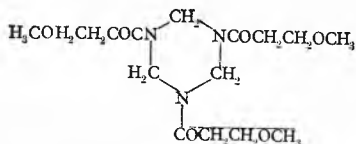


i trajna fiksacija uobičajenim postupcima). Trajnost ovakve fiksacije ovisi o vremenu i temperaturi obrade u vodenom mediju; npr. potpuna trajna fiksacija bi se mogla postići parenjem ili kuhanjem za 2-3 sata, što je tehnološki neprovedivo. Tek podesnom redukcijom, koja prekida veći broj cistinskih veza, omogućeno je stabilno održavanje protonskih veza u povoljnijim položajima (vlakna ispravljena — glatka površina, ili trajno previnuta — trajni nabori i pliseji), koji se više ne mijenjaju ni kvašenjem, ni pranjem, ni glačanjem. Najstariji i najpoznatiji postupak trajne fiksacije kemijskom modifikacijom je postupak Siroset, odnosno »IWS Finish« (Internacionalni sekretarijat za vunu London), u kojemu kao redukcijska sredstva služe monoetanolaminsulfid u 60-70% tnoj otopini, propanolaminsulfid i dietanolaminkarbonat u kiselom mediju, pod trgovačkim imenima Siroset NS, NC, MEAS, MESAC, Thioset M i drugima. Ovi postupci omogućuju ili da se samo trajno fiksiraju nabori i pliseji na već dovršenoj odjeći ili da se trajno fiksira čitava ploha tkanine, a nabori se naknadno fiksiraju dodatnim lokalnim redukcijskim procesom na dovršenim odjevnim predmetima. Pleteni vuneni proizvodi koje treba češće prati moraju se u svrhu potpune stabilizacije prethodno obraditi i podesnim postupcima za sprečavanje pustenja (oksidacijski procesi ili obrada sintetičkim smolama), a zatim se trajno kemijski fiksiraju.

**Antistatička preparacija.** Tekstilni materijali od sintetičkih vlakana slabo su hidrofilni i slabo električno vodljivi (apsorpcija vode iz zraka uz 65% relativne vlažnosti iznosi za prirodna i polusintetička vlakna 8-16%, a za sintetička vlakna 0-6%; logaritam specifičnog električnog otpora uz 65% relativne vlažnosti zraka iznosi za prirodna i polusintetička vlakna 7-9, a za sintetička vlakna 9-14, tj. vodljivost sintetičkih vlakana može biti i do 10 milijuna puta manja od vodljivosti prirodnih i polusintetičkih vlakana). Zbog toga se statički električni naboji koji u takvim vlaknima mogu nastati trljanjem ili odvajanjem vrlo teško odvesti, pa se zbog uzajamnog privlačenja suprotnih i odbijanja jednakih naboja pojavljuju teškoće u preradi i upotrebi tekstilnih proizvoda od takvih vlakana, npr. razdvajanje vlakana i niti u predenju, čvrsto prljanje nečistoća iz zraka i u kupkama, pojava iskra koje mogu izazvati požar. Odvođenje naboja s materijala može se olakšati bilo tako da se zraku poveća vodljivost ionizacijom npr. radioaktivnim zračenjem ili visokofrekventnim strujama visokog napona (*elektrostatički eliminatori*), ili povećanjem vodljivosti površine samih materijala. To se postiže time što se na površinu nanese tanak sloj neke električno vodljive tvari (»preparacije«), koja treba da je postojana u pranju i suhom čišćenju. Danas se za to mnogo primjenjuju tvari koje na površini vlakna mogu tvoriti finu polimernu strukturu, npr. reakcijom trifunkcionalnog spoja 1,3,5-tris (metoksi)propionil-*s*-perhidrotiazina:



(TMPT) s polifunkcionalnim spojevima koji se mogu umrežiti, npr. polietilenglikolima, polieterdiaminima i polihidroksipoliaminima. Bolja antistatička svojstva postižu se ako nastali polimeri sadrže i hidrofilne i ionske grupe, a ne samo ili jedne ili druge. Takva su sredstva postojana u pranju do 60°C.

**Doradni pogoni.** Dorada je u tekstilnoj tvornici po pravilu posljednja faza proizvodnje, ukoliko nisu posrijedi procesi i operacije koje se vrše na sirovini ili poluproizvodima. Dorada se može obavljati i u posebnim samostalnim pogonima ili poduzećima koji ili doraduju sirovu robu na ujam za tkaonice i pletionice (po pravilu proizvode od pamuka i od kemijskih vlakana) ili nabavljaju na svoj račun sirovu robu pa je doraduju prema zahtjevima tržišta. Takvi su doradni pogoni obično opremljeni velikim brojem različitih strojeva i uređaja za sve vrste i oblike prerade tekstilnih proizvoda, kako bi uvijek mogli zadovoljiti zahtjeve naručioca ili tržišta.

LIT.: V. *Apertura, Bijeljenje, čišćenje i pranje tekstilnih proizvoda i Bojarsarstvo i tisak tekstila*. Dopuna tamo navedene literature: H. A. Nissan, *Textile engineering processes*, London 1959. — C. H. Fischer-Bobsien, *Lexikon Textilveredlung und Grenzgebiete*, Dühren-Dehrup 1960. — В. Фелюкс, *Химическая технология текстильных материалов*, т. 7, Заключительная отделка, Москва 1965. — W. Bernard, *Praxis des Bleichens und Färbens von Textilien*,

Berlin 1966. — G. Dierkes, *Textiltechnik*, poglavlje *Textilveredlung*, u djelu: W. Foerst, Herausg., *Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie*, 17. Bd., München-Berlin-Wien 1966. — R. H. Peters, *Textile chemistry*, Amsterdam 1967. — W. Bernard, *Appretur der Textilien*, Berlin-Heidelberg-New York 1967.

M. Žerđik

**DOZIMETRIJA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA**, samostalna oblast primenjene nuklearne fizike u kojoj se razmatraju osobine jonizujućih zračenja, fizičke veličine koje karakterizuju uzajamno dejstvovanje zračenja i određene sredine, kao i metode i sredstva za merenje tih veličina. Pod jonizujućim zračenjem razumevaju se sve one vrste elektromagnetnih i korpuskularnih zračenja [zakočno zračenje (X-zračenje ili rendgensko) i  $\gamma$ -zračenje;  $\alpha$ -zračenje,  $\beta$ -zračenje, neutroni, mezoni, itd.] koja neposredno ili posredno jonizuju i fizički, hemijski ili biološki menjaju ozračenu sredinu. Izvori jonizujućih zračenja mogu biti prirodno ili veštački nastale radioaktivne materije, nuklearni reaktori, akceleratori naelektrisanih čestica, rendgenske aparature, ekrani televizijskih, radarskih i njima srodnih elektronskih cevi, fosforescentne skale mernih instrumenata i indikatora i kozmičko prostranstvo.

Prolazeći kroz neki materijal, jonizujuće zračenje mu predaje energiju u većoj ili manjoj meri. Ova apsorbovana energija manifestuje se u ozračenoj materijalu fizičkim, hemijskim i biološkim promenama. U svom početku razvitak je dozimetrije bio u potpunosti uslovljen potrebom da se čovek zaštiti od štetnog dejstva jonizujućih zračenja, a i danas se najvažnijom zadaćom dozimetrije smatra određivanje apsorbovanih doza zračenja u različitim sredinama, a posebno u tkivu živih organizama. Tom će se stranom dozimetrije i ovaj članak prvenstveno baviti.

Današnji razvoj nuklearne tehnike i široka primena radioaktivnih izotopa u različitim područjima nauke i privrede razlog su da se metodama i instrumentima dozimetrije koriste ne samo radiologija i služba zaštite od jonizujućih zračenja, već i biologija, medicina, hemija, geologija, defektoskopija, kontrola različitih tehnoloških procesa itd.

**Veličine koje karakterizuju jonizujuća zračenja. Jedinice.** Čestice i kvanti zračenja mogu jonizovati sredinu neposredno ili posredno. *Neposredno jonizujuće čestice* su takve naelektrisane čestice (elektroni, protoni,  $\alpha$ -čestice i druge) koje imaju dovoljno energije da izazovu jonizaciju; *posredno jonizujuće čestice* su neutralne čestice i kvanti energije (neutroni, fotoni itd.) koji mogu da oslobađaju neposredno jonizujuće čestice ili izazovu nuklearnu preobrazbu. Za karakterizaciju zračenja koje se sastoji od jedne ili druge vrste čestica odn. kvanta upotrebljavaju se fizičke veličine koje su navedene u nastavku. Te se veličine mogu meriti odgovarajućim koherentnim jedinicama međunarodnog sistema mera MKSA (metar, kilogram, sekunda, amper) ili sistema CGS (santimetar, gram, sekunda), i bilo bi poželjno da se sve samo tim jedinicama i mere. Međutim, za neke od tih veličina u radiologiji tako su se uobičajile specijalne jedinice da ih je Međunarodna komisija za radiološke jedinice i merenja (ICRU) morala priznati, ali s time da se svaka od tih specijalnih jedinica sme upotrebljavati samo za jednu veličinu.

*Energija predata materiji* u određenom volumenu od jonizujućeg zračenja, zvana takode *integralna apsorbovana doza*, predstavlja razliku između energija svih neposredno i posredno jonizujućih čestica i kvanta koji su ušli u taj volumen i zbira energija svih čestica i kvanta koji su iz njega izašli, minus energija ekvivalentna porastu mase mirovanja koji je nastao usled nuklearnih reakcija ili reakcija među elementarnim česticama unutar volumena.

*Apsorbovana doza (D)* je energija predata od jonizujućeg zračenja jedinici mase materije. Ona je mera energetskog dejstva bilo koje vrste zračenja u bilo kojoj sredini. U opštem slučaju, kad polje zračenja nije jednoliko u prostoru, određuje se kvocijent predate energije i mase sadržane u volumnom elementu pri čemu treba taj volumni element uzeti dovoljno malen da dalje njegovo smanjivanje osjetljivo ne menja kvocijent tih dveju veličina, a dovoljno velik da kroza nj prolazi mnogo čestica ili kvanta. Ako nije moguće naći masu toliku da su oba ta uslova ispunjena, apsorbovana doza se ne može odrediti jednim merenjem, već je treba odrediti kao ekstrapolisano ili srednju vrednost iz više merenja. To važi i za druge veličine o kojima je reč u nastavku (fluks, intenzitet, ekspoziciju, aktivnost). Koherentna jedinica za apsorbo-

vanu dozu u sistemu CGS bila bi, prema rečenom, erg/g, a u sistemu MKSA, J/kg; uobičajila se, međutim, specijalna jedinica sto puta veća od prve a sto puta manja od druge, zvana *rad* (radiation absorbed dose):  $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 0,01 \text{ J/kg}$  (džul po kilogramu). 1 milirad (mrad) = 0,001 rad.

*Intenzitet apsorbovane doze* ( $D/t$ ) je porast apsorbovane doze u jedinici vremena; njena je specijalna jedinica rad podeljen s pogodnom jedinicom vremena: rad/d, rad/h, rad/min, itd. U slučaju vremenski promenljivog polja zračenja, za interval vremena u kojem se određuje porast doze važi isto što je gore rečeno o volumnom elementu. To važi i za druge u nastavku navedene brzine i vremenske intervale.

*Fluks čestica* ( $\Phi$ ) je broj čestica ili kvanata koji ulaze u volumni element oblika lopte, po jedinici poprečne površine te lopte. Jedinica mu je  $\text{cm}^{-2}$ , odn.  $\text{m}^{-2}$ . *Gustina fluksa* ( $\varphi$ ) je fluks čestica u jedinici vremena ( $\varphi = \Phi/t$ ); meri se jedinicom  $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , odn.  $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Fluks čestica se ponekad definiše kao broj čestica koji prolazi kroz element ravnji, po jedinici površine tog elementa. Za zračenje koje pada paralelno na tu ravan obe su definicije fluksa čestica identične.

*Energetski fluks čestica* ( $F$ ) je suma energija svih čestica i kvanata, sem energija mirovanja, koje ulaze u volumni element oblika lopte, po jedinici poprečne površine te lopte. Meri se u jedinicama  $\text{erg/cm}^2$ , odn.  $\text{J/m}^2$ . *Gustina energetskog fluksa* ili *intenzitet*  $I$  je energetski fluks u jedinici vremena. Njegove su jedinice  $\text{erg/cm}^2 \text{ s}$  i  $\text{W/m}^2$ .

Za energetsko slabljenje, promenu pravca i apsorpciju kvanata X-zračenja i  $\gamma$ -zračenja energije do 10 MeV, u dozimetriji su od osnovnog značenja tri mehanizma interakcije sa jezgama atoma i elektronima izložene sredine: efekti fotoelektrični, Comptonov i stvaranja parova. *Linearni koeficijent slabljenja* (apsorpcije) *fototelektričnog efekta* ( $\tau$ ) ima izraženu ulogu kad kvanti imaju malu energiju (do 0,6 MeV) a izloženi materijal ima velik atomski broj; pri fotoelektričnom efektu se energija primarnog kvanta pretvara u kinetičku energiju elektrona izbačenog iz njegove putanje u atomu. *Linearni koeficijent slabljenja Comptonova efekta* ( $\sigma$ ) važan je kad je energija kvanta između 0,1 i 1,5 MeV a izloženi materijal sastavljen od elemenata iz sredine periodnog sistema, ili je energija kvanta 1...5 i više MeV a materijal sastavljen od teških elemenata. Comptonov efekt predstavlja elastičan sudar fotona i elektrona, pri kojemu dolazi do raspodele energije i do rasejavanja (promene pravca) kvantnog zračenja. *Linearni koeficijent slabljenja pri proizvodnji elektronskih parova* (elektron-pozitron) ( $\kappa$ ) karakterističan je za zračenje s energijom primarnih kvanata počevši od 1,02 MeV. Kako je to energija mirovanja elektronskog para ( $mc^2 = 0,51 \text{ MeV}$ ) je energija mirovanja, energetski ekvivalent mase, elektrona odn. pozitrona), proizvodnja parova moguća je tek uz energiju  $> 1,02 \text{ MeV}$ . Pri tom efektu u kulonskom polju jezgara, rede i pojedinih elektrona, dolazi do potpunog pretvaranja kvanta u par pozitron-elektron, a eventualni višak energije fotona javlja se kao kinetička energija elektronskog para.

*Ukupni linearni koeficijent slabljenja* ( $\mu$ ) monoenergetskog snopa kvantnog zračenja iznosi:

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa = \mu_k + \mu_e.$$

On je ravan verovatnoći interakcije kvanta s materijom po jedinici dužine puta (jedinice su mu  $\text{m}^{-1}$  odn.  $\text{cm}^{-1}$ ), pri čemu njegov deo  $\mu_k$  odgovara iznosu energije primarnih kvanata pretvorenom u kinetičku energiju sekundarnih naelektrisanih čestica, a deo  $\mu_e$  svim drugim vrstama energije (uključivši energiju zakočnog zračenja sekundarnih čestica).

*Maseni koeficijent slabljenja* (apsorpcije) predstavlja linearni koeficijent slabljenja posredno jonizujućih zračenja po jedinici gustine (specifične mase):  $\mu/\rho$ . Jedinica mu je  $\text{m}^{-1} \times \text{m}^3/\text{kg} = \text{m}^2/\text{kg}$ , odn.  $\text{cm}^{-1} \times \text{cm}^3/\text{g} = \text{cm}^2/\text{g}$ . *Maseni koeficijent prenosa energije* ( $\mu_k/\sigma$ ) nekog materijala gustine  $\rho$  za posredno jonizujuće zračenje jest odnos sume kinetičke energije oslobođenih naelektrisanih čestica ( $dE_k$ ) u sloju materijala debljine  $dl$  i sume energije zračenja ( $E$ ) koja ulazi u taj sloj:

$$\frac{\mu_k}{\rho} = \frac{1}{E\rho} \cdot \frac{dE_k}{dl}.$$

Jedinice su ove veličine  $\text{m}^2/\text{kg}$  odn.  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

*Ekspozicija* ili *izlaganje* ( $X$ ), veličina koja se nekad nazivala doza zračenja i doza ekspozicije, je zbir naelektrisanja svih jona

jednog znaka nastalih u vazduhu kad svi elektroni i pozitroni oslobođeni fotonima u volumnom elementu vazduha potpuno izgube svoju kinetičku energiju u izloženoj vazdušnoj sredini, podeljen s masom vazduha u volumnom elementu. Koherentna jedinica ekspozicije u sistemu MKSA je kulon (coulomb) po kilogramu ( $\text{C/kg} = \text{As/kg}$ ) a u elektrostatičkom sistemu CGS, 1 elektrostatička jedinica naelektrisanja po gramu (e. s. j./g) ali se češće upotrebljava specijalna jedinica *rendgen* (roentgen):  $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$ . Ta je jedinica numerički identična starom rendgenu, definiranom kao 1 elektrostatička jedinica naelektrisanja po standardnom kubnom santimetru ( $= 0,001293 \text{ g}$ ) vazduha. Jonizacija izazvana apsorpcijom zakočnog zračenja emitiranog sekundarnim elektronima (kod velikih energija fotona) ne računa se u zbir naelektrisanja. Pri današnjem stanju tehnike merenja teško je meriti ekspoziciju kad je energija fotona koji oslobađaju elektrone veća od nekoliko MeV ili manja od nekoliko keV.

Općenito uzeto, ekspozicija nije ekvivalentna apsorbovanoj dozi kvantnog zračenja u vazduhu. Razlika je u tome što apsorbovana doza karakterizuje ukupnu energiju apsorbovanog zračenja, a ekspozicija samo onaj deo energije kvantnog zračenja koja se pretvara u kinetičku energiju naelektrisanih čestica i koji se utroši isključivo za jonizaciju vazduha. Ove dve količine imaju jednak energetski ekvivalent u vazduhu samo kad postoji elektronska ravnoteža; u tom slučaju ekspozicija od 1 R odgovara apsorbovanoj dozi od 0,877 rad ili 87,7 erga po gramu vazduha. U mekanom tkivu ekspozicija 1 R odgovara dozi od 0,97 rad ili 97 erga po gramu tkiva.

*Intenzitet ekspozicije* ( $X/t$ ) je porast ekspozicije u jedinici vremena, njegova koherentna jedinica je A/kg, a specijalna jedinica je kvocijent rendgena i podesne jedinice vremena, R/s, R/min, R/h itd.  $1 \text{ R/s} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ A/kg}$ . Intenzitet ekspozicije kvantnog zračenja ekvivalentan je proizvodu intenziteta i masenog koeficijenta prenosa energije, ona je, dakle, proporcionalna intenzitetu samo kad se maseni koeficijent prenosa energije može smatrati konstantnim, što se uglavnom može kad su energije kvantova između 20 keV i 3 MeV.

Intenzitet ekspozicije se obično koristi za upoređivanje dejstva raznoenergetskog zračenja, različitih izotopa, na istu sredinu (obično vazduh). Ovakva uporedna merenja dejstva zračenja zadržala su se uglavnom u biologiji i vrše se pomoću otvorenih jonizacionih komora, tj. komora čija je radna zapremina ispunjena atmosferskim vazduhom. (Odatle stara definicija rendgena.)

*Srednja (prosečna) energija* ( $W$ ) utrošena u nekom gasu na stvaranje jednog para jona iznosi  $W = E N_w$ , gde je  $N_w$  prosečni broj jonskih parova koji nastaje kad se naelektrisana čestica početne energije  $E$  potpuno zaustavi gasom.

Linearni prenos energije  $L$  naelektrisane čestice u nekom medijumu predstavlja diferencijalni kvocijent  $dE_L/dl$ , gde je  $dE_L$  prosečna energija predata od jonizujuće čestice medijumu pri prelazanju rastojanja  $dl$ .

Brzina gubitka energije naelektrisanih čestica pri njihovom prolasku kroz materiju zavisi od mase energije i naelektrisanja čestice. Linearni prenos energije raste srazmerno masi i naelektrisanju jonizujućih čestica a opada s porastom njihove energije.

*Masena sposobnost kočenja* ( $S/\rho$ ) neke materije specifične mase  $\rho$  jeste proizvod prosečne energije što je čestica određene energije na određenoj putanji troši po jedinici dužine putanje ( $dE_s/dl$ ) i specifičnog volumena ( $1/\rho$ ) materije:

$$\frac{S}{\rho} = \frac{dE_s}{dl} \cdot \frac{1}{\rho}.$$

Pri tom je  $dE_s$  ukupna energija utrošena za jonizaciju, ekscitaciju i radijaciju. Masena sposobnost kočenja odnosi se na gubitak energije bez obzira na to gde se ona apsorbuje, linearni prenos energije, pak, odnosi se na energiju utrošenu unutar ograničenog volumena uzduž putanje čestice.

Osnovni mehanizam koji je u ovom slučaju odgovoran za gubitak energije, odnosno pobuđivanje i neposrednu jonizaciju, jesu Coulombove sile koje uzajamno dejstvuju između naelektrisane čestice i vezanih elektrona u atomima ozračenog materije. Pri prolasku kroz materiju putanje  $\alpha$ -čestica i težih naelektrisanih čestica neznatno odstupaju od pravca početne putanje jonizacije. Za razliku od težih naelektrisanih čestica,  $\beta$ -zračenje (elektroni

i pozitroni) pri prolasku kroz materiju gubi energiju ne samo posredstvom pobuđivanja i neposredne jonizacije već i putem emisije elektromagnetskog X-zračenja (zakočno zračenje karakteristično za elektrone svih energija), a putanje jonizacije nisu karakterizovane pravim linijama i određenim dometima, već su i za monoenergetske  $\beta$ -čestice znatno krivudave i dometi im se među sobom znatno razlikuju. Apsorbovana doza od fluksova naelektrisanih čestica može se odrediti bilo neposrednim merenjem iznosa energije predane ozračivanom objektu bilo računskim putem ako je poznata gustina fluksa  $\varphi$  i linearni prenos energije  $L$ , i to kako za tačkaste tako i za površinske i volumenske izvore zračenja.

Osnovni mehanizmi uzajamnog dejstva *neutronske zračenja* i materije jesu neelastični i elastični sudari (najefikasniji proces smanjivanja energije neutrona do termalne,  $\sim 0,025$  eV), radijacioni zahvat (sa ispuštanjem  $\gamma$ -kvanta od nekoliko MeV), izbacivanje naelektrisanih čestica iz jezgri ozračenog materije (najverovatniji proces za lake jezgre i brze neutrone) i fisija. Radijacioni zahvat i nuklearne transformacije uslovljavaju potpuno pretvaranje energije neutrona u energiju sekundarnog zračenja. U procesima elastičnog i neelastičnog raspršavanja pretvara se u energiju sekundarnog zračenja samo deo energije primarnih neutrona. Dakle, za razliku od kvantnog zračenja, pri uzajamnom dejstvu neutronske zračenja i materije nastaju sekundarne čestice različite vrste, zavisno od energije neutrona i atomskog sastava ozračenog sredine.

Osnovna veličina u dozimetriji neutronske zračenja je apsorbovana doza. Praktično važnim javlja se određivanje apsorbovanih doza u biološkom tkivu. Pri ozračivanju vanjskim fluksom neutrona, apsorbovana doza se neravnomerno raspoređuje unutar biološkog objekta. U skladu sa višekratnim raspršavanjem i akumulacijom neutrona niskih energija, apsorbovana doza može dostići maksimalnu vrednost na izvesnoj dubini od površine objekta. Absolutna vrednost apsorbovane doze od neutronske zračenja u mekanom tkivu je najmanja kad je energija neutrona  $\sim 50$  eV ( $10^{-10}$  erg/g po neutronu i kvadratnom santimetru), a veća je kad je energija neutrona manja ili veća.

Za karakterizaciju *radioaktivnih izvora zračenja* služe njegova aktivnost i specifična konstanta gama-zraka.

*Aktivnost (A)* određene količine radioaktivne materije je broj nuklearnih raspada u jedinici vremena. Koherentna jedinica aktivnosti u sistemima CGS i MKSA bila bi  $s^{-1}$ , uobičajena je specijalna jedinica *kiri* (curie), Ci.  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} s^{-1}$ . Aktivnost radioaktivnog izvora koji se sastoji od više radioaktivnih izotopa ravna je zbiru pojedinačnih izotopskih aktivnosti.

U dozimetriji uobičajeno je upoređivati radioaktivne izvore po njihovu  $\gamma$ -zračenju. Dva radioaktivna izvora koja uz identične uslove imaju jednaki intenzitet ekspozicije, u pogledu  $\gamma$ -zračenja se smatraju ekvivalentnima. Budući da je u uslovima elektronske ravnoteže intenzitet ekspozicije upravno proporcionalan aktivnosti izvora a obrnuto proporcionalan kvadratu odstojanja od izvora, konstanta proporcionalnosti, zvana specifičnom konstantom  $\gamma$ -zraka:

$$r = \frac{l^2}{A} \cdot \frac{X}{t}$$

(gde je  $l$  odstojanje od izvora aktivnosti  $A$ , a  $X/t$  intenzitet ekspozicije), predstavlja karakterističnu konstantu radioaktivnog izvora koji emitira  $\gamma$ -zrake.

Efekat jonizujućeg zračenja na biološke sisteme ne zavisi samo od apsorbovane doze  $D$  i njena intenziteta  $D/t$ , tj. ukupnog broja nastalih jona i vremenske raspodele dejstva zračenja, nego i o specifičnoj gustini jonizacije, karakterizovanoj linearnim prenosom energije  $L$ . Stoga apsorbovana doza i njena brzina ne dostaju za karakterizaciju biološkog efekta jonizujućeg zračenja, nego treba, da bi se dobila veličina koja predstavlja zajedničku meru za sva zračenja koja su biološki dejstvovala na ozračenim licima (ili sisare), pomnožiti apsorbovanu dozu izvesnim faktorom zavisnim od linearnog prenosa energije, a po potrebi i drugim faktorima koji izražavaju promenu biološkog dejstva drugim okolnostima. Tako se, npr., pored faktora zavisnog od linearnog prenosa energije, koji se naziva *faktorom kvaliteta* OF, može upotrebiti i faktor koji vodi računa o nejednoličnoj raspodeli izotopa deponovanih u organizmu, tzv. *faktor distribucije* DF. Proizvod apsorbovane doze

i modifikujućih faktora zove se *ekvivalent doze* (DE), on se meri u jedinicama zvanim *rem* (roentgen equivalent man, odn. roentgen equivalent mammal). Ekvivalent doze u remima numerički je jednak apsorbovanoj dozi u radima pomnoženoj s faktorom kvaliteta i eventualno drugim modifikujućim faktorima. Kako po definiciji 1 rem jedne vrste jonizujućeg zračenja ima isto biološko dejstvo na dato živo tkivo kao 1 rem bilo koje druge vrste jonizujućeg zračenja, to se ekvivalenti doze pojedinih vrsta zračenja mogu prosto sabirati. Zbog toga je jedinica rem vrlo zgodna za izražavanje količina biološki efikasnog zračenja sastavljenog od više vrsta različitih čestica i kvanta. Faktor OF kreće se od 1 do 20, i npr. za elektrone (beta-zrake) iznosi 1, za alfa-zrake 10, za brze neutrone i protone 10, za spore neutrone 5, za termičke neutrone 3.

Pojmovi *ekvivalent doze*, *faktor kvaliteta*, *faktor distribucije* itd. upotrebljavaju se prema preporuci komisije ICRU od 1962 u dozimetriji za svrhe zaštite od zračenja. U radiobiologiji upotrebljava se i dalje za preračunavanje apsorbovane doze u jedinicama rad u njezin ekvivalent u jedinicama rem (zvan *RBE-doza*), faktor RBE (relativna biološka efikasnost), definiran kao odnos jakosti biološkog oštećenja izazvanog apsorbovanom dozom od 1 rad bilo kakvog zračenja i biološkog oštećenja izazvanog apsorbovanom dozom od 1 rad  $\gamma$ -zračenja s linearnim prenosom energije u vodi jednakim 3 keV/ $\mu$ m. Faktor RBE upotrebljava se još uvek dosta u dozimetriji.

*Maksimalno dozvoljena doza* je ona doza koju čovek sme da primi bez štete za zdravlje. Dejstvo zračenja na biološke sisteme veoma je komplikovano i njim se bavi posebna grana nauke, radijaciona biologija (radiobiologija), koja je u razvoju. Kako je ova nauka napredovala tako su se i vrednosti dozvoljenih doza smanjivale. Zbog toga se može govoriti samo o vrednostima koje su do danas usvojene, a nikako o definitivnim vrednostima.

Na osnovu saznanja radiobiologije i radijacione medicine dozvoljava se osoblju koje neposredno radi sa radioaktivnim materijama da primi najviše 0,3 rema za nedelju dana. Pod ovim se razumeva vanjsko i unutrašnje ozračivanje celog tela. Kako je dozvoljena godišnja doza svega 4 rema, to znači da se ne može primati svake nedelje po 0,3 rema, nego 0,3 rema predstavlja maksimalnu nedeljnu dozu, s tim da prosečna nedeljna doza u toku godine dana ne prelazi 0,1 rem. Tromesečna doza ne sme da pređe 3 rema. U slučaju delimičnog izlaganja zračenju (šaka, nadlaktica, skočni zglobovi, stopala) maksimalna nedeljna dozvoljena doza iznosi 1,5 rem, tokom 13 uzastopnih nedelja do 20 rema, a tokom godine dana 75 rema.

Iznutra ozračuju organizam radioaktivne materije koje su udisanjem ili gutanjem ušle u organizam. Ozbiljnu biološku opasnost predstavljaju radioaktivni aerosoli koji kroz dišne organe ulaze u pluća i odande u krv. Aktivne koncentracije radioaktivnih aerosola i gasova karakterizovane brojem raspada u jedinici volumena ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ) mere se metodama pogodnim za određivanje niskih aktivnosti. Određivanjem i kontrolom maksimalno dozvoljenih koncentracija radioaktivnih aerosola bavi se posebna grana dozimetrije. Analogno se određuju i kontrolišu i koncentracije radioaktivnog materijala u vodi za piće i druge svrhe.

**Merenje apsorbovanih doza.** Princip merenja apsorbovane energije zasniva se na činjenici da jonizujuće zračenje prilikom prolaska kroz neki materijal predaje ovom energiju u većoj ili manjoj meri. Ova energija izaziva različite fizičke i hemijske efekte, pa se merenjem tih efekata može odrediti apsorbovana doza. Važnije metode merenja jesu jonizacione, kalorimetrijske, luminescentne i hemijske. Jonizacionim metodama mere se, u stvari, izlaganja, koje treba preračunati u apsorbovane doze.

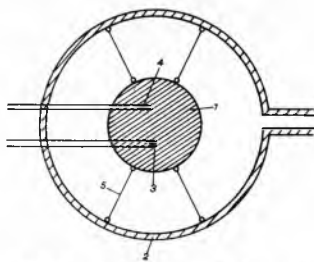
Da bi jedan sistem mogao da posluži kao dozimetar, neophodno je da promene nastale usled dejstva zračenja budu srazmerne apsorbovanoj energiji i da mogu lako da se mere fizičkim ili hemijskim metodama. Za razliku od detekcionih sistema koji odbiraju jednu ili registruju pojedine kvantove (zrake) ili čestice, dozimetri mere integralni energetski efekat nekoliko (obično mnogo) zraka ili čestica. Zavisno od namene, dozimetri mogu biti prenosni (poljskog tipa) ili stacionarni (za fiksnu ugradnju). Njima se mogu meriti intenziteti doze ili pak doze akumulisane za proizvoljne ili unapred određene periode vremena. Metode primenjene u dozimetrima upotrebljavaju se i izvan područja dozimetrije jonizujućih zračenja. Fotografskim pločama (ili folijama) koristi se ne samo dozimetrija već i radiografija i kristalografija (detekcija X- i  $\gamma$ -zraka), spektrometrija  $\beta$ -čestica i teških jona,  $\gamma$ -defekto-

skopija itd.; luminescentni zasloni upotrebljavaju se ne samo u dozimetriji već i za detekciju elektronskih snopova u katodnim cevima, za detekciju X-zraka u radiografiji, detekciju  $\gamma$ -zračenja u  $\gamma$ -defektoskopiji itd.

Općenito uzevši, pri izboru dozimetarskog sistema potrebno je uzeti u obzir uslove rada, osetljivost i gornju granicu merenja, geometriju merenja ili geometriju uzorka, vrstu i energiju zračenja u odnosu na gustinu uzorka, tip detekcione sonde, a pre početka merenja treba računski proceniti efikasnost odabrane metode. Današnje veličine apsorbovanih doza koje treba meriti kreću se u granicama od 0 do  $10^{10}$  rada.

**Kalorimetrijske metode** omogućuju direktno određivanje brzine apsorpcije i ukupne apsorbovane doze merenjem količine toplote nastale prolaskom jonizujućeg zračenja. Iako je kalorimetrijska metoda u principu veoma podesna jer se, bez obzira na prirodu zračenja i ozračenog tela, primljena energija manifestuje kao toplota, ova se metoda danas pretežno upotrebljava za merenje jakih intenziteta jonizujućih zračenja. Glavni razlog za to jest da je male temperaturne promene teško precizno meriti. Usavršavanjem merne tehnike, a naročito primenom termistora, ove se teškoće savladavaju i danas već postoje kalorimetri kojima se mogu meriti intenziteti doze od nekoliko desetaka rada na čas.

**Reaktorski kalorimetar** (sl. 1) služi za merenje doza apsorbovanog zračenja u nuklearnom reaktoru. Sastoji se od apsorbera



Sl. 1. Shema kalorimetra. 1 Apsorber (kalorimetarsko telo), 2 zaštitni sud, 3 termistor, 4 grejač, 5 najlonski konci

mena u jedinicama apsorbovane energije.

**Dozimetri sa jonizacionom komorom.** Prolazak jonizujućeg zračenja kroz bilo koju materiju praćen je stvaranjem jona. U uobičajenim uslovima tako stvoreni joni mogu se održati veoma kratko vreme, nakon čega dolazi do rekombinacije jona u neutralne molekule. Najpogodnije materije za stvaranje jona jesu gasovi jer se iz ozračenog volumena gasa posredstvom električnog polja joni lako sabiru pre njihove rekombinacije. Pojava jonizujućeg zračenja ostavlja u gasu za sobom jonske parove (pozitivne jone i elektrone) koji, sakupljajući se u električnom polju, predaju svoja naelektrisanja, pa tako stvaraju struju i gas postaje provodan. Prema tome, provodnost, odn. jačina struje koja prolazi kroz gas, direktno je merilo intenziteta ekspozicije zračenja koje pada na osetljivu zapreminu komore. Jačina struje koja prolazi kroz jonizacionu komoru ne zavisi od razlike napona na elektrodama komore.

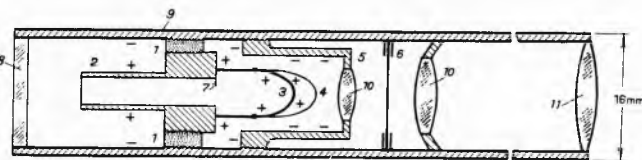
Za određeno zračenje i date uslove rada (vrstu gasa, pritisak, temperaturu) broj nastalih jona zavisi od intenziteta zračenja. Merenjem jonske struje mogu se odrediti intenzitet ekspozicije i apsorbovane doze. Za to služe jonizacione komore punjene gasom (najčešće plemenitim gasovima ili suvim vazduhom). Radni napon odnosno jačina električnog polja ima vrednost upravo dovoljnu za sabiranje jona, a nedovoljnu za bilo kakvo umnožavanje jona. Time je ujedno uspostavljen i režim rada koji umanjuje prevremene rekombinacije stvorenih jona.

Osetljivost komore zavisi od njenog radnog volumena. Povećanjem pritiska gasa ili vazduha mogu se smanjiti dimenzije komore i uz to se može postići velika osetljivost. Debljina zida komore zavisi od energije zračenja koja se želi meriti. Maksimalnu debljinu zida obično diktira gornja granica energetskog spektra. Kako su jonizacione struje male (reda  $10^{-13}$  A pa i manje), to su komore neposredno vezane sa elektrometarskim ili drugim pretpojačalima. Jednosmerna pojačala koja se koriste veoma su podložna uticaju vremenskog odstupanja pa se u novije vreme u

ovakvim mernim sistemima primenjuju dinamički kondenzatori u sklopu sa selektivnim pojačalima.

Sem laboratorijskih izvedbi specijalno namenjenih merenju apsolutnih intenziteta doza zračenja u rendgenima ili milirendgenima na čas, postoje i izvedbe jonizacionih komora za relativna merenja. Na njima se ne skupljaju svi joni koje ispitivano zračenje proizvede, već samo jedan deo. U tom slučaju doza se očitava na skali koja je prethodno kalibrisana izvorom poznate jačine. Ovi su uređaji znatno jednostavniji od uređaja za apsolutno određivanje doze.

**Džepni dozimetar sa kvarcnim vlaknom** je najčešće korišten lični dozimetar za relativna merenja integralne doze (sl. 2). Sličan je naliv-peru i obično se nosi u gornjem džepu laboratorijskog



Sl. 2. Shema džepnog dozimetra sa kvarcnim končićem. 1 Izolator, 2 nosač končića u obliku slova U, 3 učvršćeni kvarcni končić sa teškom metalnom prevlakom, 4 pokretni kvarcni končić sa lakom metalnom prevlakom, 5 metalni cilindar, 6 prozirna skala, 7 metalna pločica, nosač končića, 8 stakleni prozor, 9 aluminijsko kućište, 10 sočiva, 11 okular

mantila. Konstruisan je na principu elektrostatičkog voltmetra, a sastoji se od izolatora, nosača U-oblika i kvarcnog končića debljine  $\sim 2,5 \mu\text{m}$ , s vanjske strane prevučenog tankim slojem metala. Kvarcni končić pričvršćen je na metalni nosač oblika slova U, što omogućuje dobru električnu provodljivost. Jonizaciona komora je od plastičnog materijala koji ima atomski broj blizak atomskom broju vazduha, dobro je izolirana u odnosu na elektrometar, a radi bolje električke provodljivosti s unutrašnje strane je premazana grafitom. Kvarcni končić ima istu ulogu koji imaju metalni listići na elektrostatičkom voltmetru. Dozimetar se pomoću malog punjača preko sklopke za punjenje naelektriše naponom  $100 \cdot 200 \text{ V}$ , koji se uklopi između zida jonizacione komore i metalnog nosača kvarcnog končića. Kad je dozimetar napunjen, slika kvarcnog končića zauzima nulti položaj na skali. Prolazak zračenja kroz dozimetar izaziva jonizaciju suvog vazduha kojim je ispunjena komora, što izaziva pražnjenje elektrometra. Usled toga se kvarcni končić pomera prema metalnom nosaču i njegova slika na skali pokazuje do tog vremena akumuliranu dozu zračenja. Skala se prethodno kalibriše radioaktivnim izvorom poznatog intenziteta. U momentu kad je kvarcni končić najbliži metalnom nosaču, dozimetar je potpuno ispražnjen a pokazivanje je maksimalno. Za X- i  $\gamma$ -zračenja merne skale ovih dozimetara kreću se već prema nameni u granicama od 0 do 200 mR, 500 mR, 1 R, 5 R, 10 R, 20 R, 50 R, 100 R, 200 R, 600 R i 1000 R. Ovakvi dozimetri se ponekad izrađuju i za ličnu zaštitu od  $\beta$ -zračenja i od termičkih neutrona. Ako se radi o  $\beta$ -zračenju, zidovi vanjskog kućišta



Sl. 3. Dozimetar sa jonizacionom komorom Radoctor II (Victoreen, USA). Regstruje  $\beta$ - i  $\gamma$ -zračenje u području 0,1 mR/h ... 100 mR/h, 0,1 R/h...100 R/h i 0,1 kR/h...1 kR/h

moraju biti tanki. Unutrašnji zidovi komore neutronske džepne dozimetara, koji su kao i  $\beta$ -dozimetri kalibrirani u remima, prevlače se slojem bora ili nekog drugog materijala koji omogućuje efikasnu interakciju sa termičkim neutronima. Sem opisanog tipa džepnog dozimetra sa direktnim očitavanjem na skali, postoje i jeftiniji tipovi džepnih dozimetara sa indirektnim očitavanjem, tj. dozimetri kojima se napon zaostao nakon ekspozicije meri odvojenim elektrostatičkim voltmetrom (očitačevom).

*Prenosni dozimetri sa jonizacionom komorom* (sl. 3) upotrebljavaju se za merenje intenziteta ekspozicije (R/h, mR/h). Jonizacione komore mogu biti ugrađene zajedno sa mernim delom na nosaču do 2 m dužine, ili su pak preko kabela (do  $\sim 15$  m dužine) električno vezane na mernu jedinicu uređaja, koja se nosi u ruci ili na leđima. Dosada se najviše upotrebljavaju u službi zaštite od jonizujućeg zračenja i na mestima gde se radi sa radioaktivnim izotopima. Radni naponi ovih jonizacionih komora su reda veličine od nekoliko desetina volta. Napajaju se iz suvih baterija ili malih akumulatora. Merni sistemi novijih tipova zasniavaju se na principu dinamičkog kondenzatora.

*Stacionarni dozimetri sa ionizacionom komorom* su fiksno ugrađeni instrumenti namenjeni ne samo za potrebe službe zaštite već i za kontrolu tehnoloških procesa u nuklearnim postrojenjima. U principu su osetljiviji i stabilniji od prenosnih dozimetara pa su im i komore većeg volumena. Skale su im obično kalibrirane u mikrorendgenima na sekundu. Merne sonde mogu biti locirane i do 100 m daleko od dozimetra, s kojim su vezane kabelom.

**Hemijski dozimetri.** Sadašnji razvoj hemijskih dozimetara posledica je široke primene velikih izvora zračenja (reda kilokurija) koji su i omogućili upotrebu hemijskih dozimetara. Pošto ovi dozimetri imaju relativno malu osetljivost, to služe za merenja većih integralnih apsorbovanih doza. Oni, zavisno od veličine mernog područja, imaju apsolutnu grešku reda veličine jednog ili više, pa čak i nekoliko desetina rendgena, a relativnu grešku  $\pm 10\text{--}15\%$ . Količina apsorbovane energije utvrđuje se na osnovu promene boje tečnosti (kolorimetri), elektrovodljivosti, itd. Primenuju se pretežno za kalibrisanje velikih kobaltnih izvora, merenje dubinskih doza u fantomima, u dozimetriji kod sterilizacije namirnica i lekova itd.

Kao hemijski dozimetar može da posluži svaki sistem koji pokazuje neku pravilnost hemijske promene u zavisnosti od apsorbovane doze. Merenjem hemijske promene može se indirektnim putem dobiti vrednost apsorbovane doze. Da bi hemijski sistem mogao da se upotrebi kao dozimetar, potrebno je da hemijska promena koju izaziva zračenje ne bude zavisna ni od koncentracije supstanci koje reaguju i onih koje se u reakciji stvaraju, ni od intenziteta doze, ni od uslova koji se menjaju tokom ozračivanja (pH, sadržaj rastvorenih gasova itd.), ni od vrste i energije zračenja. Osim toga poželjno je da analitička metoda koja se upotrebljava za određivanje zračenjem stvorenih produkata bude što jednostavnija i da se kao hemikalije mogu upotrebljavati komercijalno čisti proizvodi, tako da se ne moraju naknadno prečišćavati. Ako se radi o ličnom dozimetru, poželjno je da dozimetar omogući direktno čitanje doza (bez analitičkih metoda), da njegova proizvodnja ne bude skupa i da dozimetar bude stabilan pri promenama temperature, atmosferskog pritiska, vlažnosti, itd.

Ne postoji sistem koji ispunjava sve ove uslove, a mala je verovatnoća da će se i naći sistem koji će ispuniti uslov da ista doza različitih zračenja izaziva i istu promenu. Postoje hemijski sistemi koji u manjoj ili većoj meri zadovoljavaju većinu ovih uslova. To su: lični dozimetar sa hloroformom, Frickeov i oksalatni dozimetar.

*Lični dozimetar sa hloroformom* je sistem na kome je do sada najviše rađeno. Može da se koristi za civilnu i vojnu zaštitu u slučaju nuklearnog rata. Pod dejstvom zračenja nekog radioaktivnog izvora hloroform se razlaže i kao produkt razlaganja stvara se hlorovodonična kiselina. Određivanjem nastale kiseline meri se apsorbovana doza zračenja. Za određivanje koncentracije nastale kiseline upotrebljava se indikator bromkrezol-crveno, koji u neutralnoj vodenoj sredini ima ljubičastu boju. Kada rastvor postane kiseo od nastale hlorovodonične kiseline, ljubičasta boja indikatora prelazi u žutu boju. Može se podesiti, variranjem koncentracije indikatora, da se boja počne menjati pri različitim koncentracijama oslobodene hlorovodonične kiseline. Prethodnim ispitivanjima pronađu se koncentracije bromkrezol-crvenog pri

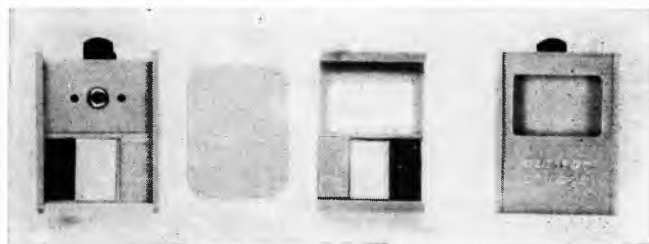
kojima dolazi do promene boje sa količinama hlorovodonične kiseline koje se dobijaju ozračivanjem hloroforma dozama od 100, 200, 300 i 450 R.

Male staklene ampule pune se rastvorom hloroforma i indikatora, posle čega se zatvaraju zatapanjem. Obično se četiri ampule slažu u bateriju koja se zaštićuje od »mekih« zračenja olovnom ometačem debljine 0,5 mm, na kojemu su ostavljeni mali prozori za posmatranje. Ovako pripremljena baterija ampula obično se smešta u kutiju od plastične mase različitog oblika (četvrtastog, oblika naliv-pera itd.) kako bi se zaštitila od mehaničkih oštećenja. Pre ozračivanja dozimetra sva četiri prozora u olovu pokazuju ljubičastu boju indikatora. Posle zračenja i mućkanja, ukoliko je dozimetar primio 100 R, samo prvi prozor će pokazati žutu boju, ako je primio 200 R, požuteće i indikator u drugoj ampuli, itd.

*Frickeov dozimetar* je u laboratoriji najčešće korišćeni dozimetar. Fero-soli u kiselim rastvorima oksiduju se pod dejstvom zračenja na feri-soli. Pod određenim uslovima broj postalih ferijona linearno je proporcionalan apsorbovanoj dozi. Frickeov dozimetar upotrebljava za merenje apsorbovane doze rastvor ferio-amonijum-sulfata u 0,8 N sumpornoj kiselini. Pogodan je za laboratorijsku upotrebu kad doze ne prelaze 40 000 rad. Zadovoljava većinu uslova koji treba da su ispunjeni da bi jedan sistem mogao da posluži kao hemijski dozimetar. Doza za X-zračenje i  $\gamma$ -zračenje izračunava se iz vrednosti dobivenih za broj stvorenih ferijona uz pretpostavku da se za 100 eV stvori 1,55 ferijona. Prinos oksidacije ferijona (tj. broj oksidovanih jona za apsorbovanih 100 eV energije zračenja) različit je za različite vrste i različite količine energije zračenja. Postoje tablice u kojima je data zavisnost prinosa od vrste i energije zračenja.

*Oksalatni dozimetar* je za sada jedini dozimetar koji omogućuje rad sa vrlo visokim dozama (do 160 miliona rad), pa čak i pod uslovima koji se sreću u reaktoru. Pod dejstvom zračenja oksalna kiselina se razlaže stvarajući ugljen-dioksid i neke aldehide. Ovo razlaganje je srazmerno apsorbovanoj dozi. Iz količine razložene kiseline određuje se apsorbovana doza.

**Značka-film.** Jonizujuća zračenja dejstvuju na fotografsku ploču slično svetlosnom zračenju i izazivaju zacrnenje. Stepent zacrnenja proporcionalan je apsorbovanoj dozi. Obično je jedan deo filma prekriven tankim slojem olova, kako bi se moglo razlikovati zacrnenje koje je uzrokovano prodornim  $\gamma$ -zračenjem od zacrnenja nastalog dejstvom  $\beta$ -zračenja ili mekog  $\gamma$ -zračenja. Ukoliko su posredi spori neutroni, jedan se deo filma prekriva tankim slojem kadmijuma, pri čemu zračenje nastalo reakcijom



Sl. 4. Dozimetar značka-film, zatvoren (desno) i (levo) otvoren (poklopci s filterima od Cu, Cd i Al, među njima film)

( $n, \gamma$ ) izaziva zacrnenje i daje predstavu o apsorbovanim sporim neutronima. Ovaj dozimetar se veoma mnogo upotrebljava jer je najjednostavniji i najjeftiniji lični dozimetar, mada ima i svojih nedostataka, npr. za svaku vrstu filma treba praviti kalibracionu krivu jer je stepent zacrnenja veoma zavisn od energije  $\gamma$ - ili X-zrakova (sl. 4).

**Luminescentne metode i dozimetri.** Pri prolasku jonizujućeg zračenja kroz materiju dolazi ne samo do jonizacije već i do pobuđivanja atoma. Prelaženje atoma i molekula iz pobuđenog u normalno stanje može biti praćeno isijavanjem ultravioletoznog, infracrvenog i vidljivog zračenja (a ponekad i X-zračenja). Luminescentne metode za registraciju jonizujućeg zračenja zasnovane su na merenju intenziteta zračenja isijavanog u procesu vraćanja atoma i molekula iz pobuđenog u normalno stanje. Zahvaljujući korišćenju fotomultiplikatorskih cevi najveću primenu našli su dosad *scintilacioni dozimetri*. Intenzivnost osvetljavanja foto-

multiplikatora od strane scintilatora više je ili manje proporcionalna apsorbovanoj energiji nastaloj u scintilatoru usled dejstva jonizujućeg zračenja koje se meri. Zbog toga takve scintilacione sonde mogu služiti kao vrlo efikasni proporcionalni brojači. Danas već postoje scintilacioni dozimetri za sve vrste zračenja koje najviše dolaze u praksi ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $X$ ,  $\gamma$  i  $n$ ).

U posljednje vreme dosta se koriste kao dozimetri fluoresciraјуće i fosforesciraјуće materije. To su fosfatnostakleni i termoluminescentni dozimetri.

**Stakleni dozimetri** su male pločice ili štapići od metafosfatnog stakla koje je aktivisano srebrom. Kad se ozračeno staklo (dozimetar) metne pod ultraljubičasto svetlo, ono pokazuje narandžastu fluorescenciju. (Ta se pojava naziva radiofotoluminescijom.) Intenzitet te narandžaste svetlosti (talasne dužine  $\sim 640$  nm) srazmeran je apsorbovanoj dozi i meri se aparatom zvanim fluorimetar. U dozimetru staklo je zaštićeno tankim olovnim poklopcem (filtrom), da bi se smanjila osetljivost dozimetra prema  $\gamma$ - i  $X$ -zracima velike energije. Taj dozimetar odgovara uslovima za masovnu primenu i upotrebljava se za registraciju doza većih od 2...5 rad (ratni uslovi).

**Termoluminescentni dozimetri** napravljeni su od kalcijum- ili litijum-fluorida i aktivisani su manganom. Kao nosač osetljive mase (kristala) služi metalna pločica, koja se pri merenju doze zagreva električnom strujom. Ozračeni kristali emituju na temperaturi 400...1000 °C svetlost valne dužine 390...500 nm, kojoj se intenzitet, srazmeran dozi, meri fotomultiplikatorom. Ovim se dozimetrom mogu meriti i doze od svega 10 mrad. Aparatura za očitavanje i registrovanje doze nešto je složenija nego kod staklenih dozimetara, ali je tačnost veća. Termoluminescentni dozimetri upotrebljavaju se najviše kao lični dozimetri. Zagrevanjem tih dozimetara (kao i staklenih) doza se briše i oni se mogu nanovo upotrebiti.

Dozimetri koji se primenjuju u pivredi i industriji za merenje velikih apsorbovanih doza zasnovani su na merenju prozračnosti nekih čvrstih tela (poliranog stakla i folija različite debljine). Na osnovu promene faktora prozračnosti pre i nakon ozračivanja procenjuje se spektralnim fotometrom ili denzitometrom količina energije jonizujućeg zračenja apsorbovana u dozimetru.

LIT.: H. G. Гусев, Справочник по радиоактивным излучениям и защите, Москва 1956. — B. Rajewsky, Strahlendosis und Strahlenwirkung, Stuttgart 1956. — G. J. Hine, G. L. Brownell, editors, Radiation dosimetry, New York 1956. — K. K. Алмицев, Дозиметрия ионизирующих излучений Москва 1957. — N. Gussev, Leitfaden für Radioaktivität und Strahlenschutz (prijevod s ruskoga), Berlin 1957. — B. Rajewsky, Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes, Karlsruhe 1957. — International Labor Office, Manual on protection against radiation in industry, Geneva 1958. — F. B. Горшков, Гамма-излучение радиоактивных тел и элементы расчета защиты от излучения, Москва-Ленинград 1959. — K. S. Калугин и др., Практическое руководство по дозиметрии, Москва 1959. — Th. Jaeger, Grundzüge der Strahlenschutztechnik, Berlin-Heidelberg-New York 1961. — W. Minder, Dosimetrie der Strahlungen radioaktiver Stoffe, Wien-New York 1961. — L. Argiro, Radioprotezione, Pisa 1962. — International Commission on Radiological Units and Measurements, Radiation quantities and units (Report 10 a), Washington 1962. — K. Becker, Film dosimetrie, Berlin-Heidelberg-New York 1962. — G. Eaves, Principles of radiation protection, London 1964.

J. Galić A. Milojević

**DRAGO KAMENJE, UMJETNO.** Drago kamenje su minerali koji se zbog svoje ljepote i relativne rijetkosti upotrebljavaju brušeni (kao dragulji) za ukras. Ljepota prozirnih dragulja (boja, sjaj, lom svjetla) dolazi od punog izražaja tek kad su fasetirano brušeni, tj. kad su omedeni ravnim plohama s oštrim bridovima i polirani na visok sjaj. Za trajnost ljepote takvih dragulja bitno je da mineral od kojeg su napravljeni ima veliku tvrdoću (dijamant, rubin, safir, smaragd itd.). Ljepota i osebnost prozračnih i neprozirnih dragulja dolazi obično najbolje od izražaja kad su brušeni okruglo (kao kabošon, franc. *en cabochon*). Oni ne zahtijevaju oštinu bridova ni poliranost površine, pa mogu biti napravljeni i od mekših minerala (npr. opala, tirkiza, jaspisa).

Drago kamenje od davnine predstavlja vrijedne i poželjne objekte, stoga je bilo mnogo pokušaja da se ono oponaša ili umjetno proizvede. Imitacije s pomoću brušenih stakala (u novije vrijeme i umjetnih smola) lijepe boje i visokog koeficijenta loma nisu, dakako, ni u kome smislu jednakovrijedne zamjene za drago kamenje, jer ti proizvodi ni kemijskim ni fizikalnim svojstvima ne odgovaraju prirodnim mineralima. Sljepljivanjem manjih prirodnih kamena među sobom (*dublete*) ili s drugim materijalom (*mikste*) dobivaju se dragulji koji su veći, imaju ljepšu boju itd.

nego prirodni kamen od kojeg su napravljeni. Ovamo ide i »restaurirano« kamenje, tj. kamenje dobiveno staljivanjem iz manjih komada prirodnog dragog kamena. Ni takvi proizvodi ne mogu se nazvati umjetnim dragim kamenjem. Kao takvo (*šintetsko drago kamenje*) smiju se označiti samo proizvodi koji su u cjelini umjetno napravljeni i koji su po kemijskim, fizikalnim i optičkim svojstvima jednaki prirodnom dragom kamenju. Moderna sinteza stvorila je i neke drage kamene kojih u prirodi nema.

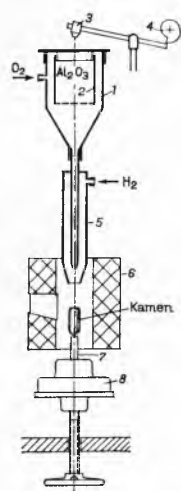
Neki od tvrdih minerala koji služe kao dragulji upotrebljavaju se i u tehnici za različite svrhe (npr. dijamant za bušenje u rudarstvu i za brušenje; korund za brušenje, kao vatrostalni materijal i za druge primjene; safir, rubin, ahaf i dr. za ležajeve instrumenata i kremen kao piezokvarc; rubin, smaragd i granat za lasere i masere). Za te svrhe neki od tih minerala već se umjetno proizvode u industrijskom mjerilu. Dok se u draguljarstvu prirodni dragi kamen daleko više cijeni nego i najsavršeniji umjetni, u tehnici je umjetno proizvedeni materijal zbog svoje veće ravnomjernosti po pravilu bolji i stoga više tražen nego prirodni.

Pokušaji da se umjetno napravi drago kamenje jednako prirodnom zaredali su u XIX st., naročito u Francuskoj (H. H. de Sénarmont, H. E. Sainte-Claire Deville, G. A. Daubrée, H. Debray, P. G. Hautefeuille, E. Frémy), ali tek na Svjetskoj izložbi u Parizu 1900 mogli su se vidjeti prvi umjetni rubini, a 1904 objelodanio je A. Verneuil svoju metodu taljenja, kojom su oni dobiveni. Po toj metodi počela je odmah proizvodnja na više mjesta u Evropi i do segla brzo prilican opseg. Za vrijeme prvog svjetskog rata nastala je i u USA industrija umjetnog dragog kamena, koja je imala važnu ulogu u razvoju te grane tehnologije. God. 1943/44 izradio je R. Nacken u Njemačkoj tehnički upotrebljiv postupak dobivanja umjetnog kvarca hidrotermalnim postupkom, na osnovu kojeg su E. Buehler i A. C. Walker u USA dobili prve umjetne velike i besprikorne kristale kvarca. U najnovije vrijeme proizvedeni su na taj način i umjetni smaragdi. Mnogi su istraživači, počevši od Moissana 1894 pa do novijeg vremena, bili uvjereni da im je pošlo za rukom iz ugljičnog materijala primjenom visoke temperature i pritiska dobiti umjetni dijamant, ali dokaz identiteta sitnih kristalica koje su oni dobivali nije ni u jednom slučaju bio uvjerljiv. Tek su 1955 T. H. Hall, H. M. Strong i R. H. Wentorf u laboratorijima društva General Electric Co primjenom pritiska do 100 000 atm i temperatura oko 2700 °C, proizveli kristale dijamanta veličine do 1,2 mm. Danas se njihovom metodom na više mjesta u Americi, Evropi i Južnoj Africi industrijski proizvode znatno veći umjetni dijamanti.

U širem smislu u materiju obrađenu u ovom članku ide i proizvodnja elektrokorunda. O tome v. *Elektrotermija*.

**Dobivanje umjetnog dragog kamena taljenjem u plamenu** (Verneuilova metoda) sastoji se u tome da se fini prašak potrebnog kemijskog sastava sipa kroz plamen plina praskavca na monokristal koji je na svom vrhu zagrijan na temperaturu taljenja praha. Sl. 1 prikazuje u presjeku aparat po Verneuilu. U lijevku 1 smještena je kutija 2 kojoj je dno izrađeno kao fino sito; iznad lijevka s kutijom nalazi se batić 3 koji s pomoću grebenastog vratila 4 kucka po poklopcu, uslijed čega prašak iz kutije propada kroz sito. Udešavanjem brzine kuckanja regulira se brzina dovođenja praha u plamen. Lijevak 1 nastavlja se dolje u plamenik 5; kisik se dovodi kroz lijevak u unutrašnju cijev plamenika i nosi sobom prašak koji propada kroz sito kutije, vodik ulazi izravno u vanjsku cijev plamenika. Udešavanjem količine i omjera plinova regulira se jakost i oblik plamena. Ušće plamenika seže u mufolu 6 sastavljenu od dva vatrostalna polucilindra; na svom sastavu polucilindri malo su na jednom mjestu odbušeni, tako da se pri sastavljanju obrazuje prozorčić za promatranje. Odozdo seže u mufolu štap 7 od vatrostalnog materijala, nasaden na pečurku 8 s kojom se može pomicati naviše i naniže. Najnovije izvedbe umjesto uređaja s batićem imaju elektromagnetski vibrator, a vatrostalni štap spušta se elektromotorom s pomoću zupčanika i ozubljene motke. Takav uređaj vrlo je pogodan za automatsku regulaciju.

Ispočetka plamen se koncentrira na jednu tačku vatrostalnog štapa i brzina propadanja praška regulira se tako da nastane mala biserka dragog kamena, iz koje izraste kristal u obliku štapića. Kad je taj dovoljno dug, povećavanjem plamena i količine praška postiže se da se kamen postepeno širi. Vatrostalni štap se polako spušta tako da vrh kamena ostaje uvijek na istom mjestu plamena gdje vlada temperatura nešto iznad 2000 °C. Na taj način postiže se da doslovce raste mineralni monokristal koji je svega u jednoj tački poduprt na podlogu. Nastoji se da se maksimalna širina mono-



Sl. 1