

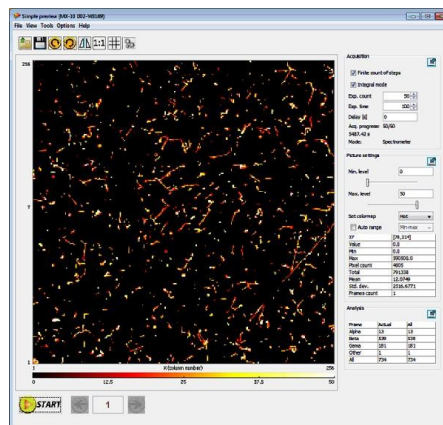
Detekce částic a záření částicovou kamerou

Jiří Kvita © 2020 – 2023

1 Úvod

V této úloze si vyzkoušíte práci s drobnými zdroji ionizujícího záření.

Provedeme detekci a rozpoznání různých druhů záření (viz. obr. 1) a budeme zkoumat možnosti jejich stínění.



Obr. 1: Částicová kamera MX-10 a záznam z této kamery.

2 Kamera

Částicová kamerka MX-10 byla vyvinuta v laboratoři CERN ve spolupráci s Ústavem teoretické a experimentální fyziky (UTEF) ČVUT. Edukační verzi této kamery prodává firma JABLOTRON. Jedná se o profesionální detektor částic založeném na křemíkové technologii Medipix2. Kamera nachází uplatnění v dozimetrii, medicínské fyzice, ale také v částicových experimentech či na Mezinárodní kosmické stanici.

Aktivní část kamerky je tvořena křemíkovým chipem tloušťky 300 mikrometrů, který má celkové rozměry 1,4 cm × 1,4 cm, a je rozdělen na 256 pixelů × 256 pixelů.

Kolik MPx má tato kamera? A jak velký je jeden pixel?

Kamerka umožňuje v každém pixelu měřit energii, a SW Pixelman dále rozpozná druh částic, které na kameru dopadly, podle charakteru stopy na chipu. Program dále umožňuje měřit energie (spektra) daných částic, nebo jen počítat jejich četnost např. v závislosti na druhu či vzdálenosti zdroje od detektoru, či na druhu a tloušťce stínícího materiálu.

V kamerce nechávají stopu ionizující částice, tj. hmotné nabitě částice, které mohou vyřázet elektrony z obalu atomů (ionizace) či vyzařovat fotony brzděného záření. Stopu na kameře vytváří i fotony, které předávají energii elektronům v rámci fotoefektu či Comptonova rozptylu.

Detailněji je každý pixel křemíkovou diodou, tj. PN přechodem, s přivedeným závěrným napětím s volitelným rozsahem 20-100 V. Díky tomu je aktivní oblast detektoru zbavena volných nositelů náboje (volných elektronů, a kladně nabitých děr). Při průletu nabitě ionizující částice však dochází k vyrážení elektronů z obalu atomů a tvorbě páru elektron-díra, které ve vloženém napětí driftují k elektrodám, kde je registrován proudový impuls. Z času, po který je impuls nad určitý proudový práh, lze usuzovat na energii, kterou prolétávající částice v daném pixelu zanechala (time-over-threshold mód).

3 Radiační pozadí

Zatímco si budete číst a počítat, změřte si na cca 30min radiační pozadí, v SW Pixelman zapněte integrační mód. Měřte vertikálně se sejmutým krytem. Zaznamenejte si celkovou energii v keV zaznamenanou kamerou.

Pozor, chip senzoru je velmi křehký! Nedotýkat se, dbát na bezpečnost a zajistit, aby na chip nic nespadlo, pozor také na nestabilní držák zdrojů v posuvu!

4 Zdroje záření

Americium 241 je umělý prvek o protonovém čísle 95 s poločasem rozpadu 433 let, který se rozpadá alfa rozpadem, doprovázeným gama přechodem, kdy dceřinné jádro Neptunia vzniká ve vybuzeném (excitovaném) stavu a přechází do základního stavu vyzářením gama záření o energii přibližně 60 keV. Připomeňme, že částice alfa je jádro prvku helia.

92 U Uran	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium
-----------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------

Obr. 2: Radioaktivní *f*-prvky ze skupiny Aktinoidy periodické tabulky.

V této úloze budeme pracovat se školním zdrojem alfa záření Am-241 o aktivitě **90 kBq**, a dále s tzv. drobným zdrojem záření ve verzi, kdy je alfa záření odstíněno, a jedná se tak efektivně jen o zdroj gama záření, o aktivitě **300 kBq**.

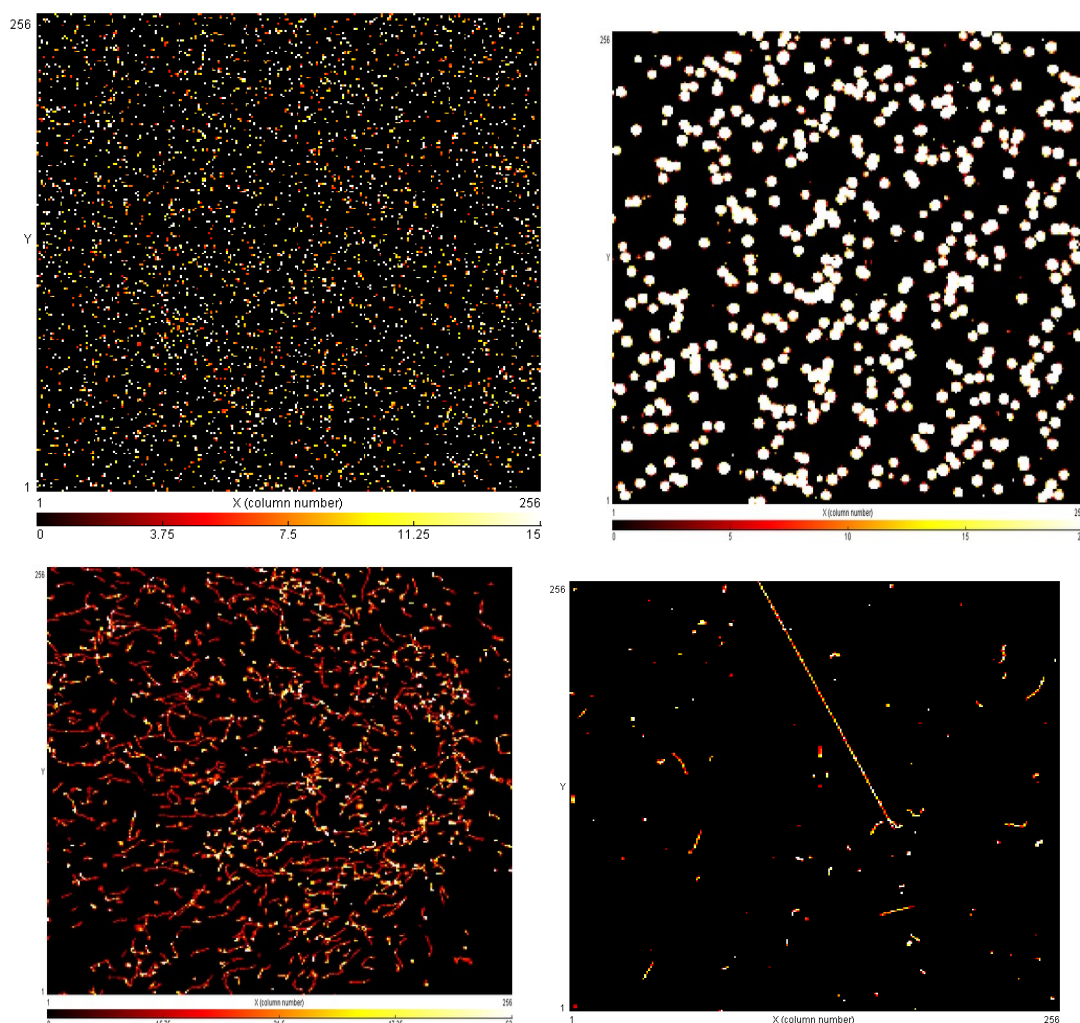
Jaké je protonové číslo Neptunia, a jaký izotop tohoto prvku vzniká při alfa rozpadu Americia, víte-li, že alfa částice je vlastně jádro hélia o 2 protonech a 2 neutronech?

Poznámka:

- Jednotka energie 1 eV (elektronvolt) je rovna kinetické energii, kterou získá částice s elementárním nábojem (náboj elektronu), je-li urychlena napětím 1V.
- Jednotka aktivity 1 Bq (1 Becquerel) je rovna jednomu rozpadu/přeměně za sekundu.

5 Jak kamera „vidí“ částice

Stopy částic gama, beta a alfa jsou zobrazeny v obr. 3. Poslední z uvedených obrázků je stopou částice zvané mion, která je součástí sekundárního kosmického záření. Všimněte si charakteristické geometrie stop jednotlivých druhů dopadajících částic.



Obr. 3: Stopy různých částic na záznamu z kamery jsou postupně: gama, alfa, beta, mion.

Laboratorní úloha:

A) Změřte, **který materiál nejlépe stíní gama částice**. Na výběr je papír, plast, hliník, mosaz, měď, ocel, olovo. Navrhnete vhodnou dobu expozice snímku, abyste mohli zaznamenat rozumný počet registrovaných částic za daný čas pro daný typ a tloušťku stínění.

B) Změřte od jaké vzdálenosti R začnete přibližně detekovat alfa částice ze zdroje Americia 241. Odhadněte na jejím základě **kinetickou energii T vylétujících alfa částic** v jednotkách MeV, platí-li pro dolet R alfa částic ve vzduchu přibližný vzorec

$$R(T) \approx \xi T^a,$$

$$\xi \approx 3,1 \text{ mm} \cdot \text{MeV}^{-\frac{3}{2}}, a = 1,5$$

C) Spočítejte, jakou **rychlostí** (v km/s, a také v násobcích rychlosti světla) jsou **alfa částice** emitovány z jádra. Co by se stalo, kdyby Země neměla atmosféru, a zdroj alfa částic bychom namířili vzhůru? Klidová energie alfa částice je 3728 MeV.

D) Změřte **energetické spektrum** částic alfa, zakreslete si, a interpretujte pozorovanou strukturu. Spočítejte vlnovou délku alfa částice při (kinetické) energii peaku a srovnajte ji s velikostí atomu či jádra.

E) **Nastavte expozici tak, aby kamera za daný interval zaznamanala okolo 20 částic např. gamma nebo alfa. Naberte několik desítek takových snímků. Zobraze si a vyhodnoťte graf četnosti částic na daném snímku.** O jaké rozdělení by se statisticky mělo jednat? Je symetrické? Zopakujte pro nastavení, kdy pozorujete cca 100 částic na snímek. Srovnajte závěry.

F) **Spočítejte dávku a dávkovou rychlost, znáte-li energii uloženou v některém snímku a čas expozice**, např. pro Uranové sklo za 10min, a porovnejte s dávkou z radiačního pozadí. Dávka je absorbovaná energie na hmotnost. Jednotkou jsou Sieverty, tj. J/kg. Se zahrnutím různých účinků různých druhů částic na biologickou tkáň se pak hovoří o dávce v jednotkách Gray, stále J/kg. Hustota křemíku je $2,33 \text{ g/cm}^3$.

Předchozí měření nám s kamerou ukazovala dávkové rychlosti okolo $0,14 \mu\text{Sv/h}$ pro pozadí, a $1,7 \mu\text{Sv/h}$ v letadle. Na Měsíci je dávka okolo $13,2 \pm 1 \mu\text{Gy/h}$ [1]. Ročně průměrně člověk z různých zdrojů (vzduch, kosmické záření, jídlo, rtg/CT/PET) absorbuje dávku okolo $2,5 \text{ mSv/rok}$. **Spočítejte roční ekvivalent z Vámi změřené dávky z pozadí, a z výše uvedených hodnot pro letadlo a Měsíc. Ověřte, s jakou přesností má rok $\pi \cdot 10^7 \text{ s}$.** Za životu nebezpečnou dávku se považuje dávka okolo 1 Gy . Roční zpáteční cesta na Mars může vést k obdobné dávce [3]. Na ISS za týden astronauti obdrží ekvivalent roční dávky na Zemi [4].

[1] <https://advances.sciencemag.org/content/6/39/eaaz1334>

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Background_radiation

[3] <https://www.mars-one.com/faq/health-and-ethics/how-much-radiation-will-the-settlers-be-exposed-to>

[4] https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Lessons_online/Radiation_and_life

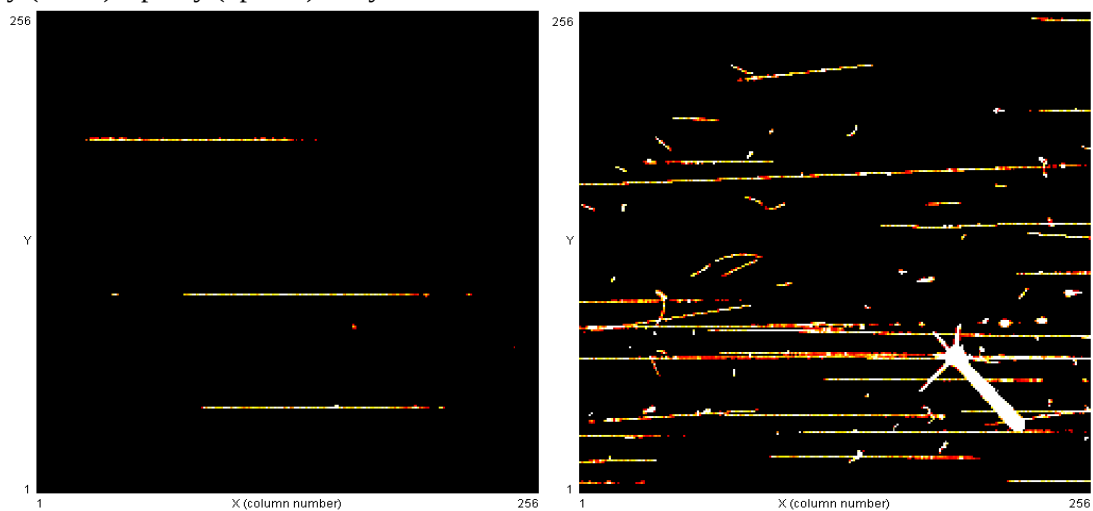
[5] The Most Radioactive Places on Earth: <https://youtu.be/TRL7o2kPqw0>

[6] Prezentace pro Science to go, 2018, <https://www.dropbox.com/s/4xjmh0nq5a5objj/CasticovaKamera.pdf?dl=0>

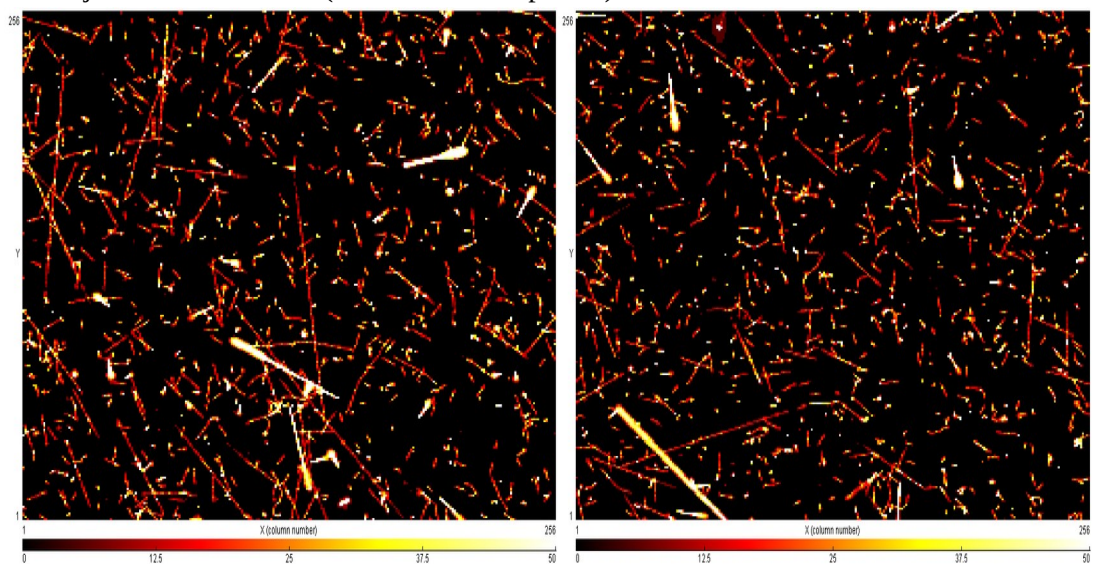
G) Podívejte se na konec na bonusové obrázky a popište, jaké částice vylétují z uranového sklíčka, tj. skla obohaceného o příměs oxidu uraničitého.

6 Bonusové obrázky

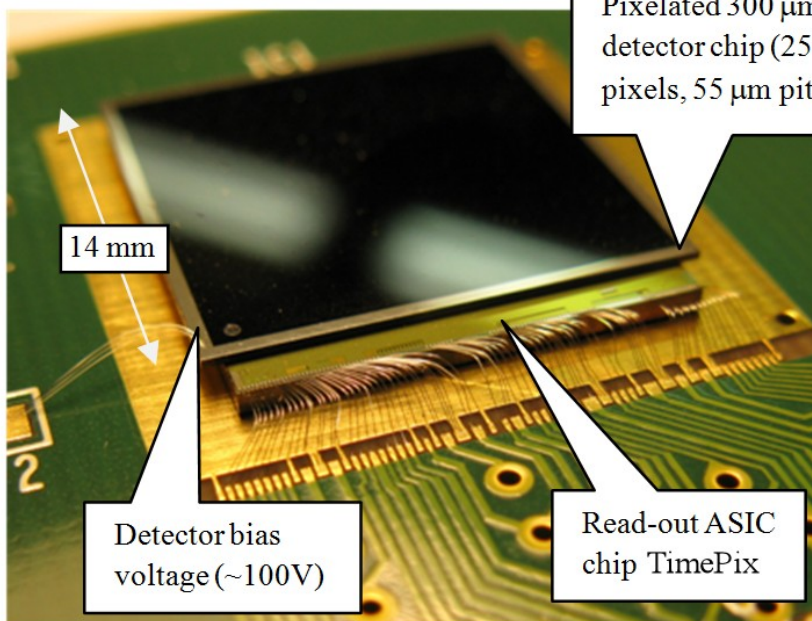
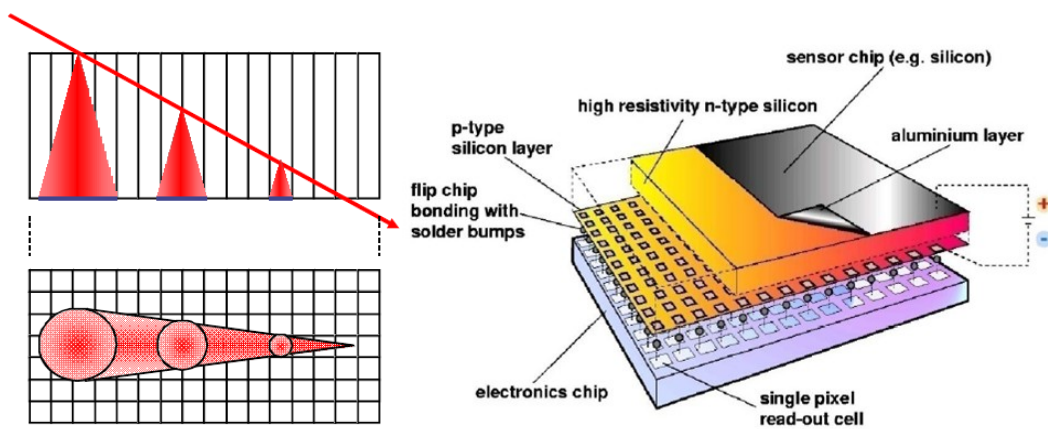
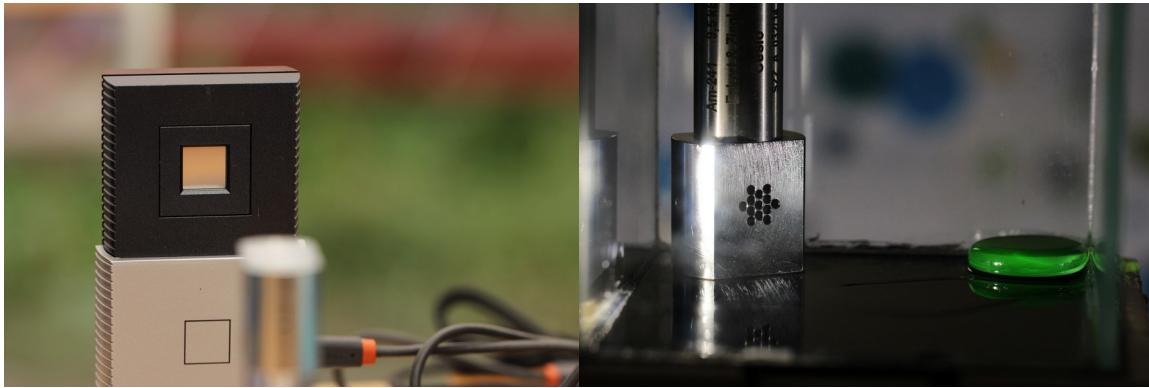
Miony (vlevo) a piony (vpravo) z urychlovače SPS v laboratoři CERN



Silně ionizující částice v letadle (cca 10-15min expozice).



7 Doplnkový materiál



Kamera Advacam MiniPix a software Pixet

ADVACAM
Imaging the Unseen

MINIPIX^{EDU} Datasheet

Model No.: MNXTXE-XPx200421

