

Demonstrační experimenty s detektorem MX-10

VLADIMÍR VÍCHA, PETER ŽILAVÝ

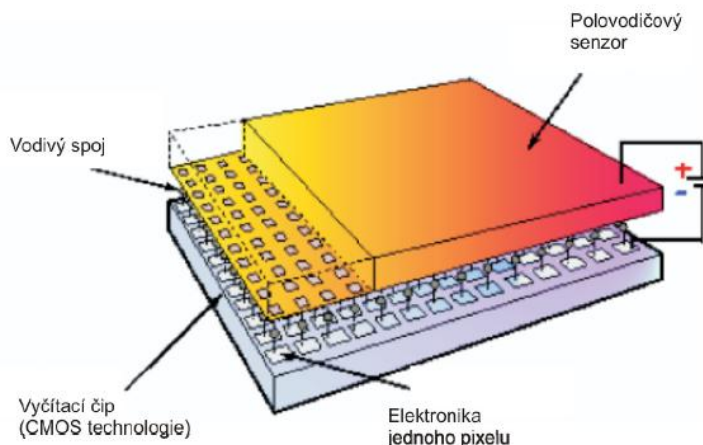
ÚTEF ČVUT Praha, Gymnázium Pardubice, Dašická 1083
Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy Praha

Abstrakt

Polovodičový detektor Medipix/Timepix je unikátní detekční systémem ionizujícího záření vyvinutý v CERNu. V Ústavu technické a experimentální fyziky (ÚTEF) ČVUT k němu bylo vytvořeno programové vybavení jak pro profesionální práci (Pixelman), tak pro práci studentů (Simple preview). V letošním roce začal být detektor s označením MX-10 včetně software a příslušenství k demonstracím vyráběn a distribuován českou firmou. V našem příspěvku předvedeme několik pokusů vhodných pro střední, ale i základní školy, ukazujících novou kvalitu v zobrazení a vyhodnocení ionizujícího záření. Představíme také nový školní zdroj alfa záření ŠZZ ALFA.

Detektor MX-10

Základem detektoru je křemíkový senzor o aktivní ploše 14 mm x 14 mm a tloušťce několik desetin mm, který je ze spodní strany rozdělen na matici 256 x 256 čtvercových buněk o straně 55 μm . Křemíkový senzor představuje povrchový p-n přechod, ve



Obr. 1 - Struktura detekčního čipu.
Převzato z [1].

kterém je pomocí vhodného napětí vytvořená oblast bez prostorového náboje. Vletí-li do této oblasti částice ionizujícího záření, vytvoří řadu elektron-děrových párů (střední energie potřebná pro vytvoření páru je přibližně 3,6 eV). Díky přiloženému napětí je takto vzniklý náboj sebrán na elektrody (čtverečky) jednotlivých pixelů a vodivými spoji odveden do spodního „vyčítacího“ čipu. Zde má každý pixel svoji elektroniku, která dokáže nejen počítat zachycené impulsy, ale

i vyhodnotit jejich amplitudu. Tato amplituda odpovídá energii, kterou v konkrétním pixelu zanechala prolétající částice ionizujícího záření. Detekční čip je tedy složen z 65 536 mikrodetektorů schopných nezávisle na sobě vyhodnotit energii, kterou v nich zanechaly prolétající částice ionizujícího záření. Více informací o detektoru naleznete na www stránkách [2] nebo v [1].

Školní zdroj záření alfa ŠZZ ALFA

Školní zdroj záření ŠZZ ALFA je určen pro provádění výukových experimentů ukazujících základní zákonitosti z oblasti jaderné fyziky. Je určen jak pro demonstrační experimenty prováděné učitelem, tak i pro skupinové a laboratorní práce žáků vyšších ročníků základních škol a studentů středních a vysokých škol.

ŠZZ ALFA je osazen uzavřeným radionuklidovým zářičem obsahujícím ^{241}Am (kruhový terčik o průměru 8 mm, aktivita 9,5 kBq). Clona školního zdroje záření ŠZZ ALFA byla optimalizována pro spolupráci se školním pixelovým detektorem MX-10.



Obr. 2 - Školní zdroj záření ŠZZ ALFA

ŠZZ ALFA je zdrojem záření α o energii přibližně 4,8 MeV (rozdíl od tabulkové hodnoty 5,5 MeV pro ^{241}Am je dán především krycí Au fólií o tloušťce 2 μm , která je součástí samotného zářiče). **Záření α je doprovázeno zářením γ o energii 60 keV a měkkým rentgenovým zářením.**

Použitý radionuklid ^{241}Am má poločas přeměny přibližně 432 let. V samotném zářiči dochází přibližně k 10^4 přeměnám za sekundu, počet částic skutečně registrovaných detektorem však závisí na geometrii uspořádání experimentu (vzdálenost od zdroje záření, velikost detektoru) a na účinnosti detektoru. Dolet částic alfa z ŠZZ ALFA ve vzduchu je přibližně 3,3 cm. Lze je (na rozdíl od doprovodného záření γ) odstínit např. listem papíru.

Školní zdroj záření konstrukčně navazuje na zdroje záření ze soupravy GAMAbeta 2007.

Posuvná lavice

Pro snadné provádění experimentů s detektorem MX-10 a školními zdroji záření jsme vyvinuli posuvnou lavici umožňující stabilně uchytit jak samotný detektor, tak zdroj záření a další pomůcky (stínící destičky, wolframovou elektrodu s příměsí ThO_2 , držák uranového skla). Posuvný držák zářiče je slučitelný se školními zdroji záření ŠZZ GAMA a DZZ GAMA ze soupravy Gamabeta.

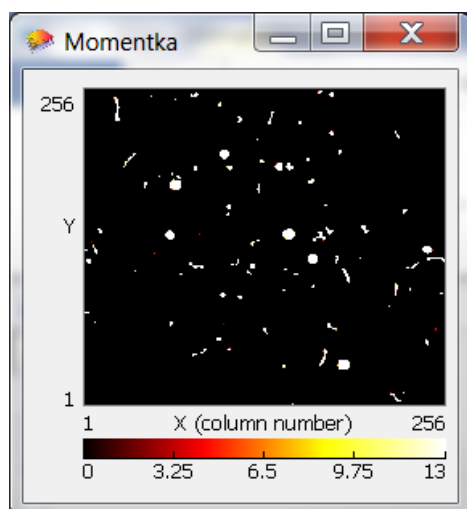


Obr. 3 - Posuvná lavice

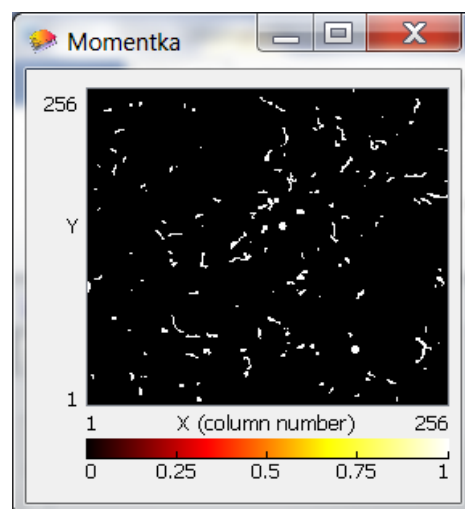
Demonstrační experimenty s elektrodou WT20 a uranovým sklem

Detektor MX-10 je velmi citlivý na dopad třeba jediné ionizující částice, proto umožňuje zkoumat i velmi slabě radioaktivní látky. Pro učitele je stále ještě dostupná wolframová svařovací elektroda WT20 (WT40) s příměsí 2% (4%) ThO_2 . Radionuklidem je zde thorium a jeho rozpadové produkty. Druhou zkoumanou látkou je uranové sklo, radionuklidem je uran a jeho rozpadové produkty. Skleněné předměty barvené

uranem (barva zelená až žlutá) lze někdy koupit ve starožitnostech nebo např. v internetovém obchodě jako korále či náhrdelníky[3].



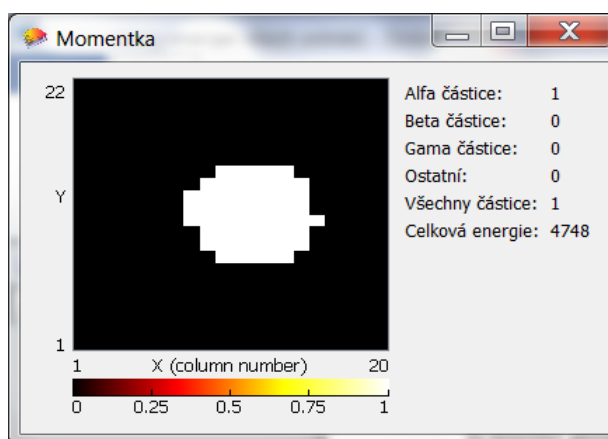
Obr. 4 - Vizualizace záření elektrody WT20.



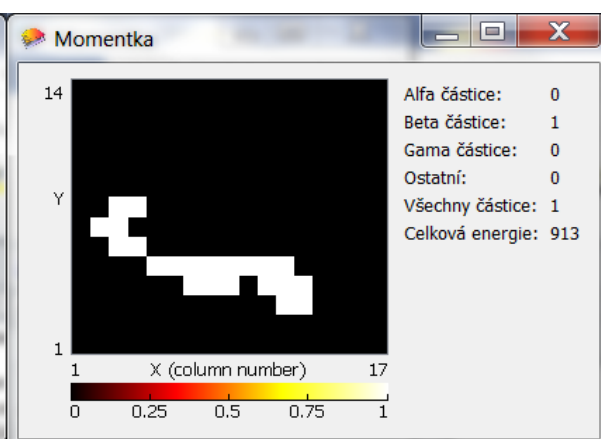
Obr. 5 - Vizualizace záření uranového skla.

Na obr. 4 vidíme dvacetisekundový záznam záření elektrody WT20 o průměru 4 mm a na obr. 5 dvacetisekundový záznam záření „pecky“ uranového skla umístěných do bezprostřední blízkosti detektoru. Stopy ionizujícího záření můžeme přibližně rozdělit do tří kategorií.

1. Velké přibližně kulaté stopy („bloby“ - obr. 6) jsou způsobeny dopadem částic alfa. Detektor může pracovat zároveň jako spektrometr a určit energii, kterou částice alfa v detektoru zanechávají. Energie částic alfa je většinou velká – řádu MeV. Na obr. 6 to bylo $4\,748\text{ keV} = 4,748\text{ MeV}$.

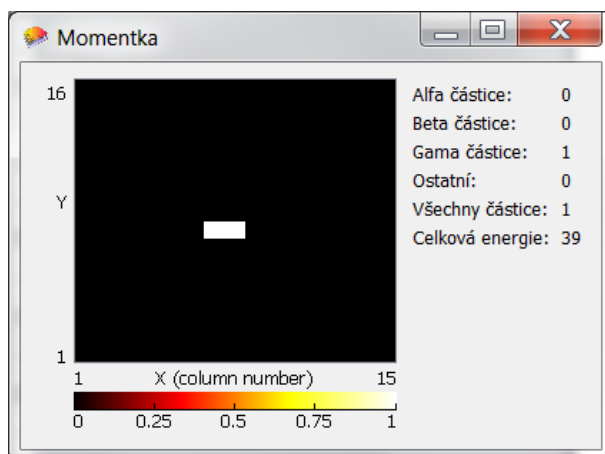


Obr. 6 - Zvětšená stopa částice alfa o energii 4 748 keV.



Obr. 7 - Zvětšená stopa vysokoenergetického elektronu o energii 913 keV.

2. Zakřivené protáhlé stopy (obr. 7) jsou způsobeny dopadem vysokoenergetických elektronů, resp. fotonů. Elektron na obr. 7 zanechal v detektoru energii 913 keV, měl tedy relativistickou rychlost $0,93c$.
3. Malé stopy o velikosti několika pixelů (obr. 8) jsou způsobeny dopadem nízkoenergetických elektronů, resp. fotonů. Energie je malá, v řádu desítek keV.

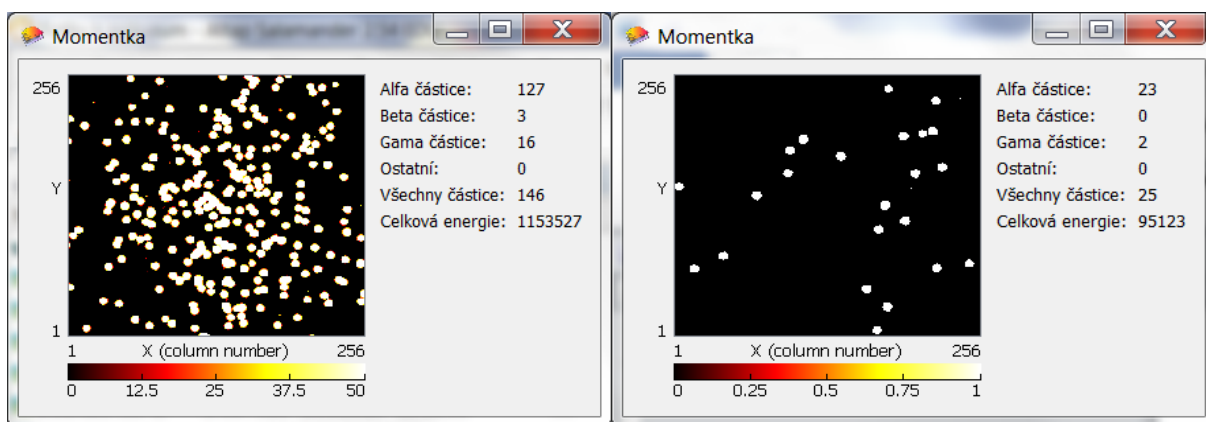


Obr. 8 - Stopa nízkoenergetického elektronu, resp. fotonu. Stopa má velikost 2 pixely a částice zanechala v detektoru energii 39 keV.

Vyhodnotíme-li rozdíl mezi obr. 4 a obr. 5 pouhým pohledem, usoudíme, že elektroda WT20 vyzařuje více částic alfa než uranové sklo a uranové sklo zase vyzařuje více vysokoenergetických elektronů, resp. fotonů. Pro objektivnější vyhodnocení obsahuje program Simple preview různé typy histogramů.

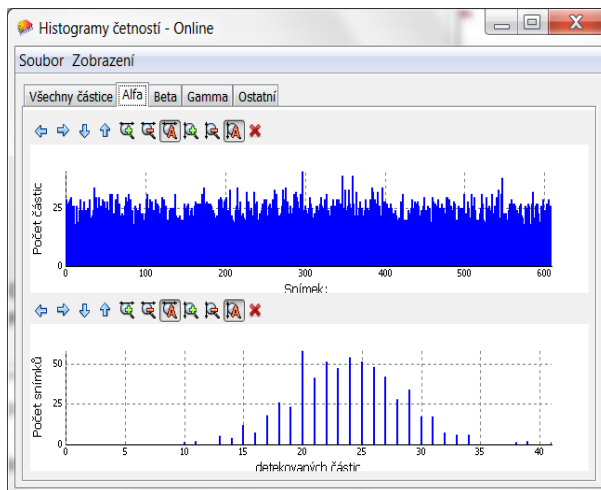
Demonstrační experimenty se Školním zdrojem záření alfa (ŠZZ ALFA)

Pro potřeby experimentů s MX-10 jsme vyvinuli Školní zdroj záření alfa (ŠZZ ALFA). V následujících experimentech vystupovalo záření otvorem „cedník“ (obr. 2).

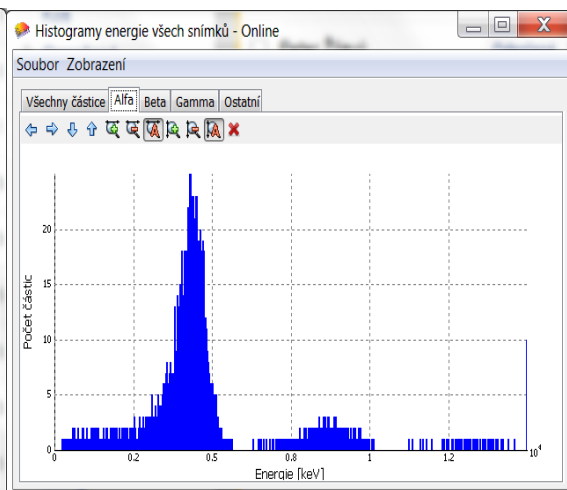


Obr. 9 - Vizualizace záření ŠZZ. Vlevo expozice 0,5 s a vpravo expozice 0,05 s.

Na obr. 9 vidíme jako majoritní stopy částic alfa („bloby“) a jako minoritní stopy částic gama („tečky“). Program Simple preview umí vytvářet několik typů histogramů. Horní část obr. 10 ukazuje počty částic alfa detekovaných na jednotlivých snímcích ze souboru více než 600 snímků (tok záření v nastaveném čase). V dolní části obr. 10 je histogram tohoto toku (pro velký počet snímků se blíží Poissonovu rozdělení). Na obr. 11 je histogram energie částic alfa. Maximum hlavního píku zde odpovídá energii přibližně 4,3 MeV. Malé píky o energii dvojnásobné a trojnásobné vznikají v důsledku překrývání stop dvou nebo tří částic (program vyhodnotí více překrývaných stop jako jednu částici s větší energií).

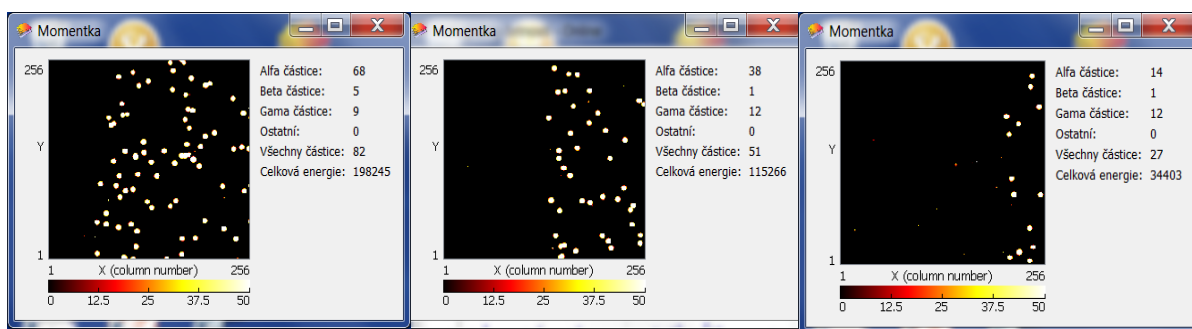


Obr. 10 - Počty částic na jednotlivých snímcích (tok záření) a histogram toku



Obr. 11 - Histogram energie částic alfa.

Jednoduchým způsobem můžeme demonstrovat absorpci částic alfa v běžném kancelářském papíru. Na obr. 12 vidíme, jak je list kancelářského papíru nasouván zleva přes senzor detektoru. Na ploše, kde se již stopy částic alfa nevyskytují, pozorujeme stopy fotonů gama, které papírem procházejí. K jejich odstínění následně použijeme olověný plech.

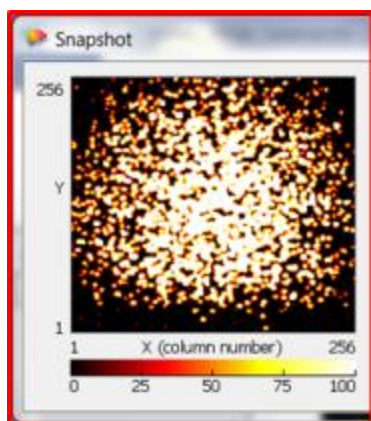


Obr. 12 - Absorpce částic alfa v kancelářském papíru.

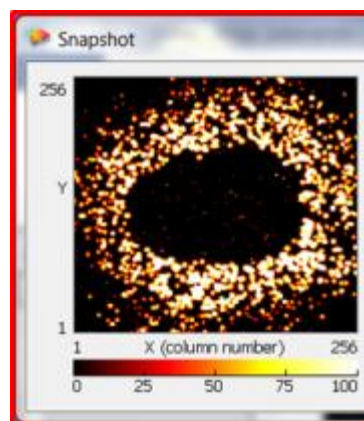
Využití ionizujícího záření v praxi

Odlíšnost absorpce záření v různých materiálech našla uplatnění např. při kontrole tloušťky materiálu nebo v defektoskopii. Obojí lze s MX-10 dobře demonstrovat.

Na obr. 13 vidíme přibližně kruhový obraz otvoru („krátký“ otvor), kterým záření z clony ŠZZ ALFA vystupuje. Pak prochází běžnou potravinářskou fólií a dopadá na senzor. Stopy na obvodu kruhu jsou menší, což znamená, že částice alfa měly menší energii než částice alfa u středu kruhu. Částice dopadající na fólii kolmo, procházejí totiž nejtenčí vrstvou materiálu, zatímco částice dopadající šikmo procházejí tlustší vrstvou. Na obr. 14 je uvnitř světlého kruhu temný stín. Ten je způsoben kapkou vody, kterou jsme kápli na vodorovně orientovanou potravinářskou fólii. I tenká vrstvička vody částice alfa pohltila. Prošly jen fotony gama.

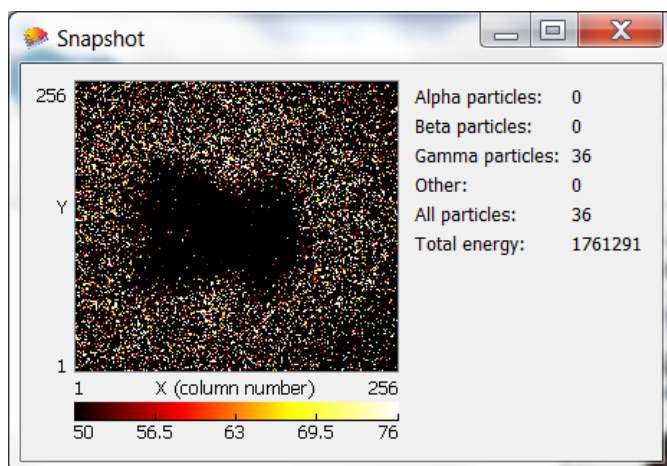


Obr. 13 - Částice alfa procházející přes tenkou potravinářskou fólii



Obr. 14 - Částice alfa dopadají na potravinářskou fólii, na níž je kapka vody

Snímek na obr. 15 vznikl tak, že jsme nechali dopadat záření ze ŠZZ ALFA na kousek dřeva, do kterého jsme skryli olověnou diabolku (je viditelná jen z jedné strany). Částice alfa se ve dřevě samozřejmě absorbovaly, ale fotony gama dřevem prošly v místech, kde nebyla diabolka. Díky absorpci záření gama v olovu jsme diabolku ve dřevě objevili. Demonstrovali jsme princip defektoskopie, resp. rentgenologie.



Obr. 15 - Obráz diabolky ukryté v dřevěné

Literatura

- [1] Krejčí F., Janout Z.: *Vizualizace ionizujícího záření pomocí detektoru Timepix (demonstrační experiment)*, ÚTEF ČVUT Praha, 2012
- [2] <http://www.jablotron.cz/mx-10>
- [3] <http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/problematika-uranem-barveneho-skla/>