

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Josef Šeda; Ladislav Musílek

Integrální dozimetrické metody využívající pevné fáze

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 25 (1980), No. 4, 200--207

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139761>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1980

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>

- [3] Z. H. CHO, M. SINGH, A. MOHABBATIZADEH: *Biomedical applications and instrumental implications of ion microprobe*. IEEE Trans. Nucl. Sci. 21 (1974), No 1.
- [4] Z. H. CHO, M. SINGH, G. C. HUTH: *The scanning ion microprobe: An alternative to the scanning electron microscope*. Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 306, p. 223—261, March 1978.
- [5] M. SETVÁK, A. HRDÁ, M. KUZMIAK: *Návrh trasy pro přenos svazku od lineárního urychlovače FJFI*. Výzkumná zpráva FJFI, 1979.
- [6] M. SETVÁK, A. HRDÁ, M. KUZMIAK: *Maticová reprezentace dynamiky svazku nabitých částic*. Výzkumná zpráva FJFI, 1979.
- [7] K. L. BROWN, F. ROTHACKER, D. C. CAREY, CH. ISELIN: *Transport — a computing program for designing charged particle beam transport systems*. SLAC-91, Stanford Linear Accelerator Center, 1977.
- [8] K. L. BROWN: *A first- and second-order matrix theory for the design of beam transport systems*. SLAC Report No 75, Stanford, 1972.

Integrální dozimetrické metody využívající pevné fáze

*Josef Šeda, Ladislav Musílek,
katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření FJFI ČVUT*

1. Úvod

Integrální dozimetrie — měření dávek akumulovaných ve sledovaném objektu za určité časové období — byla na počátku svého rozvoje z metodického hlediska doménou dvou měřicích principů: využívaly se buď fotografické účinky ionizujícího záření, nebo jeho ionizační účinky v plynu. I když byla zjištěna celá řada dalších jevů vyvolaných ionizujícím zářením v různých materiálech, jejich využití ke stanovování dávek bylo minimální. Uvedené dvě metody jsou doposud důležitou součástí souboru dozimetrických prostředků.

Uvážíme-li však, že nepochybně nejdůležitější oblastí integrální dozimetrie je měření dávek, které obdrží ozařované osoby, a zvážíme-li dále uvedené nevýhody, které tyto „tradiční“ dozimetrické metody pro osobní dozimetrii mají, nelze se divit, že je snahou řady výzkumných pracovišť nalézt jiné postupy, které by daly stejně spolehlivé a přesné výsledky bez nedostatků vlastních fotografickým nebo ionizačním měřením.

Za základní nevýhodu dozimetrů na fotografickém principu je možné považovat jejich vysokou náročnost zpracování. Vyvolávací proces je zdoluhavý a musí být přesně reprodukován. Mimoto jsou poměrně choulostivé na vnější vlivy, jako je tlak, teplota, vlhkost,

nemluvě již o riziku jejich zničení při protržení světlotěsného obalu kryjícího fotografický film. Na druhé straně ovšem žádný jiný současný dozimetrický systém není schopen dát tak podrobné údaje o svém ozáření, případně i o své povrchové kontaminaci radioaktivními nuklidy.

Ionizační dozimetry, jejichž nejznámějším představitelem jsou samoodečítací „tužkové“ dozimetry, jsou ve srovnání s fotografickými velmi operativní, dovolují okamžitě odečíst dávky. Jsou však schopné překrýt jen malý rozsah dávek (asi dva řády), jsou choulostivé vůči vnějším mechanickým vlivům a drahé. V řadě aplikací jsou na překážku i jejich velké rozměry.

Počátek padesátých let, kdy se začínají do integrální dozimetrie prosazovat v masovém měřítku další metody založené především na účincích ionizujícího záření na pevné látky, je současně počátkem období, kdy se projevuje pozvolný ústup obou metod a ztrácí se jejich dominující postavení. Nejprve je zavedena do rutinní praxe radiofotoluminiscenční metoda [1], pak i termoluminiscence. Zároveň v souvislosti s rozvojem jaderné energetiky a jaderných zbraní rychle roste zájem o různé metody neutronové dozimetrie. Využití radiačních efektů v pevných látkách se stává rozsáhlým a mnohotvárným oborem. Tab. I shrnuje některé nejdůležitější radiační efekty v pevných látkách, které mají dozimetrický význam (podle [2]). Nedělá si však ani zdaleka nároky na úplnost, známých efektů je mnohem více a nelze dnes spolehlivě říci, které mají v dozimetrii naději na uplatnění a které nikoliv. Odtud také vyplývá, že je nutně časově podmíněná. Mimoto je zde preferována oblast menších dávek záření, především v rozmezí potřebném pro osobní dozimetrii (včetně havarijní). I další úvahy budou brát zřetel v první řadě na tuto oblast. Dozimetry používané výhradně pro dávky řádu desítek Gy a vyšších např. v průmyslových ozařovnách budou ponechány stranou.

2. Současný stav a vývojové trendy v integrální dozimetrii

Potřeby soudobé vědecké a technické praxe kladou požadavky především na integrální dozimetrická měření dvou druhů záření, totiž fotonů gama a X a neutronů. Podívejme se nyní, jak je možné zajistit tyto dva úkoly.

V dozimetrii fotonového záření se stále ještě významně uplatňují fotografická a ionizační metoda. Metodu, která by je dokázala plně nahradit z hlediska obsahu informací, respektive operativnosti, se zatím nepodařilo vyvinout. Vedle nich a často i namísto nich se však i v rámci komerčních dozimetrických služeb stále více prosazuje zejména termoluminiscence. Nebudeme se zde podrobně zabývat jejími fyzikálními principy, ty lze nalézt v řadě učebnic a monografií, jako je např. [2], [3] nebo [4]. Ve stručnosti lze říci, že při interakci ionizujícího záření s materiálem termoluminiscenčního detektoru dochází k přechodu elektronů z valenčního pásu do vodivostního (uvažujeme pásovou strukturu energetických stavů pevné látky). Tyto elektrony pak mohou být zachyceny v záchytných centrech v zakázaném pásu, vzniklých především v důsledku nečistot v látce. Opětový přechod zachycených elektronů do vodivostního pásu je možný, jestliže dostanou energii odpovídající energetickému rozdílu mezi záchytným centrem a vodivostním pásem. Může to být tepelná energie při ohřevu látky. Pak lze pozorovat současně několik

jevů, které jsou dozimetricky využitelné. Při návratu elektronů do vodivostního pásu lze pozorovat vzrůst vodivosti látky (tzv. tepelně stimulovaná vodivost). Je-li výstupní práce elektronů z látky nízká, dochází k jejich emisi z povrchu (tepelně stimulovaná exoelektronová emise). Konečně při dalších přechodech elektronů do nižších energetických stavů mohou být některé z těchto přechodů doprovázeny emisí světla ve viditelné nebo ultrafialové oblasti – dochází k termoluminiscenci.*) Odtud vyplývá způsob vyhodnocování termoluminiscenčních dozimetrů (obr. 1). Emitované světlo, jehož množství je úměrné dávce ionizujícího záření, kterou dozimetr obdržel, se detekuje fotonásobičem, ve kterém se přeměňuje na elektrický signál. Ten se zesiluje a vyhodnocuje, v nejpropracovanějších přístrojích zpravidla integrujícím pikoampérmetrem. To znamená, že dochází

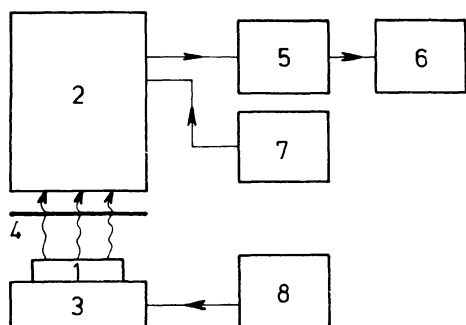
Tab. I. Některé radiační efekty v pevných látkách využitelné v dozimetrii

Druh pevné látky	Typ radiačního efektu			
	optický	elektrický	chemický	Lokální poruchy struktury
Anorganické krystaly a minerály	Zbarvení nebo odbarvení, změny optické aktivity, <i>termoluminiscence</i> , infračerveně stimulovaná luminiscence, radiofotoluminiscence, lyoluminiscence	Opticky nebo tepelně stimulovaná exoelektronová emise, tepelně stimulované proudy a vodivost	<i>Fotografické efekty v halogenidech stříbra</i>	Vyšší leptatelnost podél drah těžkých nabitých částic, <i>stopy částic v jaderných emulzích</i>
Polovodiče		Posuv charakteristik polovodičových součástek při ozáření neutrony nebo gama, neutrony indukované trvalé změny odporu		
Anorganická skla	Zbarvení nebo odbarvení, <i>termoluminiscence</i> , <i>radiofotoluminiscence</i>	Opticky nebo tepelně stimulovaná exoelektronová emise		Vyšší leptatelnost podél drah těžkých nabitých částic
Organické krystaly a polymery	Zbarvení nebo odbarvení, degradace fluorescence, <i>termoluminiscence</i> , lyoluminiscence	Elektronová spinová rezonance, opticky stimulovaná exoelektronová emise, tepelně stimulované proudy a vodivost		Vyšší leptatelnost podél drah těžkých nabitých částic

*) Tento popis lze přijmout pouze k vytvoření prvního názoru na mechanismus jevů. Ve skutečnosti jsou efekty vedoucí k vytvoření měřitelného signálu složitější a korelace všech tří uvedených jevů není úplná, tj. křivky závislosti termoluminiscenčního světla, vodivosti a počtu emitovaných exoelektronů na teplotě se ve většině případů úplně neshodují.

k několikeré přeměně energie ionizujícího záření na jiné formy energie, než se dostane požadovaná informace. Vyhodnocovací proces je složitý (i když z hlediska uživatele zařízení je vyhodnocení rychlé a obsluha jednoduchá). Metoda se však do současné doby významně prosadila jak do osobní dozimetrie, tak i do monitorování životního prostředí, klinické dozimetrie a řady dalších oblastí především pro svou vysokou citlivost, operativnost, malé rozměry dozimetrů a relativně vyšší odolnost vůči vnějším vlivům ve srovnání s fotografickými filmy nebo dozimetry na principu ionizace v plynech.

Poněkud méně než termoluminiscence se uplatňuje radiofotoluminiscenční metoda založená na tvorbě luminiscenčních center (především ve fosfátových sklech, ale i na jiných látkách) působením ionizujícího záření a jejich optické excitaci (nejčastěji světlem rtuťové lampy) při vyhodnocování. Srovnáme-li vyhodnocovací postup při termolumi-



Obr. 1 Principiální schéma vyhodnocovacího zařízení pro termoluminiscenci.

1 — termoluminiscenční látka, 2 — detektor světla (fotonásobič), 3 — vyhřívací systém, 4 — tepelný filtr, 5 — zesilovač, 6 — odečítací zařízení, 7 — zdroj vysokého napětí, 8 — systém řízení ohřevu

niscenci a radiofotoluminiscenci, je možné říci, že je velmi obdobný, pouze tepelné vybuzení akumulovaného údaje o dávce je nahrazeno optickým. Zůstává však nezbytný převod optického výstupního signálu z dozimetru na měřitelný elektrický signál prostřednictvím fotonásobiče.

Obě tyto metody jsou komerčně dostupné, řada světových firem dodává zařízení na různé úrovni propracovanosti od jednoduchých přístrojů pro rutinní měření až po složité a variabilní systémy dovolující náročné výzkumné práce. I když jde o postupy vyvíjené původně pro fotonové záření a v této oblasti se nejvíce uplatňující, termoluminiscence se prosadila i do dozimetrie tepelných neutronů a vyskytují se pokusy aplikovat ji pro dozimetrii rychlých neutronů. Na druhé straně je však možné usilovat o zdokonalení dozimetrických metod přinejmenším ve dvou směrech. Je možné se snažit o vývoj metod s jednodušším vyhodnocovacím zařízením, s přímější cestou převodu energie ionizujícího záření na výstupní signál. Sem patří především principy shrnuté ve druhém sloupci tabulky I, tj. takové, kde na výstupu z vlastního dozimetrického prvku je elektrický signál. Druhým směrem je snaha nalézt pro osobní dozimetrii takové dozimetrické prvky, jejichž odezva bude v lepším souladu s odezvou biologické tkáně na ionizující záření, které budou tkáňově ekvivalentní. I když některé anorganické materiály složené z prvků s nízkým protonovým číslem se tomuto požadavku blíží, největší naděje dávají metody shrnuté ve čtvrtém řádku tabulky I, protože mezi organickými materiály je nejvíce látek se složením blízkým biologické tkáni.

Rovněž v oblasti dozimetrie rychlých neutronů je fotografická metoda, tj. sledování stop odražených protonů při pružném rozptylu neutronů ve speciálních jaderných emulzích, postupně vytlačována jednoduššími nebo spolehlivějšími postupy. Pro rozsah dávek běžný v radiační ochraně je to především registrace stop těžkých nabitých částic v pevných látkách (tzv. stopové detektory pevné fáze), přičemž těžkými nabitými částicemi jsou buď štěpné úlomky pocházející ze štěpení těžkých jader neutrony, nebo částice alfa z reakcí (n , alfa), případně jádra odražená při rozptylu neutronů. Vyhodnocovací postup je ovšem srovnatelně zdlouhavý, jako u jaderných emulzí, protože dozimetrické fólie je třeba nejprve chemicky zpracovat, tj. leptat vhodným činidlem, aby se lokální poruchy způsobené jednotlivými částicemi zviditelnily a byly pozorovatelné mikroskopem nebo počítatelné některým z možných automatizovaných postupů. Proto se tato metoda nehodí pro havarijní dozimetrii rychlých neutronů, kde je zapotřebí rychlé vyhodnocení bezprostředně po havárii a bez nároků na vybavení laboratoře. Do této oblasti se v současné době stále více prosazuje progresivní polovodičový prvek, křemíková dioda, jejíž vlastnosti se mění s dávkou rychlých neutronů. Určité místo v havarijní dozimetrii mají též aktivací detektory, jejich princip však nedovoluje, aby se dostaly na základní místo zejména v osobní dozimetrii rychlých neutronů.

Neuvažujeme-li ojedinělé pokusy využít v dozimetrii komerčně metody jako je tepelně stimulovaná exoelektronová emise nebo fotovodivost, jsou v tomto stručném přehledu shrnuty metody, které jsou v současné době propracovány do takového stavu, že je lze rutinně využívat. Mimoto je však známo pozoruhodné množství různých postupů, které jsou ve více či méně pokročilém stadiu výzkumu. Některé z nich slibují určité přednosti proti dnes rozšířeným metodám, je ale předčasné vyslovovat odpovědné prognózy o jejich budoucnosti. Je nesporné, že současný stav není ani zdaleka konečný, neboť integrální dozimetrie ještě projde dalším vývojem. Která metoda se ukáže jako optimální, pokud vůbec bude taková nalezena, to dnes nelze říci.

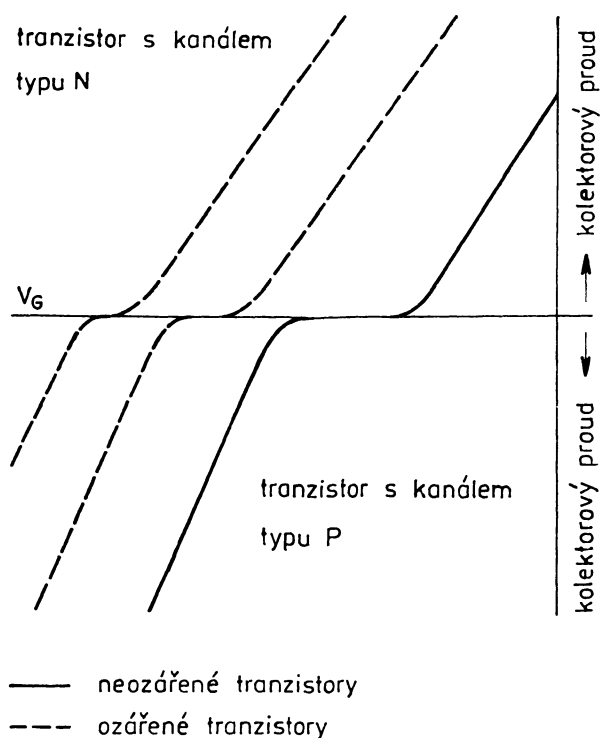
3. Vývoj integrálních dozimetrických metod na našem pracovišti

Činnost katedry dozimetrie a aplikace ionizujícího záření je v oblasti výzkumu a vývoje integrálních dozimetrů orientována do několika směrů, o kterých se nyní stručně zmíníme.

Nejdále pokročily zatím práce na vývoji československé křemíkové diody pro dozimetrii rychlých neutronů, tedy prvku, o němž jsme se již zmínili jako o perspektivním zejména pro oblast havarijních dávek. K tomuto účelu se používají převážně diody N^+PP^+ nebo P^+NN^+ se širokou bází. Ozáření rychlými neutrony ovlivní mnohé vlastnosti křemíku, mimo jiné je silně ovlivněna doba života minoritních nosičů. Charakteristiky uvedeného typu diody jsou na době života minoritních nosičů silně závislé. Prochází-li jí proto proud v přímém směru, schopný vodivostně modulovat bází, je napětí na ní funkcí doby života. Jeho změna při konstantním proudu může být mírou dávky rychlých neutronů. To znamená, že vyhodnocovací zařízení může být poměrně jednoduché a být v podstatě složeno ze zdroje konstantního proudu a voltmetru. Druhou výhodou je skutečnost, že se křemíková dioda ukazuje jako tkáňově ekvivalentní v ener-

getickém rozsahu 350 keV až 15 MeV s chybou $\pm 20\%$ [5]. Ve spolupráci katedry dozimetrie a aplikace ionizujícího záření a katedry inženýrství pevných látek FJFI byly vyvinuty křemíkové diody, jimiž lze měřit dávky rychlých neutronů od 70 mGy do 8 Gy*) s chybou do $\pm 25\%$ [6]. Jak citlivost, tak i fading (tj. samovolný úbytek akumulované informace s časem po ozáření) jsou srovnatelné nebo lepší než u obdobných zahraničních výrobků.

Druhým polovodičovým prvkem pro dozimetrické účely sledovaným na KDAIZ jsou tranzistory MOS (kov-kyslíčnick-polovodič) řízené elektrickým polem, vytvářeným napětím přiloženým na řídicí elektrodu [7]. Tyto tranzistory obsahují vrstvu SiO_2 mezi kovovou řídicí elektrodou a polovodičovým křemíkovým substrátem. Ozáření fotonovým zářením vede ke vzniku prostorového náboje ve vrstvě. To pak vede ke změně převodní charakteristiky, tj. závislosti kolektorového proudu na napětí na řídicí elektrodě, s ozářením (obr. 2). Citlivost těchto tranzistorů na záření gama je asi 20krát až 40krát



Obr. 2 Typický posuv převodních charakteristik tranzistorů typu MOS při ozáření.

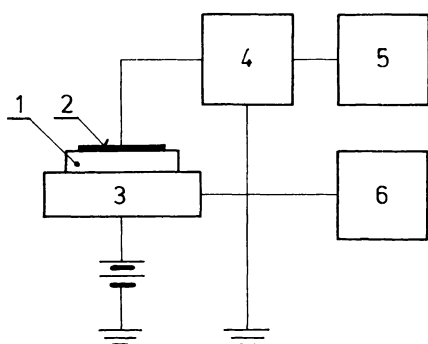
V_G — napětí na řídicí elektrodě

vyšší než na stejné dávkové ekvivalenty rychlých neutronů. Tento prvek se ukazuje jako vhodný dozimetr pro havarijní dávky fotonového záření. V současné době jím lze měřit dávky řádově desítky Gy a vyšší. Ukazují se však některé možné cesty zvýšení citlivosti

*) Gray (Gy) je současná jednotka dávky v soustavě jednotek SI. Platí, že $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. S dřívější, dnes již nesprávnou jednotkou dávky rad je spojena vztahem $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$.

[8, 9]. Základní přednost MOS tranzistoru jako dozimetru záření gama lze spatřovat podobně jako u křemíkové diody pro dozimetrii neutronů v relativně jednoduchém vyhodnocovacím zařízení s přímým odečtem elektrického signálu na výstupu z dozimetru.

Jednodušší zpracování výstupního signálu z dozimetru je také předností další výzkumně sledované metody, tepelně stimulované vodivosti. Srovnáme-li vyhodnocovací zařízení pro termoluminiscenci a pro tepelně stimulovanou vodivost (obr. 1 a obr. 3), vidíme, že ve druhém z nich odpadá nejhodnotivější součástka prvního, tj. fotonásobič. Na dozimetr opatřený elektrodami se v průběhu vyhodnocování přikládá vysoké napětí, při ohřevu se pak pozorují maxima vodivosti dielektrického materiálu dozimetru, která odpovídají uvolňování zachycených nosičů náboje ze záchytných center v zakázaném pásu do vodivostního pásu. Velikost těchto maxim je úměrná dávce. Hlavními součástmi zařízení jsou tedy topné tělísko s řízeným ohřevem, pikoampérmetr a zdroje napětí.



Obr. 3 Principiální schéma vyhodnocovacího zařízení pro tepelně stimulované proudy.

1 — dozimetr, 2 — měrná elektroda, 3 — vyhřívací systém, 4 — pikoampérmetr, 5 — registrační zařízení, 6 — systém řízení ohřevu

Tepelně stimulovanou vodivost lze pozorovat na mnoha materiálech, dosud nejlepší výsledky byly dosaženy na safíru [10], ale mohou se uplatnit i některé organické látky, které slibují dát dozimetr s dobrou tkáňovou ekvivalencí a detekovat nejen záření gama, ale i neutrony. Rovněž práce na našem pracovišti se soustředily především na safír československé produkce [11]. Zatím se dosahuje dolního prahu měřitelných dávek řádu desítek mGy.

Jiné přednosti než zjednodušení vyhodnocovacího zařízení nabízí lyoluminiscenční metoda. Lyoluminiscenci nazýváme emisi světla při rozpouštění některých látek ozářených ionizujícím zářením, která je úměrná dávce. Tento jev byl pozorován u anorganických i organických látek. Rozpouštědlem může být voda i jiné kapaliny. Světlo emitované rozpouštěnou látkou se detekuje fotonásobičem obdobně jako termoluminiscenční nebo radiofotoluminiscenční signál. Nejpodstatnějším důvodem, proč se této metodě dostává pozornosti, je skutečnost, že lyoluminiscenci lze pozorovat i u řady látek, které jsou obsaženy v biologických tkáních, takže je naděje na získání nejen tkáňově ekvivalentního, ale také „biologického“ dozimetru, tj. využití biologických materiálů přímo jako dozimetru. Na našem pracovišti byly výzkumně sledovány především některé cukry jako manóza a dihydrát trehalózy v systému s vodou jako rozpouštědlem. Dosažená citlivost řádově desítiny Gy záření gama omezuje prozatím možnosti aplikace na

oblast vyšších havarijních dávek [12]. Ukazuje se však možnost podstatného zvýšení citlivosti použitím luminiscenční látky, např. luminolu, jako součásti rozpouštědla. To by mohlo přinést snížení detekčního prahu i o několik řádů. Pro takové systémy je však nutné zvládnout otázku reprodukovatelnosti [13].

4. Závěr

Pokusili jsme se naznačit některé aspekty současných metod využívajících radiačních účinků v pevných látkách, které se prosazují v integrální dozimetrii ionizujícího záření, a vývojové tendence, které lze pozorovat. Zároveň jsme se zmínili o metodách, které jsou výzkumně sledovány na našem pracovišti. Je možné si povšimnout plánovité snahy věnovat se perspektivním, dosud málo probádaným metodám. Řekli jsme již, že nejdále byly dovedeny práce při výzkumu a vývoji křemíkové diody pro dozimetrii rychlých neutronů. S nasazením tohoto prvku do rutinní praxe se nyní počítá v československé celostátní službě osobní dozimetrie, zejména v souvislosti s rozvojem československé jaderné energetiky, protože jde o nejjednodušší a nejoperativnější dostupný dozimetr pro oblast havarijních dávek neutronů. Při prudkém rozvoji integrálních dozimetrických metod v posledních letech lze věřit, že i další uvedené postupy se v praxi uplatní.

Literatura

- [1] SCHULMAN, J. H. et al.: *Nucleonics*, 11, 1953, č. 10, s. 52.
- [2] BECKER, K.: *Solid State Dosimetry*. Cleveland, CRC Press 1973.
- [3] FRANK, M. - STOLZ, W.: *Festkörperdosimetrie ionisierender Strahlung*. Leipzig. B. G. Teubner Verlagsges 1969.
- [4] ŠEDA, J. - TROUSIL, J.: *Integrální dozimetrické metody*. Praha, Vyd. ČVUT 1976.
- [5] WALL, B. F.: In: *Proceedings of the First Symposium on Neutron Dosimetry in Biology and Medicine*, München 1972. EUR 4896 d-f-e.
- [6] FRANK, H. - ŠEDA, J. - TROUSIL, J.: *Jaderná energie*, 20, 1974, s. 258.
- [7] PETR, I.: *Jaderná energie*, 23, 1977, s. 313.
- [8] VYCHYTIL, F. - ČECHÁK, T. - GERNDT, J. - PETR, I.: *Jaderná energie*, 24, 1978, s. 419.
- [9] HABRMAN, P. - PETR, I. - VYCHYTIL, F.: *Jaderná energie*, 25, 1979, s. 64.
- [10] FULLERTON, G. D. - MORAN, P. R.: *Med. Phys.*, 1, 1974, s. 161.
- [11] MUSÍLEK, L. - KLUSOŇ, J. - DAŘÍČKOVÁ, A.: *Studium možnosti dozimetrického využití radiačně indukovaných tepelně aktivovaných proudů*. Referát na IX. radiohygienických dnech, Jasná pod Chopkom, 4.—7. prosince 1978.
- [12] DAŘÍČKOVÁ, A. - KLUSOŇ, J. - MUSÍLEK, L.: *Jaderná energie*, 25, 1979, s. 105.
- [13] DAŘÍČKOVÁ, A. - KLUSOŇ, J. - MUSÍLEK, L.: *Lyoluminiscenční systémy s organickými látkami a některé aspekty jejich dozimetrického využití*. Referát na V. celostátním sympoziu dozimetrie záření, Mariánské Lázně, 3.—7. prosince 1979.

Vždyť znalec geometrie ničemu by se tak nepodivil, než kdyby se úhlopříčka čtverce dala změřit stranami.

...například, uzná-li se, že úhlopříčka je souměřitelná se stranou, pak by sudá a lichá čísla byla navzájem rovná.