

METROLÓGIA RÁDIOAKTÍVNEHO ŽIARENIA

Štefan Húšťava

Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Trnavská univerzita

Priemyselná 4, 918 43 Trnava, SR

e-mail: shustava@truni.sk

Abstrakt: V práci je analyzovaný význam a náplň metrológie rádioaktívneho žiarenia. Podrobne je vykonaný rozbor veličín a jednotiek na meranie pri monitorovaní rádioaktivity. Zvlášť je venovaná časť k otázkam o biofyzikálnych veličinách a účinkoch ionizujúceho žiarenia. Záverečná časť je venovaná stanoveniu veličín ionizujúceho žiarenia, meraniu rádioaktivity, dávky a expozície.

Abstract: (Metrology of the Radioactive Radiation)

In the paper is analysed the merit and workload of metrology (measuring accuracy technique) of the radioactive radiation. In detail is made an analysis of values and units for measuring at the radioactivity monitoring. Especially a part is devoted to problems of the biophysical values and influences of ionizing radiation. The finishing part is devoted to estimation values of the ionizing radiation, radioactivity measuring, dose and exposition measuring.

Key words: metrology of ionising radiation, radioactivity, dose and exposition measuring, dose definitions, detectors for radioactivity measuring.

Úvod

Meranie je jedným zo základných prostriedkov poznávania prírody človekom, spájajúcim teóriu s praktickou činnosťou človeka. Nie náhodou sa stalo meranie pilierom modernej vedy a techniky. Meranie umožňuje získavanie vedeckých poznatkov, kvantifikáciu materiálnych zdrojov, zabezpečenie požadovanej kvality výroby, kompatibilitu súčastí a celku, zdokonaľovanie technologických postupov, automatizáciu výroby, štandardizáciu, zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci a uplatňuje sa v celom rade ďalších oblastí ľudskej činnosti. Otázkami teórie a praxe merania sa zaoberá metrológia, tj. náuka o meraní, o zabezpečení jeho jednotnosti, o spôsoboch zaistenia požadovanej presnosti, a tiež o metódach a prostriedkoch k dosiahnutiu týchto cieľov. Metrológiu možno považovať za teoretickú základňu meracej techniky. Obecne metrológia zahŕňa v sebe všetko čo súvisí s pojmom meranie, teda otázky nielen technické a teoretické, ale aj právne a spoločenské. Medzinárodný charakter metrológie je daný dnešnou medzinárodnou výrobnou spoluprácou, ekonomickými vzťahmi a vedeckým výskumom. Môžeme povedať, že metrológia je vedný a technický odbor obsahujúci všetky znalosti a činnosti týkajúce sa merania.

1. Náplň metrológie

Meracie jednotky – jednotky fyzikálnych a technických veličín, sústavy veličín, sústavy jednotiek a definícia jednotiek. Meranie – zahŕňa meracie postupy, tj. sled úkonov nutných k meraniu a najmä meracie metódy. Meradlá – medzi meradlá patria miery a meracie prístroje, ktoré v porovnaní s mierami sa líšia tým, že pri ich používaní sa niektorá hlavná funkčná časť meradla pohybuje vzhľadom k časti inej. Miery a meracie prístroje, ktoré v určitej historickej etape realizujú jednotku príslušnej veličiny s najvyššou možnou presnosťou, nazývajú sa etalóny. Etalóny sú meradlá určené k definovaniu, uchovávaníu a reprodukcii meracej jednotky pri jej prenose na iné meradlo [1]. Fyzikálne konštanty sú

významné v základnom výskume a pretože ich určovanie potrebuje meranie s najvyššou presnosťou, patrí táto činnosť celkom organicky do metrologie. Takými konštantami sú napríklad elementárny náboj, Avogadrova konštanta, pokojová hmotnosť elektrónu, Planckova konštanta a pod.

Ďalšou skupinou konštant sú najčastejšie najrôznejšie materiálové konštanty, ich určovanie môže byť požadované s rôznou presnosťou. Metrologiu možno podľa určitého hľadiska deliť na teoretickú (nazývanú taktiež vedeckou) a aplikovanú. Úlohy a ďalší rozvoj teoretickej metrologie zabezpečujú výskumné metrologické ústavy. V slovenskej republike je to Slovenský metrologický ústav (SMÚ) v Bratislave.

Teoretická metrologia sa zaoberá výskumom v nasledujúcich oblastiach: definícia jednotiek, etalóny, vývoj nových meradiel, metódy meraní, časová stálosť etalónov, odvodzovanie násobných a ďalších etalónov, meranie hodnôt rôznych veličín a stanovenie základných fyzikálnych konštant.

2. Veličiny a jednotky používané pri monitorovaní rádioaktivity životného prostredia a v ochrane pred žiarením

Všetky veličiny používané pri monitorovaní rádioaktivity životného prostredia možno zaradiť do určitej logickej postupnosti, na začiatku len s rýdzo fyzikálnymi veličinami popisujúce zdroje žiarenia. Tieto veličiny úplne nepostačujú k nájdeniu a popisu vzťahu medzi ožiareními a účinkom. K tomu sú potrebné ďalšie veličiny biofyzikálneho charakteru, pri vymedzení ktorých sa uplatňujú faktory a koeficienty získané empiricky v biomedicínskom výskume.

Veličiny a jednotky zdrojov ionizujúceho žiarenia – v oblasti ionizujúceho žiarenia boli zavedené a zvláštne nazvané jednotky aktivity A – *becquerel* (Bq), absorbovanej dávky D – *gray* (Gy), dávkového ekvivalentu H – *sievert* (Sv).

Aktivita rádionuklidu je stredný počet premien, ktoré nastanú za jednotku času. $A = \frac{dN}{dt}$,

jednotkou aktivity rádionuklidu je reciproká sekunda (s^{-1}) so zvláštnym názvom becquerel (Bq). S aktivitou rádionuklidu úzko súvisí veličina pre ktorú jednotku becquerel nie je možné používať. Je to premenová konštanta λ (s^{-1}), ktorá úzko súvisí so strednou dobou života

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \text{ (s) a polčas premeny } T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \text{ (s).}$$

Pole žiarenia môže byť opísané podľa účinkov na látku nachádzajúcu sa v danom objeme, alebo v danom myslenom bode. Na tomto sú založené veličiny nazývané dozimetrické. Pole nepriamo ionizujúceho žiarenia (fotóny, neutróny) možno výhodne opísať veličinou, ktorá obdržala názov *kerma* K , podľa začiatkových písmen pôvodného anglického názvu (kinetic energy released in material, alebo kinetic energy released per unit mass). Kerma je súčinom fluencie energie Ψ a hmotnostného súčiniteľa prenosu energie $\mu_{K,m}$, $K = \Psi \cdot \mu_{K,m} = \Phi \cdot E \cdot \mu_{K,m}$.

Kerma v určitom bode je tiež definovaná ako stredný súčet počiatkových kinetických energií všetkých nabitých častíc uvoľnených nepriamo ionizujúcimi časticami na jednotku hmotnosti

látky, v ktorej boli častice uvoľnené: $K = \frac{dE_K}{dm}$, pričom E_K je súčet počiatkových kinetických

energií všetkých nabitých častíc uvoľnených nepriamo ionizujúcim žiarením v látke o hmotnosti dm . Jednotkou kermy je joule na kilogram ($J \cdot kg^{-1}$) so zvláštnym názvom gray (Gy).

Podobne ako kerma je definovaná veličina *expozičie* X , doteraz najčastejšie používaná v opise polí röntgenového žiarenia a žiarenia gama. Je to v danom bode určená absolútna hodnota celkového elektrického náboja iónov jedného znamienka, vzniknutých vo vzduchu pri zbrzdení všetkých elektrónov a pozitronov uvoľnených fotónmi, pripadajúceho na jednotku

hmotnosti, v ktorom boli elektróny uvolnené: $X = \frac{dQ}{dm}$, jednotkou expozície je coulomb na kilogram $C.kg^{-1}$.

Mierou účinku priamo aj nepriamo ionizujúceho žiarenia na látku je dávka, alebo *absorbovaná dávka*. Dávka v určitom mieste látky je definovaná ako stredná energia odovzdaná ionizujúcim žiarením látke, pripadajúcej na jednotku hmotnosti látky, ktorej bola

energia odovzdaná. $D = \frac{dE_D}{dm}$, pričom E_D je stredná energia odovzdaná ionizujúcim

žiarením objemovému elementu o hmotnosti dm . Jednotkou dávky D je joule na kilogram ($J.kg^{-1}$) so zvláštnym názvom gray (Gy). Tento zvláštny názov gray možno použiť aj pre iné jednotky ionizujúcich žiarení, ako je merná odovzdaná energia alebo dávkový index D_I . Nemožno ho však použiť pre jednotku $J.kg^{-1}$ mernej energie potravín, paliva a pod.

Dávka, kerma a expozícia boli odvodené od fluencie častíc, alebo od energie. Podobnými vzťahmi možno odvodiť od hustoty toku častíc alebo energie dávkový príkon, kermový príkon a expozičný príkon. Tieto veličiny možno definovať aj časovými deriváciami príslušných veličín.

$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$; $\dot{K} = \frac{dK}{dt}$; $\dot{X} = \frac{dX}{dt}$. Jednotkou dávkového a kermového

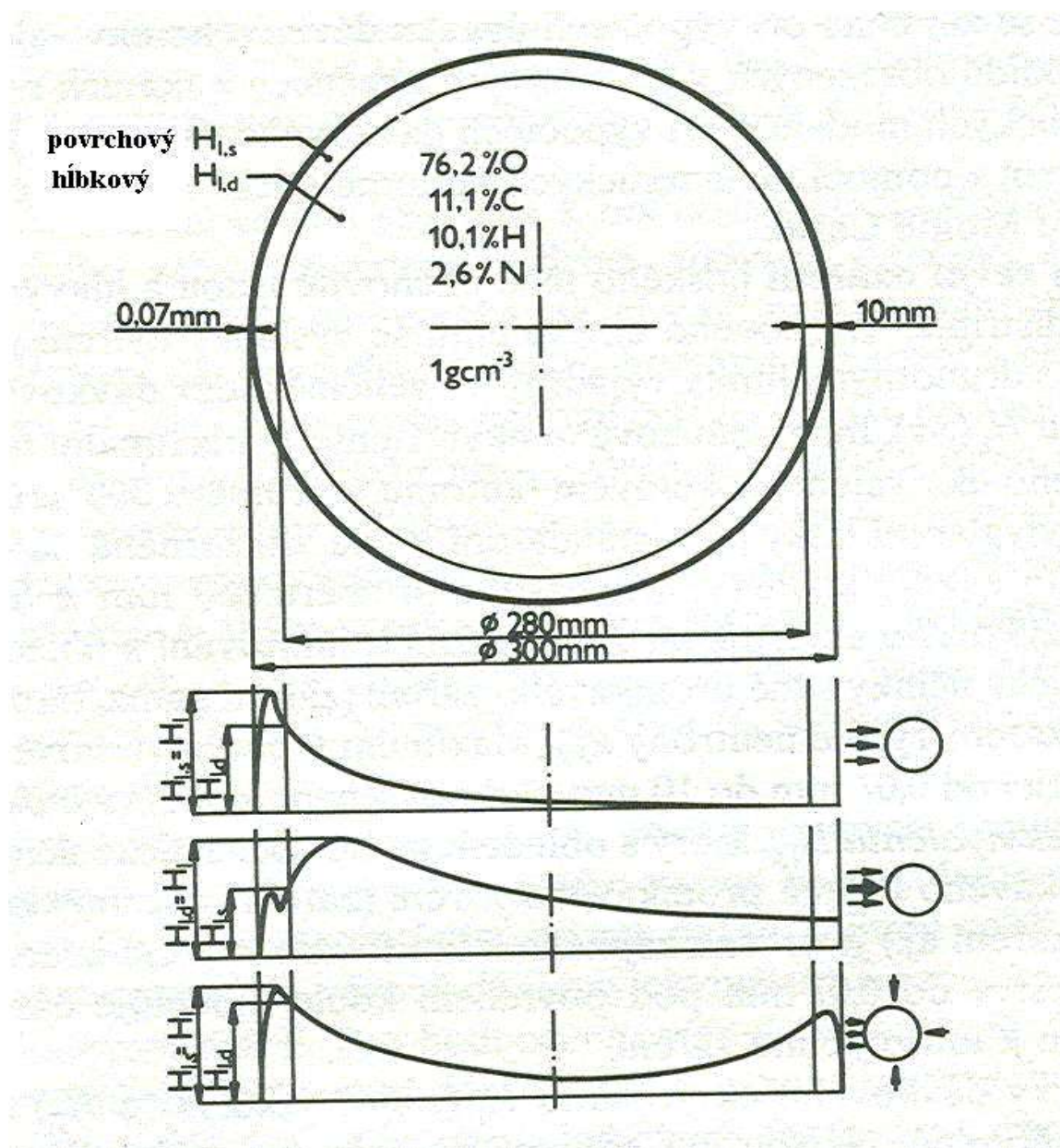
príkONU je gray za sekundu $Gy.s^{-1}$ a expozičného príkonu ampér na kilogram $A.kg^{-1}$ alebo $C.kg^{-1}.s^{-1}$. Ak je účelné možno použiť aj vedľajšie jednotky napr.: $Gy.h^{-1}$ alebo $C.kg^{-1}.min^{-1}$ [2],[3].

Biofyzikálne veličiny a účinky ionizujúceho žiarenia – účinok ionizujúceho žiarenia na živé organizmy závisí okrem dávky aj na druhu žiarenia a podmienkach ožarovania. Veličinou, v ktorej je rešpektovaná rôzna biologická účinnosť jednotlivých druhov ionizujúceho žiarenia na ľudský organizmus, je *dávkový ekvivalent* H . Je to súčin dávky v danom bode a príslušných bezrozmerných modifikujúcich činiteľov v ľubovoľnom mieste tkaniva, pričom dávka je daná v príslušnom mieste (bode) tkaniva. $H = D.Q.N$. Akostný faktor Q má na zreteli vplyv mikroskopického rozdelenia energie odovz danej tkanivu na zdravotnú ujmu, N je súčin všetkých ďalších modifikujúcich faktorov. Sú pre ňu stanovené konvenčné hodnoty závislé na hustote ionizácie vyjadrené pomocou neobmedzeného lineárneho prenosu energie L_{∞} , alebo zrážkovej lineárnej schopnosti S_{col} . Boli prijaté na základe hodnôt relatívnej biologickej účinnosti (RBÚ) tak, aby boli nezávislé na orgáne či tkanivu aj na druhu uvažovaného biologického účinku. Ak nie je pre dané ožiarenie známe rozdelenie dávky podľa L_{∞} v uvažovanom objeme tkaniva, nemožno zistiť odpovedajúcu strednú hodnotu akostného faktoru Q . V takom prípade sa použijú takéto konvenčné hodnoty: elektróny, fotóny gama a X žiarenia $Q = 1$; tepelné neutróny $Q = 2,3$; neutróny a protóny s neznámou energiou $Q = 10$; častice alfa a iné ťažké častice s neznámou energiou $Q = 20$. Pre súčin ostatných modifikujúcich faktorov sa berie v súčasnej dobe na základe konvencie vo všetkých prípadoch $N = 1$. Jednotkou dávkového ekvivalentu je joule na kilogram $J.kg^{-1}$ a používa sa preň zvláštny názov sievert (Sv). Zvláštny názov sievert sa používa aj pre jednotky veličín odvodených od dávkového ekvivalentu i v jednotke príkonu dávkového ekvivalentu \dot{H} ($Sv.s^{-1}$, alebo $Sv.h^{-1}$).

Pre vonkajšie ožiarenie ľudského tela, menovite trupu a hlavy, pri neznámej distribúcii dávkového ekvivalentu sa výsledky merania pre porovnanie s druhotnými limitmi vyjadrujú vo veličine index dávkového ekvivalentu H_I . Index dávkového ekvivalentu je maximálna hodnota dávkového ekvivalentu v guľovom fantóme o priemere 300 mm z tkaniva ekvivalentnej látky obr. 1. Index dávkového ekvivalentu je definovaný pomocou štandardnej gule zobrazenej v reze. Na grafe pod guľou je znázornený priebeh dávkového ekvivalentu pozdĺž jeho priemeru a sú naznačené miesta v guľi, kde hodnota dávkového ekvivalentu

odpovedá indexu H_I , povrchovému indexu $H_{I,s}$ a hĺbkovému indexu $H_{I,d}$ pri ožiarení slabo aj silne prenikavým žiarením (silné a tenké šípky), ktoré prichádzajú z rôznych smerov, ako je naznačené pri príslušných krivkách grafov pod guľou.

Maximum v jadre gule (vnútornej časti) o priemere 280 mm je *hĺbkový index dávkového ekvivalentu* $H_{I,d}$ slúžiaci k limitovaniu s ohľadom na stochastické účinky silne prenikavého žiarenia (žiarenie gama, tvrdé röntgenové žiarenie, rýchle neutróny a i.). Maximum v povrchovej vrstve gule ležiacej od 0,07 mm do 10 mm pod povrchom je *povrchový index dávkového ekvivalentu* $H_{I,s}$, ktorý s ohľadom na nestochastické účinky silne prenikavého aj slabo prenikavého žiarenia (žiarenie beta, mäkké röntgenové žiarenie a i.) slúži najmä k limitovaniu ožiarenia kože. Povrchová vrstva do 0,07 mm pod povrchom gule modeluje časť kože necitlivú k ionizujúcemu ožiareniu.



Obr. 1. Definícia indexu dávkového ekvivalentu pomocou štandardnej gule $\Phi = 300$ mm

Priestorový dávkový ekvivalent $H^*(10)$ či H^* v určitom bode je dávkový ekvivalent, ktorý by zodpovedajúce usporiadané a rozšírené pole spôsobilo v hĺbke $d = 10$ mm

v štandardnej guľi na polomere smerujúcom proti smeru usporiadania poľa. Pre silne prenikavé žiarenie usporiadané a rozšírené pole je, v ktorom fluencia a jej energetické rozdelenie sú rovnaké ako u rozšíreného poľa, ale fluencia prichádza z jedného smeru akoby žiarenie bolo zoradené, tj. prúd žiarenia v tomto smere je rovný toku žiarenia. Dozimetrický prístroj s izotropnou odozvou a kalibrovaný v jednotkách H^* bude merať správne, ak bude pole dostatočne uniformné v medziach detekčného objemu prístroja a ak bude prístroj vyrobený tak, aby v jeho odozve bol v závislosti na energii častíc zahrnutý príspevok od spätného rozptylu (štandardná guľa, telo) a zoslabenie vo vrstve $d = 10$ mm.

3. Stanovenie veličín ionizujúceho žiarenia

Veličiny ionizujúceho žiarenia môžeme stanoviť v zásade dvomi spôsobmi: výpočtom alebo meraním. Výpočtová metóda vychádza zo znalostí niektorých parametrov zdroja žiarenia, poľa žiarenia alebo interakcie žiarenia s látkou, ktoré nakoniec tiež musia byť určené experimentálne. Vidieť, že práve meranie je základným prostriedkom, ktorý umožňuje získať čo najúplnejšiu informáciu o ionizujúcom žiarení samotnom i jeho rozmanitých fyzikálnych, chemických, prípadne biologických účinkoch. Bol vyvinutý celý rad metód, ktoré mali rozsiahle uplatnenie nielen pri štúdiu vlastností rádionuklidov a ionizujúceho žiarenia vôbec, ale tiež v ďalších oblastiach, kde sa meranie využíva k rôznym účelom.

Aplikácia ionizujúceho žiarenia vo vede, technike, medicíne, rádiobiológii a v mnohých iných odboroch je nerozlučne spojené s požiadavkami na jeho adekvátne meranie. Je zrejmé, že tieto požiadavky budú do značnej miery závisieť na účele a cieľoch, ktorý príslušný druh aplikácie alebo merania sleduje. Z tohto hľadiska mimoriadny dôraz sa kladie najmä na stanovenie veličín vzťahujúcich sa k zdroju merania. Pritom zvláštna pozornosť sa venuje predovšetkým meraniu aktivity rádionuklidov, lebo presnosť určenia tejto veličiny je vo väčšine prípadov rozhodujúcim faktorom, ktorý má priamy dopad na kvalitu a reprodukovateľnosť danej aplikačnej metódy. Navyiac, v prípade lekárskeho diagnostických vyšetrení pomocou rádionuklidov, nesprávne dávkovanie môže mať nepriaznivé účinky na zdravie.

Pre dozimetriu a ochranu pred žiarením má veľký význam stanovenie dávky, expozície a ďalších veličín vyjadrujúcich ako vlastnosti poľa žiarenia, tak aj výsledky interakcie žiarenia s látkou, pričom prednostne nás zaujímajú procesy, ku ktorým dochádza v mäkkom tkanive. Nároky na presnosť merania v tejto oblasti sa riadia radom rôznych okolností a podmienok. Je pochopiteľné, že štandardizácia zväzkov a porovnávacie merania na fantomoch budú vyžadovať tú najvyššiu mieru presnosti, zatiaľ čo pre niektoré monitorovacie účely postačuje nižšia presnosť. Treba zdôrazniť, že dosiahnutie vyššej presnosti merania vyžaduje o mnoho zložitejšie zariadenia a náročnejší postup pri spracovaní a vyhodnocovaní výsledkov.

V zásade môžeme meranie, ako je známe, rozdeliť do dvoch skupín a to na meranie **absolútne** a **relatívne**. Metrológia ionizujúceho žiarenia sa prednostne zaoberá metódami absolútneho stanovenia príslušných veličín. V nasledujúcom veľmi stručne naznačíme jednotlivé metódy a postupy týkajúce sa prevažne problematiky priameho určenia aktivity rádionuklidov, expozície a dávkového ekvivalentu.

3.1 Meranie aktivity rádionuklidov

Problém merania množstva rádioaktívnych látok vznikol hneď po objavení rádioaktivity A. H. Becquerelom v roku 1896. Požiadavky na meranie žiarenia súviseli aj s ďalšími významnými objavmi z konca 19. storočia. Boli to predovšetkým X lúče objavené W. C. Röntgenom v roku 1895 a objav rádia manželmi Curieovcami v roku 1898. V prvopočiatoch

sa jednalo o meranie ionizačného prúdu medzi doskami kondenzátora, kde dochádzalo k ionizácii. Táto hodnota prúdu bola v podstate prvou jednotkou, pomocou ktorej sa vyjadrovalo množstvo rádioaktívnej látky.

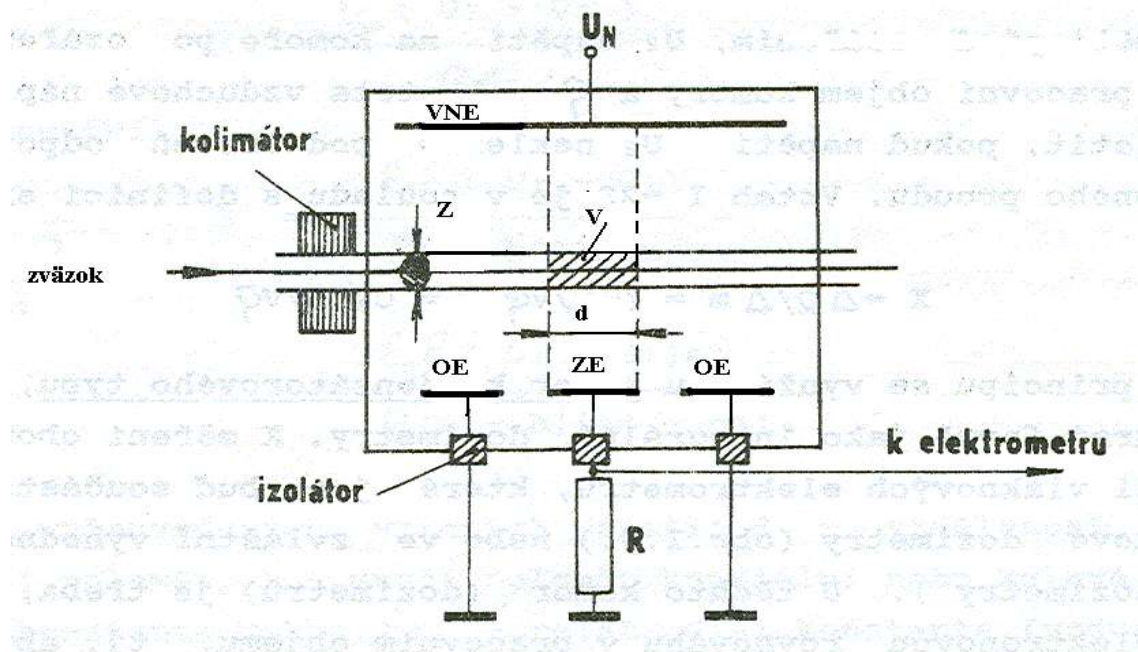
Neskoršie bolo Kongresom pre rádiológiu a elektrinu rozhodnuté zaistiť prípravu medzinárodných a sekundárnych štandardov (etalónov), ktoré by lepšie umožňovali porovnávanie merania rádioaktivity. Tieto etalóny boli pripravované M. Curie-Sklodowskou v Paríži a O. Höngschmidtom vo Viedni. Prvé etalóny boli kvantifikované na základe ich hmotnosti. Aj predchádzajúca jednotka aktivity, 1 Ci bola odvodená od počtu rádioaktívnych premien radónu, ktorý je v rovnováhe s 1 g rádia. Ľahko sa dá presvedčiť (presným meraním v platinovom filtri o hrúbke 0,5 mm [1]), že tomuto množstvu rádia zodpovedá približne $3,7 \cdot 10^{10}$ premien za sekundu. Rádium, i keď má relatívne dlhý polčas premeny, nie je vhodným etalónom hlavne preto, že spolu so svojimi dcérskymi produktmi emituje mnoho rôznych častíc. V súčasnej dobe, keď aktivitu vyjadrujeme počtom rádioaktívnych premien za jednotku času, sa vo funkcii etalónov najčastejšie používajú nasledujúce rádionuklidy: ^{24}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{42}K , ^{60}Co , ^{65}Zn , $^{90}\text{Sr}+\text{Y}$, ^{131}I , ^{137}Cs , ^{198}Au , ^{241}Am a ešte aj mnohé iné v závislosti na konkrétnych požiadavkách.

3.2 Meranie dávky a expozície

Pre praktické aplikácie stanovenia dávky sa často využívajú dutinové ionizačné komory. Ak prihliadneme k všetkým dielčím chybám a neurčitostiam, dospejeme k záveru, že celková neistota pri stanovení dávky fotónového žiarenia, alebo elektrónov použitím dutinových ionizačných komôr sa pohybuje okolo 1 až 3 %. Ak chceme merať dávku (dávkový príkon) v tkanive, treba aby steny komory boli vyrobené z materiálu prvkovým zložením imitujúcim tkanivo, také materiály sa nazývajú tkanivu ekvivalentné.

Na stanovenie dávky (dávkového príkonu), kermu (kermového príkonu) expozície (expozičného príkonu) vo vzduchu sa v metrológii ionizujúceho žiarenia používa normálová (etalónová) ionizačná komora, v anglosaskej literatúre označovaná ako free – air ionization chamber. Táto komora umožňuje meranie fotónového žiarenia v energetickom rozsahu cca 5 až 3000 keV. Jej náčrt je na obr. 2. Ak má pracovať v oblasti vyšších energií fotónov, potom ide o objemné zariadenie. Žiarič je umiestnený v kolimačnom kryte a do komory vstupuje úzky zväzok gama lúčov s prierezom Z, ktorý prechádza medzi rovnobežne umiestnenými elektródami. Na hornú elektródu sa privádza kladné vysoké napätie (VNE – vysokonapäťová elektróda), záporný pól je spojený so zemou. Spodná elektróda je rozdelená na tri časti. Na prostrednú zbernú elektródu ZE naväzujú z oboch strán uzemnené vyrovnávacie elektródy (OE – ochranné elektródy) slúžiace k zaisteniu homogenity elektrického poľa v okolí meracieho objemu V vymedzeného prierezom zväzku Z a dĺžkou zbernej elektródy d. Zberná elektróda je spojená so zemou cez merač ionizačného prúdu [5].

Normálová ionizačná komora pri atmosferickom tlaku sa používa ako primárny etalón expozície prakticky už od roku 1928. Pritom energia zväzku musí byť na jednej strane dostatočne vysoká k tomu, aby sa príliš neuplatňovala absorpcia vzduchu, a súčasne na druhej strane, dostatočne nízka tak, aby sa pri prijateľných rozmeroch dosiahlo elektrónovej rovnováhy. Tieto požiadavky obmedzujú bežné ionizačné komory pre fotónové zväzky s energiami medzi 5 až 300 keV. Pri atmosferickom tlaku by bola normálová ionizačná komora neúmerne veľká už pre meranie zväzkov ^{137}Cs a ^{60}Co . Z uvedených dôvodov sa pre tieto účely používajú tlakové ionizačné komory, ktoré sú pomerne zložité a drahé. K stanoveniu expozície je omnoho jednoduchšia aplikácia dutinových ionizačných komôr, ktoré môžu slúžiť ako primárny etalón tejto veličiny aj u zväzkov s energiou nad 1 MeV.



Obr. 2. Principiálne usporiadanie normálovej ionizačnej komory [5].

Neexistuje prakticky žiadna metóda, ktorá by umožnila stanovenie expozície v súlade s jej definíciou. Využíva sa preto skutočnosť, že expozícia je súčasne rovná náboju, ktorý je vzťahnutý k jednotkovej hmotnosti. Podiel náboja a hmotnosti vzduchu sa berie ako miera expozície [5].

Ionizačných komôr rôznych veľkostí a tvarov sa hojne používa pre sekundárnu etalonáž, meranie vo zväzkoch, v rádioterapii, v životnom prostredí a pod.

Zaujímavé bolo hodnotenie kvality plynom plnenej ionizačnej komory v dvoch rôznych referenčných zariadeniach pre kalibráciu radónových meraní: EML (USA) a PTB Braunschweig (Spolková Republika Nemecko). Stanovenie koncentrácie radónu pomocou ionizačnej komory bolo v dobrej zhode pri porovnaní s referenčnou radónovou koncentráciou vykonanou metrologickými laboratóriami EML a PTB [6]. Výsledky meraní radónu ionizačnou komorou boli vo veľmi dobrej zhode s neistotou 0,03% s etalónmi EML a PTB.

Dávku, alebo koncentráciu od prírodných rádioizotopov môžeme veľmi presne stanoviť (s presnosťou blízkou etalónom) aj pomocou polovodičových detektorov [7]. Vyvinutá metrologická metóda stanovenia koncentrácie aktivity ^{226}Ra a ^{210}Po pomocou hyper čistého germániového koaxiálneho detektora, dosahovala neistotu merania v priemer okolo 3%, čo je s takýmto meracím systémom veľmi dobrá hodnota.

Na meranie dávky, alebo dávkového ekvivalentu žiarenia gama často sa používajú proporcionálne detektory [8]. Majú veľkú výhodu, že sú v nich kumulované mnohé výhody Geiger-Müllerových detektorov a ionizačných komôr. Pri bežných meraniach a monitorovaniach dávky, alebo príkonu dávkového ekvivalentu sa výhodne uplatňujú v mnohých odvetviach priemyselnej výroby a prevádzok. Z výsledkov testu skúšobného protokolu štátnej typovej skúšky vyplýva, že sonda je vhodná na meranie v rozsahu, ktorý udáva výrobca s neistotou do 10%, čo je veľmi dobrá hodnota pre meranie dávky a príkonu dávkového ekvivalentu plynom plnenými proporcionálnymi detektormi [9]. Tento detektor bol testovaný aj v referenčnom PTB laboratóriu Braunschweig (SRN) a vykazoval vlastné pozadie porovnateľné s ionizačnými komorami [10].

Záver

Ionizujúce žiarenie zasahuje svojou povahou a fyzikálnymi vlastnosťami do mnohých vedných odborov a preto bolo užitočné zaoberať sa s meracími metódami, pomocou ktorých možno absolútne stanoviť hodnotu veličín charakterizujúcich toto žiarenie. Bolo prehľadne pojednané o metódach merania aktivity, emisie zdrojov žiarenia, dávky a expozície. Po určitej stagnácii jadrovej energetiky po černobyľskej havárii znovu začína sa ožívať využívanie jadrových energetických zdrojov a rádioizotopov v priemysle a neposlednom rade aj v životnom prostredí. Sú konštruované stále bezpečnejšie jadrovoenergetické zariadenia a najmä jadrové elektrárne moderného bezpečnejšieho typu s inherentnou a pasívnou bezpečnosťou. Preto bolo v predchádzajúcich kapitolách analyzované meranie a metrologia rádioaktívneho žiarenia v životnom prostredí a jeho vplyv na človeka. V poslednej kapitole je vykonaný prehľad niektorých presných meradiel a meracích metód pri monitorovaní pre priemyselné účely a životného prostredia. Vychádzajúc z cieľov merania, príslušných veličín a neistôt je možné rozhodnúť sa pre výber vhodného meracieho prístroja z uvedených vyššie.

Literatúra

- [1] Musílek L., Šeda J., Trousil J.: Dozimetrie ionizujícího záření, ČVUT Praha, 1992.
- [2] Fricke, H. , Morse, S. : The Chemical Action of Roentgen Rays on Dilute Ferrous Sulfate Solutions as a Measure of Dose, Am. J. Roentgenol. 18 , 1927
- [3] Bragg, W. H.: Studies in radioactivity , Macmillan, New York 1912
- [4] Gray, L. H.: An Ionization Method for the Absolute Measurement of Gamma-Ray Energy, Proc. Roy. Soc. A 156 , 1936
- [5] Knoll, G. F.: Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, New York, 1989
- [6] Ishikawa T., Tokonami S., Kobayashi Y., Sorimachy A., Yatabe Y., Miyahara N.: Evaluation of Gas-filled Ionization Chamber Method for Radon measurement at Two Reference facilities. In.: The Natural Radiation Environment 8th International Symposium, Rio de Janeiro, Brasil 7 – 12 October 2007
- [7] Almeida M., Delgado J., Poledna L., Oliviera M., Silva R.: Metrological Determination of Natural Radioactive Isotopes ^{226}Ra and ^{210}Po by Means of Ge Detector In.: The Natural Radiation Environment 8th International Symposium, Rio de Janeiro, Brasil 7 – 12 October 2007
- [8] Bitt Technology – A, RS04 Proportionalsonde, Spillern, Wienerstrasse 70, A-2104 Austria, 2008.
- [9] MKEH Budapest (Štátny metrologický ústav) číslo skúšobného protokolu štátnej typovej skúšky: TH-8524/4/2007, Budapest 2007
- [10] Bitt Technology, RS04 Proportionalsondetesten PTB Braunschweig, Spillern, Wienerstrasse 70, A-2104 Austria, 2002.