

Pokusy z radioaktivity na střední škole

ZDENĚK POLÁK, JIŘÍ POLÁK, MICHAL KRBAL

Jiráskovo gymnázium v Náchodě, OEZ Letohrad, VUT Brno

V článku jsou uvedeny různé typy radioaktivních zářičů a detektorů vhodných pro experimenty na střední škole. Je popsána detekce na film, ionizační a jiskrová komora. Jsou uvedeny příklady konkrétních laboratorních prací s radioaktivním zářením.

Pozor! Při všech experimentech s radioaktivními látkami, i když intenzita záření je nepatrná, dodržujte pravidla bezpečnosti práce se zářením. Chraňte se dotyku se zářiči, jejich vdechnutí či požití. Po práci si vždy umyjte ruce.

Zářiče

Pokud chceme provádět pokusy s radioaktivitou, je třeba mít zdroje radioaktivního záření, zářiče. Nejlépe profesionálně vyrobené s garančním listem, že se jedná o bezpečné zářiče. Obvykle takové, že úroveň radiace je pod bezpečnostní hladinou a z hlediska jaderné bezpečnosti vlastně o zářič nejde. Tady připadají v úvahu snad jen zářiče ze soupravy gamabeta. Původní SORAD s Americiem $^{241}_{95}\text{Am}$ a stronciem $^{90}_{38}\text{Sr}$ nebo cesiový generátor radionuklidů také ze soupravy gamabeta. Dále lze použít různé radioaktivní látky a předměty, které jsou stále ještě do jisté míry sehnatelné. Nejúplnější přehled jsem našel na stránkách. [1] Co se dá na trhu koupit:

Draselná sůl. Chemicky KCl. Obsahuje přírodní radioaktivní draslík. Aktivita 1 kg je asi 7 kBq.

Wolframové elektrody s thoriem. Mají označení WT a číslo udávající, kolik promile ThO_2 obsahují. Největší obsah mají WT 40, které obsahují 4% ThO_2 a jsou označeny oranžovým proužkem. Kupte si je, zanedlouho budou zakázány. Na internetu lze koupit korálky, vázičky a jiné výrobky z **uranového skla**. Kromě toho, že jsou zářičem, vykazují výraznou luminiscenci v UV. Další zářiče se dají sehnat, ale cesta k nim je obtížnější. Příklady viz obr. 1.

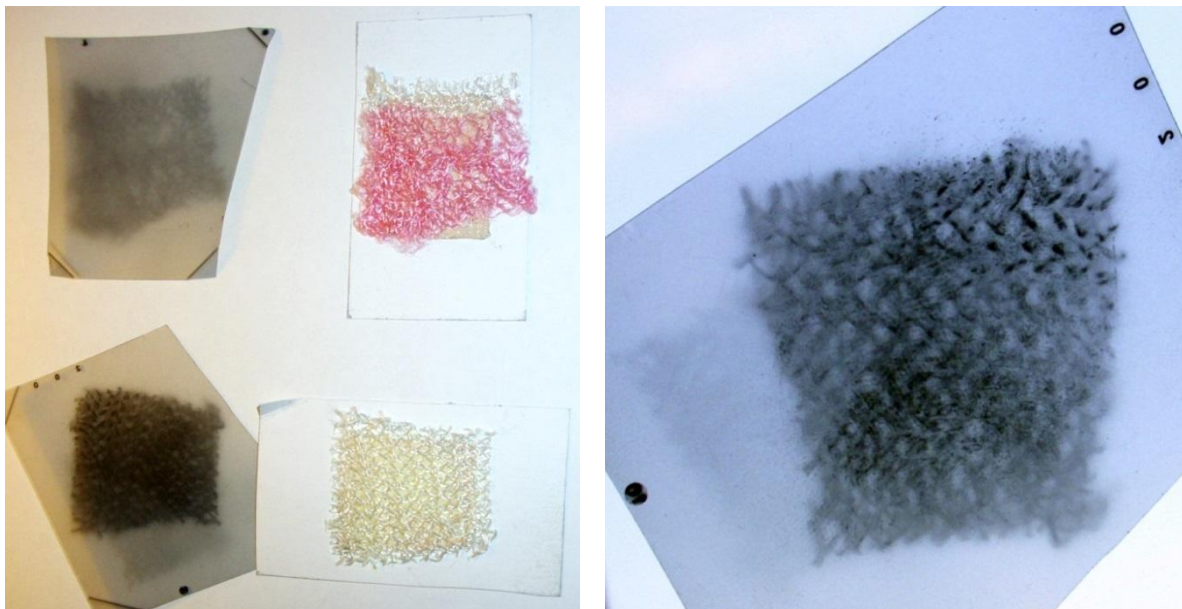


Obr. 1: Příklady zdrojů radioaktivního záření. Chlorid draselný 3 kg, letecký přístroj, korálky z uranového skla, detektor kouře, kompas Meopta, hodinky Doxa, americiový zářič, plynová punčoška, popel z plynové punčošky, smolinec, uranová ruda, thoriové elektrody, zářič SORAD.

Detektory

Scintilační detektor. Lze vyrobit, pokud máte scintilační látku. Se studenty jsme použili scintilátor pro zelenou barvu z barevné CRT obrazovky. Záblesky scintilátoru při dopadu záření byly na hranici pozorování po delším pobytu ve tmě a jen tehdy, když luminofor byl v přímém kontaktu s radioaktivní látkou. Efekt je velmi slabý, do výuky nevhodný. Popis zkoumání viz [2]

Film. Klasické filmy pro fotografie jsou citlivé na ionizující záření. Zkusili jsme černobílý film Fomapan 200 šíře 60 mm. Film byl nastříhán na kousky, k nim kontaktně přiložena rozstříhaná plynová punčoška. Vzorčky byly zabaleny do obálek z černého papíru. Za 5 dnů bylo po vyvolání možno rozlišit nepatrné stopy po účincích radiace. Velmi zřetelné stopy byly vidět po 5 týdnech. K některým vzorkům byla punčoška přiložena na aktivní citlivou vrstvu filmu a k některým z druhé strany. Pak šlo rozlišit jak integrované účinky α , β , γ záření, tak i účinky po odfiltrování α složky. Ukazuje se, že právě složka α se na filmu projeví nejvíce. Na filmu je také vidět mlhavý obrys další punčošky, která byla v sousední obálce. Lze tedy jasně prokázat, že radioaktivní záření působí na film a některé jeho složky pronikají filmovým materiálem a jiné nikoli. Doba expozice je dlouhá, nejméně měsíc. Jde o vhodnou činnost pro samostatnou seminární práci nebo dlouhodobý projekt. Demonstračně může sloužit jako ukázka materiálu a jeho radiografického obrazu. Expozici lze urychlit tím, že radioaktivní punčošku pokryjeme scintilační barvou a přiložíme na film. Pak viditelný obraz vznikne již za několik dní. Jde o souhrnné působení jak záření, tak vzniklého luminiscenčního světla.

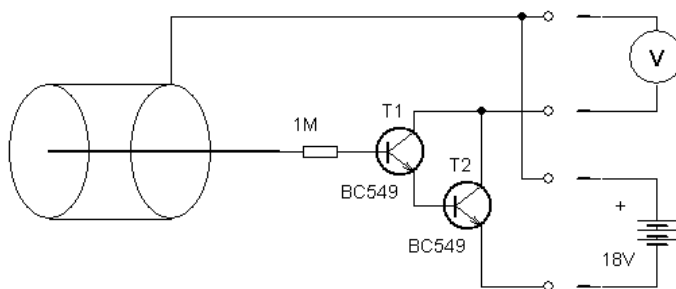


Obr. 2 - Nahoře exponovaný film, kde punčoška byla přiložena na rub filmového pásu a použitá punčoška. Dole film, kde punčoška byla přiložena přímo na fotocitlivou vrstvu a použitá punčoška.

Obr. 3 - Vpravo detail exponovaného filmu z obr. 2 dole, kde je v levé části obrázku vidět kromě kresby punčošky také lehký závoj způsobený zářením z punčošky v sousední obálce.

Ionizační komora

Jde o jednoduchý a názorný detektor. Úplné informace o konstrukci viz [2], [3]. V podstatě jde o Darlingtonovo zapojení dvou tranzistorů. Viz obr. 4. Důležité je co nejlépe izolovat drátovou elektrodu připojenou přes ochranný odpor na bázi tranzistoru T1. Vhodné je třeba tavné lepidlo. Dále je třeba, aby oba tranzistory měly co největší zesílení (nad 500) a T1 co nejmenší zbytkový proud. Baterie i voltmetr jsou připojeny přes zdiřky. Je ale možno baterii připájet napevno, protože po odpojení voltmetru je odpojena i baterie. Napětí baterie je vhodnější vyšší (i několik desítek voltů), 3 – 4 ploché baterie vyhoví. Případně dvě 9 V destičkové baterie.



Obr. 4 - Schéma zapojení ionizační komory

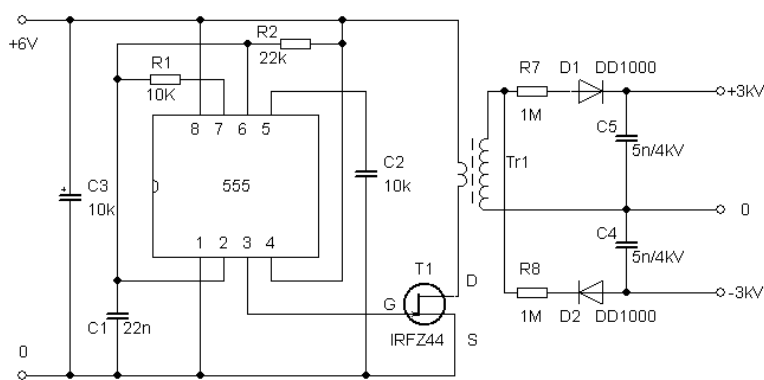


Obr. 5 - Detail konstrukce ionizační komory a komory, které vyrobili studenti 3. ročníku při práci v rámci fyzikálního semináře

Jiskrová komora

Tento detektor částic je velmi efektní. Potřebujete zdroj vysokého napětí 6 kV malého proudu řádově stovky mikroampérů. Bohužel školní zdroj ± 10 kV je příliš měkký. Ke kladné elektrodě připojíte několik velmi tenkých drátků rovnoběžně natažených s plošnou elektrodou

v takové vzdálenosti, aby ještě nastávaly výboje. Pak přiblížíme zdroj a záření. Pro zřetelný efekt je třeba aktivita alespoň desítky kBq. Částice vytvářejí průletem ve vzduchu množství iontů a

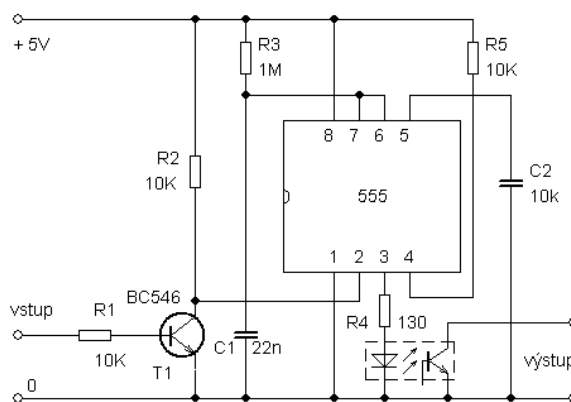


Obr. 6 - Schéma zdroje vysokého napětí k jiskrové komoře

vzniká viditelná jiskra doprovázená dobře viditelným i slyšitelným jikrovým výbojem. Jde o hezký důkaz ionizačních účinků α záření.

Geiger–Müllerův počítač

Jde o stejný druh detektoru, s jakým pracuje Gamabeta. Popis amatérské konstrukce včetně čítače lze nalézt také v [2]. Ne každý má chuť a možnosti takový detektor si postavit. Lze zakoupit novou Gamabetu (to je asi nejlepší řešení), nebo zakoupit jiný detektor tohoto typu. To vyjde levněji, detektor má obvykle více funkcí, ale nemáte příslušenství. Dnes je už řada firem, které nabízí detektory α , β , γ záření za přijatelnou cenu. Všechny nové detektory mají digitální výstup a mnohé i přímé připojení do USB. Další možností je zakoupení nějakého staršího detektoru. Pokud vaše zařízení má pouze zvukový výstup a chcete s ním provádět kvantitativní měření, je dobré opatřit jej čítačem. Nejlevnější možností je využít běžně dostupného zařízení a upravit jej. Takovým je třeba obyčejná kalkulačka nebo třeba krokoměr. Když na kalkulačce zadáte 1+1 a opakovaně tisknete rovnítko, kalkulačka se změní v čítač. Místo mechanického ovládání je možno paralelně k tlačítku „=“ připojit tranzistor nebo výstup optočlenu a ovládat elektronicky. Aby všechny elektronické „stisky“ byl stejně dlouhé, je třeba zařadit tvarovač impulzů. Možné zapojení je na obr. 7.



Obr. 7 - Schéma tvarovače impulzů

Laboratorní práce z radioaktivity na Jiráskově gymnáziu v Náchodě:

Máme vypracovanou sestavu pěti úloh. Pracuje se s polovinou třídy. Ta je rozdělena do 4 - 5 skupin po dvou až čtyřech žácích. Každá skupina si vyzvedne sadu přípravných pomůcek a pak pracuje samostatně podle stručného návodu. Na práci má cca 20 minut. Poté se všichni žáci shromáždí u první skupiny a ta jim předvede, co zjistila. Přejdou k další, až se seznámí se všemi úkoly. Každá skupina má na svoji prezentaci cca 3-4 minuty. Každý student vypracuje protokol z toho, co zjistila skupina, ve které pracoval. Žáci z různých skupin mají tedy různé protokoly.

Úloha č. 1

Činnost dozimetru, intenzita pozadí záření přirozeného izotopu s dlouhým poločasem rozpadu.

Pomůcky: Dva tříkilogramové sáčky s draselným hnojivem KCL, případně 3 kg rozdělené do dvou sáčků. Dozimetr GRIF 1, stopky, komůrka z olověného plechu k vytvoření stíněného prostoru, MFChT

Měření Dozimetrem GRIF 1:

Zapnete dozimetr, umístíte do měřeného prostředí a vynulujete. Tím se spustí načítací interval asi 20 s. Po jeho uplynutí se displej na chvíli rozsvítí a dále již nenačítá impulsy. Výstupní údaj určete vždy jako průměr tří měření.

- Úkoly:
- 1) Určete intenzitu záření pozadí.
 - 2) Určete intenzitu záření ve stíněném prostoru.
 - 3) Určete intenzitu záření na povrchu balíku hnojiva KCl.

V přírodě existují tři izotopy draslíku ^{19}K a to:

$^{39}_{19}K$ v zastoupení 93,26 % (stabilní), $^{41}_{19}K$ v zastoupení 6,73 % (stabilní)

$^{40}_{19}K$ v zastoupení 0,0117 % (s poločasem rozpadu 1,248.109 let; jde z 89% o beta- rozpad a z 11% záchyt elektronu z obalu)

Atomová relativní hmotnost draslíku je 39,098 Atomová relativní hmotnost chloru je 35,453

Určete přeměnovou konstantu $^{40}_{19}K$ a aktivitu 3 kg hnojiva KCl.

Úloha č. 2

Závislost intenzity záření na vzdálenosti od zdroje

Pomůcky: Měřič povrchové kontaminace POLON RKP-1-2, krabice s radioaktivní horninou.

Měření s měřičem povrchové kontaminace POLON RKP-1-2:

Měřič má dva vypínače. Jeden se sepne při zvednutí a za držadlo, druhý při postavení na dolní plochu. Nejprve spusťte měřič postavením do svislé polohy a odečtěte hodnotu pozadí. Pak přiblížte měřič těsně ke krabici s radioaktivními minerály. Jako vzdálenost uvažujte vzdálenost měřiče od středu krabice. Poloh detekčních trubice v přístroji je vyznačena žlutou čarou. Při měření nechte ručičku měřiče vždy ustálit alespoň po dobu 20 s. Pokud ručička přesahuje rozsah, přepněte na vyšší. Sestrojte graf závislosti intenzity záření na vzdálenosti.

Z přiloženého technického listu zjistěte údaje o zářiči SORAD. Zapište aktivitu Americia i stroncia v zářiči. Americium $^{241}_{95}Am$ má poločas rozpadu 433 roků a stroncium $^{90}_{38}Sr$ 29 let. Určete jejich rozpadové konstanty, určete množství (hmotnost) radioaktivních izotopů v zářiči. Předpokládejte, že atomová relativní hmotnost je přibližně hodnota hmotnostního čísla.

Úloha č. 3

Radioaktivní zářiče

Pomůcky: Měřič intenzity záření IT_66, souprava různých zářičů, hlásič požáru, tabulky.

Seznamte se s měřičem intenzity záření IT_66.

Při jakékoli změně nechte měřič asi 20 sekund nabíhat na konečnou hodnotu. Počet impulzů registrovaných měřičem můžete slyšet ve sluchátku.

Popište jednotlivé zdroje záření a seřaďte je podle intenzity v bezprostřední blízkosti povrchu zářičů. V příloženém seznamu máte vždy označen druh radioaktivní látky v zářiči.

Zapište aktivitu a druh zářiče v hlásiči požáru, v tabulkách nalezněte poločas rozpadu a pak určete množství (hmotnost) americia v hlásiči požáru.

Úloha č. 4

Určení poločasu rozpadu izotopu s krátkým poločasem rozpadu

Pomůcky: Souprava Gamabeta a příslušenství s radioaktivním preparátem s krátkou dobou rozpadu.

Seznamte se s činností detektoru soupravy Gamabeta a s ním spojeného čítače. Naměřte intenzitu pozadí 2 x 100 s. Velmi opatrně propláchněte nuklidový generátor fyziologickým roztokem a ihned začněte měřit v těsně na sebe navazujících časových intervalech. Měření musí bezprostředně navazovat. Jakmile přestane čítač počítat další impulsy, zapište hodnotu displeje a znova spusťte. Nakonec znova změřte intenzitu pozadí 2 x 100 s a průměrnou hodnotu odečtete od naměřených hodnot aktivity radionuklidu ve 100 sekundových intervalech. Sestrojte sloupcový graf závislosti počtu impulsů na čase. Odhadněte poločas rozpadu sledovaného radionuklidu. Zapište z návodu u zářiče, o jaký jde izotop, a porovnejte vámi zjištěný poločas rozpadu s tím, co uvádí výrobce.

Úloha č. 5

Pohyb nabitých částic v magnetickém poli, určení náboje emitovaných částic.

Souprava gamabeta s příslušenstvím.

Seznamte se s detektorem záření GAMABETA. Určete pozadí záření měřením v intervalu 2 x 100 s. Sestavte jednotlivé části dle návodu. Namiřte zdroj beta záření mimo detektor a zjistěte počet impulsů. Zjistěte orientaci pólů magnetu a zasuňte magnet, znova změřte. Pak změňte orientaci pólů magnetu a zjistěte změnu četnosti registrovaných impulsů. Rozhodněte o směru síly působící na svazek záření a podle Flemingova pravidla levé ruky pro magnetickou sílu určete náboj pohybující se částice.

Literatura

- [1] <http://danyk.cz/ion.html>
- [2] <http://kdf.mff.cuni.cz/tabor/2011/LMFNekor2011.php>
- [3] <http://www.techlib.com/science/ion.html>
- [4] Polák Z.: *Jaderné záření ve škole*. In: Sborník konferencí projektu Heuréka Dílny Heuréky 2003-2004. Ed.: Dvořák L., Prometheus Praha 2005. s. 109-116., ISBN 80-7196-316-X
- [5] <http://kdf.mff.cuni.cz/tabor/2013/LMFKorenov2013.php>