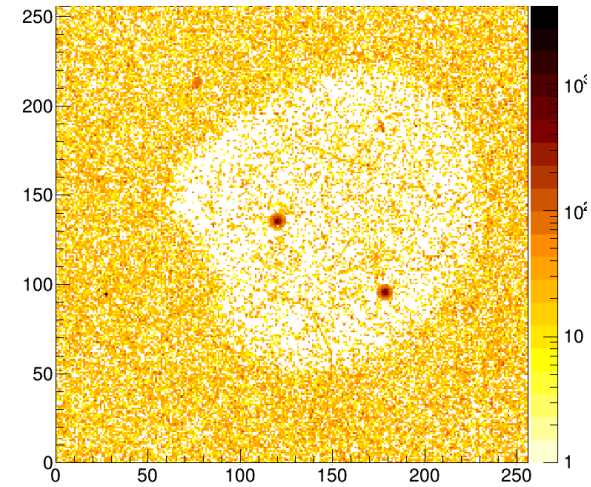
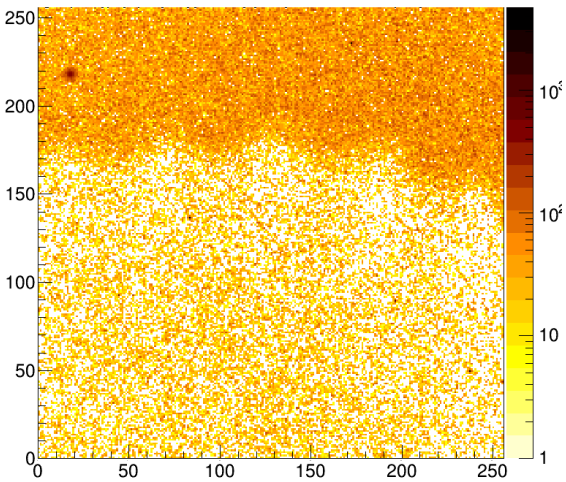


Hrátky s Částicovou kamerou TimePix

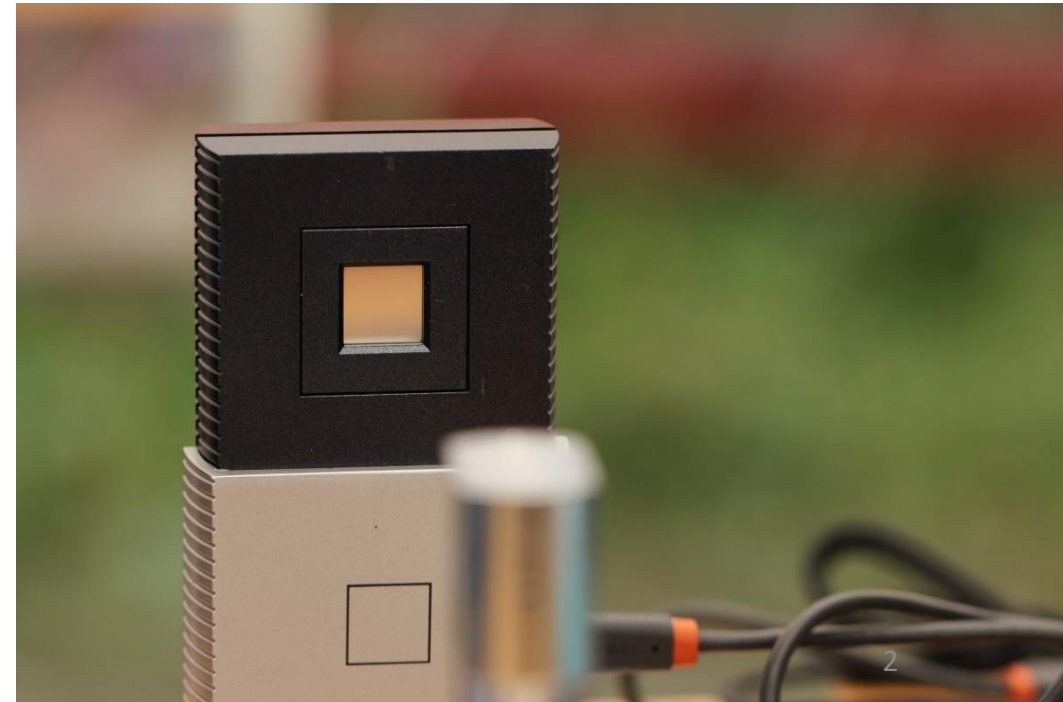
Jiří Kvita
3.5.2016
SLO



MediPix

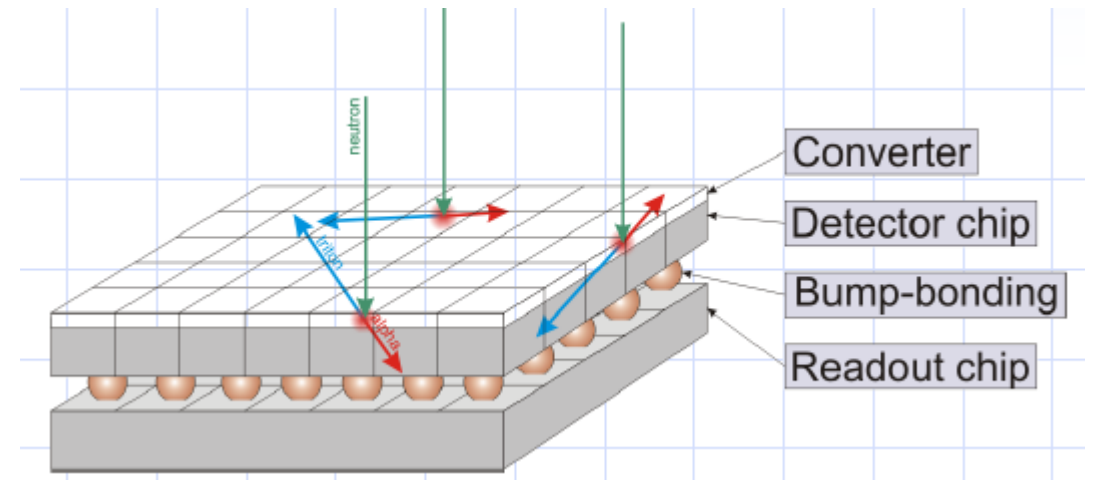
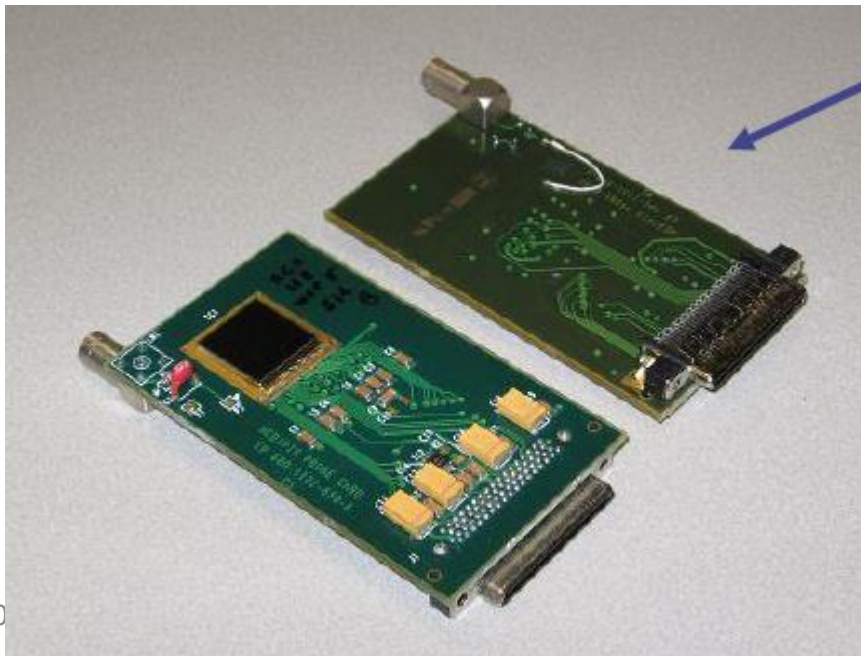
- Částicová kamera vyvinutá ČVUT ve spolupráci s CERN.
- Prodává fa Jablotron.
- Na SLO zakoupena v rámci projektu FRUP 2015.

- Radiační monitoring v experimentu ATLAS/CERN.
- Monitoring radiace na ISS.
- Medicínské aplikace.
- Citlivost na UV: adaptivní optika teleskopů.



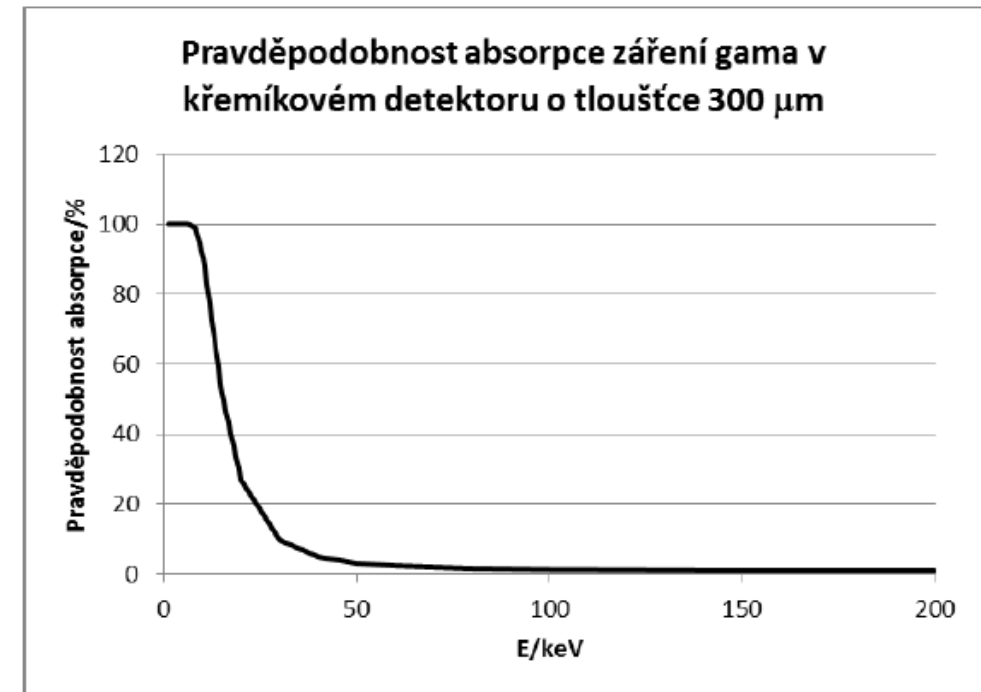
Chip

- Aktivní senzor 256 x 256 = 65k pixelů 14 x 14 mm².
- tloušťka křemíku 300μm, pixel size: 55 μm.
- NP přechod, zóna bez volných nositelů náboje, bias voltage 20-100V.
- Ionizovaná částice generuje pár elektron/díra: práh 3,6eV.
- Nízký šum, lze integrovat dlouhou dobu.
- Čas, kdy je signál nad určitý práh, je převeden na energii v pixelu.



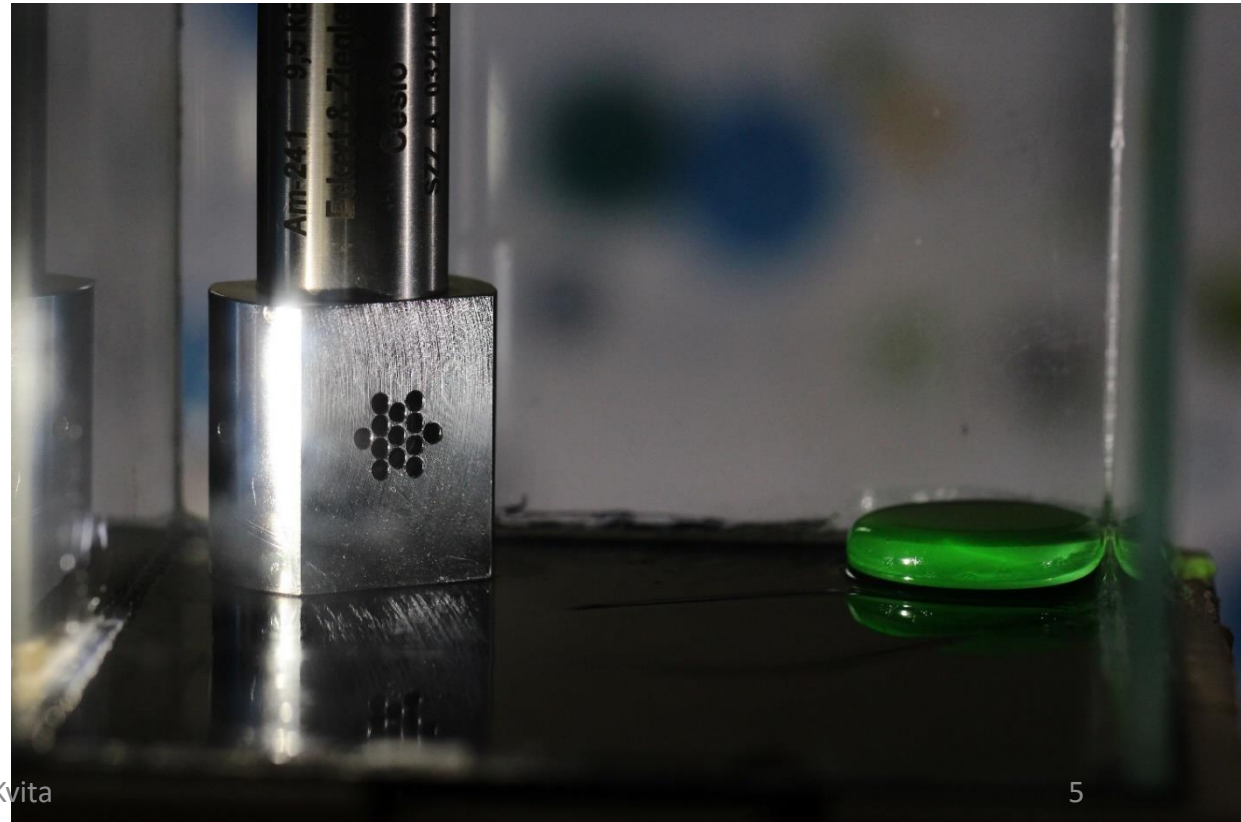
Disclaimer

- Neznáme přesně geometrii aktivní části pro výpočet dávky záření (1Gy = 1J/kg).
- **Veškeré dávky v této prezentaci je třeba brát pouze jako odhad!**
- Zejména jsme neopravovali na efektivitu detekce gamma:
(obrázek: P. Žilavý)
- **Taktéž bez opravy o mrtvou dobu!**



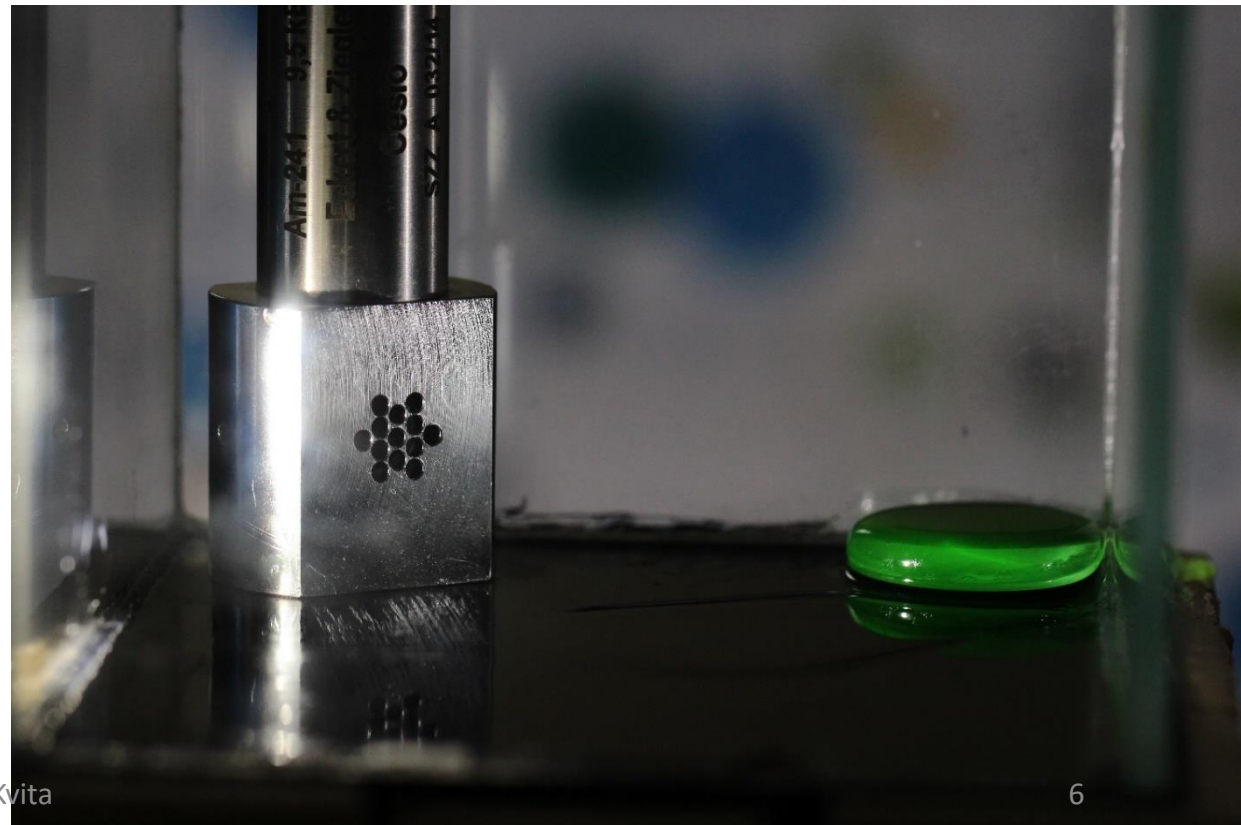
Zdroje záření

- Přirozené radioaktivní pozadí.
- Kosmické záření.
- Umělé zdroje:
 - školní zdroj záření alfa: americium
 - uranové sklíčko: příměs UO_2
 - thoriová elektroda: 4% ThO_2
- Draselné hnojivo, olovo...
- Prach, minerální voda...



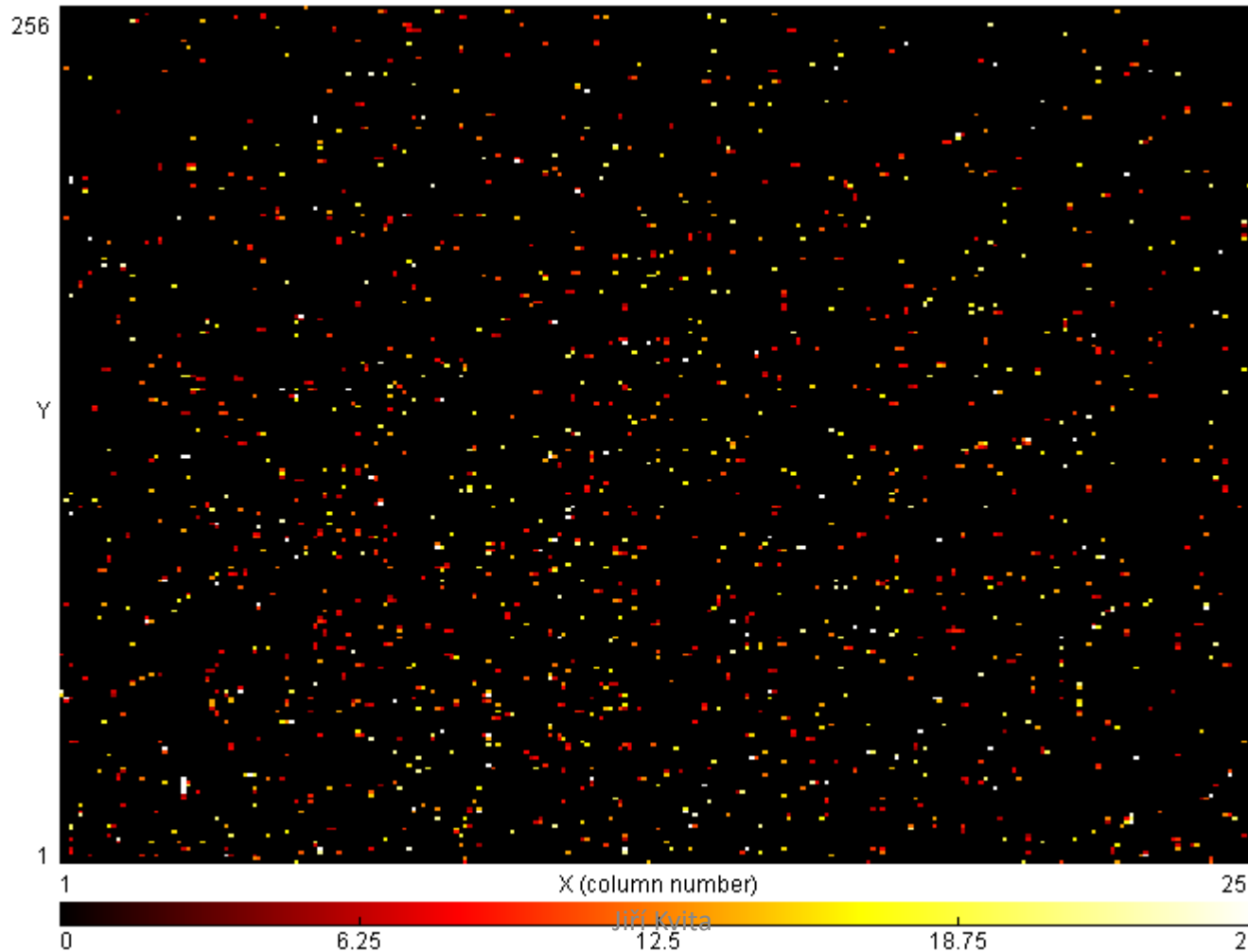
Alfa zářič

- Součást rozšíření „Edukit“: americiový zdroj: 9,5kBq
- $^{241}\text{Am} \rightarrow ^{237}\text{Np} + ^4\text{alfa}$
- Doprovodné gamma záření.
- Am+Be v praxi též zdroj neutronů:)



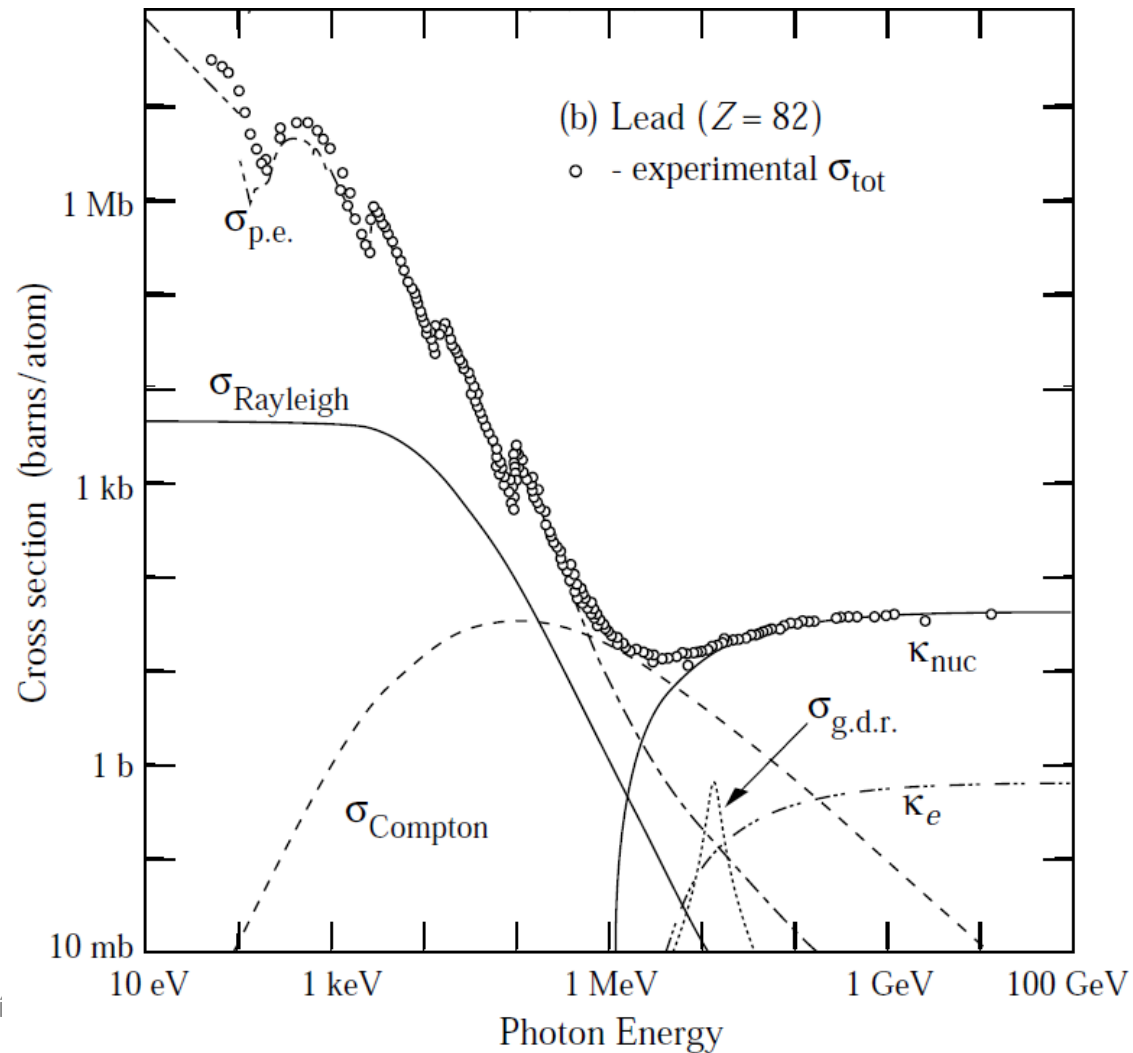
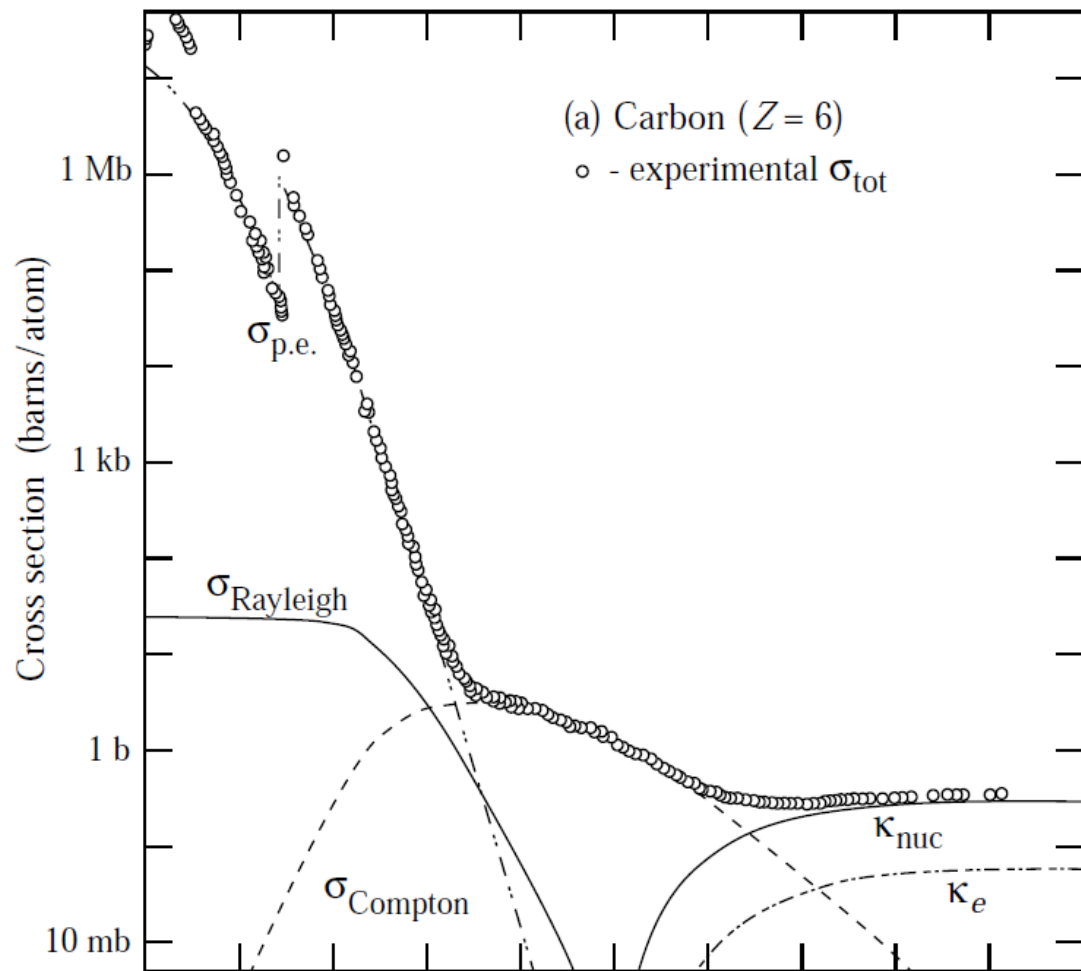
Gama

- Gama: poslové jaderné spektroskopie. Energie: keV – MeV.
- Energie zanechána v několika pixelech, často jen v jednom.



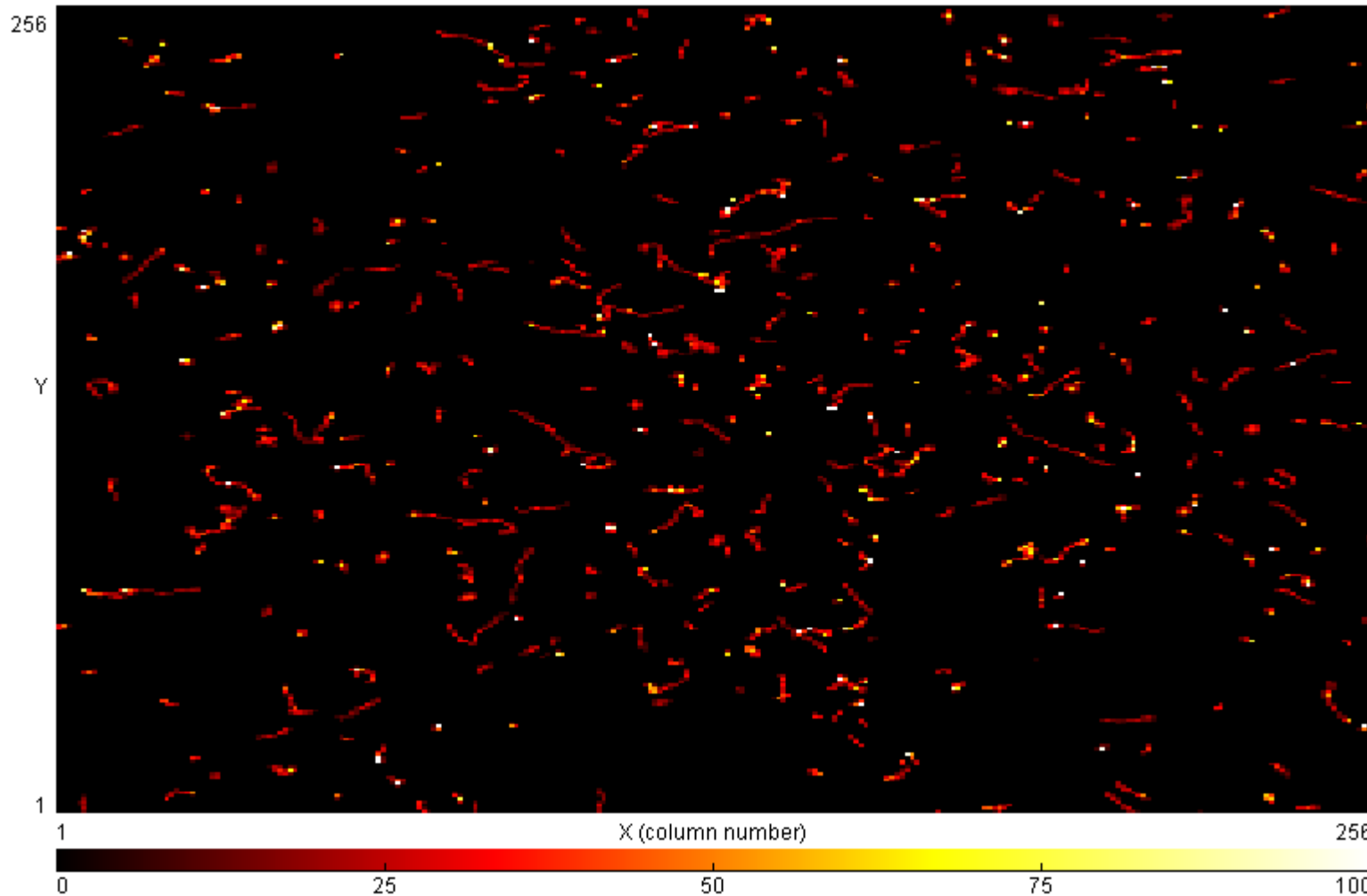
Gamma/Xrays

- Energetické ztráty dány kombinací několika fyzikálních procesů.
- V keV – MeV oblasti dominuje fotoefekt.



Beta

- Beta: poslové z jádra. Slabá interakce, v přírodě zejména β^- zdroje.
- Energie: keV – MeV.



Beta

- Netriviální spektrum elektronů: hypotéza neutrina (Pauli 1930)

Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

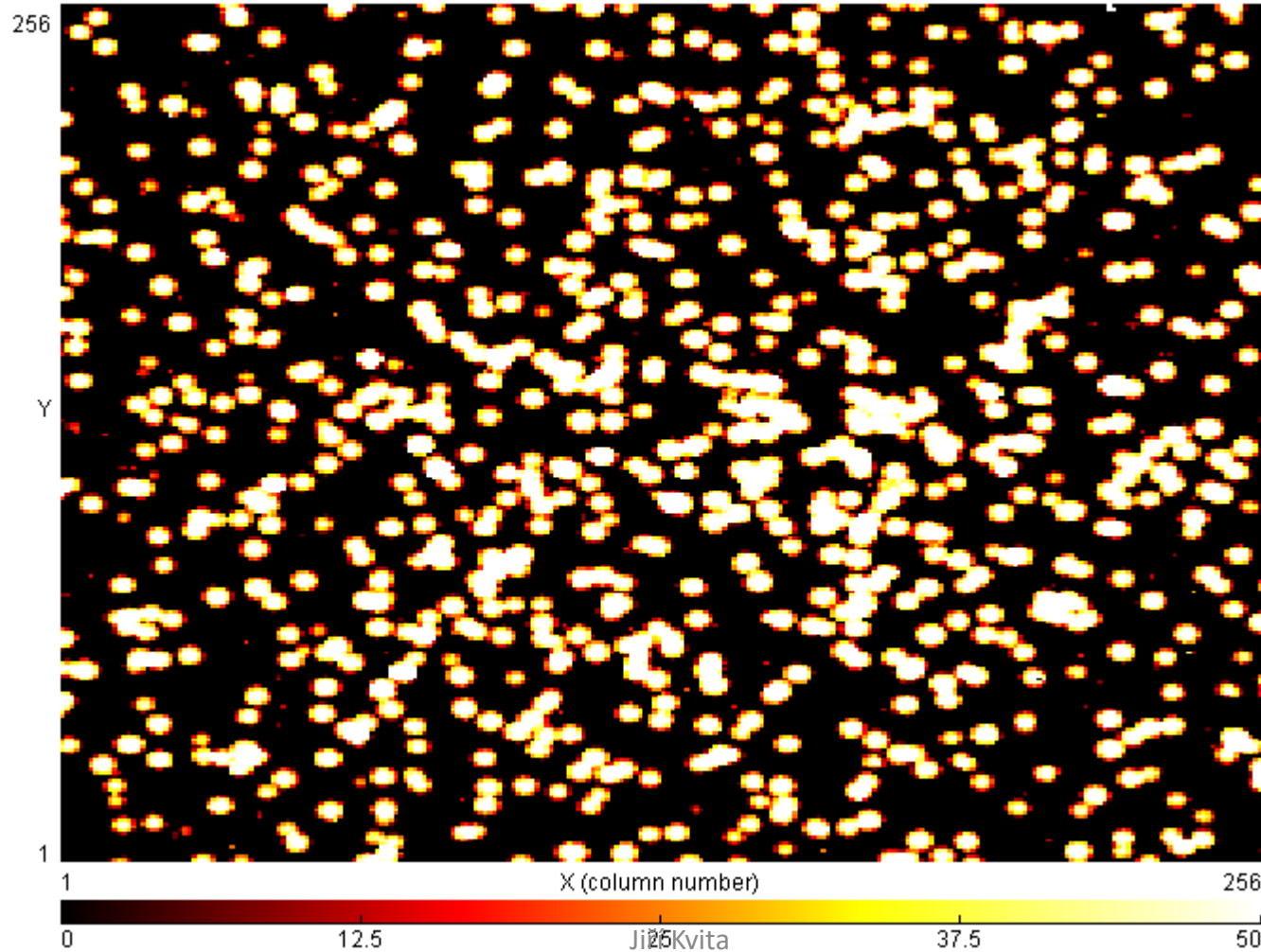
Zürich, 4. Dez. 1930
Cloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich baldvöllst anzuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren, welche den Spin $1/2$ haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen dürfte von derselben Grössenordnung wie die Elektronenmasse sein und jedenfalls nicht grösser als $0,01$ Protonenmasse.- Das kontinuierliche beta-Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron konstant ist.

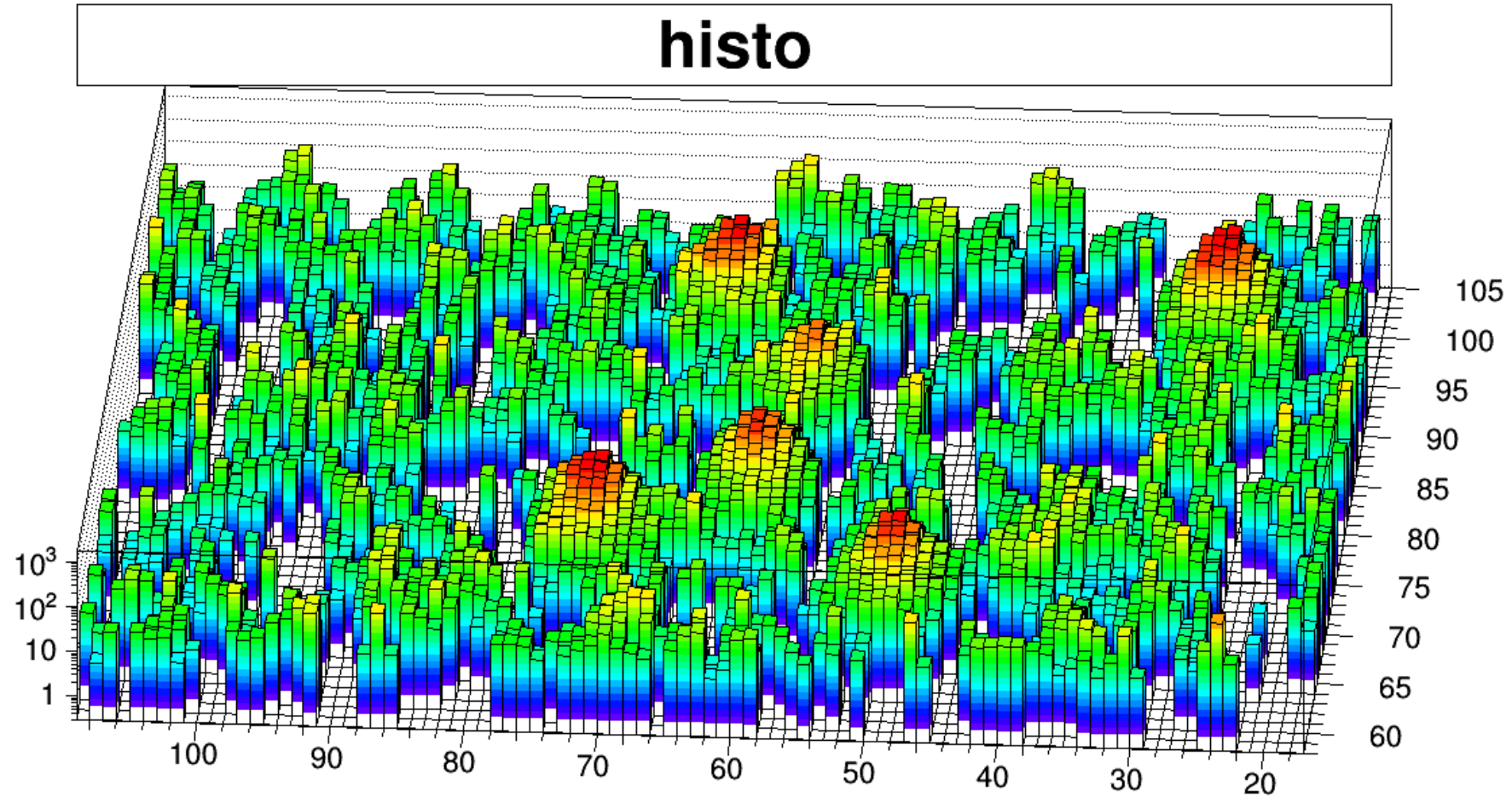
Alfa

- Alfa: poslové tunelového jevu, rozpady těžkých jader.
- Energie: $\sim 4\text{-}6$ MeV.



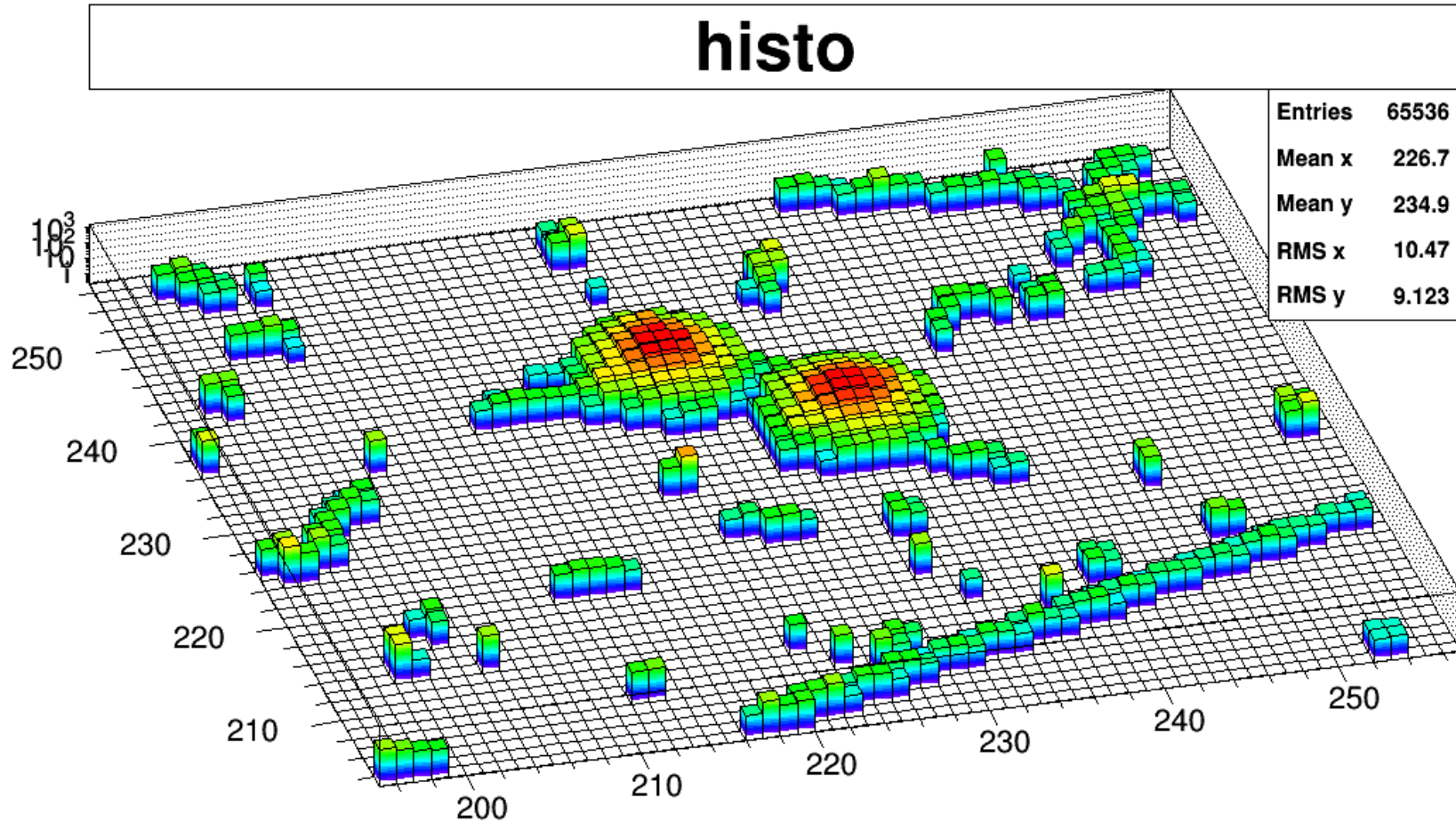
Alfa

- Alfa: poslové tunelového jevu.
- Gaussovské rozdělení náboje (parabola v logy měřítku).



Alfa

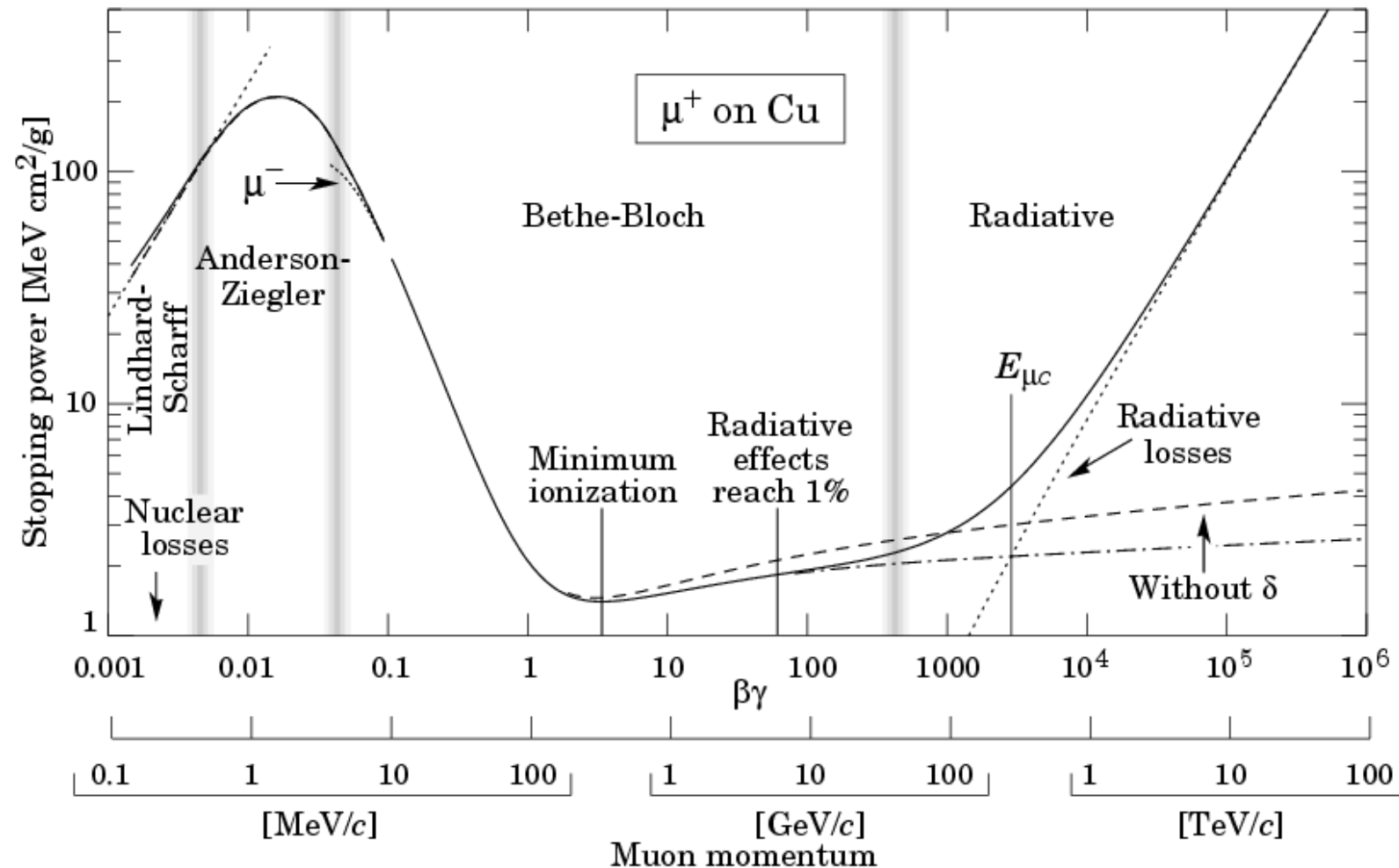
- „Alfa brýle“
- Gaussovské rozdělení náboje (parabola v logy měřítku).



Ionizační ztráty nabité částice

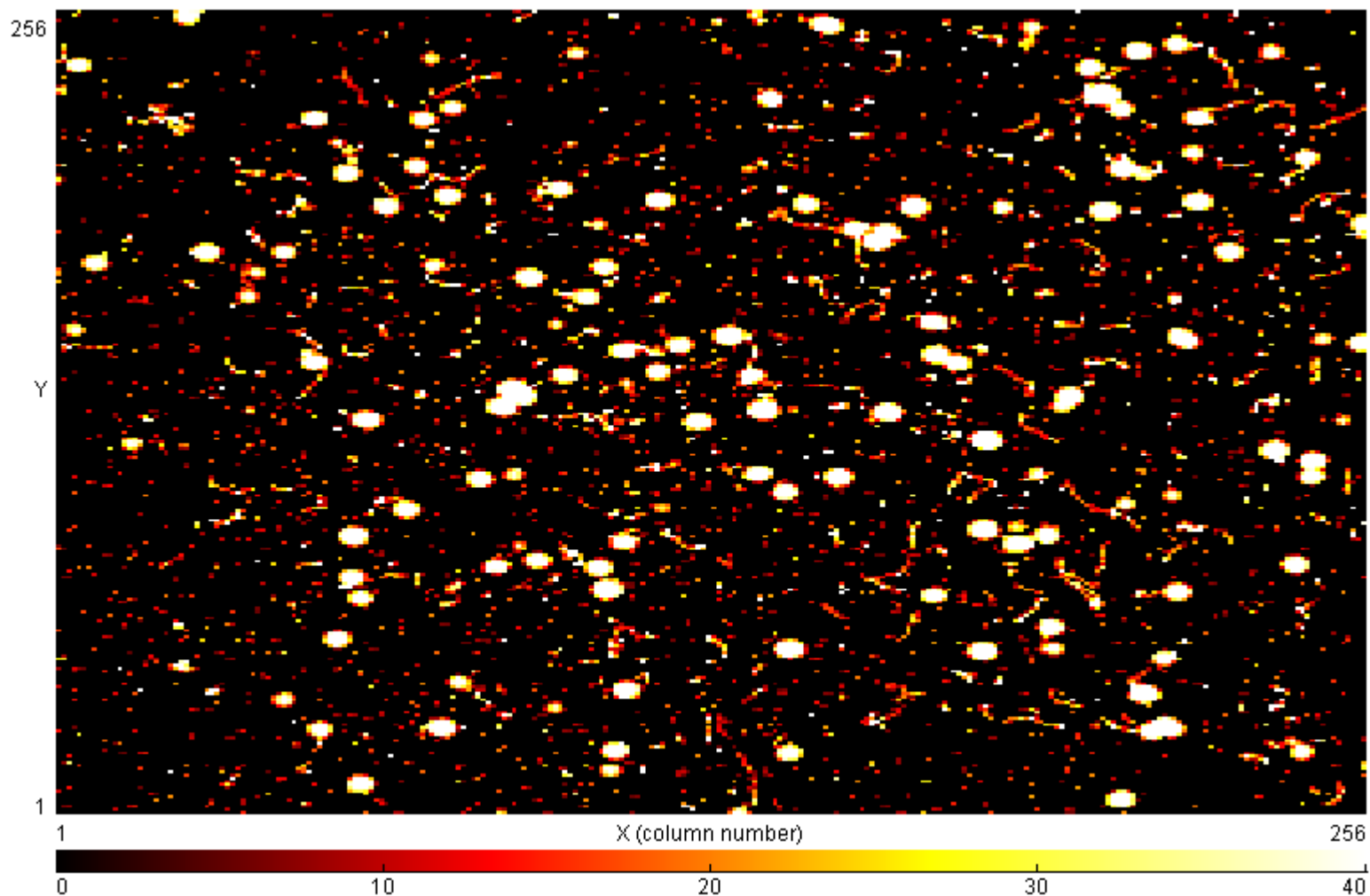
- Bethe-Blochova formule

$$\left\langle -\frac{dE}{dx} \right\rangle = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 W_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$



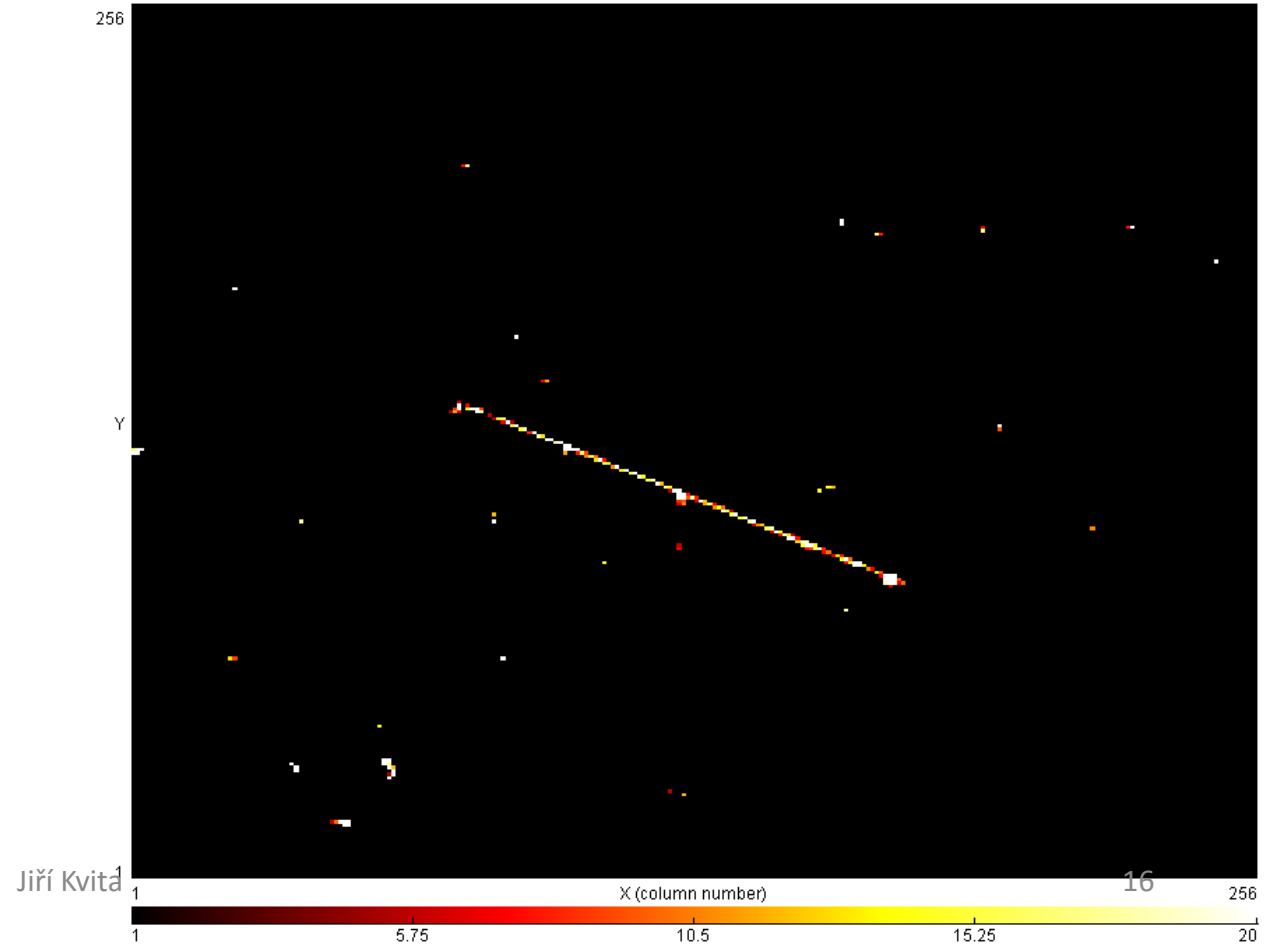
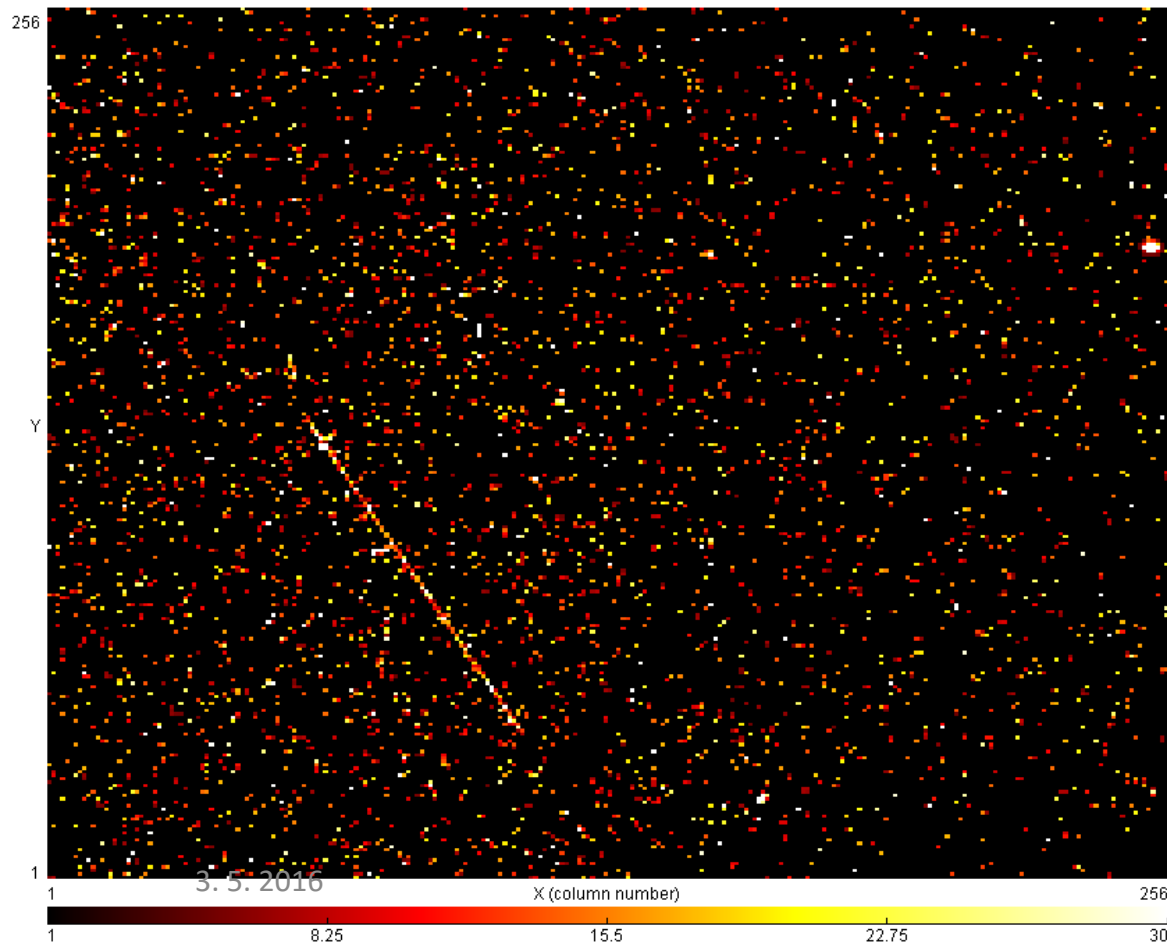
Všechny druhy záření?

- Uranové sklíčko, thoriová svařovací elektroda.



Miony

- Miony – poslové z Vesmíru, ze spršek kosmického záření v atmosféře.
- Ale $c \cdot \tau = 600\text{m}$, tj. důkaz dilatace času.
- Minimálně ionizující částice (MIP), energetické ztráty konstantní podél dráhy.



Miony

- Miony – tok cca $1 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ u hladiny moře. Energie: 10 GeV.

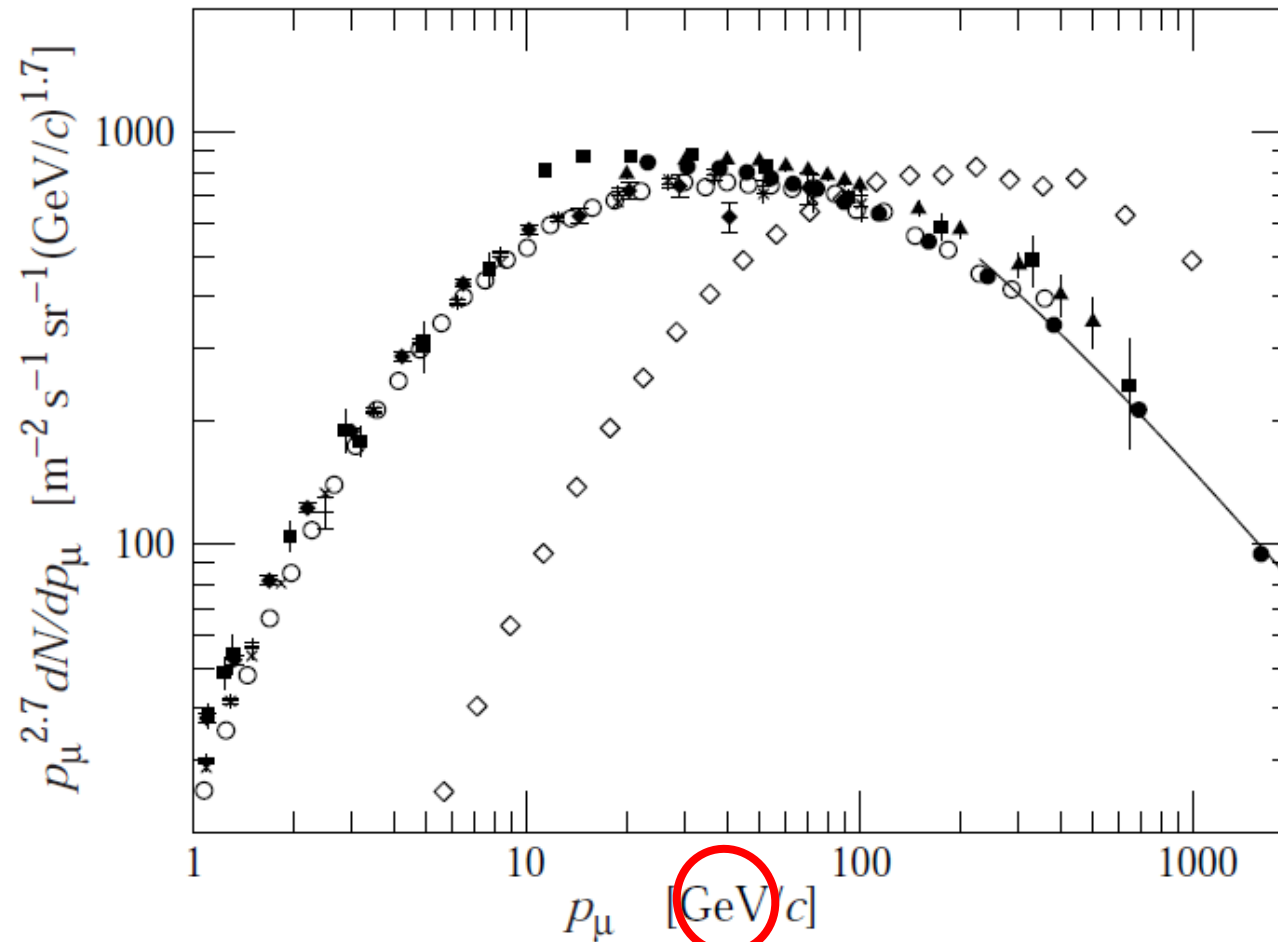
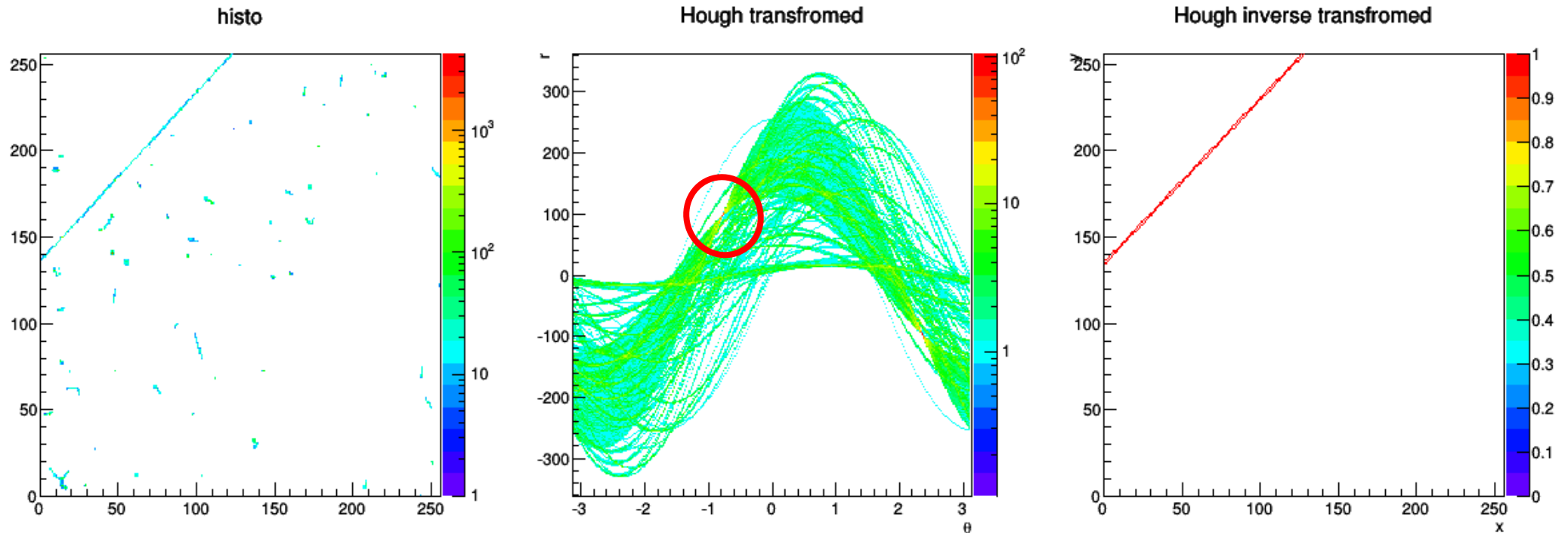


Figure 26.4: Spectrum of muons at $\theta = 0^\circ$ (\blacklozenge [41], \blacksquare [46], \blacktriangledown [47], \blacktriangle [48], \times , $+$ [43], \circ [44], and \bullet [45] and $\theta = 75^\circ$ \diamond [49]). The line plots the result from Eq. (26.4) for vertical showers.

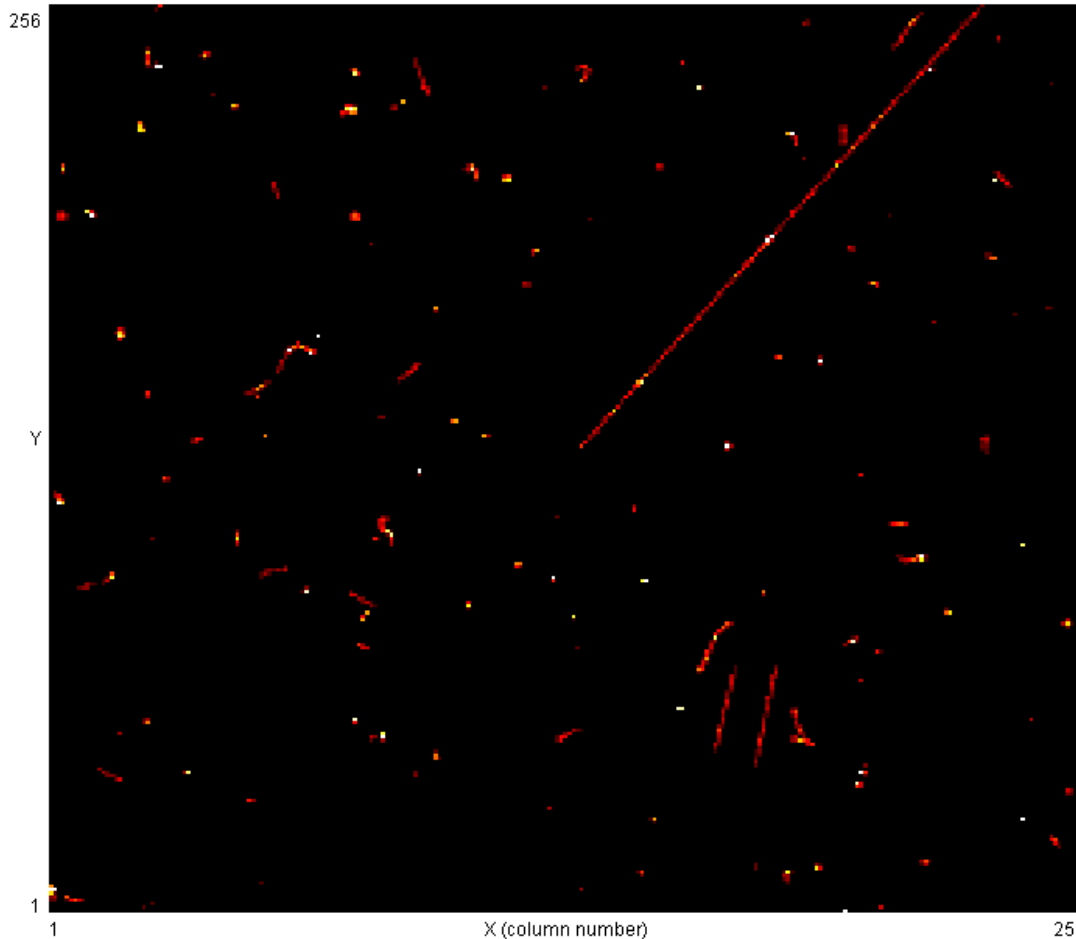
Miony

- Houghova transformace z prostoru pixelů $[x,y]$ do prostoru směrů a vzdálenosti přímky od počárku $[r, \theta]$.
- Nalezení maxim v prostoru $[r, \theta]$ identifikuje přímky, které po zpětné transformaci můžeme srovnat s původním obrázkem – funguje!



Miony

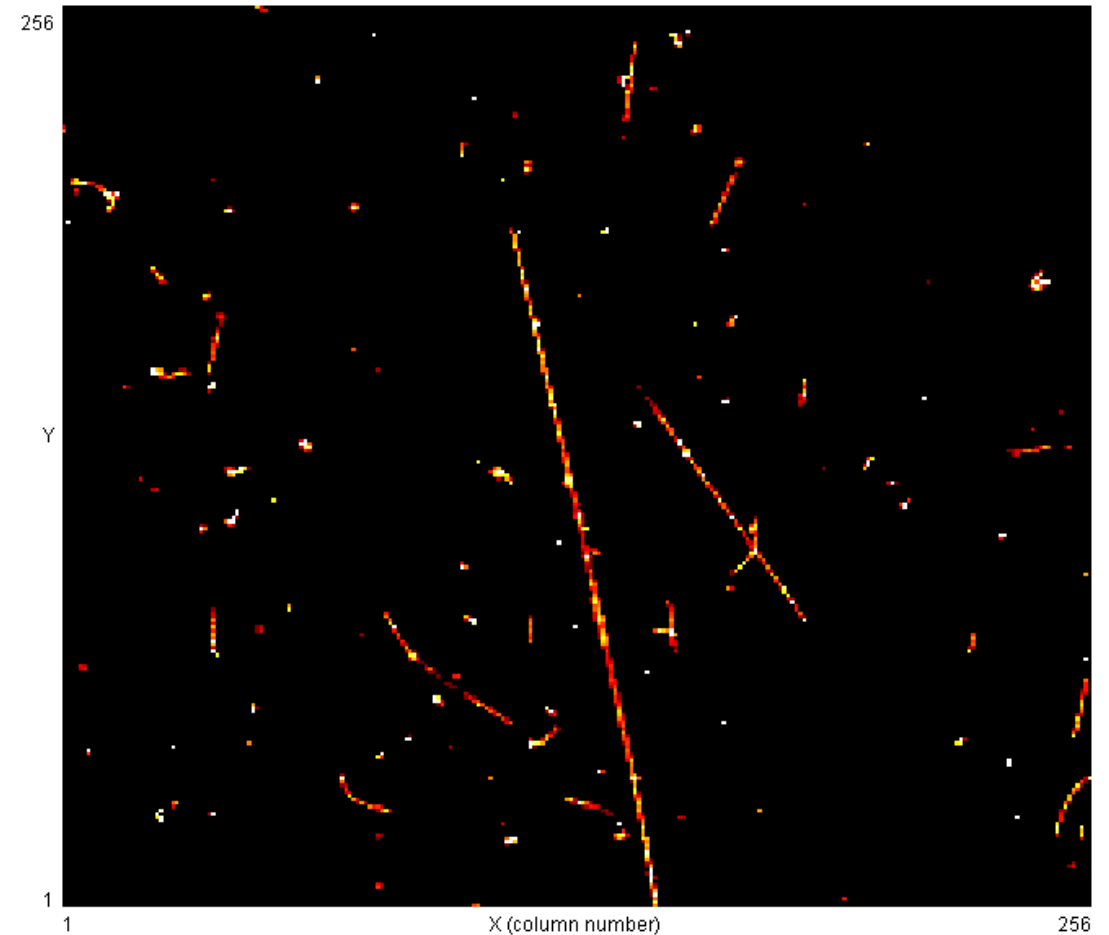
- Zaznamenáním desítek událostí lze udělat histogram směrů, odkud miony přicházejí.



3. 5. 2016

X (column number)

Jiri Kvita

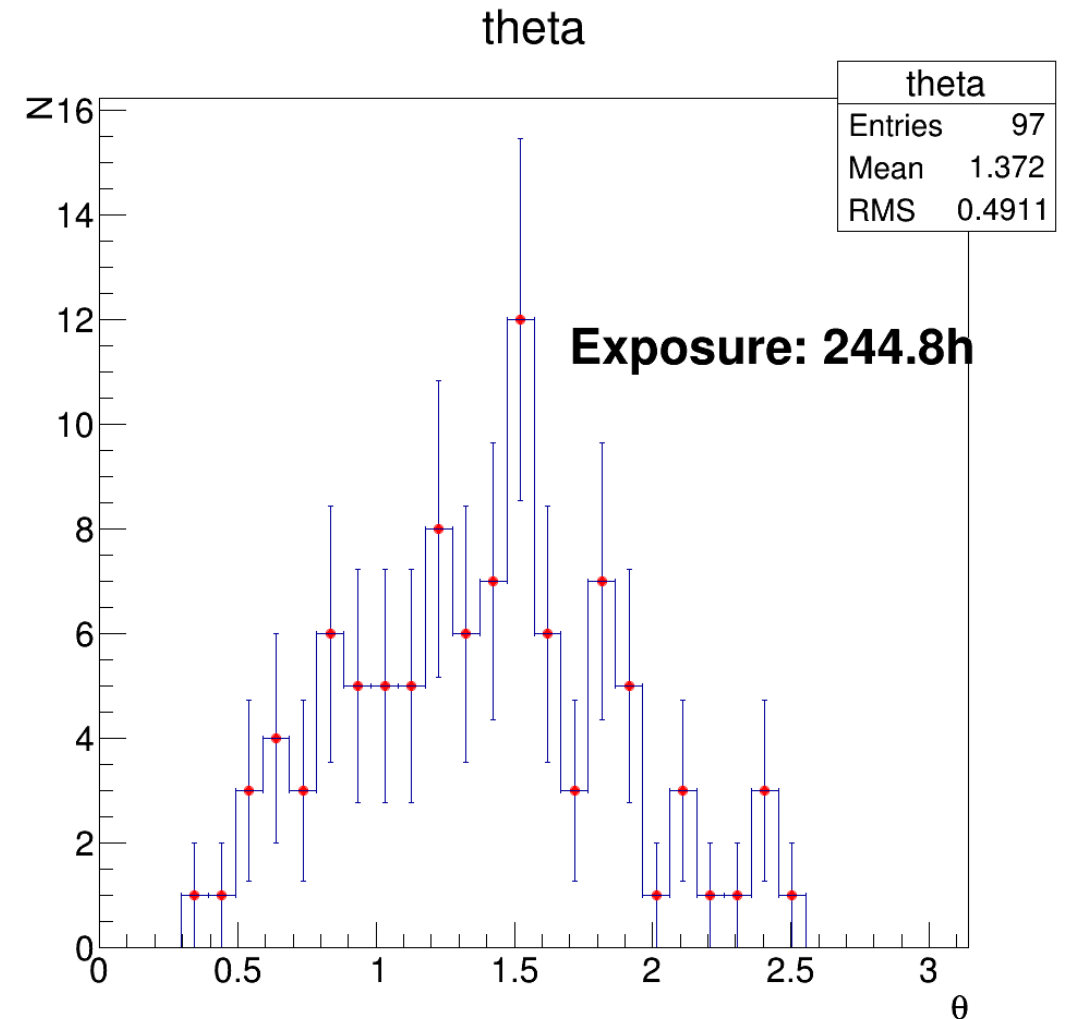


19

X (column number)

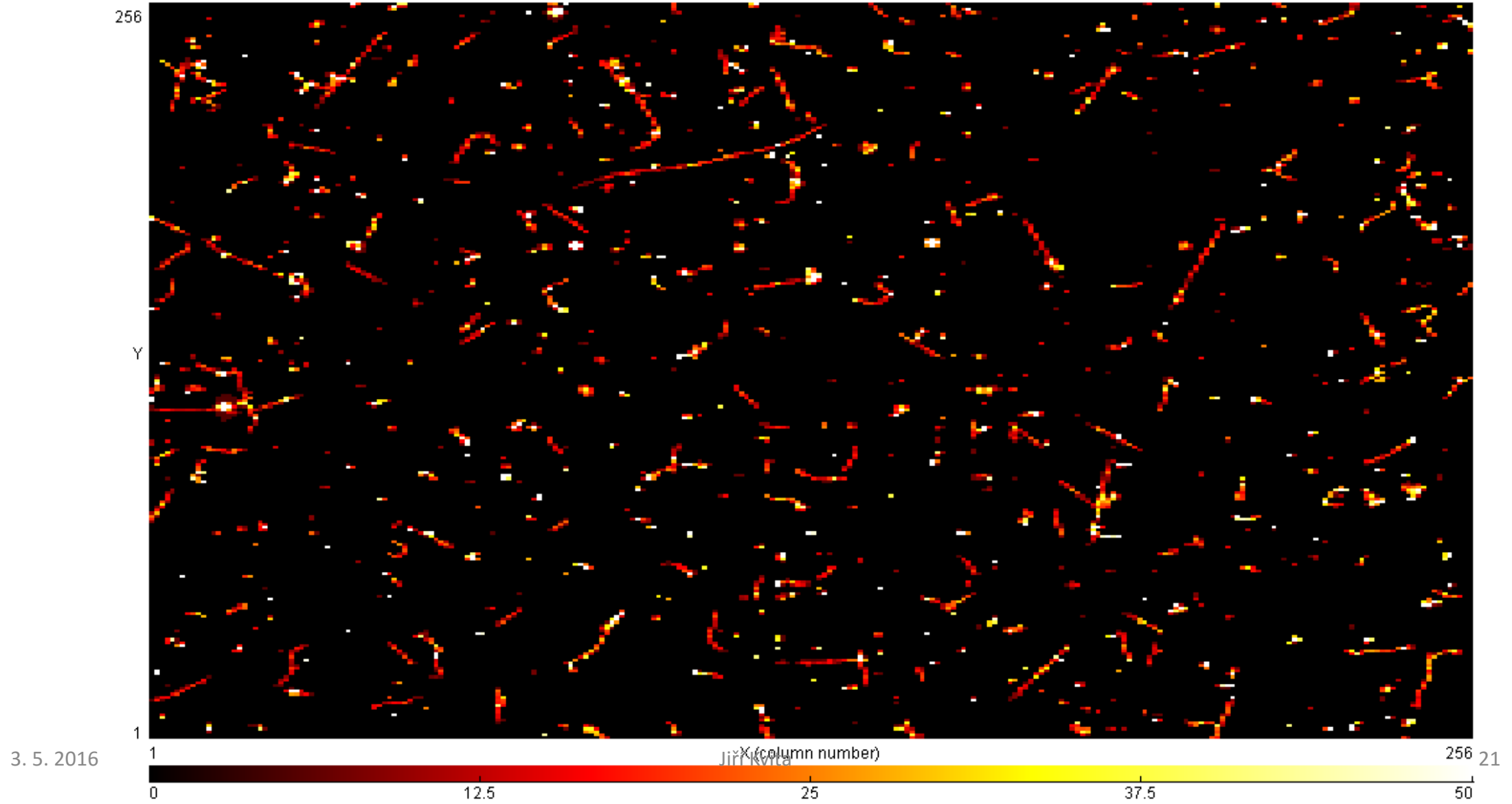
Miony

- Zaznamenáním $O(10\text{--}100)$ událostí lze udělat histogram směrů, odkud miony přicházejí.
- Zde data z celk. cca. 10 denní expozice.



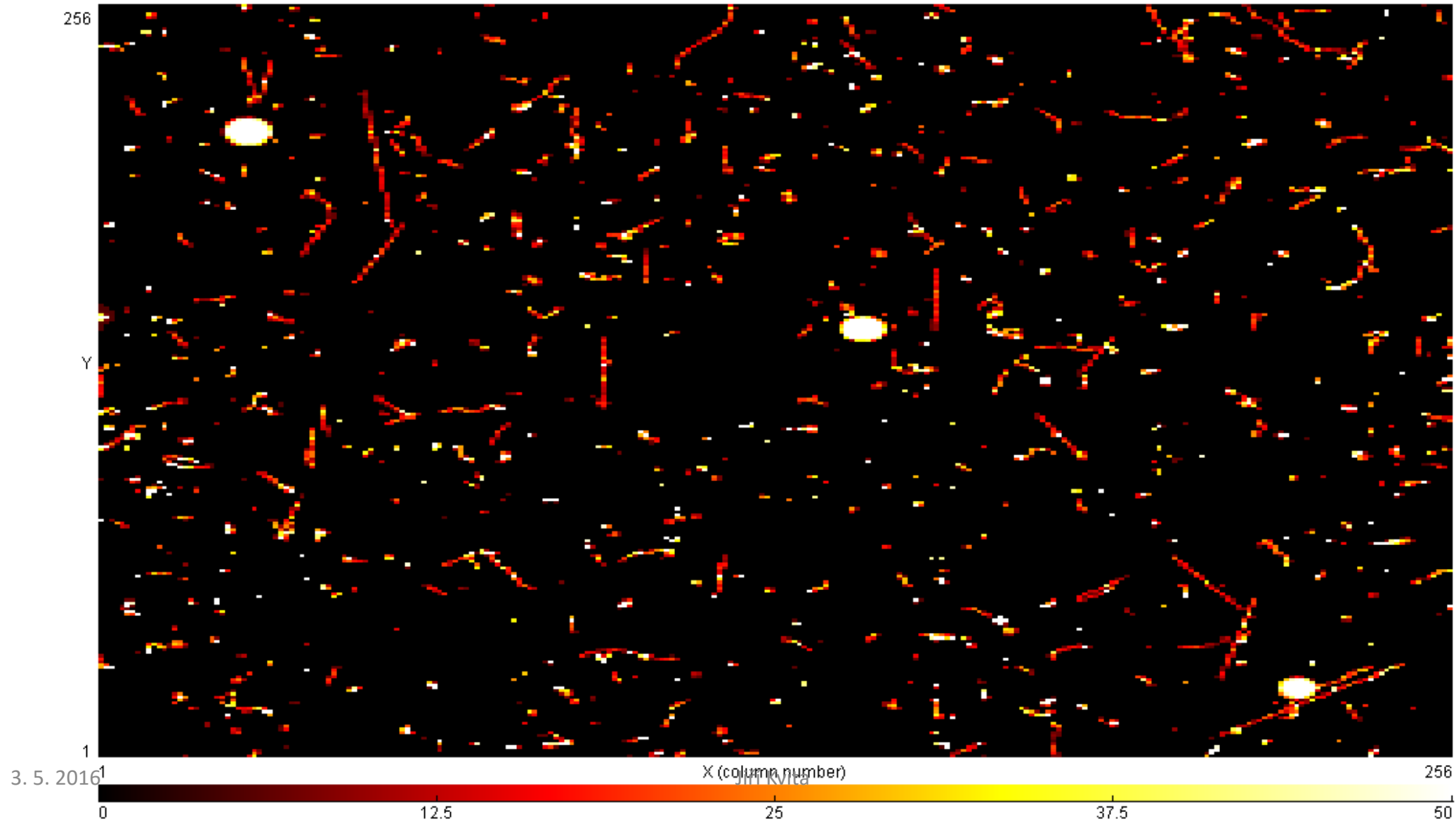
Radiační pozadí

- Beta, gamma, občas mion.



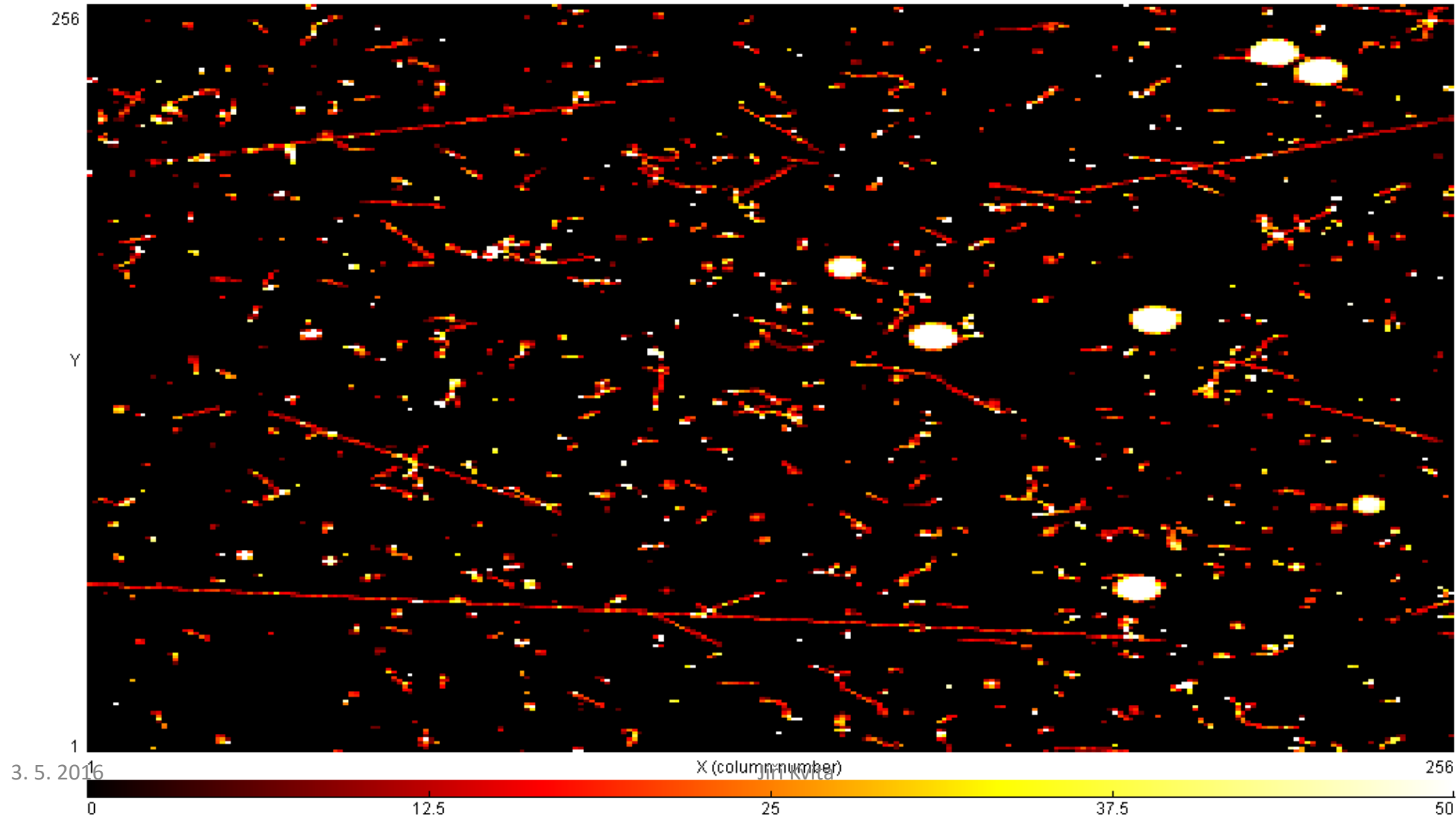
Radiační pozadí

- 1h 15m :: SLO :: alfa -- radon!



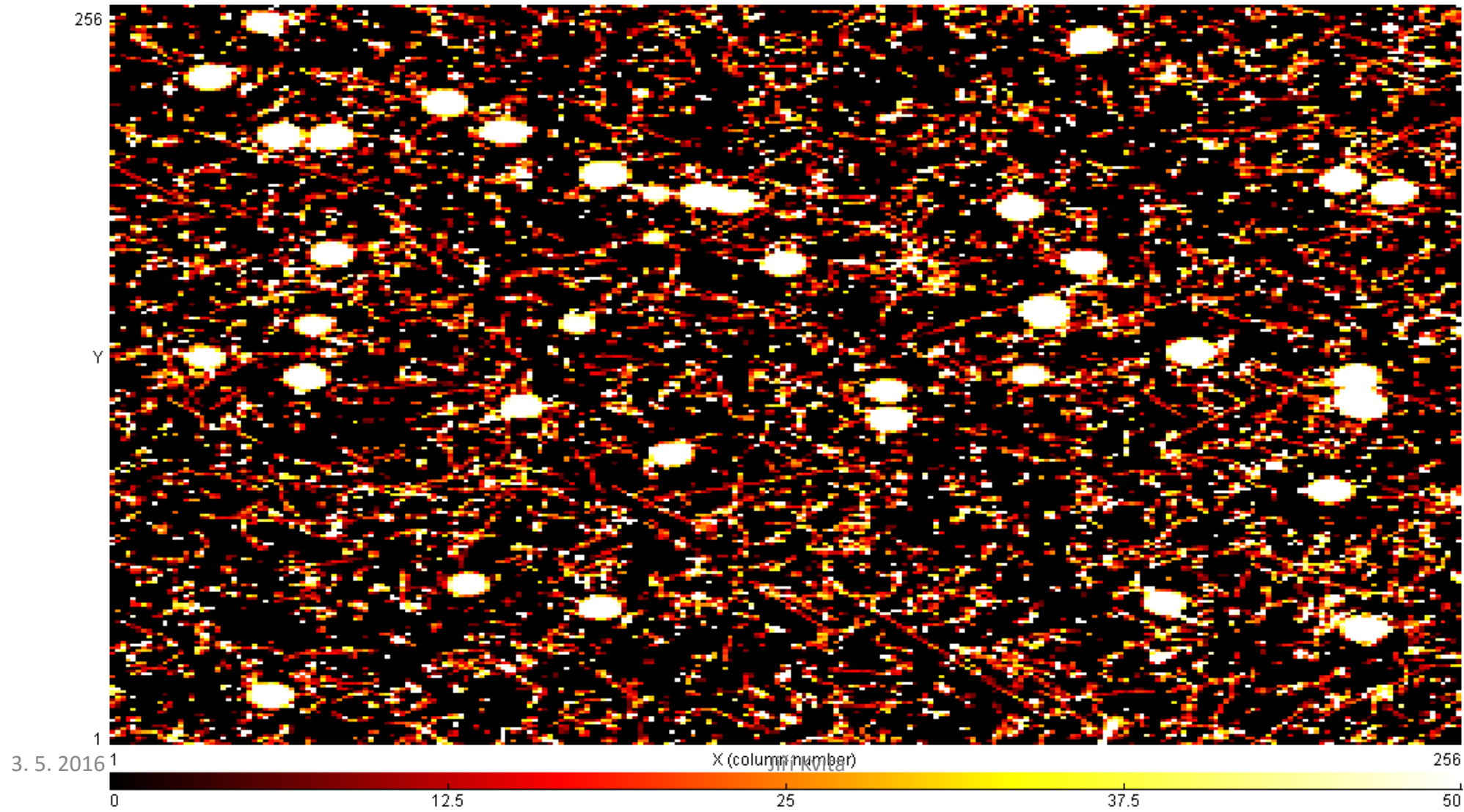
Radiační pozadí

- 2,7h :: CERN :: Kosmické miony!



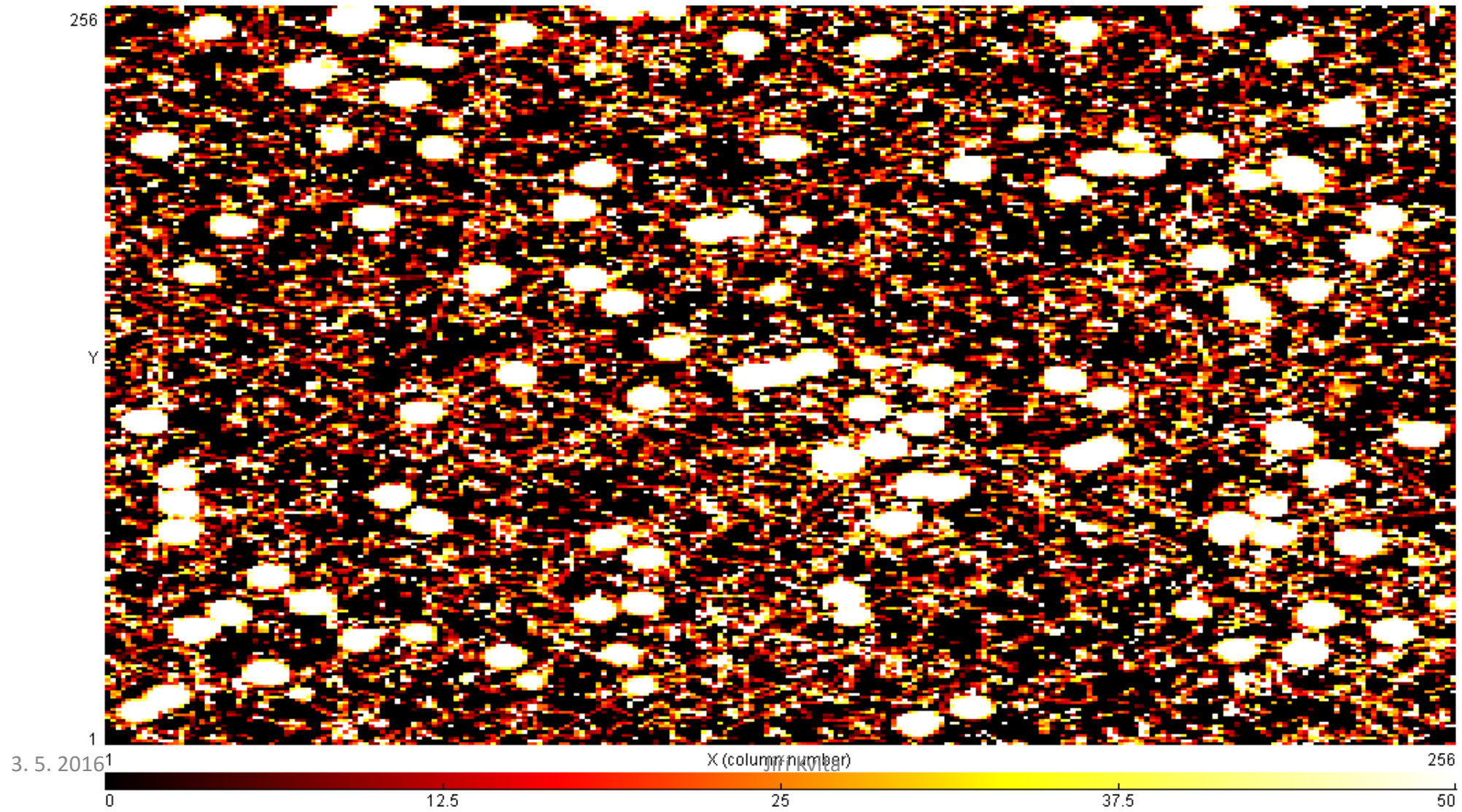
Radiační pozadí

- 8h :: Olomouc: **5.3 alfa / h**



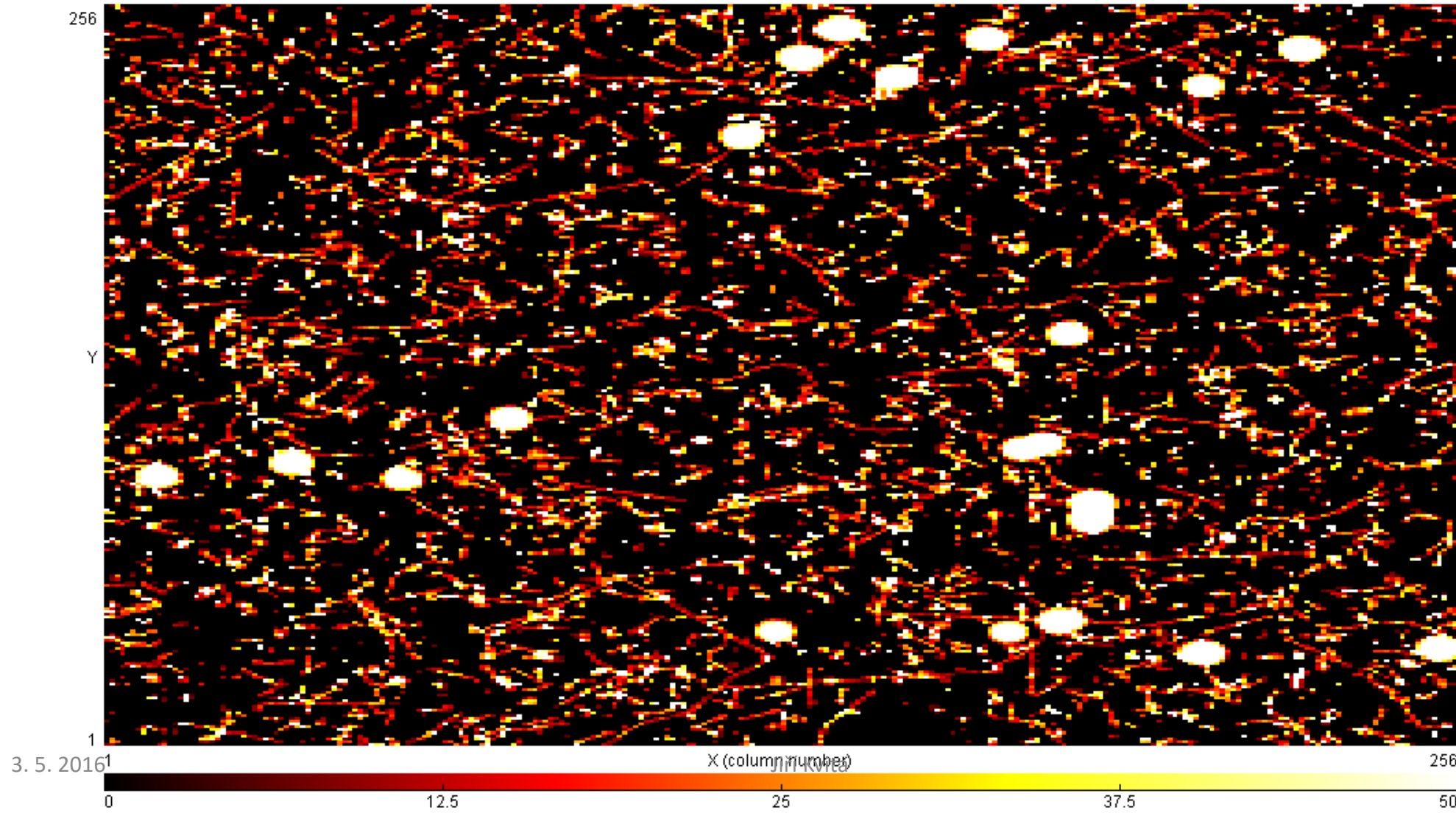
Radiační pozadí

- 12h :: Olomouc: **10.6 alfa / h**



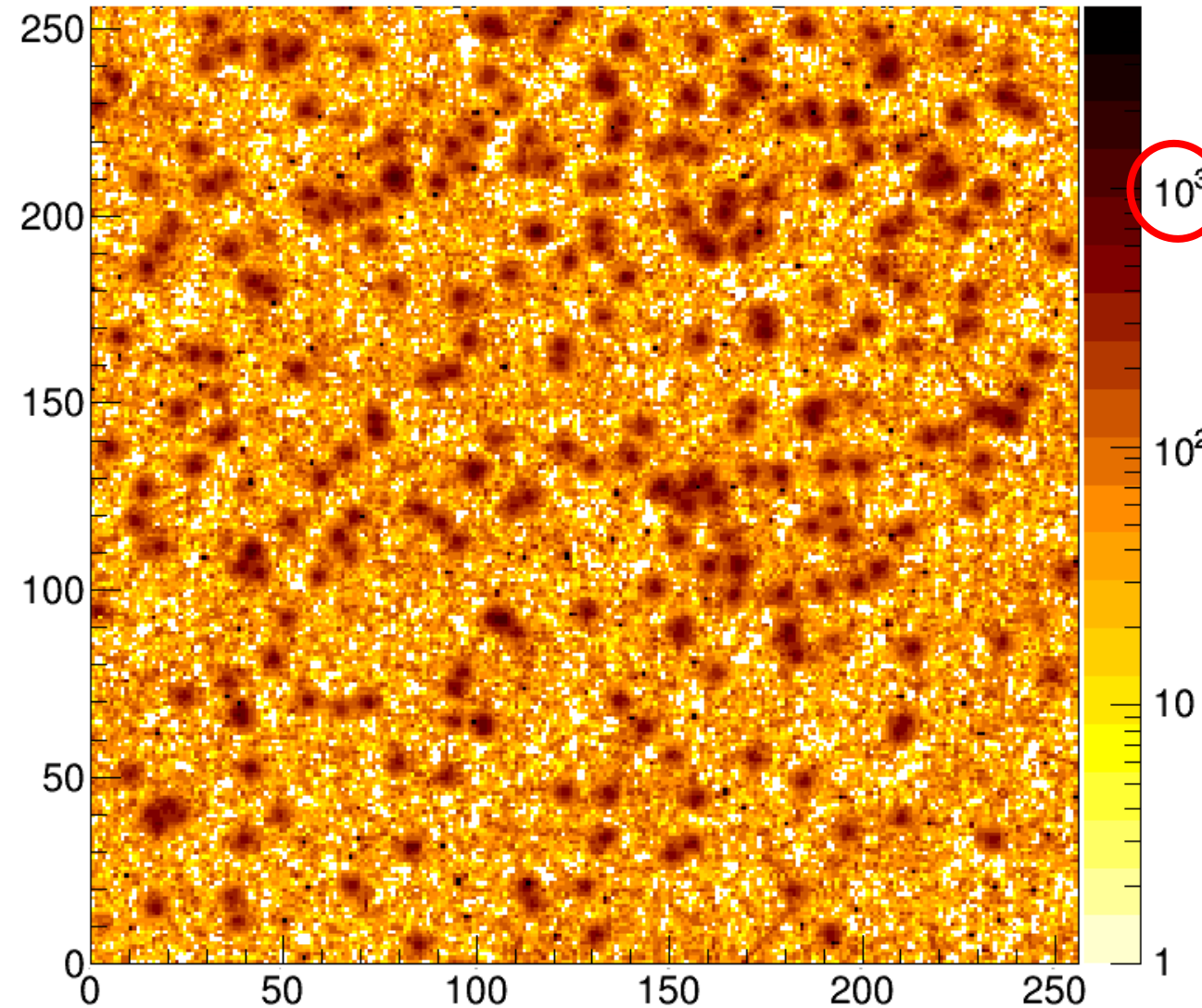
Radiační pozadí

- 12,7h :: CERN, **méně alfa částic?**



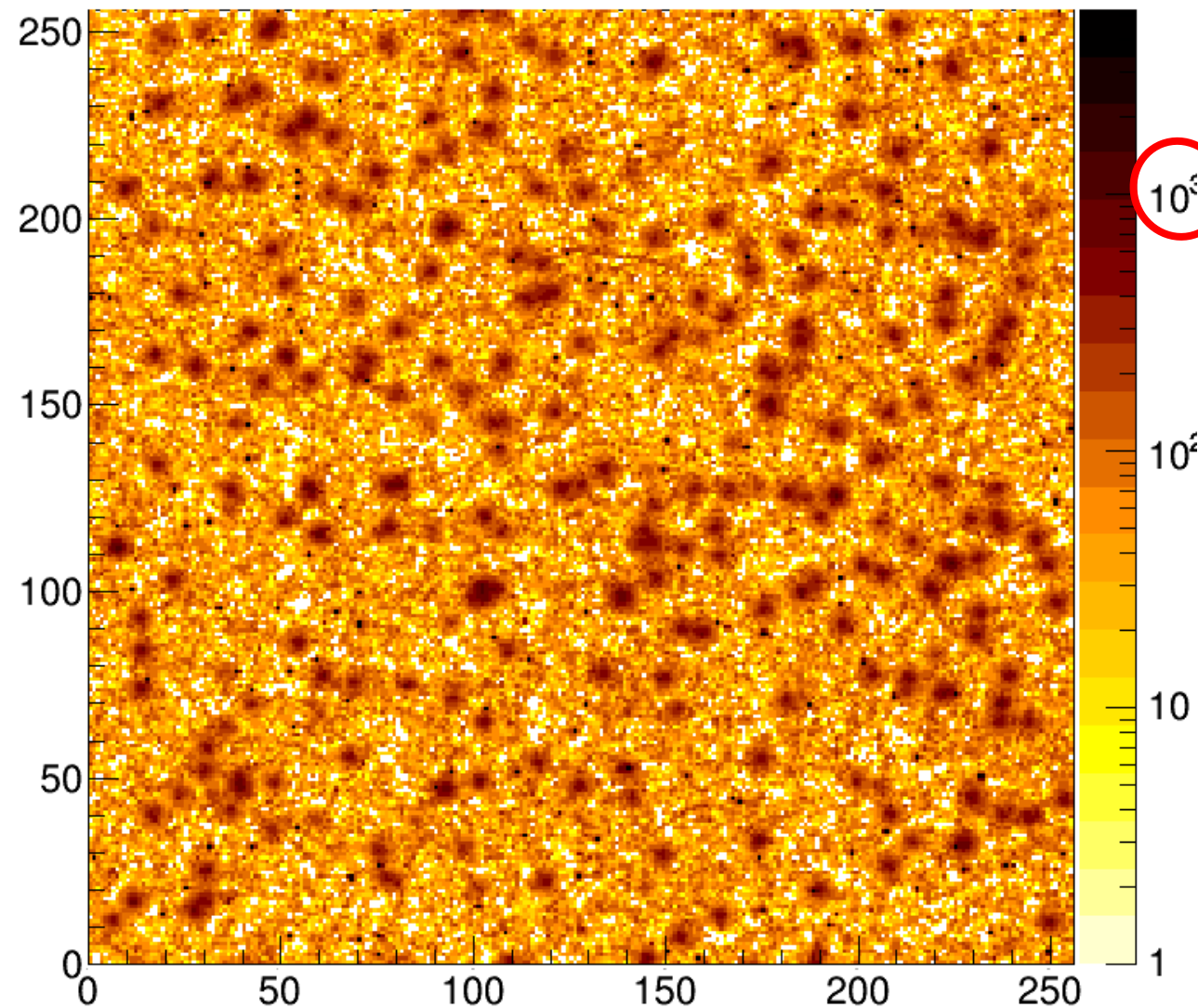
Radiační pozadí

- 43h :: SLO, **7.36 alfa / h**
- keV /pixel



Radiační pozadí

- 51h :: domov, **6.26 alfa / h**
- keV /pixel



Radiační pozadí

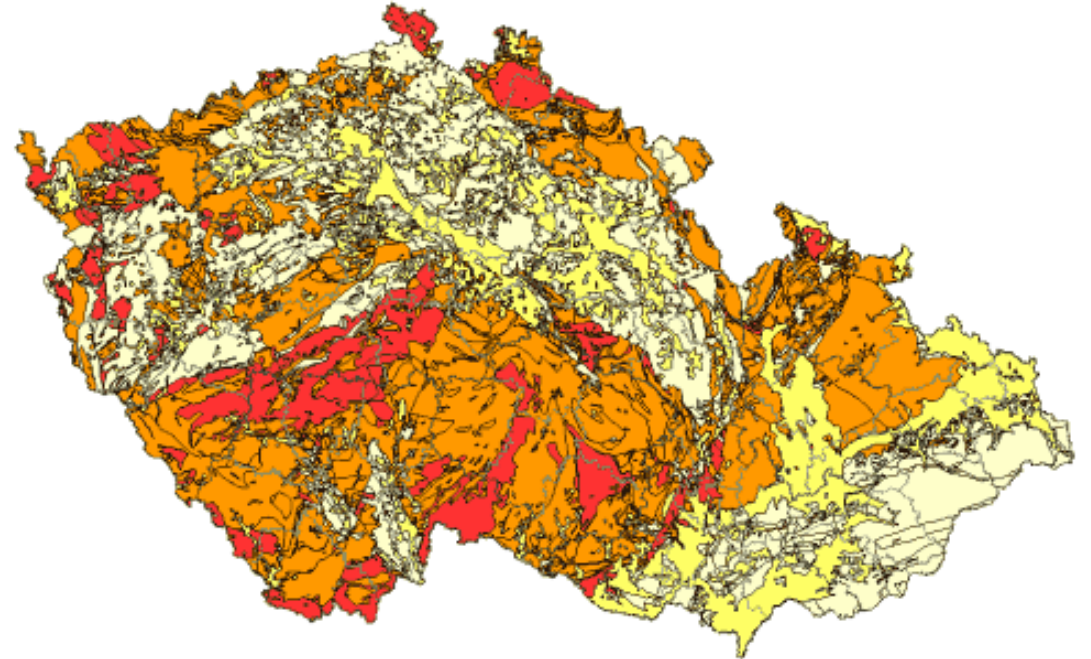
- Velké fluktuace v čase, dle místa, prachu....
- Počet registrovaných alfa částic konzistentní s cca 100 Bq/m³ z radonu (wiki) cca ½ dm³ objemu, z kterého alfa částice doletí do detektoru.
- Nejen radon, ale i prach (tuhé rozpadové a aktivní produkty Rn).
- Cigaretový popel!

Radiační pozadí

- Dávka: 1 Gray, 1 Gy = 1 J/kg. Se započtením bio účinků: Sievert, Sv.
- **Dle odhadu objemu aktivní části křemíku spočteno cca 1,3 mGy/rok**
- **Příp ekvivalentně 0,14 μ Gy/h**
 - Z radiačního pozadí doma a v kanceláři, celkem 98h.
 - **Bez započtení efektivity detekce gamma!**
 - **Taktěž bez opravy o mrtvou dobu!**
- Wiki: průměrná dávka pro člověka 3mSv (zahrnuje potravu, rtg, CT, PET...)
 - **bez medicínských vyšetření: cca 2,13 mSv/rok, cca 0,24 μ Sv/h**
 - Z toho
 - radon 1,26 mSv/rok
 - Kosmické+pozemské zdroje 0,87 mSv/rok

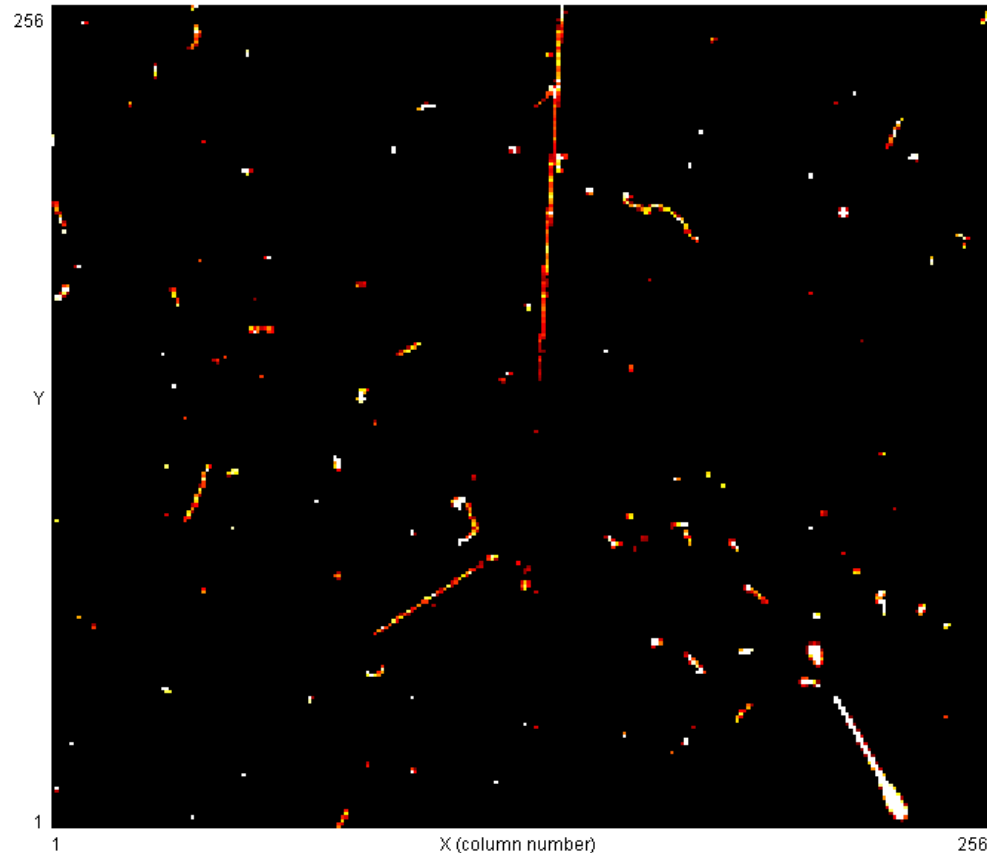
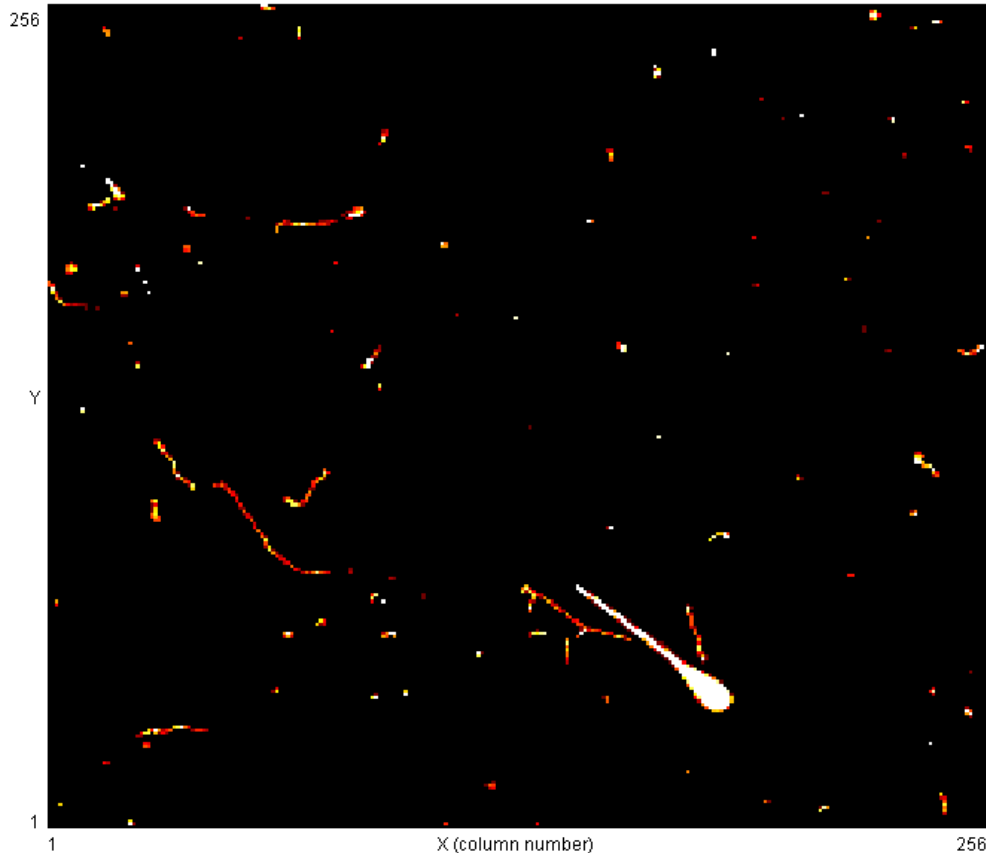
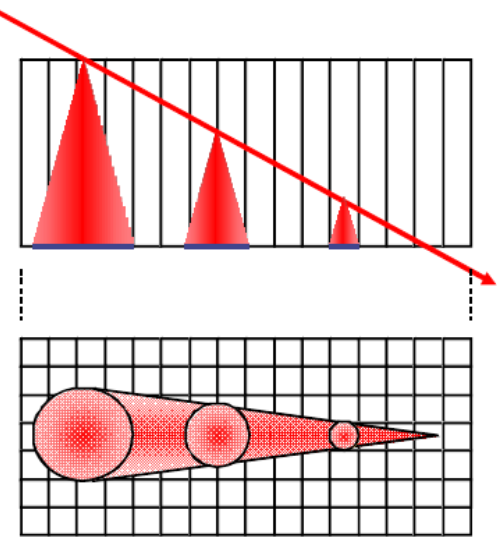
Radon

- http://www.geology.cz/demo/CD_RADON50/index/aplikace.htm
- „Jedním z přírodních radionuklidů, přítomných ve všech horninách, je uran U238. Radioaktivní přeměnou z něj vzniká radium Ra226 a dále radon Rn222. Z radonu vznikají tzv. dceřiné produkty - izotopy polonia a vizmutu. Ty jsou na rozdíl od plynného radonu kovového charakteru, váží se na částice aerosolu a s nimi jsou vdechovány do plic. Tam přispívají k vnitřnímu ozáření organismu přibližně 55%.“
- Radonové geologické mapy.



Částice s vysokými energiemi

- Zejména ze spršek kosmického záření
- Ne nutně jen v letadle: zde snímky z kanceláře!
- Více později u snímků z letadla: -)

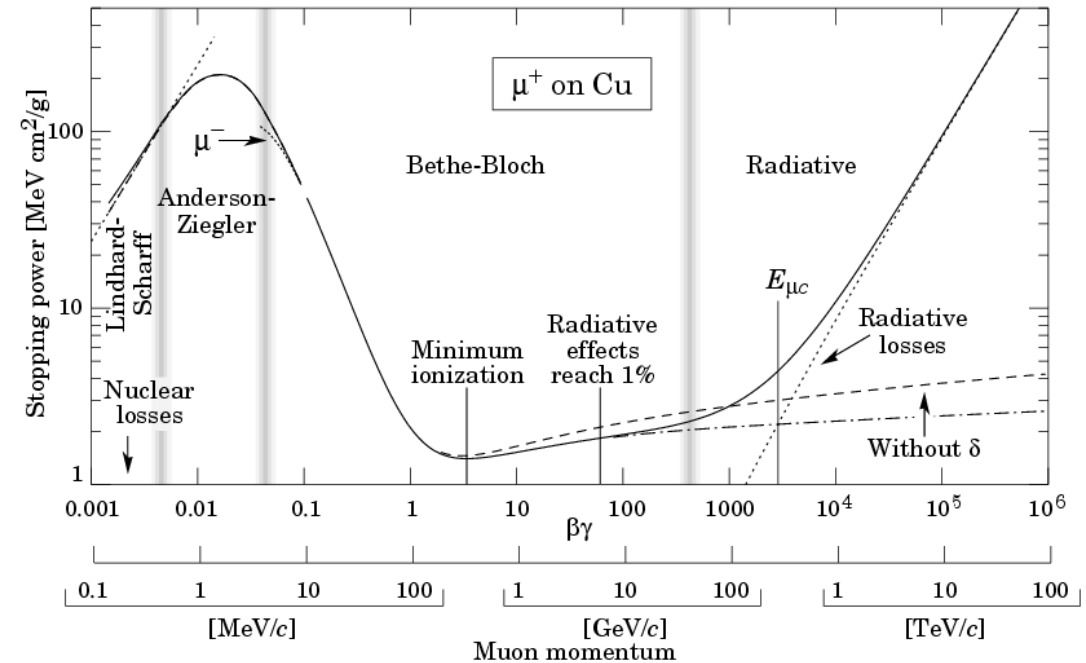
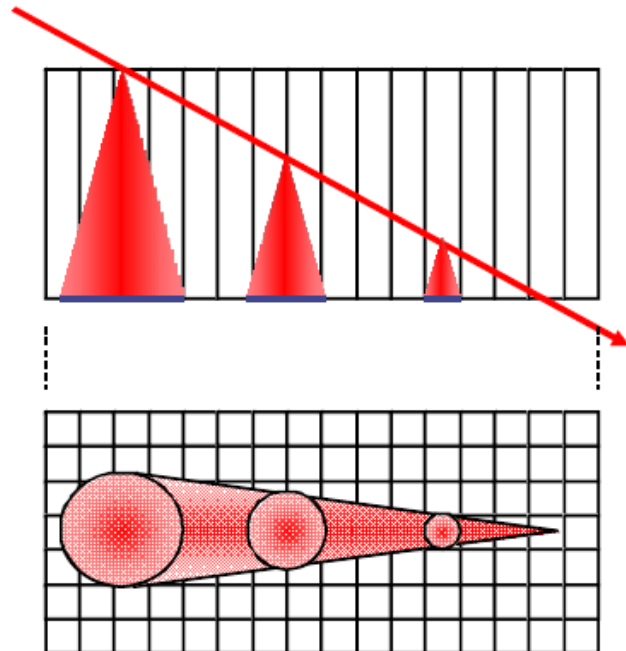


Ionizační ztráty nabité částice

- Bethe-Blochova formule

$$\left\langle -\frac{dE}{dx} \right\rangle = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 W_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

- Pro alfa částici s kinetickou energií 5 MeV
 - beta*gamma = 0.05
 - ztráty v křemíku: 50 MeV/mm!
 - dojde k zastavení alfa částice
 - současně lavina do sousedních pixelů



Kosmické záření

- Objevil rakouský fyzik Viktor Franz Hess (1883-1964).
- Úroveň radiace se zvyšuje s nadmořskou výškou: proti dřívějšímu očekávání, že zdrojem radiace je zejména zemská kůra.
- Balónové experimenty.



3. 5. 2016

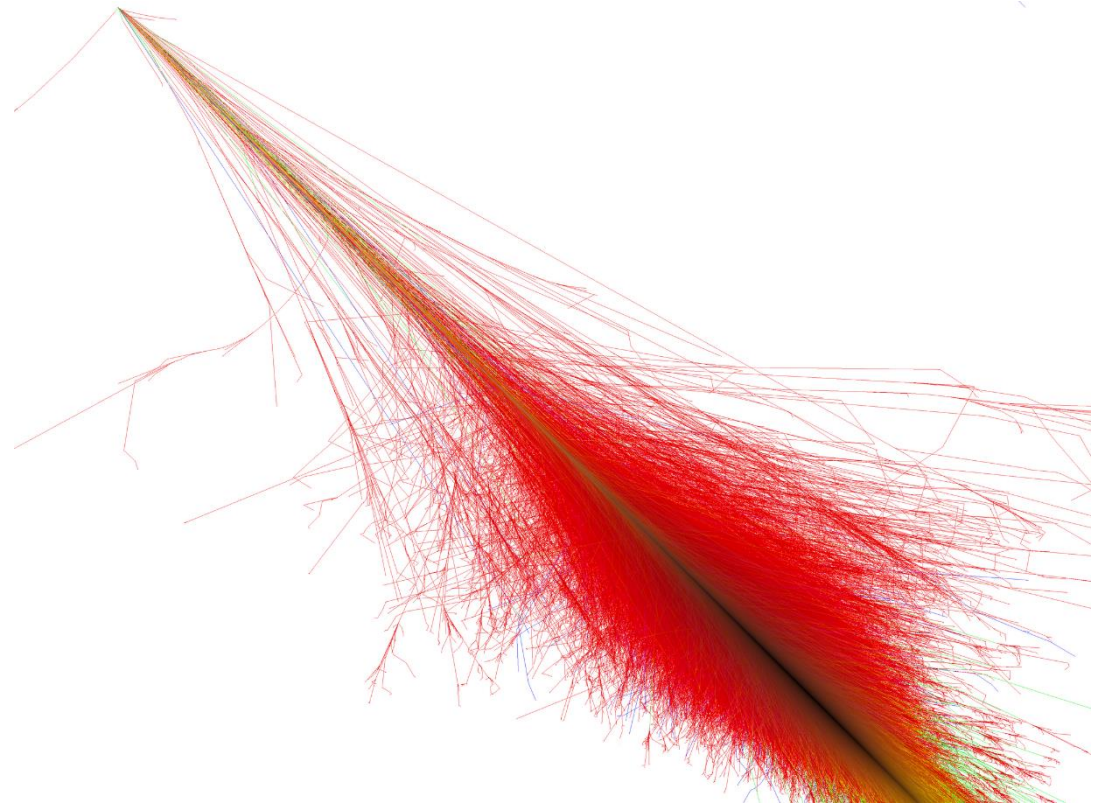
Jiří Kvita



34

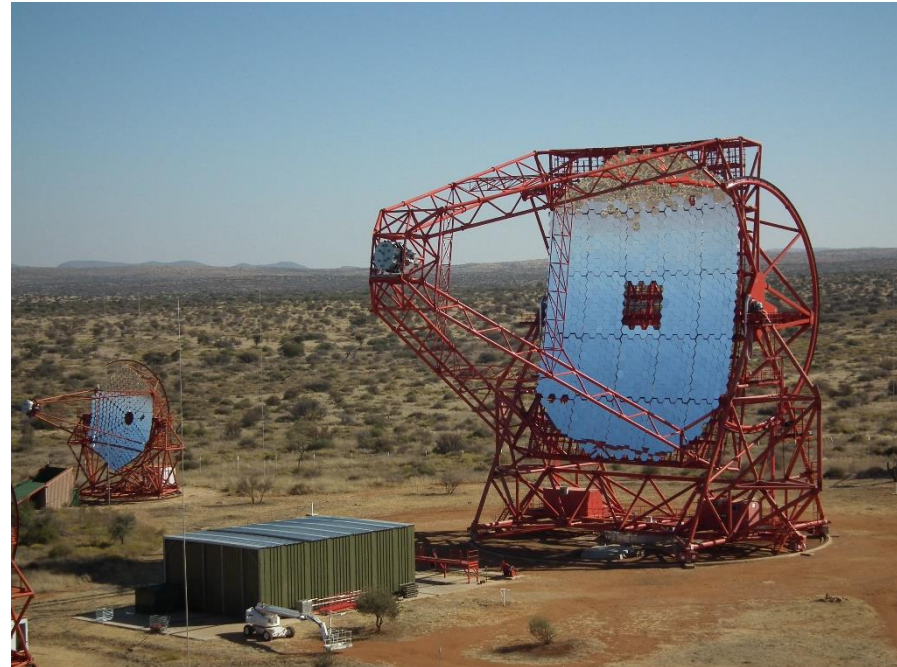
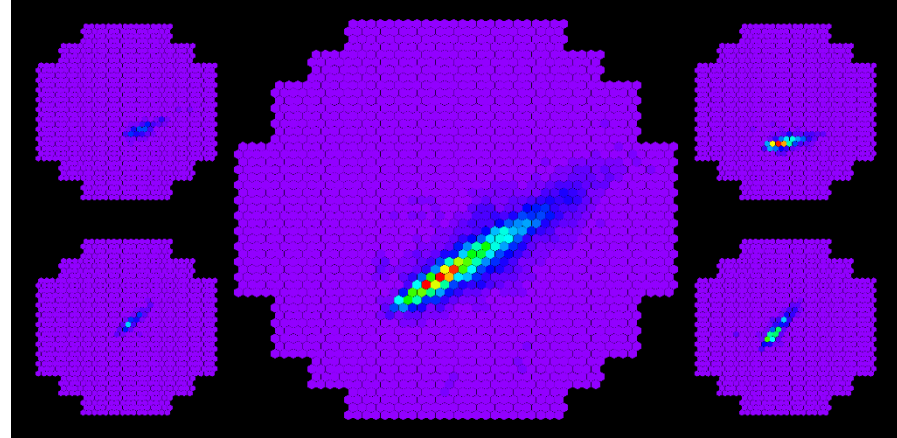
Kosmické záření

- Primární částice (proton, foton, ale i železo) interaguje s atmosférou a rozvine spršku v atmosféře Země.
- Lze pozorovat fluorescenci z excitovaných molekul, a čerenkovovo záření („rázová elektromagnetická vlna“ pro případy, kdy se částice šíří rychleji než rychlost světla v daném prostředí).



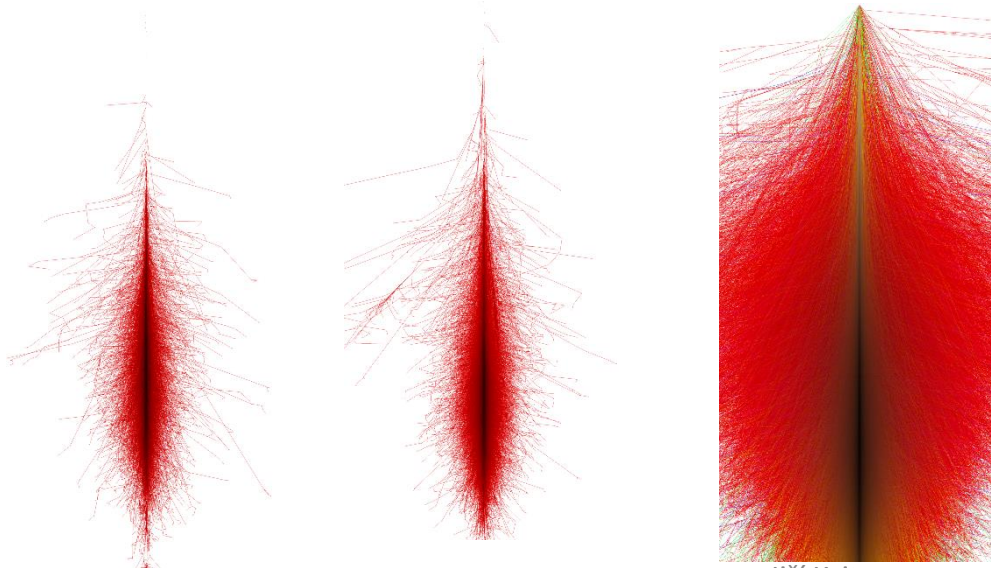
Experiment HESS

- Teleskopy sledující čerenkovovo záření v atmosféře při rozvoji spršky kosmického záření.
- Umístěn v Namibii (temná obloha).
- Zaměřen na vysokoenergetické fotony z kosmického záření.

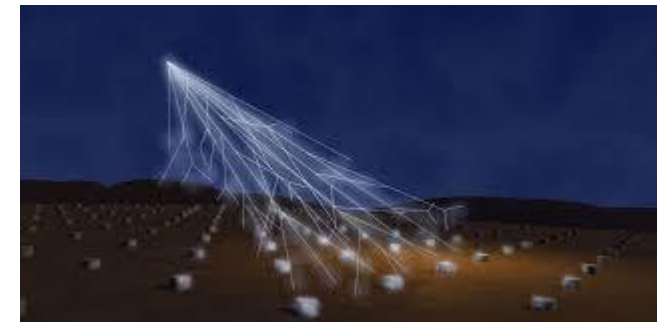


Kosmické záření II

- Pierre Auger (1899-1993), francouzský fyzik.
- Objevil, že záření přichází ve sprškách
- (koincidence několika detektorů)
- Zjistil, že jejich energie jsou obrovské
- (dnes víme, že jediná částice může mít až 1J!)



Jiří Kvita



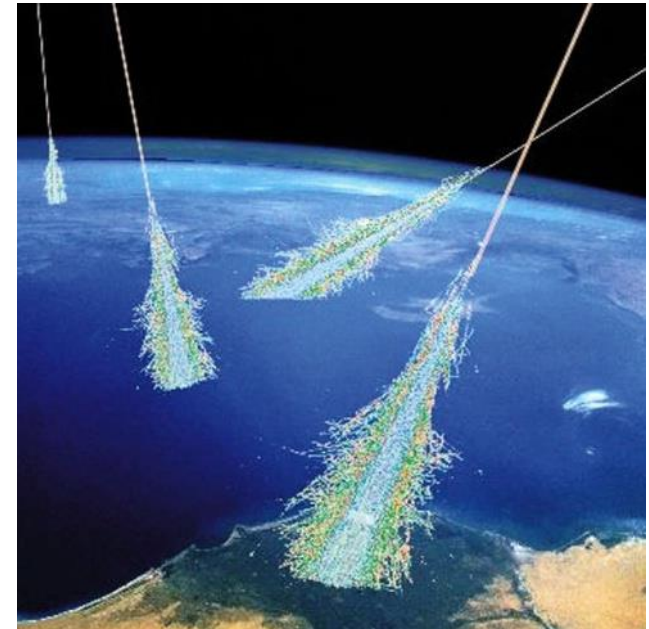
Pierre Auger Observatory

- Argentinská pampa u města Malargue.
- Měření spršek vysokoenergetických nabitých částic (až 10^{20} eV!)
- <https://www.youtube.com/watch?v=xchtgvzzc5M>
- Pozemní stanice (sudy s vodou) detekující signály z mionů dopadajících na zemský povrch.
- Sada teleskopů detekujících fluorescenci atmosféry v rámci spršky.



3. 5. 2016

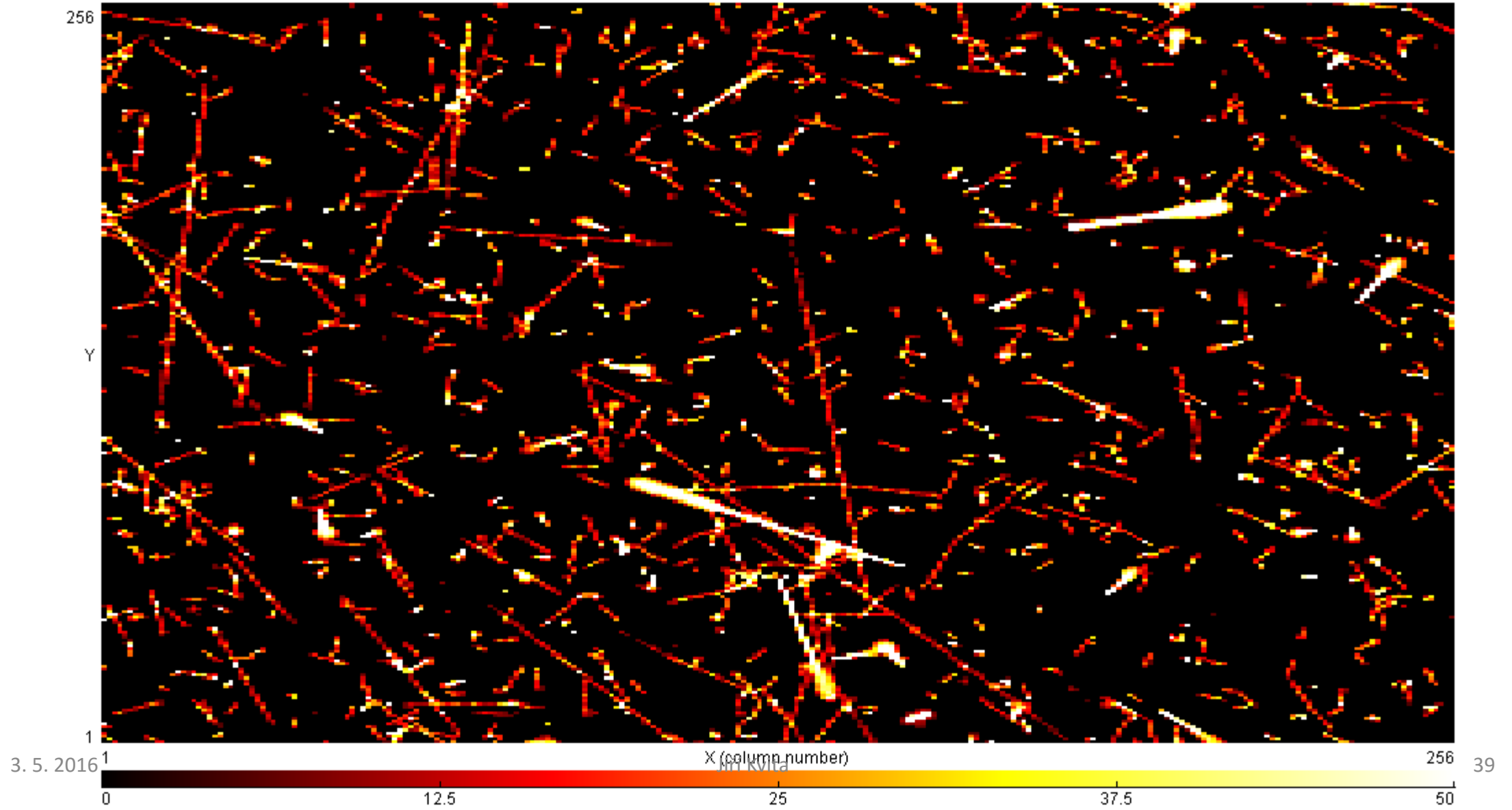
Jiří Kvita



38

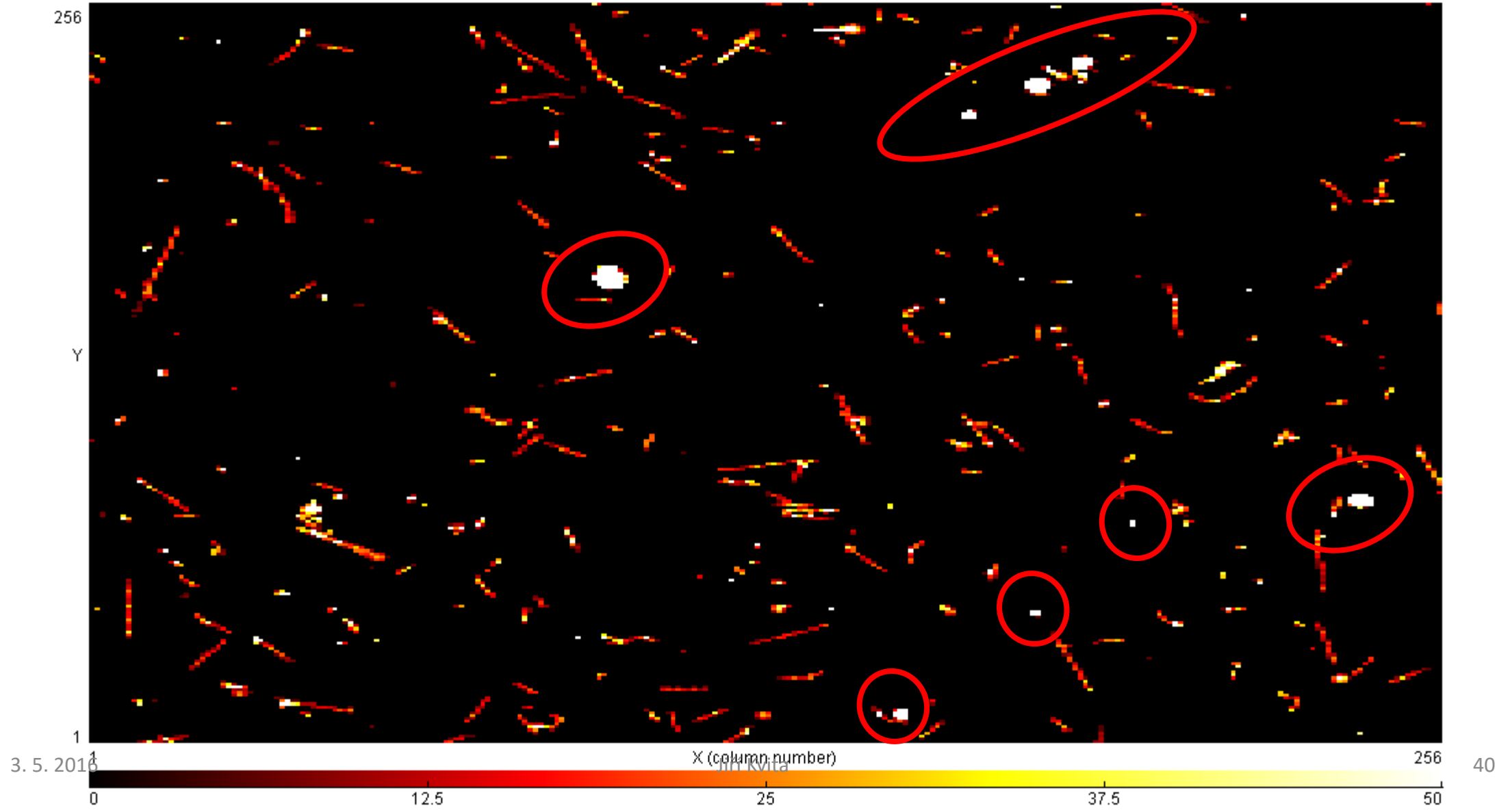
V letadlo

- Letadlo :: 15min! “Fireballs”!



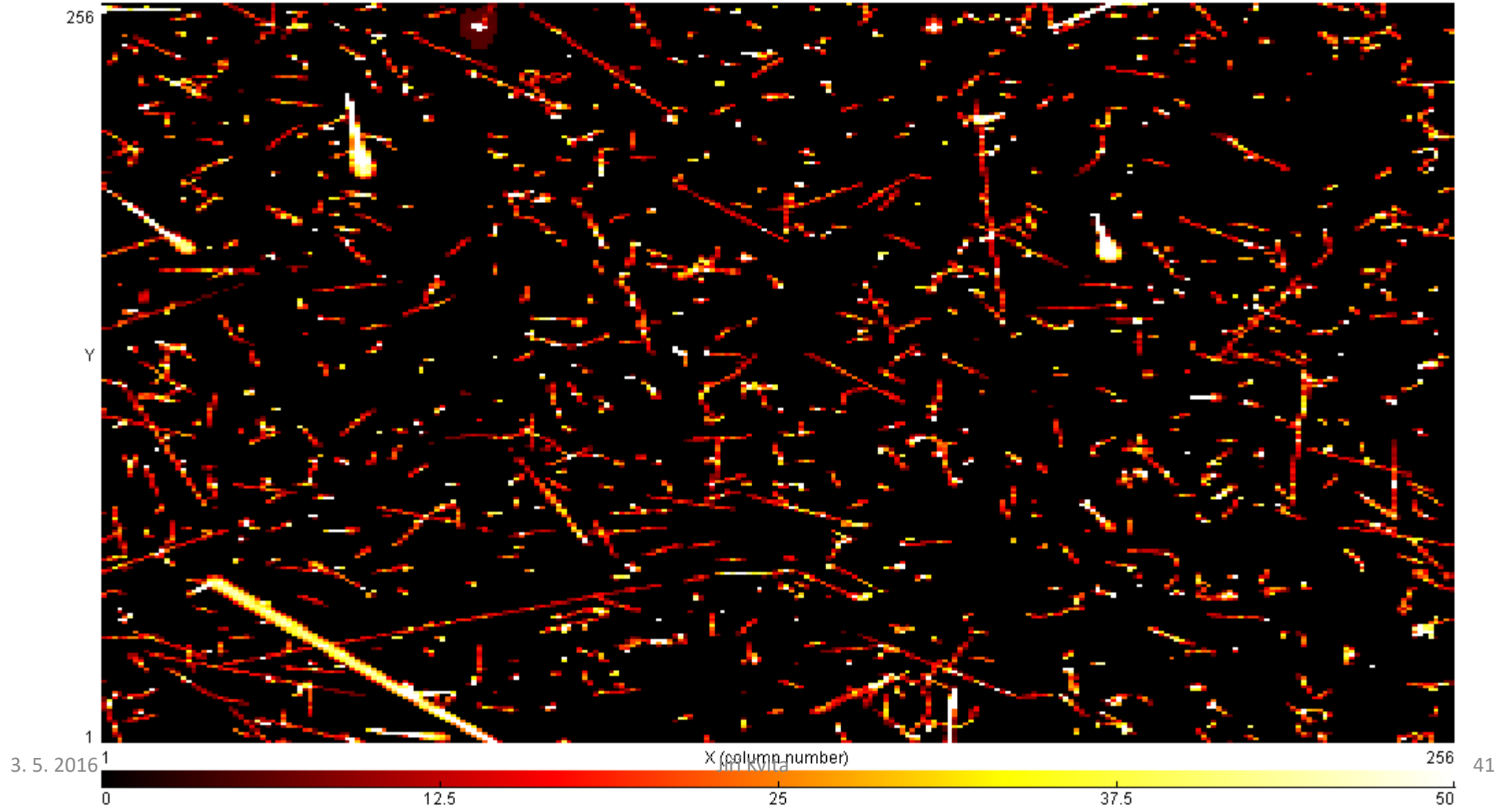
V letadle

- Letadlo :: 15min, ještě vzlet :: „Alfa-burst“.



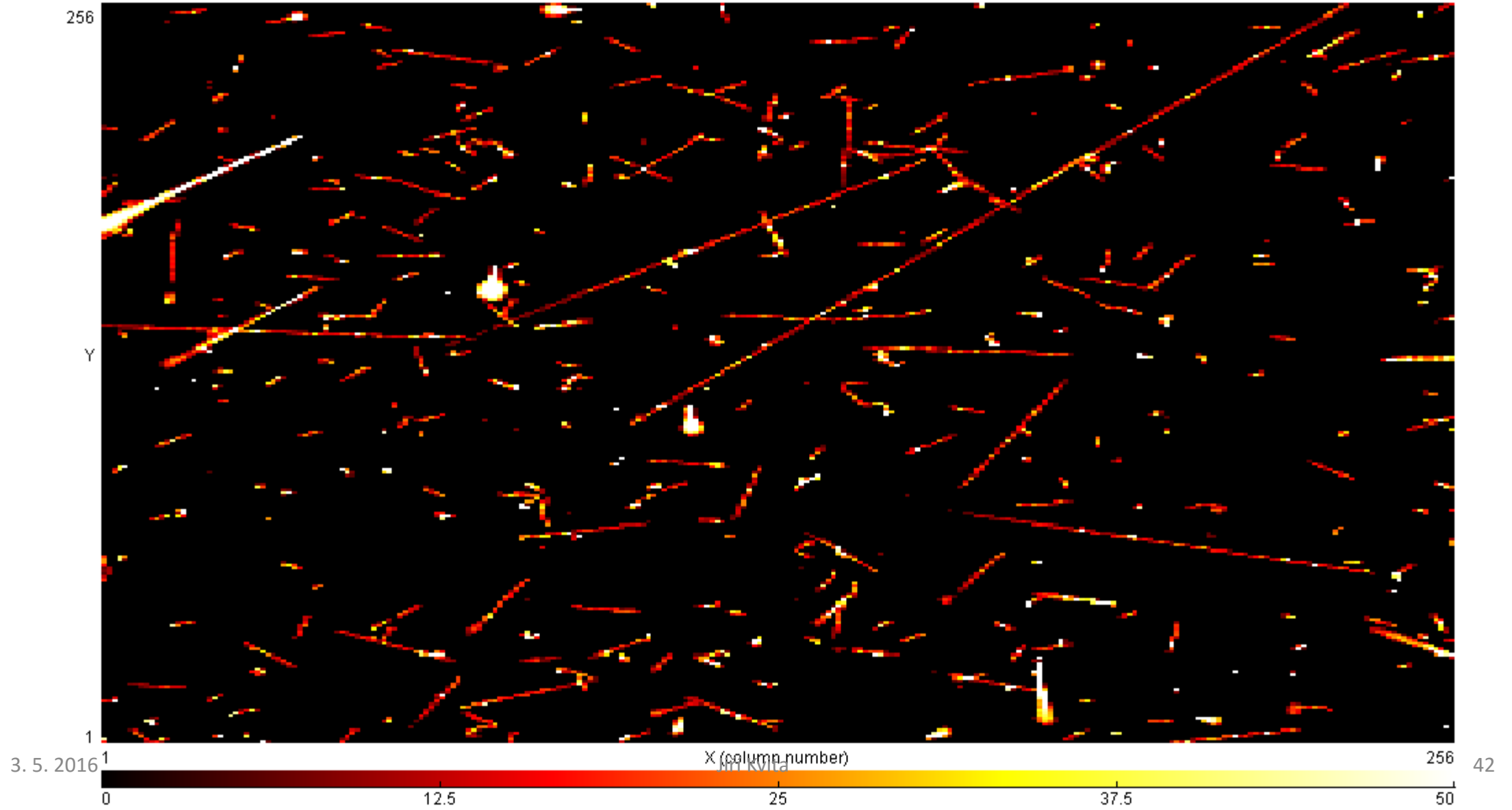
V letadlo

- Letadlo :: 10min! “Fireballs”!



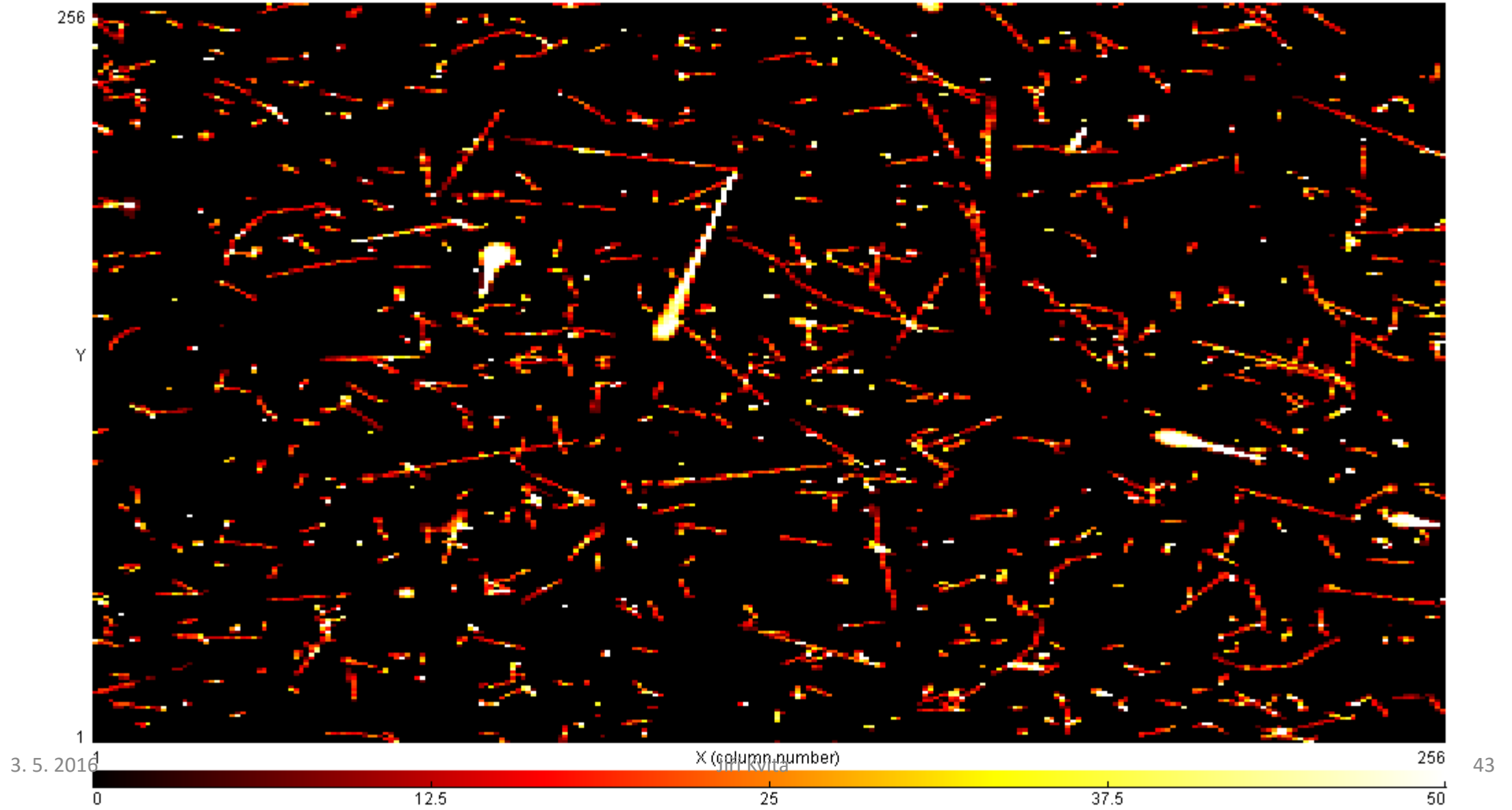
V letadlo

- Letadlo :: 10min! “Fireballs”!



V letadlo

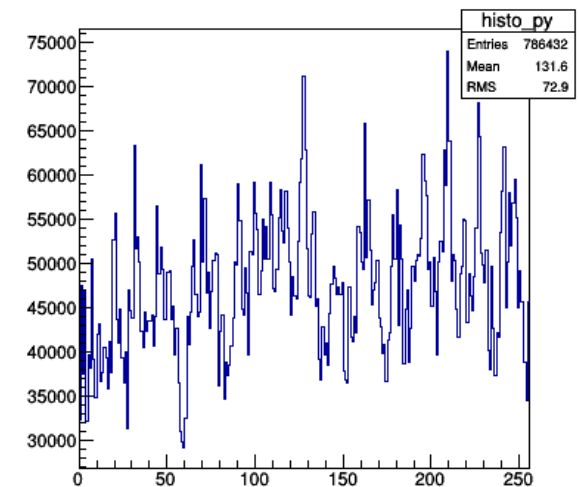
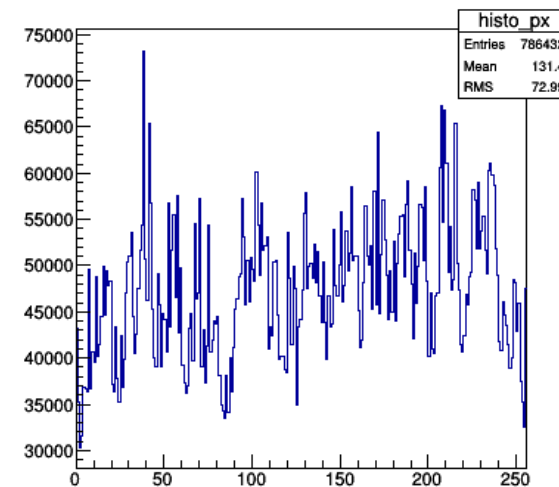
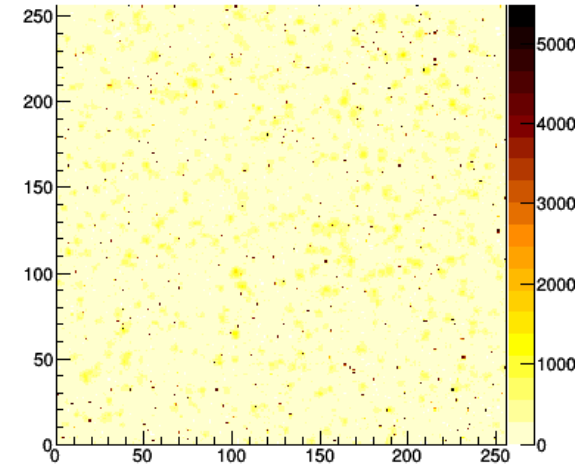
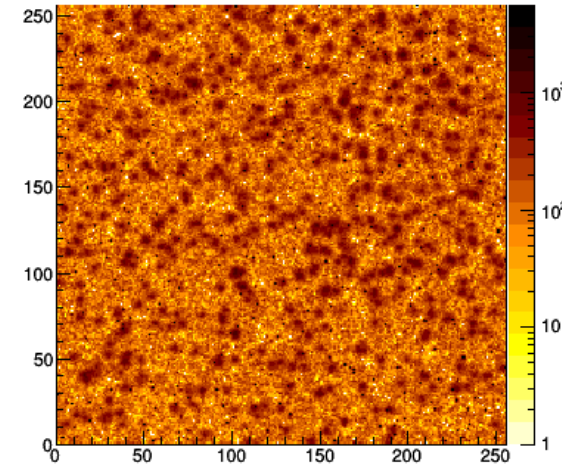
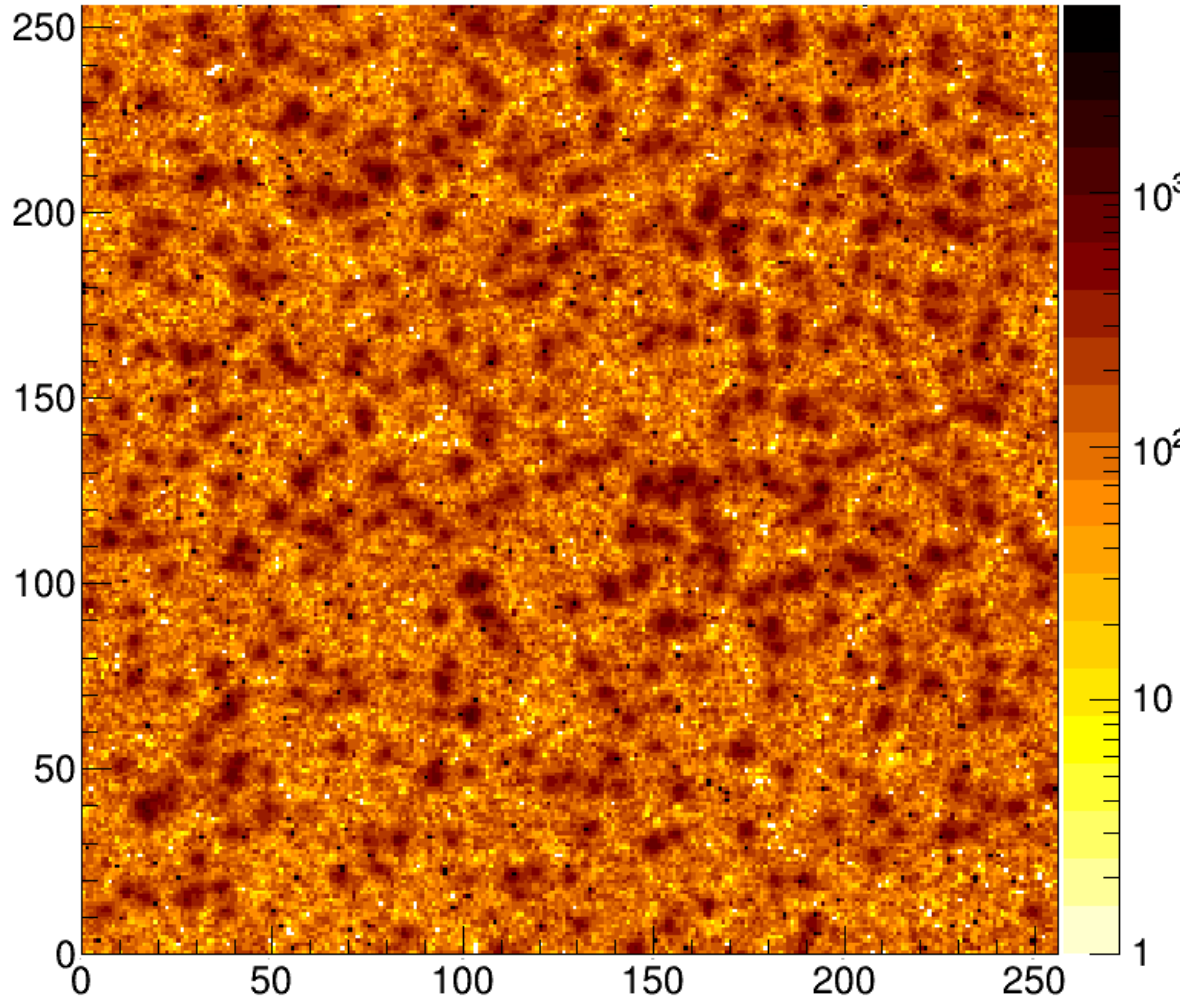
- Letadlo :: 10min! “Fireballs”!



Radiační pozadí

- 98h :: kancelář+domov ⇔ **1,3 mGy/rok** ⇔ **0,14 μGy/h**

Bez započtení efektivity detekce gamma!
Taktéž bez opravy o mrtvou dobu!

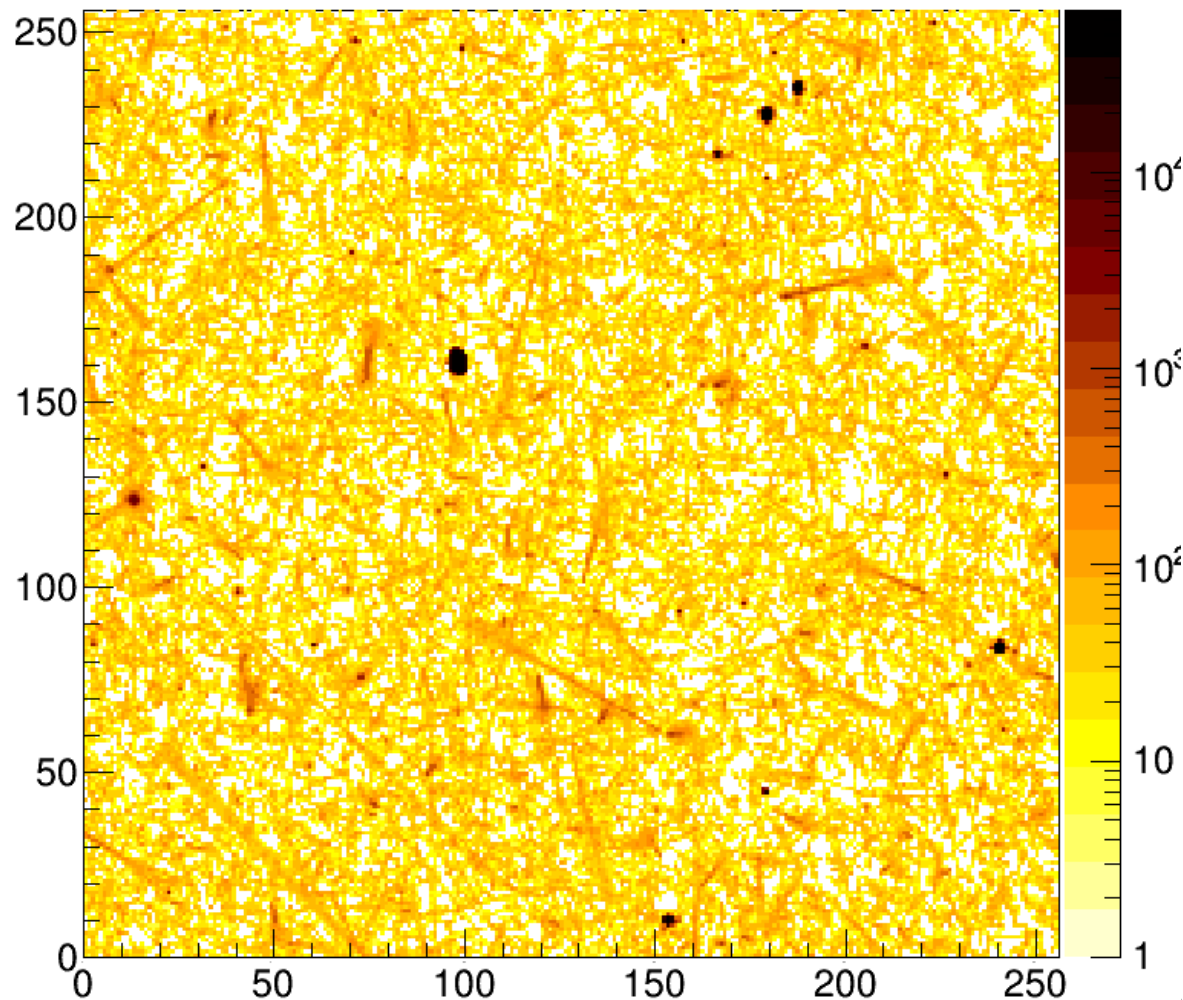


Letadlo

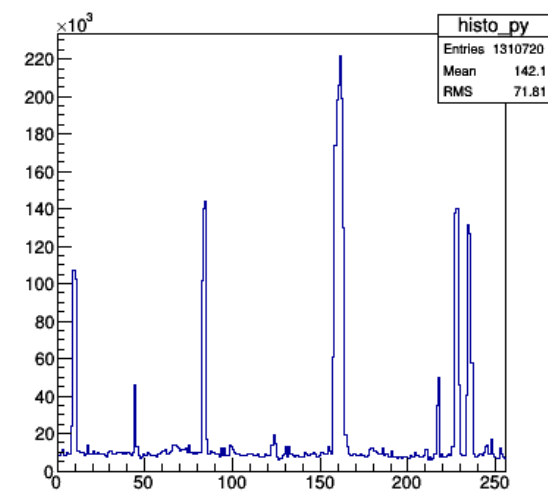
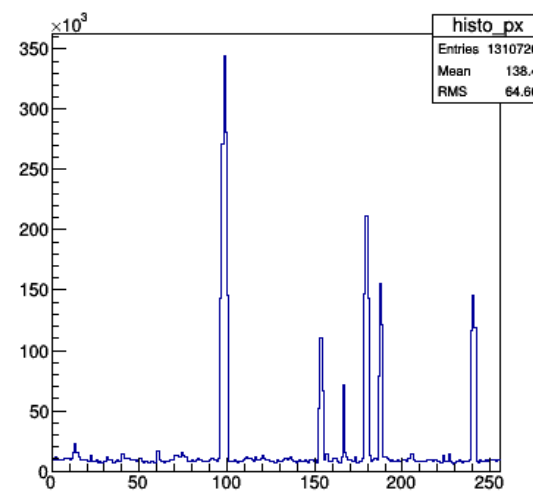
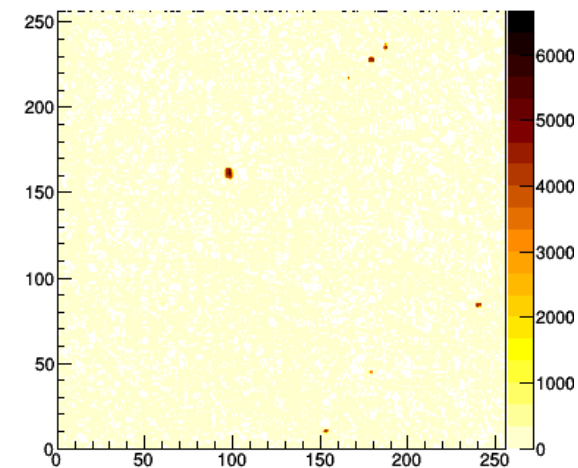
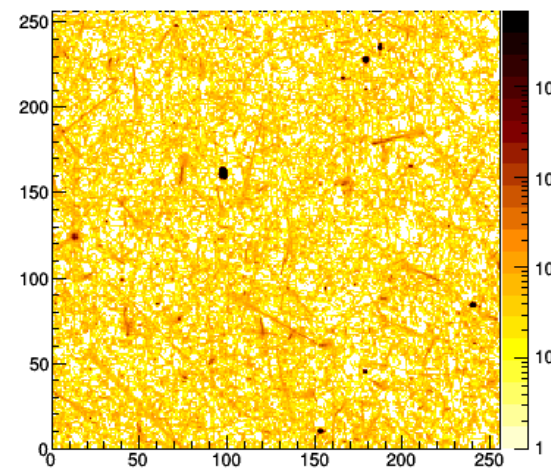
- Cca 200 min :: několik letů ⇔ **15 mGy/rok** ⇔ **1,7 μGy/h**

**Bez započtení efektivity
detekce gamma!**

**Taktěž bez opravy o
mrtvou dobu!**

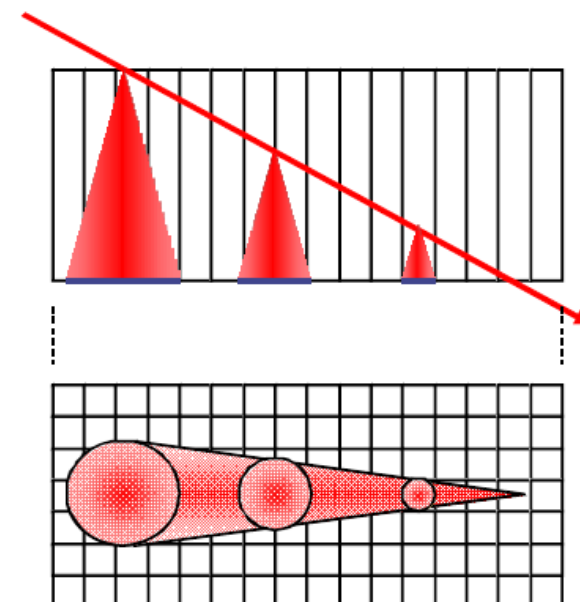
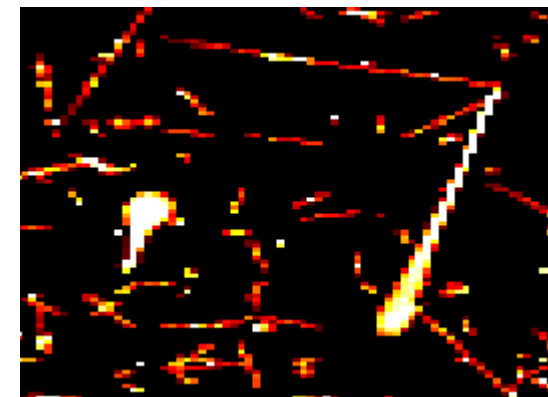
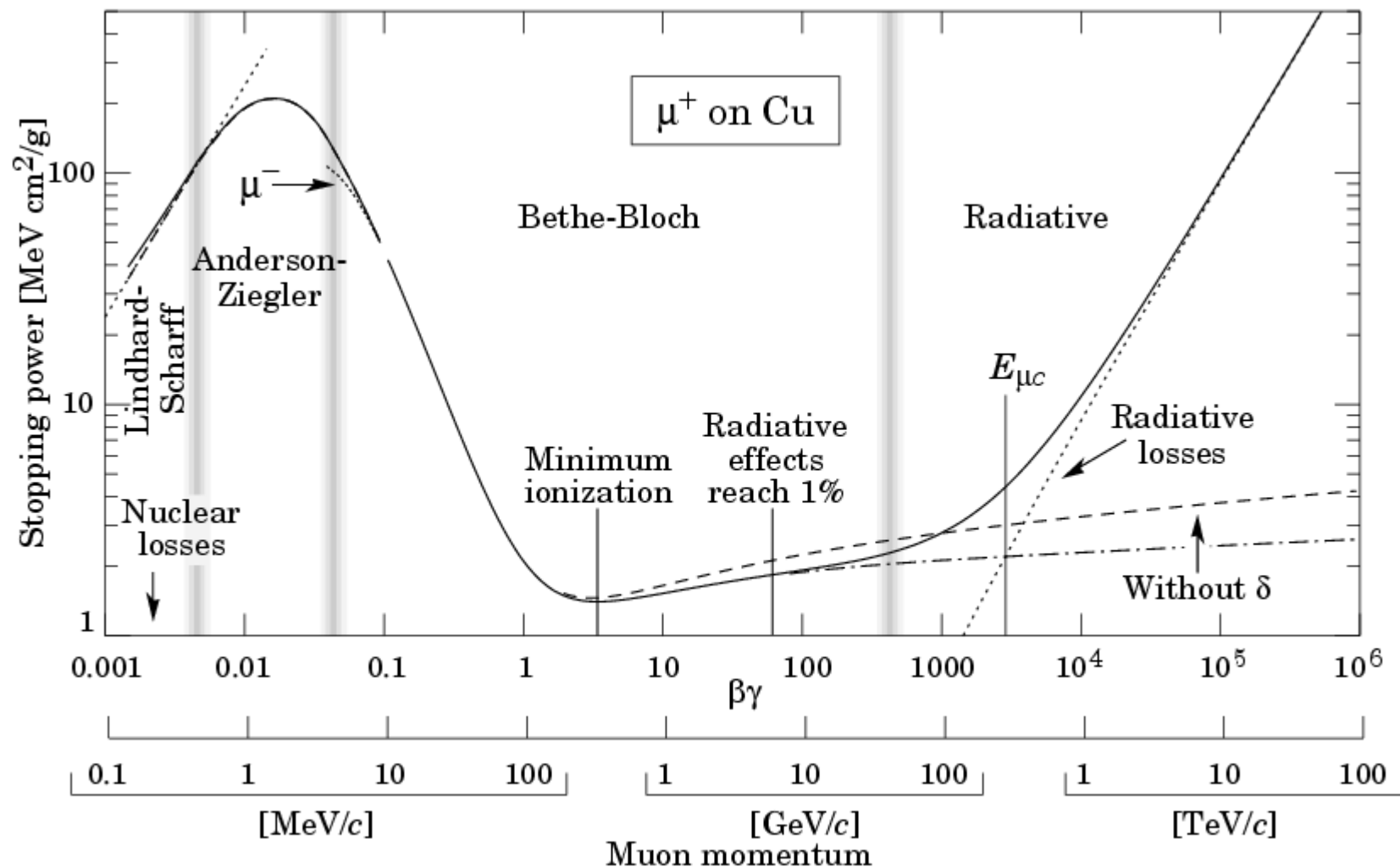


ří Kvita



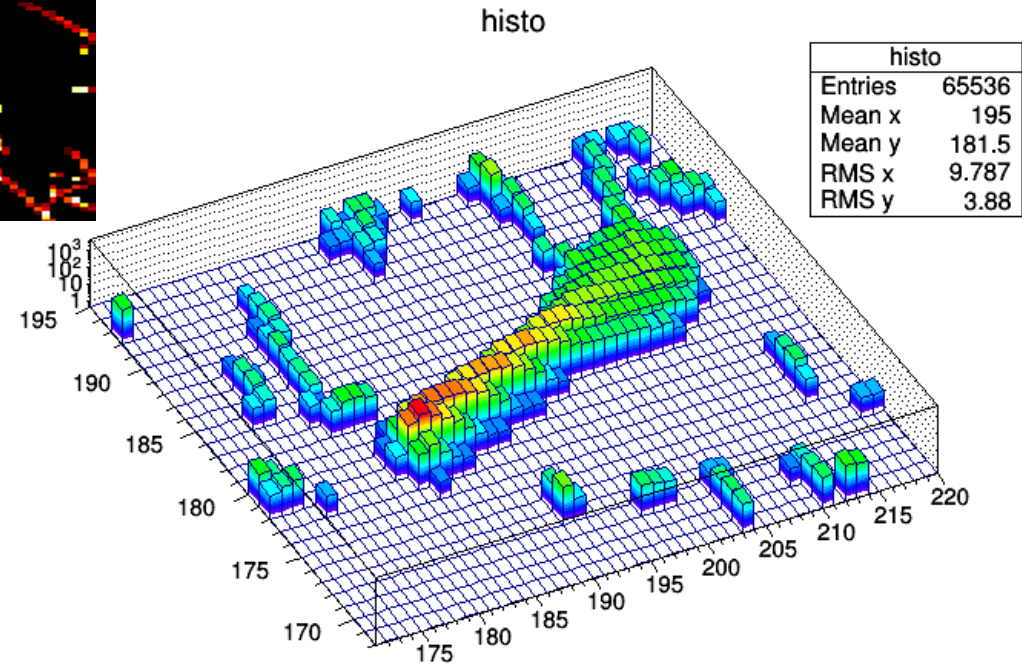
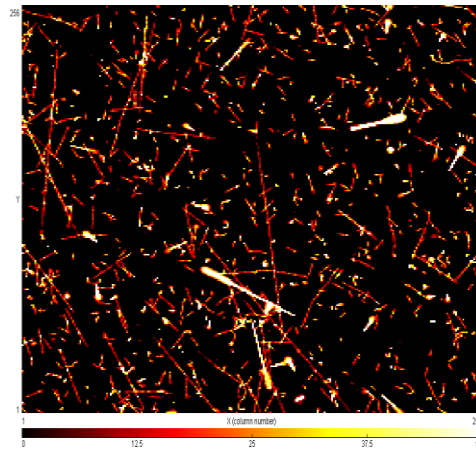
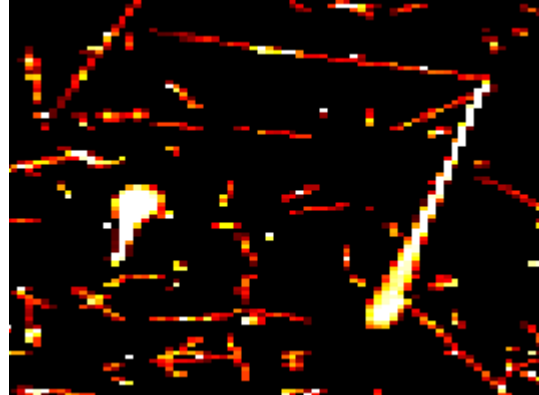
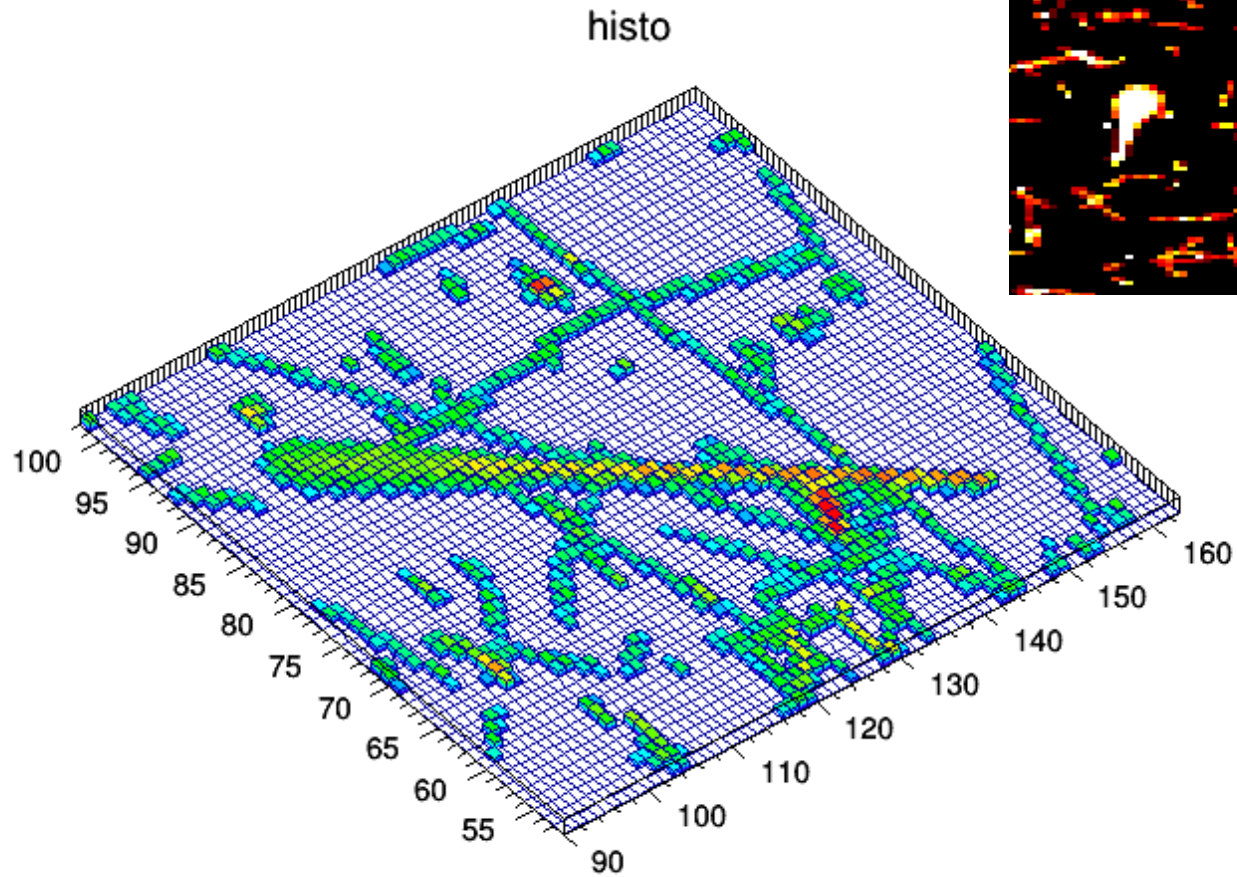
V letadle

- Spršky kosmického záření, interakce v atmosféře, letadle.



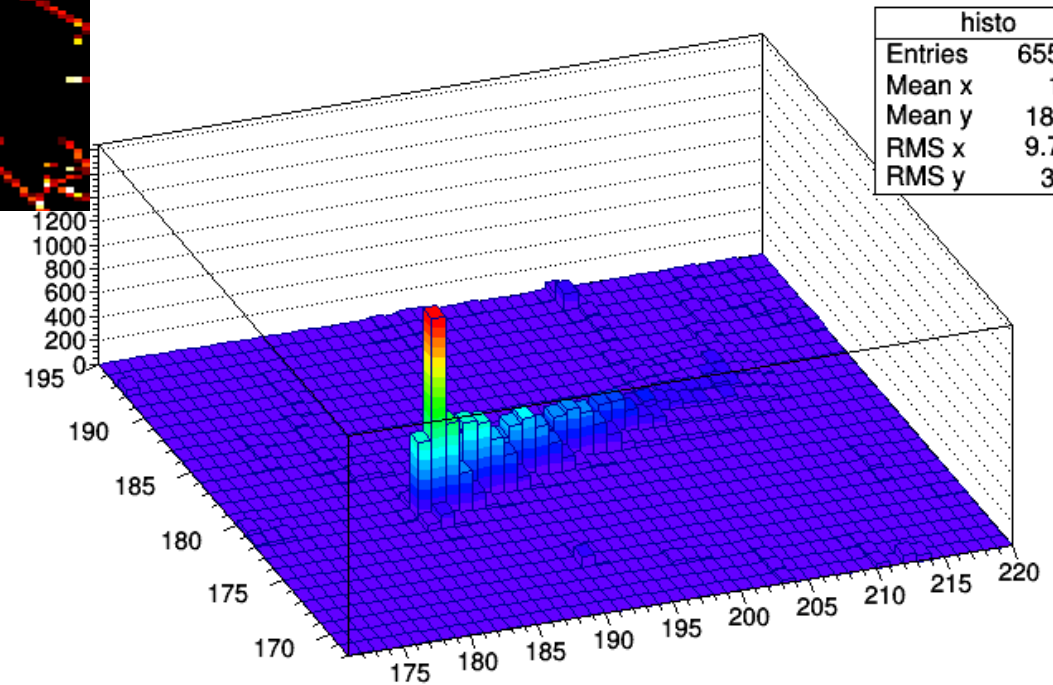
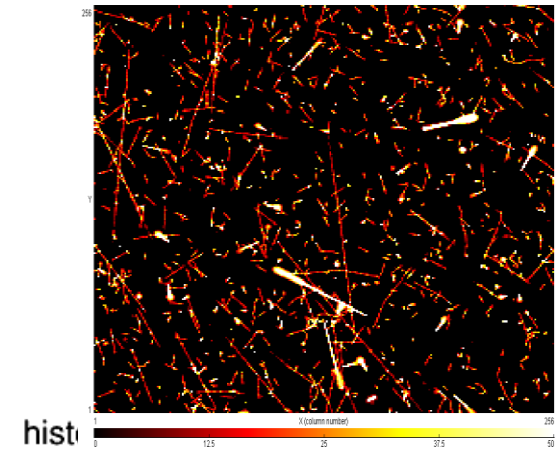
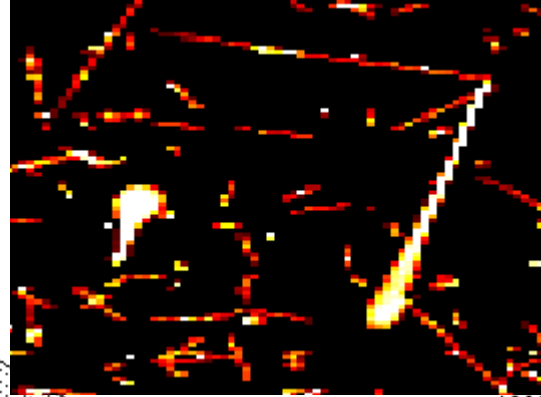
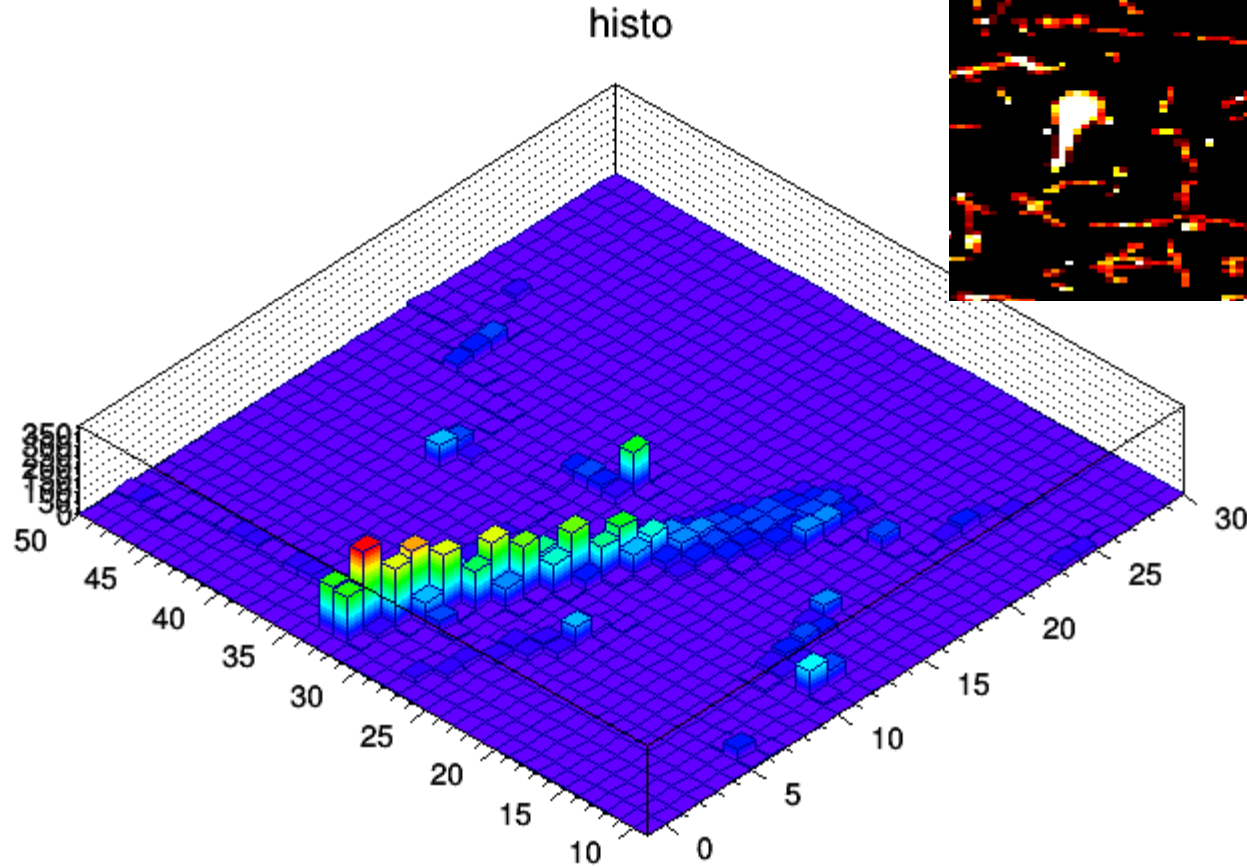
„Fireballs“

- Ztráty silně ionizující částice.
- Logaritmické y měřítko



„Fireballs“

- Ztráty silně ionizující částice
- Lineární y měřítko



Braggův peak

- Ztráty silně ionizující částice podél dráhy.

- Integrovaná Bethe-Blochova formulka.
$$\left\langle -\frac{dE}{dx} \right\rangle = Kz^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 W_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

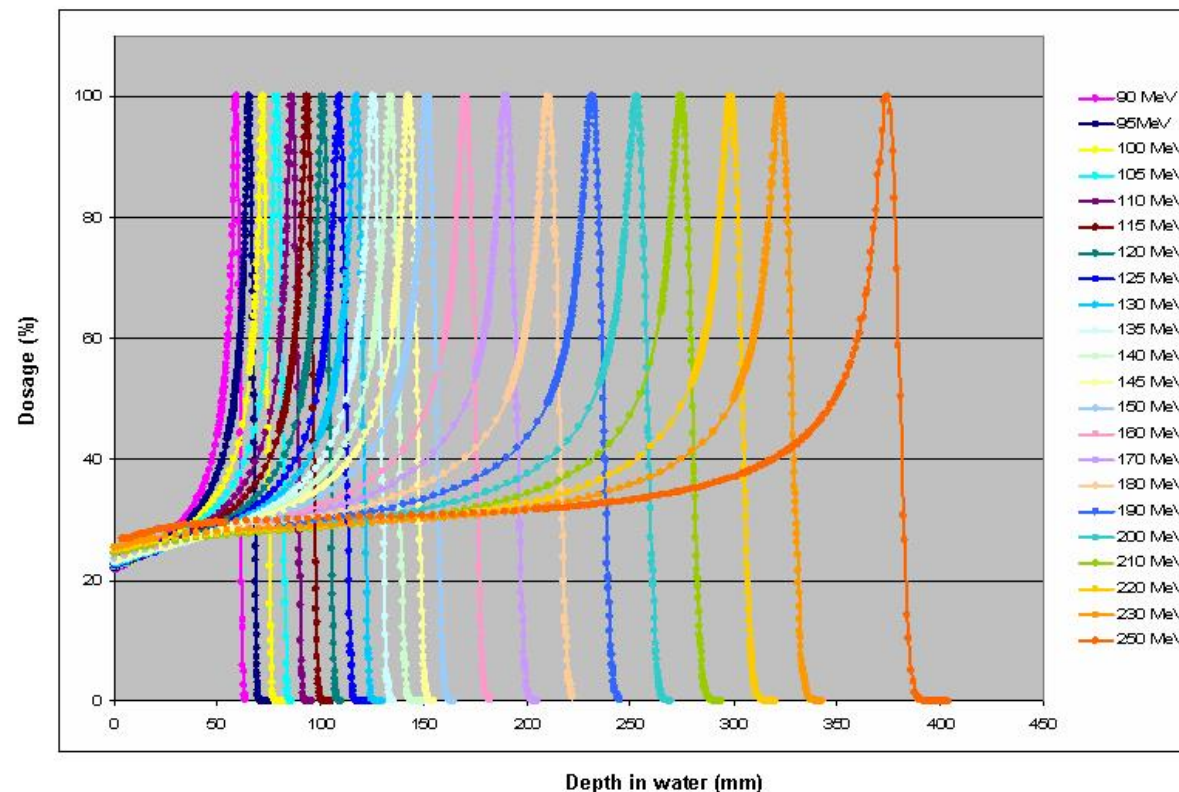


Figure 6

Measurement results of different Bragg peaks at the RPTC. For clinical applications, any intended penetration depth between 4 and 38 cm can be adjusted with sub-millimeter accuracy for scanning.

ISS

- 400km, Kredit: NASA, S. Pospíšil

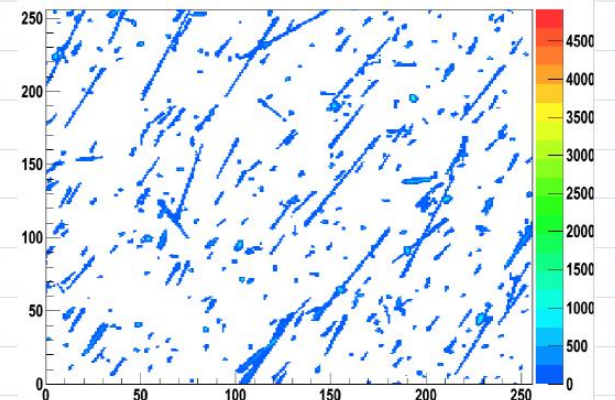
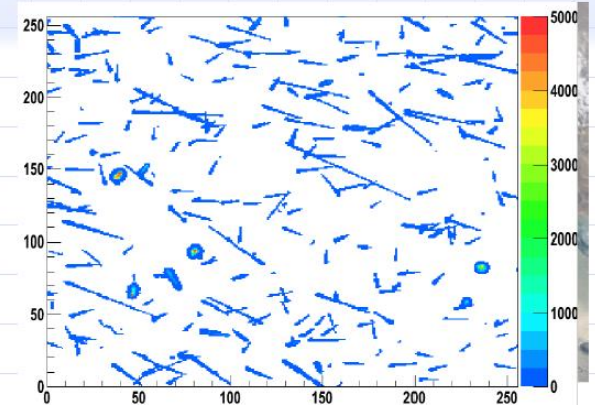


Dosimetry in space on ISS

- Timepix for the first time in the space on the altitude $\sim 400\text{km}$
- 5 detectors deployed on ISS from October 2012

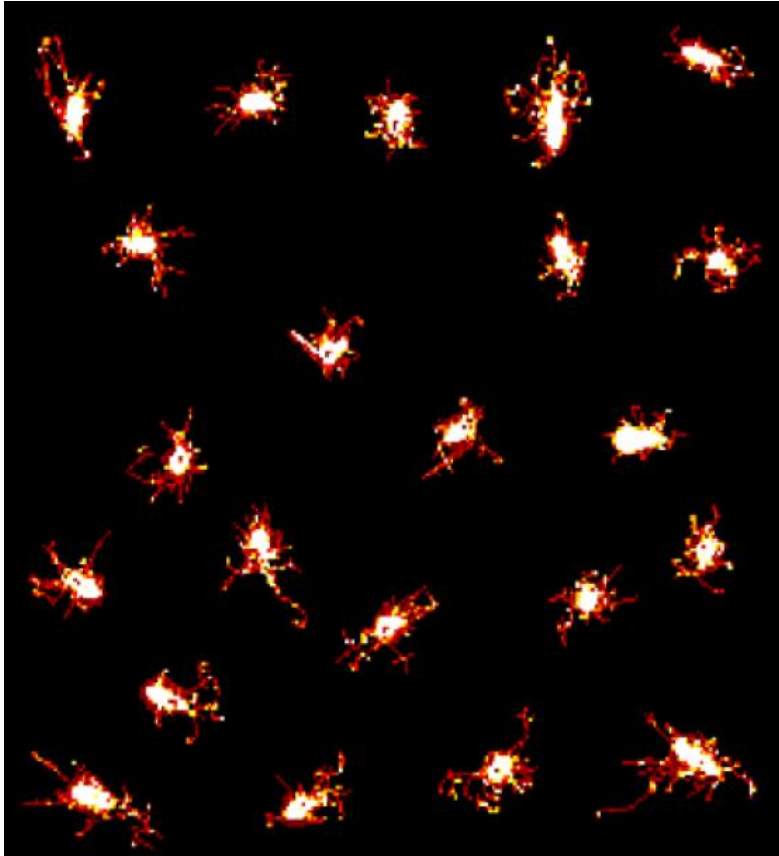


Institute of Experimental and Applied Physics
Czech Technical University in Prague



Vesmír

- Sonda Proba-V, 800km, Kredit: ESA, S. Pospíšil



Částicové experimenty na oběžné dráze

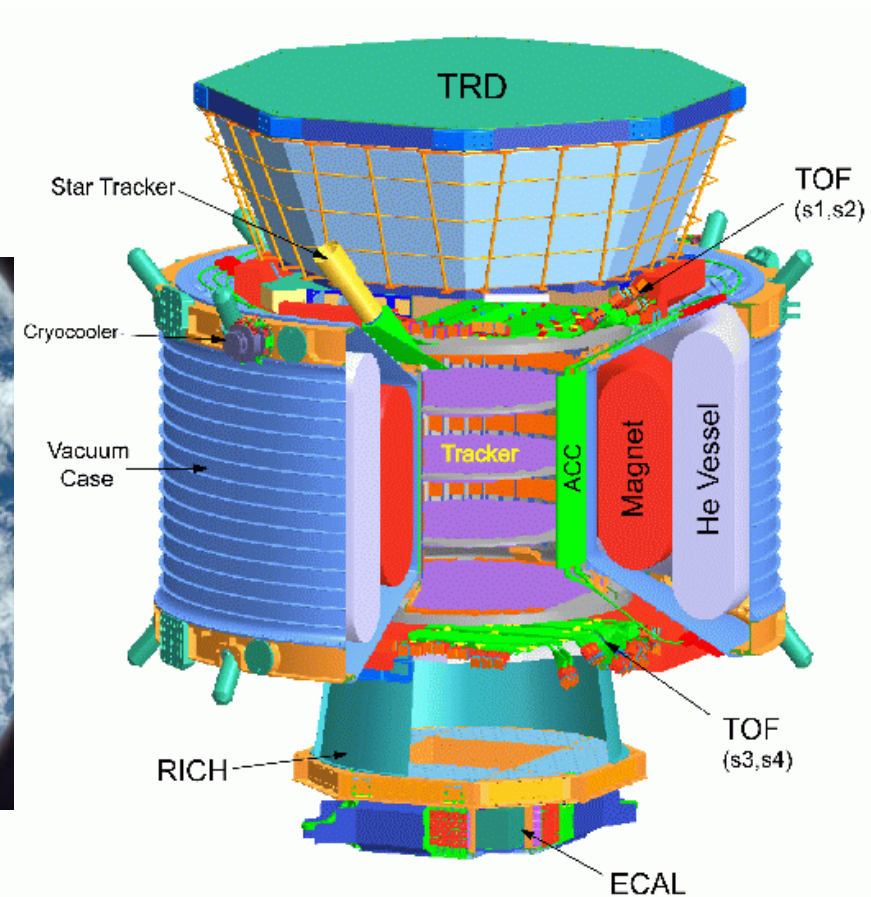
- ISS
 - Experiment AMS-II (~USA) www.ams02.org
 - CALET(~Japonsko) <http://calet.phys.lsu.edu/>
- Non-ISS
 - FERMI



3. 5. 2016



Jiří Kvita



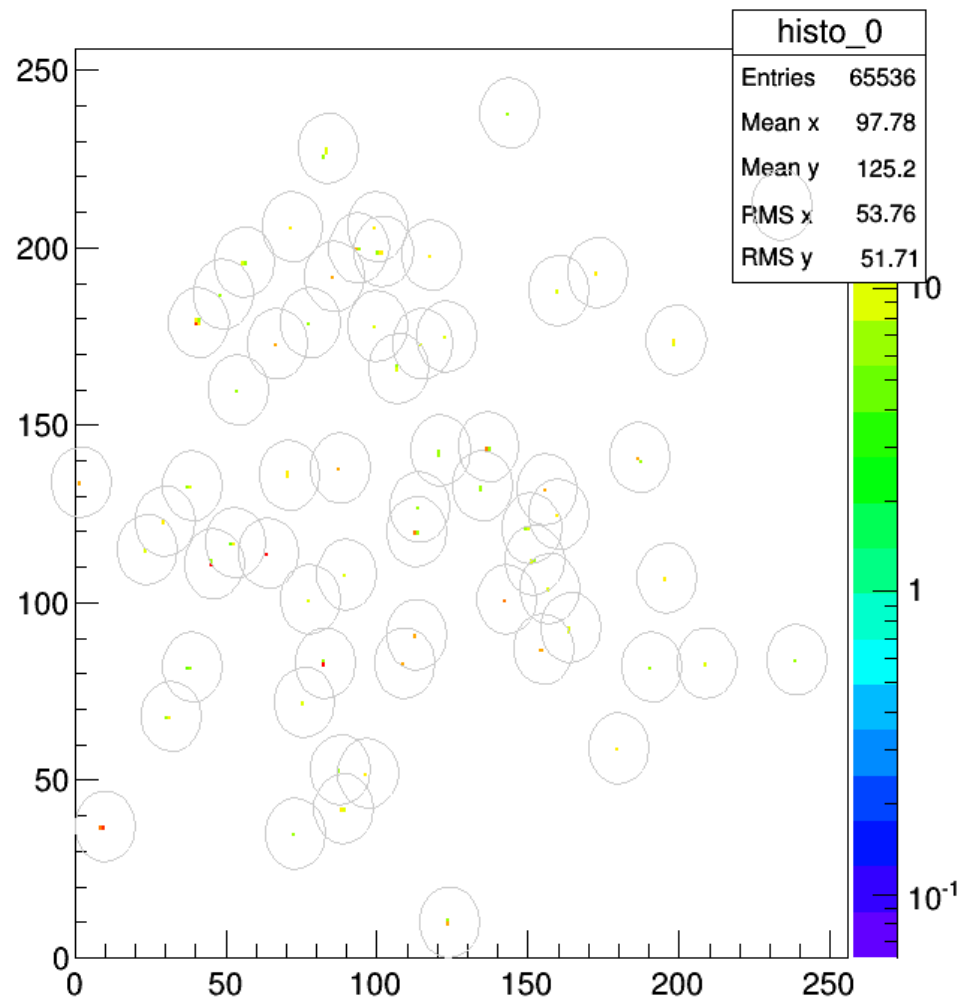
Zpět na Zem...

Poissonovo rozdělení

- Statistika: rozdělení počtu gamma na snímek, 1k snímků.

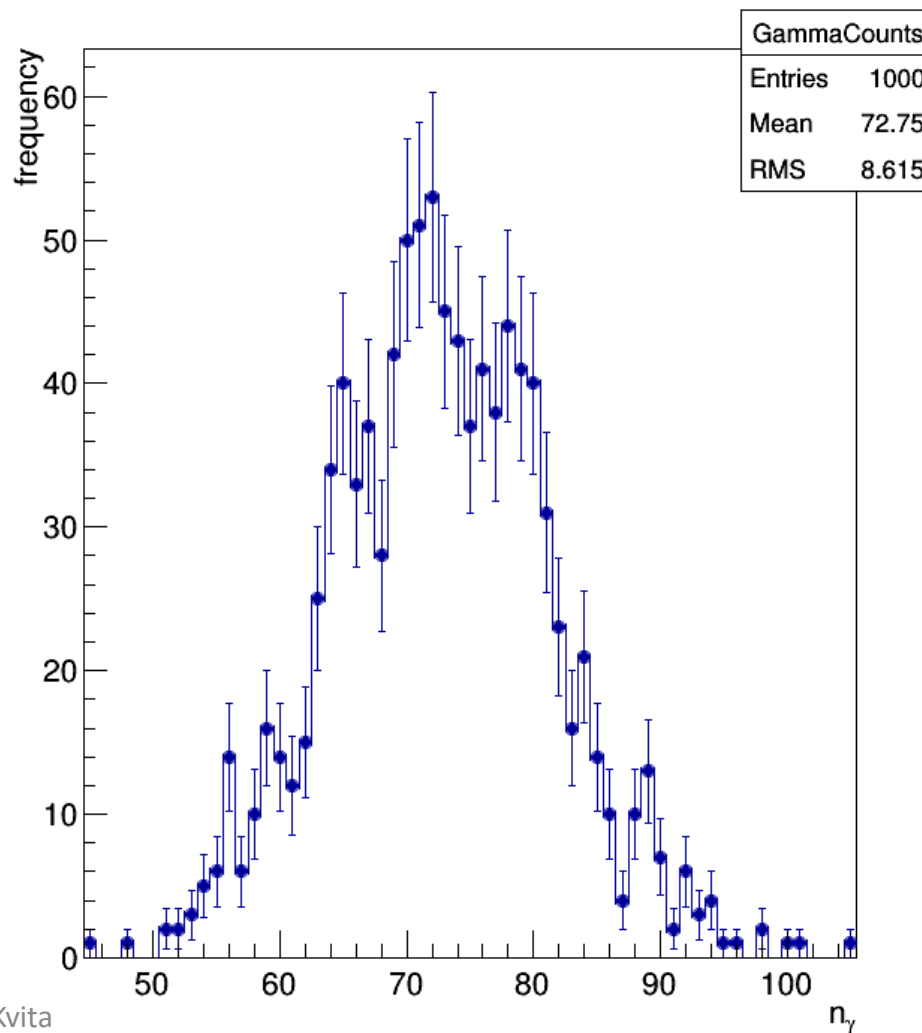
Last frame

histo



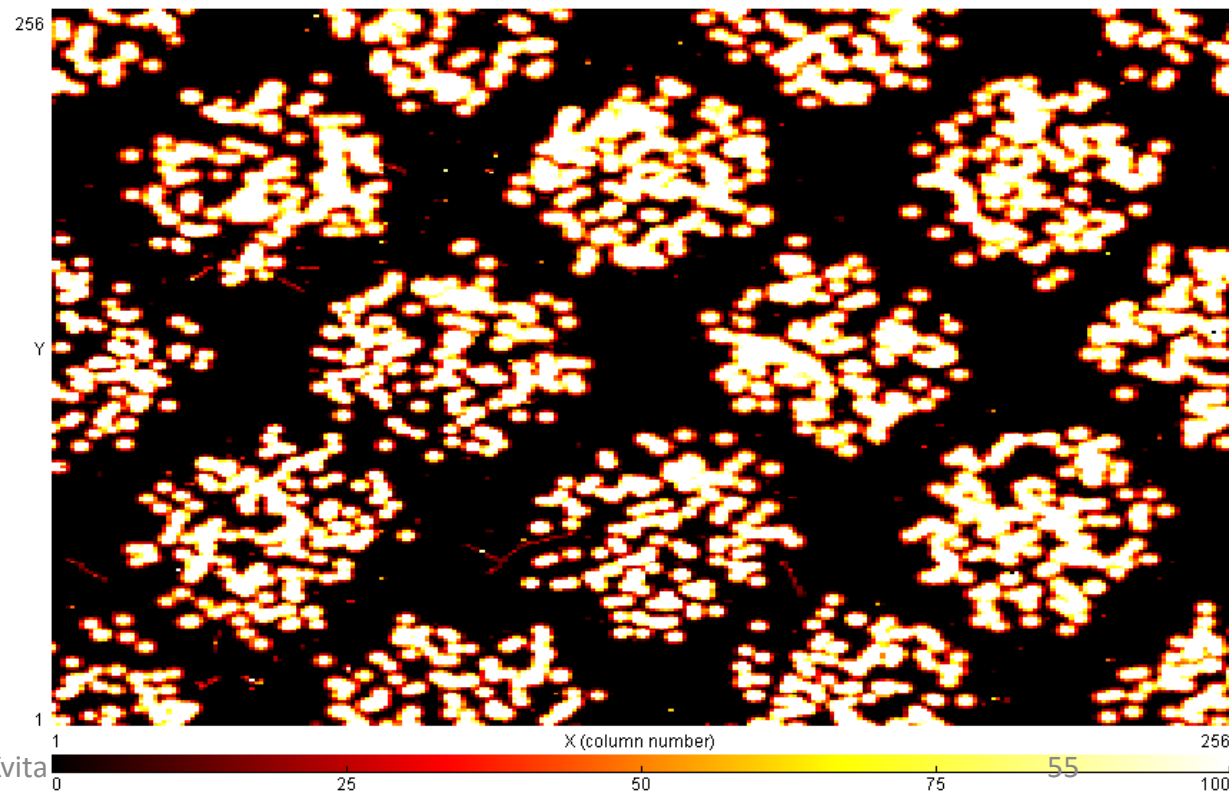
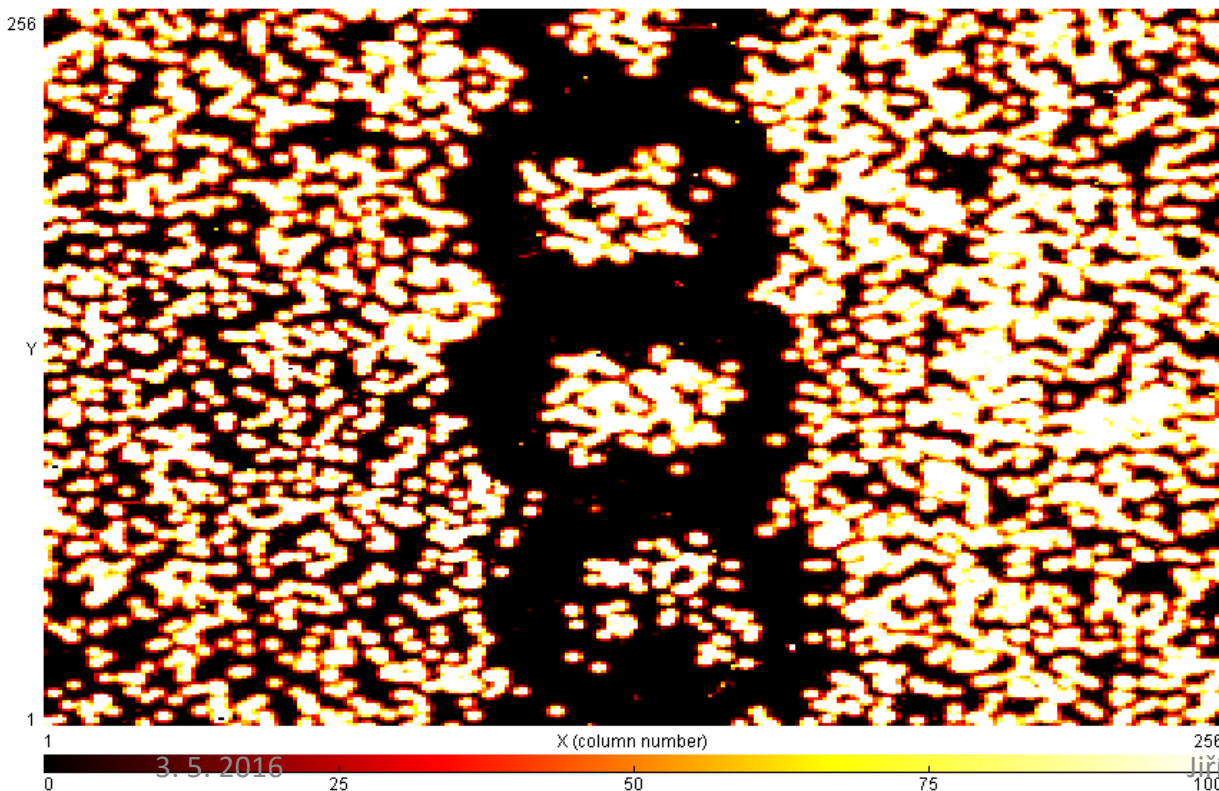
Histogram přes všechny snímky

Gamma Counts



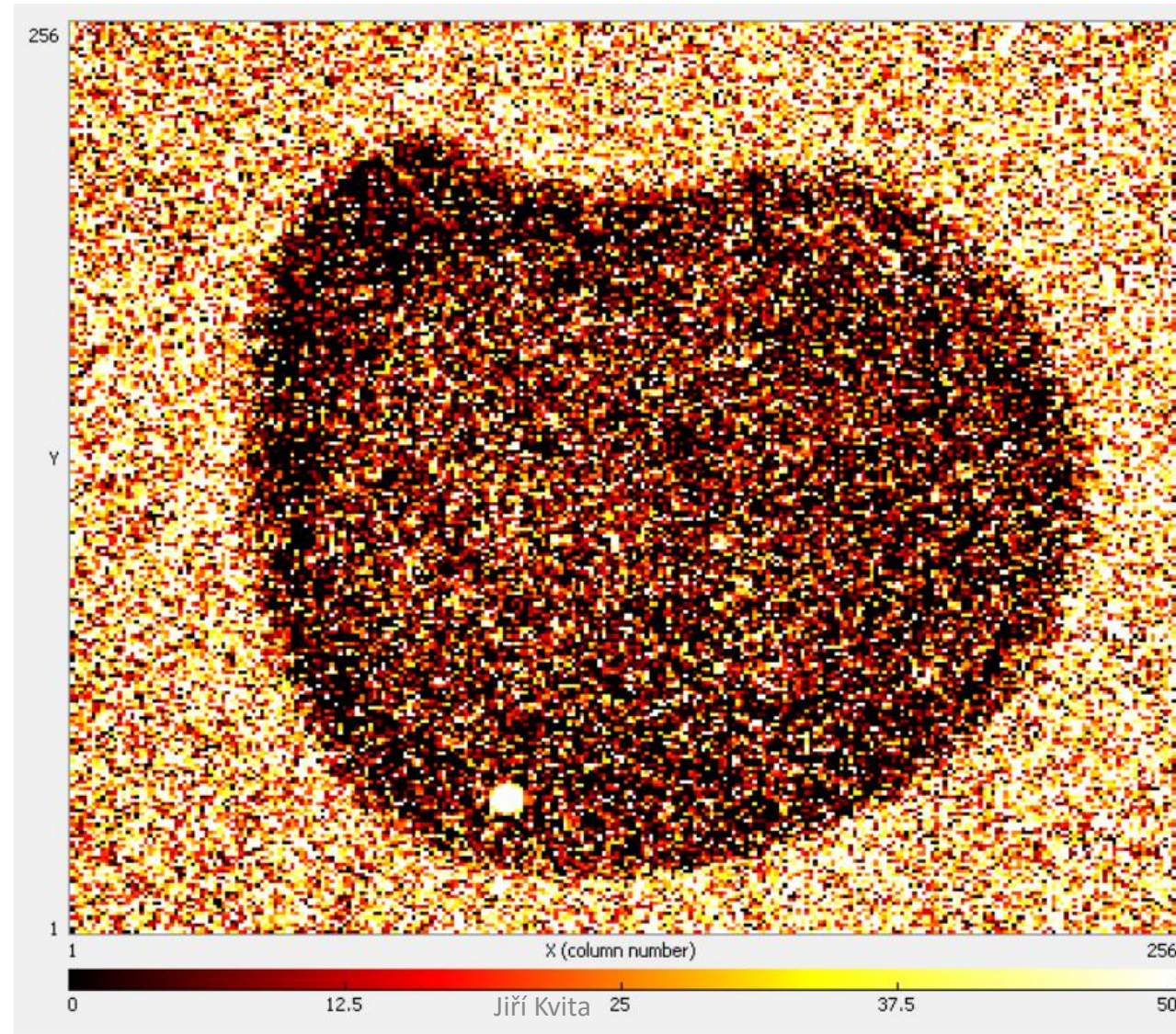
„Vidění“ pomocí alfa částic

- Transmise vzorkem:
- Řetízek, kovová mřížka.



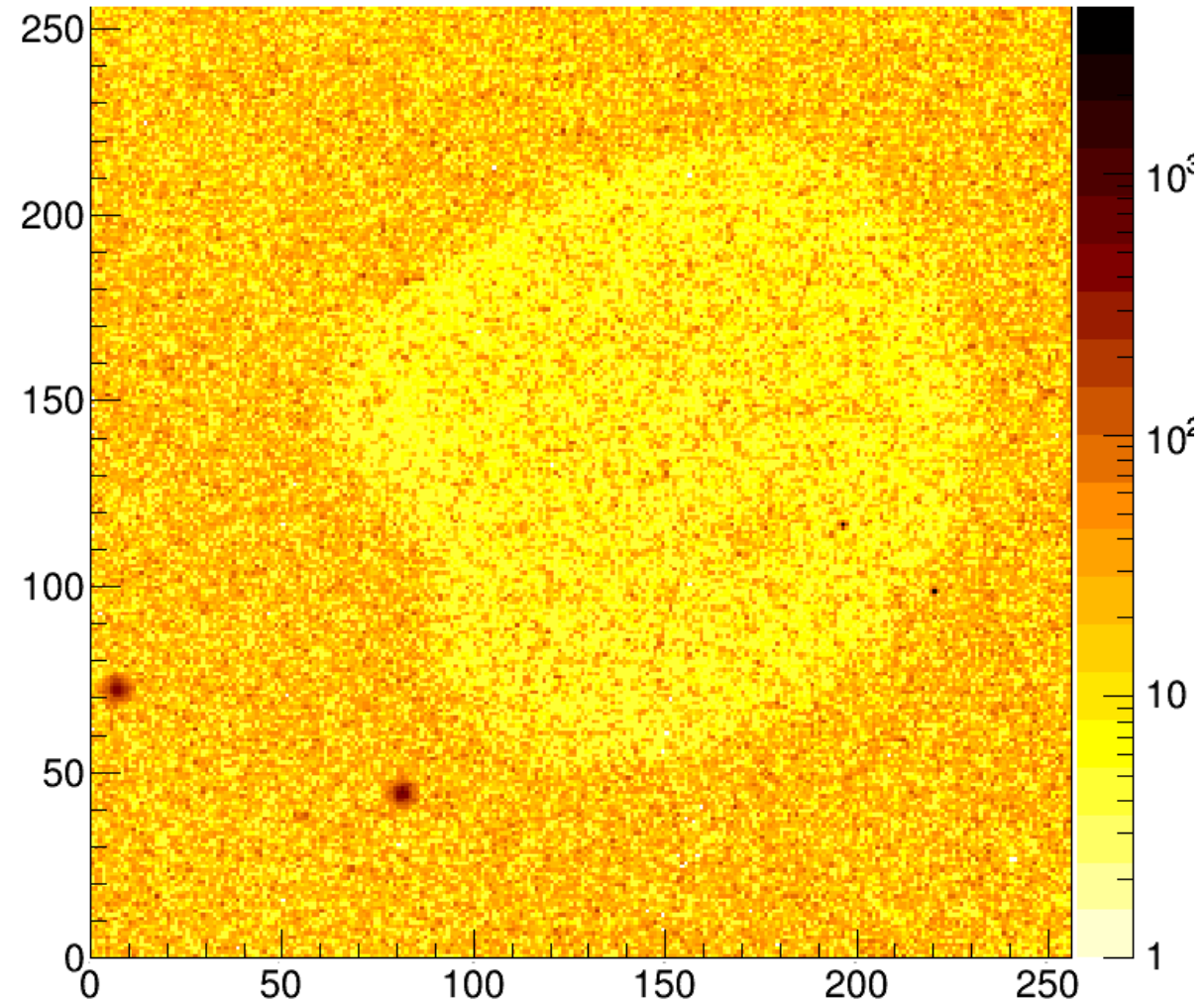
„Rentgen“

- Transmisní scan lastury, jako artefakt jedna výrazná alfa částice.



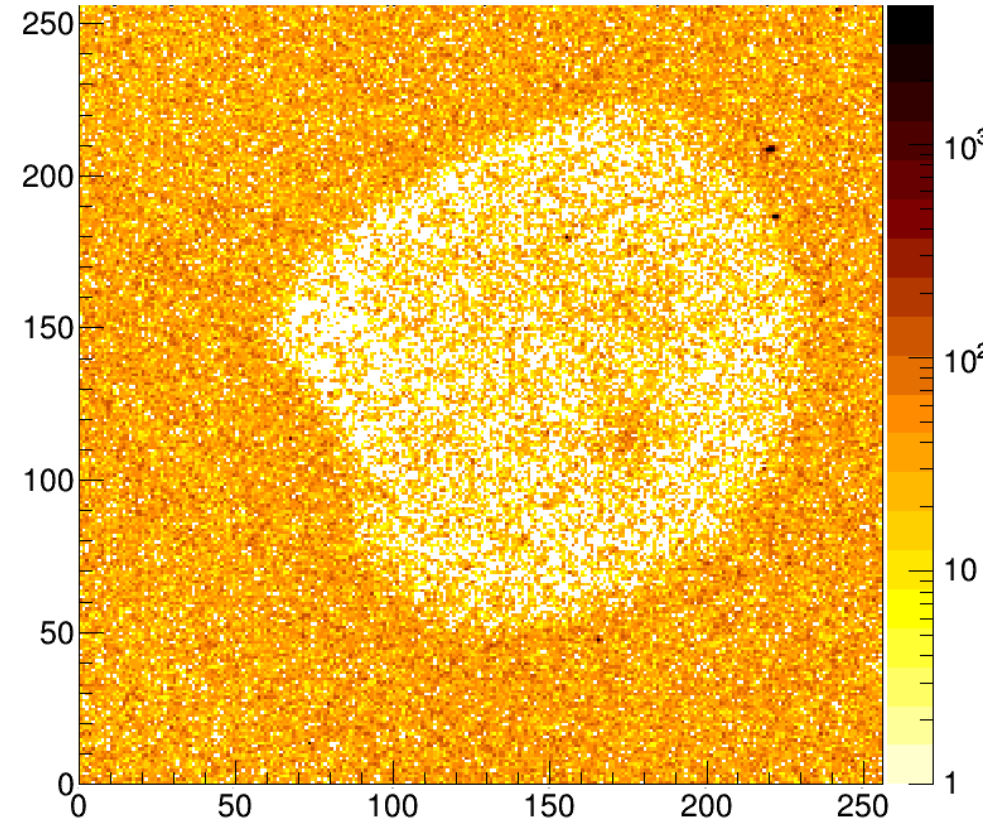
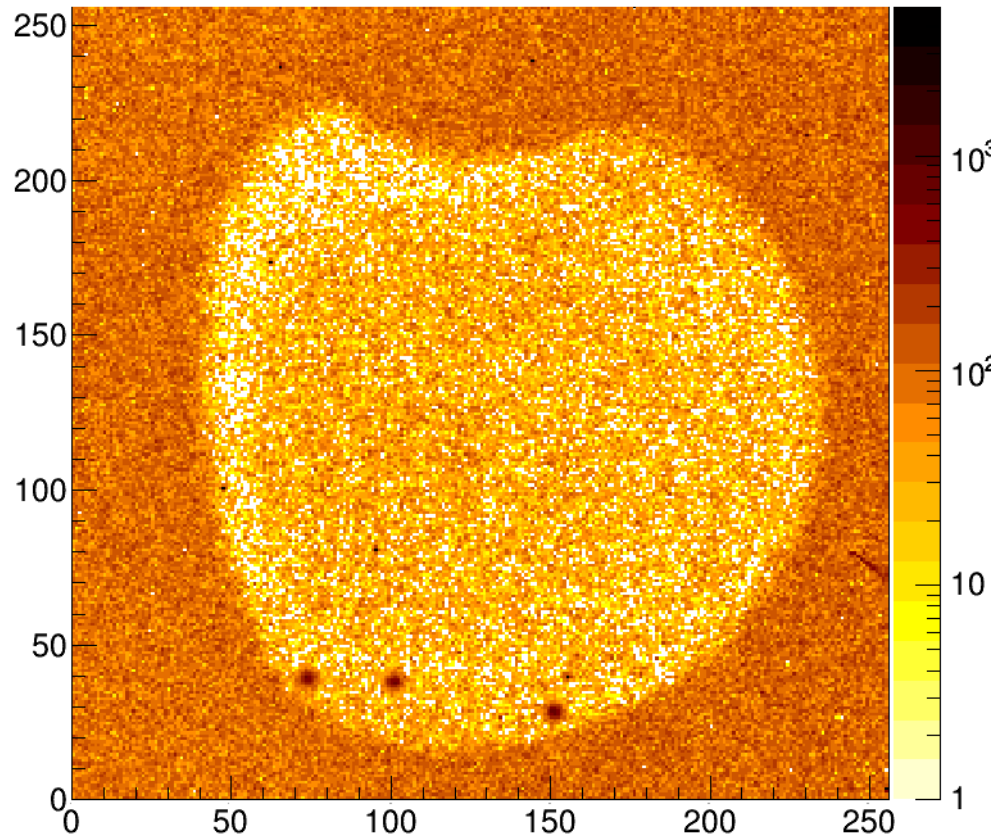
„Rentgen“

- Elektrostatický výboj: náboj ve všech pixelech.



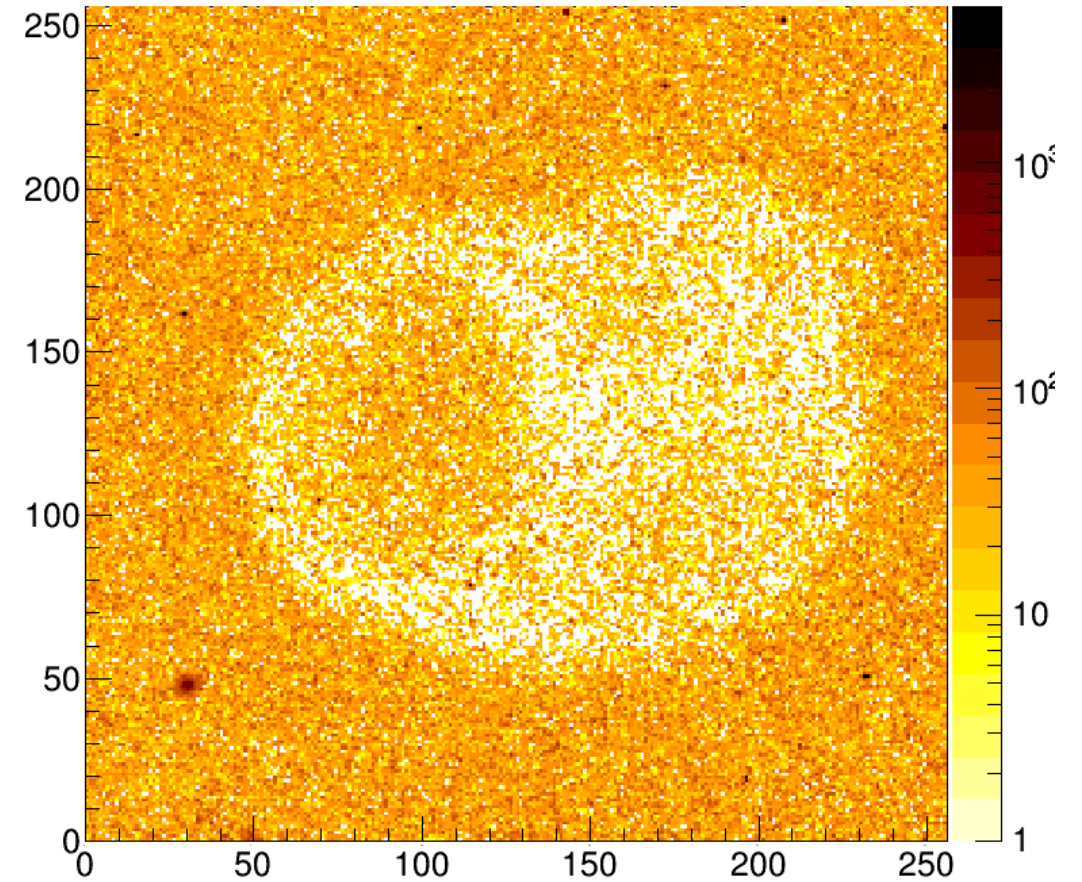
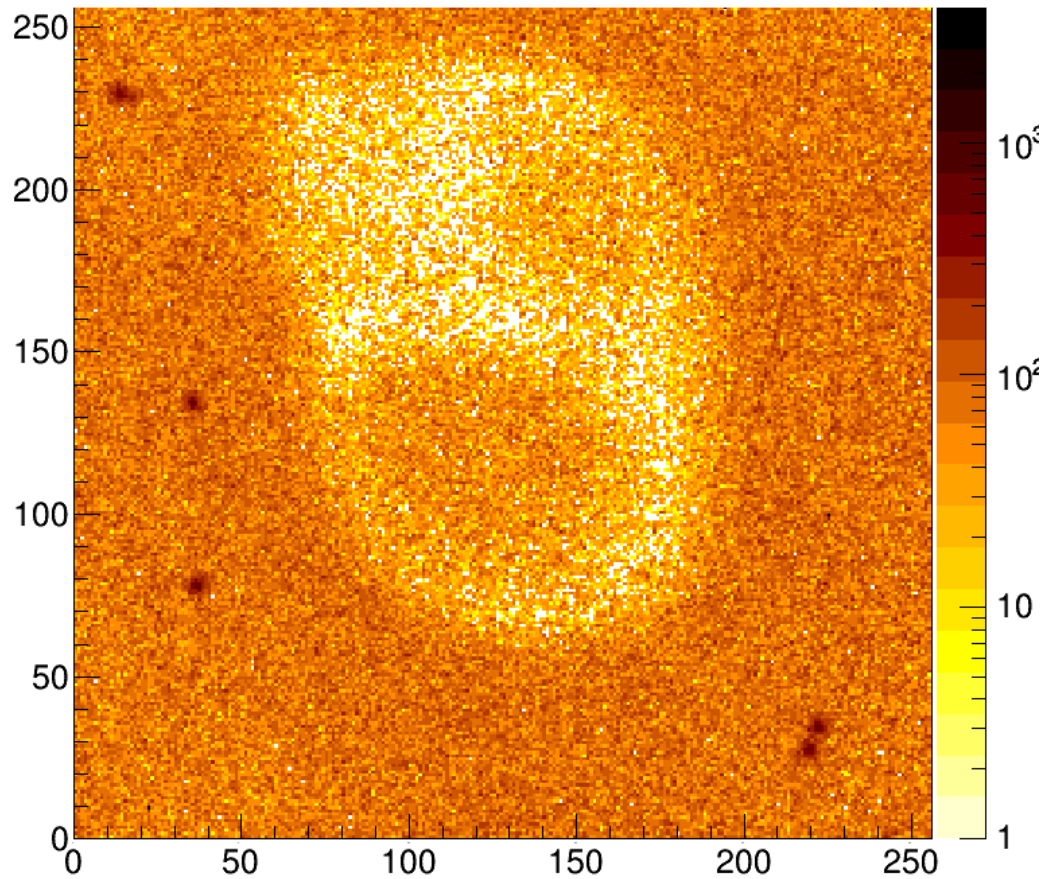
„Rentgen“

- Transmisní scan lastury.



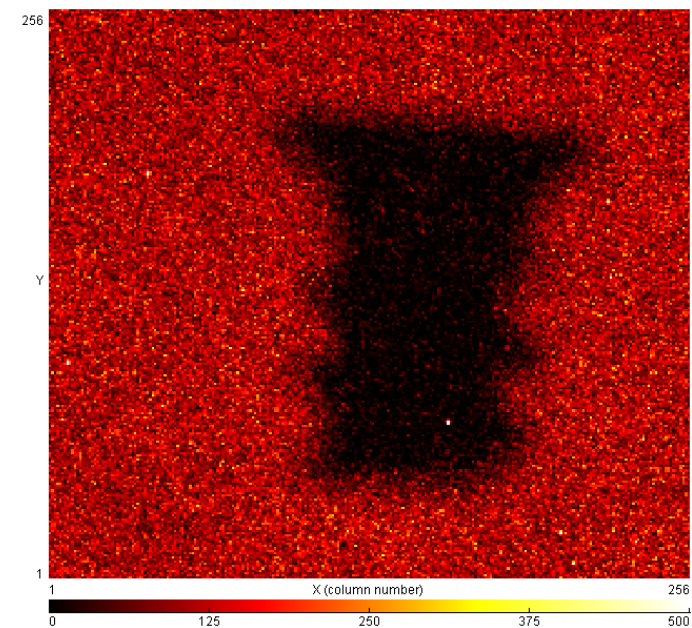
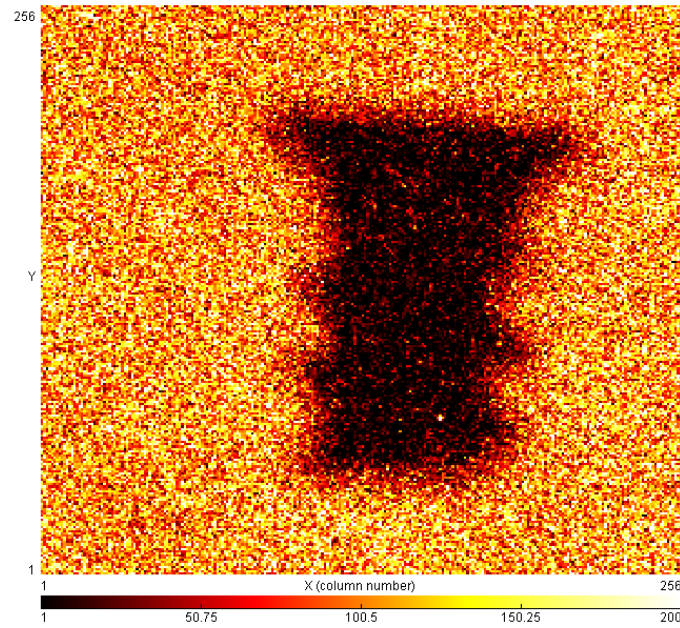
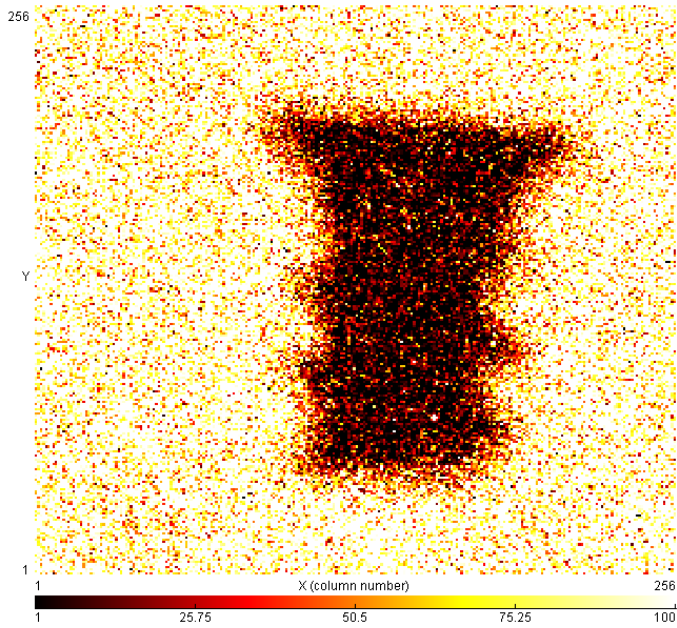
„Rentgen“

- Transmisní scan drobné ulity.



„Rentgen“

- Transmisní scan: šroubek ukrytý v kartonu.



„Rentgen“

Including gamma spikes

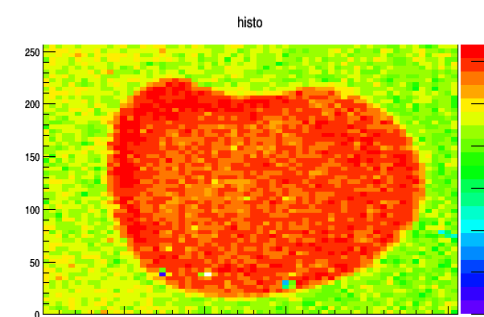
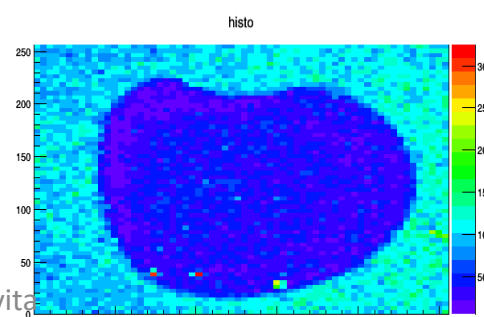
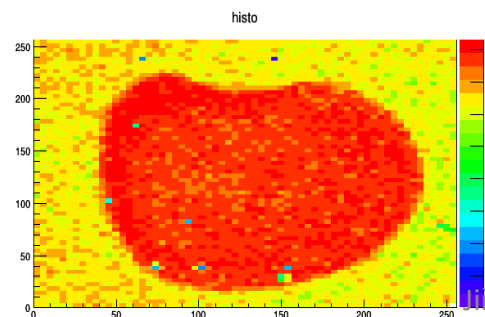
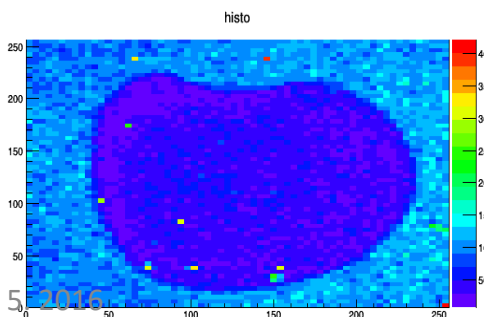
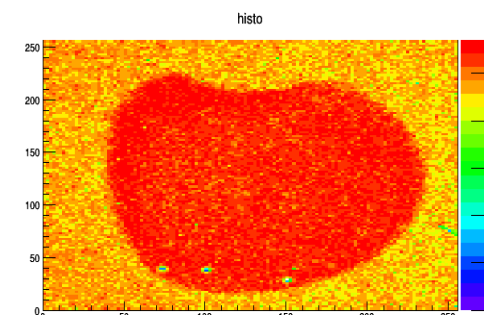
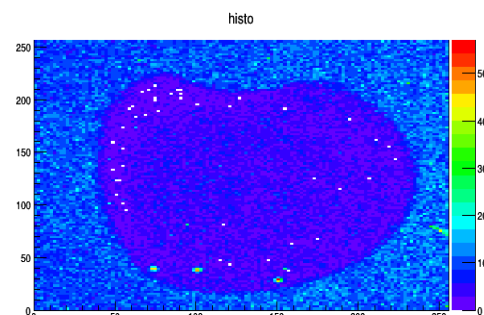
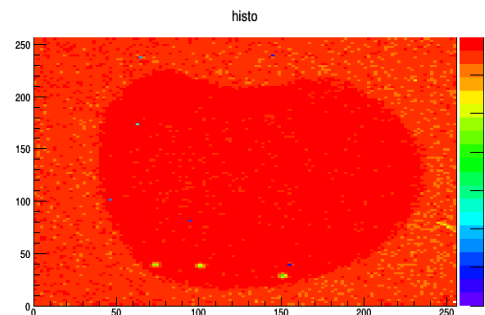
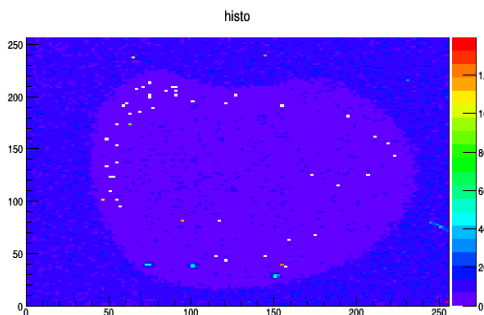
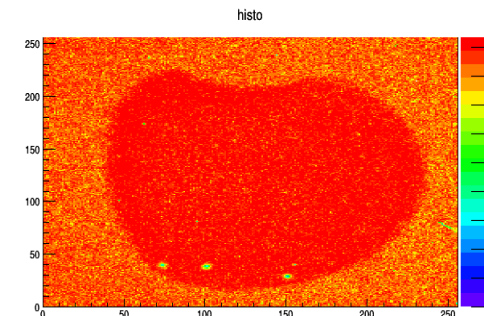
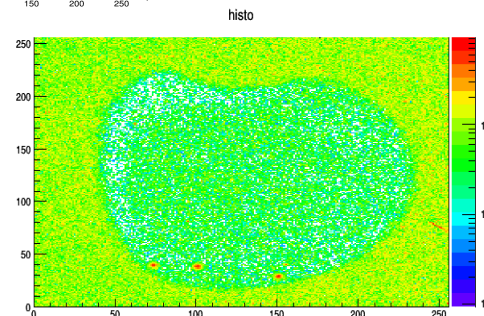
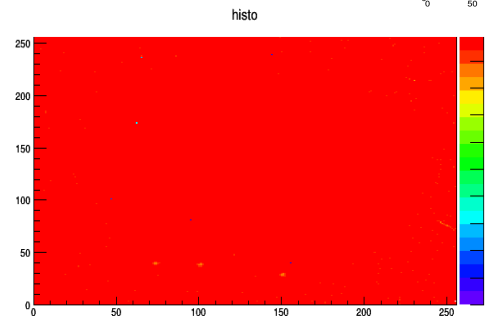
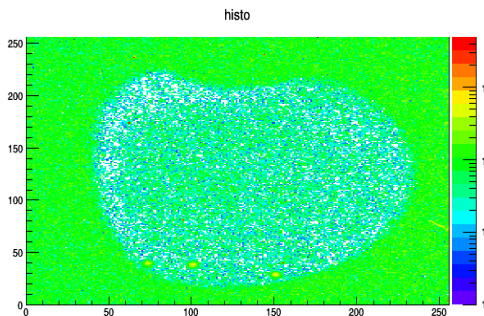
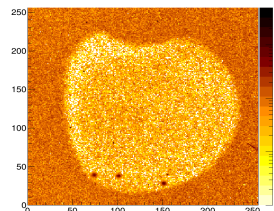
Excluding gamma spikes

Pozitiv

Negativ

Pozitiv

Negativ



→
→
→
→
Smearing
→
→
→
→

Practicle Art? Particle Art!

