

Nukleárne analytické metódy

Rádioaktivita je jav, pri ktorom sa jadrá atómov jedného prvku samovoľne premieňajú na jadrá iného prvku, pričom dochádza k emisii žiarenia. Jadrá, ktoré majú túto vlastnosť sa volajú rádionuklidy.

Rýchlosť rádioaktívnej premeny sa riadi zákonitosťami pravdepodobnosti.

$$-\frac{dN}{dt} = N\lambda$$

Pravdepodobnosť premeny jedného jadra na druhé za jednotku času vyjadruje konštanta premeny λ (premenová konštanta). Konštanta premeny je mierou nestability jadier a je charakteristickou veličinou každého rádionuklidu. Jej jednotkou je s^{-1} .

$$dN = -N\lambda dt \Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

Integrovaním diferenciálnej rovnice sa získa výraz:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

Po jeho odlogaritmovaní:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Rádionuklid je charakterizovaný polčasom premeny (dobou polpremeny) $T_{1/2}$. Polčas premeny je doba, za ktorú sa premení polovica na začiatku prítomných atómov. Vzťah medzi dobou polpremeny a premenovou konštantou vyjadrujú rovnice:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \ln 2 \approx 0,693 \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}$$

Aktivita je mierou intenzity rádioaktívneho žiarenia. Aktivita je definovaná ako počet rádioaktívnych premien za jednotku času.

Na základe rovníc vyjadrujúcich rýchlosť rádioaktívnej premeny je možné konštatovať, že aktivita klesá exponenciálne s časom. Pre aktivitu A v čase t platí vzťah:

$$A = A_0 \exp(-\lambda t) \Rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 \exp(-0,693 t / T_{1/2})$$

A = aktivita v čase t

A_0 = aktivita v čase t_0

λ = konštanta premeny

e = základ prirodzených logaritmov

Jednotkou aktivity je jeden Becquerel.

$$1 \text{ Bq} = s^{-1}$$

Staršou jednotkou je 1 curie (1 Ci).

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} \quad (1 \text{ mCi} = 37 \text{ MBq})$$

Jednotkou mCi býva označená aktivita v starších etalónoch rádionuklidov s dlhou dobou polpremeny, ktoré sa používajú na kalibráciu meracích zariadení.

Aktivita býva vyjadrená rôznymi spôsobmi:

- | | |
|---|---|
| • hmotnostná aktivita (špecifická aktivita) | $a_m (\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1})$ |
| • objemová aktivita | $a_V (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$ |
| • plošná aktivita | $a_S (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2})$ |
| • mólová aktivita | $a_n (\text{Bq} \cdot \text{mol}^{-1})$ |

Významné miesto medzi analytickými metódami zaujímajú nukleárne analytické metódy. Sú založené na meraní vlastností rádioaktívneho žiarenia vysielačného stanovovanou látkou (druh žiarenia, energia žiarenia, intenzita žiarenia, polčas premeny $T_{1/2}$), alebo na výsledkoch interakcie externého rádioaktívneho žiarenia rádionuklidového zdroja s analyzovanou sústavou.

Na meranie rádioaktívneho žiarenia sa používajú detektory žiarenia v spojení s meracími vyhodnocovacími jednotkami.

Úlohou detektorov ionizujúceho žiarenia je premeniť energiu žiarenia, ktorá je absorbovaná v citlivom objeme detektora, na spracovateľný elektrický signál alebo inú dobre merateľnú fyzikálnu veličinu – napr. prúdový impulz, napäťový impulz. Tieto sú zaznamenávané meracími jednotkami – počítačmi impulzov, alebo spektrometrickými jednotkami.

Detektory:

Detektory sa rozdeľujú podľa fyzikálnych účinkov ionizujúceho žiarenia s hmotou na:

1. ionizačné detektory, ktoré využívajú pre detekciu žiarenia ionizáciu plynovej náplne detektora:
 - ionizačná komora
 - proporcionálny detektor
 - Geiger-Müllerov detektor (GM-trubica, GM-detektor)
2. scintilačné detektory, ktoré využívajú pre detekciu žiarenia vznik svetelného záblesku v scintilátore detektora
3. polovodičové detektory, ktoré využívajú pre detekciu žiarenia zmenu vodivosti polovodičového materiálu
4. iné detektory – napr. iskrové detektory, Čerenkov detektory, Wilsonova hmlová komôrka, bublinkové komory, fotografické emulzie

Výber detektora na meranie rádioaktivity vzoriek je podmienený druhom žiarenia, ktoré je potrebné detegovať (účinnosť detekcie pre jednotlivé druhy žiarenia je rôzna). Výber detektora podmieňuje aj spôsob stanovenia rádioaktivity – priame stanovenie rádioaktivity ionizačnou komorou, nepriame stanovenie aktivity scintilačným detektorom, GM- detektorom, polovodičovým detektorom.

Pri spektrometrických meraniach – pri určovaní energie žiarenia je nutné, aby meraná veličina závisela od energie žiarenia. Najčastejšie sa používajú scintilačné detektory, ktorých svetelný výťažok závisí od druhu aj energie žiarenia a polovodičové detektory.

Meracie vyhodnocovacie zariadenia:

Meracie vyhodnocovacie zariadenia, ku ktorým je pripojený detektor, sú zložené z blokových častí.

- stabilizovaného zdroja nízkeho napätia
- stabilizovaného zdroja vysokého napätia
- lineárneho zosilňovača
- diskriminátora, alebo analyzátor impulzov – jednokanálového, alebo mnohokanálového
- počítač impulzov, merača počtosti impulzov, alebo registračné zariadenie

Zosilňovač slúži na úpravu signálu získaného detektorom tak, aby tento signál bol merateľný a mohol sa ďalej spracovať. V napäťovom, alebo impulzovom zosilňovači sa impulz lineárne zosilní (zachová sa konštantný zisk, t.j. pomer veľkosti vstupného a výstupného impulzu), oddelí sa od elektronického šumu a vhodným spôsobom sa tvaruje.

Diskriminátor vyberá impulzy, ktoré dosiahnu určitú prahovú veľkosť. Na výstupe diskriminátora sa objaví impulz len vtedy, keď prestúpi amplitúda signálu na vstupe nastavenú amplitúdovú hodnotu. Má nelineárnu charakteristiku. Postupne ním možno potlačiť impulzy s nižšou amplitúdou.

Amplitúdový analyzátor uskutočňuje výber impulzov podľa ich amplitúdy, ktorá je úmerná energii žiarenia absorbovaného v detektore. Je tvorený dvomi diskriminátormi. Jeden diskriminátor je nastavený na dolnú prahovú hodnotu a neprepúšťa impulzy, ktoré sú menšie ako nastavená veľkosť. Druhý je nastavený na vyššiu hornú úroveň a neprepúšťa impulzy s väčšou amplitúdou, ako je horná medza. Rozdiel medzi nimi sa nazýva šírkou kanálu. Na analyzátoch možno voliť dva pracovné režimy: integrálny a diferenciálny.

Pri integrálnom režime nie sú prepúšťané na vstup registračnej jednotky impulzy s amplitúdou menšou než je istá nastavená úroveň (diskriminačná hladina).

Pri diferenciálnom režime sú prepúšťané iba impulzy s určitou veľkosťou amplitúdy, impulzy s amplitúdou menšou alebo väčšou nie sú registrované. Tento režim umožňuje registrovať impulzy, ktoré vznikajú absorpciou žiarenia s jednou určitou energiou. Toto nastavenie sa používa pri cielenej detekcii daného rádionuklidu. Pri postupnom premeraní rôznych energií sa získa energetické spektrum žiarenia.

Na stanovenie rozdelenia veľkosti amplitúd impulzov sa používajú jednakanálové alebo mnohakanálové analyzátory.

Zariadenia s **jednakanálovým analyzátorom** sa používajú najmä na stanovenie rádioaktivity daného rádionuklidu nepriamou metódou, ale aj pri identifikácii rádionuklidov meraním spektier β a γ . Pri práci je vymedzený vyhodnocovací interval dolnou a hornou diskriminačnou úrovňou - amplitúdou. Pri nej sú po stanovený čas registrované len impulzy, ktoré svojou veľkosťou spadajú do tohoto intervalu. Pri spektrometrických meraniach je zachovaná šírka vyhodnocovacieho intervalu kanál. Táto sa postupne posunie na stupnici amplitúd o jeden kanál až sa sa premeria celý rozsah amplitúd. Meranie spektier rádionuklidov, ktoré slúžia na zistenie energie žiarenia a tým aj na identifikáciu rádionuklidu, pomocou jednakanálového analyzátoru je zdĺhavé a v praxi nevýhodné. Z celého spektra impulzov, ktoré prichádzajú na vstup je analyzátorom registrovaná len malá časť, ktorá odpovedá šírke okna analyzátoru, spravidla 1-2% celkového rozsahu. Pri nízkej početnosti impulzov registrovaných v kanále je nutné voliť dlhé časové intervaly a zmeranie celého spektra je neúnosne dlhé.

Pre meranie spektier rádionuklidov sa v súčasnej dobe používajú tzv. **mnohakanálové analyzátory**, v ktorých napäťový rozsah zvyčajne 10 V, je rozdelený na veľký počet kanálov (napr. 512, 1024, 2048, 4096...). Tieto mnohakanálové analyzátory sa používajú najmä v spojení s polovodičovými detektormi. Mnohakanálový analyzátor má dve základné časti: ADC – prevodník a digitálnu pamäť. ADC prevodník prevádza analógovú veličinu - výšku elektrického impulzu na digitálnu hodnotu, t.j. počet impulzov generovaných oscilátorom. Dosiahne sa to zaradením kondenzátora do špeciálneho elektrického obvodu. Jeho náboj je úmerný výške privedeného impulzu a kondenzátor sa následne vybíja lineárne s časom. Počas doby vybíjania kondenzátora sú v osciloskope štandardne generované impulzy. Počet generovaných impulzov je úmerný výške impulzu. Tieto sú roztriedené do jednotlivých kanálov a zaznamenané v digitálnej pamäti. Počet impulzov v jednotlivých kanáloch možno vyhodnocovať graficky znázornením spektra na obrazovke, alebo tak že obsahy jednotlivých kanálov sa vytlačia v číselnej forme. Rozlišovacia schopnosť rastie s počtom kanálov. Mnohakanálové analyzátory umožňujú vzájomné porovnávanie spektier, korekciu na pozadie, ale tiež integrovanie počtov impulzov v zvolenej časti spektra. Po energetickej kalibrácii zariadenia priamo v spektre sú identifikované rádionuklidy.

Registračné zariadenie slúži na registráciu impulzov, ktorá sa realizuje dvojakým spôsobom.

Pri digitálnom vyhodnotení pomocou **počítača impulzov** (sčítavača) sa zaznamenáva celkový počet impulzov v danej časovej jednotke v jednoduchej elektronickej pamäti.

Sčítavač je obvykle spojený so stopkami, pomocou ktorých sa predvolí doba merania. Po jej uplynutí sa meranie zastaví a displej ukazuje výsledný akumulovaný počet impulzov.

Pri integrálnom vyhodnotení sa používa **merač početnosti**, v ktorom sa početnosť impulzov prenáša na výchylku ručičky meradla pozdĺž očiachovanej stupnice. Indikuje sa priemerný počet impulzov, ktorý bol zaznamenaný počas určitého voliteľného časového intervalu označovaného ako časová konštanta zariadenia. Čím je časová konštanta väčšia, tým je kolísanie ručičky meradla pri určitej početnosti menšie. Merač početnosti býva spojený so zapisovačom, ktorý graficky zaznamenáva početnosť impulzov v závislosti od času.

Univerzálne meracie zariadenia umožňujú aj digitálne aj integrálne vyhodnotenie. Pomocou tzv. riadiacich jednotiek možno automatizovať opakované spúšťanie meracieho cyklu, zaznamenanie nameraných hodnôt, posun analyzátoru po zvolených časových intervaloch, alebo postupné meranie vzoriek uložených v zásobníkoch.

Stanovenie obsahu draslíka v liečivách meraním rádioaktivity ^{40}K

Prvok, ktorý je zmesou niekoľkých izotopov a obsahuje aspoň jeden rádioizotop v stálom percentuálnom zastúpení, môže sa stanoviť na základe merania jeho rádioaktivity. Chemická analýza sleduje zvyčajne stanovenie celkového obsahu prvku vo vzorke. Pre stanovenie celkového obsahu prvku je potrebné poznať izotopové zloženie daného prvku.

Z hľadiska rádioaktivity prírodného prostredia je ^{40}K jedným z najvýznamnejších rádionuklidov. Priemerná koncentrácia draslíka v zemskej kôre je 2,5 %, čo pri izotopovom výskyte ^{40}K , ktorý je v celkovom zastúpení 0,0118 %, vedie k priemernej koncentrácii $2,9 \cdot 10^{-3} \%$ ^{40}K v zemskej kôre. Rádioaktivita ^{40}K predstavuje najvýznamnejšiu zložku prírodnej rádioaktivity zemskej kôry a vôd oceánov. Draslík sa nachádza v mnohých látkach organického i anorganického pôvodu: v pôde, minerálnych vodách, v ľudskom tele, ale aj v liečivách a mnohých chemikáliách (najčastejšie napr. v hnojivách).

Prírodný draslík má konštantné izotopové zloženie: je zmesou troch izotopov s nukleónovými číslami 39, 40, 41. Izotopy ^{39}K (93,08%) a ^{41}K (6,91%) sú stabilné, izotop ^{40}K je rádioaktívny, jeho zastúpenie medzi ostatnými izotopami draslíka je 0,0118 %. Keďže má dlhý polčas premeny (viac než miliardu rokov), rozpadá sa dostatočne pomaly od obdobia svojho vzniku, takže ho môžeme pozorovať ešte aj dnes.

Izotop draslíka ^{40}K :

- emituje žiarenie β^- (88%) s energiou $E_{\beta, \max} = 1,35 \text{ MeV}$ pričom vzniká ^{40}Ca
- emituje žiarenie γ (12%) s energiou $E_{\gamma} = 1,46 \text{ MeV}$ pri elektrónovom záchyte pričom vzniká argón ^{40}Ar

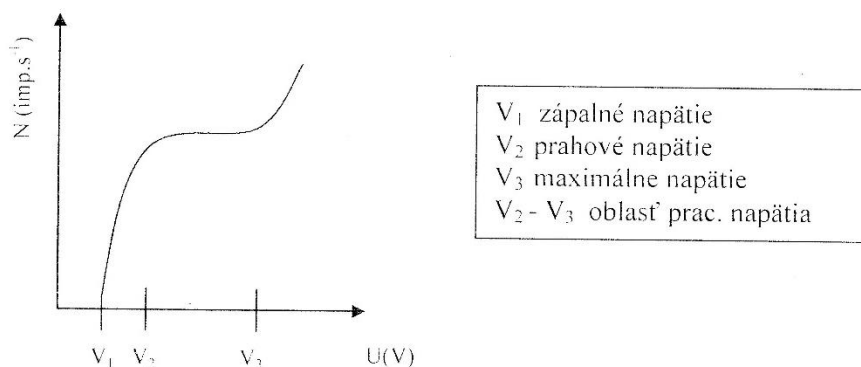
Metóda stanovenia draslíka v tuhých vzorkách (napr. liečivách) je založená na meraní prírodnej rádioaktivity ^{40}K . Izotopové zloženie draslíka sa nemení, t.j. pomer množstva rádioaktívneho izotopu k celkovému množstvu prvku je pre všetky vzorky konštantný. Obsah draslíka vo vzorke sa stanoví na základe porovnania meraní prirodzenej rádioaktivity vzorky (^{40}K) s meraním prirodzenej rádioaktivity štandardov, ktoré obsahujú presne definované množstvo draslíka. Pre stanovenie obsahu draslíka sa použije metóda kalibračnej krivky. Toto stanovenie draslíka je rýchle a presnosťou sa vyrovnáva gravimetrickej metóde stanovenia. Jeho nevýhodou je potreba väčšieho množstva vzorky k analýze.

K práci je potrebná laboratórna meracia súprava s počítačom impulzov (trojkanálová spektrometrická jednotka NV 3201 so sieťovým napájačom NJ 3221), ku ktorej je pripojený detektor (okienková GM – trubica) a nosič vzoriek s oloveným tienením.

Geiger-Müllerov detektor (GM-trubica):

GM-trubicu tvoria dve elektródy uzavreté v sklenom alebo kovovom obale. Katóda má tvar dutého kovového valca, kým anódu tvorí kovové vlákno uložené v ose katódy. Obal, v ktorom sú uložené elektródy, je naplnený plynom, napr. héliom alebo argónom v zmesi s parami alkoholu. GM-trubica pracuje za vysokého napätia. Elektródy sú navzájom izolované, plynová náplň je nevodivá a neprechádza ňou žiaden prúd. Dopad rádioaktívneho žiarenia na detektor, spôsobí ionizáciu jeho plynovej náplne a vyvolá v GM- trubici krátku dobu trvajúci elektrický výboj, ktorý spôsobí v elektrickom obvode trubice napäťový impulz. Vplyvom silného elektrického poľa pri putovaní vzniknutých iónov k elektródam dochádza k sekundárnej ionizácii plynovej náplne. Každá častica ionizujúceho žiarenia vyvolá tak mohutné lavíny iónov, že príslušný elektrický impulz nezávisí ani od druhu žiarenia, ani od energie primárnej častice. GM – trubica pracuje s tzv. plynovým zosilnením. Počet impulzov vyvolaných rádioaktívnym žiarením odpovedá počtu častíc žiarenia, ktoré dopadli do trubice a sleduje sa pomocou nukleárneho počítača.

Používajú sa dva typy GM trubíc: plášťové a okienkové. Kvalitu GM-trubice zisťujeme pomocou pracovnej charakteristiky trubice, ktorá vyjadruje závislosť nameranej početnosti impulzov od napätia vloženého na elektródy trubice pri konštantnom toku rádioaktívnych častíc dopadajúcich na detektor. V oblasti pracovného napätia GM trubice (V_2 - V_3) veľkosť nameranej početnosti nezávisí od energie.



Obr.: Pracovná charakteristika GM trubice

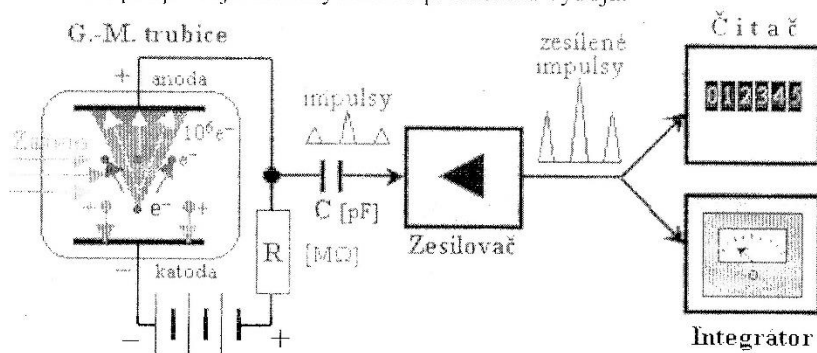
Nevýhodou GM- trubice pri meraní je mŕtva doba GM trubice. Ionizujúca častica, ktorá vnikla do GM- trubice vyvolá ionizáciu plynovej náplne. Záporné ióny sa pohybujú k elektróde rýchlejšie ako kladné, a preto nastáva rekombinácia iónov plynovej náplne až po určitej dobe, ktorej odpovedá časový úsek τ , ktorý sa označuje ako mŕtva doba. Ionizujúce častice, ktoré dopadajú do GM trubice počas tejto doby, nemôžu byť detegované. Až po rekombinácii všetkých iónov plynovej náplne trubice je trubica schopná detegovať ďalšie častice. Je známy matematický vzťah medzi počtom dopadajúcich (N_0) a registrovaných častíc (N) a mŕtvou dobou trubice (τ).

$$\frac{N_0}{N} = \frac{1}{1 - \tau \cdot N}$$

Zmeranie mŕtvej doby sa často robí dvojzdrojovou metódou – zmeria sa početnosť jedného zdroja A, druhého zdroja B a oboch zdrojov spolu.

$$\tau = (n_A + n_B - n_{A+B}) / (2 \cdot n_A \cdot n_B) + n_{A+B} \cdot (n_A + n_B - n_{A+B}) / (4 \cdot n_A \cdot n_B) \cdot 10^6 [\mu s].$$

V ionizovanej plynovej náplni však dochádza k rekombinácii iónov a k deexcitácii vzbudených atómov, čo je sprevádzané emisiou fotónov ultrafialového žiarenia. Fotóny UV žiarenia sú schopné ionizovať a vyražať fotoelektrickým javom z katódy ďalšie elektróny, čo predlžuje výboj a tým mŕtvu dobu detektora. Preto sa do plynovej náplne pridáva zhasacia látka (bývajú to pary metylalkoholu, brómu a pod.). Ich molekuly absorbujú fotóny UV žiarenia a prispievajú tak k rýchlemu prerušeniu výboja.



Bloková schéma merania rádioaktívneho žiarenia s GM – detektorom
(<http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>)

Meracie zariadenie: Analyzátor JKA 300

Analyzátor JKA 300 slúži na spracovanie signálu z detektora ionizujúceho žiarenia – plynového ionizačného detektora – GM-detektora alebo scintilačného detektora.

Obsahuje tri nezávislé meracie trasy – každá trasa je tvorená 100 kanálovým amplitúdovým analyzátorom impulzov a počítacom impulzov.

Spôsob merania vzoriek:

- Študent umiestni štandard alebo vzorku pod GM-detektor a v základnom menu kurzorom vyberie **>START<** a potvrdí ENT.
- Meranie sa automaticky spustí, v dvoch rovnako nastavených analyzátoroch. Meranie treba opakovať 3x po 100 s. Jedna dvojica zapisuje parametre z analyzátoru

č.1 jedna a druhá z analyzátoru č.2. Na displeji je možné pozorovať meranie v dvoch analyzátoroch. Po meraní na displeji vľavo sú uvedené pod sebou početnosť z analyzátoru č.1 a analyzátoru č.2. Vpravo je uvedená početnosť za 1s z jednotlivých analyzátorov. Študent si zapisuje početnosti za 100 s. Meranie opakuje 3x po sebe, údaj zapisuje do tabuľky.

- Vymení štandard vzorku pod detektorom, stlačí kláves ESC, tým sa vráti do základného menu a spustí ďalšie meranie **>START<** ENT. Takto pokračuje kým nezmeria všetky štandardy a vzorku.
- Prístroj sa vypína v poradi LCD displej – páčka dole, centrálny vypínač páčka dole.

Prístroj pred meraním musí byť zapnutý 15 minút.

Upozornenie!!!

Pri správnom meraní početnosti impulzov vzorky treba zachovávať určité podmienky – rovnaké geometrické rozmery preparátov (hrúbka, plocha, homogénnosť vzorky), ale aj geometrické podmienky pri detekcii. Vzorky tuhého skupenstva musia byť dôkladne vysušené.

Čím je vzorka bližšie k detektoru, tým jej nepatrný posun spôsobí značný rozdiel v nameranej početnosti. Chyby spôsobené samoabsorpciou žiarenia rôznych druhov vzoriek (napr. rôznych druhov draselných solí) môžu byť odstránené použitím veľmi tenkej vzorky, kde nedochádza k samoabsorpcii, alebo veľmi hrubou vrstvou – nasýtenou vrstvou, kde ďalšie zväčšovanie hrúbky nemá vplyv na nameranú početnosť. Pri meraní sa môžu prejaviť aj chyby spôsobené odrazom a rozptylom, preto sa pracuje s rovnakými vzorkovnicami, Mylarovými fóliami.

Z uvedených dôvodov je nutné viacnásobné zmeranie vzorky a štandardov, pri akejkoľvek zmene podmienok detekcie musia byť štandardy a vzorky zmerané opätovne, prípadne musia byť výsledky skorigované na štandard meraný periodicky.

ÚLOHA 1: Stanovenie obsahu draslíka vo vzorkách meraním prirodzenej rádioaktivity izotopu ^{40}K

1. príprava štandardov

- štandardy obsahujú 50 g zmesi - príslušnej draselnej a sodnej soli; sú pripravené vo vzorkovniciach z plastu, prekryté fóliou
- príklady zloženia štandardov: $\text{KCl} + \text{NaCl}$; $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$; $\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{Na}_2\text{CrO}_4$; $\text{CH}_3\text{COOK} + \text{CH}_3\text{COONa}$
- štandardy majú obsahovať 0,00%; 4,20%; 8,20%; 13,00%; 15,60%; 18,80%; 23,50% celkového draslíka
- izotop ^{40}K predstavuje **0,0118%** draslíka
- úlohou je vypočítať potrebné návažky daných draselných a sodných solí pre prípravu 50 g štandardu (podľa zadania pedagóga) a v tabuľke uviesť hmotnosť celkového draslíka ako aj izotopu ^{40}K v štandardoch

Štandard					
Obsah celkového K [%]	hmotnosť K v 50 g štandardu [g]	hmotnosť draselnej soli v 50 g štandardu [g]	hmotnosť sodnej soli v 50 g štandardu [g]	hmotnosť ^{40}K v 50 g štandardu [g]	% obsah ^{40}K v 50 g štandardu

2. príprava vzoriek

- vo vzorkovniciach sú navážené rôzne draselné soli (napr. KCl , K_2CO_3 , K_2CrO_4 , CH_3COOK)
- úlohou je vypočítať percentuálny obsah celkového K a izotopu ^{40}K

vzorka	M_r [g/mol]	obsah celkového K [%]	obsah izotopu ^{40}K [%]
K	39,098		
KCl	74,551		
K_2CO_3	138,205		
K_2CrO_4	194,190		
CH_3COOK	98,15		

3. meranie počtosti štandardov → zostrojenie kalibračnej krivky

- tesne pod detektor umiestnite štandard, začnite so štandardom s najvyšším obsahom draslíka
- pri všetkých meraniach musia byť dodržané konštantné geometrické podmienky

- úlohou je zmerať každý štandard 3x, namerané hodnoty zaznamenajte do tabuľky → vypočítajte aritmetický priemer a zostrojte kalibračnú krivku ako závislosť nameranej početnosti N jednotlivých štandardov od obsahu draslíka vyjadreného hmotnostným percentom → zistíte parametre rovnice priamky ($y = ax + b$)

obsah K [%]	Nameraná početnosť N [imp/100 s]			
	I.	II.	III.	priemer

4. meranie početnosti vzorky → výpočet obsahu draslíka vo vzorke

- úlohou je zmerať konkrétnu vzorku podľa zadania pedagóga 3x; vypočítať pomocou rovnice priamky obsah celkového draslíka vo vzorke a vyjadriť hmotnostné percento stanovovanej draselnej soli vo vzorke

vzorka	Nameraná početnosť N [imp/100 s]				% celkového K	% draselnej soli
	I.	II.	III.	priemer		

- do protokolu je potrebné uviesť všetky výpočty, namerané hodnoty ako aj kalibračnú krivku
- v závere je potrebné zhodnotiť stanovenie obsahu draslíka na základe merania prirodzenej rádioaktivity, čo sa podarilo (nepodarilo) stanoviť; čo je príčinou prípadných odchýlok a nepresností

ÚLOHA 2: Príklady zamerané na použitie vzorcov odvodených zo zákona rádioaktívnej premeny. Výpočet aktivity A, polčasu premeny $T_{1/2}$ a i.

- výpočty podľa zadania pedagóga na lab.cvičení; do protokolu uviesť aspoň 1 výpočet príkladu