

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Václav Hušák

O jednotkách dávky ionizujícího záření

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 10 (1965), No. 3, 160--168

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138241>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1965

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>

9. Adolf FRAENKEL: Georg Cantor. Jahresbericht der deutschen Mathematiker Vereinigung 39 (1930), 189—266.
10. Kurt GÖDEL: The consistency of the axiom of choice and of the generalized continuum hypothesis with the axioms of set theory. Annals of Math. Studies Nr. 3, 1940.
11. Erich KAMKE: *Allgemeine Mengenlehre*. Enz. der Math. Wiss. 2. Auflage, Band I. Teil 1. Heft 2. Aufsatz 5, 1—56. Leipzig u. Berlin 1939.
12. Stephen Cole KLEENE: *Introduction to metamathematics*. New York 1952. Ruský překlad. Стефен К. КЛИНИ: *Введение в метаматематику*. Москва 1957.
13. Vladimír KOŘÍNEK: *Základy algebry*. 2. vyd. ČSAV 1956.
14. Bertrand RUSSEL: *Introduction to mathematical philosophy*. 3 ed. London and New York, 1924.
15. Artur SCHOENFLIES: Zur Erinnerung an Georg Cantor. Jahresbericht der deutschen Mathematiker-Vereinigung 31 (1922), 97—106.
16. Artur SCHOENFLIES: Die Krisis in Cantor's mathematischem Schaffen. Acta math. 50 (1927), 1—23.
17. Waclaw SIERPIŃSKI: *Hypothèse du continu*. Monografie matematyczne, Nr. 4., Warszawa 1934.
18. A. N. WHITEHEAD and Bertrand RUSSEL: *Principia Mathematica*. 1910 až 1913.
19. Ernst ZERMELO: Bewies, dass jede Menge wohlgeordnet werden kann. Math. Ann. 59 (1904), 514—516.

Knihy o abstraktní teorii množin hodící se k počátečnímu studiu

- Vojtěch JARNÍK: *Úvod do teorie množství*. Dodatek ke knize Karel PETR: *Počít integrální*. 2. vydání 1931.
- Eduard ČECH: *Bodové množiny*. 1936. Kniha sice jedná o bodových množinách, avšak §§ 1—4 jsou věnovány abstraktní teorii množin. Velmi pěkné, ale značně zhuštěné.
- Bedřich POSPÍŠL: *Nekonečno v matematice*. Cesta k věděni, sv. 48. 1949.
- Vojtěch JARNÍK: *Diferenciální počet*. (Pokračování Úvodu do počtu diferenciálního) 1953. Abstraktní teorii množin jsou věnovány kap. I, §§ 1—9.
- Eduard ČECH: *Topologické prostory*. 1959. Abstraktní teorii množin jsou věnovány §§ 1—3.

## O JEDNOTKÁCH DÁVKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

VÁCLAV HUŠÁK, Olomouc

Vznik dozimetrie ionizačního záření jako vědeckého odvětví souvisí s praktickým využitím rentgenového záření v lékařství ke konci 19. stol. Od té doby fyzikové a radiologové vynakládají nemálo úsilí na objasnění pojmu dávka záření, na stanovení vhodných jednotek dávky a vhodných měřicích metod. Během posledních čtyř desetiletí byla stanovena řada definic a jednotek, z nichž mnohé se neosvědčily a zanikly, mnohé pak prošly častými změnami a úpravami. V posledních letech, kdy použití rentgenového záření i záření radioaktivních izotopů se značně rozšířilo v nejrůznějších oborech lidské činnosti, bylo třeba znovu zhodnotit dosavadní definice a jed-

notky. V tomto článku chceme podat krátký přehled o vývoji jednotek dávky ionizujícího záření a zároveň si všimnout současného stavu, který je zachycen v doporučeních Mezinárodní komise pro radiologické jednotky (ICRU).

Energie, jež vychází ze zdrojů rentgenového a radioaktivního záření se šíří přímočaře prostorem buď v podobě elektromagnetického záření (rentgenové a gama záření), nebo jako proud částic (korpuskulární záření). Proniká-li záření látkou, dochází k jeho interakci s elektronovým obalem atomů prostředí. Nastávají různé změny povahy fyzikální a chemické (vznik iontů, vzbuzených stavů a radikálů). Při kvantitativním i kvalitativním popisu těchto změn nevystačíme s pojmy intenzita a množství záření. Jen ta část energie záření, která je v látce absorbována, může v ní způsobit změnu. Při definici pojmu dávka záření se setkáváme s mnohými těžkostmi, neboť je třeba definovat dávku jako fyzikální veličinu jednoduše a přesně měřitelnou. Jednotky, ve kterých dávku měříme, musí se dát převést na známé základní fyzikální jednotky. Jednotka dávky záření v tomto smyslu nemohla ve dvacátých letech existovat, protože nebyly ještě dostatečně prozkoumány jevy vznikající při průchodu ionizujícího záření hmotou. V r. 1913 navrhl CHRISTEN definovat dávku jako množství energie pohlcené v jednotce objemu ozařované látky. Toto pojetí dávky sice vyhovovalo z fyzikálního hlediska, avšak určení množství absorbované energie naráželo tehdy na značné experimentální potíže.

Dříve než bylo zavedeno měření dávky na podkladě ionizačního měření, byly k určování dávky používány metody, které byly většinou opuštěny [1]. Např. pokusy určovat dávku podle biologických účinků selhaly na poznatku, že biologický účinek závisí nejen na velikosti dávky, ale i na jiných, často velmi nesnadno měřitelných faktorech.

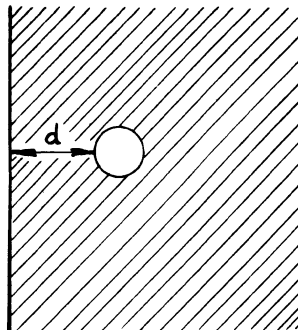
Snadno realizovatelná jednotka dávky záření mohla být zavedena až tehdy, když se poznalo, že záření při průchodu látkou má ionizační účinky. Mezinárodní jednotka dávky „rentgen“ definovaná na základě ionizačních účinků byla poprvé přijata v r. 1928 na radiologickém kongresu ve Stockholmu. Aby bylo možné používat této jednotky i pro záření gama radioaktivních izotopů, byla původní definice v r. 1937 poněkud pozměněna a vyslovena takto: „Rentgen je takové množství záření X nebo gama, jehož korpuskulární záření s ním sdružené a vyloučené z 0,001293 g vzduchu vytvoří ve vzduchu ionty, nesoucí úhrnem 1 elektrostatickou jednotku elektrického náboje obojího znamení.“ (0,001293 g je hmotnost 1 cm<sup>3</sup> suchého vzduchu při 0 °C a tlaku 760 mm/Hg.) Tato definice byla schválena mezinárodním radiologickým kongresem v r. 1953 v Kodani a uvedena v doporučeních ICRU z r. 1953 s dodatkem, že platí pro záření rentgenové a gama s energií maximálně 3 MeV [2, 3].

Korpuskulárním zářením se v definici rentgenu rozumí sekundární elektrony, jež jsou uvolněny při interakci záření s atomy a molekulami vzduchu (Comptonův rozptyl, fotoelektrický jev, tvoření párů). Ionty vznikají prakticky pouze prostřednictvím sekundárních elektronů, neboť přímý ionizační účinek kvant gama je zanedbatelný. Na vytvoření 1 páru iontů ve vzduchu je třeba 34 eV, přičemž náboj iontu je roven  $4,8 \cdot 10^{-10}$  elst. jednotek náboje. 1 r vytvoří v 0,001293 g vzduchu  $2,08 \cdot 10^9$  ionto-

vých párů, přičemž se pohltné energie  $7,08 \cdot 10^{10}$  eV neboli 0,113 erg. V 1 g vzduchu se absorbuje energie záření  $5,50 \cdot 10^{13}$  eV, tj. asi 88 erg.

Objasníme, co znamená již zmíněný dodatek, že definice rentgenu platí pro rentgenové a gama záření s energií do 3 MeV. Pro nízkoenergetické záření s energií např. 0,2 MeV sekundární elektrony mají ve vzduchu dosah několik mm. V tomto případě ionizují elektrony prakticky jen v uvažovaném  $\text{cm}^3$  vzduchu. Sekundární elektrony, jež pocházejí od záření s energií vyšší než 1 MeV, mají ve vzduchu dosah několik metrů. Jednotku rentgen je možné realizovat jen tehdy, platí-li elektronová rovnováha: počet iontů vytvořených mimo měrný objem musí být roven počtu iontů vytvořených v měrném objemu sekundárními elektrony, jež vznikly mimo měrný objem. Ztráta na ionizaci vzniklá tím, že ionty opouštějí měrný objem, je tedy za podmínky elektronové rovnováhy kompenzována ionizací elektronů, které přicházejí do měrného objemu z jeho okolí. Elektronovou rovnováhu je možné při praktických měřeních předpokládat pro energie záření menší než 3 MeV.

V dozimetrii ionizujícího záření nás zajímá nejen množství iontů vytvořených zářením v měrném objemu, nýbrž i absorbovaná dávka, tj. množství pohlcené energie v tomto objemu. Absorbovanou dávku je možno měřit přímo kalorimetricky nebo



Obr. 1. K ilustraci Braggova-Grayova principu.

pomocí luminiscenčních a chemických účinků záření. V oblasti dávek primárního záření, kde nelze použít málo citlivé kalorimetrické metody, a všude tam, kde přímé měření absorbované dávky není možné (např. v lékařství), jsme odkázáni na měření ionizačních účinků záření. Určení absorbované dávky je možno provést podle principu BRAGGOVA-GRAYOVA. Předpokládejme, že v ozařovaném materiálu je malá dutina naplněna vzduchem (obr. 1). Energie udělená zářením jednotce hmotnosti materiálu je dána vztahem

$$D = W_i s I_0 ,$$

kde  $W_i$  je energie potřebná pro vznik jednoho páru iontů ve vzduchu,  $s$  poměr mezi brzděním elektronu v ozařené hmotě a jeho brzděním ve vzduchu,  $I_0$  počet iontových

párů vytvořených v jednotce objemu vzduchu dutiny sekundárními elektrony vyloučenými z materiálu obklopujícího dutinu. Tento vztah platí jen za následujících podmínek: 1. V celém objemu ozařovaného materiálu má primární záření stejnou intenzitu, tj. rozměry objemu jsou takové, že je možno zanedbat absorpci primárního záření. 2. Rozměry dutiny jsou malé ve srovnání s doběhem sekundárních elektronů ve vzduchu. 3. Dutina je obklopena materiálem alespoň v takové síle  $d$ , která je větší než dosah sekundárních elektronů největší energie vyloučených primárním zářením z ozařovaného materiálu. Jsou-li tyto podmínky splněny, existuje elektronová rovnováha mezi dutinou a okolním materiálem. Braggova-Grayova principu, který je základem dozimetrie ionizujícího záření, se využívá v praxi při konstrukci tzv. náprstkových ionizačních komůrek pro měření dávek záření např. ve vzduchu nebo ve tkáni [1, 2].

Protože jednotky rentgen není možno použít pro měření dávky korpuskulárního záření, byla navržena v r. 1948 jednotka „rep“. Tato jednotka se hodí pro všechny druhy záření s libovolnou energií. Nevýhodou je však, že existuje v literatuře několik definic, jež se navzájem poněkud liší [3]. Jednotky rep se nyní přestává používat, neboť v r. 1953 byla zavedena jednotka absorbované dávky „rad“.

O definici rentgenu podle doporučení ICRU z r. 1953 se mnoho diskutovalo, protože formulace připouštěla různý výklad. Byla položena otázka, co vlastně pomocí rentgenu měříme. K tomuto problému byla vyslovena řada názorů, někdy velmi protichůdných. Např. se uvádělo, že rentgen jako jednotka dávky představuje množství energie pohlcené v  $1 \text{ cm}^3$  vzduchu. Podle slov S. N. ARDAŠNIKOVA a N. S. ČETVERIKOVA [4] bylo tedy položeno rovnítko mezi rentgenem a mechanickým ekvivalentem rentgenu, tj. energií pohlcenou v  $1 \text{ cm}^3$  vzduchu ( $1 \text{ r} = 0,113 \text{ erg/cm}^3$ ), čímž byl setřen principiální rozdíl mezi rentgenem jako mírou korpuskulární emise v ozařovaném objemu a energií vynaloženou na ionizaci v tomto objemu. O pojmu dávky tak, jak je chápán v doporučeních ICRU z r. 1953, Ardašnikov a Četverikov dále říkají: „Namísto toho, aby doporučení zřetelně odlišila energii vynaloženou na korpuskulární emisi a energii pohlcenou v procesu excitace a ionizace, zavádějí ještě jednu variantu pojmu dávka jako „množství záření“. Podle těchto doporučení je „množství záření“ definováno jako „časový integrál záření“, tj. úhrnné množství záření, které prošlo plošnou jednotkou kolmou na svazek záření [2]. Z toho vyplývá, že rentgen má rozměr toku energie. GORŠKOV [5] naproti tomu zastává názor, že jednotka rentgen určuje velikost ionizace způsobené zářením. QUIMBY a LAURENCE [6] zavádějí termín expozice jako schopnosti záření ionizovat. Tento termín se vztahuje výlučně k samotnému záření bez ohledu na to, co se děje se zářením v měřeném místě, tj. pohlcuje-li se nebo proniká-li látkou.

Doporučení ICRU z r. 1956 [7] se pokusila problém spojený s definicí rentgenu řešit. Uvedeme z nich některé definice:

„Absorbovaná dávka jakéhokoliv ionizačního záření je energie udělená ionizujícími částicemi jednotce ozářené hmoty v určitém místě. Jednotkou absorbované dávky je 1 rad.“

„Expoziční dávka rentgenového nebo gama záření v určitém místě je mírou ozáření založenou na ionizační schopnosti záření. Jednotkou expoziční dávky je rentgen.“ Dále byla vyslovena definice rentgenu shodná s definicí z r. 1953 až na to, že místo termínu „množství záření“ bylo použito termínu „dávka záření“.

V definici absorbované dávky termín „udělená energie“ označuje energii, jež se nachází a setrvává v okolí daného bodu. Absorbovaná dávka zahrnuje energii jaderných a elektronových srážek. V definici se neuvádí, jakým způsobem interaguje záření s hmotou a neříká se nic ani o druhu záření, které se absorbuje, ani o povaze absorpčního prostředí.

„Expoziční dávka se měří velikostí náboje  $\Delta Q$ , vytvořeného ve vzduchu sekundárními elektrony vyloučenými účinkem rentgenového a gama záření v malé hmotě vzduchu  $\Delta m$ , děleného hmotou  $\Delta m$ .“ Jedině za předpokladu, že existuje elektronová rovnováha, je náboj vytvořený v  $\Delta m$  číselně roven  $\Delta Q$ .

V podmínkách elektronové rovnováhy je absorbovaná dávka v radech úměrná expoziční dávce v rentgenech:

$$D = fI .$$

Pro vzduch má veličina  $f$  hodnotu 0,877. Jestliže se absorpce záření neděje ve vzduchu, nýbrž v biologické tkáni, hodnota koeficientu se pro daný druh záření značně mění v závislosti na energii záření a na povaze absorbující látky. Např. při stejné expoziční dávce rentgenového nebo gama záření s energií 200 keV absorbovaná dávka v kostech více než  $4 \times$  převyšuje absorbovanou dávku v měkké tkáni.

Při studiu biologického účinku záření je třeba znát nejen velikost absorbované dávky, ale i druh záření a jeho energii. Tak absorbované dávky změřené pro dva různé druhy záření, např. pro částice alfa a záření gama, mohou být stejné, ale biologický účinek je zcela rozdílný v důsledku rozdílné biologické účinnosti jednotlivých druhů záření.

Je třeba důsledně rozlišovat mezi expoziční dávkou v rentgenech a absorbovanou dávkou v radech. Vyskytují se např. názory, že pomocí radu se měří absorbovaná dávka ve tkáni, přičemž pomocí rentgenu se provádí podobné měření ve vzduchu. Jednotky rad a rentgen se nesmějí zaměňovat, neboť každá má svou přesně určenou oblast použití. Rozdíl mezi nimi záleží v tom, že rad je jednotkou absorbované dávky vztahované k absorbující hmotě, zatímco rentgen je jednotkou schopnosti záření způsobit ionizaci. Tato schopnost ionizovat může být zjištěna a měřena jen při interakci záření s hmotou. Jako standardní prostředí, ve kterém se ionizace měří, se volí vzduch za normálních podmínek.

V posledních doporučeních ICRU [8] je pojem absorbované a expoziční dávky dále upřesněn.

Absorbovaná dávka je dána poměrem

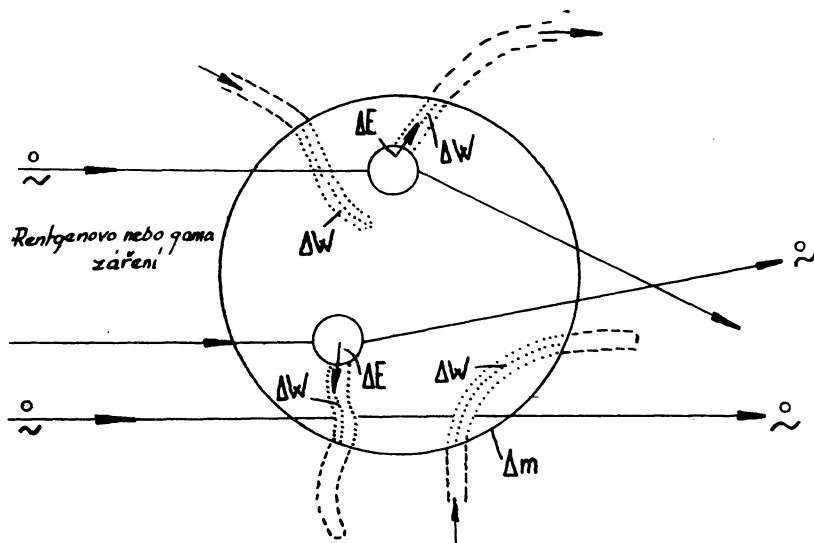
$$D = \Delta E_D / \Delta m ,$$

kde  $\Delta E_D$  je energie předaná zářením elementu ozářené látky o hmotnosti  $\Delta m$ . Zvláštní

jednotkou absorbované dávky je rad:

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 1/100 \text{ joule/kg} .$$

Zavádí se nová veličina, tzv. „kerma“ (z angl. kinetic energy released per unit mass), navržená ROESCHEM. Kerma je definována jako součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných rentgenovým nebo gama zářením v malém objemovém elementu uvažovaného materiálu, dělený hmotností tohoto elementu. Do součtu počátečních kinetických energií nabitých částic je zahrnuta energie, jež je uvolňována jako brzdné záření. Kinetická energie sekundárních elektronů se přemění



Obr. 2. K definici absorbované látky podle doporučení IGRU z r. 1962.

v průběhu jejich dráhy na excitaci a ionizaci. V případě homogenního ozáření nekonečného prostředí absorbovaná dávka a kerma jsou si rovny, v praktických případech se mohou od sebe velmi lišit. Rozdíl mezi absorbovanou dávkou a kermou je patrný z obr. 2. Srazí-li se foton v objemu o hmotnosti  $\Delta m$  s elektronem, předá mu energii  $\Delta E$ . Část energie  $\Delta E$ , kterou označíme  $\Delta W$ , se absorbuje v tomto objemu. V jiném případě elektron, který vznikl mimo tento objem, vnikne do něho, projde v něm část dráhy, resp. je v objemu úplně zastaven. Dopadá-li do uvažovaného objemu větší počet fotonů, kerma je dána výrazem  $(\sum \Delta E)/\Delta m$  a absorbovaná dávka  $(\sum \Delta W)/\Delta m$ . Neexistuje prakticky možnost měřit kermu přímo s výjimkou metody jaderných emulzí a bublinkové komory. Za podmínek elektronové rovnováhy je kerma rovna absorbované dávce. Kerma se vyjadřuje v jednotkách joule/kg nebo erg/g. Nedoporučuje se používat pro kermu jednotky rad, ačkoliv kerma má stejný rozměr jako absorbovaná dávka.

V posledních doporučeních ICRU se také navrhuje pojem expozice místo pojmu

expoziční dávka. Expozice je dána poměrem náboje  $\Delta Q$  a hmotnosti  $\Delta m$ , přičemž  $\Delta Q$  je celkový náboj iontů vytvořených sekundárními elektrony v objemu vzduchu o hmotnosti  $\Delta m$ . Do  $\Delta Q$  není zahrnuta ionizace způsobená brzdným zářením. Pro expoziční je možno psát

$$(1) \quad I = \Delta Q / \Delta m = Ne / \Delta m ,$$

kde  $N$  je celkový počet iontových párů vytvořených všemi sekundárními elektrony, jež vznikly v objemu o hmotě  $\Delta m$ . Je-li  $W_i$  střední energie potřebná na vytvoření jednoho iontového páru, je celková energie nutná k vytvoření  $N$  iontových párů ve vzduchu rovna  $NW_i$ . Veličina  $NW_i$  musí být však rovna součtu kinetických energií všech sekundárních elektronů uvolněných v objemu o hmotnosti  $\Delta m$ . Pro kerma ve vzduchu tedy platí:

$$(2) \quad K = NW_i / \Delta m .$$

Porovnáním vztahu (1) a (2) dostaneme:

$$I = eK / W_i .$$

Zvláštní jednotkou expoziční je rentgen. Vyjádříme-li expoziční v rentgenech, můžeme psát:

$$I = 0,001293 \cdot K / W_i .$$

$W_i$  pro vzduch je téměř nezávislé na rychlosti a náboji ionizující částice. Můžeme říci, že expoziční je ionizační ekvivalent veličiny kerma ve vzduchu (neplatí to však, má-li primární záření velmi vysokou energii). Expoziční je možné měřit prakticky jen za podmínek elektronové rovnováhy, tj. tehdy, když celková ionizace vytvořená v daném objemu vzduchu je rovna ionizaci podél všech drah sekundárních elektronů, které pocházejí z tohoto objemu. Přenos energie z primárního záření na sekundární elektrony je vyjádřen pomocí veličiny kerma v energetických jednotkách a pomocí expoziční v počtu iontových párů. Kerma a absorbovaná dávka jsou makroskopické veličiny definované jen pro relativně velkou oblast, ve které dochází k velikému počtu interakcí. Expozice slouží k popisu pole rentgenového a gama záření vně i uvnitř ozářených objektů. Ze změřené expoziční lze vypočítat absorbovanou dávku záření v objektu. Kromě toho se expoziční používá k charakteristice zdrojů záření.

Doporučení ICRU z r. 1962 řeší také otázku, má-li být absorbovaná dávka a expoziční vyjadřována v jednotkách mezinárodní měrové soustavy (joule/kg, coulomb/kg) nebo ve speciálních jednotkách (rad, rentgen). ICRU uznává platnost speciálních jednotek a doporučuje užívat jednotky rad pouze pro absorbovanou dávku a jednotky rentgen pouze pro expoziční. Nedoporučuje se však zavádět nějaké nové speciální jednotky. Pokud je nutné vyjádřit absorbovanou dávku a veličinu kerma ve stejných jednotkách, musí být použito jednotek mezinárodní měrové soustavy.

Doporučení ICRU jsou základem pro vytváření předpisů a norem jednotlivých zemí. Zmíníme se na závěr o některých posledních materiálech platných v Československu, ve kterých se pojednává o radiologických jednotkách. Je to především



norma Předpisy pro pracoviště s radioaktivními látkami ČSN 34 1730 z r. 1959. Zajímavě je zde definována „dávka měřená ionizujícími účinky“ (tedy expoziční dávka ve smyslu doporučení ICRU z r. 1956) jako množství iontů vytvořených rentgenovým zářením nebo zářením gama v 1 cm<sup>3</sup> vzduchu. Je tedy zachován postup jako v doporučeních ICRU z r. 1956: nejdříve je definována veličina, kterou měříme pomocí jednotky rentgen, a teprve potom tato jednotka. V r. 1963 byla vydána vyhláška o hygienické ochraně před ionizujícím zářením [9]. V témže roce byla zveřejněna „Nová měrová soustava v ČSSR“ [10], sestavená podle doporučení ISO TC/12. Absorbovanou dávkou se zde rozumí energie  $W$  předaná hmotnému elementu ozářované látky a dělená hmotností  $m$  tohoto elementu:

$$D = W/m .$$

Hlavní jednotkou absorbované dávky má být joule/kg, zvláštní jednotkou rad. Dále se navrhují české názvy „celková absorbovaná dávka“ (místo dosud užívaného integrální absorbovaná dávka) a nepříliš vhodný název „měrná absorbovaná dávka“ (místo intenzita absorbované dávky, resp. dávková intezita). Dávka ozáření (český název navrhovaný místo expoziční dávky) je definována jako celkový elektrický náboj  $Q$  iontů jednoho znaménka v nějakém množství vzduchu dělený hmotností  $m$  tohoto množství:

$$X = Q/m .$$

K této definici se dodává: „Přitom ještě musí být splněna podmínka, že všechny elektrony uvolněné dopadajícími fotony zůstanou ve vyšetřovaném množství vzduchu“. Je zřejmá neúplnost této podmínky, neboť obecně při měření expoziční dávky je nutné, aby existovala elektronová rovnováha mezi měrným objemem a jeho okolím. Hlavní jednotkou dávky ozáření má být coulomb/kg. Zvláštní jednotkou je rentgen, pro který se navrhuje nevhodné označení R. Není přihlédnuto k tomu, že jednotka rep je zastaralá, a znovu je uváděna.

Vcelku je možno říci, že dávky záření a jejich jednotky jsou v „Nové měrové soustavě“ definovány částečně ve shodě s doporučeními ICRU z r. 1962, je však škoda, že do textu pronikly některé nepřesnosti (v našem článku jen zčásti vyjmenované), které bude třeba odstranit. Snaha zavádět české názvy je sympatická, mělo se však uvážit, zda termíny dosud u nás používané nejsou již příliš vžitě.

## ZÁVĚR

V souvislosti s definicí rentgenu v doporučeních ICRU z r. 1953 vyvstala otázka, je-li rentgen jednotkou pohlcené energie nebo jednotkou ionizace či schopnosti záření ionizovat při interakci s prostředím. V definici rentgenu bylo použito termínu „množství záření“, což vedlo k oprávněné domněnce, že jednotka rentgen se vztahuje k intenzitě dopadajícího záření. V doporučeních ICRU z r. 1956 je zdůrazněno, že rentgen je jednotka expoziční dávky rentgenového a gama záření; tato jednotka je založena na ionizaci ve vzduchu, ale nikterak nevyjadřuje množství ionizace a není

ani jednotkou ionizace ani absorbované dávky ve vzduchu. Ačkoliv podle definice z r. 1953 má rentgen rozměr toku energie, neříká nic o intenzitě ani o energii záření, i když tyto veličiny mohou být z výsledku měření vypočteny. Poslední doporučení ICRU ve snaze upřesnit vývody předchozích doporučení definují absorbovanou dávku, novou veličinu kerma a expozici.

Z uvedeného výčtu nejrůznějších definic a jednotek dávky záření by se mohlo zdát, že v dozimetrii ionizujícího záření byla a dosud je řada nerozřešených problémů. Diskuse, které probíhají v oblasti dozimetrie, se však převážně týkají spíše teoretických otázek, nikoli způsobů praktického měření. Praktická měření se setkávají nanejvýš s technickými, nikoli však se zásadními obtížemi.

#### Literatura

- [1] F. BĚHOUNEK, A. BOHUN, J. KLUMPAR: *Radiologická fyzika*. SNTL, Praha 1958.
- [2] F. BĚHOUNEK: *Dozimetrie ionizačního záření a ochrana před ním*. SPN, Praha 1959.
- [3] G. J. HINE, G. L. BROWNELL: *Radiation Dosimetry*. Academic Press Inc. Publishers, New York 1956.
- [4] S. N. ARDAŠNIKOV, N. S. ČETVERIKOV: *Atomnaja energija* 9, 239 (1957).
- [5] G. W. GORSCHKOW: *Gammastrahlung radioaktiver Körper*. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1960.
- [6] E. H. QUIMBY, G. C. LAURENCE: *Radiology* 35, 138 (1940).
- [7] Report of the International Commission on Radiological Units and Measurements (ICRU) 1956. National Bureau of Standards Handbook 62, April 10, 1957; ruský překlad: Moskva 1959.
- [8] ICRU Report No. 10a, 19292. Nat. Bur. Stds Handbook No. 84; ruský překlad *Izmeritelnaja tehnika* 10, 54 (1963). Přehledně v článku J. W. BOAG: *Physics in Med. and Biol.* 7, 409 (1963).
- [9] Vyhláška ministerstev zdravotnictví a chemického průmyslu ze dne 21. 3. 1963 o hygienické ochraně před ionizujícím zářením a o hospodaření se zdroji ionizujícího záření č. 34, částka 19 Sb. zák. ČSSR (1963).
- [10] V. ŠINDELÁŘ, L. SMRŽ: *Nová měrová soustava v ČSSR*. Normalizace č. 12 (1963).

## RAD PREVRÁTENÝCH HODNŮT VŠETKÝCH PRVOČÍSEL A NIEKTORÉ VÝSLEDKY O KONVERGENCII ČIASTOČNÝCH RADOV HARMONICKÉHO RADU

TIBOR ŠALÁT, Bratislava

V tomto článku pojednáme o niektorých spôsoboch, ako možno zistiť divergenciu radu  $\sum_{n=1}^{\infty} 1/p_n$  prevrátенých hodnôt všetkých prvočísel a osvetlíme túto problematiku aj pomocou istých úvah, ktoré sa týkajú divergencie čiastočných radov harmonického radu.