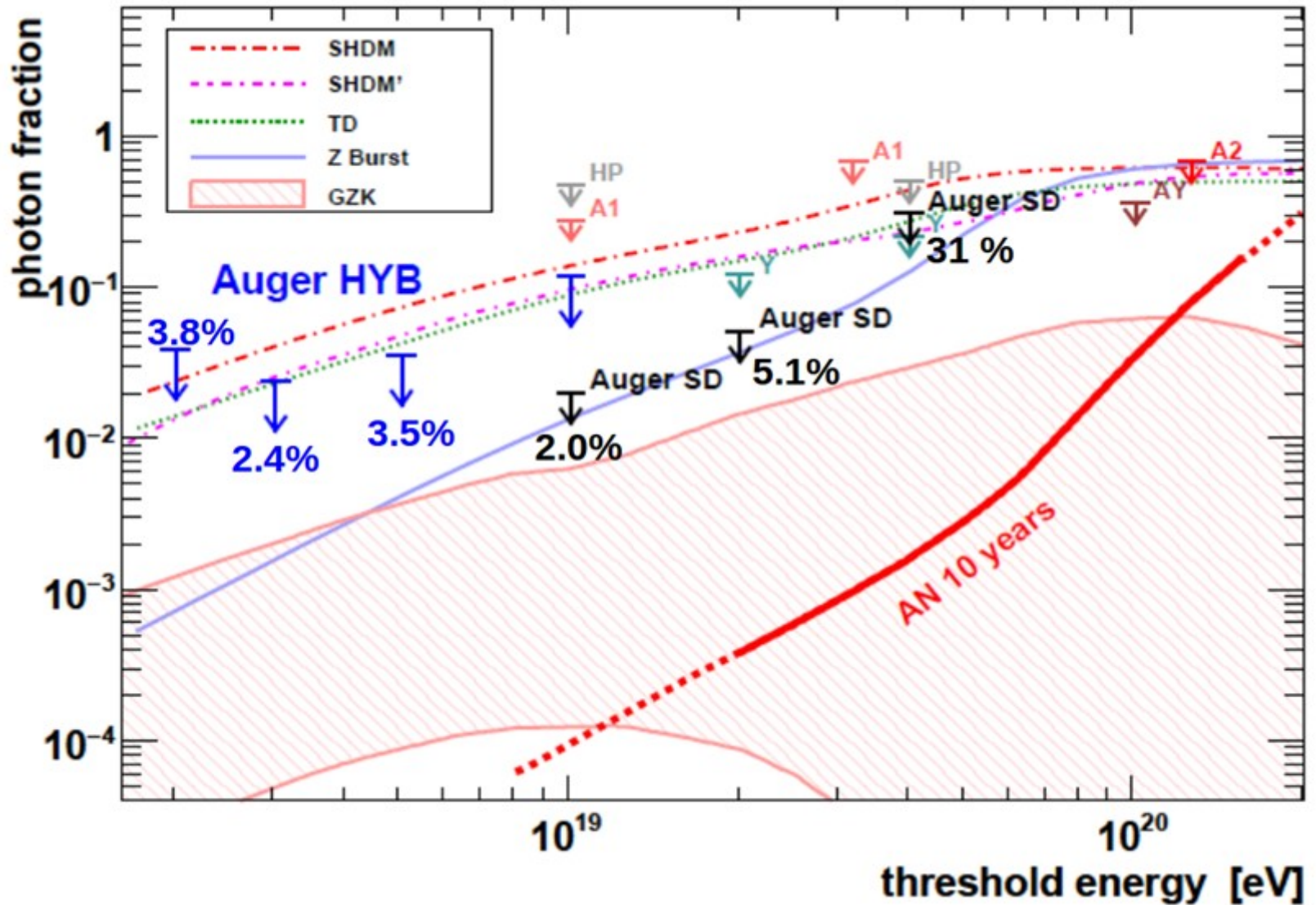
F. SALAMIDA *et al.* AUGER ENERGY SPECTRUM



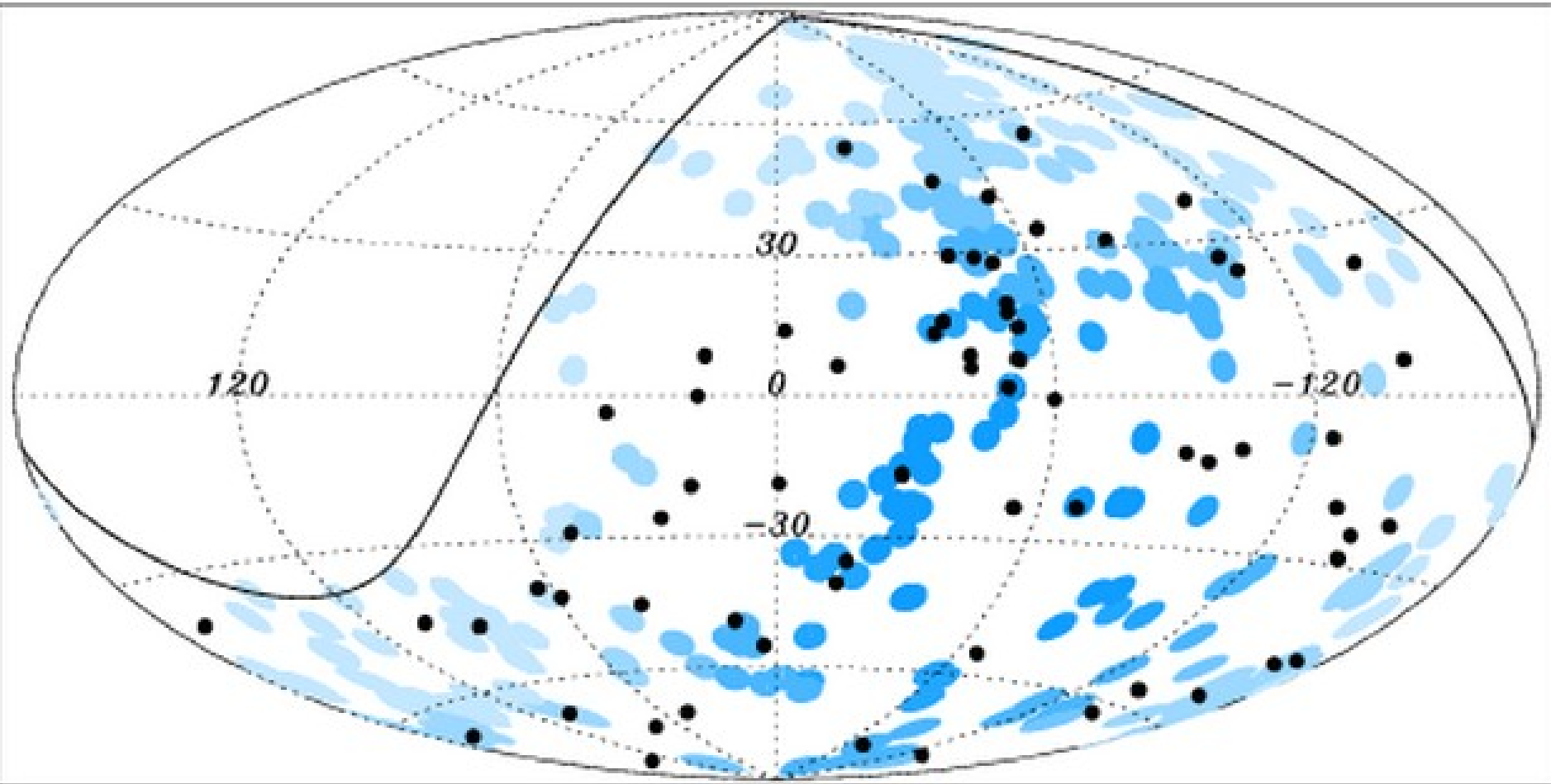
Podíl těžších jader v kosmickém záření ultravysokých energií



Horní mez zastoupení fotonů v KZ



Anizotropní rozdělení UHE částic kosmického záření vůči galaxiím typu AGN do vzdálenosti 75 Mpc od Země



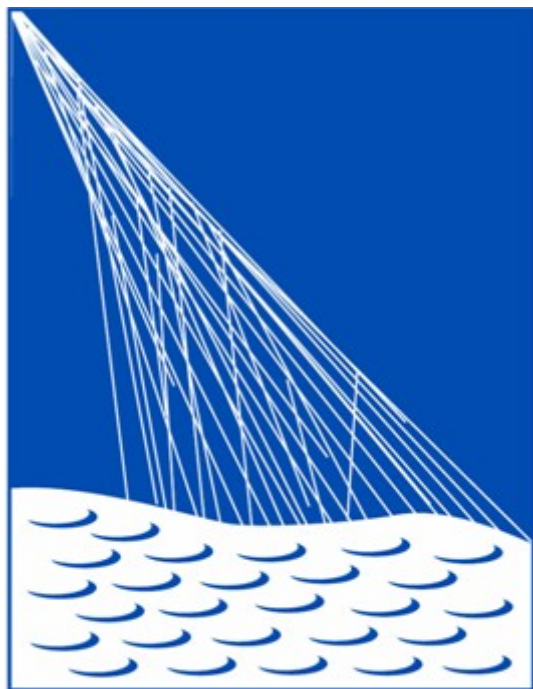
69 částic ≥ 55 EeV (2004-2009); 21% oblohy; 318 AGN $\varnothing 6,2^\circ$

Každoroční obhajoba projektu před komisí MŠMT (projekt INGO)



100 let kosmického záření

PAO logo a poštovní známka (Argentina, 2007)



PIERRE
AUGER
OBSERVATORY





Jižní obloha - Mléčná dráha v Lodním kýlu (foto *J. Ebr*)

Česká účast v projektu PAO

Tým Fyzikálního ústavu AV ČR pod vedením
Prof. Jana Řídkého

Tým Společné laboratoře optiky UP a FZÚ AV ČR
pod vedením *Prof. Miroslava Hrabovského*

Tým Ústavu částicové a jaderné fyziky MFF UK
pod vedením *Dr. Dalibora Noska*

Financování: Granty Ministerstva školství,
mládeže a tělovýchovy a Grantové agentury AV ČR

Webové stránky:

www.auger.org

www.hep2.fzu.cz/Auger/cz/index.html

KONEC

© Učená společnost ČR

MMXIV