

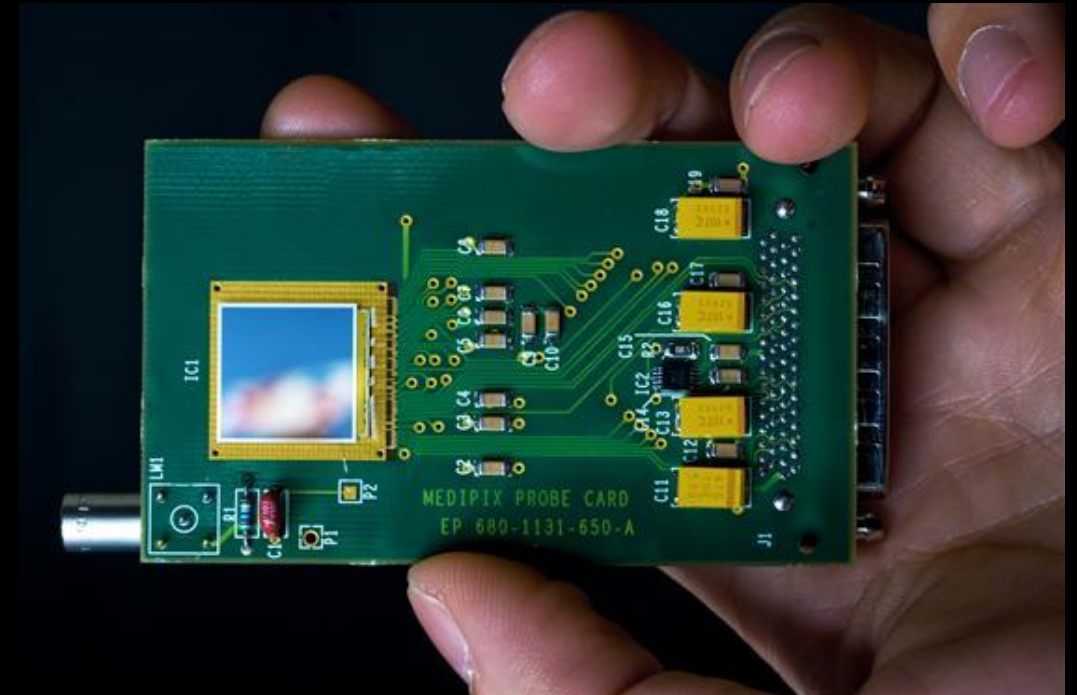
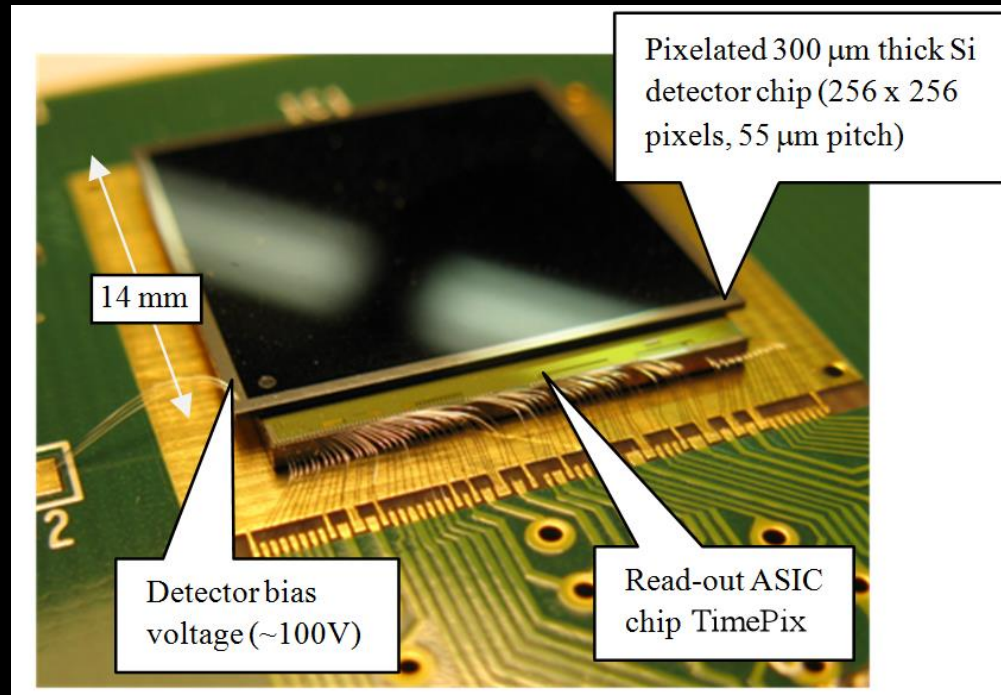
Částicová kamera MX-10

Jiří Kvita

Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR

Částicová kamera MX-10

- Křemíkový čip 256 x 256 pixelů, 1,4 cm x 1,4 cm, tloušťky cca 0,3 mm.
- Digitální fotoaparát, který v reálném čase “vidí” stopy částic.
- Vyvinut v laboratoři CERN ve spolupráci s UTEF ČVUT.
- Edukační verzi prodává firma JABLOTRON.
- Profesionální verze létá i na ISS:)



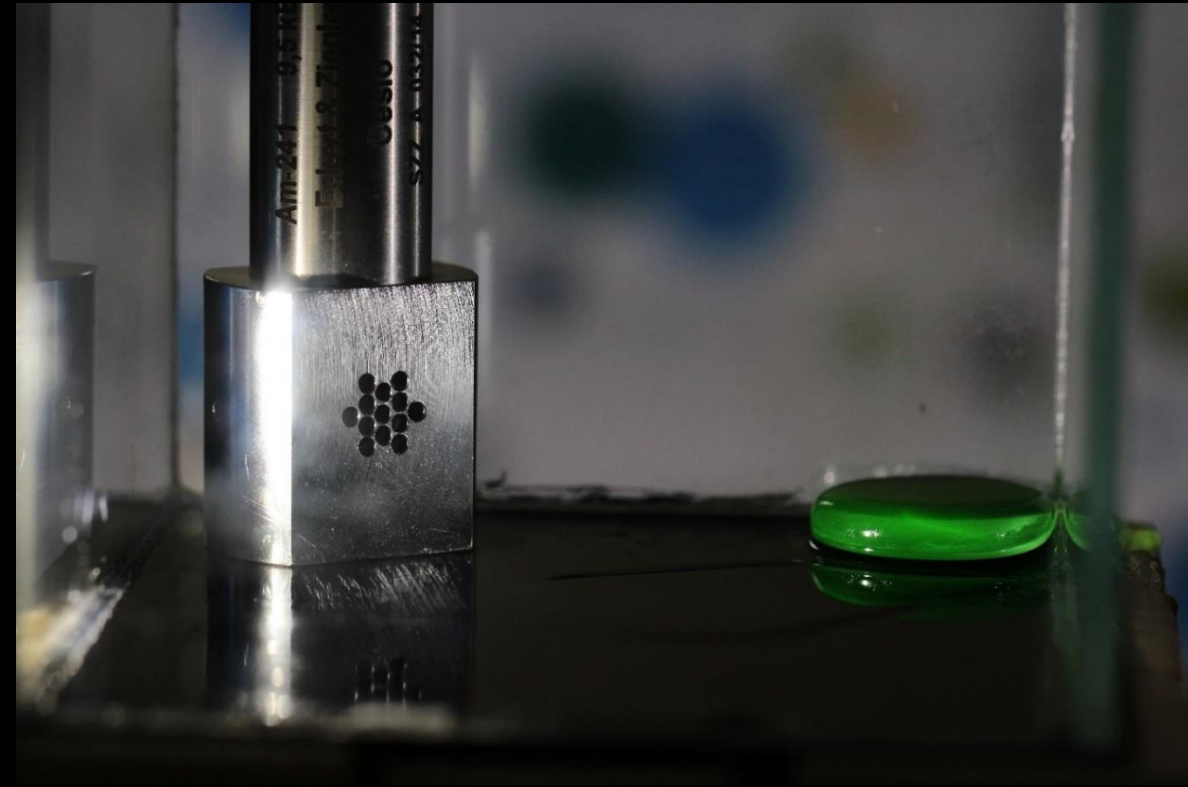
Anotace Heuréka 2024

V reálném čase budeme detekovat různé typy ionizujícího záření kolem nás, s dalšími ukázkami z letadla, urychlovače, z jeskyní. Zkusíme si vysvětlit, jak která částice ztrácí energii v látce a proč zanechává daný druh stopy. Zmíníme miony a piony z kosmického záření, jejich fyzikální význam, a co všechno jejich pozorování prozrazuje. Připomeneme si škálu energií na cestě do atomového jádra.

Umělé zdroje záření

- Americium ^{241}Am , poločas rozpadu $T_{1/2} = 433$ let.
 - Školní zdroj alfa a gama záření.
 - Aktivita:
 - 10 tisíc rozpadů za sekundu (alfa verze).
 - 300 tisíc rozpadů za sekundu (gama verze).
- $^{241}\text{Am} \rightarrow ^{237}\text{Np} + ^4\text{alfa}$
- Extrahuje se z jaderných reaktorů.
- Používá se v detektorech kouře.

- Uranové sklíčko (příměs oxidu uraničitého).
 - ^{238}U : $T_{1/2} = 4,5$ mld. let
 - Zdroj alfa, beta, gama záření



Interakce fotonů

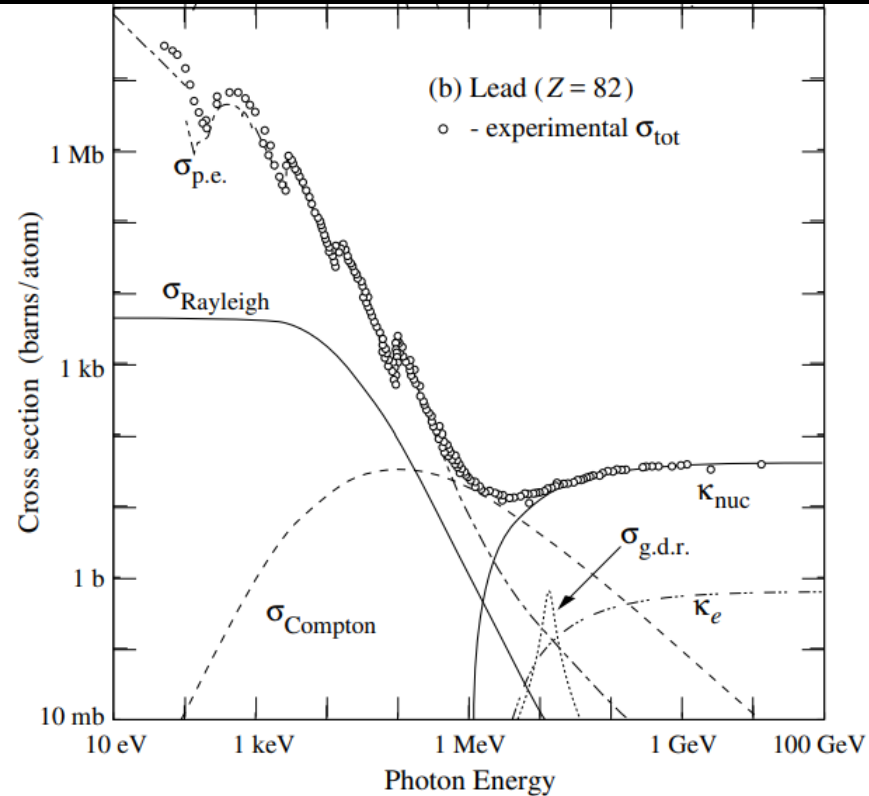


Figure 34.15: Photon total cross sections as a function of energy in carbon and lead, showing the contributions of different processes [50]:

$\sigma_{\text{p.e.}}$ = Atomic photoelectric effect (electron ejection, photon absorption)

σ_{Rayleigh} = Rayleigh (coherent) scattering—atom neither ionized nor excited

σ_{Compton} = Incoherent scattering (Compton scattering off an electron)

κ_{nuc} = Pair production, nuclear field

κ_e = Pair production, electron field

$\sigma_{\text{g.d.r.}}$ = Photonuclear interactions, most notably the Giant Dipole Resonance [51]. In these interactions, the target nucleus is usually broken up.

Ionizační ztráty těžkých částic

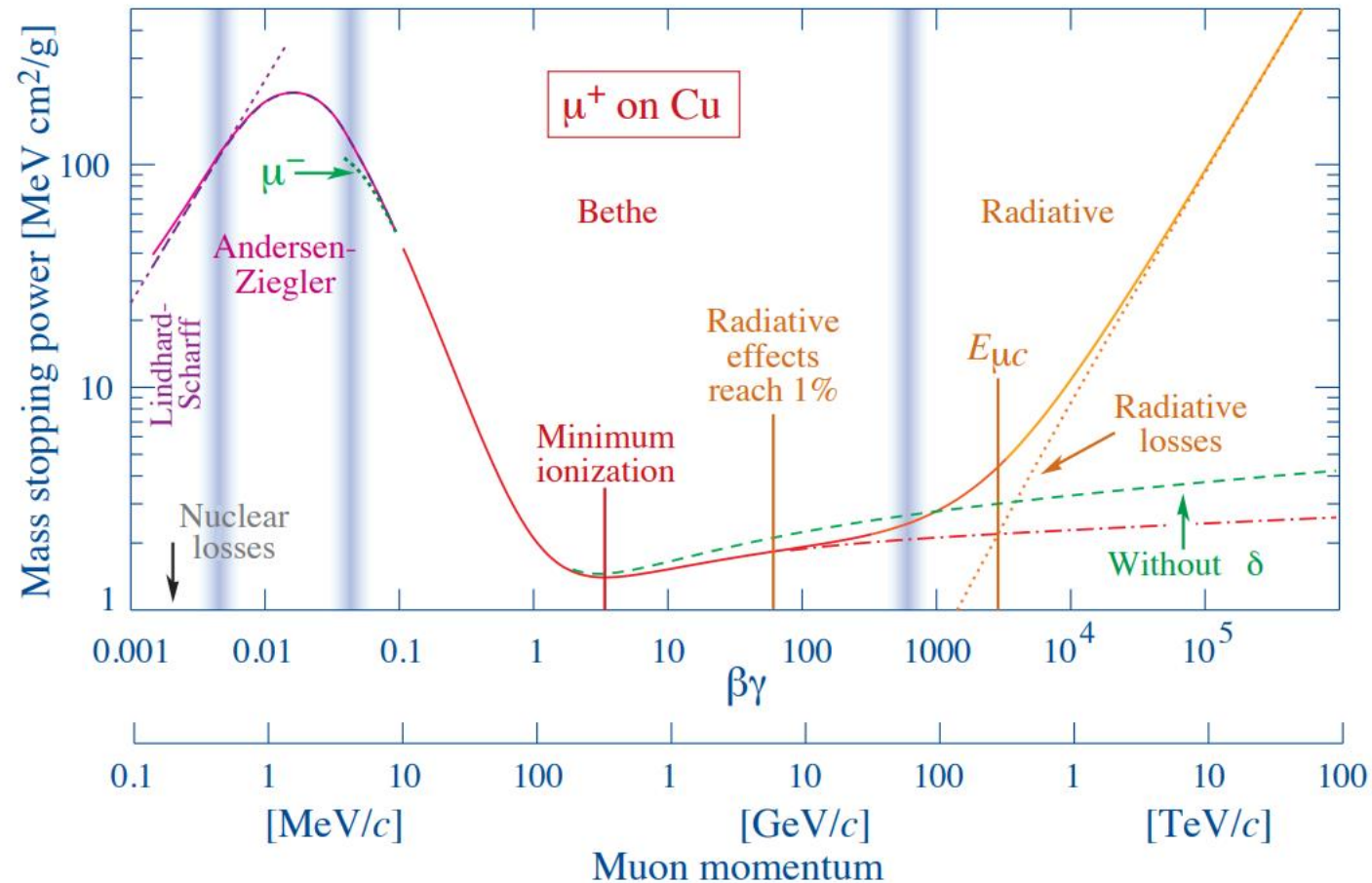


Figure 34.1: Mass stopping power (dE/dx) for positive muons in copper as a function of $\beta\gamma = p/Mc$ over nine orders of magnitude in momentum (12 orders of magnitude in kinetic energy). Solid curves indicate the total stopping power. Data below the break at $\beta\gamma \approx 0.1$ are taken from ICRU 49 [6] assuming only β dependence, and data at higher energies are from [7]. Vertical bands indicate boundaries between different approximations discussed in the text. The short dotted lines labeled “ μ^- ” illustrate the “Barkas effect,” the dependence of stopping power on projectile charge at very low energies [8]. dE/dx in the radiative region is not simply a function of β .

Ionizační ztráty elektron

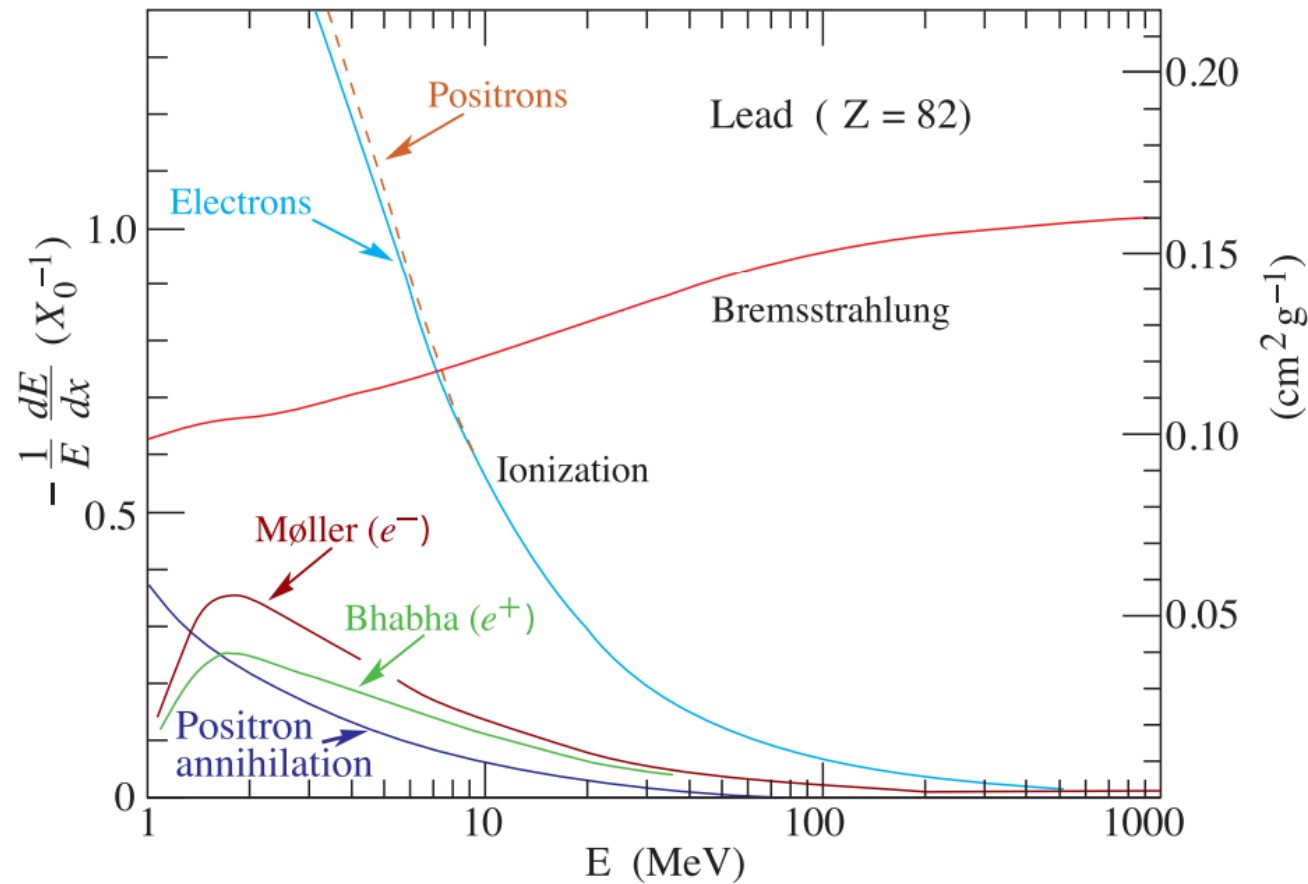
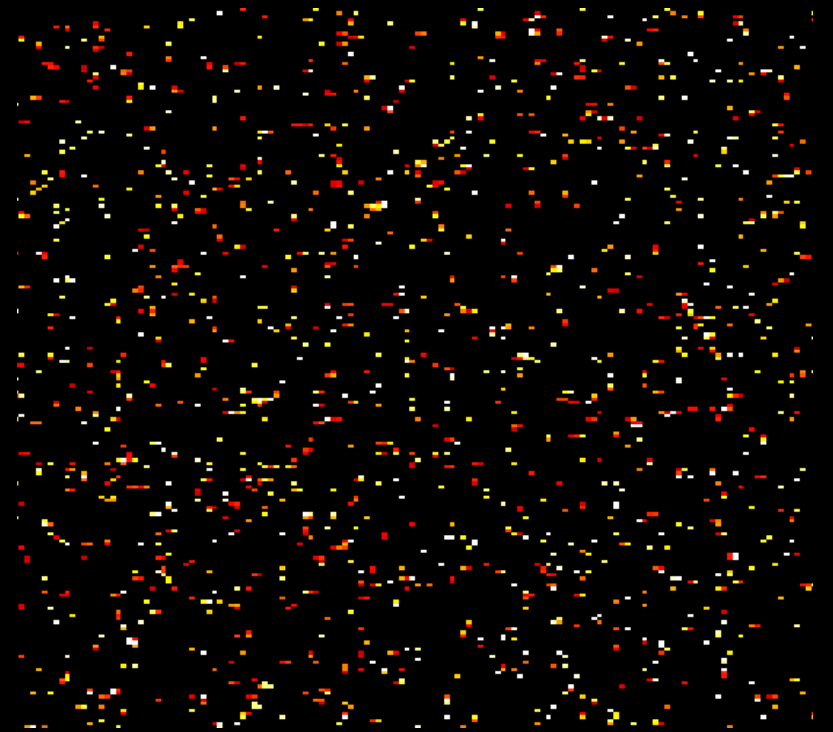


Figure 34.11: Fractional energy loss per radiation length in lead as a function of electron or positron energy. Electron (positron) scattering is considered as ionization when the energy loss per collision is below 0.255 MeV, and as Møller (Bhabha) scattering when it is above. Adapted from Fig. 3.2 from Messel and Crawford, *Electron-Photon Shower Distribution Function Tables for Lead, Copper, and Air Absorbers*, Pergamon Press, 1970. Messel and Crawford use $X_0(\text{Pb}) = 5.82 \text{ g/cm}^2$, but we have modified the figures to reflect the value given in the Table of Atomic and Nuclear Properties of Materials ($X_0(\text{Pb}) = 6.37 \text{ g/cm}^2$).

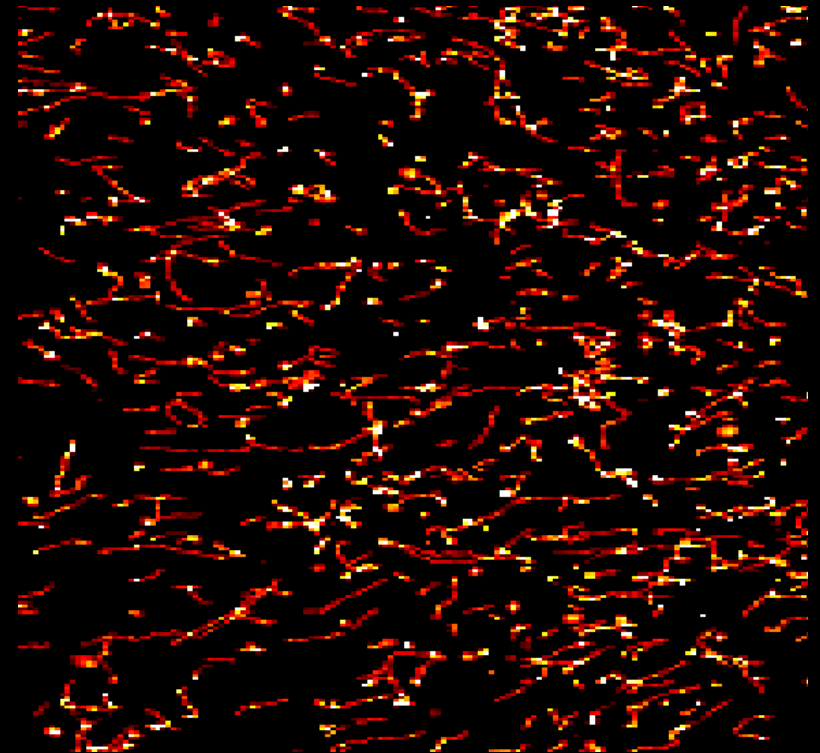
Gama

- **Záření gama:** velmi energetické fotony (rentgenové záření a tvrdší záření).
- Jde o doprovodné záření, které doprovází většinu beta a alfa rozpadů.
- Gama foton může být pohlcen v jednom pixelu.



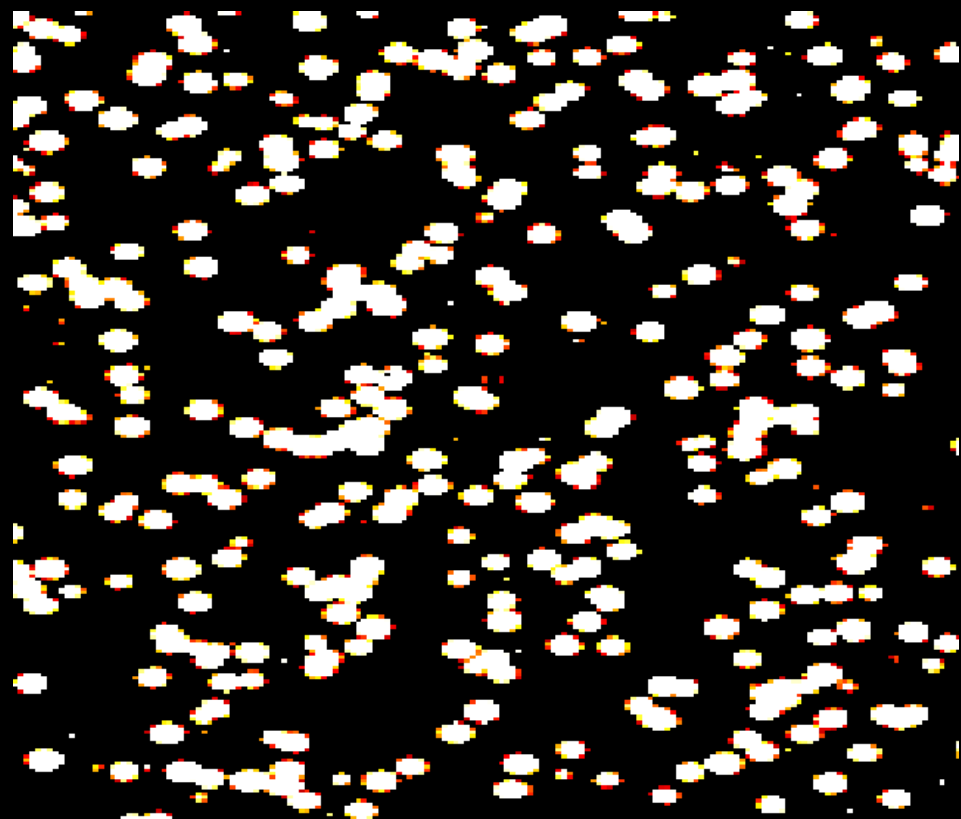
Beta

- **Záření beta:** elektrony, které vyletují z jádra po jeho přeměně v jiné jádro.
- Beta mínus: elektrony, z jader s přebytkem neutronů (uran).
- Beta plus: pozitrony, z jader s přebytkem protonů, většinou umělé izotopy (vyrábějí se např. v cyklotronech v nemocnicích pro výrobu radiofarmak pro zobrazovací metody typu PET, Positron Emission Tomography)
- Alchymisté by se divili: prvky se radioaktivní přeměnou mění na jiné zcela běžně, a to i v našich tělech!



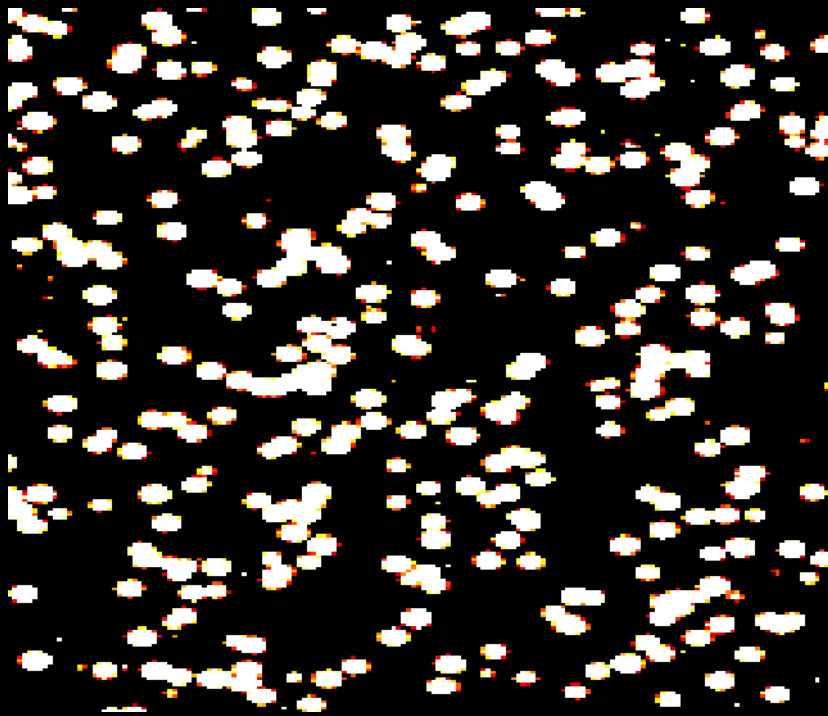
Alfa

- **Alfa částice:** jádra hélia, která vyletují z jiných těžkých jader, čímž vznikají stabilnější jádra.
- Alfa částice se v křemíku zastaví (i ve vzduchu uletí jen několik cm)
- Vyražené ionizované elektrony v křemíku se „rozlijí“ do sousedních pixelů a způsobí širokou kruhovou stopu.
- Alfa rozpadem se přeměňují velmi těžké prvky, např. uran, radon, polonium, rádium...
- Bombardováním zlaté fólie alfa částicemi objevil Ernest Rutherford atomové jádro!
 - Alfa částice se občas odrazily zpět, což nešlo vysvětlit jinak, než že většina hmotnosti atomu je v nějakém velmi malém hmotném centru.

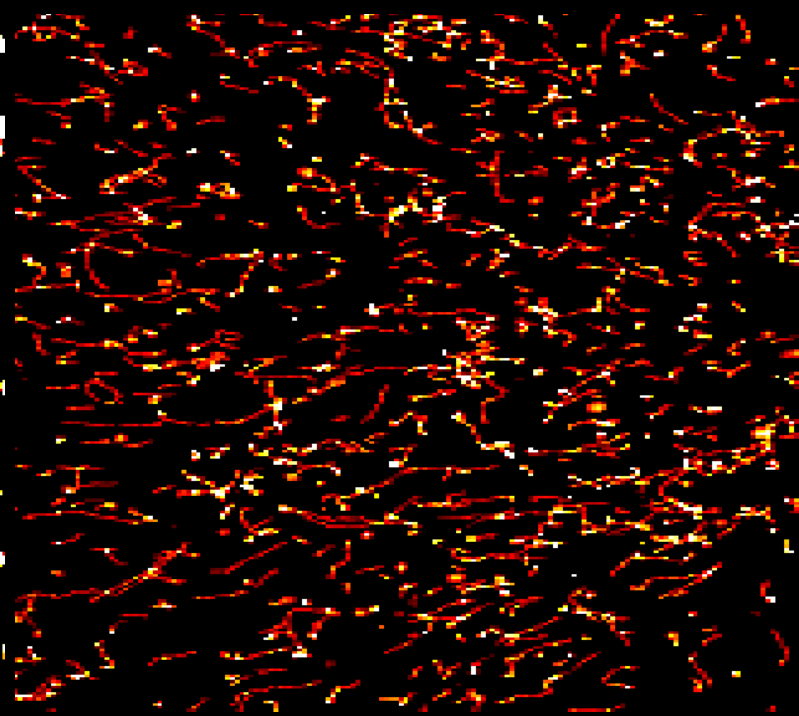


Jak částice vidí kamera MX-10

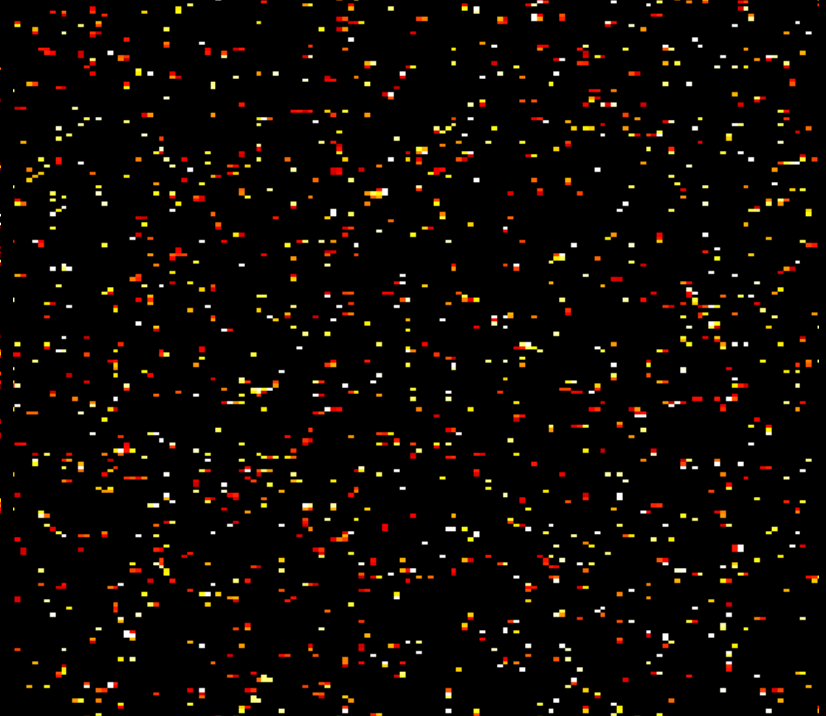
Alfa



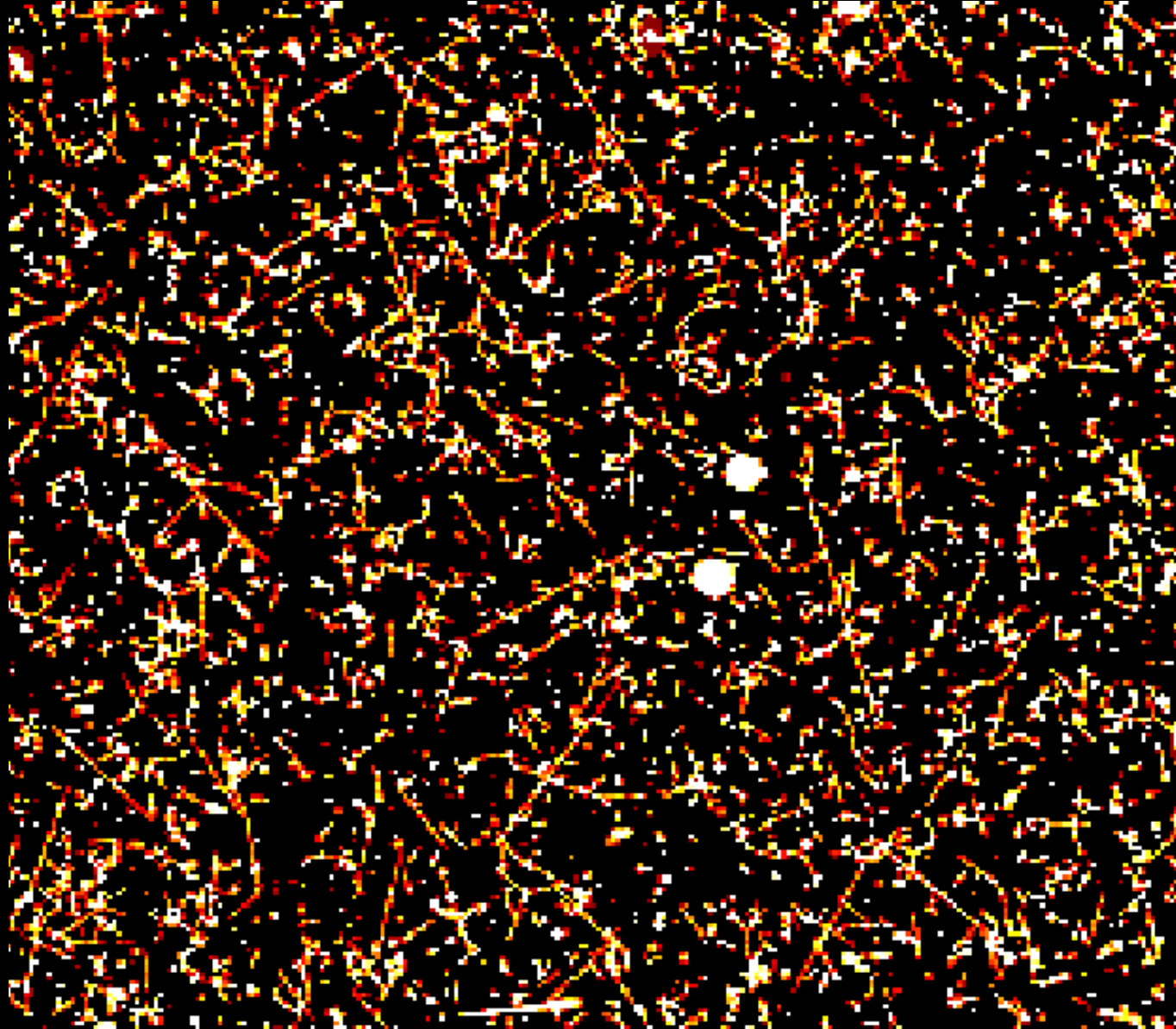
Beta



Gama

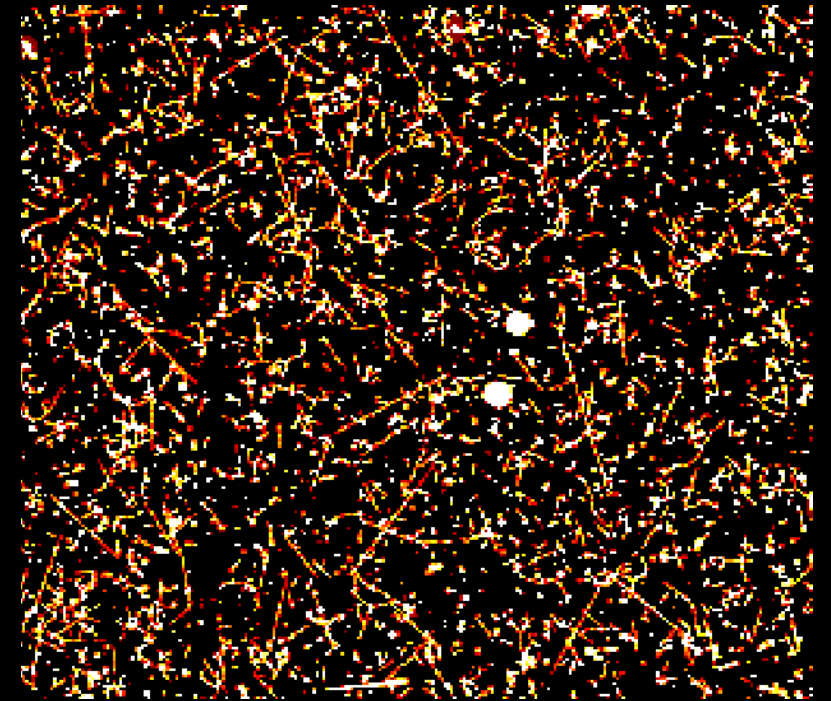


Radiační pozadí – „nic“ po 6 hodinách

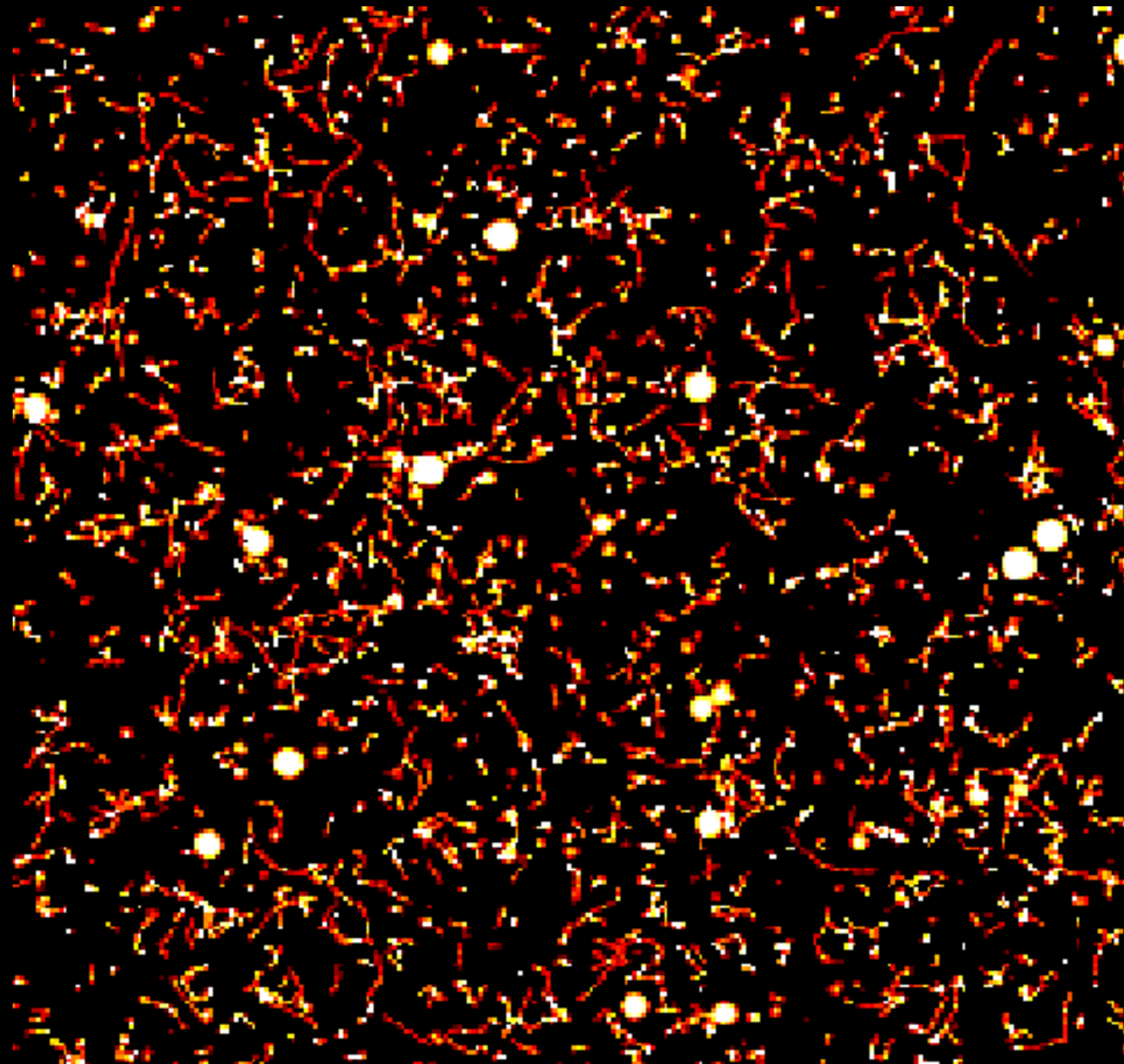


Radiační pozadí – „nic“ po 6 hodinách

- Alfa částice pocházejí z přírodního radonu a jeho produktů rozpadu (polonium).
- Roční dávka člověka je po zahrnutí zdrojů z jídla, rtg. vyšetření, vnitřních a pozemských a kosmických zdrojů okolo 2mSv.
 - Tj. 2 mili Sieverty za rok; 1 Sievert je 1 Joule /kg
 - Pracovníci s radiačními zdroji mají povoleno 50 mSv/rok.
- To odpovídá okolo 0,2 mikro Sv/hodinu.
- Mnohem více trpí plíce kuřáků, neboť v tabáku jsou obsaženy radioaktivní izotopy polonia a olova, původně z hnojiv.



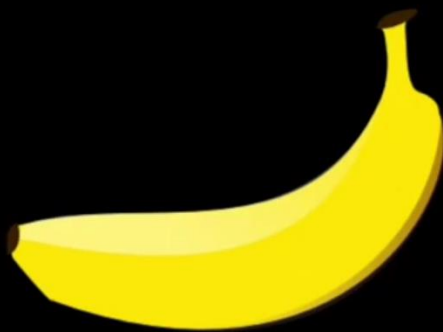
Sklenička z uranového skla, 5 minut



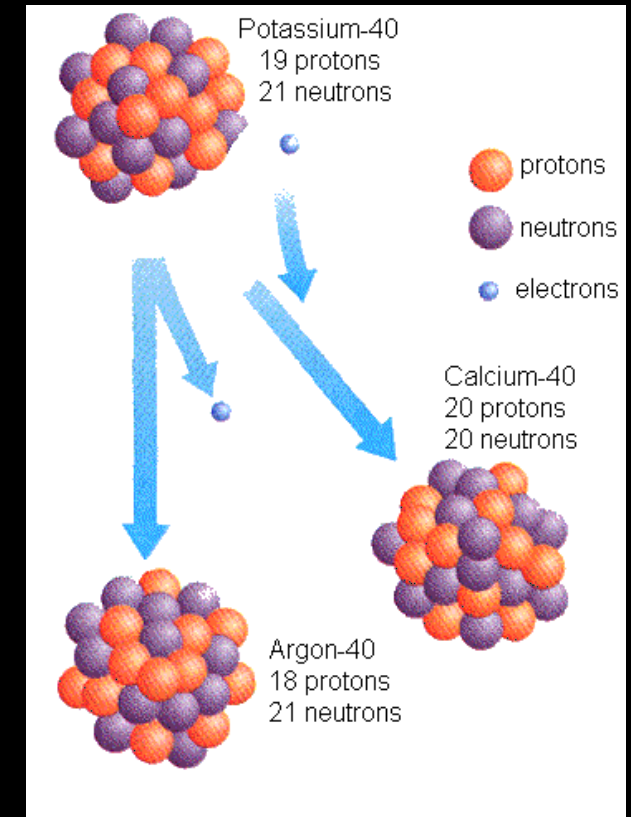
Aktivita lidského těla

- Radioaktivní draslík ^{40}K (0,012% přírodního draslíku) se rozpadá beta rozpadem na vápník, popř. záchytem elektronu na argon.
- Člověk hmotnosti 70 kg obsahuje asi 140 gramů draslíku, z toho 0.0164 gramů ^{40}K .
- 4300 těchto jader se v těle rozpadne každou sekundu.
- Banán (má hodně draslíku) jako jednotka radioaktivity:)

EATING 1 BANANA



$$0.1 \text{ microsieverts} = \frac{1}{10,000,000} \text{ sieverts}$$



<https://en.wikipedia.org/wiki/Potassium-40>

Dopis Wolfganga Pauliho

original - Photocopy of PLC 0393

Abschrift/15.12.56 FM

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der
Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift

Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

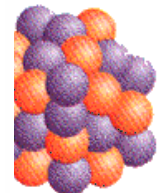
Zürich, 4. Dez. 1930
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst
ansuhören 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
müsste von derselben Grossenordnung 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.



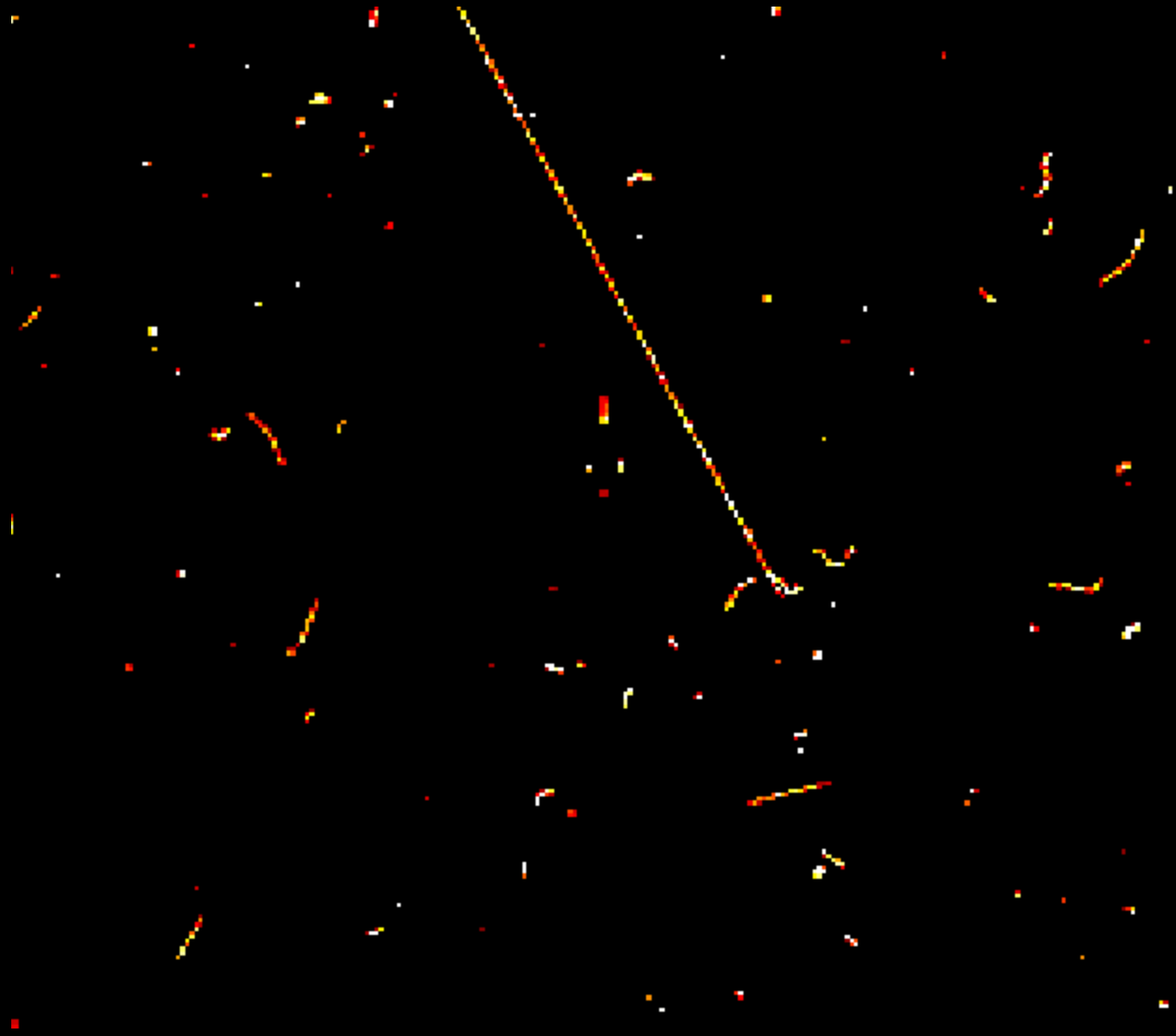
Calcium-40
20 protons
20 neutrons



/Potassium-40

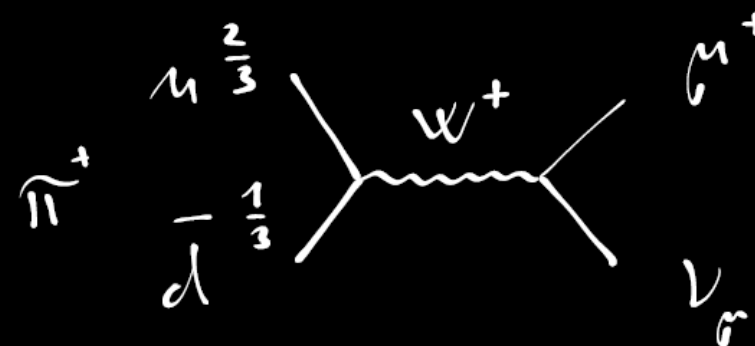
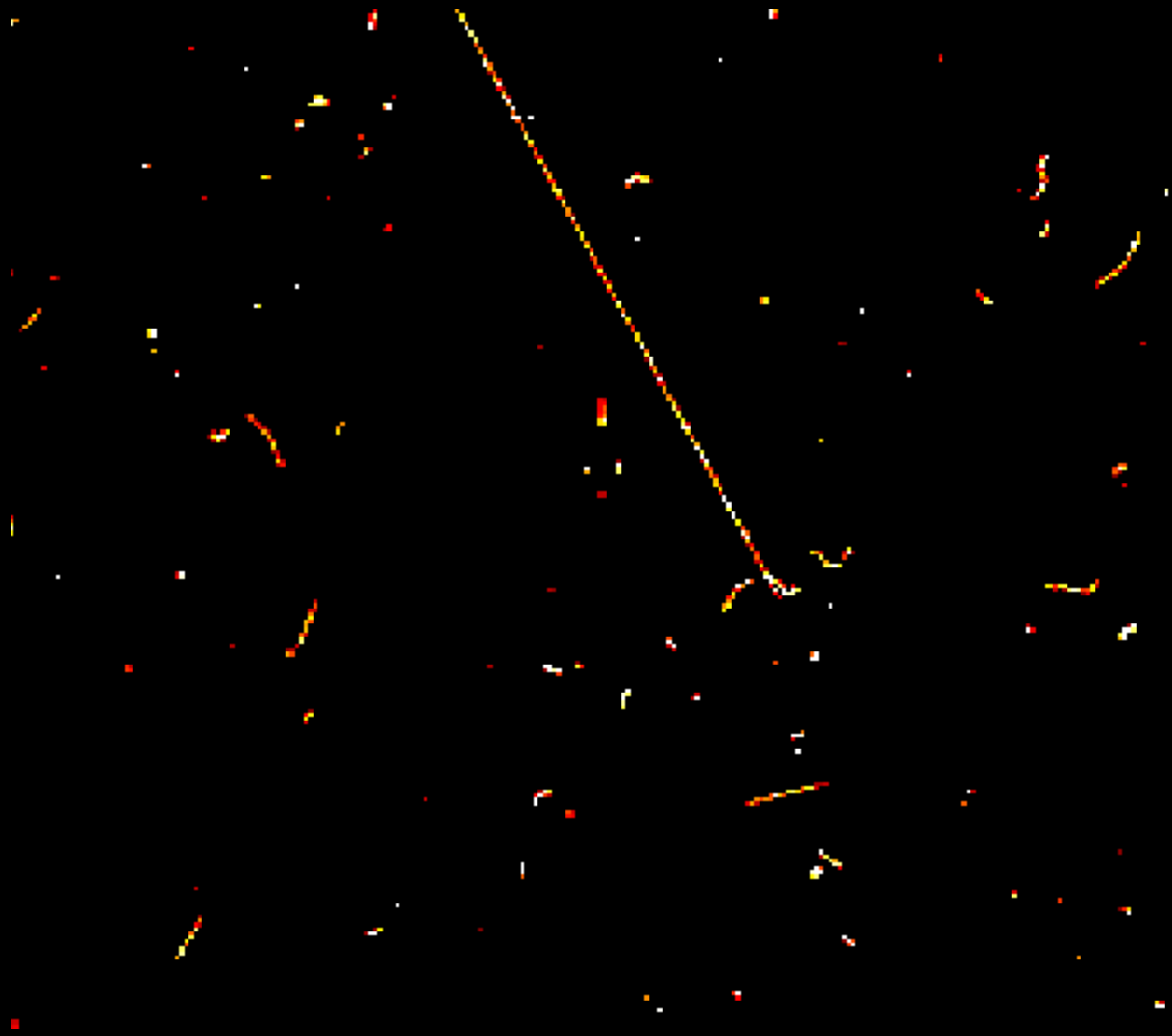
Jak částice vidí kamera MX-10

???



Jak částice vidí kamera MX-10

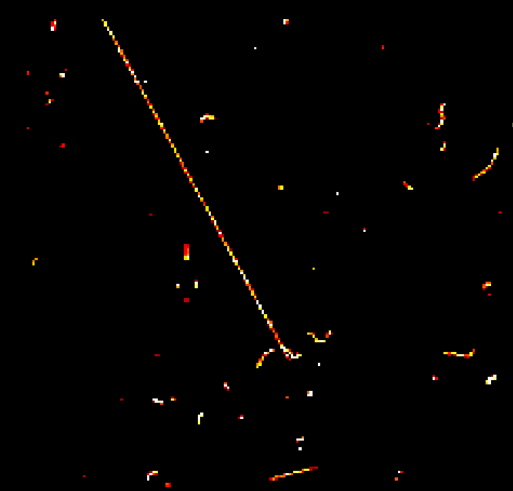
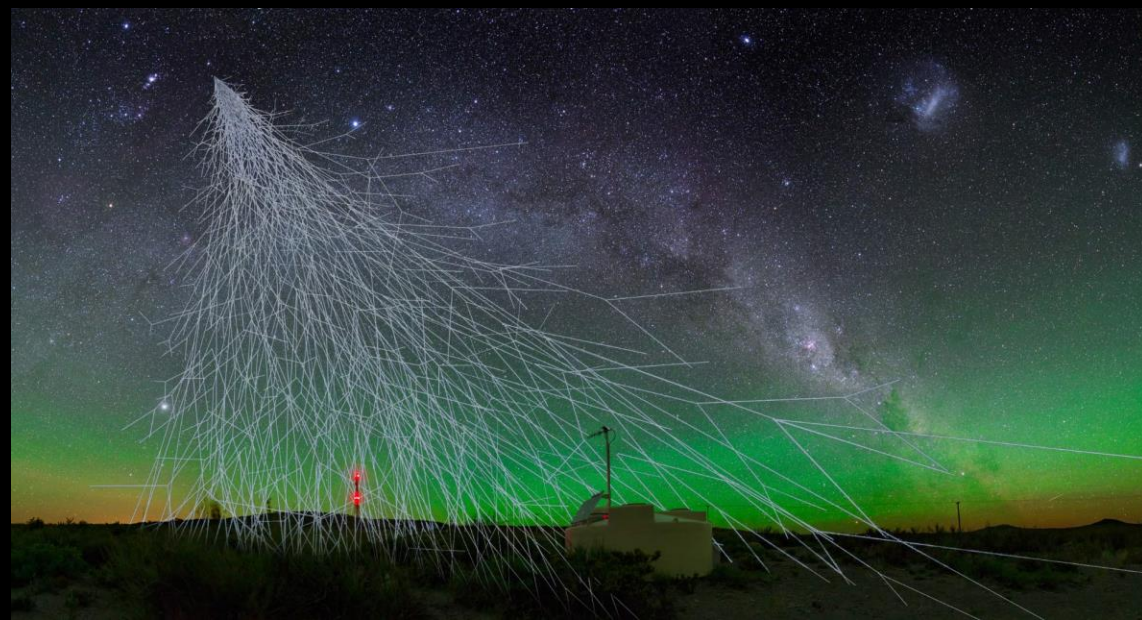
Jde o částici z kosmického záření zvanou mion



Miony

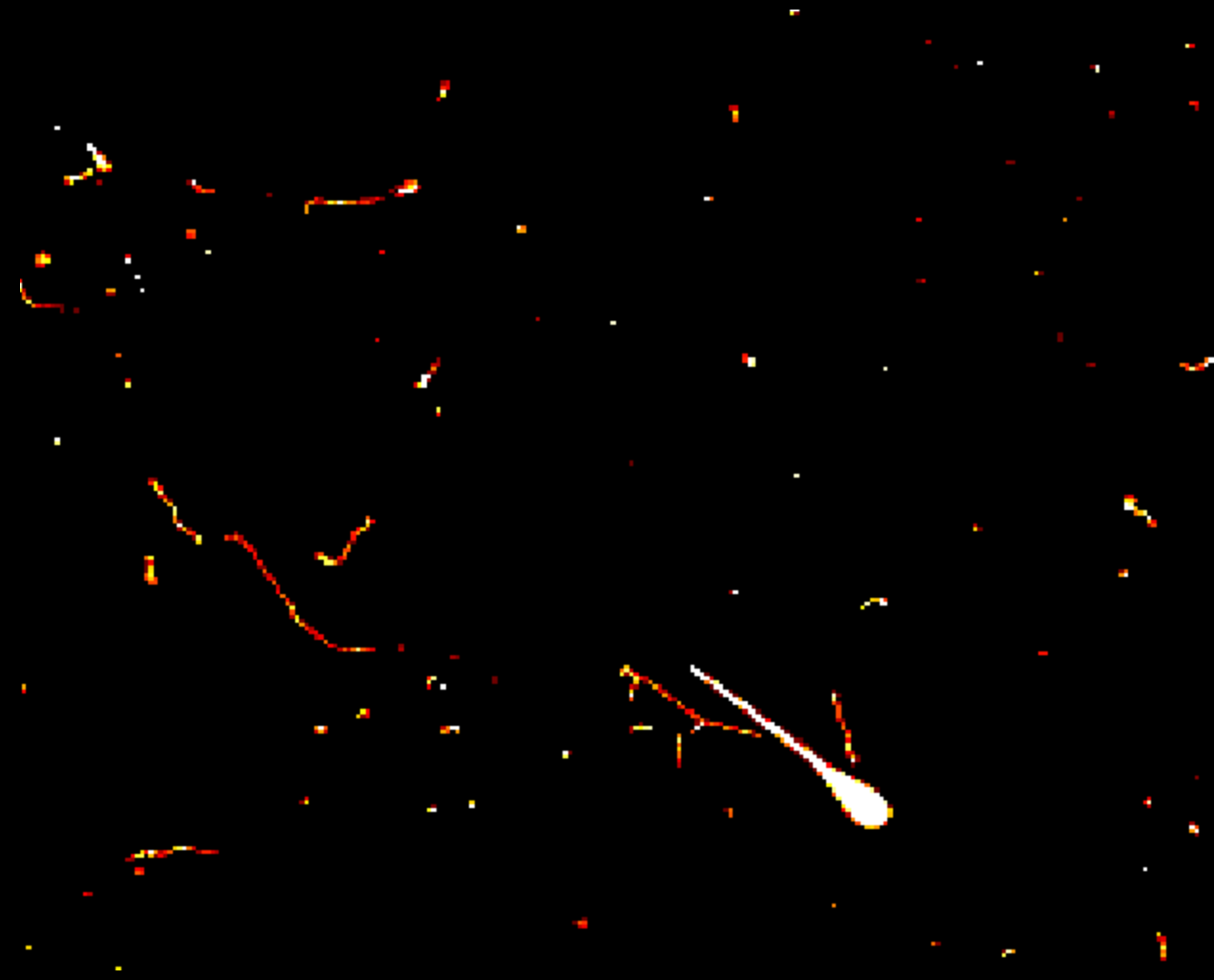
- Miony jsou podobné elektronům, jen jsou asi 200x těžší a rozpadají se na elektron a neutrino.
- Vznikají ve výškách kolem 20 km ve srážkách primárního kosmického záření s atmosférou.
- Doba života mionu je asi 2 mikrosekundy.
- Za tu dobu by i rychlostí světla uletěly jen 600m...
- Přesto je pozorujeme při povrchu Země díky dilataci času – Einsteinova teorie relativity!
- Každou sekundu jich asi 100 proletí Vaším tělem (jeden za minutu na čtvereční centimetr).

http://cosmic.lbl.gov/SKliewer/Cosmic_Rays/Muons.htm



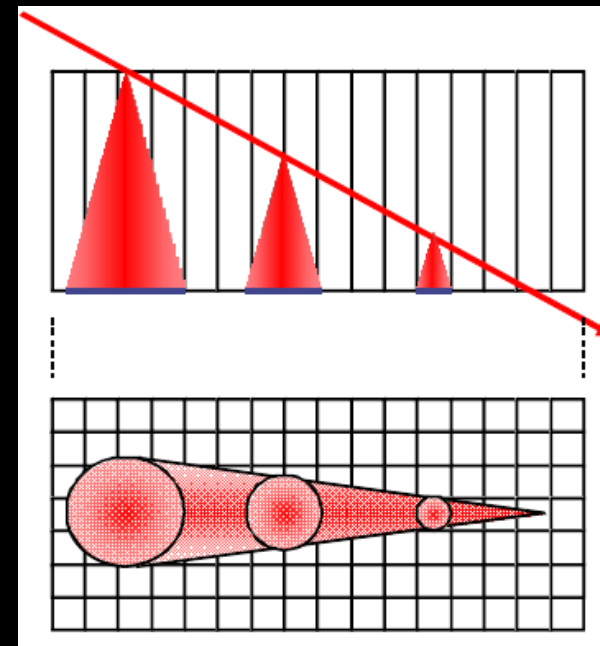
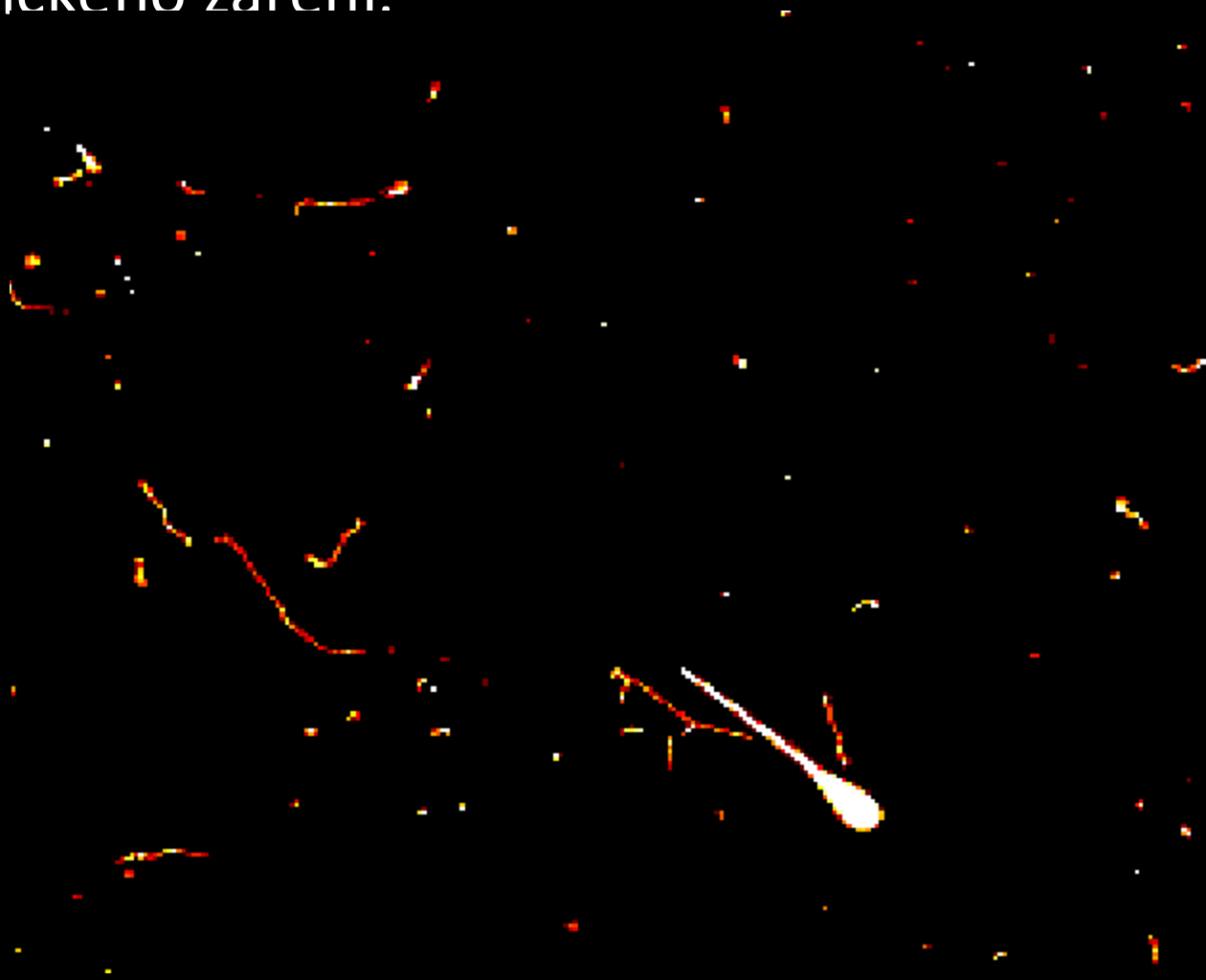
Jak částice vidí kamera MX-10

???



Jak částice vidí kamera MX-10

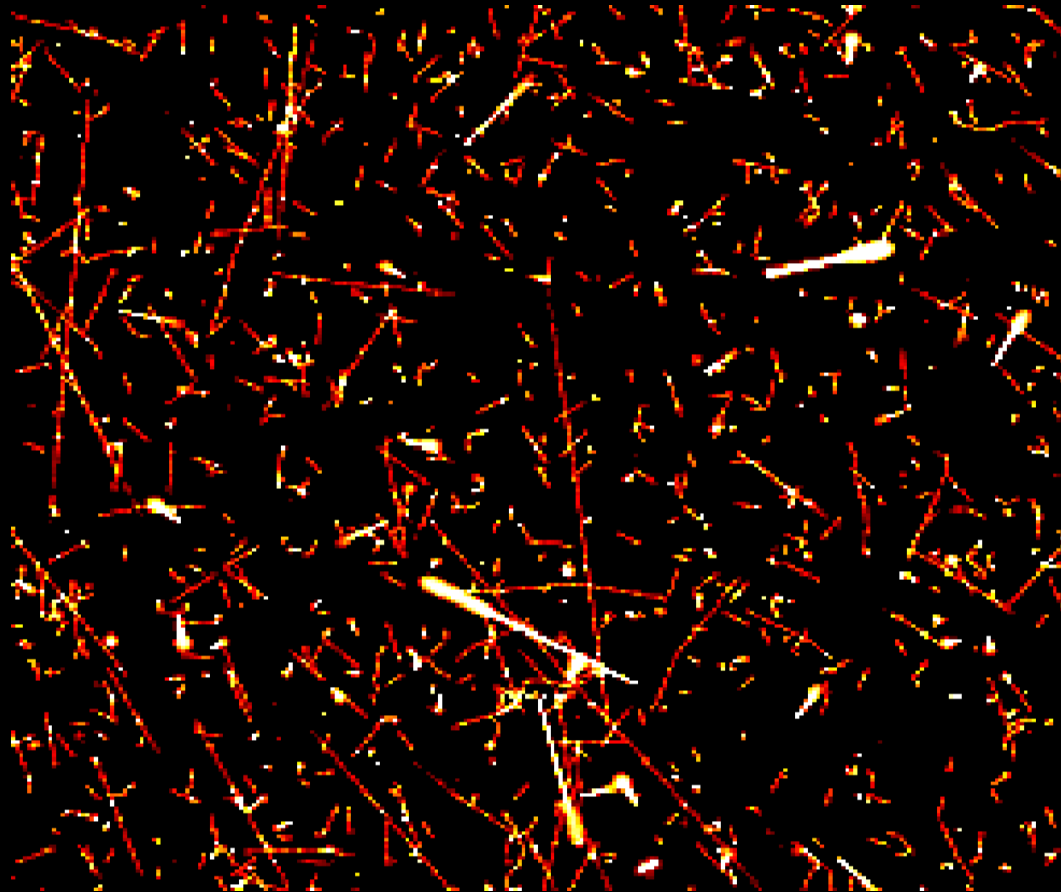
Vzácnější stopa silně energetické a ionizující částice, snad protonu, z kosmického záření.



V letadle

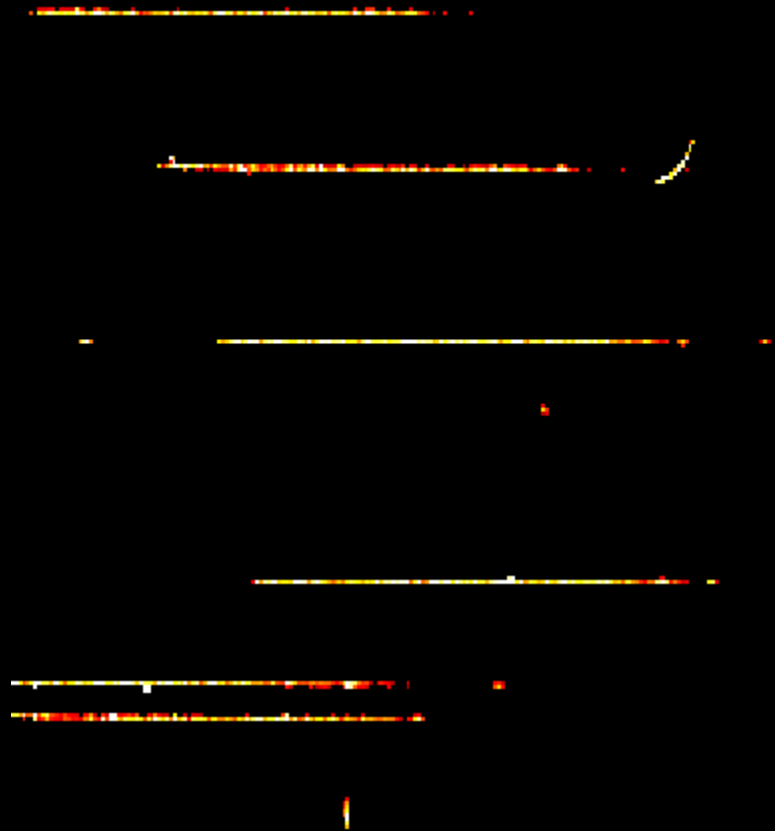
Miony a i silně ionizující částice: piony, protony...

Nicméně let přes Atlantik se u člověka rovná rentgenu plic.

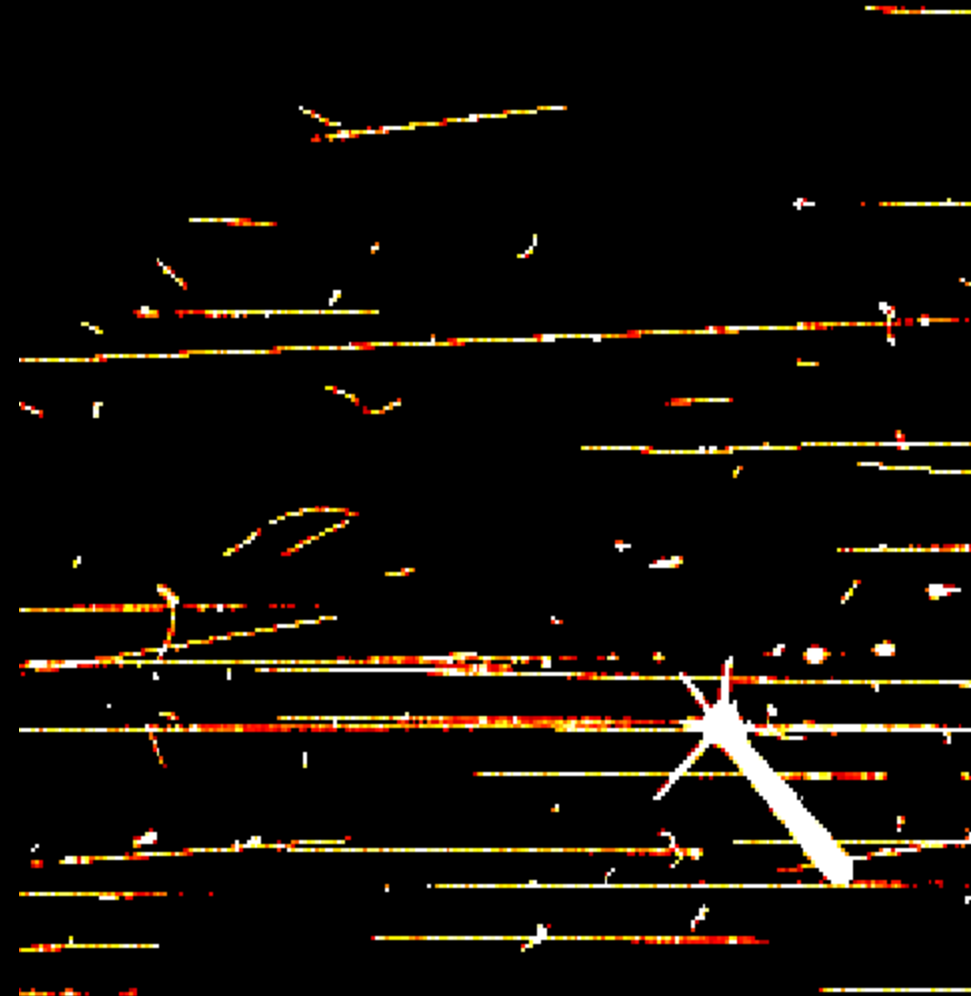


Ve svazku částic na urychlovači SPS v CERN

Miony

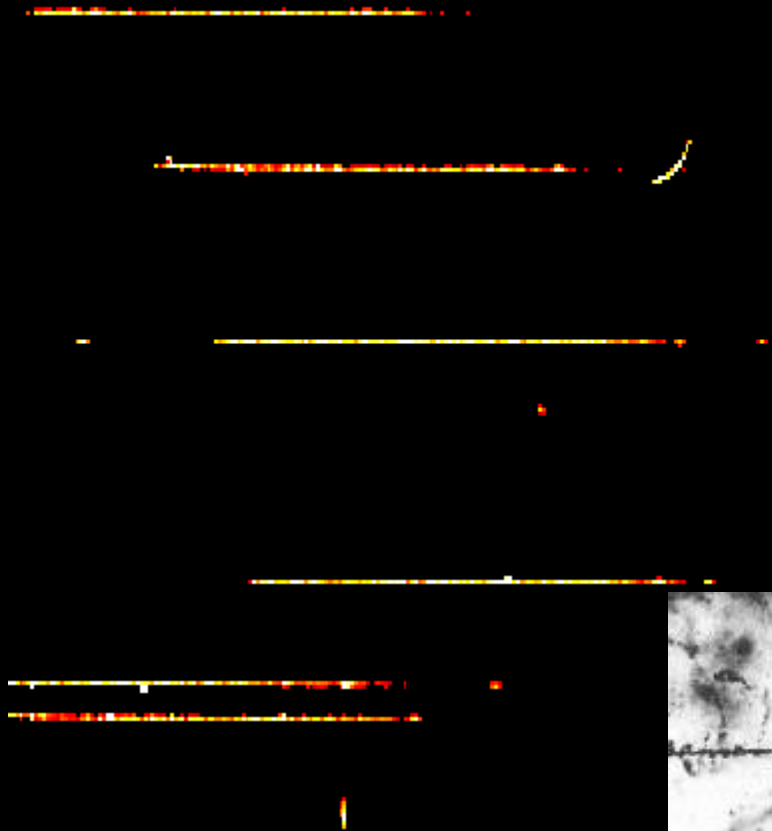


Piony



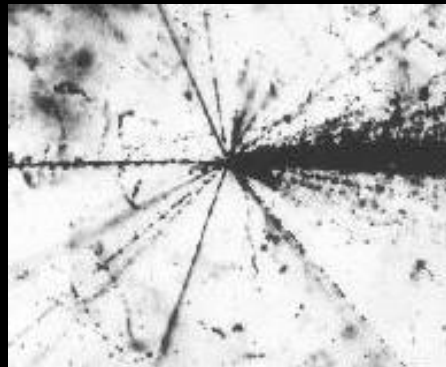
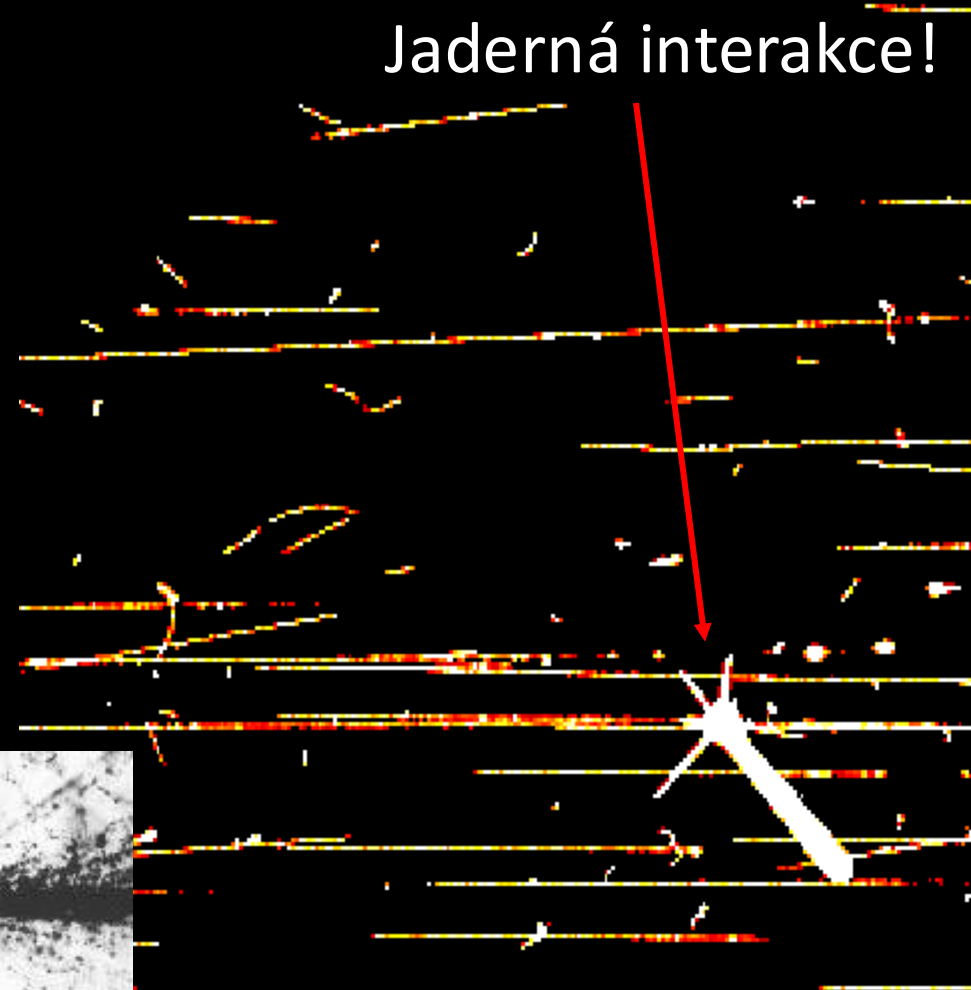
Ve svazku částic na urychlovači SPS v CERN

Miony



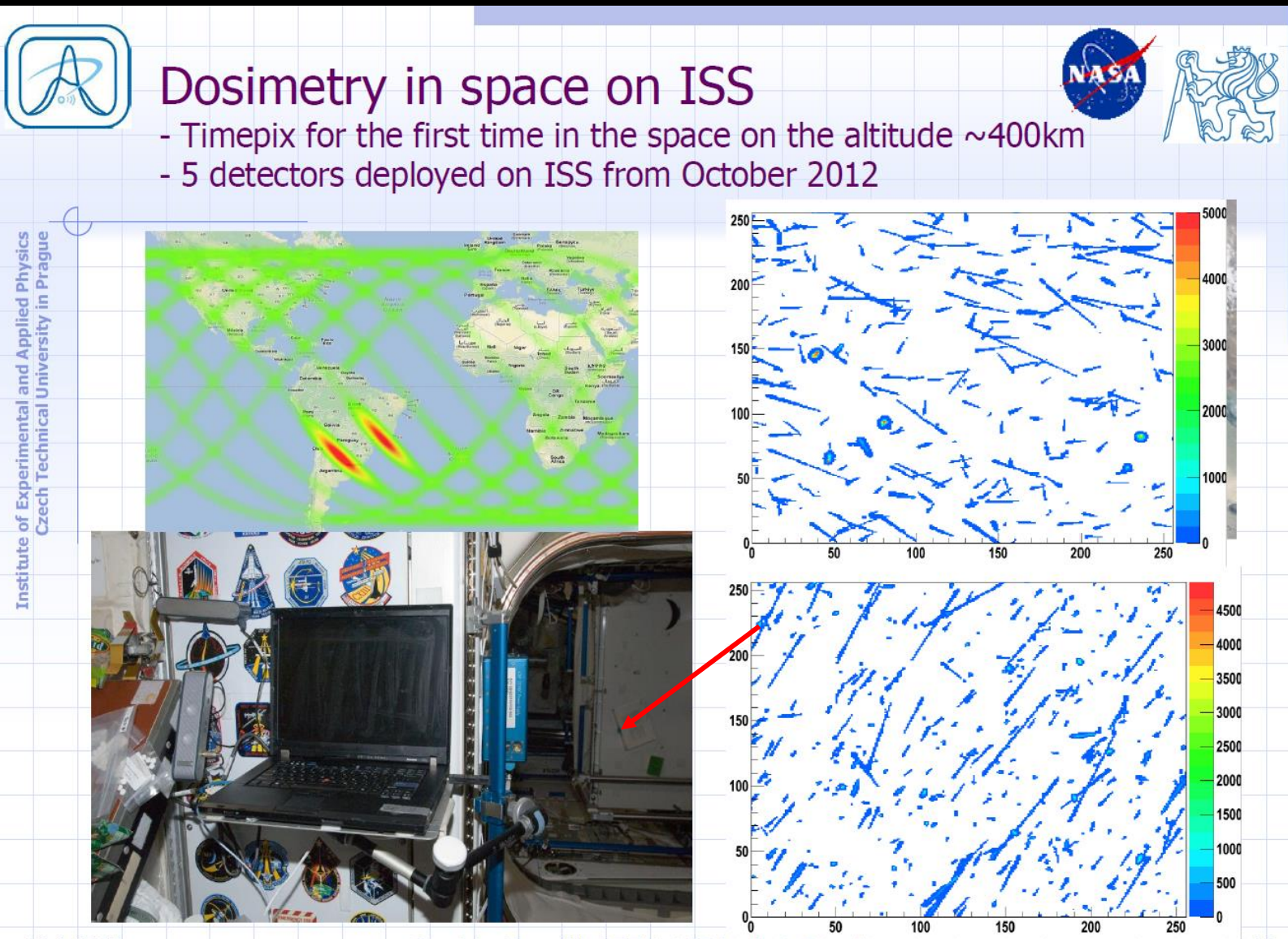
Piony

Jaderná interakce!



Mezinárodní kosmická stanice

- ISS, 400km, Kredit: NASA, Ing. Stanislav Pospíšil, DrSc., UTEF, ČVUT.



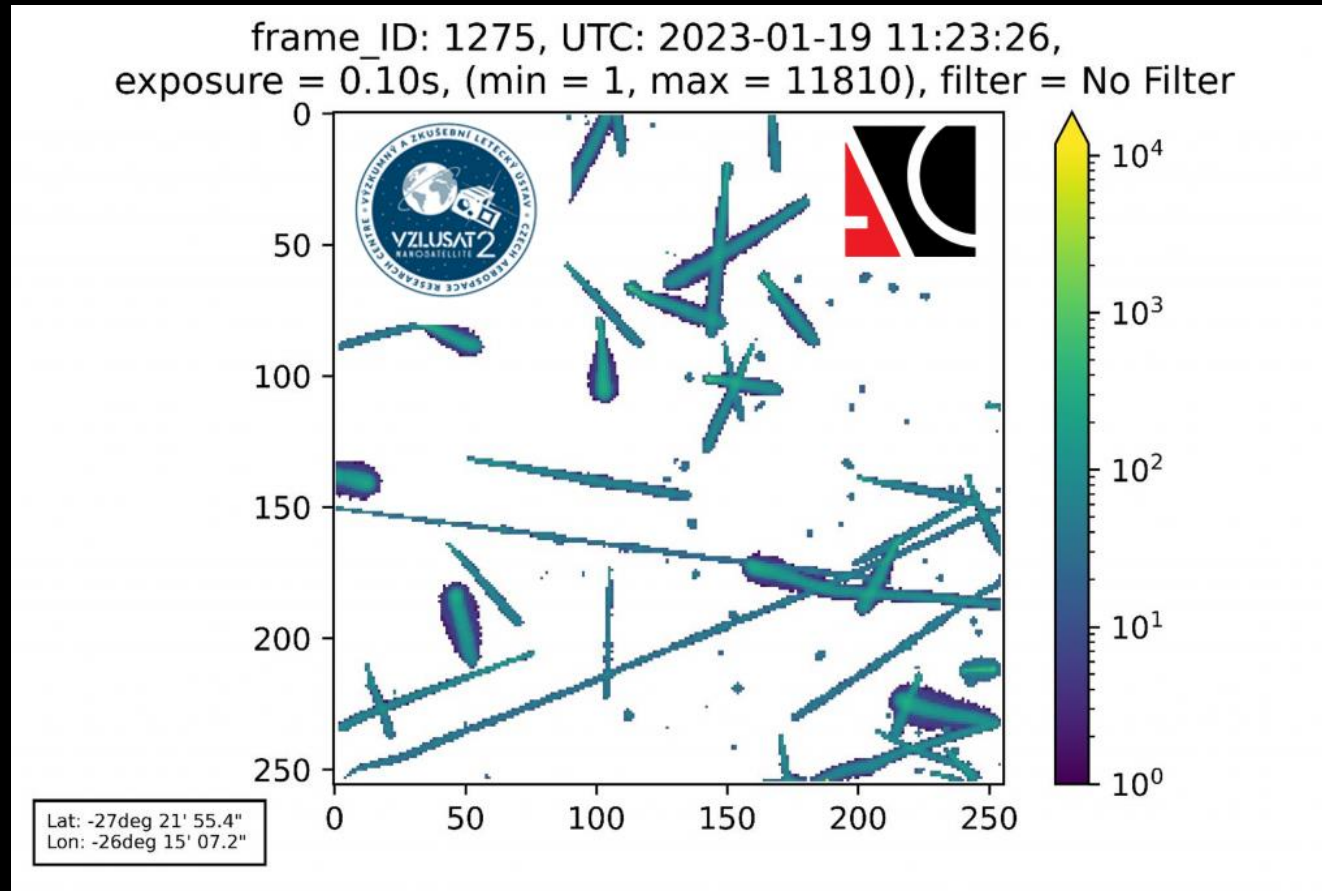
Vesmír

- Sonda Proba-V, 800km, Kredit: ESA, Ing. Stanislav Pospíšil, DrSc., UTEF, ČVUT.



Vesmír

- VZLUSA-2



<https://advacam.com/subapp/quantum-imaging-detection/>
<https://advacam.com/application/space/>

Vesmír

- Polaris Dawn I, 12.9.2024

0:40:12
EVA ELAPSED TIME



DRAGON
0.0
PSIA

SUIT
5.2
PSIA

HATCH OPEN

EV1 EGRESS

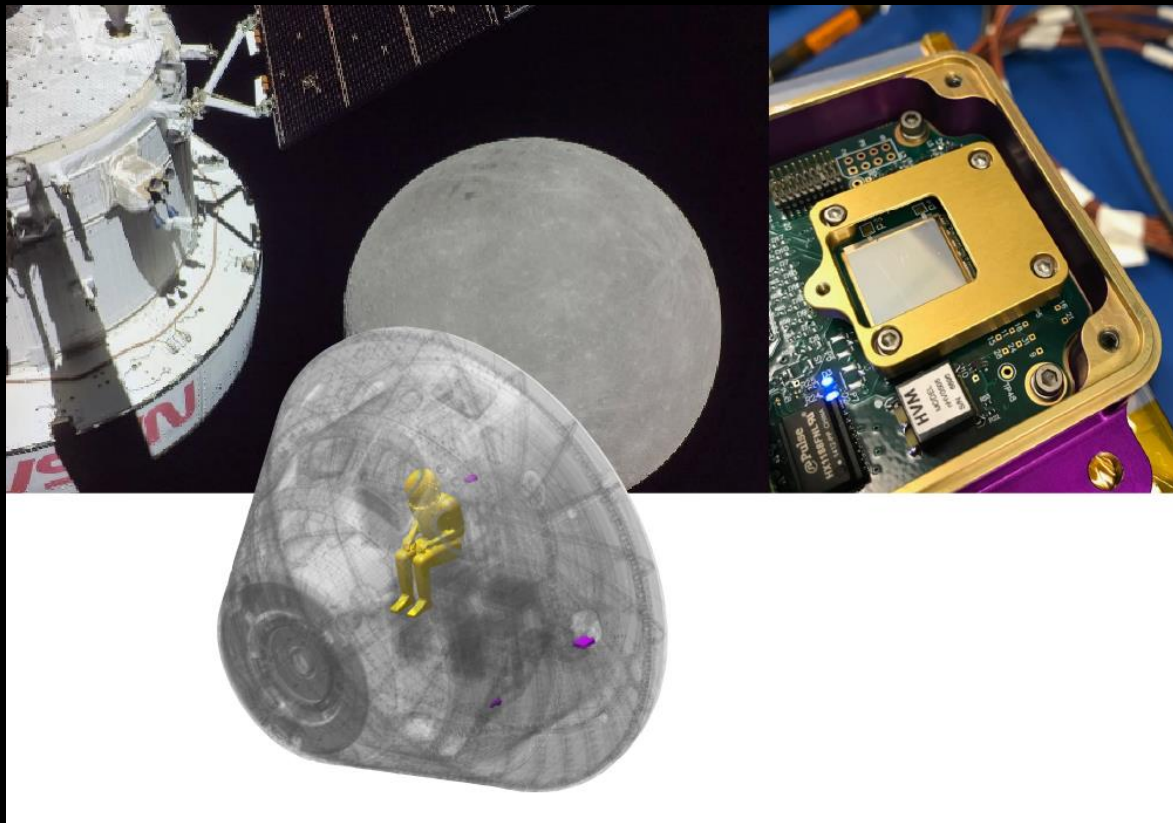
EVA 1 IN PROGRESS

SPEED
25276
KM/H

ALTITUDE
737
KM

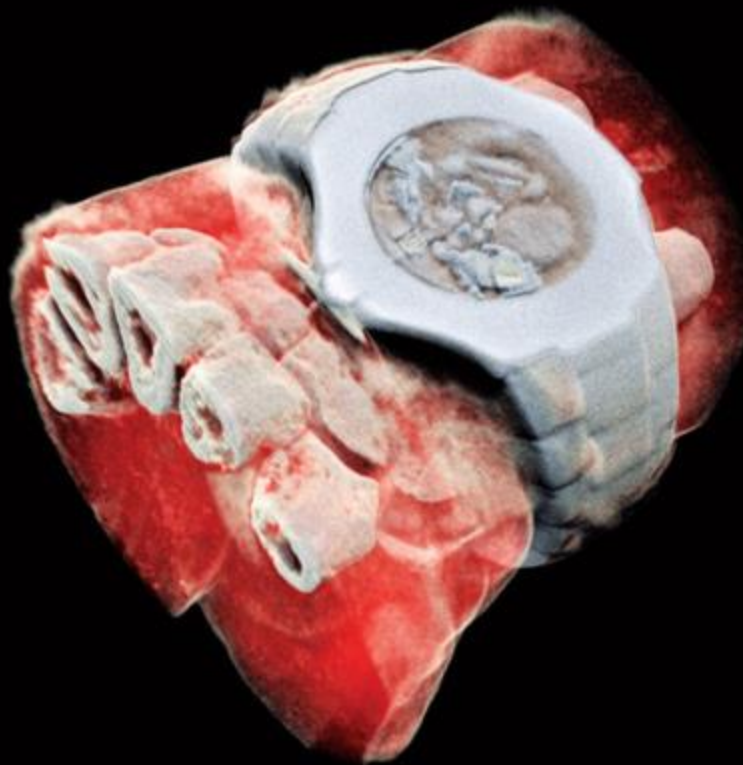
LIVE 1.7M views

Aplikace



<https://advacam.com/application/space/>

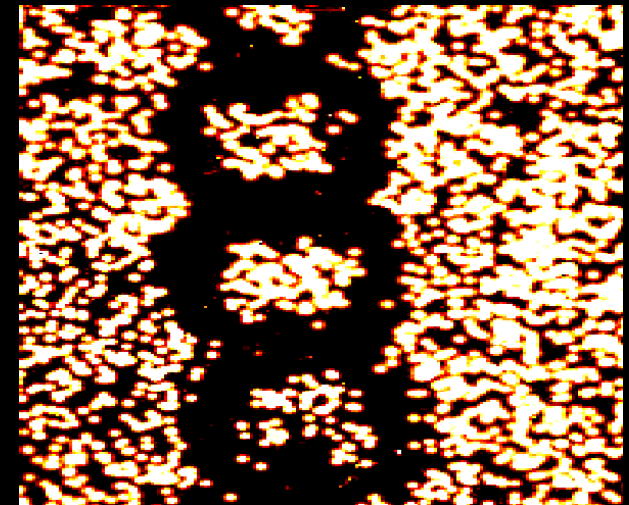
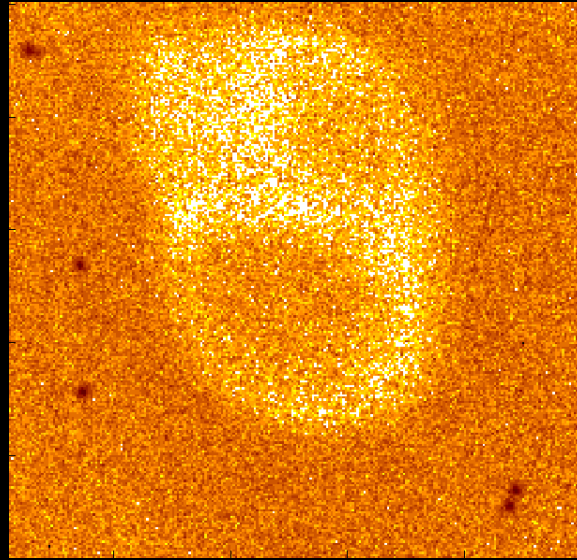
Aplikace

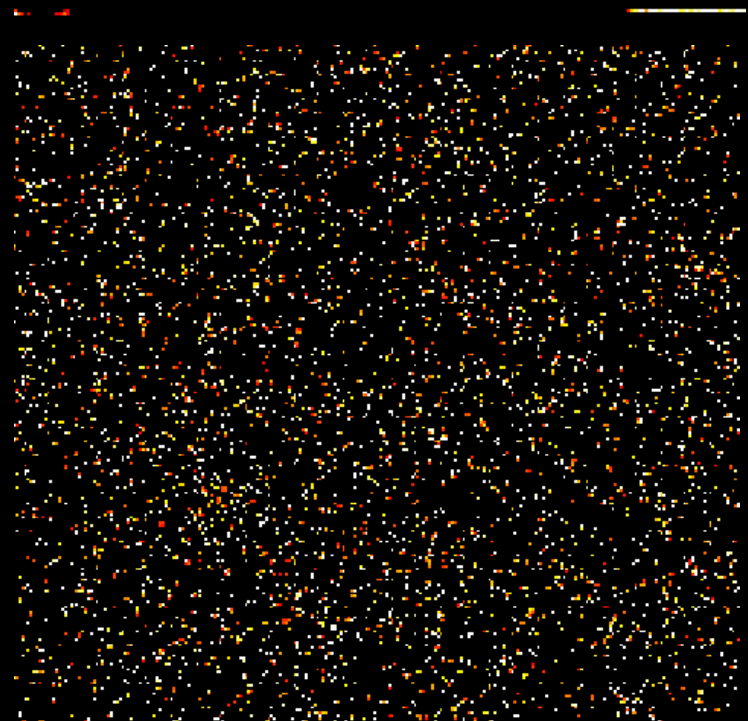
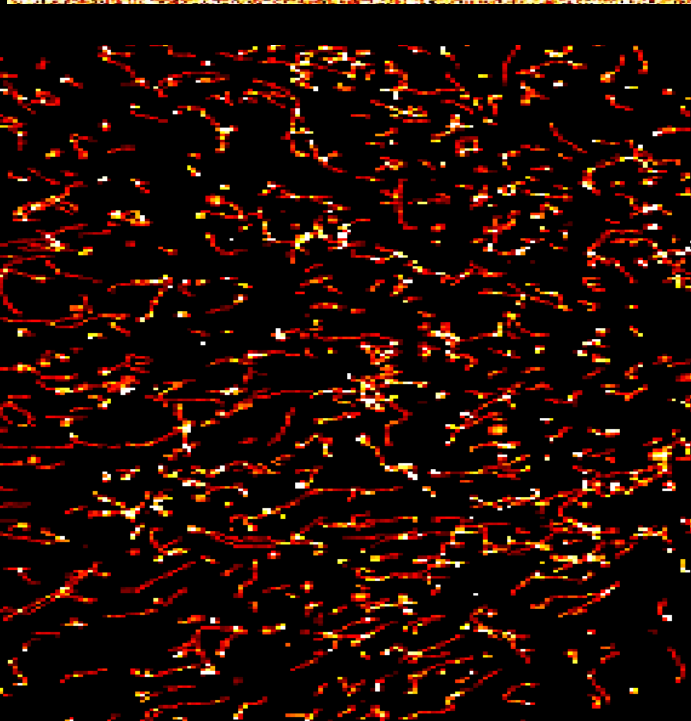
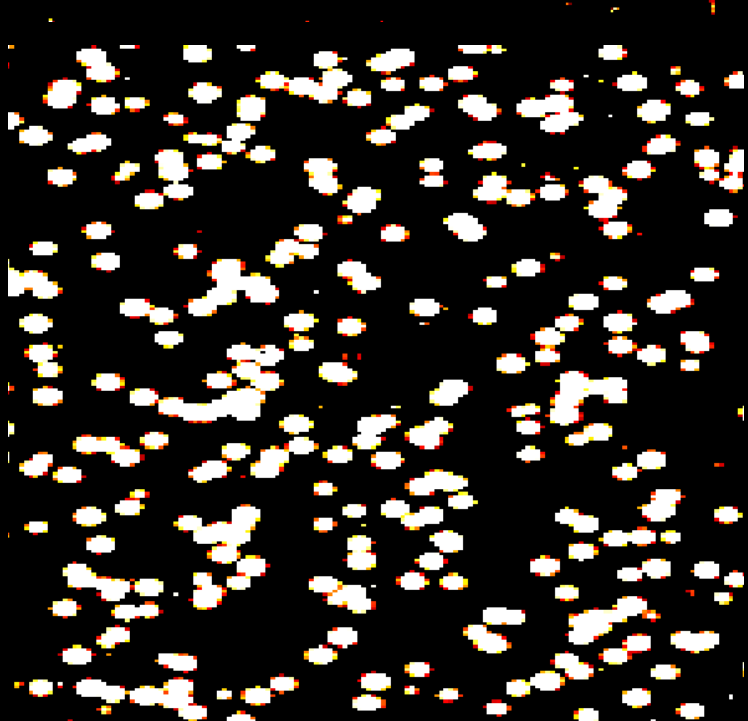
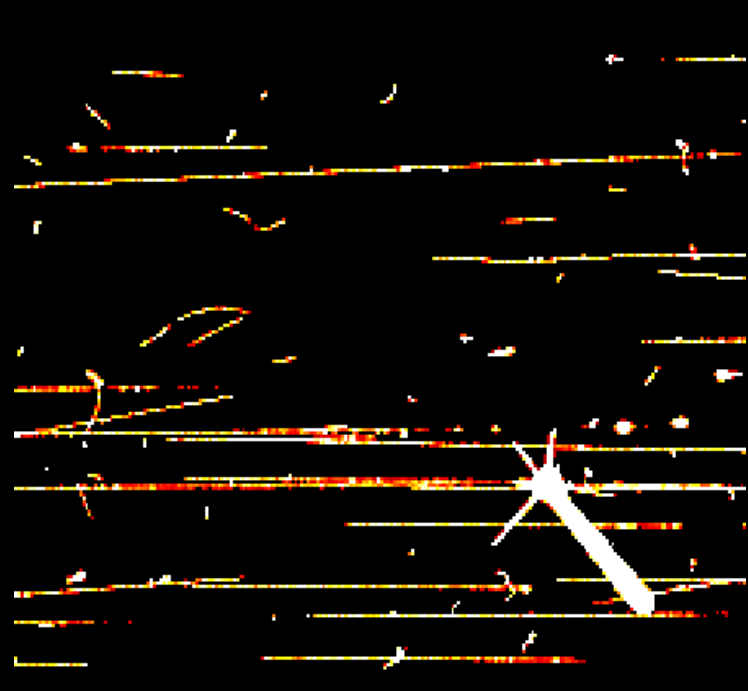
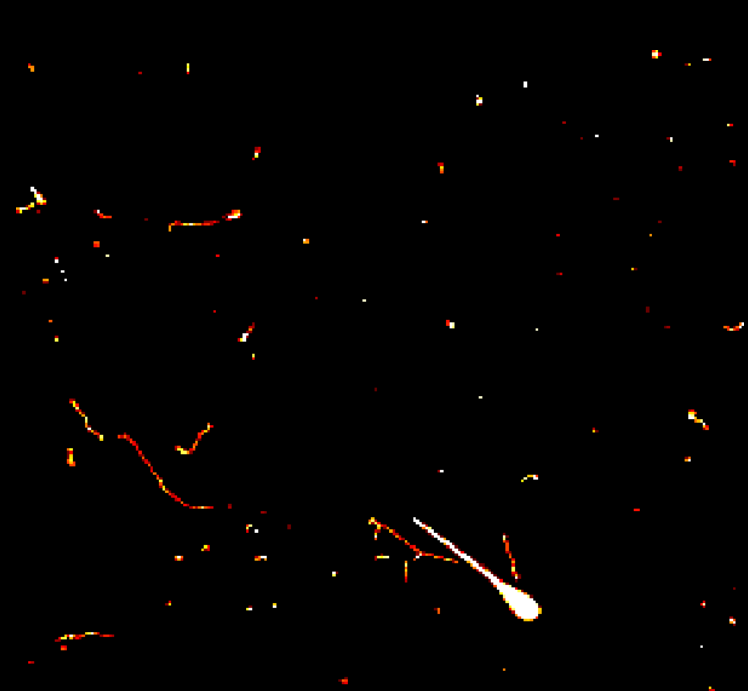


<https://cerncourier.com/a/first-human-3d-x-ray-in-colour/>
<https://advacam.com/application/biomedical/>

Princip rentgenu, defektoskopie

Průchod záření různou
tloušťkou různých materiálů:
ulita, šroubek, lastura, řetízek.





What has CERN/basic research ever done for us?



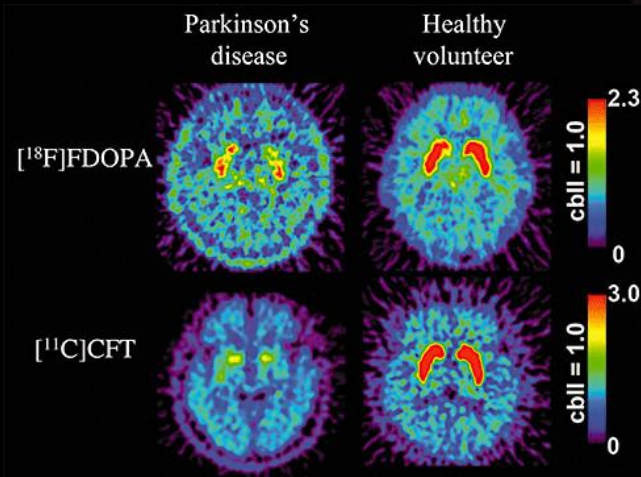
Touch screen



WWW



Monty Python's Life of Brian



Positron Emission Tomography



Hadron therapy

