

Matematicko-fyzikálny časopis

Alojzia Stankovičová; František Minárik; Karol Ďurček
Príspevok k metodike absolútnej dozimetrie Sr⁹⁰

Matematicko-fyzikálny časopis, Vol. 11 (1961), No. 3, 214--221

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/126683>

Terms of use:

© Mathematical Institute of the Slovak Academy of Sciences, 1961

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

PRÍSPEVOK K METODIKE ABSOLÚTNEJ DOZIMETRIE Sr^{90}

ALOJZIA STANKOVIČOVÁ, FRANTIŠEK MINÁRIK.

KAROL ĎURČEK, Bratislava

Riešenie úlohy. Sledovanie vylučovania Sr^{90} z organizmu močom na našom ústave postavilo do popredia úlohu určiť aktivitu vyšetrovaných vzoriek absolútne. Vzorky, o chemickom spracovaní ktorých sa hovorí na inom mieste [17], nachádzali sa v podobe odparenej zrazeniny na hliníkovej miske a merali sa pomocou G—M trubíc na ich aktivitu beta.

Známym [1] vzťahom: $N = 2,22 \cdot 10^{12} \eta A$ je daný súvis medzi N nameraným počtom impulzov/minútu zaznamenaným na elektronickom zariadení a aktivitou A preparátu v jednotkách Curie; η je koeficient a zahrnuje väčší počet opráv, ktorých precízne určenie za daných experimentálnych podmienok značne znevýhodňuje túto inak veľmi jednoduchú a čo sa týka technického vybavenia dosť nenáročnú metódu na absolútne stanovenie aktivity.

Koeficient účinnosti zahrnuje tieto faktory:

$$\eta = \eta' \cdot p \cdot G \cdot q \cdot K \cdot S,$$

η' je vlastná účinnosť trubice, tento koeficient sa pre beta trubice rovná 1 [2].

Koeficient p udáva počet emitovaných častíc pripadajúcich na jeden rozpad. Túto hodnotu, ak vieme, o aký rádioaktívny izotop ide a poznáme príslušnú rozpadovú schému, vyčítame v tabuľkách izotopov [3].

G je koeficient geometrie. Udáva vlastne podiel žiarenia, ktoré dopadne do účinného priestoru trubice vzhľadom na celkové žiarenie emitované do celého priestoru. Tento faktor sa stanoví výpočtom, súvisí s geometrickými podmienkami merania. Pre jeho určenie boli odvodené vzorce, ako pre prípad bodového zdroja umiestneného v osi trubice, tak pre prípad, že zdroj je plošný a má podobu kruhu [4]. Zdalo by sa teda, že určenie tohto koeficientu je jednoduché, stačí určiť potrebné parametre a použiť pre výpočet odvodenú formulu. Ťažkosť je však v tom, že pri teoretických odvodiach sa vychádza z početných predpokladov, ktorých splnenie v praxi sa nedosahuje. Jedným z týchto predpokladov je, že celý priestor v trubici je rovnako účinný.

Tendencia je [5] žiarenie kolimovať clonou predradenou pred okienko G—M trubice. Voľba veľkosti clony súvisí s veľkosťou okienka a zdroja. Je snaha použiť čo možno najmenšiu clonu, pokiaľ to samozrejme dovoľuje aktivita vzorky.

Koeficient q — odraz a rozptyl od podložky vystupuje vo výpočtoch vždy vtedy, ak meraný preparát je nanosený na nejakej podložke, od ktorej sa žiarenie odráža, resp. rozptyľuje. Efekt spätného odrazu a rozptylu skúmali mnohí autori. Koeficient q je podiel aktivity nameranej, ak vzorka je na podložke, a aktivity vzorky bez podložky. Z výsledkov týchto skúmaní je jasné, že preparát je najvýhodnejšie merať, ak je bezpodložkový, t. j. nanosený na tenkú blanku (o plošnej váhe asi 20 mg/cm^2), vtedy sa q rovná 1; alebo použiť podložku hrúbky nasýtenia. Zistilo sa totiž, že koeficient q narastá so zväčšovaním hrúbky podložky do istej hodnoty, ktorá potom zostáva konštantná, nezávislá od ďalšieho zväčšovania hrúbky podložky. Tá hrúbka podložky, pre ktorú koeficient q sa už nemení, je hrúbka nasýtenia rovná približne dvojnásobku polovrstvy pre dané žiarenie a daný materiál podložky.

Hodnota koeficientu q pre hrúbku nasýtenia závisí od poradového čísla materiálu podložky a zostáva pre všetky beta žiariče s energiou väčšou ako $0,6 \text{ MeV}$ prakticky konštantná. Tým je teda daná možnosť použiť pre určenie q nejaké údaje z literatúry, napr. graf Burthov uvedený tiež v [10]. Podrobné skúmania v novej dobe [11] poukazujú však na neizotropnosť spätno odrazeného a rozptýleného žiarenia, tým je vysvetliteľná závislosť koeficientu odrazu a rozptylu od geometrického usporiadania.

Ak nepoužijeme podložku hrúbky nasýtenia, ako aj v prípade, že použitý rádioaktívny izotop má energiu emitovaných častíc menšiu ako $0,6 \text{ MeV}$, treba koeficient q určiť experimentálne.

Koeficient K — koeficient absorpcie súvisí s pohltitím žiarenia v prostredí, ktorým prechádza. Pri presných meraniach treba brať do úvahy absorpciu žiarenia jednak vo vzduchu medzi preparátom a okienkom počítača a v materiáli okienka. Koeficient K je daný pomerom N/N_0 , kde N_0 je aktivita neoslabeného žiarenia a N nameraná aktivita, ak žiarenie prechádza hmotným prostredím. Ak sa určuje koeficient K experimentálne, sleduje sa závislosť nameranej aktivity N (relatívne v impulzoch za minútu) od hrúbky absorpčnej vrstvy. Najčastejšie sa používa ako absorbér alúminium, jeho hrúbka sa vyjadruje v mg/cm^2 . Z takto zistenej závislosti sa extrapoláciou pre nulovú hrúbku absorbéru určí N_0 . Táto závislosť má exponenciálny charakter $N = N_0 e^{-\mu d}$, kde d je hrúbka absorpčnej vrstvy a μ koeficient absorpcie. Absorpcia žiarenia sa najmä pri malých hrúbkach odchyľuje od exponenciálneho zákona [11]. Táto odchýlka je tým výraznejšia, čím je beta žiarenie mäkkšie. Určiť extrapoláciou hodnotu N_0 spôsobuje preto značné ťažkosti.

V rôznych tabuľkách [12] existujú početné údaje pre koeficient absorpcie μ , resp. pre polovrstvu $A = \ln 2/\mu$, resp. existujú poloempirické formule na výpočet týchto konštánt na základe znalostí maximálnej energie beta spektra príslušného rádioaktívneho prvku. V literatúre sú ďalej odporúčania pre ďalšie korekcie, upresňujúce hodnoty týchto konštánt, ak absorbér je iný materiál ako alúminium. Je však

otázka, či tieto prepočty sú rentabilné, ak samy hodnoty μ , resp. Δ získané pomocou rôznych formlí sa medzi sebou nekryjú.

Koeficient S samoabsorpcie a samorozptylu vo vlastnom preparáte sa určuje ako pomer početnosti preparátu konečnej hrúbky ku početnosti preparátu tej istej aktivity, ale vo vrstve bez váhy. Do r. 1950 sa predpokladalo, že závislosť koeficientu S od hrúbky preparátu je exponenciálna. Až Collie, Shaw, Gale [15] zistili, že exponenciálny charakter je pri tenkých vrstvách narušený objavením sa maxima. Toto maximum autori správne vysvetlili superpozíciou dvoch vzájomne odlišných javov: samorozptylu, ktorý zväčšuje početnosť preparátu, a pohltienia, ktoré znižuje početnosť. V tenkých vrstvách prevláda samorozptyl, kým v hrubých preparátoch podstatnú úlohu má pohltienie.

Koeficient S závisí od efektívneho atómového čísla zlúčeniny, ktorá nesie aktívny prvok, od štruktúry preparátu, od hrúbky pohlcujúcej vrstvy medzi preparátom a účinným objemom G—M trubice, od energie beta častíc.

Ak nie je možné pracovať s veľmi tenkými zdrojmi, hrúbky $A/80$ pre $Z_{ef} \leq 40$ a $A/200$ pre $Z_{ef} > 40$, kde A je polovrstva hliníka a Z_{ef} je efektívne atómové číslo vyšetrovanej zlúčeniny, keď koeficient S možno položiť rovný 1 (chyba tým spôsobená neprevyšuje 1 % [16]), treba určiť koeficient S experimentálne.

Zisťuje sa závislosť zmeny početnosti od hrúbky preparátu, zmeraním vzoriek s rovnakou aktivitou pri rôznom množstve neaktívnej látky ako nosiča.

Experimentálne usporiadanie a merania. Na meranie sa používajú beta trubice typu 30/50 B. Trubica je upevnená v olovenom kryte hrúbky 5 cm, zvnútra je obložený hliníkovým plechom. Preparát nanosený na hliníkovej miske sa umiesti na podložke z plexiskla. Podložka sa zasúva do stojančeka; je možných 5 rozličných polôh preparátu. Týmto usporiadaním možno vždy presne určiť a presne dodržať geometriu, v ktorej sa meria.

V našich meraniach sme určili geometriu za dvojakých okolností:

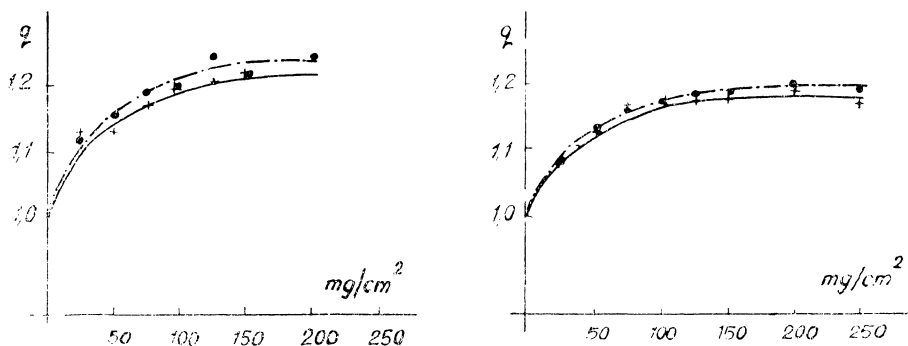
1. bez použitia externej clony,
2. pred okienko trubice sa zaradila mosadzná clona hrúbky 3 mm, ktorá mala otvor o polomere 0,91 cm.

Koeficient G vypočítaný pre plošný zdroj sa určil pomocou tabuliek [12]. Potrebné parametre (polomer misky, polomer okienka, resp. kruhové clony a vzdialenosť preparátu od okienka, resp. od horného okraja clony) sa určili ako priemerné hodnoty z 10 meraní.

Koeficient q , t. j. odraz a rozptyl od podložky sa určoval experimentálne. Použila sa vzorka rovnakej veľkosti ako nami používané preparáty, nanosená na tenkú blanku napnutú na rámičku. Pod túto blanku sa podkladali postupne hliníkové fólie o hrúbke 25 mg/cm^2 a zisťovala sa závislosť pomeru početnosti $I_x/I_0 = q$ od hrúbky podložky x udanej v mg/cm^2 . (I_x početnosť nameraná pri hrúbke podložky x , I_0 početnosť pri nulovej hrúbke, t. j. početnosť preparátu nanoseného na blanku.)

Merala sa závislosť koeficientu q od hrúbky hliníkovej podložky v rôznych nami používaných vzdialenostiach preparátu od okienka a pri použití clony pred okienkom.

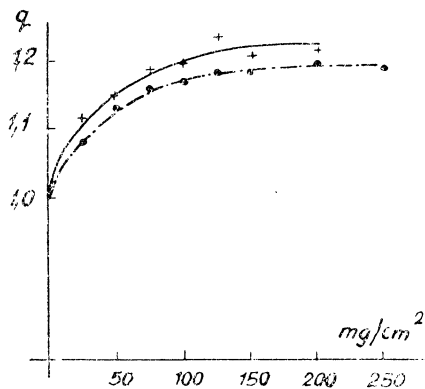
resp. bez clony. Nájdená závislosť čo do charakteru plne zodpovedá krivke dobre známej z literatúry. Zo všetkých kriviek vidieť, že hrúbka nasýtenia pre alumíniovú podložku a izotop Sr^{90} v rovnováhe s Y^{90} je prakticky už $100\text{--}200\text{ mg/cm}^2$.



Obr. 1. Závislosť koeficientu q od hrúbky Al podložky (pred okienko G—M trubice je pridradená clona) pre 2 vzdialenosti preparátu od okienka. Obr. 2. Závislosť koeficientu q od hrúbky Al podložky (pred okienko G—M trubice nie je zaradená clona) pre 2 vzdialenosti preparátu.
 — — — — — poloha 2, — — — — — poloha 5

Na obr. 1, resp. na obr. 2 je porovnaná závislosť q od hrúbky podložky pre 2 krajné polohy, polohu 2 a 5 (poloha 2 zodpovedá vzdialenosti preparátu od okienka 3,25 cm a poloha 5 9,38 cm). I keď je vidieť, že hodnota q pre hrúbku nasýtenia je väčšia pre bližšiu polohu zdroja k okienku, sú rozdiely malé v rámci pozorovacích chýb. Aritmetický priemer pre hodnotu q pri meraní bez clony je $q = 1,19$ a pre meranie s clonou $q = 1,21$ pri hrúbke nasýtenia. Tieto výsledky sú v dobrej zhode s výsledkami v práci [7], kde koeficient spätného obrazu a rozptylu pre Na^{24} s maximálnou energiou 1,40 MeV uvádzaný 1,21.

Zaujímavé sú porovnávaná na obr. 3, 4 a 5. Na všetkých troch grafoch sa porovnáva krivka závislosti q od hrúbky podložky, a síce pri tej istej vzdialenosti preparátu od okienka; plnou čiarou je vyťahnutá krivka závislosti, ak pred okienko bol zaradená clona, a prerušovanou čiarou je znázornená závislosť, ak žiarenie externe kolimované nebolo. Na všetkých troch grafoch je potvrdené, že koeficient odrazu a rozptylu nadobúda väčšie hodnoty pri vyclonení žiarenia. To je v súlade s pozorovaniami o neizotropickom rozdelení odrazeného žiarenia, podľa ktorých je uprednostnený

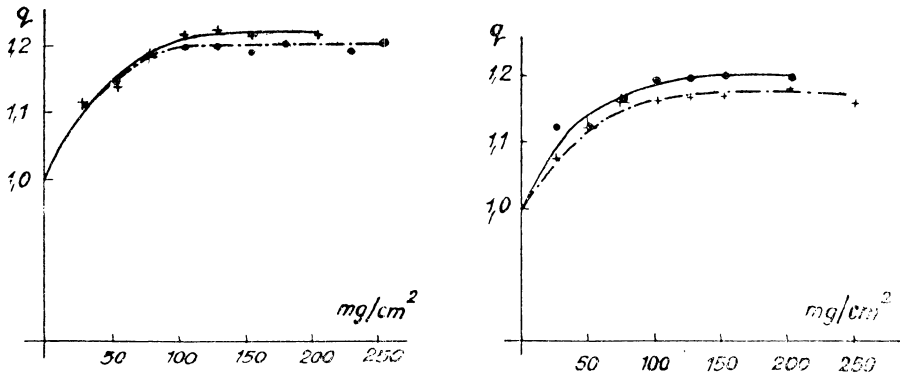


Obr. 3. Závislosť koeficientu q od hrúbky Al podložky pri pevnej vzdialenosti preparátu od okienka (poloha 2). — — — — — pred okienkom G—M trubice je clona, — — — — — bez clony

smer kolmý na podložku. Rozdiel hodnoty q pri hrúbke nasýtenia je 0,02–0,03.

Robiť nejaké ďalekosiahle závery z týchto nemnohých meraní nie sme oprávnení, ale pre určenie koeficientu q zdá sa nám správnejšie použiť experimentálne výsledky získané za používaných podmienok merania.

Koeficient K , t. j. podiel žiarenia pohlteneho vo vzduchu a v okienku trubice pre 5 rôznych polôh preparátu sme určili dvojakým spôsobom: 1. výpočtom a 2. experimentálne.



Obr. 4. Závislosť koeficientu q od hrúbky Al podložky pri pevnej vzdialenosti preparátu od okienka (poloha 3). — Obr. 5. Závislosť koeficientu q od hrúbky Al podložky pri pevnej vzdialenosti preparátu od okienka (poloha 5). - - - pred okienkom G—M trubice je clona bez clony

Pri výpočte sa určil zvlášť koeficient pohltienia K_1 pre stroncium o maximálnej energii $E_m = 0,54$ MeV a zvlášť K_2 pre ytrium s maximálnou energiou $E_m = 2,27$ MeV. Uvažoval sa prechod dvoma prostrediami: vzduchu + okienko (sfuda). V tomto prípade koeficient

$$K = \exp\left(-\frac{\ln 2}{A_1} d_1 - \frac{\ln 2}{A_2} d_2\right),$$

kde A_1, A_2 je polovrstva v prostredí 1, resp. 2 a d_1, d_2 je hrúbka absorpčnej vrstvy prvého prostredia, resp. druhého. Pre určenie polovrstvy sa použili formule:

$$A_{Al} = 55E_m^{1,66} \quad \text{pre} \quad E_m \in (0,15; 0,7);$$

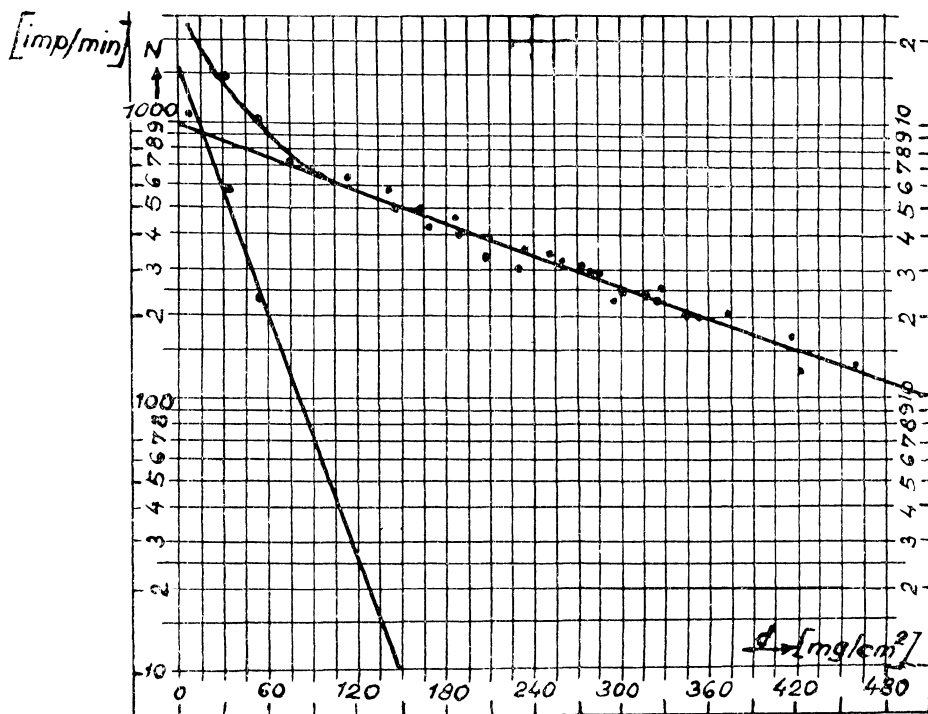
$$A_{Al} = 53E_m^{1,47} \quad \text{pre} \quad E_m \in (0,70; 2,5)$$

(A je udané v mg/cm^2 , E_m sa dosadzuje MeV). Prepočet na polovrstvu v inom materiáli podľa vzťahu z [11]

$$A_Z = \frac{118}{105 + Z} A_{Al}.$$

Atómové číslo Z pre vzduch, resp. sfudu podľa [13] je 7,64 a 11,33. Hľadaný koeficient $K = \frac{1}{2}(K_1 + K_2)$, pretože ide o meranie Sr^{90} v rovnováhe s Y^{90} .

Pri experimentálnom určovaní koeficientu K zisťovali sme zmenu aktivity na hrúbke absorpčnej vrstvy (absorpčná vrstva sa rovnala hliník + vzduch + okienko), pričom sme použili hliníkové fólie o hrúbke 22 mg/cm^2 . Merania boli robené s 1.5% štatistickou presnosťou. Získaná absorpčná krivka (obr. 6; na semilogaritmickej



Obr. 6. Krivka absorpcie beta žiarenia $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$ v hliníku znázornená v semilogaritmickej súradniciach.

papieri) sa známym spôsobom rozložila na zložku pripadajúcu absorpcii stroncia a zložku pripadajúcu absorpcii yttria. Obe priamky sa extrapolovali pre nulovú hrúbku absorpčnej vrstvy. Koeficient K pre hrúbku d , ktorá nás zaujíma, sa určil:

$$K = \frac{N_1 + N_2}{N_{10} + N_{20}},$$

kde N_{10} , resp. N_{20} sú extrapolované hodnoty na priamke pre stroncium, resp. pre ytrium a N_1 , resp. N_2 odčítané hodnoty na absorpčných priamkach pre príslušnú hodnotu d . Koeficient samoabsorpcie sa nevyšetroval.

Vo výslednej tabuľke je uvedený koeficient účinnosti pre geometriu bez clony a s externou clonou. Vypočítané hodnoty koeficientu účinnosti, určené pri použití

spomenutých korekcií, pričom koeficient S sa položil rovný 1, možno porovnať s koeficientom účinnosti určeným pomocou štandardu. K dispozícii sme mali 6 štandardov odpareného roztoku Sr^{90} na hliníkovej miske nášho typu dodaných z dozimetrického oddelenia Ústavu jaderného výzkumu v Prahe. Koeficient účinnosti podľa štandardu sa určil ako aritmetický priemer z hodnôt získaných pomocou jednotlivých štandardov. V tabuľke je udaná ku každej hodnote priemeru smerodajná odchýlka, ktorej veľkosť súvisí jednak s presnosťou udania aktivity štandardu, jednak so štatistickou chybou merania štandardu. Pretože išlo o odparený roztok bez nosiča, sme oprávnení toto porovnanie s vypočítaným η pri $S = 1$ robiť. Pri geometrii bez clony je koeficient η určený jednak ak sme uvažovali koeficient K vypočítaný a jednak ak koeficient K sa určil z nami zistenej absorpčnej krivky.

Tabuľka 1

poloha	Koeficient účinnosti η v %				
	bez clony		s clonou		
	štandard	vypočítaný	experiment	štandard	vypočítaný
1	13,98 ± 0,3	12,5	12,2	—	—
2	4,10 ± 0,1	3,57	3,44	2,75 ± 0,04	2,64
3	1,70 ± 0,08	1,40	1,34	0,971 ± 0,005	0,85
4	0,90 ± 0,02	0,76	0,73	0,454 ± 0,006	0,50
5	0,61 ± 0,03	0,43	0,40	0,273 ± 0,005	0,25

Zo získaných výsledkov jasne vidieť, že presnosť určenia η sa zvyší, ak sa použije pred okienko trubice clona. Chyba pri určovaní aktivity za geometrie bez clony je značná 15–20%, ba v polohe 5 až 30%, kým pri externom vyclonení je chyba menšia ako 10%.

Záverom ďakujeme pracovníkom dozimetrického oddelenia Ústavu jaderného výzkumu v Prahe za vyhotovenie štandardov a ochotné poskytnutie konzultácií, ako aj inž. V. Zbořilovi za prípravu vzoriek.

LITERATÚRA

- [1] Spicyn V. I., Keďočiĝor P. N., Golutvina M. M., Kazina A. F., Sokolova Z. A., *Metody práce s radioaktivními indikátory*, Praha 1957.
- [2] Kment V., Kuhn A., *Das Geiger—Müller Zählrohr*, Leipzig 1953.
- [3] Несмеянов А. Н., Ланццкий А. В., Руденко Н. П., *Получение радиоактивных изотопов*, Москва 1954.
- [4] Петржак К. А., Бак М. А., ЖТФ XXV (1955), 636–643.

- [5] Gleason G. I., Taylor J. D., Tabern D. L., Nucleonics 8 (1951), No 5, 19.
 [6] Grünberg B., Gallic Y., J. Phys. et Radium Phys. Appliquée 17 (1956), 35.
 [7] Starý J., Čs. čas. fys. 57 (1957), 90.
 [8] Burt B. P., Nucleonics 5 (1949), No 2, 28.
 [9] Seliger H. H., Phys. Rev. 88 (1952), 408.
 [10] Weiss C. F., *Radioaktive Standardpräparate*. Berlin 1956.
 [11] *Исследования в области дозиметрии ионизирующих излучений*. ИАН СССР, Москва 1957.
 [12] Гусев Н. Г., *Справочник по радиоактивным излучениям и защите*. Москва 1956.
 [13] Hine G. J., Browne G. L., *Radiation dosimetry*. New York 1956.
 [14] Lerch P., Wittgenstein J., Bull. Soc. Vaal. sc. Nat. 67 (1958), No 297.
 [15] Coffie, Shaw, Gale. Proc. Phys. Soc. 63 (1950), No 363 A, 282.
 [16] Бонкарев В. В., Кеирим—Маркус И. Е., Львова М. А., Пруслин Я. А., *Измерение активности источников бета и гамма излучений*. Москва 1953.
 [17] Zbořil V., Šebastian I., Trnovec T., Ďurček K., Chem. zvesti XIV (1960), č. 2, 91.

Došlo 25. 6. 1960.

*Ústav hygieny práce a chorôb
z povolania
v Bratislave*

К МЕТОДАМ АБСОЛЮТНОЙ ДОЗИМЕТРИИ Sr⁹⁰

Алоэзия Станковичова, Франтишек Минáрик, Карол Дюрчек

Резюме

В статье приведены результаты коррективных коэффициентов, фигурирующих при абсолютной дозиметрии излучателей бета методом постоянной геометрии и торцовых счетчиков, предназначенных для изотопа Sr⁹⁰ в равновесии с Y⁹⁰ и описываются экспериментальные условия.

Найдённая эффективность сравнена с коэффициентом полученным при помощи стандарта.

BEITRAG ZUR METHODIK DER ABSOLUTEN DOSIMETRIE DES Sr⁹⁰

Alojzia Stankovičová, František Minárik, Karol Ďurček

Zusammenfassung

In der Arbeit sind die Resultate der Koeffizienten gegeben, welche bei der absoluten Dosimetrie-Strahler bei konstanter Geometrie und Verwendung Fenster-Geiger-Müller-Zählröhre vorkommen, so wie sie gefunden wurden für das Isotop Sr⁹⁰ im Gleichgewicht mit Y⁹⁰ und für bestimmte Meßbedingungen.

Der gefundene „Koeffizient der Ausnützung“ ist mit dem, welcher mittels Standardpräparate bestimmt wurde, verglichen.