Monitorovanie kozmického počasia na observatóriu Lomnický štít

Kolektív pracovníkov

Ústav experimentálnej fyziky SAV, Košice, pracovisko Lomnický štít

Obsah

- kozmické žiarenie
- pozorovanie kozmického žiarenia na zemi
- neutrónové monitory
- SEVAN
- zaujímavosti

Objavenie kozmického žiarenia

- KZ objavil v roku 1912 Victor Franz Hess na základe meraní vykonaných s pomocou teplovzdušného balónu
- dobové vysvetlenie
  - ionizujúce žiarenie dopadá na Zem z vonkajšieho vesmíru
  - variácia medzi dňom a nocou nebola vtedajšími prístrojmi pozorovateľná
- Jacob Clay - začiatkom 30. rokov vyslovil na základe svojich meraní počas plavby loďou z Indonézie (Jáva) do Holandska predpoklad, že kozmické žiarenie je do značnej miery zložené z nabitých častíc

Victor Franz Hess in balloon
Picture credits:
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Hessballon.jpg

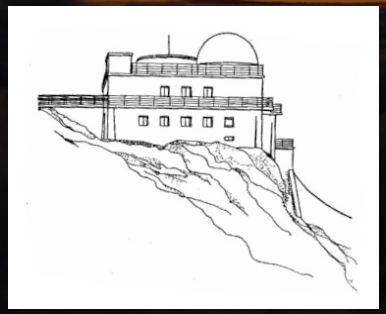
Objavenie kozmického žiarenia

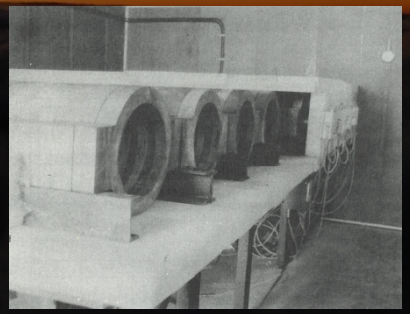
- z výsledkov meraní vykonaných s pomocou ionizačných komôr na rozličných miestach Zeme zostrojili v roku 1936 intenzity kozmického žiarenia, ktoré boli veľmi podobné izočiaram horizontálnej zložky geomagnetického poľa
- v 1935 zistil T. H. Johnson na základe východozápadnej asymetrie, že dopadajúce častice sú kladne nabité
- polovica 30. rokoch 20. storočia - Forbush pozoroval prvýkrát tzv. Forbushovský pokles

Arthur Compton with cosmic ray monitoring equipment, 1932.
Picture credits: https://www.sciencehistory.org/distillations/cosmic-rays-william-laurence-robert-millikan-arthur-compton

Začiatky výskumu KZ v Československu

- začiatok výskumu kozmického žiarenia v Československu sa datuje na obdobie po skončení druhej svetovej vojny
- prof. Petržílka - pomocou jadrových emulzií určil na Lomnickom štíte životnú dobu μ-mezónu ($\tau = 2.4 \pm 0.3 \times 10^{-6}$ s)
- od roku 1958 sa laboratórium na Lomnickom štíte zapojilo do štúdia KZ v rámci medzinárodného fyzikálneho roku
- supermonitor na pozorovanie nukleónovej zložky intenzity kozmického žiarenia

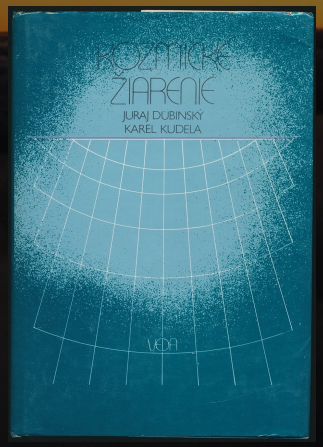




Sketch of the Lomnický štít observatory and construction of neutron monitor at the observatory
Picture credits: Dubinský J., Kudela K.: Kozmické žiarenie, VEDA - vydavteľstvo Slovenskej akadémie vied, 1984, Bratislava

Začiatky výskumu KZ v Československu

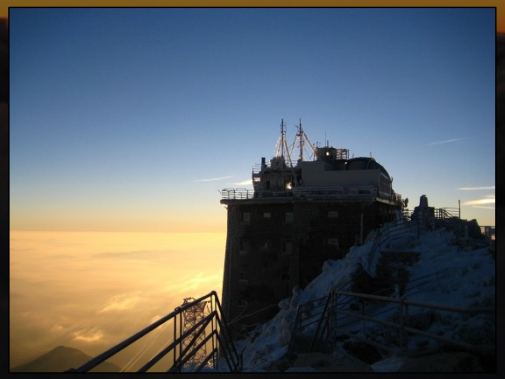
- prof. Václav Petržílka (*20. 03. 1905 - †09. 07. 1976)
- akademik František Běhounek (*28. 10. 1898 - †01. 01. 1973)
  - v roku 1928 bol ako špecialista na kozmické žiarenie členom posádky vzducholode Italia Umberta Nobileho - kniha „Stroskotanci na ľadovej kryhe“
- prof. Juraj Dubinský (*12. 06. 1914 – †22. 11. 1994)
- prof. Karel Kudela (*05. 09. 1946 – †20. 01. 2019)
  - monografia Kozmické žiarenie z roku 1984

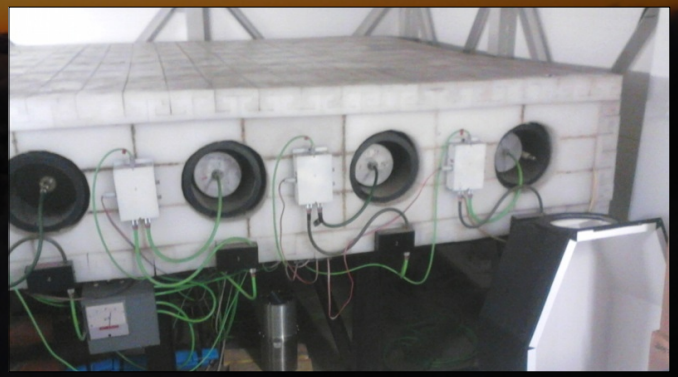


Picture credits: Prof. Ing. Karel Kudela DrSc. pri práci. Zdroj OKF ÚEF SAV https://kozmonautika.sk/2019/01/23/karel-kudela/

Observatórium na LŠ

- stavba vrcholovej stanice visutej lanovky na Lomnickom štíte začala v roku 1936 a bola dokončená v roku 1940 (21/10/1940)
- 1954 - 1955 bola v pôvodnej starej budove zriadená miestnosť na experimenty spojené s meraním kozmického žiarenia
- stavba observatória, pôvodne pre Wilsonovu hmlovú komoru, bola zahájená v rámci Medzinárodného geofyzikálneho roku 1957 a trvala 5 rokov (1957-1962)
- neutrónový monitor typu NM64 je v prevádzke od roku 1981





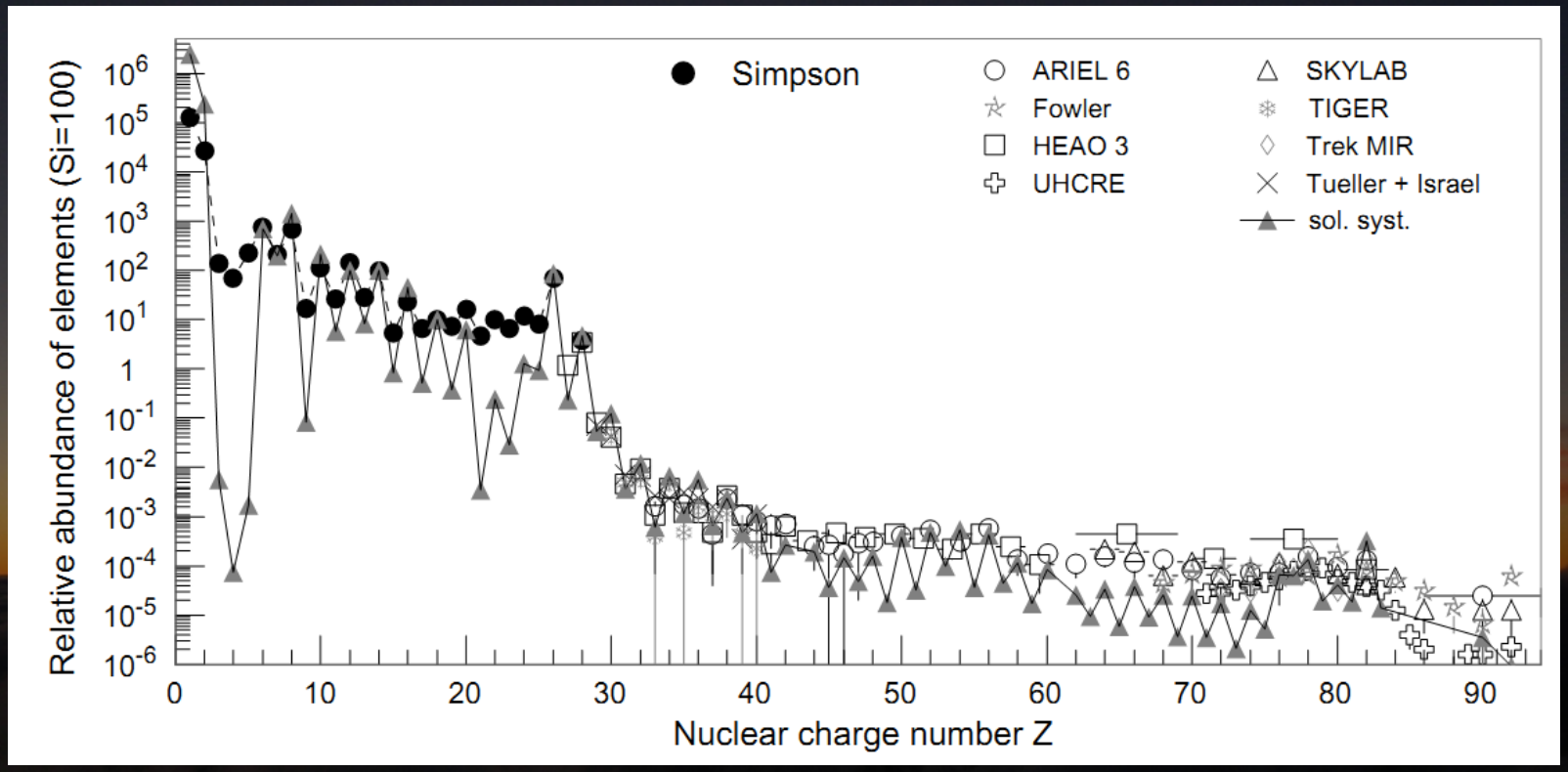
Kozmické žiarenie

- Galaktické kozmické žiarenie
  - nabité častice, ktoré prichádzajú z oblastí mimo náš solárny systém
- Radiačné pásy zeme
  - nabité častice zachytené v geomagnetickom poli Zeme
- Solárne energetické častice
  - energetické častice emitované zo Slnka počas slnečných udalostí
- Albedo neutróny a protóny
  - nízkoenergetické primárne a sekundárne častice kozmického žiarenia odrazené od zemskej atmosféry do vesmíru

Galaktické kozmické žiarenie (GCR)

- predpokladá sa, že je izotropné naprieč medzihviezdnym priestorom
- energie častí dosahujú hodnôt až 10^{21} MeV
- v rámci slnečného systému má spektrum GCR maximum v oblasti energií 1 GeV
- je tvorené z 98% baryónmi (87% protóny, 12% He, 1% ostatné ióny) a z 2% elektrónmi

Galaktické kozmické žiarenie (GCR)



Relatívne zastúpenie častíc v kozmickom žiarení.
Picture credits: Hörandel, Jörg R. 2008. Cosmic-ray composition and its relation to shock acceleration by supernova remnants. In Advances in space research, Volume 41, Issue 3, 2008, Pages 442–463.

Galaktické kozmické žiarenie (GCR)

- tok častíc s energiou pod 1 GeV je značne ovplyvnený 11 ročným slnečným cyklom v dôsledku interakcií so solárnym vetrom emitovaným slnkom
- zníženie toku a zmena v jeho spektre je najvýraznejšia počas obdobia slnečného maxima a najnižšia počas obdobia slnečného minima
- okrem slnečnej aktivity je tok častíc kozmického žiarenia na Zemi výrazne ovplyvnený aj magnetickým poľom Zeme
- vertikálna rigidita - vyjadruje minimálnu energiu častice, ktorá je potrebná, aby častica prenikla tieneným indukovaným geomagnetickým poľom

Galaktické kozmické žiarenie (GCR)

- Aj keď častíc KŽ je málo, hustota energie KŽ je v našej galaxii (1 eV/cm^3) porovnateľná s hustotou energie
  - svetla hviezd,
  - medzihviezdnych magnetických polí
  - medzihviezdneho plynu (turbulencie).
- Vzájomné pôsobenie KŽ a magnetických polí ovplyvňuje evolúciu galaxií
- KŽ tvorí “druhý kanál informácie” o kozmofyzikálnych procesoch ku astronomickým/astrofyzikálnym pozorovaniam fotónov (zmeny pri prechode prostredím od zdroja k detektoru).

Galaktické kozmické žiarenie (GCR)

- Príklad:
  - Hmotnosť tenisovej lopty je 56 g. Určite, akou rýchlosťou sa bude pohybovať, ak bude mať kinetickú energiu rovnakú ako má jediná častica kozmického žiarenia (protón) s energiou 10^{20} eV.

?

Galaktické kozmické žiarenie (GCR)

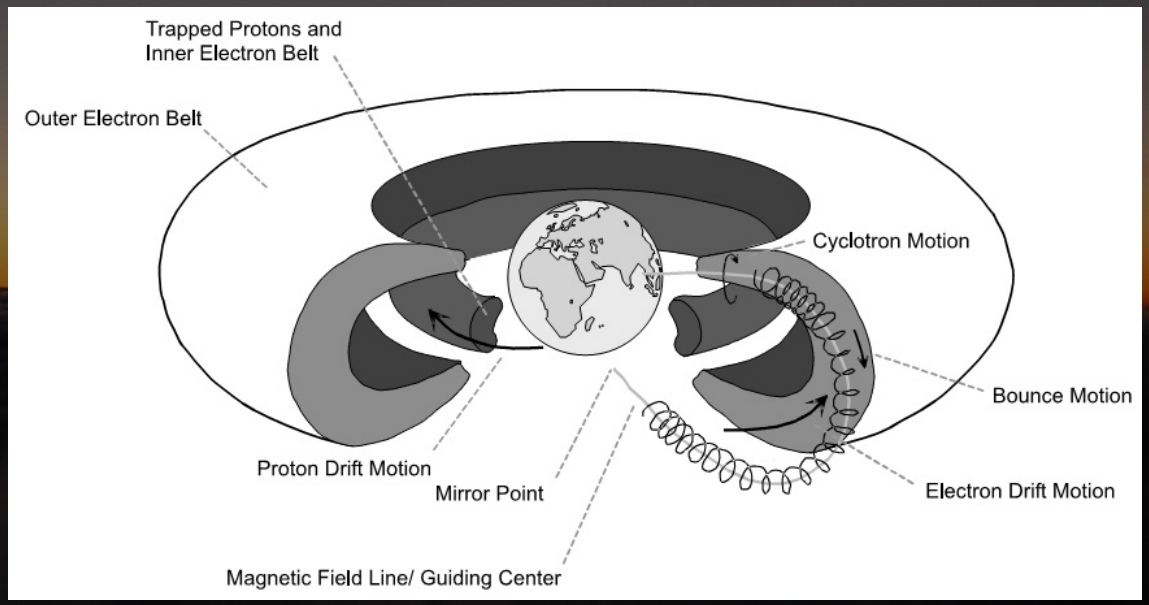
- Príklad:

  Hmotnosť tenisovej lopty je 56 g. Určite, akou rýchlosťou sa bude pohybovať, ak bude mať kinetickú energiu rovnakú ako má jediná častica kozmického žiarenia (protón) s energiou 10^{20} eV.

  - $E_K = (mv^2)/2$
  - $T_K = 10^{20}$ eV = 10J
  - $mv^2 = 2T_K$
  - $v = \sqrt{(2T_k / m)} = \sqrt{(20/56)} = 0.6$ m/s

Radiačné pásy Zeme

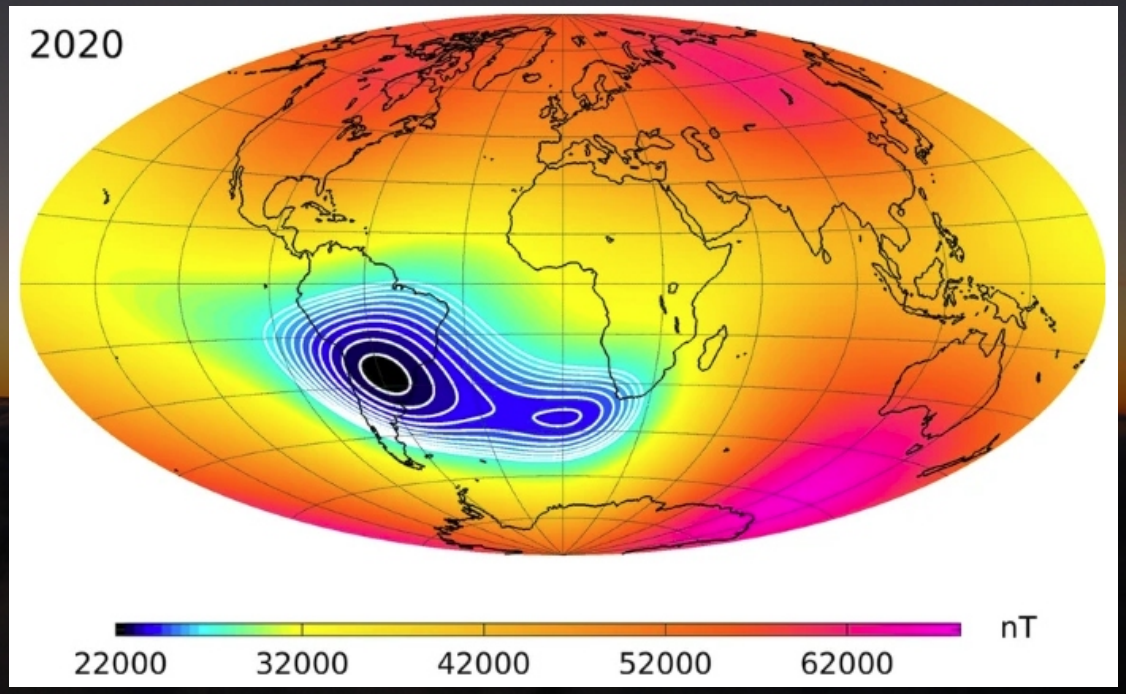
- objavené v roku 1958 s pomocou GM počítača umiestneného na palube družice Explorer
- bolo zistené, že nárast v počte impulzov GM počítača spôsobujú nabité častice zachytené v magnetickom poli Zeme



Van Allen ove radiačné pásy. Picture credits: Benton, E. R. a Benton, E. V. 2001. Space radiation dosimetry in low-Earth orbit and beyond. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 184, Issues 1–2, September 2001, Pages 255–294.

Radiačné pásy Zeme

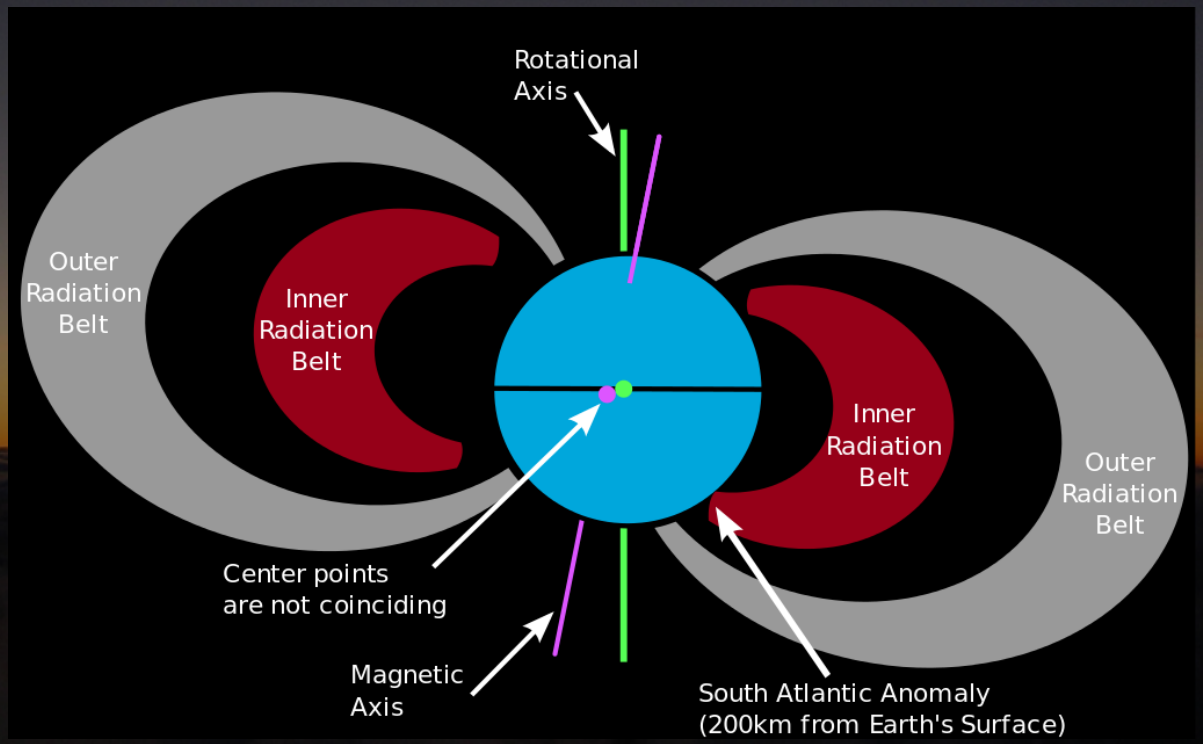
- juhoatlantická anomália - oblasť, v ktorej vnútorný radiačný pás zasahuje do trajektórie kozmických lodí na na nízkej orbite



Field strength of Earth's magnetic field as of 2020, as measured by ESA's SWARM satellite constellation. The SAA is visible over South America, with a second minimum developing over the Atlantic west of South Africa.
Picture credits: https://en.wikipedia.org/wiki/South_Atlantic_Anomaly#/media/File:SAA_2020.png

Radiačné pásy Zeme

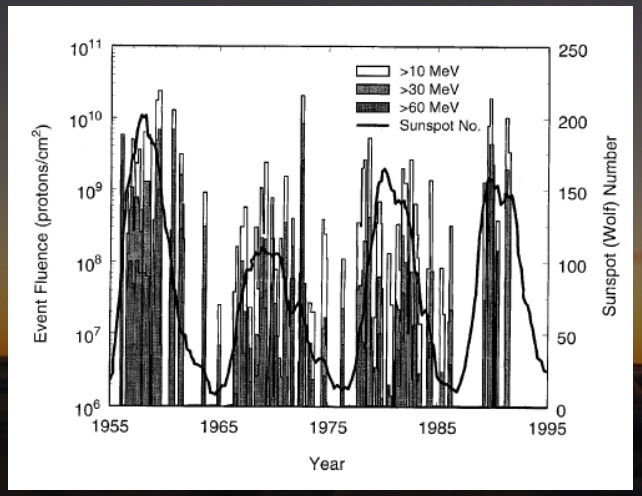
- juhoatlantická anomália - oblasť, v ktorej vnútorný radiačný pás zasahuje do trajektórie kozmických lodí na na nízkej orbite



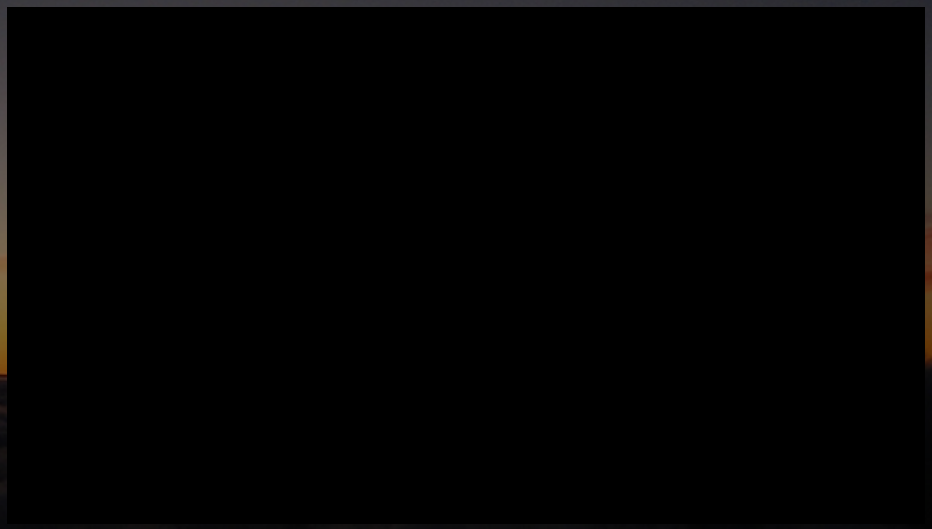
Field strength of Earth's magnetic field as of 2020, as measured by ESA's SWARM satellite constellation. The SAA is visible over South America, with a second minimum developing over the Atlantic west of South Africa.
Picture credits: https://en.wikipedia.org/wiki/South_Atlantic_Anomaly#/media/File:SAA_2020.png

Slnečné udalosti

- energetické častice emitované slnkom, rozlišujú sa slnečné erupcie (SF; solar flares) a výrony koronárnej hmoty (CME; coronal mass ejections)



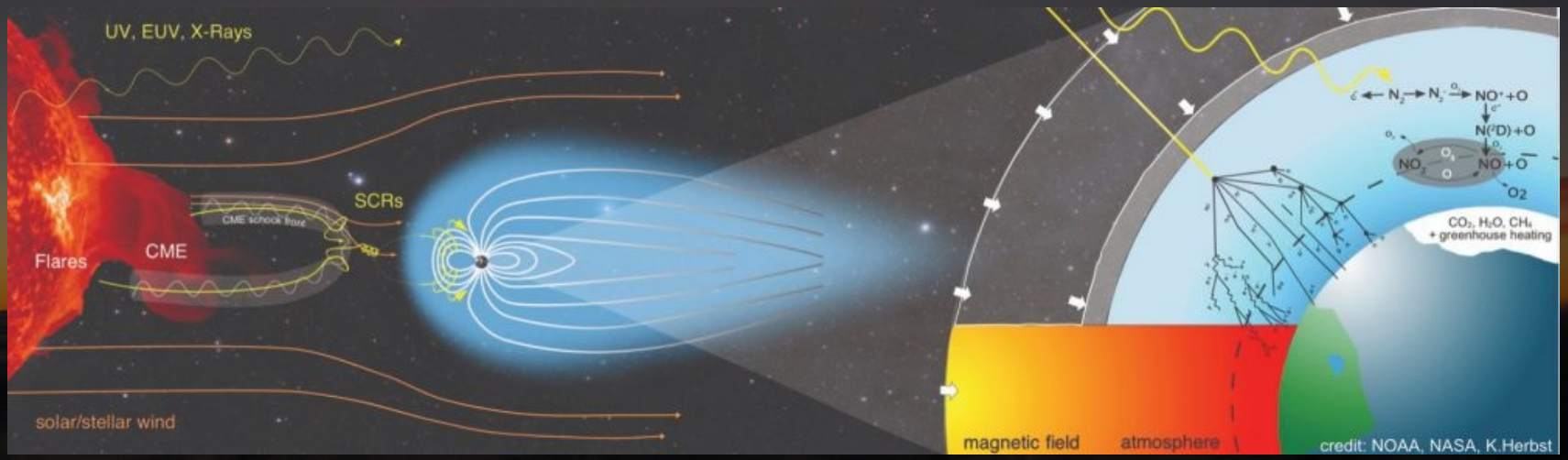
Major SPE during solar cycles from 1955 to 1995
Picture credits:
Benton, E. R. a Benton, E. V. 2001. Space radiation dosimetry in low-Earth orbit and beyond. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 184, Issues 1–2, September 2001, Pages 255–294.



Difference between SF and CME
Picture credits: https://www.youtube.com/watch?v=TWjtYSRlOUI

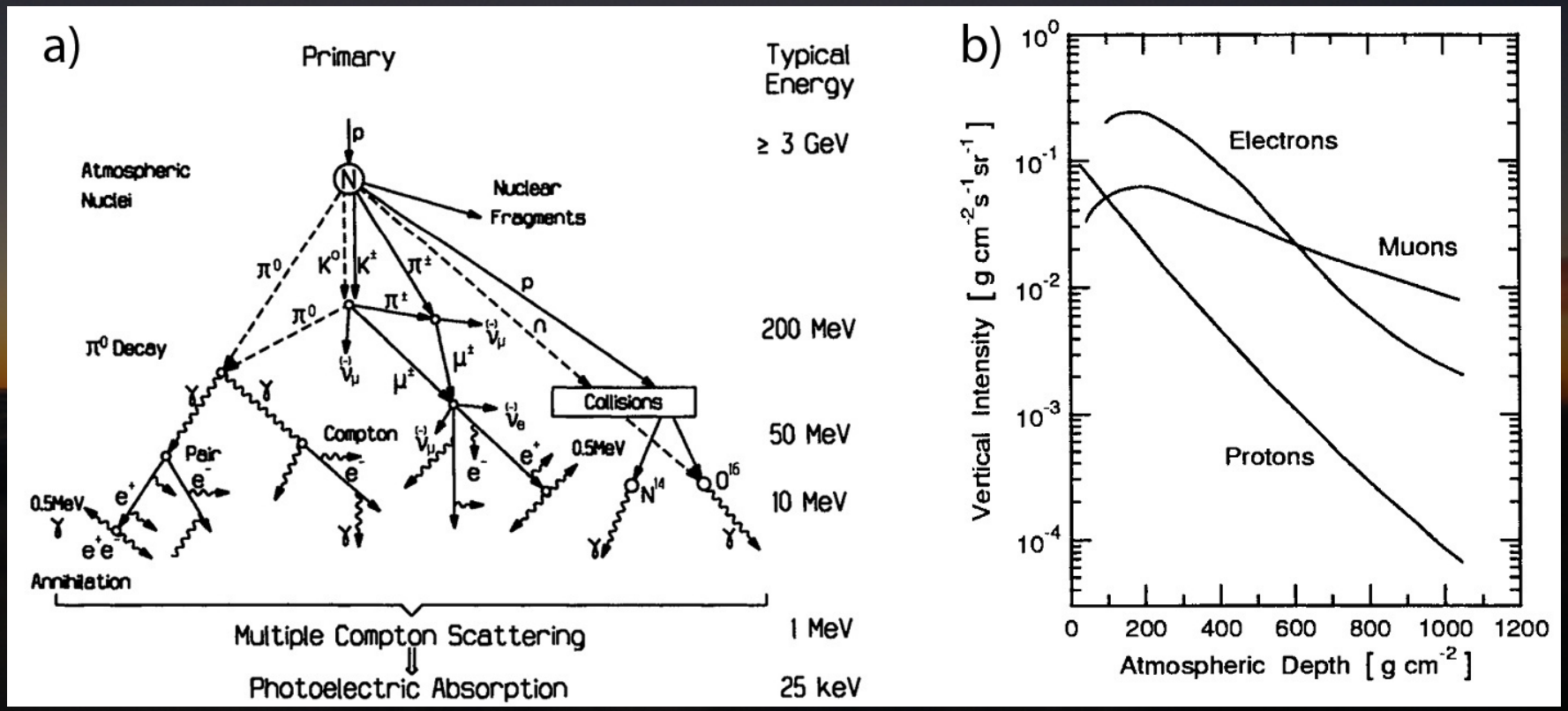
Slnečná modulácia GCR

- magnetické pole nabitých častíc emitovaných počas slnečných udalostí moduluje magnetickým poľom, ktoré generuje, nabité častice GCR



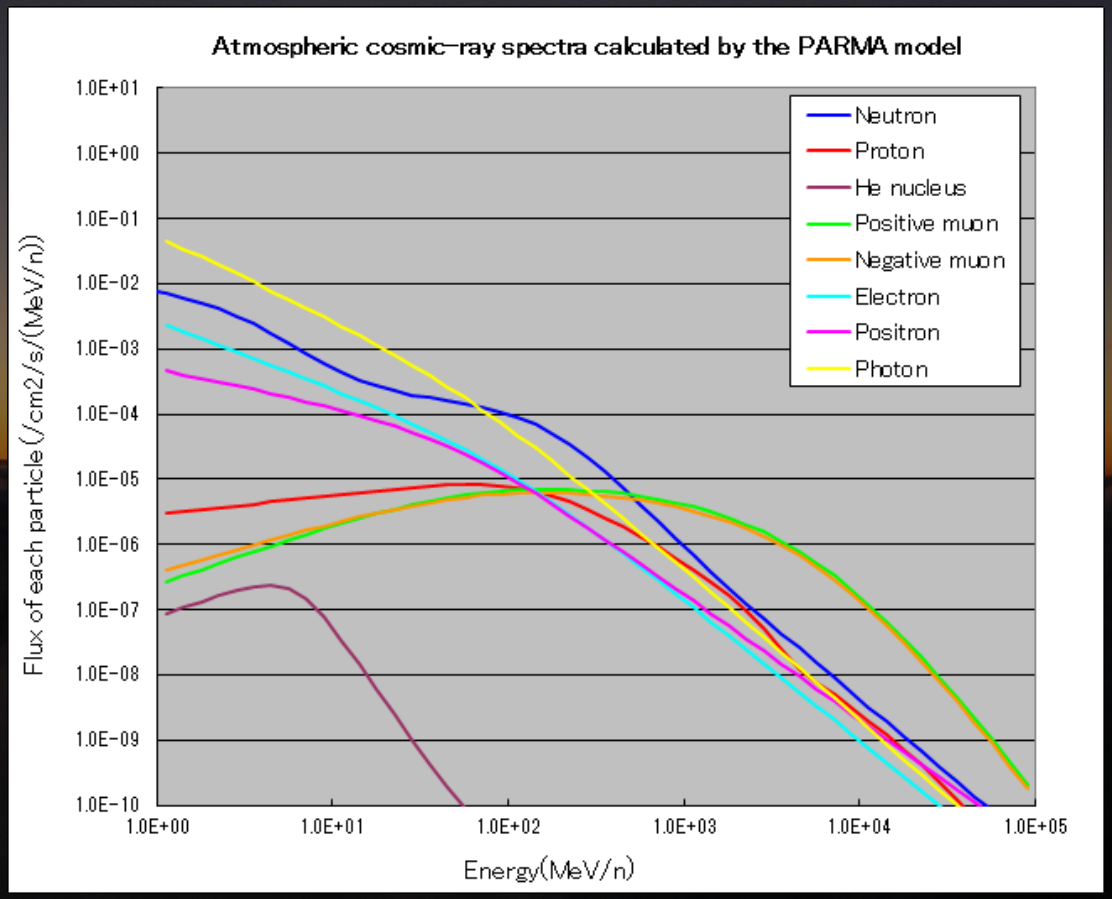
Sekundárne kozmické žiarenie

- vzniká interakciou primárneho kozmického žiarenia v atmosfére
- nukleónová vs. leptónová zložka



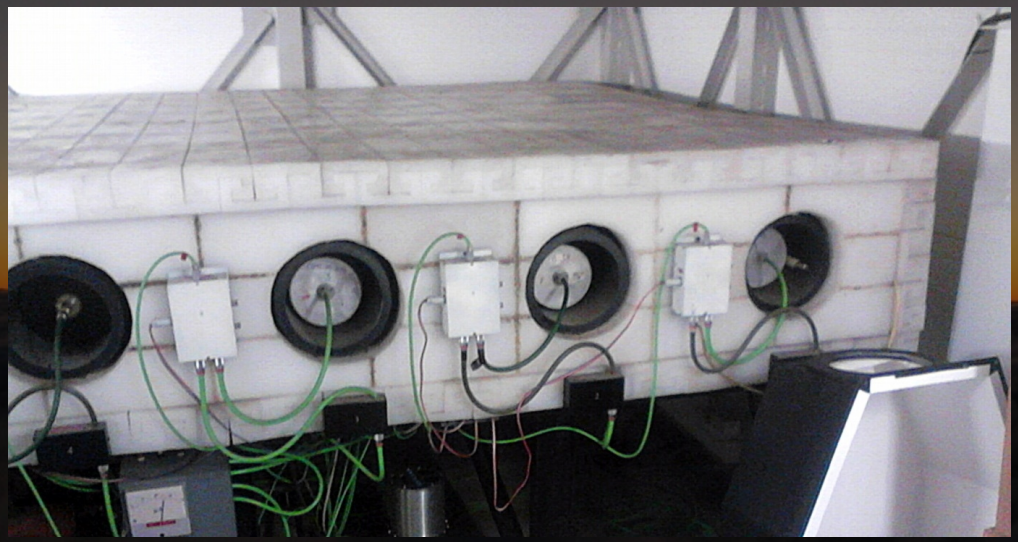
Energetické spektrum častíc SKŽ na LŠ

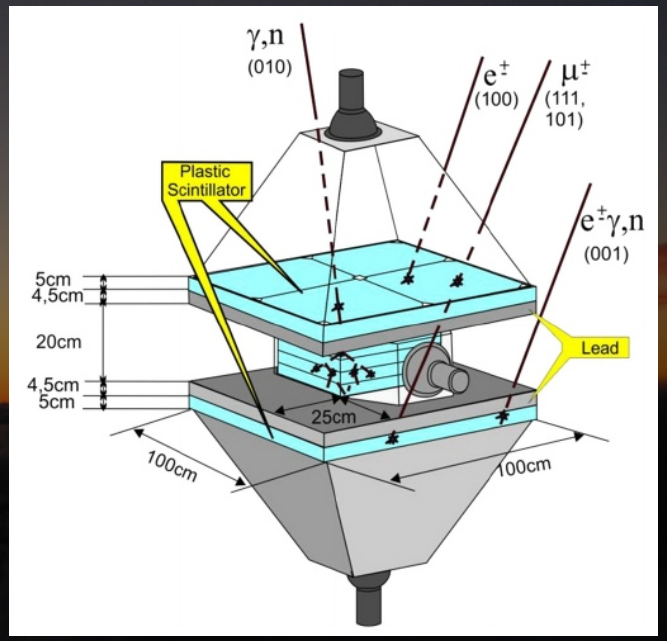
- spektrum a typy častíc pre rigiditu 3.84 GV, súradnice Lomnického štítu a nadmorskú výšku 2634m (EXPACS v. 2.27)



Meranie kozmického žiarenia na Lomnickom štíte

- neutrónový monitor
- SEVAN



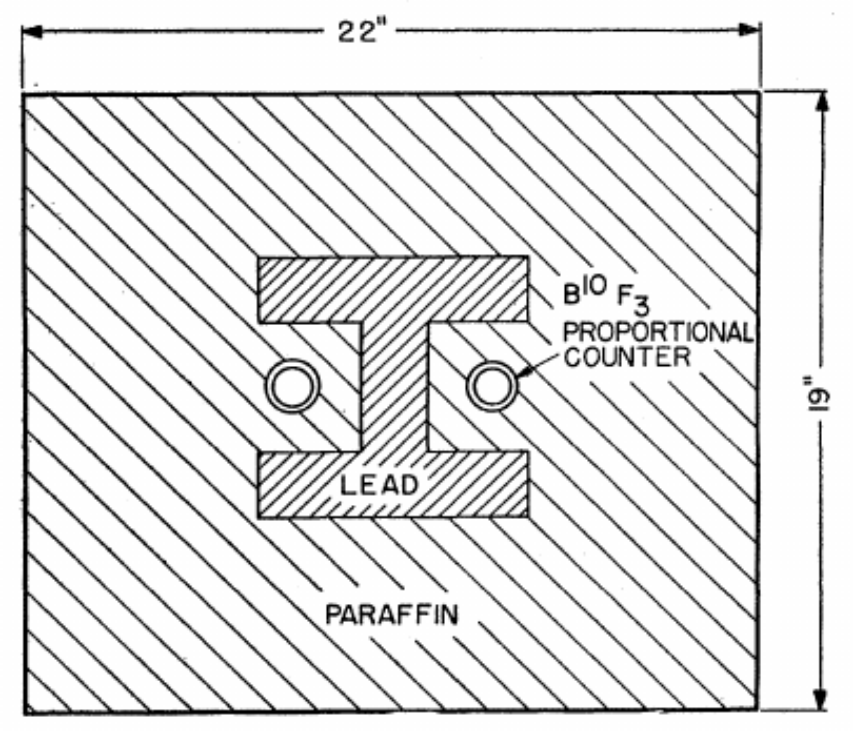


Neutrónový monitor

- detekčné zariadenie optimalizované na detekciu neutrónov vytvorených interakciami primárneho kozmického žiarenia v atmosfére
- prvým neutrónovým monitorom tak, ako ho poznáme, bol neutrónový monitor navrhnutý Simpsonom a jeho kolektívom, popísaný v roku 1953
- na základe monitora tohoto typu bol v roku 1957 vytvorený tzv. IGY monitor
- v súčasnosti je štandardným typom neutrónového monitora typ NM64, označovaný aj ako tzv. super neutron monitor

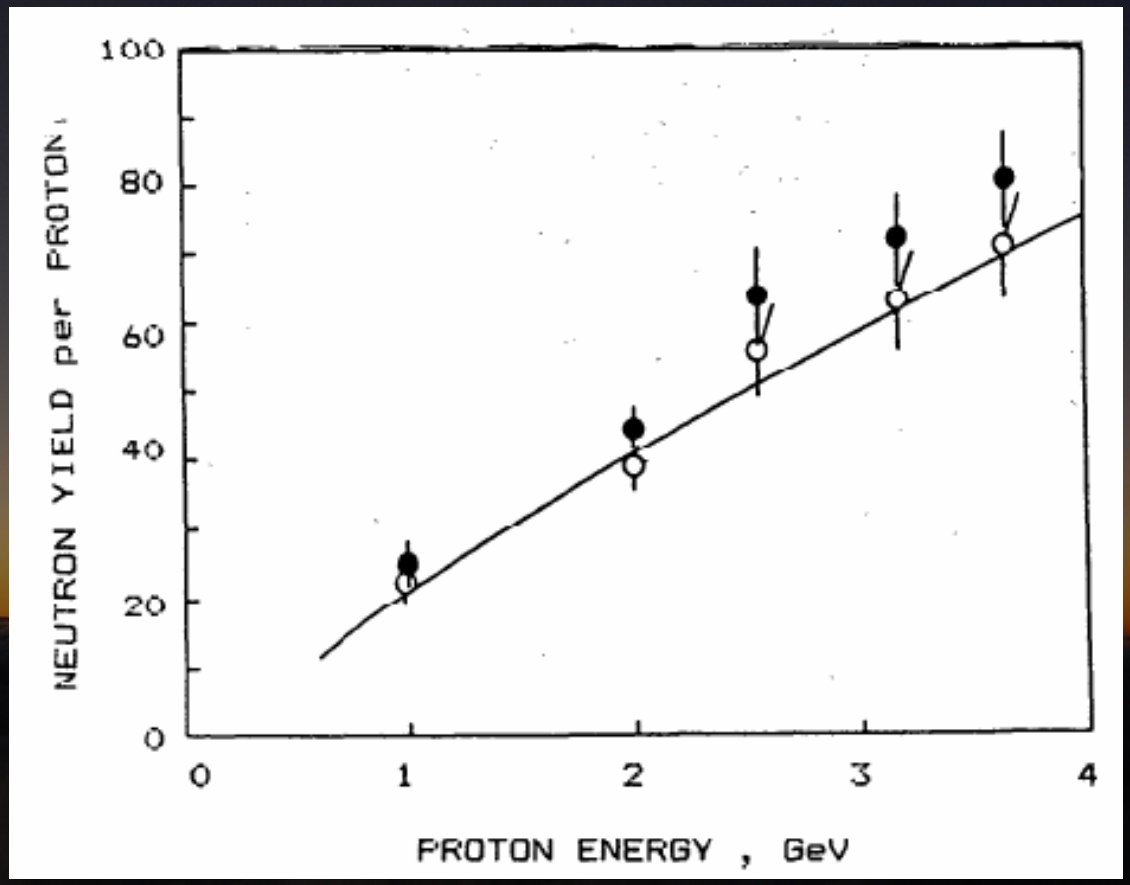
Neutrónový monitor

- produktor (zvyčajne Pb, Bi (zvýšená detekcia tzv. „multiplicity“))
- moderátor a reflektor (parafín, polyetylén, grafit)
- plynový detektor - proporcionálny počítač s pracovným plynom $^{10}BF_3$ alebo ^{3}H



Obrázok prevzatý zo (Simpson et al., 1953)

Multiplicita neutrónového monitora



Tvorba neutrónov v Pb terčíku (Ø=20 cm, l ,6 0 cm) v protónovom zväzku s E 1 - 3.7 GeV (Nikolaev et al., 1990)

Multiplicita neutrónového monitora

Mean kinetic energy (GeV)	Mean multiplicity
0·33	12·2 ± 1·7
1·5	22·5 ± 1·8
3·6	39·0 ± 2·8
8·6	54·0 ± 4·3
24 (15–50 GeV/*c*, H)	149 ± 30
39 (> 15 GeV/*c*, L)	73 ± 16
150 (> 50 GeV/*c*, H)	98 ± 37

Tabuľka prevzatá z (Hughes et al., 1964)

Neutrónový monitor IGY

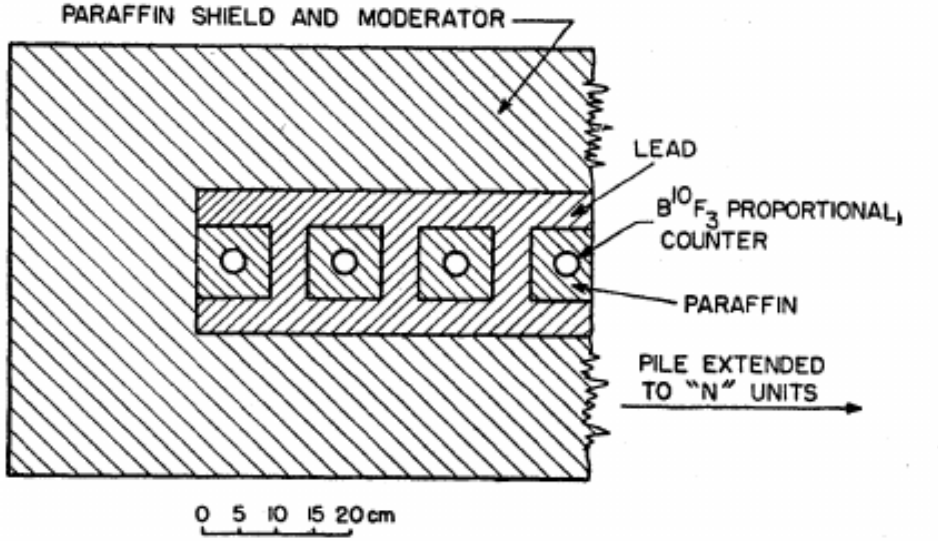
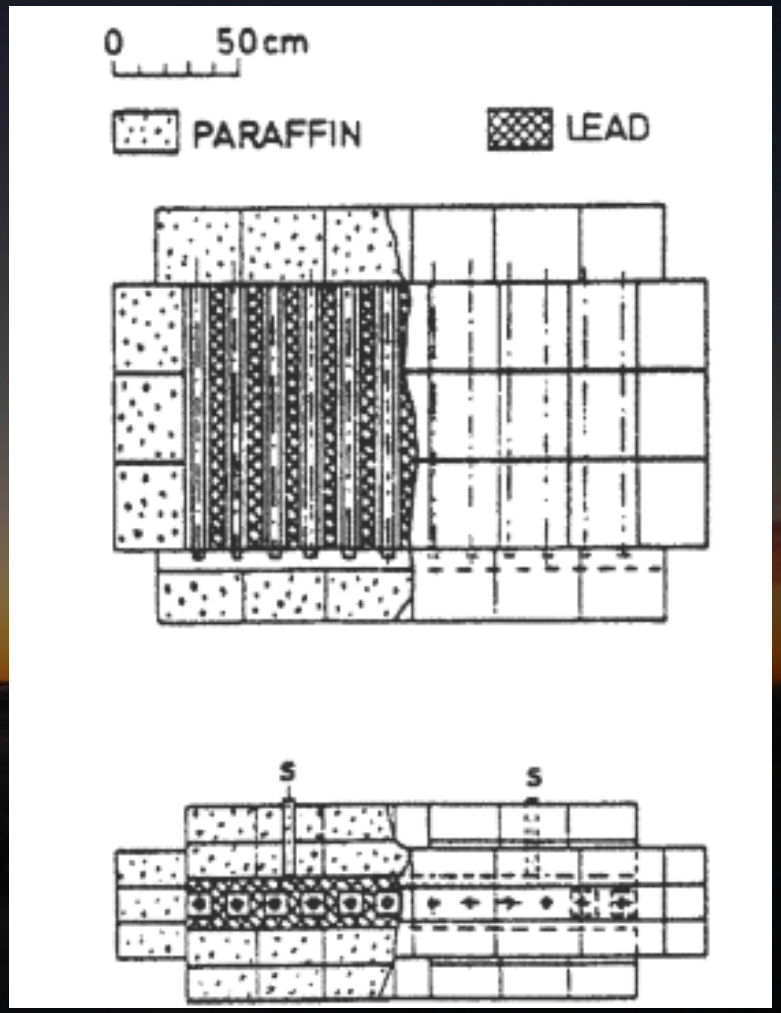


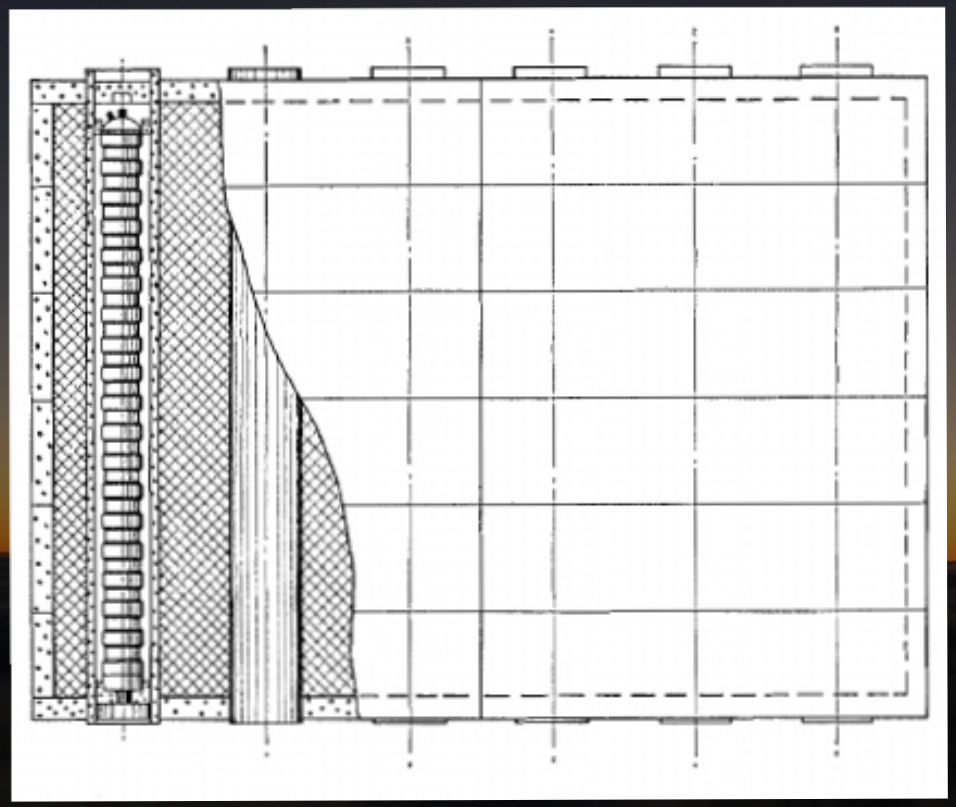
FIG. 10. The pile extended to 12 counters is used as the detector at Chicago and Climax (11 000 ft). This pile is composed of 6500-lb lead plus approximately 3000 lb paraffin. Cross-section view.

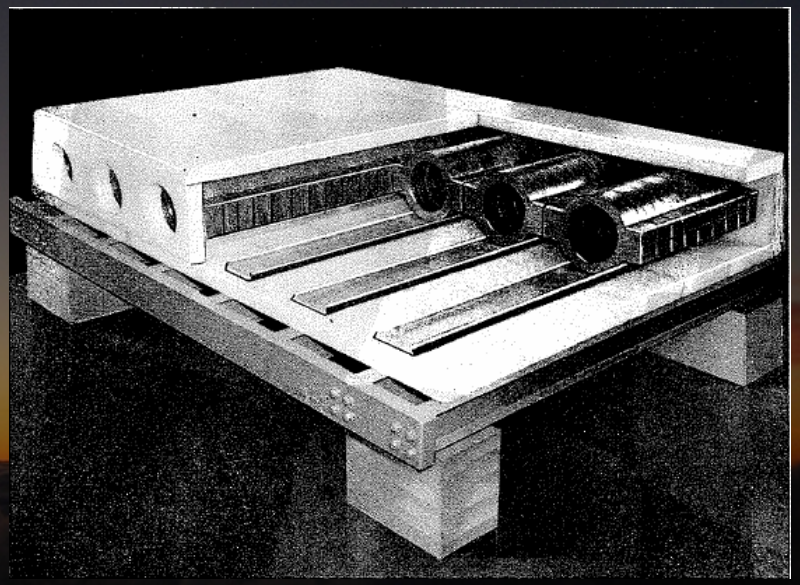
[28] This pile design requires 6500 lb lead and 3000 lb paraffin.



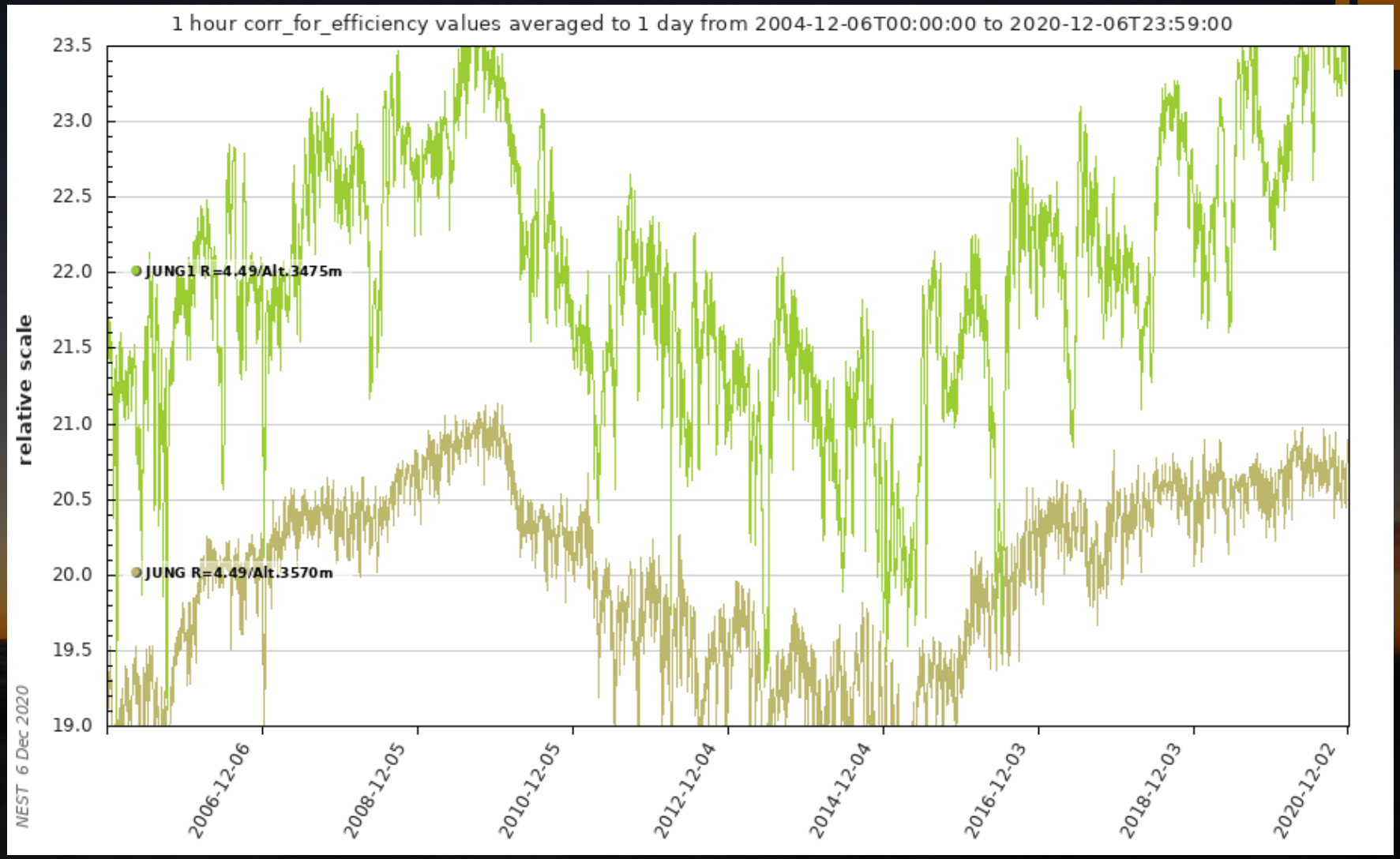
Obrázky prevzaté zo (Simpson et al., 1953)

Neutrónový monitor NM64





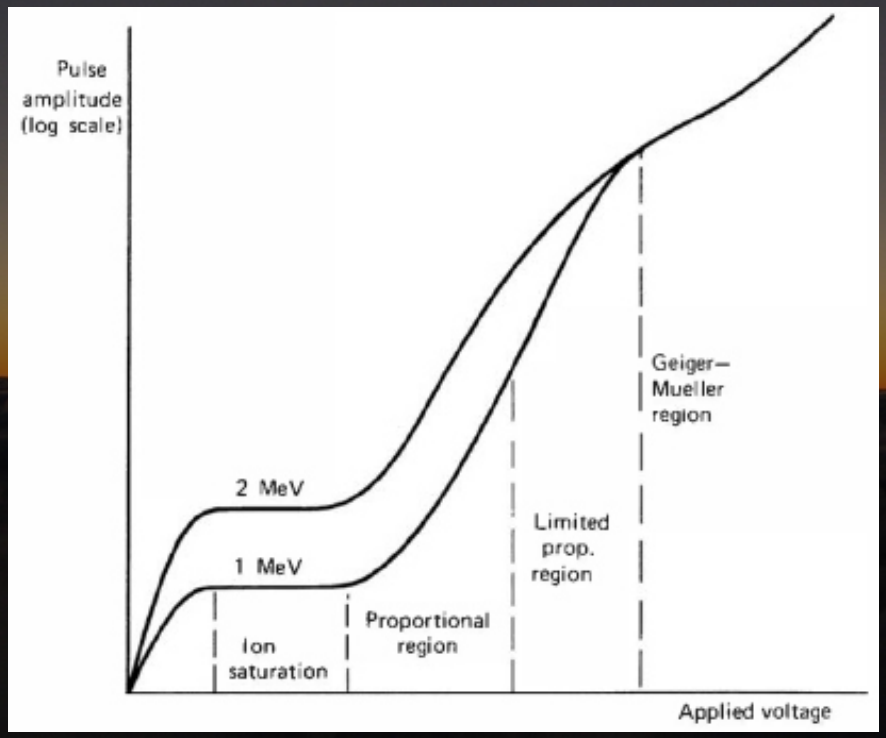
Obrázky prevzaté zo (Simpson et al., 1953)

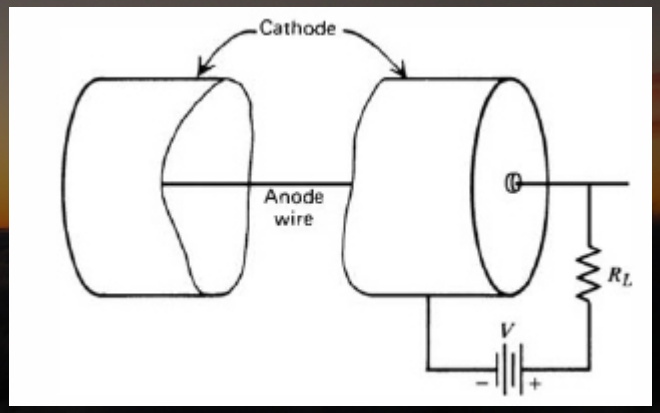


Porovnanie odozvy detektorov NM64 a IGY inštalovaných na observatóriu JungfrauJoch.
Zdroj: http://nmdb.eu

Proporcionálny počítač

- proporciálny počítač, ktorého pracovným plynom je $^{10}BF_3$umožňuje detekovať termálne neutróny na základe detekcie produktov z reakcie s ^{10}B alebo ^{3}He





Obrázky prevzaté z (Knoll, 2010)

Parametre NM64 na LŠ

- proporciálny počítač, ktorého pracovným plynom je $^{10}BF_3$ umožňuje detekovať termálne neutróny na základe detekcie produktov z reakcie s ^{10}B alebo ^{3}He

$$^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n \rightarrow \begin{cases} ^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}\alpha & \underline{Q\text{-value}} \\ & 2.792\ \text{MeV (ground state)} \\ ^{7}_{3}Li^{*} + ^{4}_{2}\alpha & 2.310\ \text{MeV (excited state)} \end{cases}$$

$$^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{3}_{1}H + ^{1}_{1}p \quad \frac{Q\text{-value}}{0.764\ \text{MeV}}$$

$$E_{Li} = 0.84\ \text{MeV} \quad \text{and} \quad E_{\alpha} = 1.47\ \text{MeV}$$

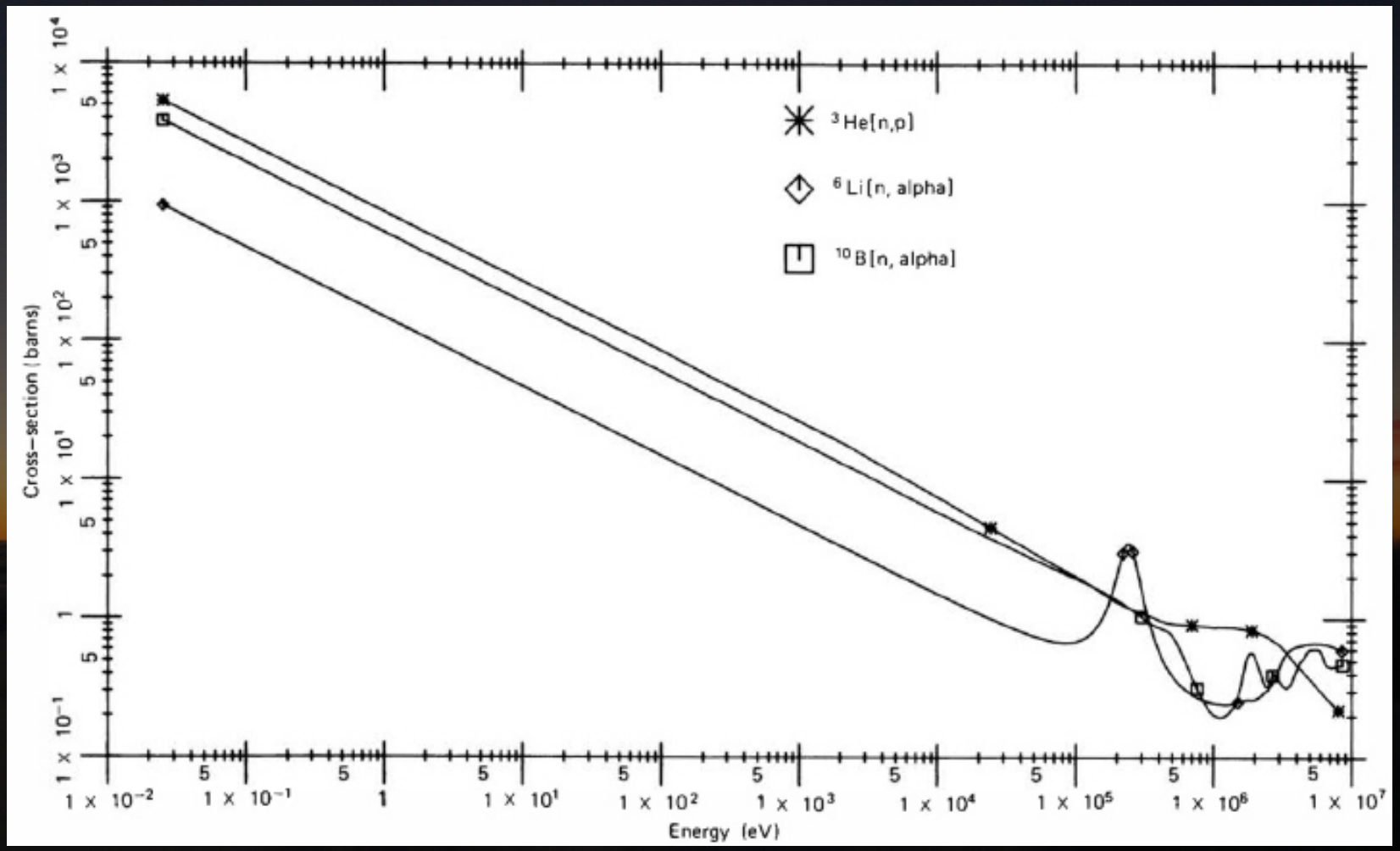
$$E_{p} = 0.573\ \text{MeV} \quad \text{and} \quad E_{^{3}H} = 0.191\ \text{MeV}$$

Neutron counters used in NM64 and IGY neutron monitors.

	BP28	NW G-15-34A	LND25373	PPD631
Effective diameter (cm)	14.8	3.8	4.8	3.0
Effective length (cm)	191	87	191	102
Gas type	$^{10}BF_3$	$^{10}BF_3$	97% ^{3}He + 3%CO_2	^{3}He
Pressure (mm Hg)	200	450	3040	6080
Absorption path length (of thermal neutrons)	41.0	18.2	1.9	0.95 (cm)

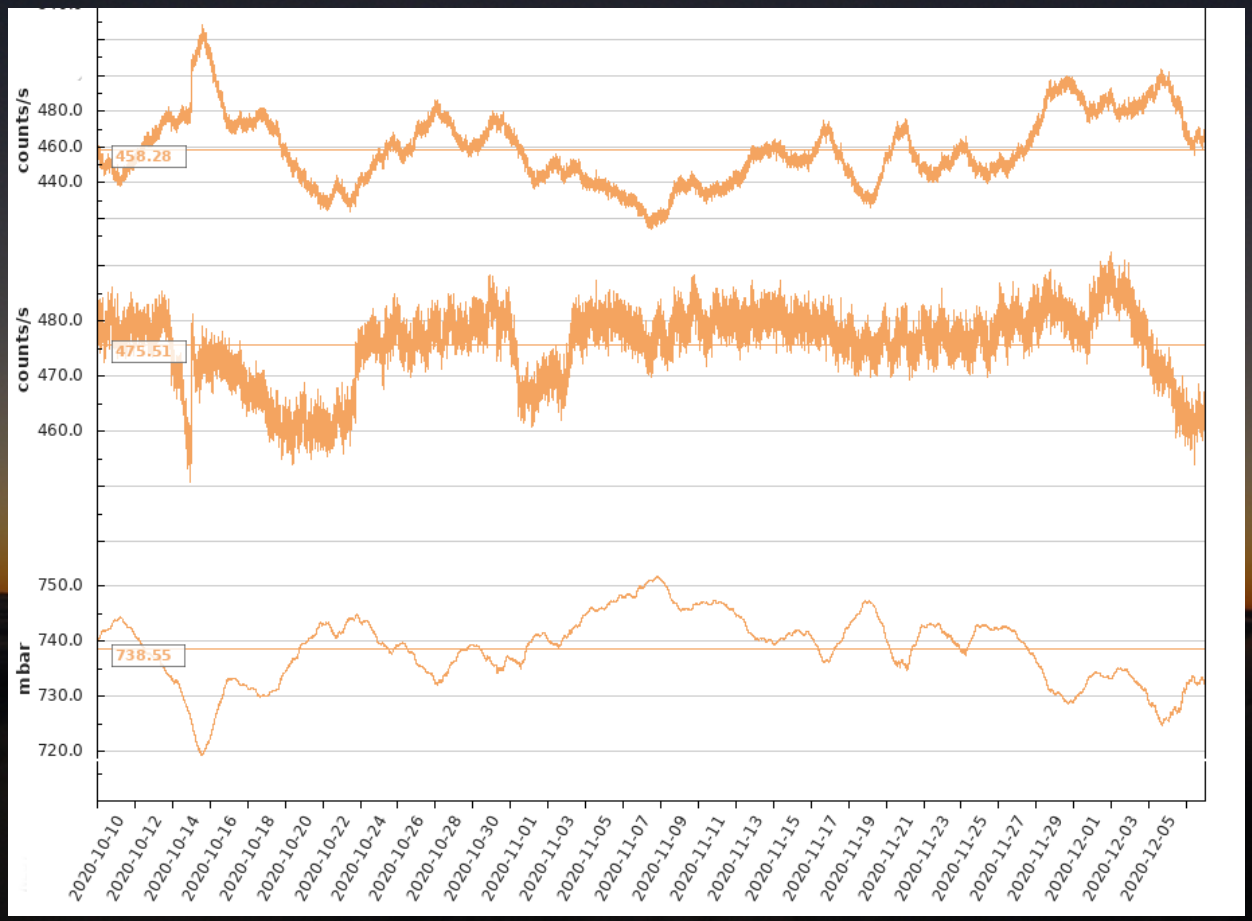
Tabuľka prevzatá z (Stoker et al., 2000)

Parametre NM64 na LŠ



Obrázky prevzaté z (Knoll, 2010)0

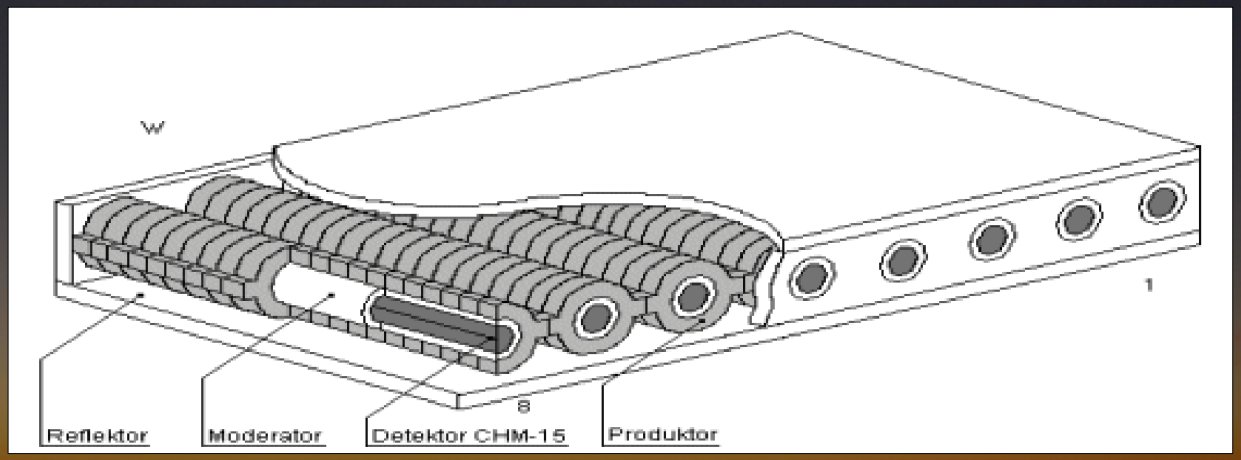
Barometrická korekcia

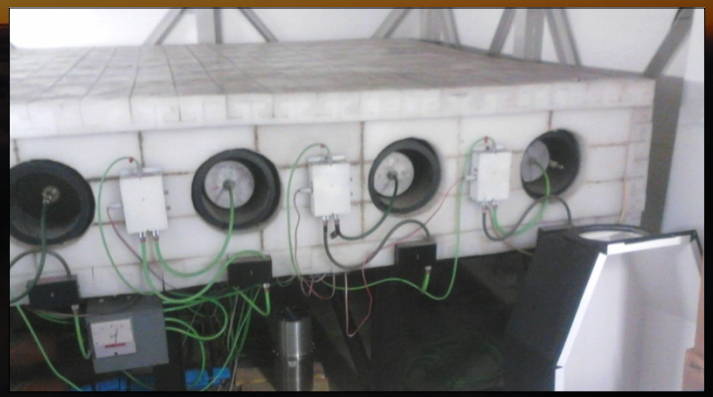


- množstvo interakcií primárneho kozmického žiarenia v atmosfére závisí na množstve vzduchu, ktorý je v okolí a nad neutrónovým monitorom prítomný

Neutrónový monitor NM64

- neutrónový monitor na LŠ je typu NM64, trubice sú plnené BF_3





Neutrónový monitor NM64

- neutrónový monitor na LŠ je typu NM64, trubice sú plnené BF_3

Pôvodný typ detektorov	**SNM-15**
Zemepisná šírka	**49.20 N**
Zemepisná dĺžka	**20.22 E**
Cut-off rigidita	**3.84 GV**
Nadmorská výška	**2634 m**
Stredná hodnota tlaku	**733.3 mbar**
Barometrický koeficient	**0.72% per mbar**

Tabuľka prevzatá z (Kudela et al., 2000)

SEVAN

- SEVAN - Space Environment Viewing and Analysis Network
- detektory SEVAN sú určené na dlhodobé monitorovanie kaskád neutrálnych a nabitých častíc sekundárneho kozmického žiarenia
- vhodné aj na detekciu gama zábleskov generovaných búrkovými mrakmi a bleskami

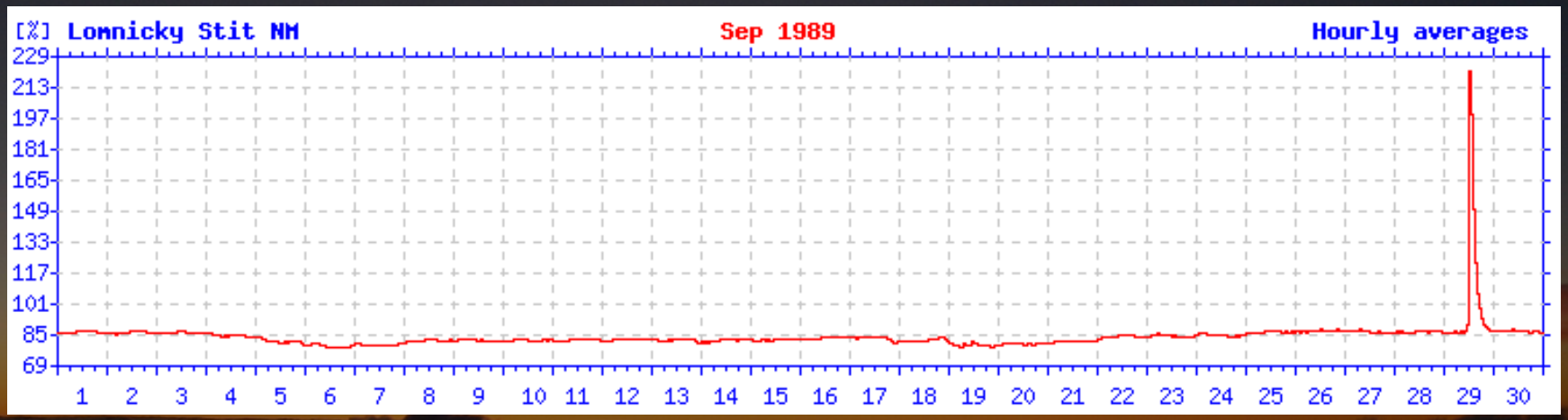
Detektory SEVAN vo svete
Picture credits: IEP SAS photography

SEVAN

Detektor SEVAN na Lomnickom štíte
Picture credits: IEP SAS photography

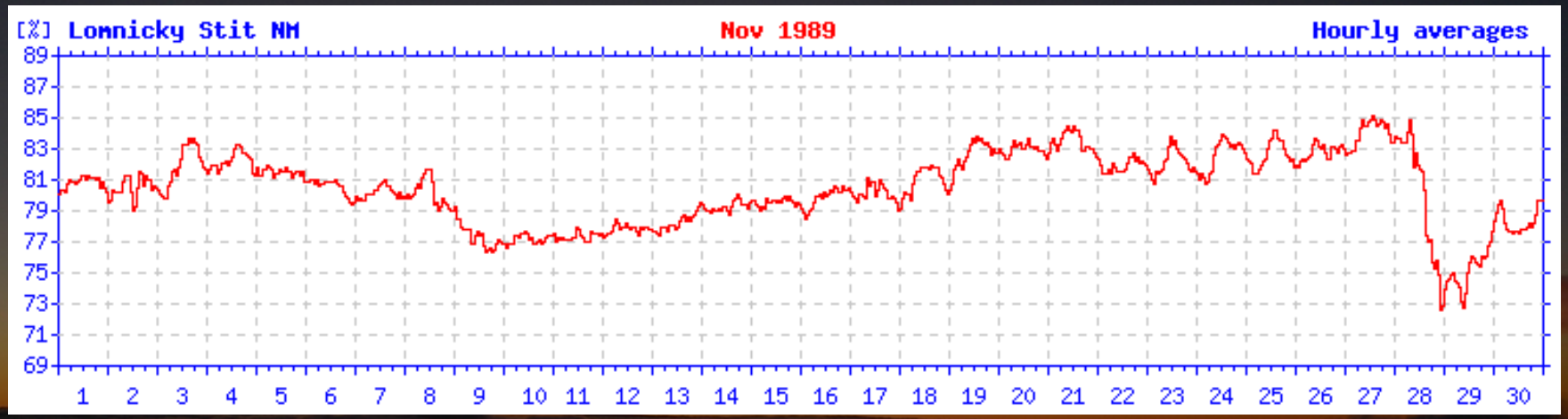
Výsledky pozorovaní KŽ

- Ground Level Enhancement (GLE)



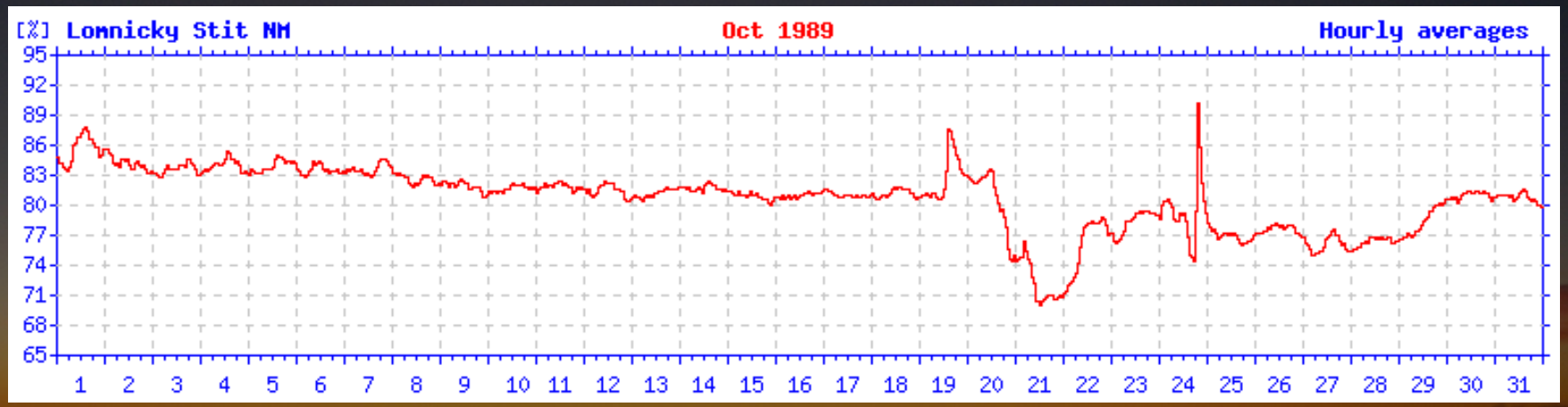
Výsledky pozorovaní KŽ

- Forbushovský pokles (FD; Forbush decrease)



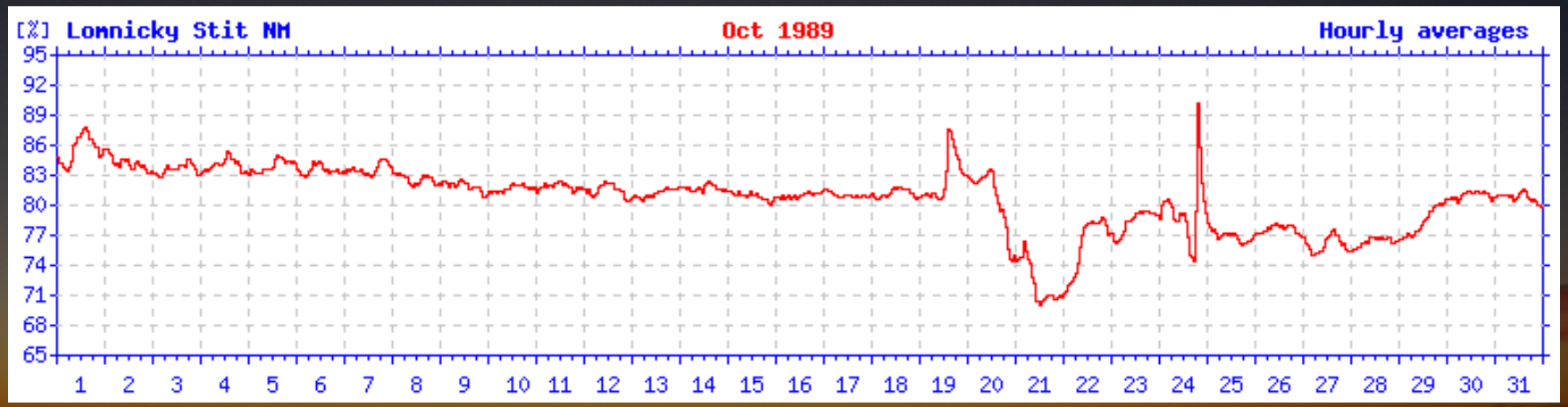
Výsledky pozorovaní KŽ

- FD & GLE



Výsledky pozorovaní KŽ

- FD & GLE



NMDB.EU

Cosmic Rays Now! Station Data public outreach News Meetings Contact Map FAQ Impressum

NMDB: the Neutron Monitor Database

Real-Time Database for high-resolution Neutron Monitor measurements

one stop shop for cosmic ray data

NMDB provides access to Neutron Monitor measurements from stations around the world. The goal of NMDB is to provide easy access to all Neutron Monitor measurements through an easy to use interface. NMDB provides access to real-time as well as historical data.

A Hybrid symposium on cosmic ray studies with neutron detectors will take place in Athens/online from September 26-30, 2022. Please register now and submit your abstract!

NMDB distributes official data provided by the PIs of the neutron monitor stations. Data of different origin may not have been validated or authorised by the respective PI, and any deviation with respect to the authorised data is not his/her responsibility.

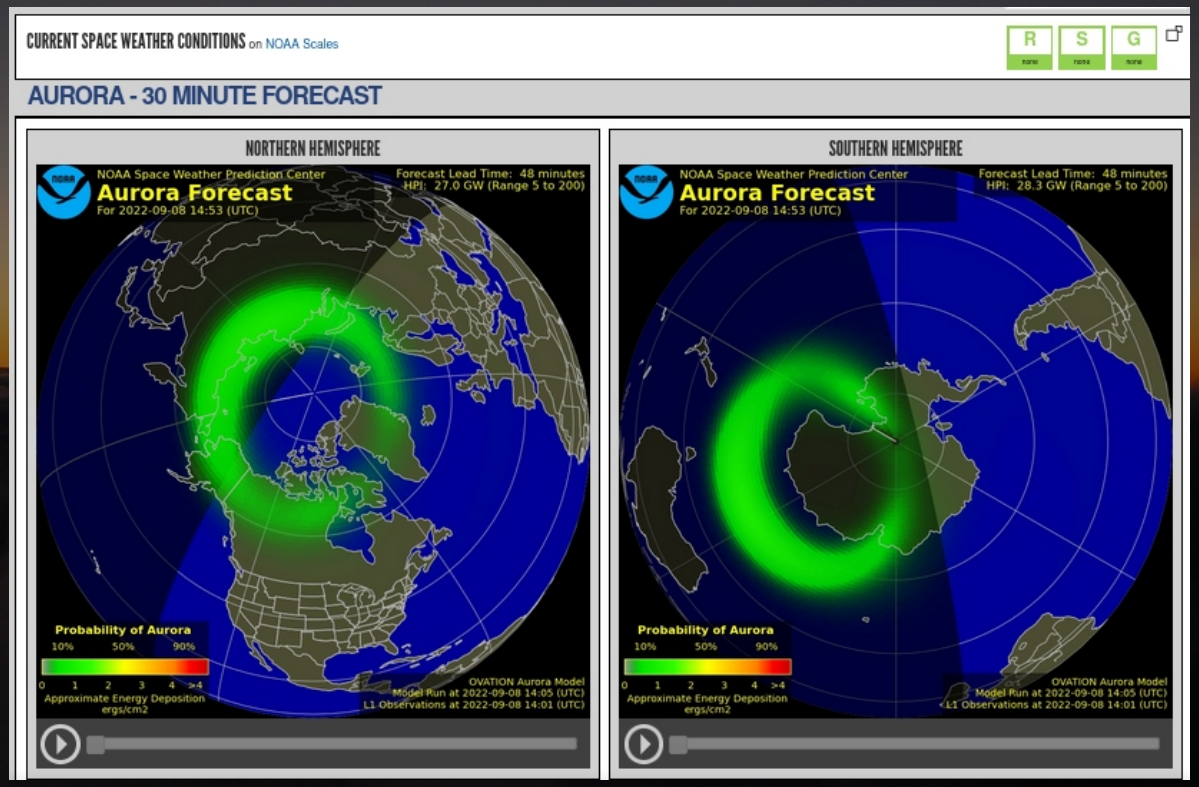
Data retrieved via NMDB are the property of the individual data providers. These data are free for non commercial use within

Zaujímavosti

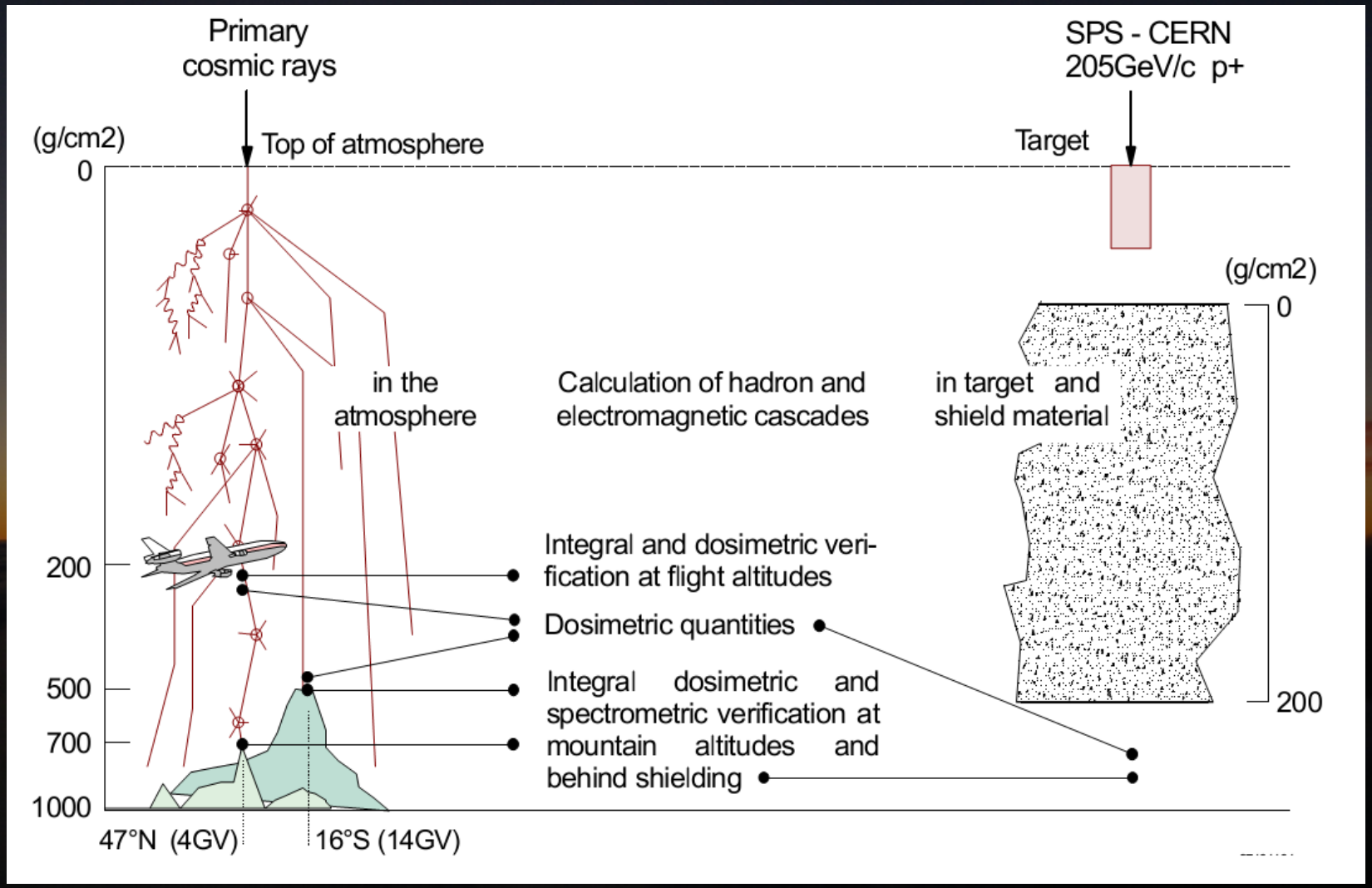
- polárna žiara
- CERF v CERN
- efektívne dávky posádok lietadiel

Polárna žiara

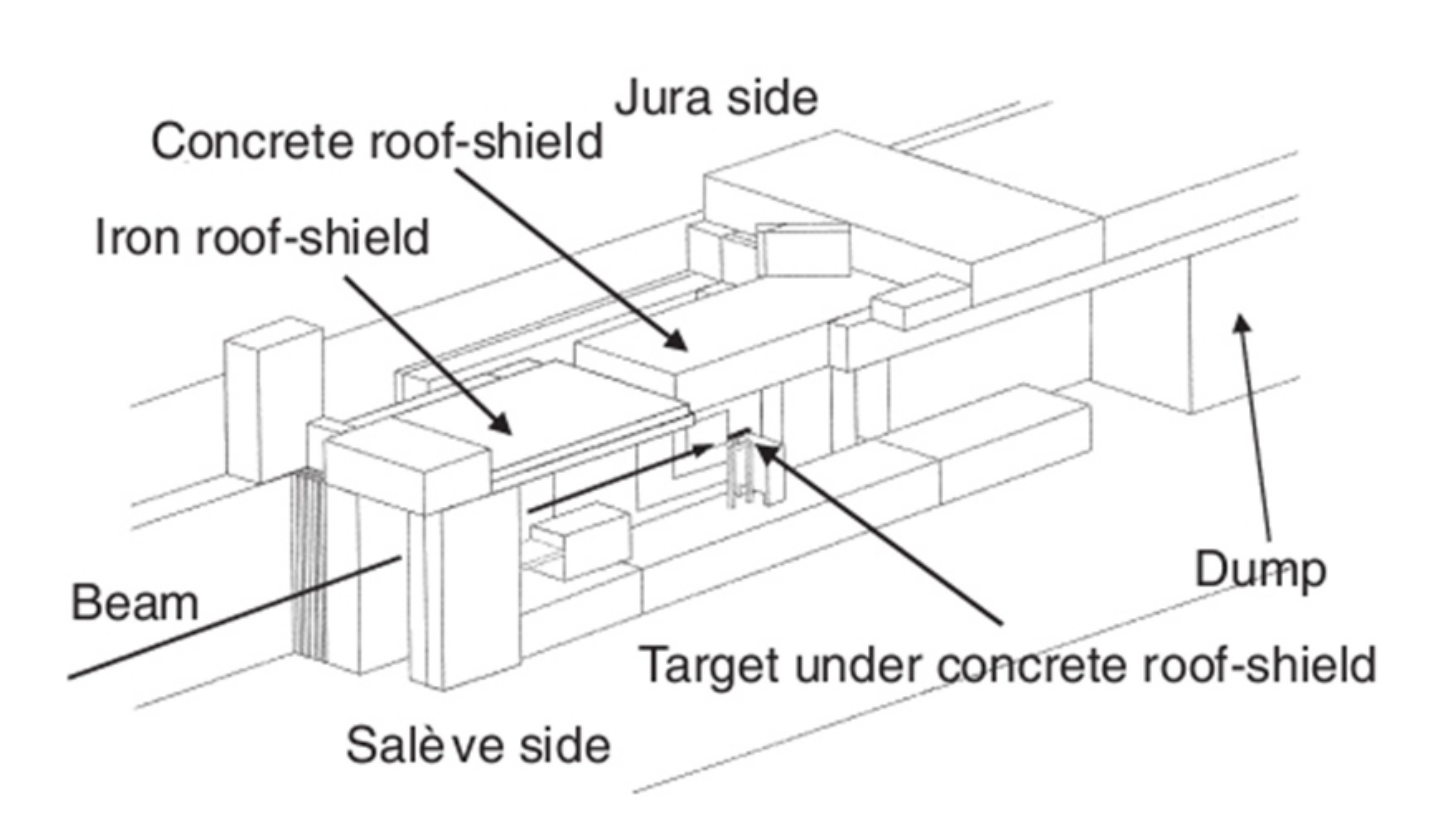
- podobne, ako predpoveď počasia, existuje aj predpoveď výskytu polárnej žiary
- https://www.swpc.noaa.gov/products/aurora-30-minute-forecast



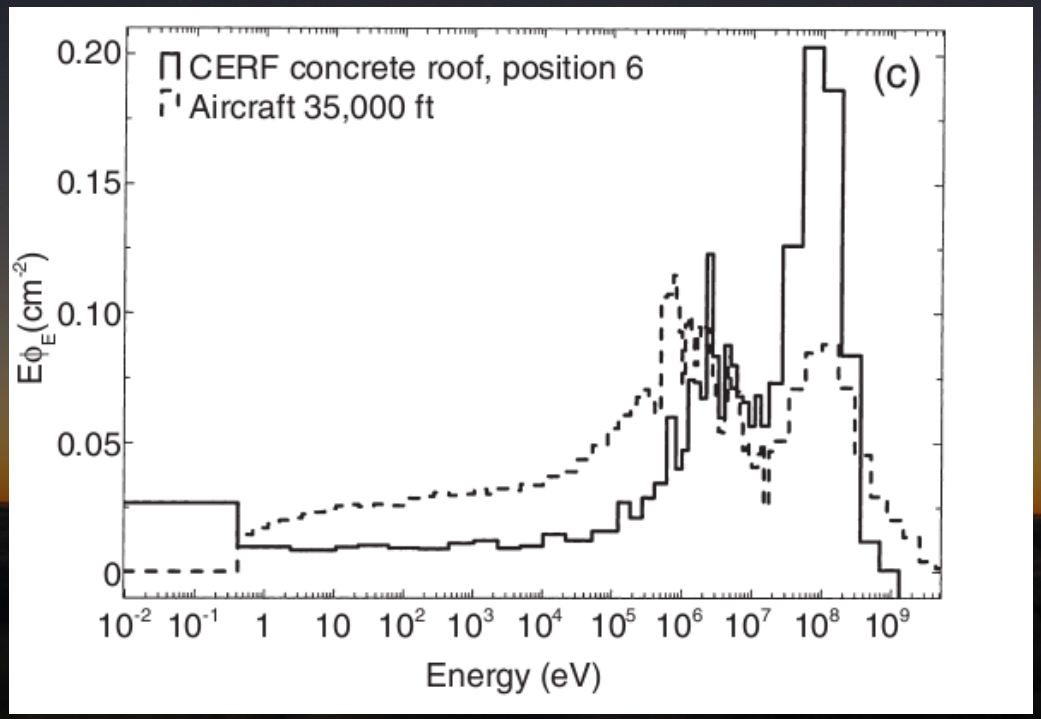
Pole CERF v CERN

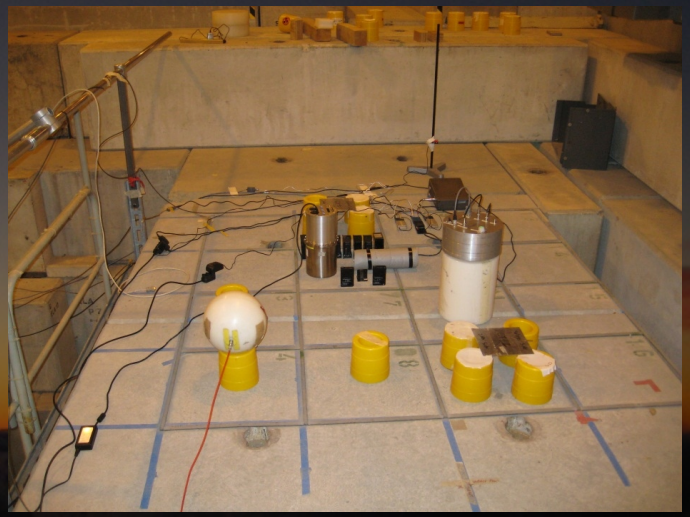


Pole CERF v CERN



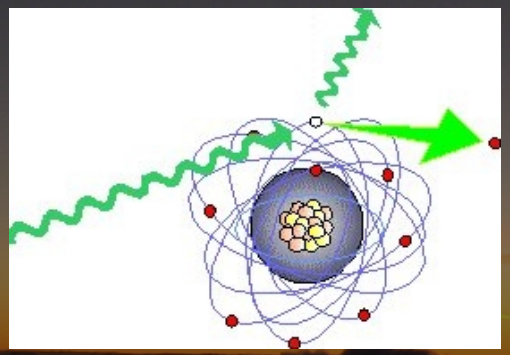
Pole CERF v CERN

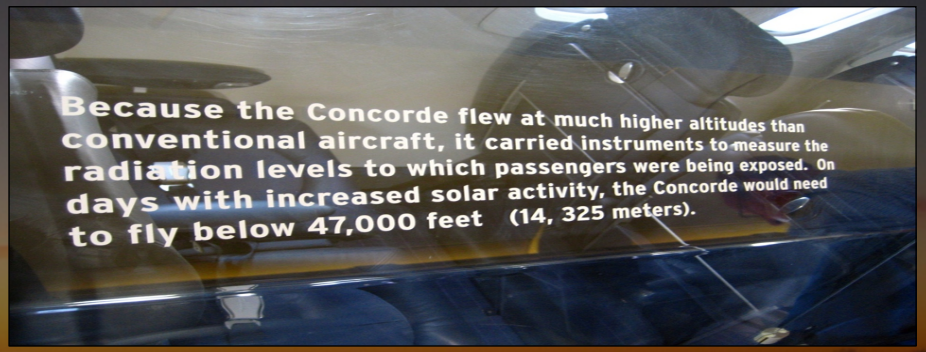




Efektívne dávky posádok lietadiel

- výstupy z meraní neutrónovými monitormi umožňujú spočítať radiačnú záťaž posádok lietadiel od kozmického žiarenia





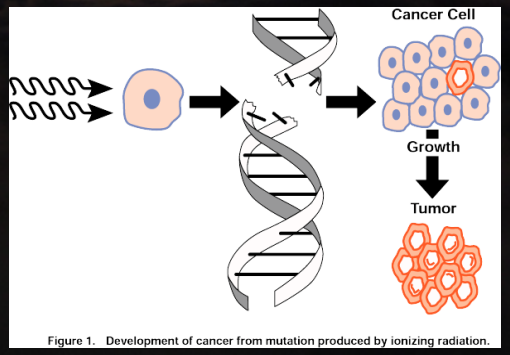
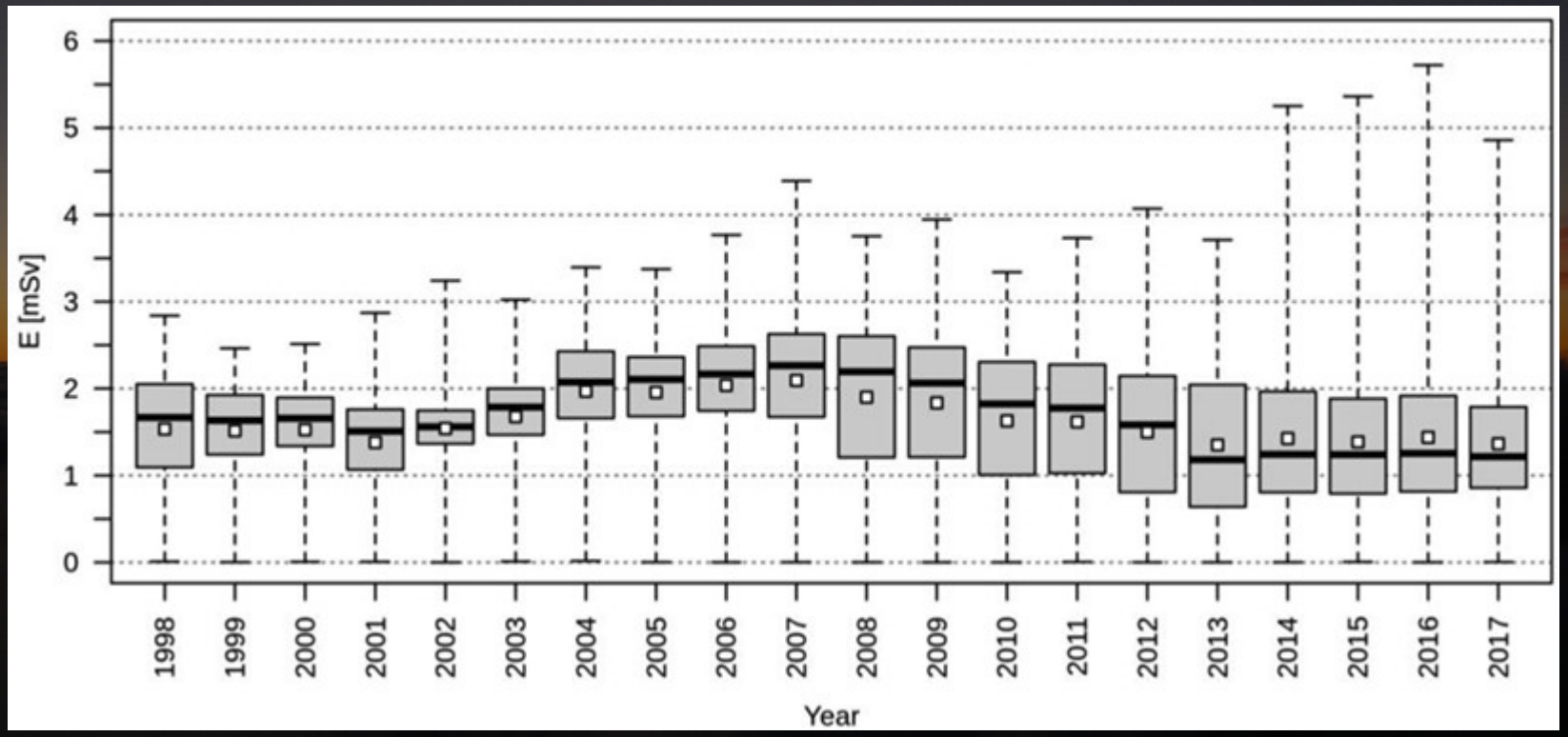


Figure 1. Development of cancer from mutation produced by ionizing radiation.

Efektívne dávky posádok lietadiel

- výstupy z meraní neutrónovými monitormi umožňujú spočítať radiačnú záťaž posádok lietadiel od kozmického žiarenia



EPCARD.NET

EPCARD NEU / Dose Calculation

Dose Calculation

Select type of dose calculation

- Dose calculation for mobile devices (coming soon)
- Dose calculation on a flight
- Dose calculation at a certain position on the Earth
- Determination of radiation exposition dose for the flying personnal
- About online dose calculation

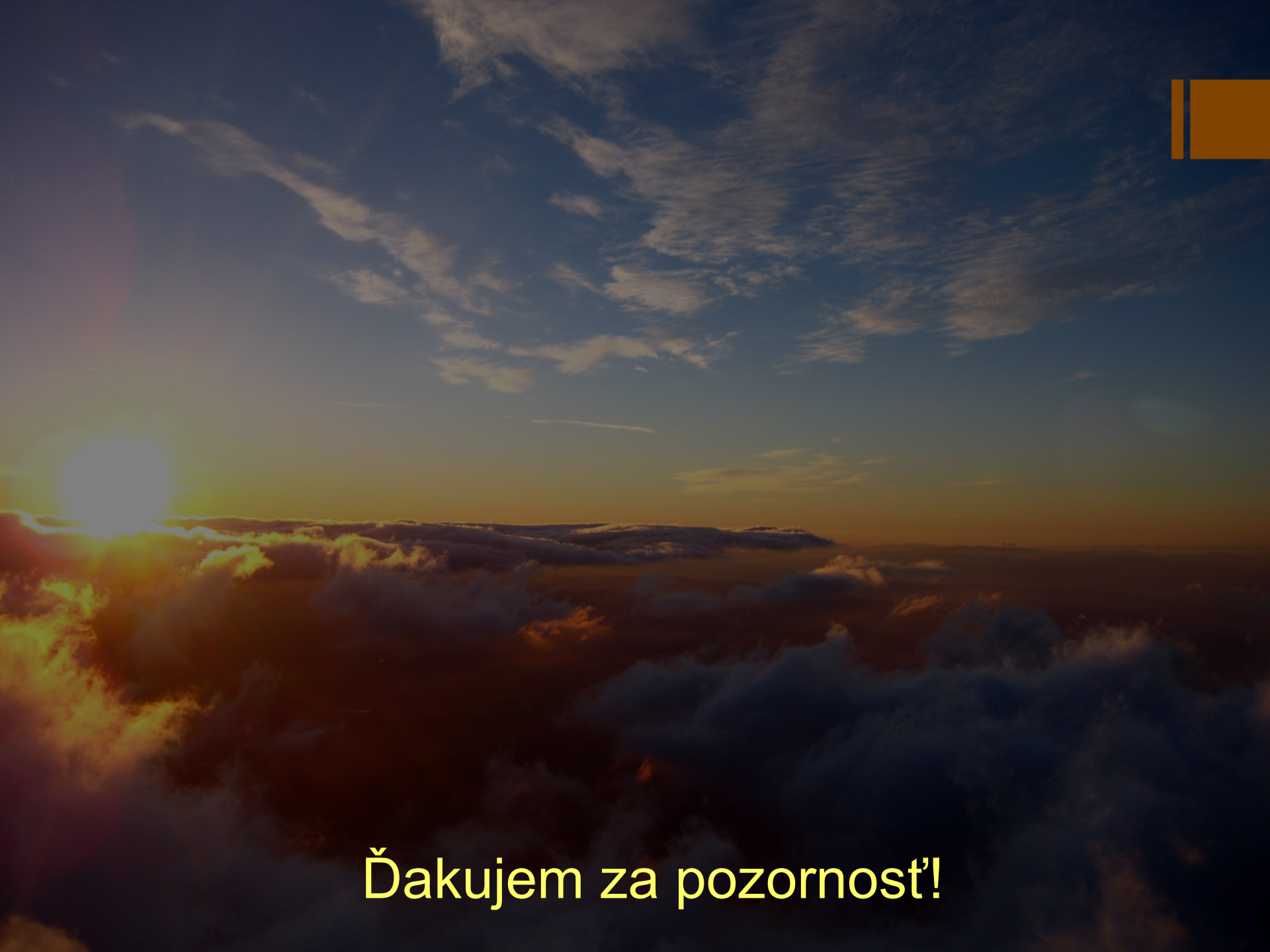
General questions concerning EPCARD

epcard@helmholtz-muenchen.de

Contact

Helmholtz Zentrum Munich
German Research Center for Environmental Health
Institute for Radiation Medicine
Medical and Environmental Dosimetry
Ingolstädter Landstr. 1
85764 Neuherberg, Germany

Vladimir Mares
Expert
Tel. +49 89 3187 2652



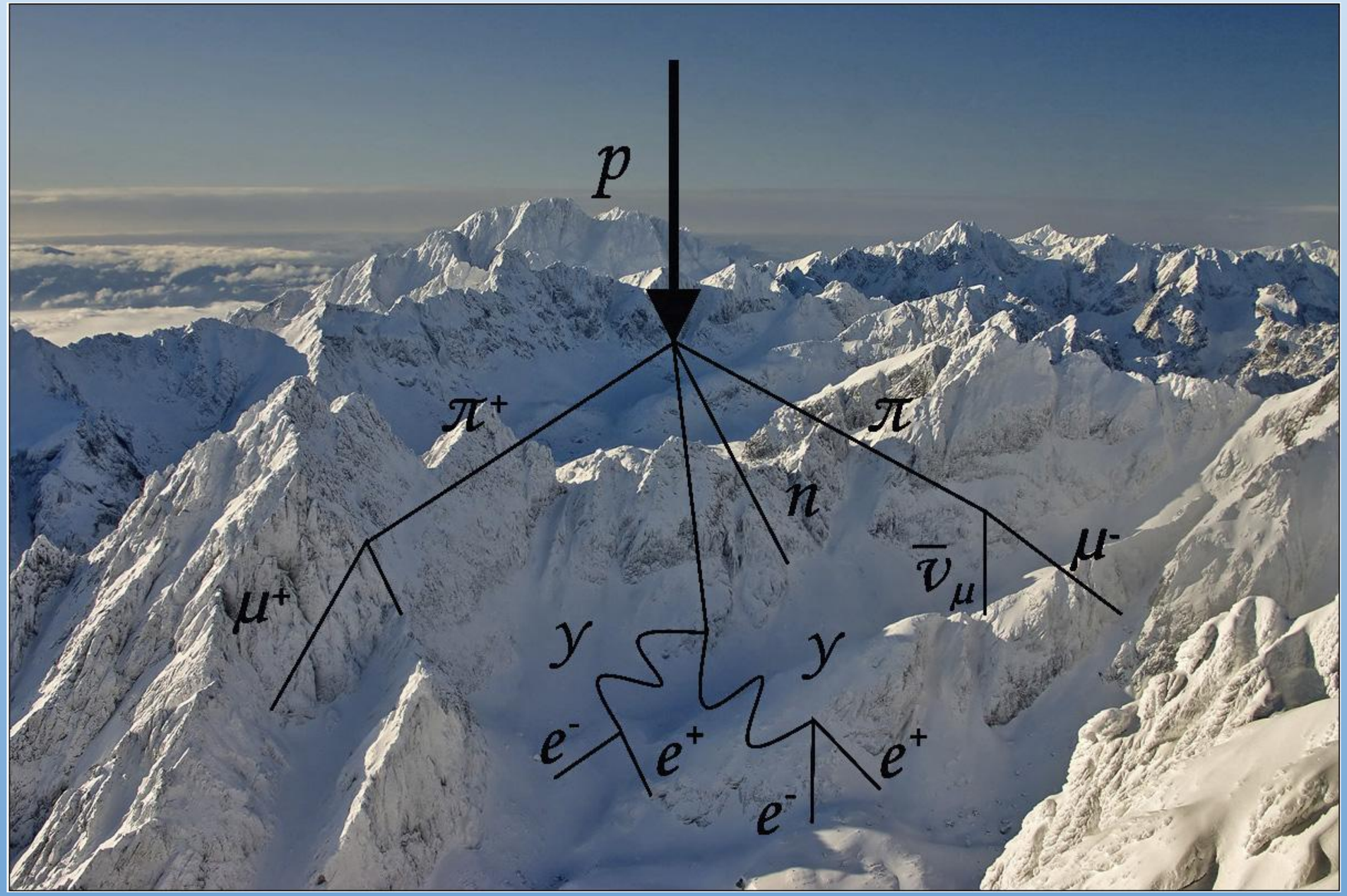
Ďakujem za pozornosť!

Lomnický štít - meracie zariadenia pre kozmofyzikálny výskum

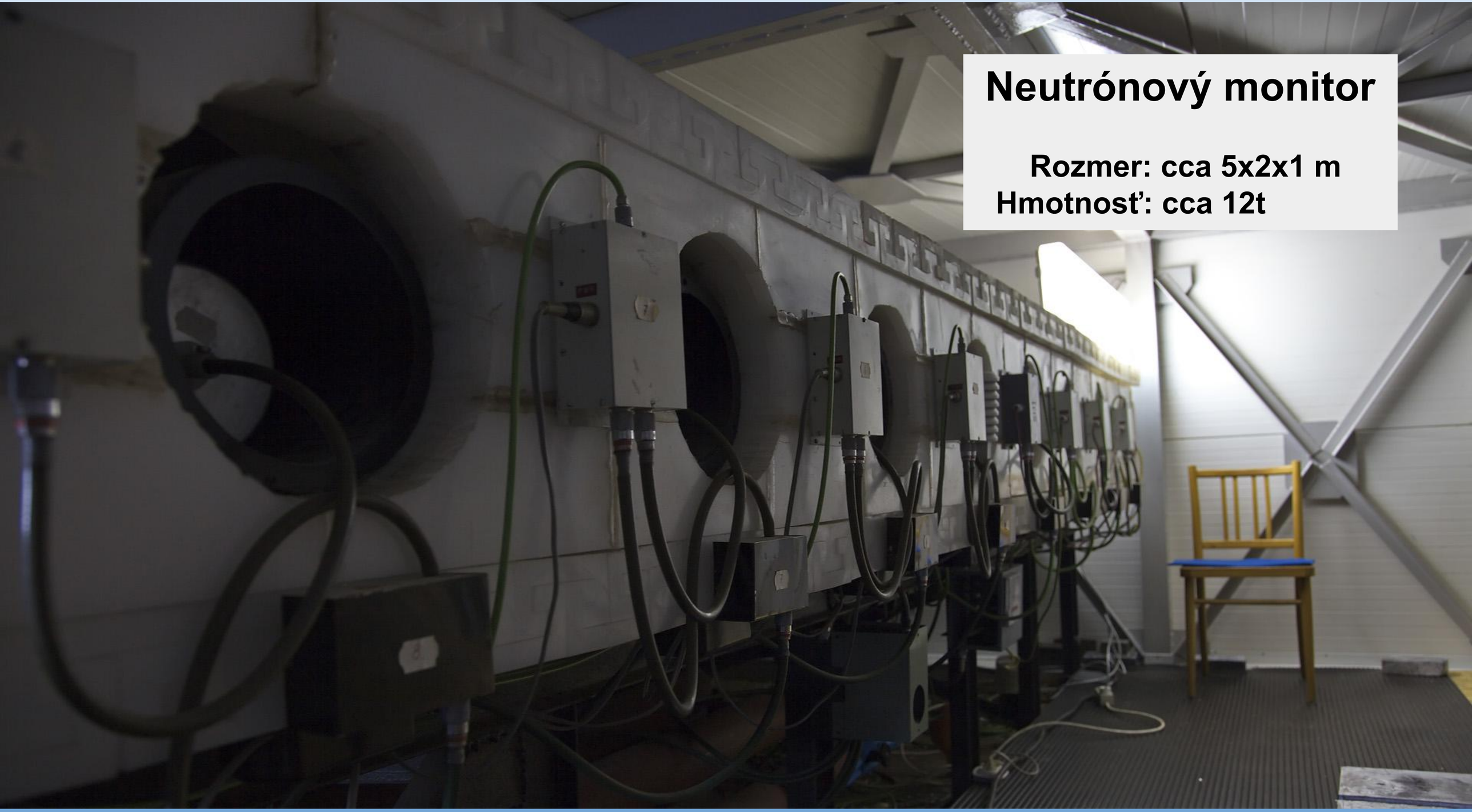
ÚEF SAV

IEP SAS SPACE PHYSICS

SPACE::LAB

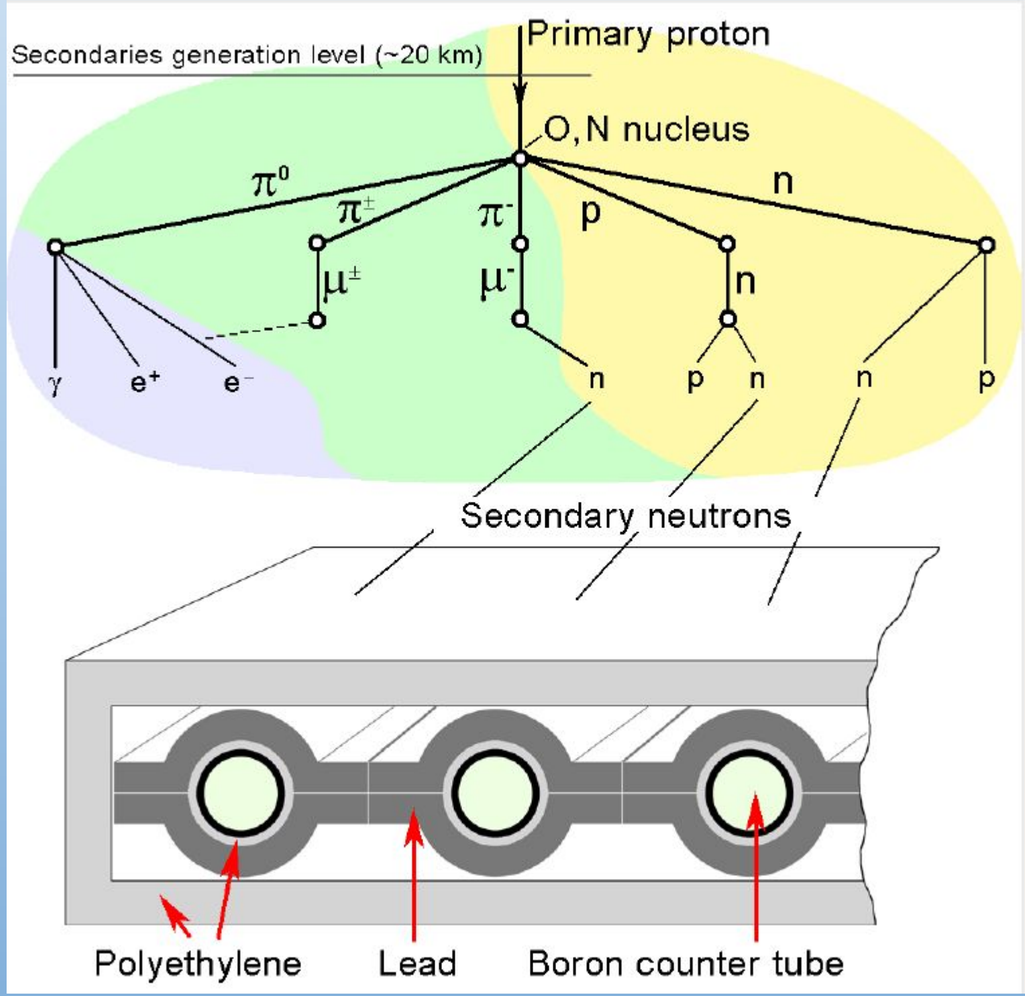


Sevan
Neutrónový monitor



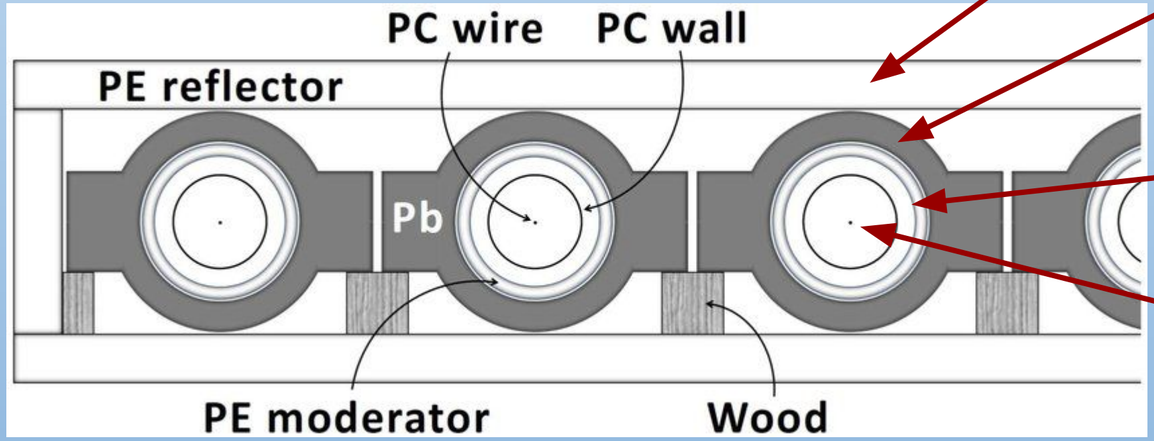
Neutrónový monitor

Rozmer: cca 5x2x1 m
Hmotnosť: cca 12t



- primárne kozmické žiarenie
- interakcia s atómami atmosféry (O, N)
- vznikajú sekundárne častice (p, n, m, e, ...)
- sekundárne neutróny sa detegujú v NM

Zloženie neutrónového monitora



Reflector - polyetylén - ‘odfiltrovanie’ pomalých n

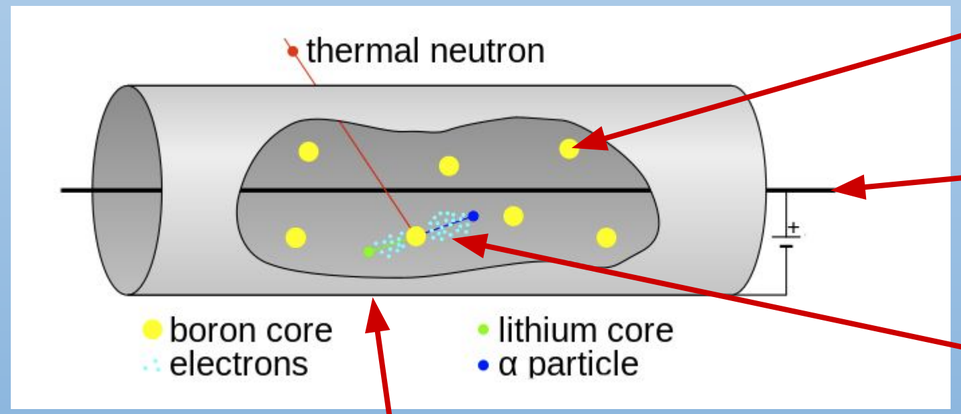
Producer - olovo - ‘znásobenie’ n (10x)

Moderator - polyetylén - ‘spomalenie’ n

Neutron detector - counter tube

Neutrónový detektor

Neutróny - bez el. náboja - nie sú priamo ionizujúce -> nedajú sa detegovať



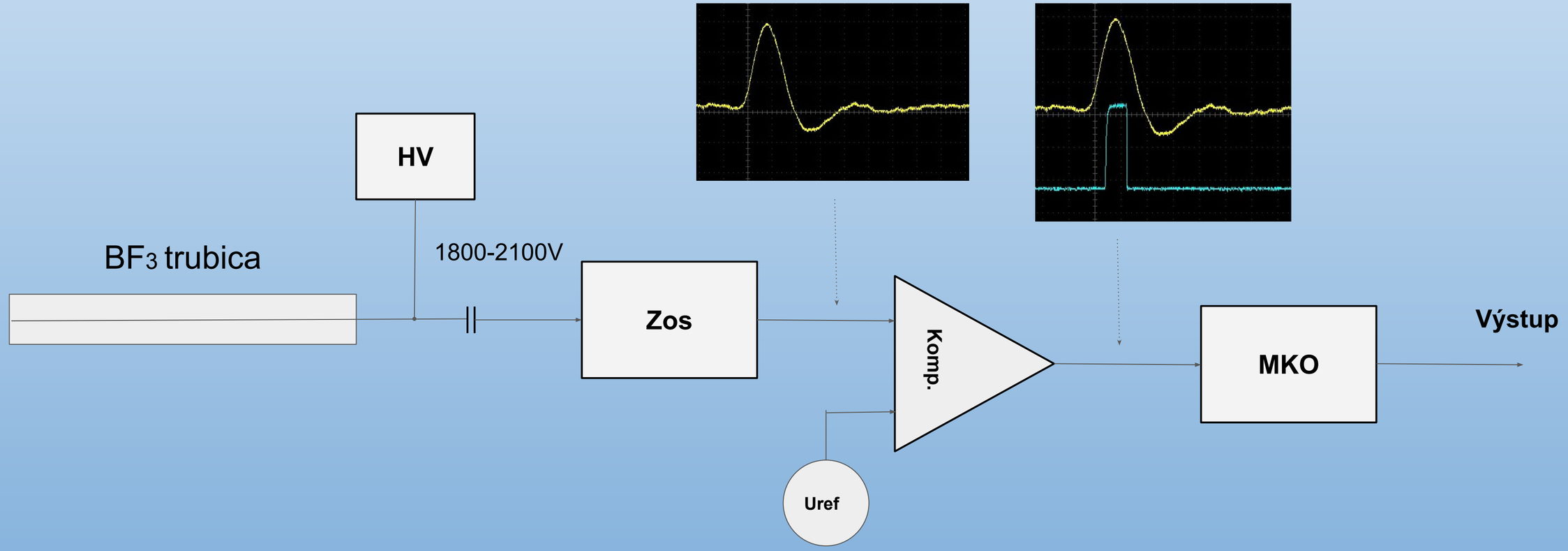
Plyn - BF_3 (fluorid boritý) alebo ^3He

Anódový drôt (vysoké napätie)

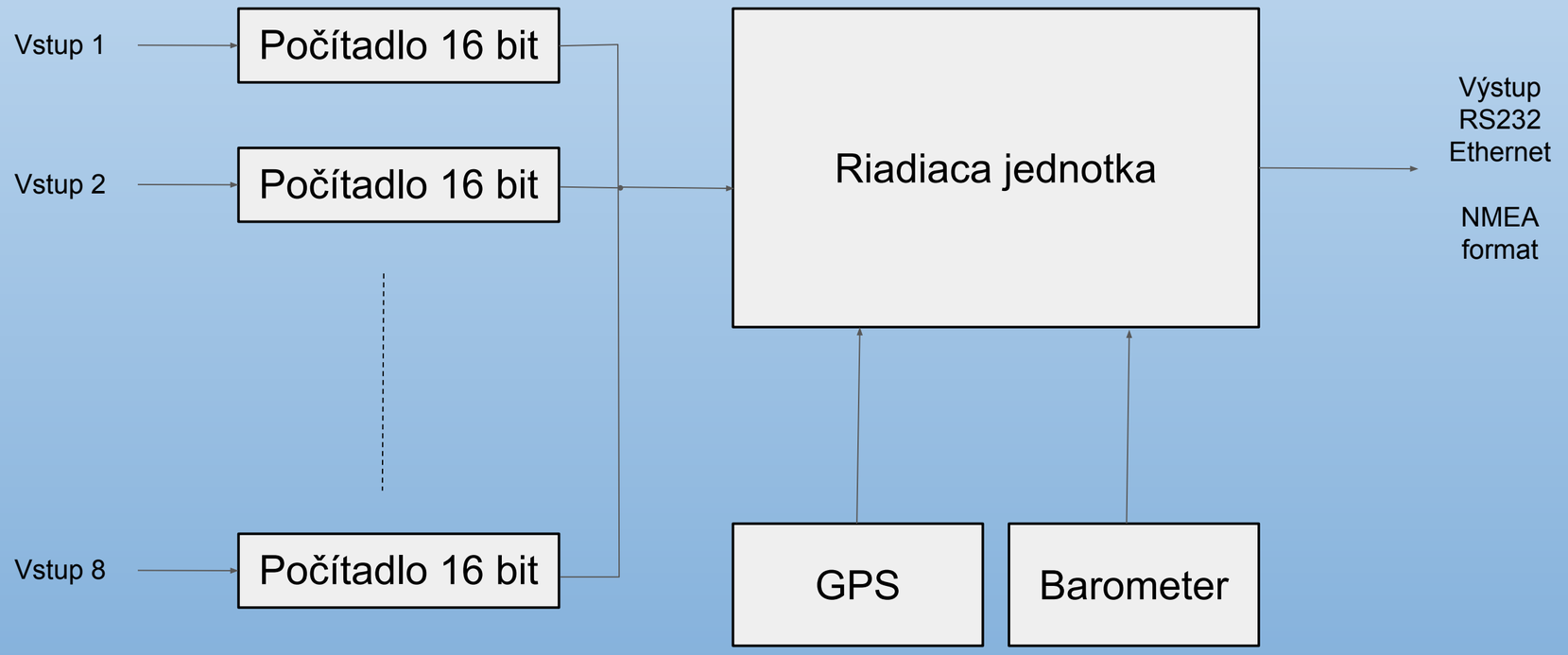
Neutron + B -> Alfa častica -> ionizácia

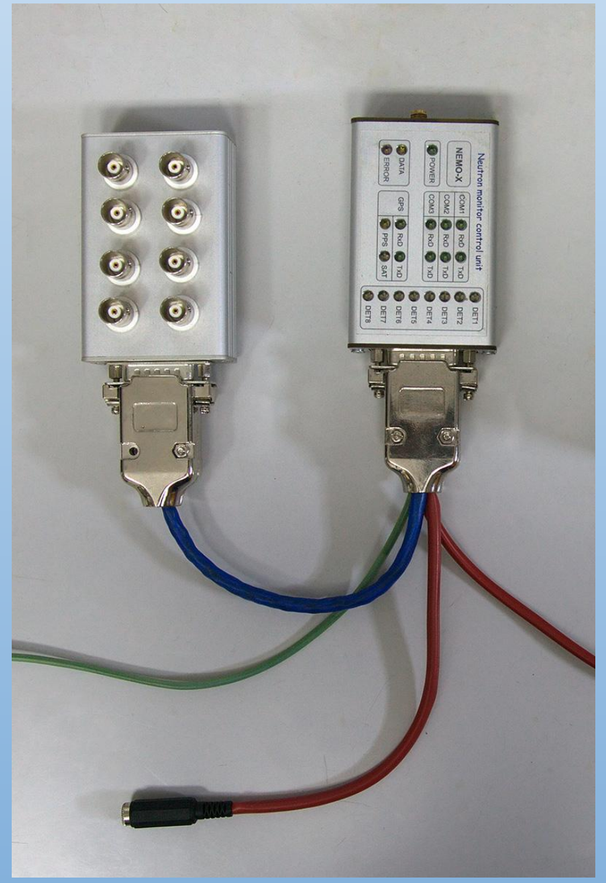
Nerezová trubica

Neutrónový detektor - front-end elektronika

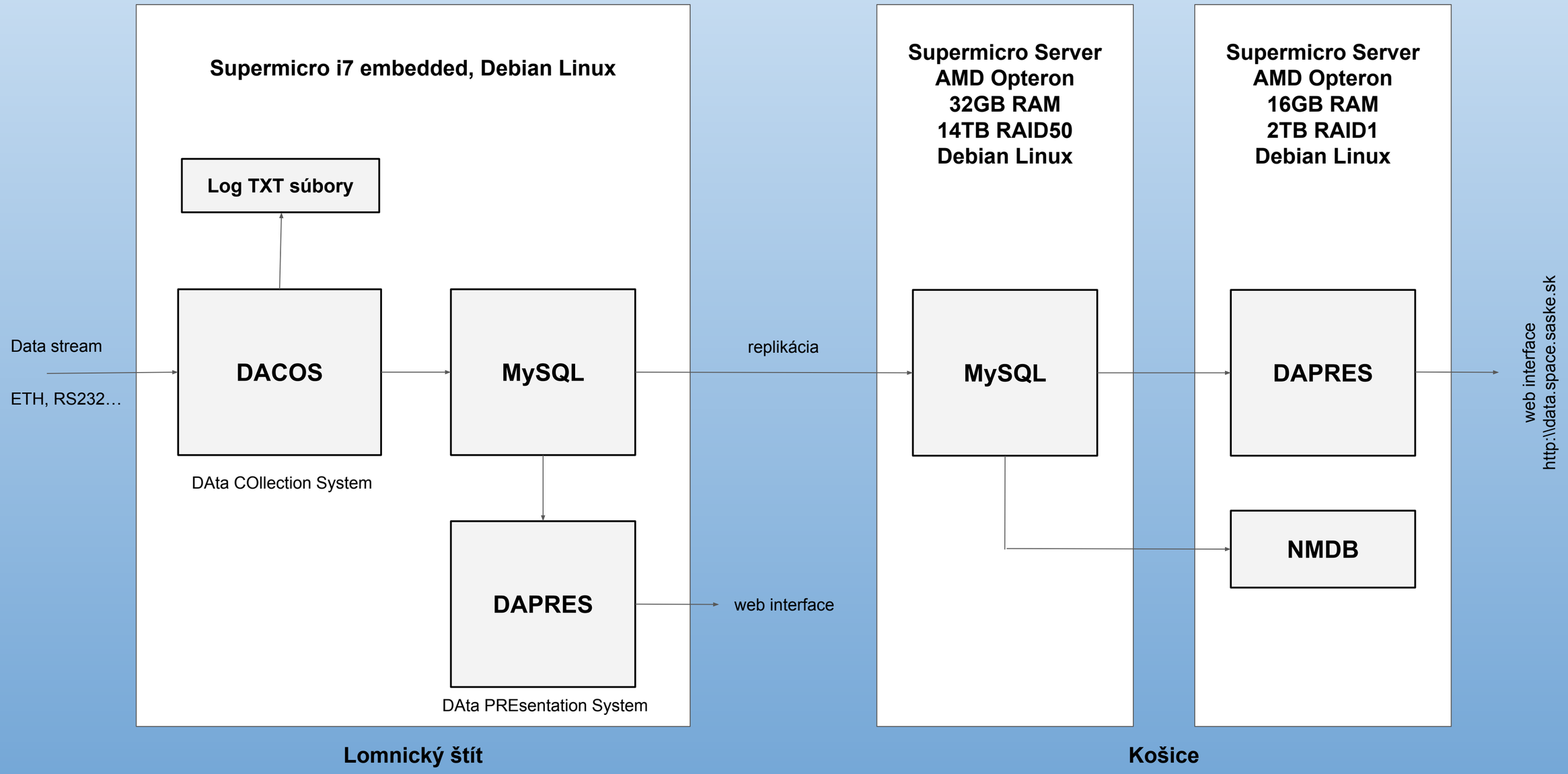


Neutrónový detektor - záznamová elektronika





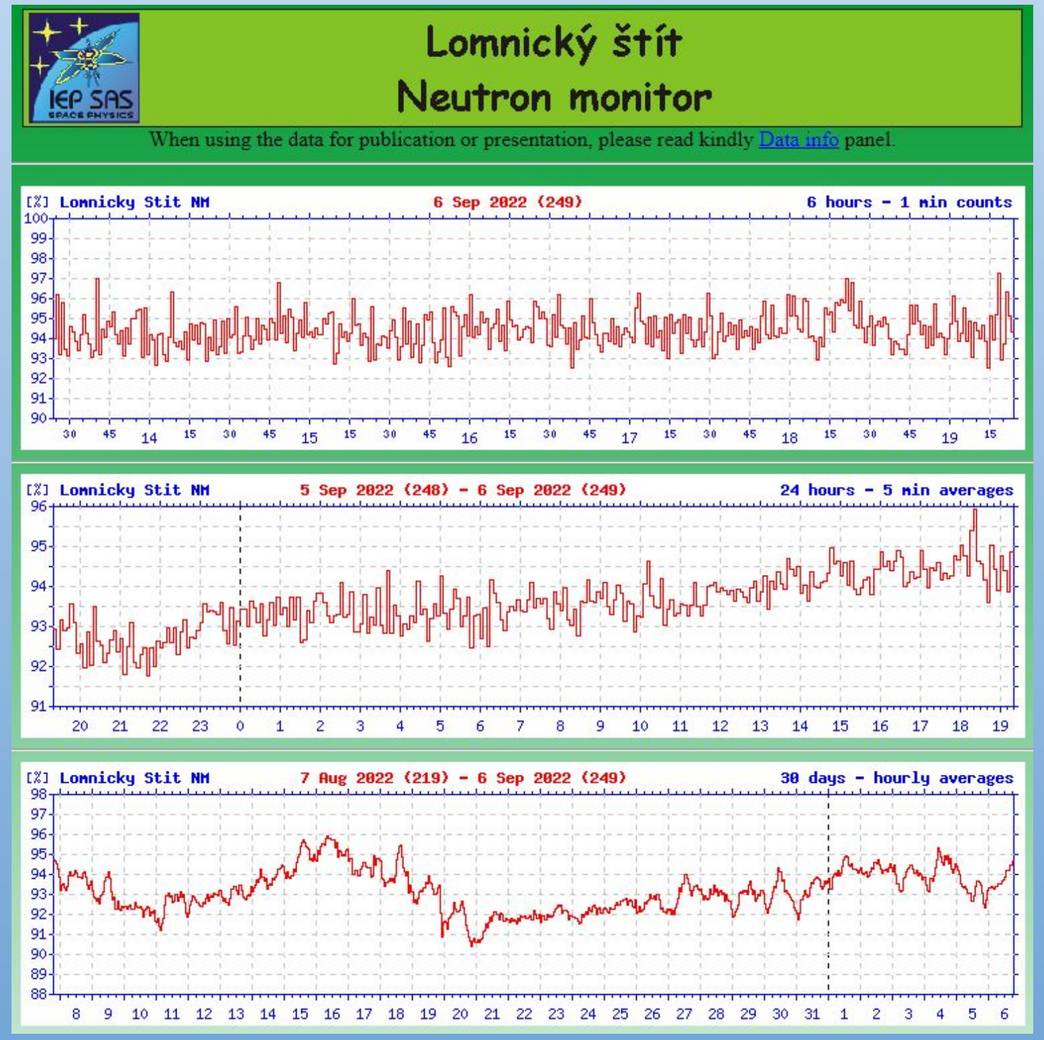
Neutrónový monitor - data flow

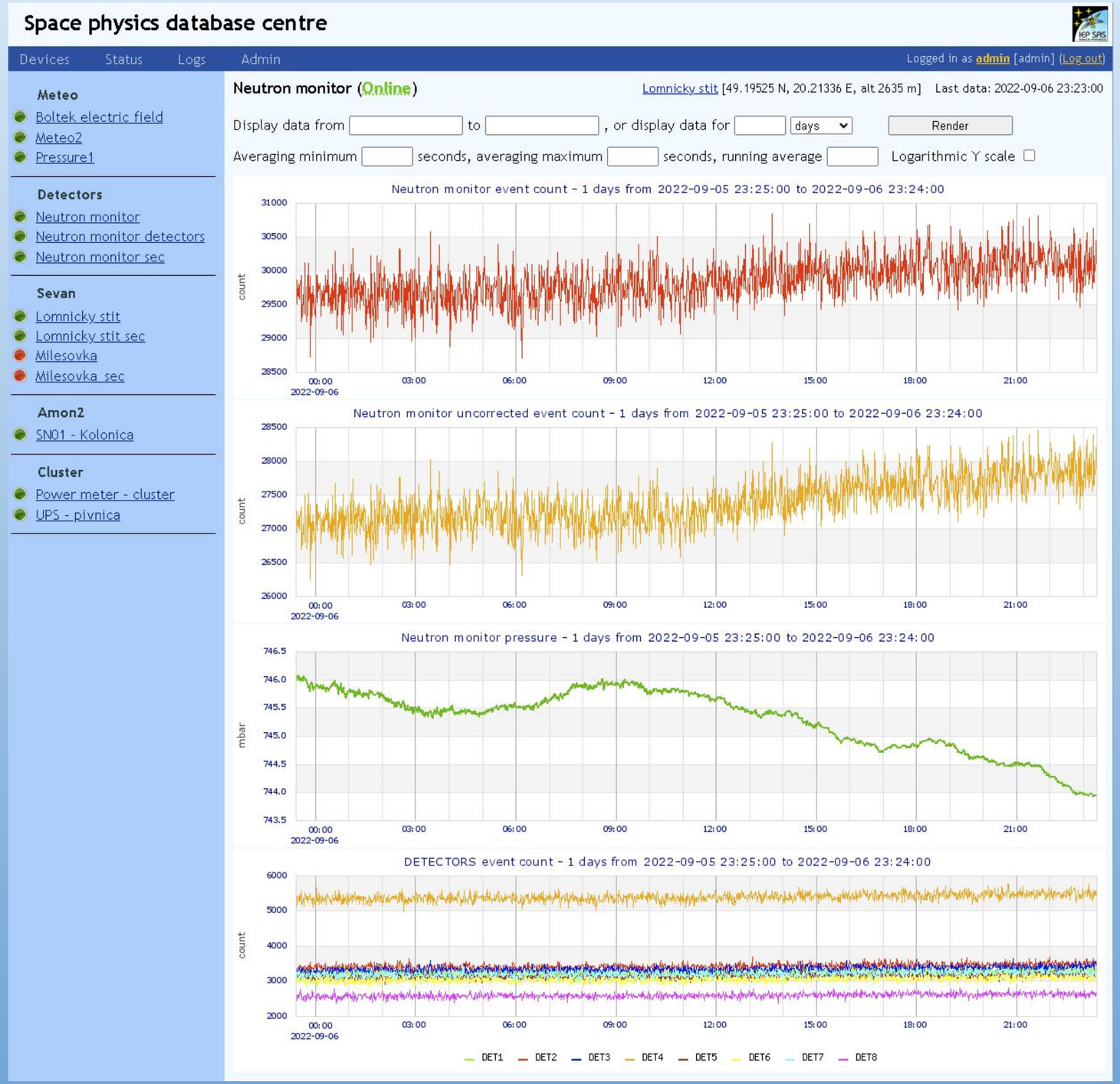


DAPRES

http://data.space.saske.sk

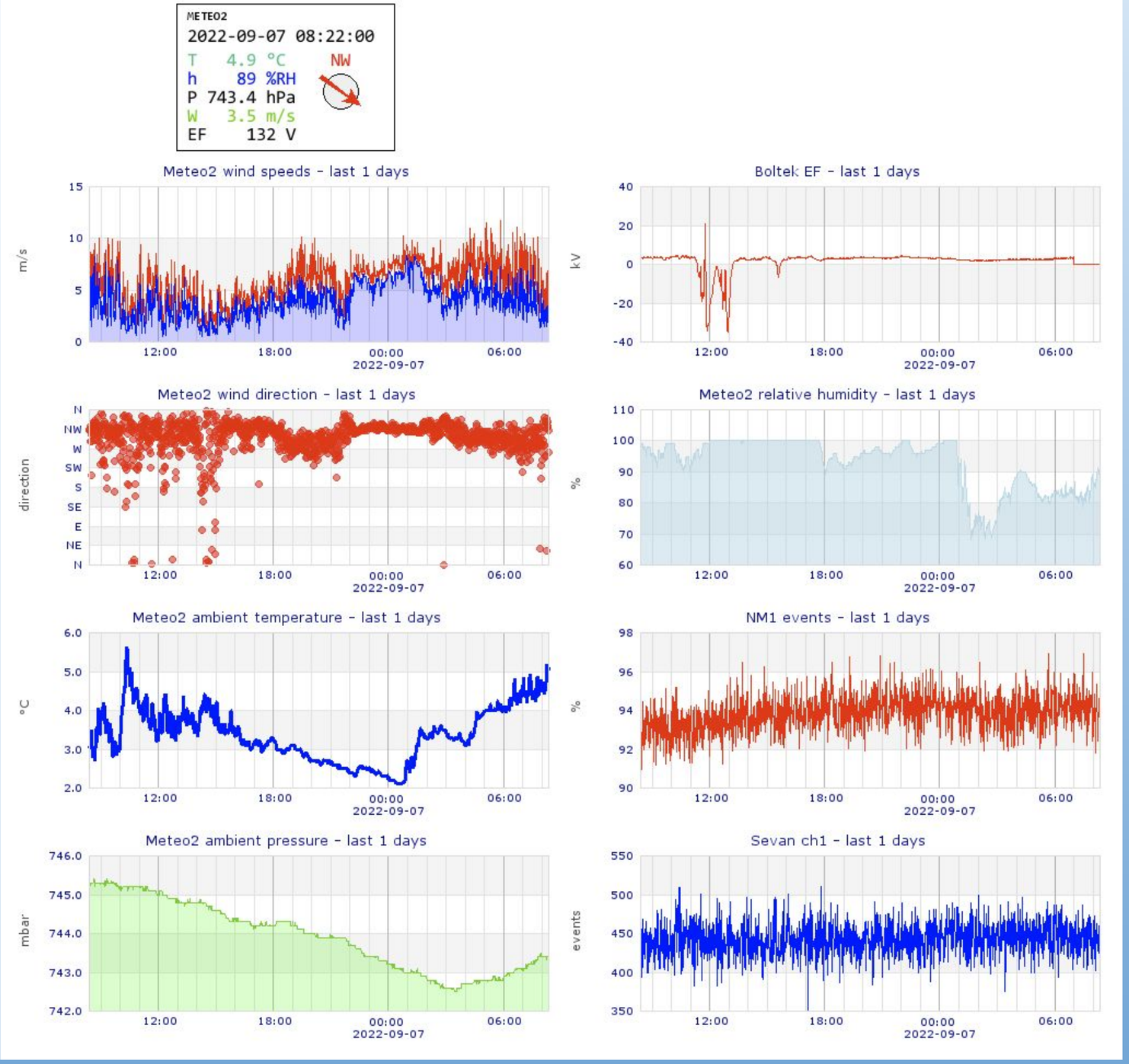
http://neutronmonitor.ta3.sk



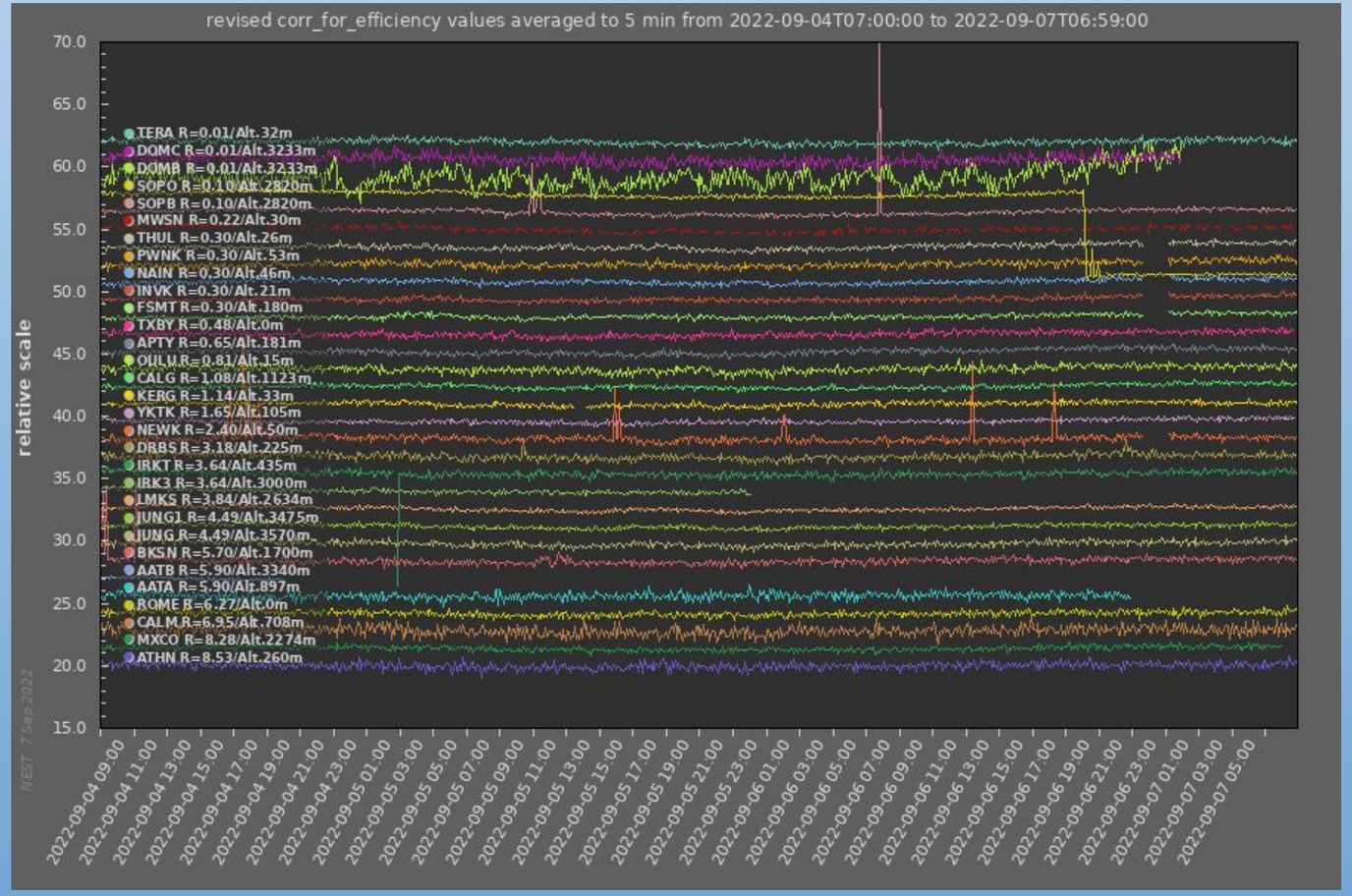


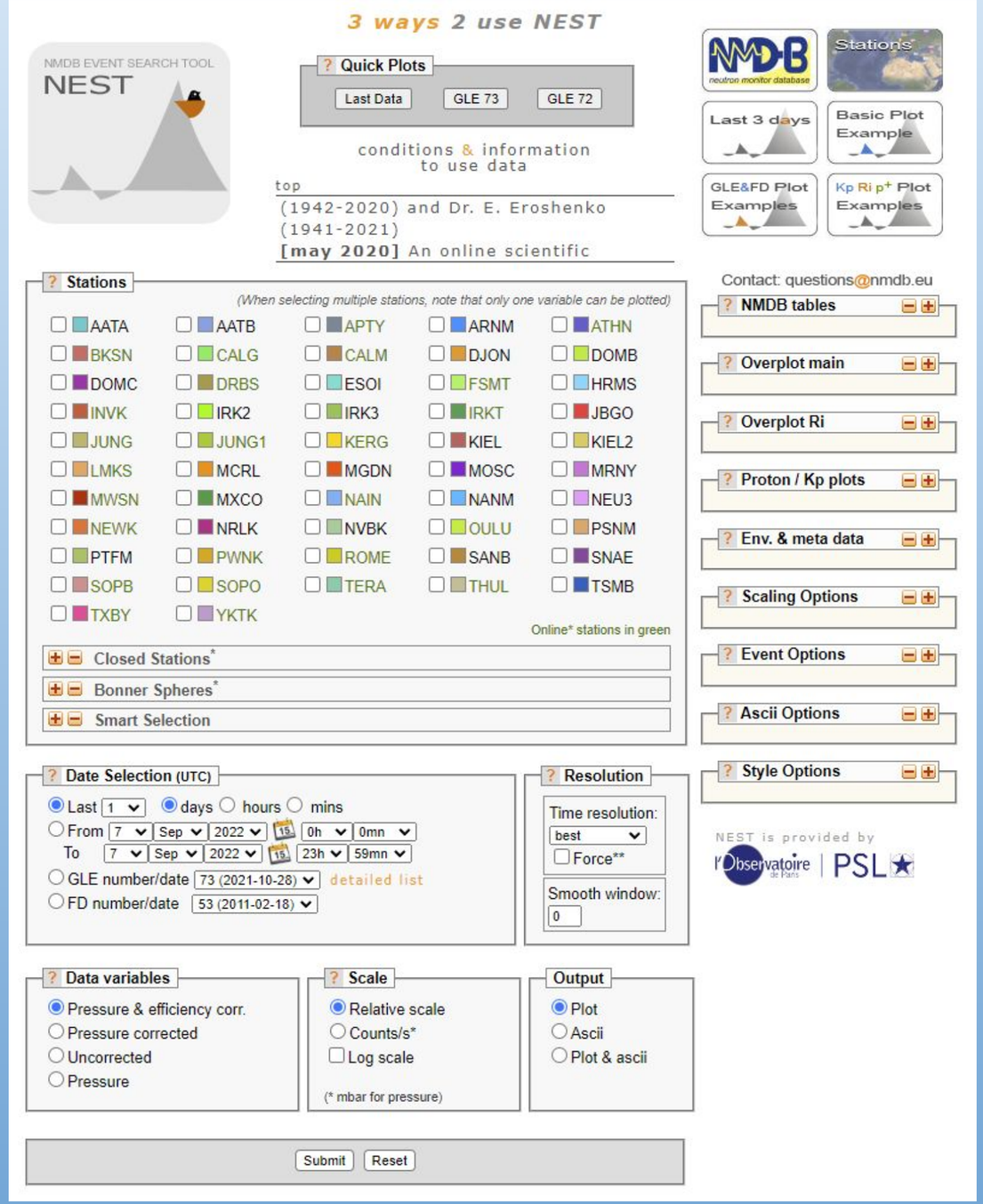
http://lomnickystit.sk/status

```
<HTML>
<HEAD>
<TITLE>Lomnický štít weather stations</TITLE>
<META HTTP-EQUIV="Refresh" CONTENT="60">
<META HTTP-EQUIV="Cache-Control" content="no-cache">
<META HTTP-EQUIV="Pragma" CONTENT="no-cache">
</HEAD>
<BODY>
<TABLE>
<TR>
<TD><CENTER><A HREF="/pictures/status.png"><IMG SRC="/pictures/status.png"></A></TD>
</TR>
<TR>
<TD><CENTER><A HREF="/pictures/wind.png"><IMG SRC="/pictures/wind.png"></A></TD>
<TD><CENTER><A HREF="/pictures/boltek.png"><IMG SRC="/pictures/boltek.png"></A></TD>
</TR>
<TR>
<TD><CENTER><A HREF="/pictures/wind_direction.png"><IMG SRC="/pictures/wind_direction.png"></A></TD>
<TD><CENTER><A HREF="/pictures/humidity.png"><IMG SRC="/pictures/humidity.png"></A></TD>
</TR>
<TR>
<TD><CENTER><A HREF="/pictures/temperature.png"><IMG SRC="/pictures/temperature.png"></A></TD>
<TD><CENTER><A HREF="/pictures/nm1.png"><IMG SRC="/pictures/nm1.png"></A></TD>
</TR>
<TR>
<TD><CENTER><A HREF="/pictures/pressure.png"><IMG SRC="/pictures/pressure.png"></A></TD>
<TD><CENTER><A HREF="/pictures/sevan.png"><IMG SRC="/pictures/sevan.png"></A></TD>
</TR>
</TABLE>
</BODY>
</HTML>
```

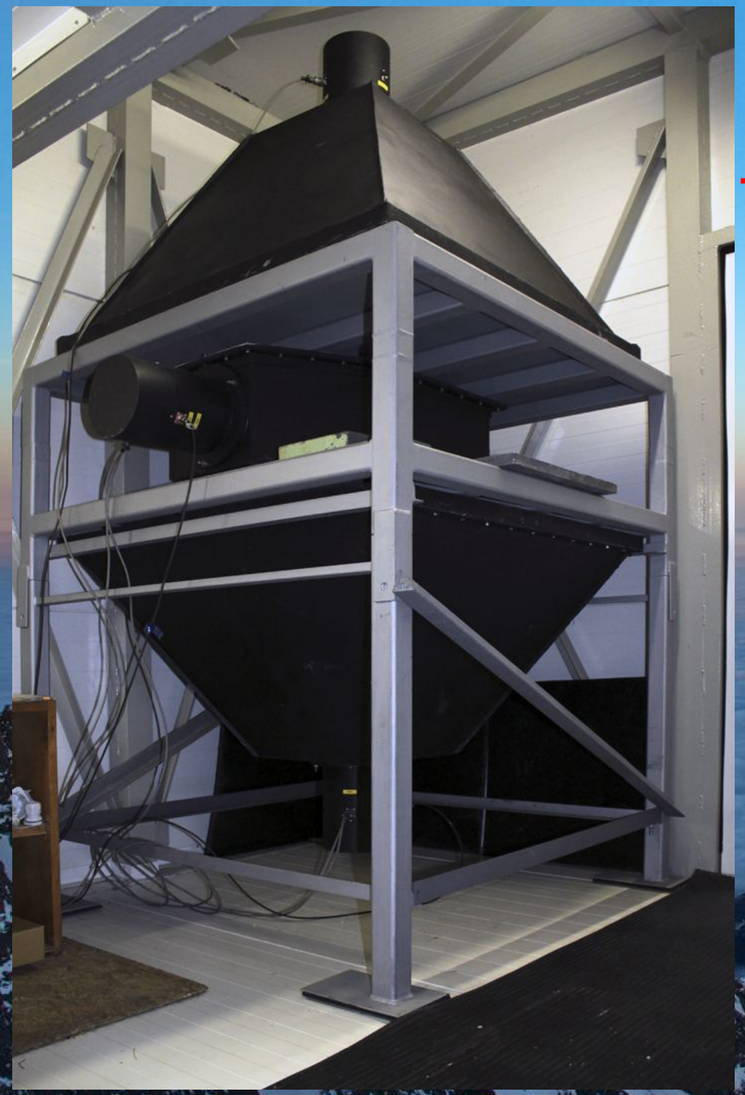


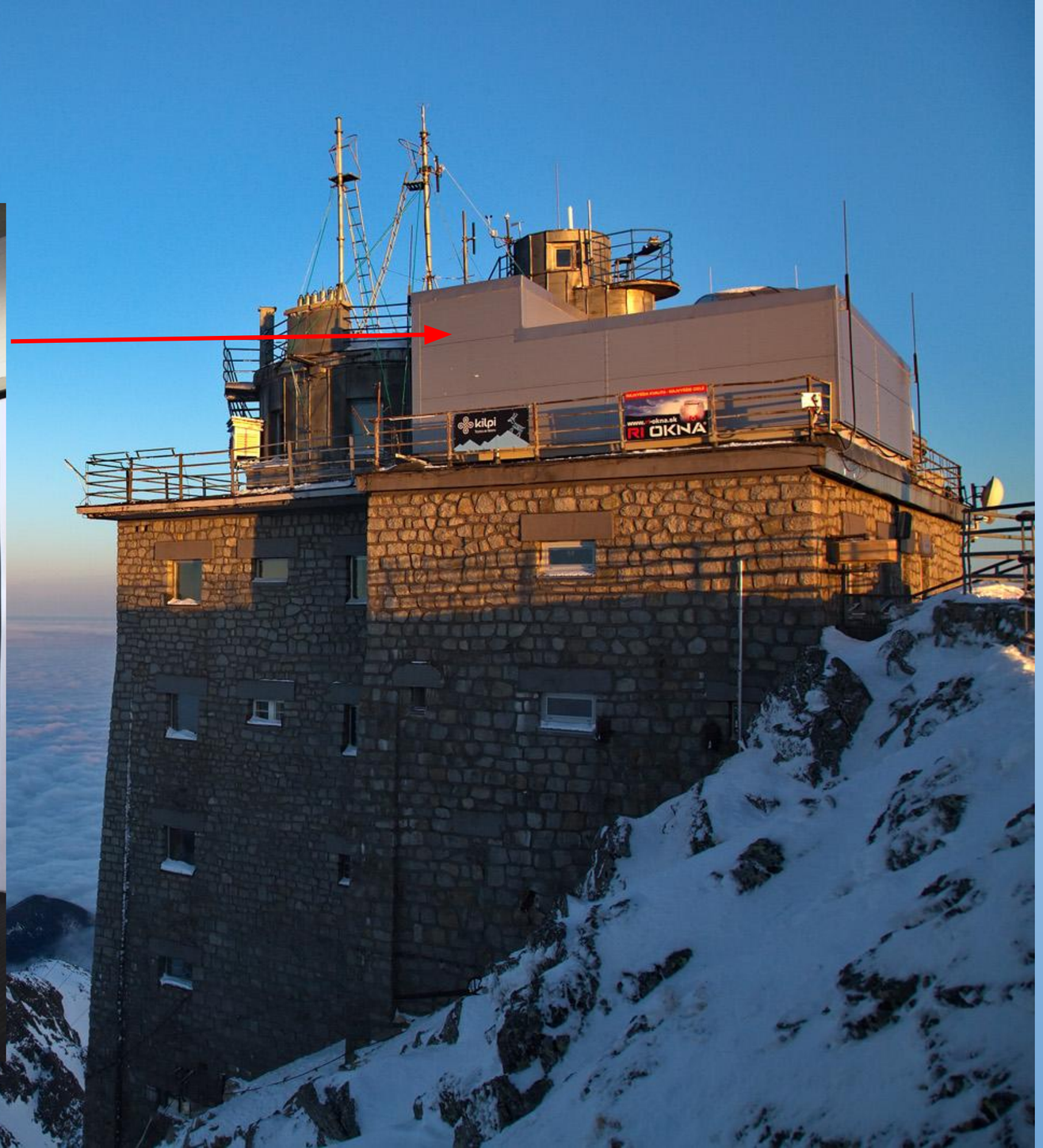
http://nmdb.eu


revised corr_for_efficiency values averaged to 5 min from 2022-09-04T07:00:00 to 2022-09-07T06:59:00
relative scale
TERA R=0.01/Alt.32m
DOMC R=0.01/Alt.3233m
DOMB R=0.01/Alt.3233m
SOPO R=0.10/Alt.2820m
SOPB R=0.10/Alt.2820m
MWSN R=0.22/Alt.30m
THUL R=0.30/Alt.26m
PWNK R=0.30/Alt.53m
NAIN R=0.30/Alt.46m
INVK R=0.30/Alt.21m
FSMT R=0.30/Alt.180m
TXBY R=0.48/Alt.0m
APTY R=0.65/Alt.181m
OULU R=0.81/Alt.15m
CALG R=1.08/Alt.1123m
KERG R=1.14/Alt.33m
YKTK R=1.65/Alt.105m
NEWK R=2.40/Alt.50m
DRBS R=3.18/Alt.225m
IRKT R=3.64/Alt.435m
IRK3 R=3.64/Alt.3000m
LMKS R=3.84/Alt.2634m
JUNG1 R=4.49/Alt.3475m
JUNG R=4.49/Alt.3570m
BKSN R=5.70/Alt.1700m
AATB R=5.90/Alt.3340m
AATA R=5.90/Alt.897m
ROME R=6.27/Alt.0m
CALM R=6.95/Alt.708m
MXCO R=8.28/Alt.2274m
ATHN R=8.53/Alt.260m
NEST 7 Sep 2022


3 ways 2 use NEST
NMDB EVENT SEARCH TOOL
NEST
Quick Plots
Last Data
GLE 73
GLE 72
conditions & information to use data
top
(1942-2020) and Dr. E. Eroshenko
(1941-2021)
[may 2020] An online scientific
Stations
Last 3 days
Basic Plot Example
GLE&FD Plot Examples
Kp Ri p+ Plot Examples
Contact: questions@nmdb.eu
Stations
(When selecting multiple stations, note that only one variable can be plotted)
AATA AATB APTY ARNM ATHN
BKSN CALG CALM DJON DOMB
DOMC DRBS ESOI FSMT HRMS
INVK IRK2 IRK3 IRKT JBGO
JUNG JUNG1 KERG KIEL KIEL2
LMKS MCRL MGDN MOSC MRNY
MWSN MXCO NAIN NANM NEU3
NEWK NRLK NVBK OULU PSNM
PTFM PWNK ROME SANB SNAE
SOPB SOPO TERA THUL TSMB
TXBY YKTK
Online* stations in green
Closed Stations*
Bonner Spheres*
Smart Selection
NMDB tables
Overplot main
Overplot Ri
Proton / Kp plots
Env. & meta data
Scaling Options
Event Options
Ascii Options
Style Options
Date Selection (UTC)
Last 1 days hours mins
From 7 Sep 2022 0h 0mn
To 7 Sep 2022 23h 59mn
GLE number/date 73 (2021-10-28) detailed list
FD number/date 53 (2011-02-18)
Resolution
Time resolution: best
Force**
Smooth window: 0
NEST is provided by
Data variables
Pressure & efficiency corr.
Pressure corrected
Uncorrected
Pressure
Scale
Relative scale
Counts/s*
Log scale
(* mbar for pressure)
Output
Plot
Ascii
Plot & ascii
Submit
Reset

SEVAN



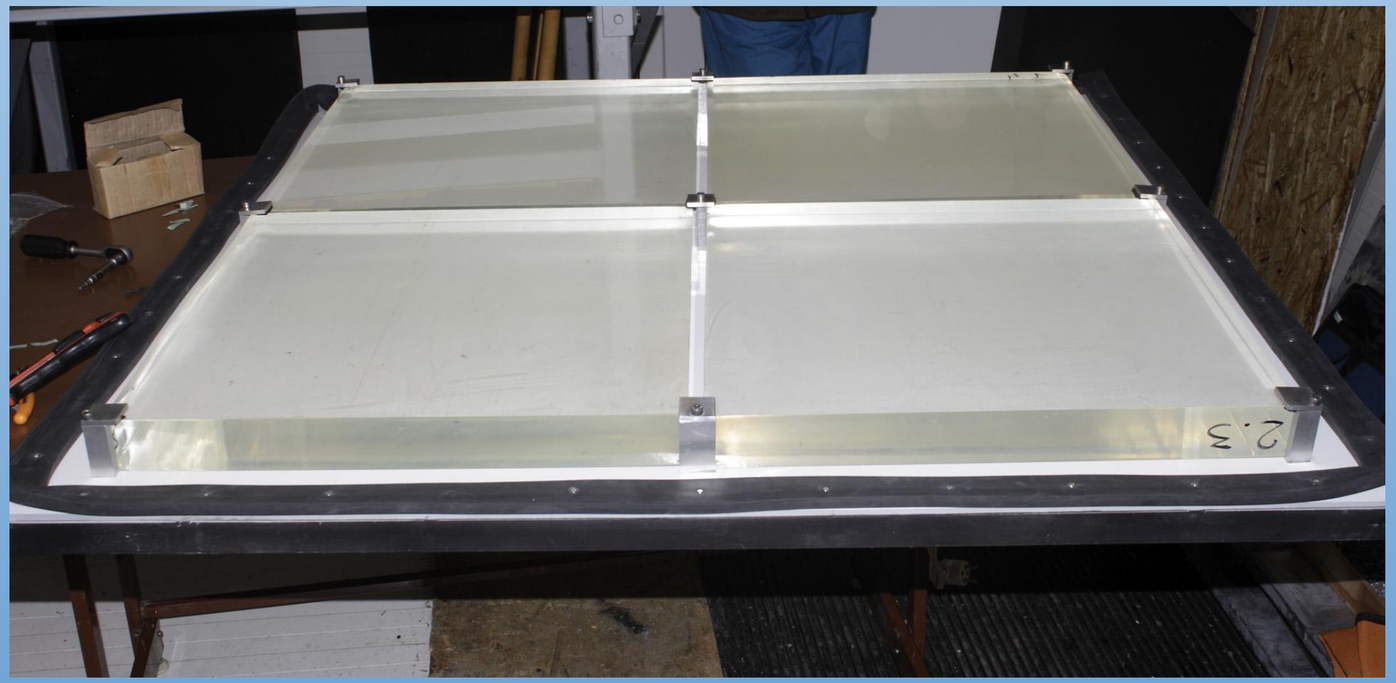


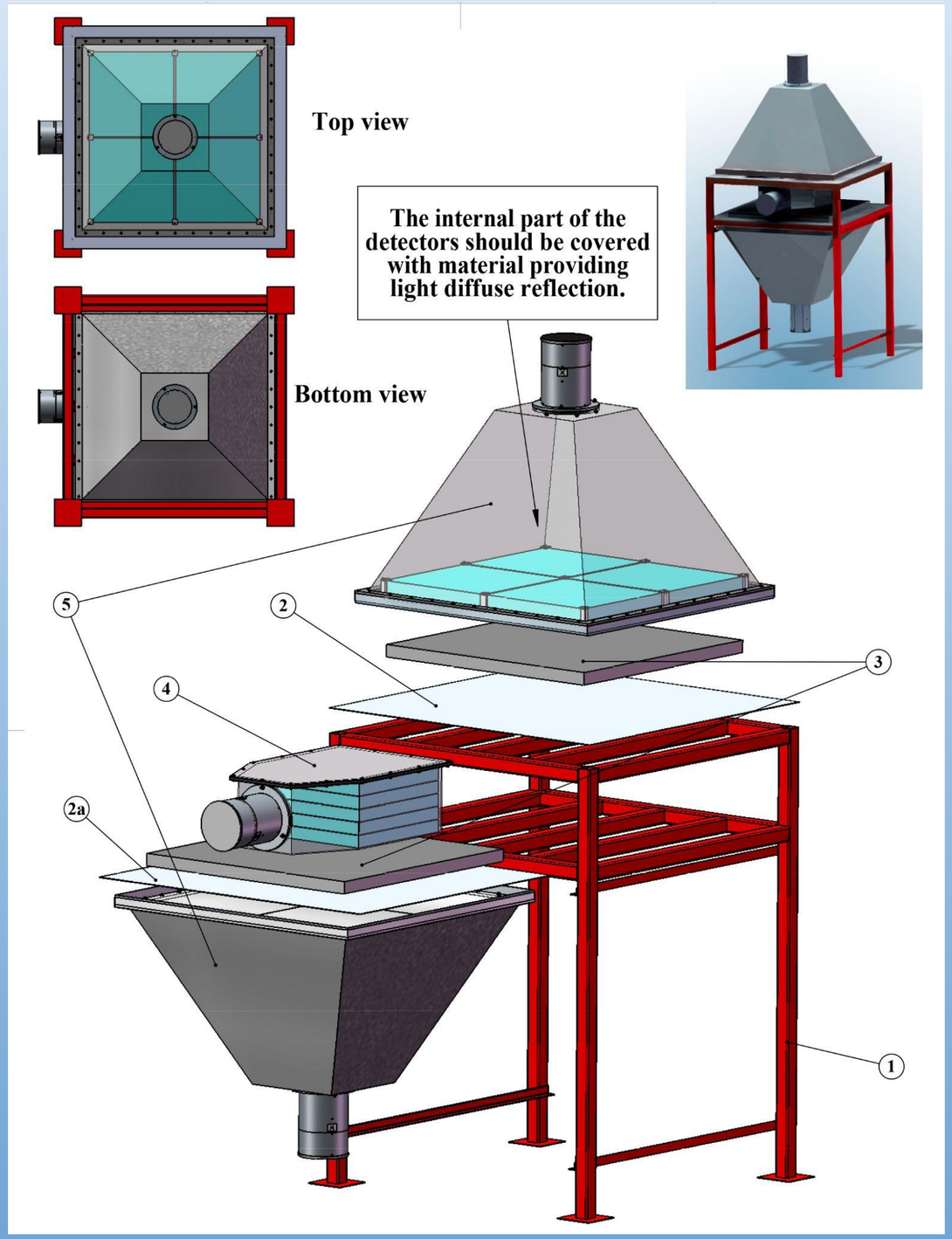
SEVAN

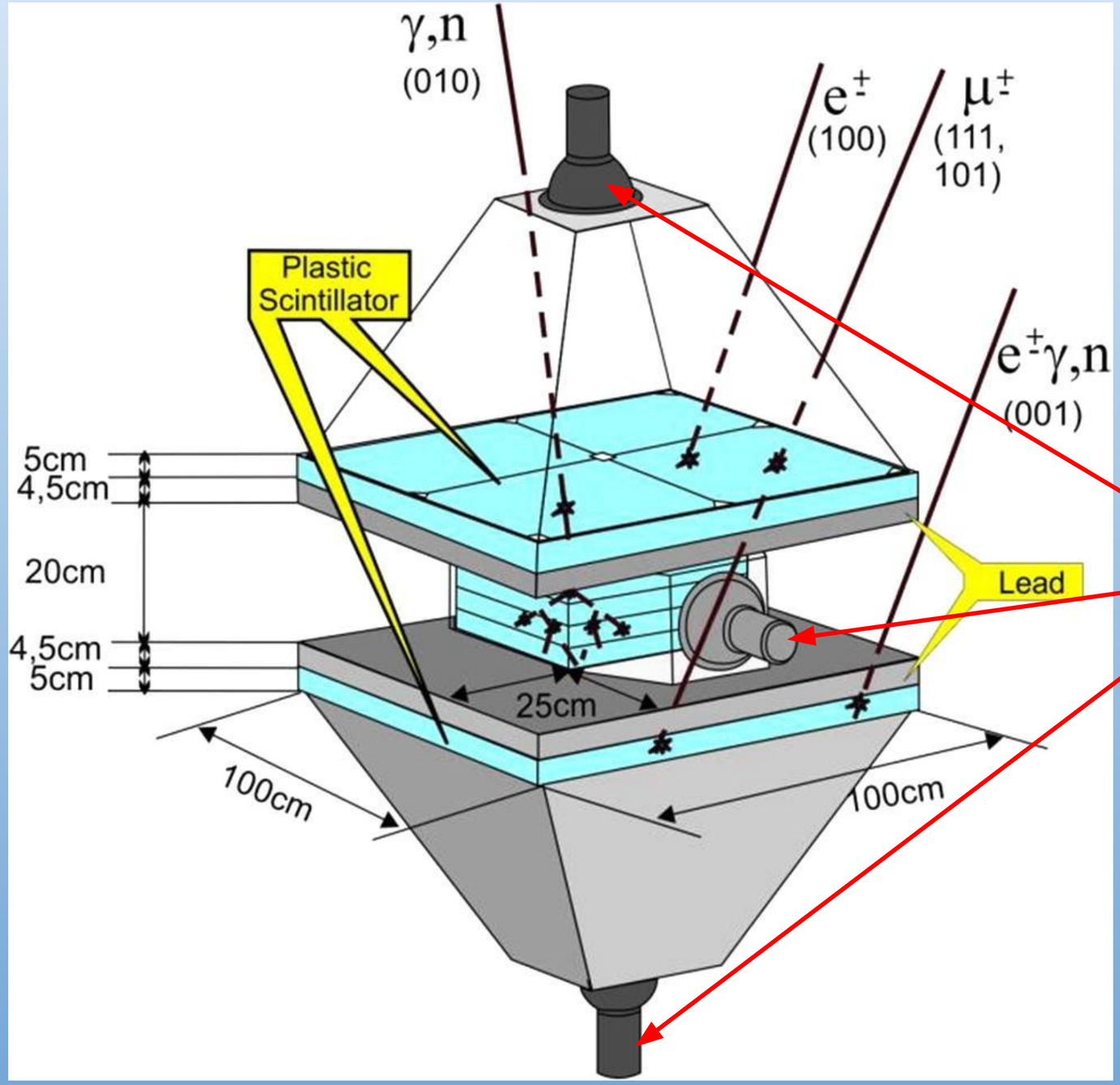
Space **E**nvironment **V**iewing and **A**nalysis **N**etwork

Rozmer: cca 2.8x1.5x1.5m
Hmotnosť cca 1200kg

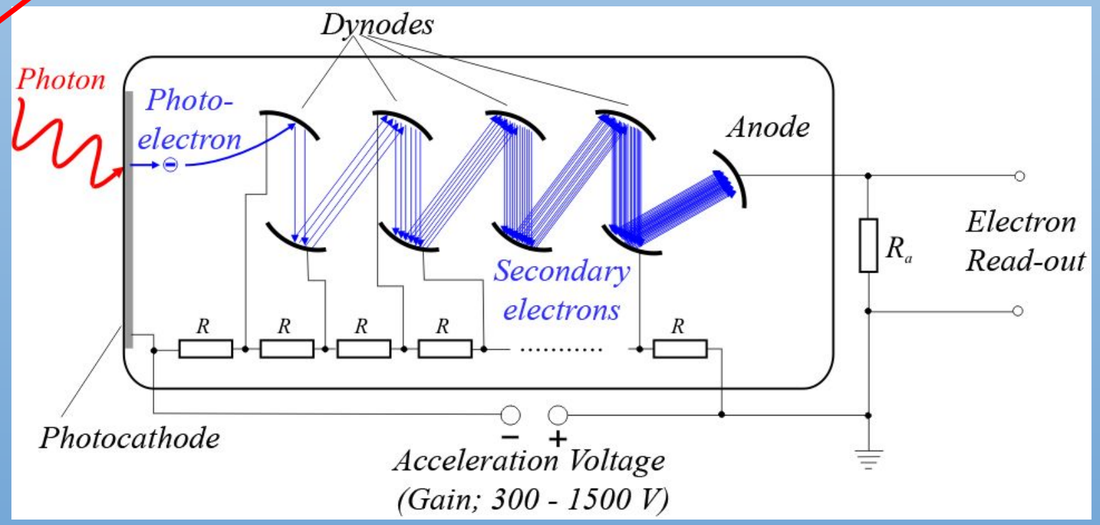
- scintilačný detektor sekundárneho kozmického žiarenia
- 3 detektory v troch vrstvách oddelené vrstvou olova
- zaznamenávajú sa početnosti v jednotlivých detektoroch a ich vzájomné koincidencie



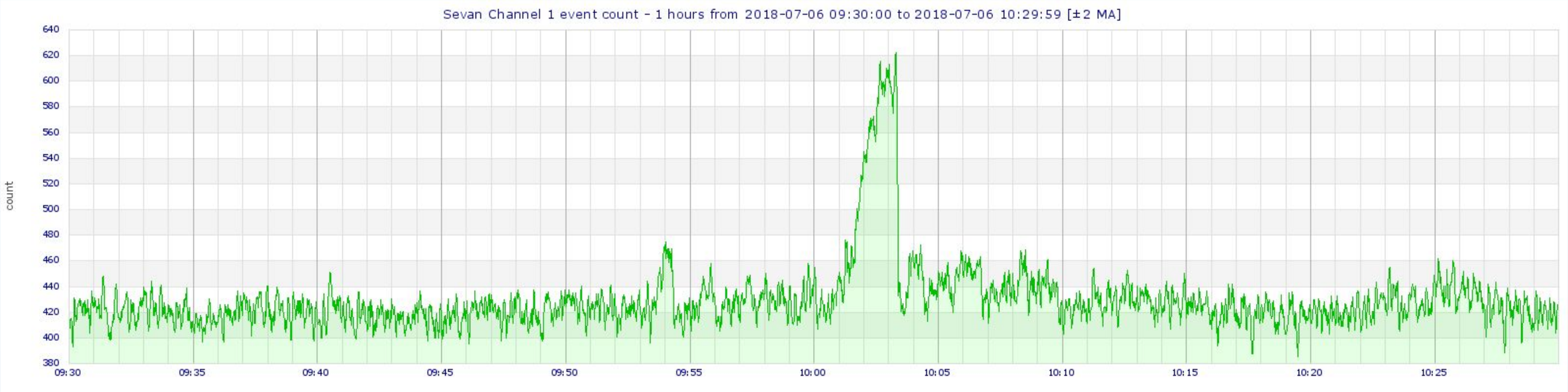


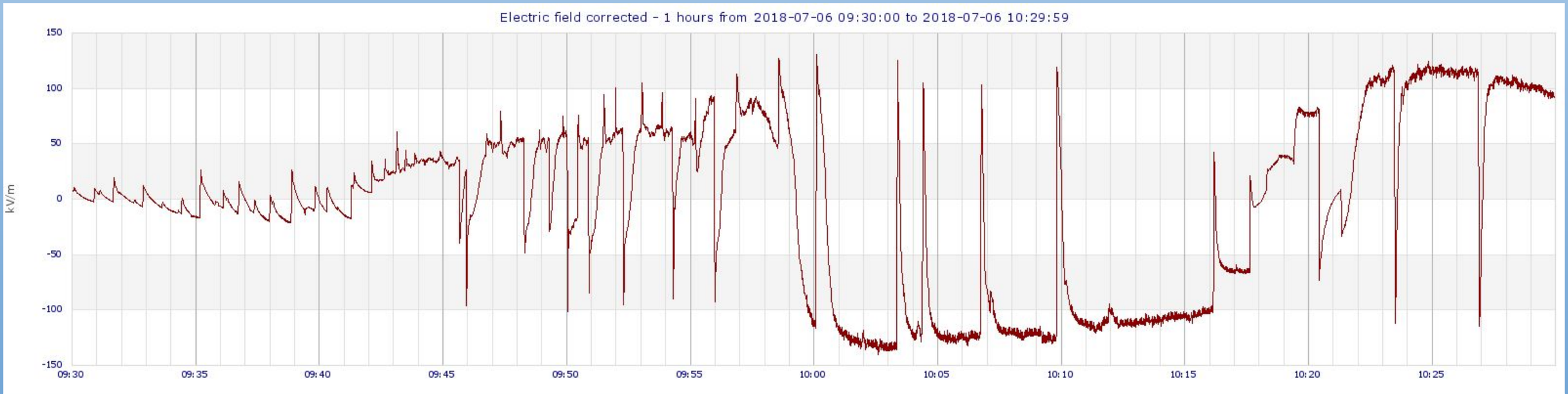


Fotonásobič



TGE - Thunderstorm Ground Enhancements

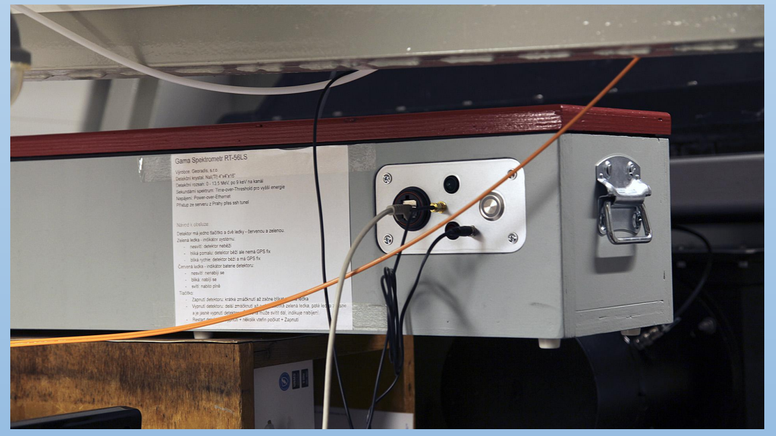




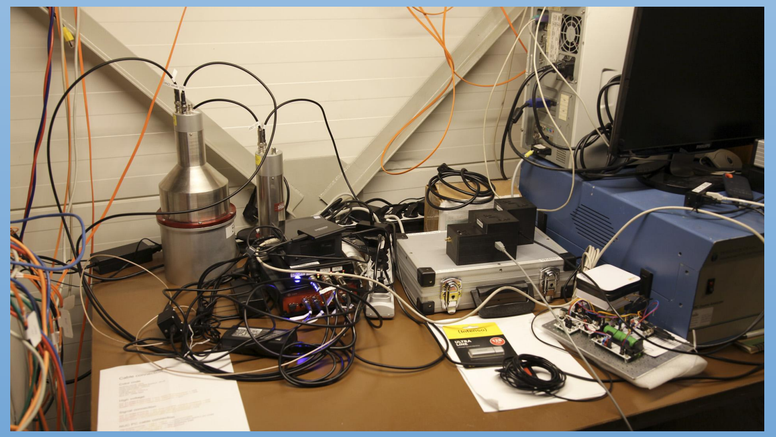
Aragats 4090 m n.m.

Iné zariadenia

Gama spektrometer



Časticové spektrometre



Meranie elektrického poľa (EF) - Boltek

Širokopásmové elektromagnetické meranie bleskov

Meteorologické merania

Koronograf

Ďakujem za pozornosť

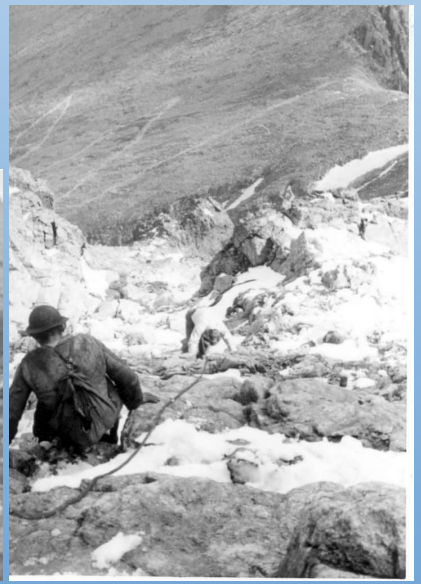
Život a práca na Lomnickom štíte

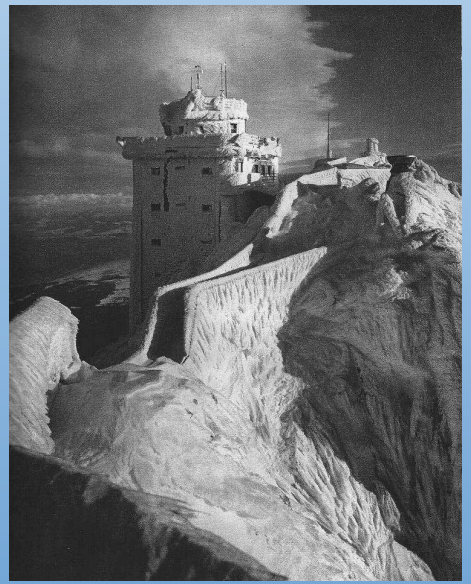
Výstavba lanovej dráhy

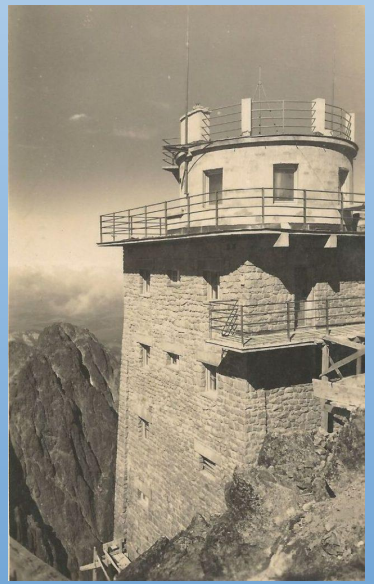
1934 - Rozhodnutie postaviť lanovku na Lomnický štít
1936 - Začiatok výstavby
1938 - Trasa na Skalnaté pleso v prevádzke
1940 - Dokončená budova na Lomnickom štíte
1941 - Trasa na Lomnický štít v prevádzke

https://www.youtube.com/watch?v=ab0BRFWUTxY

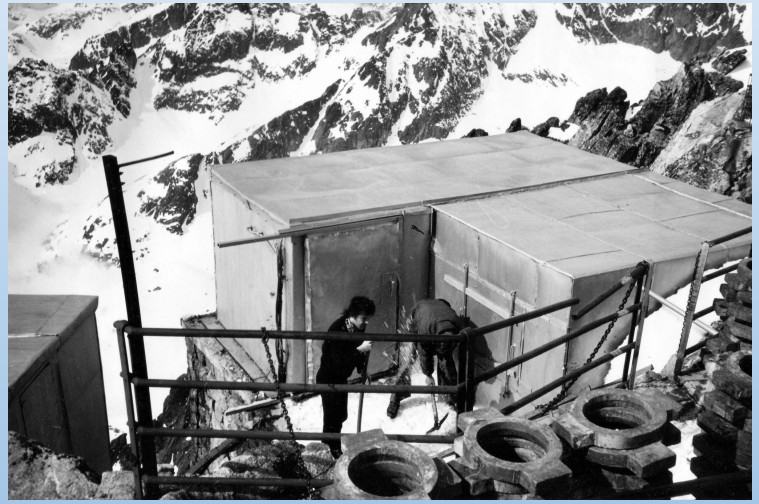
Príbeh jednej lanovky



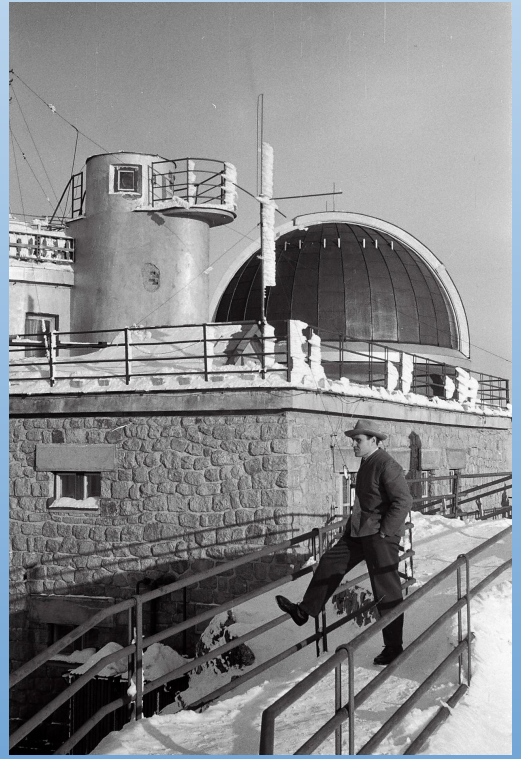


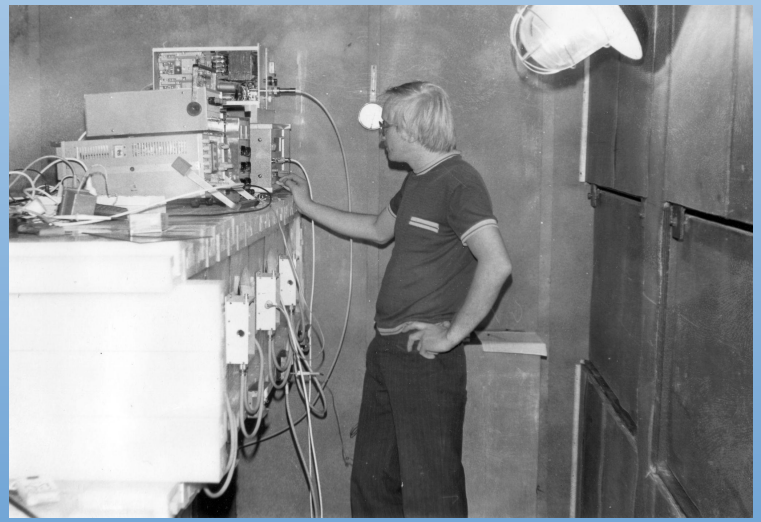


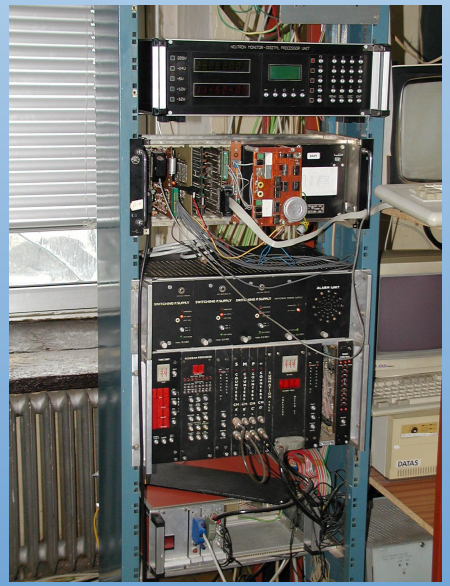
Neutrónový monitor
História



Cesta na Vostok

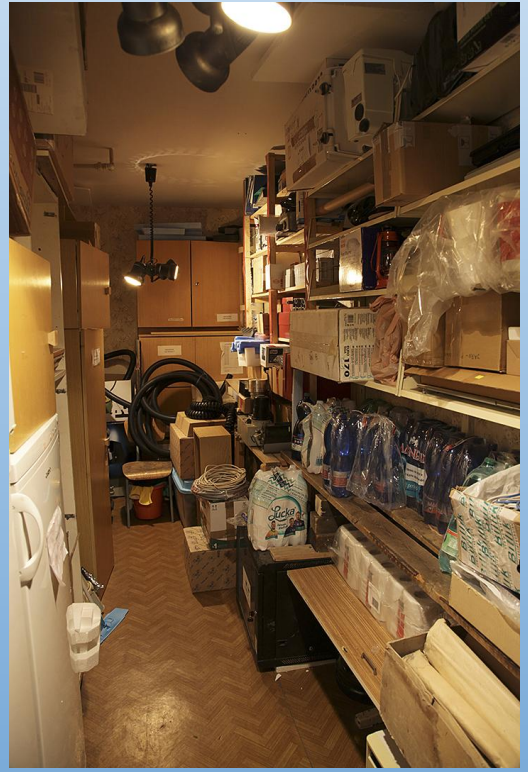




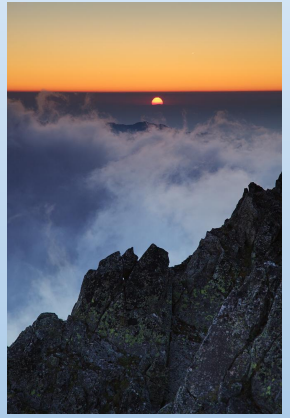


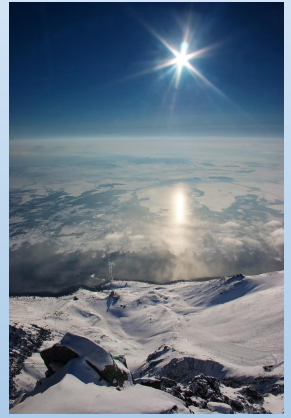
2012 - Prestavba meracieho domčeka

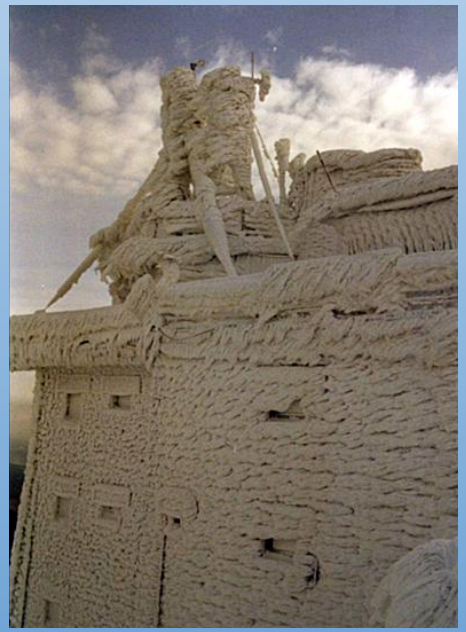
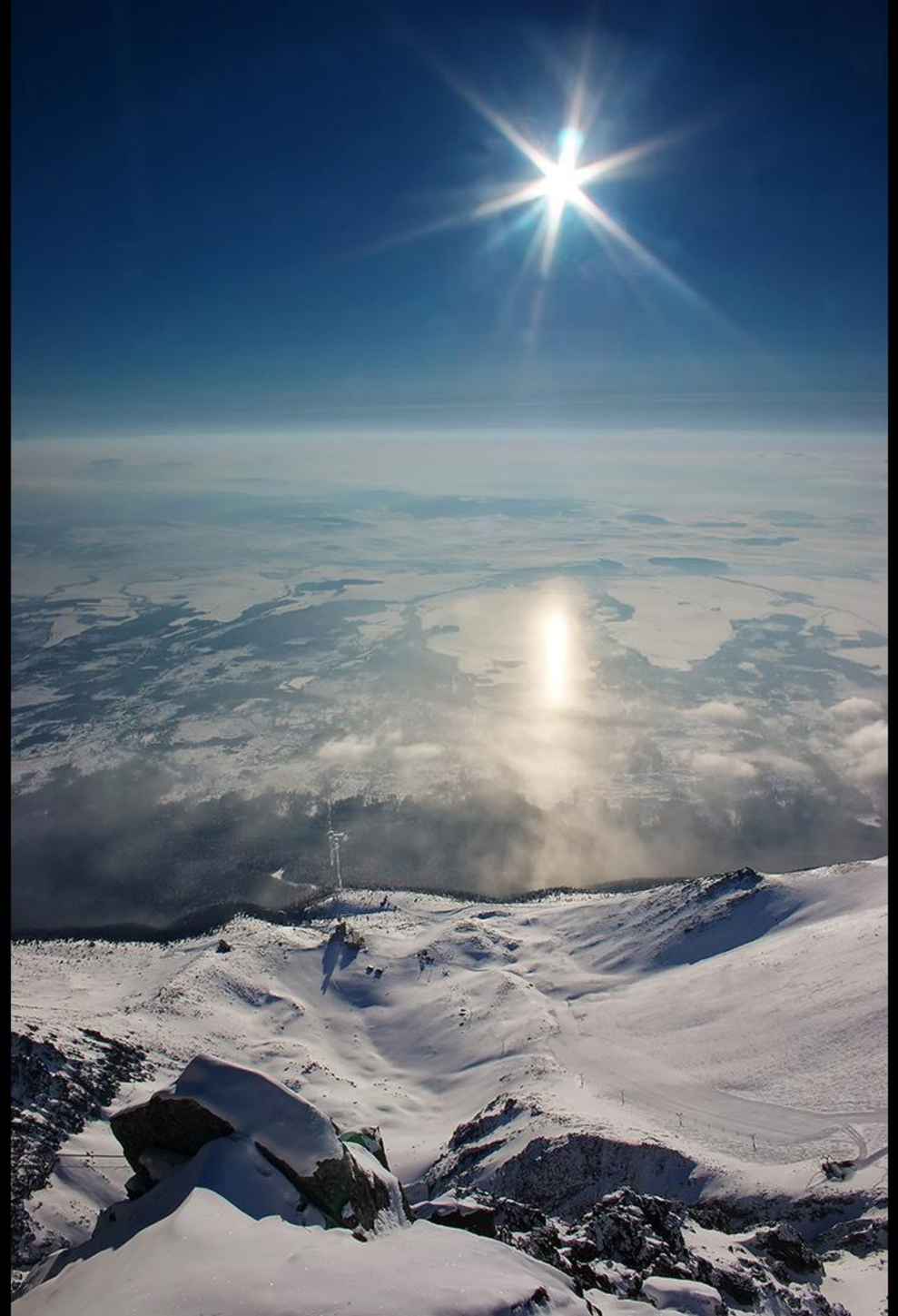
Technické zázemie



Bežný život







TLD