

Přehled témat:

detektory záření

1. názvosloví dle ČSN a ISO
2. jednotky ionizačního záření
3. detekce – úvodní list
4. primární účinky IZ
5. princip a použití ionizační komory
6. princip a použití Geiger- Millerova počítáče
7. princip a použití scintilační sondy
8. princip a použití termoluminiscenčních dozimetrů
9. detekce neutronů - dlouhý počítáč
 - filmová detekce
 - osobní dozimetr s Pu folií
 - využití TLD
 - polovodiče, Bohnerovy koule
 - aktivační metody detekce

seminář, otázky ke zkoušce

ČSN 011308, doplněno dle ČSN ISO 31-9 a 31-10

Veličiny a jednotky v atomové a jaderné fyzice

Název	Vysvětlení
atomová fyzika	oblast fyziky zabývající se studiem atomů a jevů souvisejících s atomovou strukturou látek
jaderná fyzika	oblast fyziky zabývající se studiem jader atomů a jaderných proces
dozimetrie ionizujícího záření	oblast fyziky zabývající se vlastnostmi ionizujícího záření, veličinami charakterizujícími procesy vzniku a interakce ionizujícího záření s látkou a metodami měření těchto veličin
ochrana před zářením	obor zabývající se fyzikálními, lékařskými, technickými, biologickými a ostatními hledisky ochrany zdraví před účinky ionizujícího záření
atom	nejmenší částice látky zachovávající ještě všechny chemické vlastnosti prvku, skládá se z atomového jádra a elektronového obalu
atomové jádro	kladně nabitá centrální část atomu
elektronový obal	část atomu obklopující jádro a mající záporný elektrický náboj
elektron	stabilní částice se záporným elementárním elektrickým nábojem, $m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $Q = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
pozitron	antičástice elektronu mající stejnou hmotnost, ale kladný elementární elektrický náboj
proton	jedna ze základních stavebních částic atomového jádra, s kladným elementárním elektrickým nábojem, $m_p = 1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$

neutron	jedna ze základních stavebních částic atomového jádra, elektricky neutrální $m_n=1,674 \times 10^{-27} \text{ kg}$
nukleon	společný název pro proton a neutron
foton	elektricky neutrální částice elektromagnetického pole, prostředkující elektromagnetické interakce
neutrino	elektricky neutrální částice uvolňující se při některých jaderných přeměnách, např. při přeměně beta
antičástice	částice obdobné příslušným elementárním částicím, mající s nimi shodné hmotnosti a střední doby života, ale opačná znaménka nábojů, podivností apod.
kvarky	hypotetické bodové částice, z nichž podle současných představ sestávají hadrony 10^{-18} m
základní stav	stav systému, např. jádra, atomu nebo molekuly, vyznačující se minimální vnitřní energií
vzbuzený stav	stav systému např. jádra, atomu nebo molekuly, s vnitřní energií větší než v základním stavu
prvek	druh atomů se stejným počtem protonů v jádře, tedy se stejným protonovým číslem
radionuklid	nuklid s určitým energetickým stavem jádra, podléhající samovolné přeměně doprovázené emisí částic
izotopy	nuklidy se stejným počtem protonů, avšak různým počtem neutronů v jádře
izobary	nuklidy se stejným počtem nukleonů, avšak různým počtem protonů v jádře
izotony	nuklidy se stejným počtem neutronů, avšak různým počtem protonů v jádře
izomery	nuklidy navzájem odlišné pouze energetickým stavem jádra

nuklid	druh atomů se stejným počtem protonů i stejným počtem neutronů v jádře, tedy se stejným protonovým číslem i stejným nukleonovým číslem
radioaktivní přeměna	samovolná změna složení nebo energetického stavu jader nuklidu, doprovázená emisí částic
jaderné štěpení	jaderná reakce, při níž se jádro dělí na dva nebo více fragmentů štěpení, případně doprovázená emisí dalších částic
štěpná reakce	jaderné štěpení, při němž emitované částice mohou vyvolat další štěpení
přeměna alfa	radioaktivní přeměna, při níž dochází k emisi částice alfa
přeměna beta	radioaktivní přeměna, při níž dochází k emisi elektronu nebo pozitronu či k záchytu obalového elektronu jádrem; je provázena emisí elektronového neutrina
ionizace	děj, při němž vznikají nositelé náboje (ionty)
přímo ionizující částice	nabitě částice (elektrony, pozitrony, protony, částice alfa apod.) s dostatečnou kinetickou energií k vyvolání ionizace
nepřímo ionizující částice	nenabitě částice (neutrony, fotony apod.), které mohou uvolňovat přímo ionizující částice nebo vyvolávat jaderné přeměny provázené emisí ionizujících částic
ionizující záření	záření tvořené částicemi nabitými, nenabitými nebo obojími, schopnými přímo nebo nepřímo ionizovat
záření alfa	látkové záření tvořené částicemi alfa, tj. jádry helia ${}^4_2\text{He}$ (heliony)
záření beta	látkové záření tvořené elektrony nebo pozitrony, vysílané atomovými jádry při přeměně beta
elektronové záření	látkové záření tvořené elektrony
neutronové záření	látkové záření tvořené neutrony
fotonové záření	elektromagnetické záření tvořené foto

záření gama	fotonové záření s čárovým spektrem, vysílané atomovými jádry při radioaktivních přeměnách, jaderných reakcích a při anihilacích
elektronvolt	energie záření, $1\text{eV}=1,602\times 10^{-19}\text{J}$
Čerenkovovo záření	fotonové záření buzené v látkovém prostředí průletem nabitě částice o rychlosti větší než je fázová rychlost světla v tomto prostředí
brzdné záření	fotonové záření se spojitým spektrem, vznikající brzděním nabitých částic v elektrických polích látkových částic
charakteristické záření	fotonové záření s čárovým spektrem, vysílané při přechodu elektronu atomového obalu na nižší energetickou hladinu, popř. při rekombinaci iontu s volným elektronem
záření X, rentgenové záření	fotonové záření zahrnující záření brzdné a charakteristické
radioaktivita	schopnost atomových jader samovolně se přeměňovat (včetně účasti elektronových obalů) za současného vzniku ionizujícího záření
aktivita	podíl středního počtu samovolných radioaktivních přeměn z daného energetického stavu v určitém množství radionuklidu za krátkou dobu dt , a této doby $A = -dN/dt$
fotojaderná reakce	jaderná reakce, při níž se působením fotonového záření uvolňuje nukleon nebo jiná částice
fotoelektrický jev	interakce fotonu s obalovým elektronem, při níž se energie fotonu zmenšená o vazební energii elektronu zcela mění v kinetickou energii uvolněného elektronu
rozptyl	změny (směru, velikosti) rychlosti částic záření, způsobené jejich interakcemi s částicemi látkového prostředí
Comptonův jev	interakce fotonu s elektronem, při níž vzniká foton s nižší energií a zbytek energie přebírá elektron

pružný rozptyl		rozptyl částic záření při němž se nemění vnitřní stav částic, ale pouze jejich hybnosti
nepružný rozptyl		rozptyl částic záření, při němž dochází ke změně jejich vnitřního stavu a hybnosti, ale typ částic se nemění
tvorba páru		přeměna fotonu na pár elektron – pozitron při interakci fotonu s elektrickým polem atomového jádra nebo jiné částice
ozáření		vystavení objektu ionizujícímu záření
zevní ozáření		ozáření zdrojem záření, který je mimo objekt
vnitřní ozáření		ozáření zdrojem záření, který je uvnitř objektu, např. ozáření organismu radionuklidy v něm retinovanými
polotloušťka		tloušťka vrstvy, která zmenší hustotu proudu usměrněného svazku na polovinu původní hodnoty
becquerel		je zvláštní název pro sekundu na minus první, použije-li se jako jednotka SI pro aktivitu $1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10}\text{Bq}$ (přesně)
dávka (absorbovaná)	D	podíl střední sdělené energie, předané ionizujícím zářením látce v malém prostoru, a hmotnosti této látky m . Název jednotky je Gray. $1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$
dávkový ekvivalent	H	součin absorbované dávky D v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q $H = D \times Q$. Název jednotky je Sievert. $1\text{Sv} = 1\text{J/kg}$
kerma	K	podíl součtu počátečních kinetických energií všech nabitých částic, uvolněných nenabitými ionizujícími částicemi v elementu látky a hmotnosti tohoto elementu (Kinetic Energy Released in MATter)
expoze	X	podíl celkového náboje dQ iontů stejného znaménka, vzniklých v malém objemu vzduchu při úplném zabrzdění všech elektronů a pozitronů, které byly uvolněny fotony záření X nebo gama, a hmotnosti dm vzduchu v tomto objemu

Rozměr je C/kg. Název není definován.

JEDNOTKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ DLE SI

IONIZACE PLYNU	ABSORPCE ENERGIE V LÁTCE	ABSORPCE ENERGIE VE TKÁNI
EXPOZICE X $X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad [\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}]$	DÁVKA D $D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$ <p style="text-align: center;">1 J.kg⁻¹ = 1 Gy 1 Gray</p>	DÁVKOVÝ EKVIVALENT H $H = D \cdot \text{RBÚ} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$ <p style="text-align: center;">/ D . RBE/</p> <p style="text-align: center;">1 Gy = 1 J.kg⁻¹ = 1Sv 1 Sievert</p>
EXPOZIČNÍ RYCHLOST X /PŘÍKON/ $\dot{X} = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \cdot \frac{1}{\Delta t}$ $\dot{X} = \frac{\Delta I}{\Delta m} \quad [\text{A} \cdot \text{kg}^{-1}]$	DÁVKOVÝ PŘÍKON D /RYCHLOST/ $\dot{D} = \frac{\Delta D}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta m} \cdot \frac{1}{\Delta t}$ $\dot{D} = \frac{\Delta V}{\Delta m} \quad [\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}]$	PŘÍKON DÁVKOVÉHO EKVIVALENTU $\dot{H} = \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad [\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}]$ <p style="text-align: center;">1 W.kg⁻¹ = 1 Sv . s⁻¹</p>

STARÉ JEDNOTKY - SROVNÁNÍ

R rentgen	rad rentgen absorbed dose	rem rentgen ekvivalent man
1R = 2,58 . 10 ⁻⁴ C.kg ⁻¹	1 rad = 0,01 Gy 1 Gy = 100 rad	1 rem = 0,01 Sv 1 Sv = 100 rem

KONVERSNÍ FAKTOR C _f D = X . C _f			RADIOBIOLOGICKÝ ÚČINEK RBU H = D . RBU	
energie	C _f [rad.R ⁻¹]	[J.C ⁻¹]	druh záření	hodnota RBU
rtg 200kV	1	38,75	fotony, gama, e ⁻	1
Co 1,25 MeV	0,96	37,20	tepelné n	3
X 20 MeV	0,89	34,68	střední n	8
X 42 MeV	0,88	34,10	rychlé n	10
e ⁻ 10 MeV	0,89	34,49	alfa záření	10
e ⁻ 20 MeV	0,85	32,94	štěpné fragmenty	20

DETEKTORY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

látky nebo systém, umožňující přeměnu energie ionizujícího záření na jiné formy energie nebo vyvolat změny, které jsou snadno měřitelné.

Primární účinky IZ:

tepelné	kalorimetr –výstupem je teplota
ionizační	IK, GMP, dlouhý počítač – výstupem jsou elektrické informace (počet impulzů, proud, náboj)
chemické	Fricke dozimetr, viskozní, dvoufázový - výstupem je mechanický údaj, propustnost definované vlnové délky
detektory pevné fáze	mechanické –stopové detektory - výstupem je mechanické poškození detektoru
	fyzikální scintilační, TLD, polovodičové, filmové, exoelektronové – výstupem je světlo, zčernání filmu, el. proud nebo náboj

Detekce a měření jednotlivých částic nebo fotonů

Měření celkového počtu událostí – expozice, dávka, dávkový ekvivalent, kerma (definice dle ČSN)

Měření spekter IZ

Měření aktivity

Volba detektoru:

podle druhu záření

podle energie záření

podle měřené hodnoty dávkového příkonu

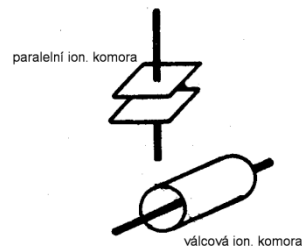
podle požadované formy výstupní informace

Primární účinky ionizačního záření

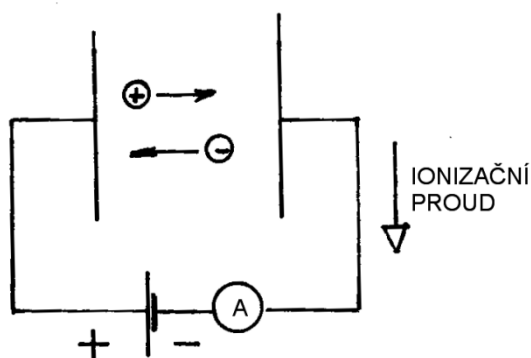
tepelné	kalorimetr, nestandardní zařízení, nevhodné pro klinický provoz
ionizační	ionozační komora, Geiger –Müllerův počítač
mechanické	detekce těžkých částic mechanickým poškozením material
chemické	Fricke dozimetr
fyzikální	termoluminiscenční dozimetry, filmové, scintilační, polovodičové, exoelektronové

Ionizační komora

Jeden z nejužívanějších detektorů záření. Zpravidla je tvořena prostorem mezi dvěma elektrodami ve tvaru desek (paralelní komora) nebo souosým válcem se středovou elektrodou.

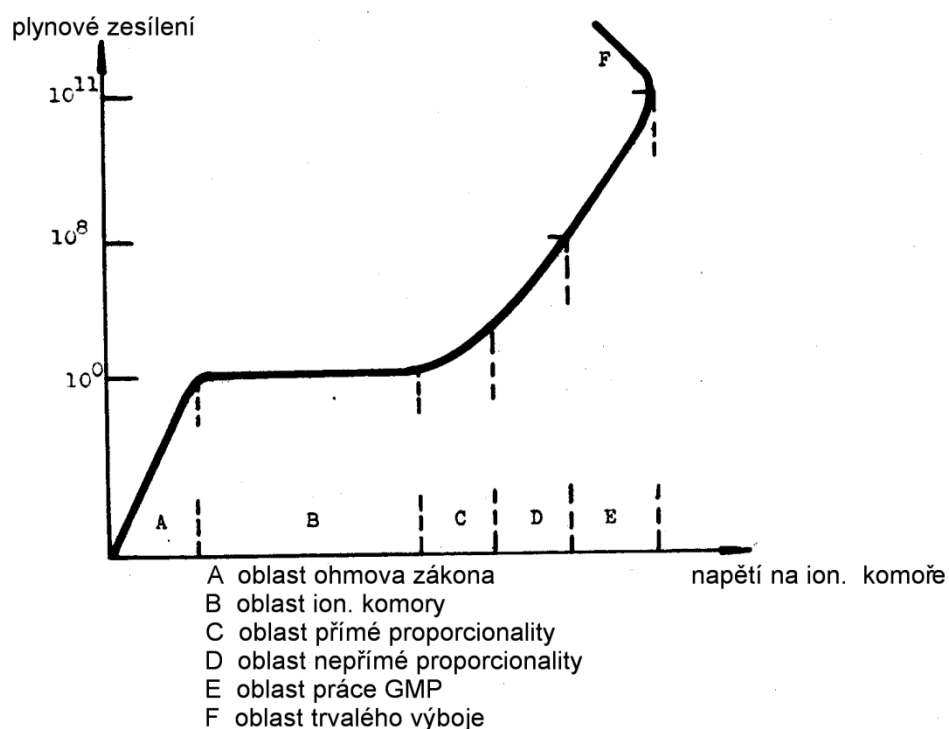


Na elektrody je přiloženo stejnosměrné napětí desítky až stovky voltů. Přímou ionizující částice vyvolají ionizaci vnitřní plynové náplně (nejčastěji vzduchu). Nepřímou ionizující záření vyvolá interakci se stěnou komory částice přímo ionizující a ty potom způsobí ionizaci plynové náplně. Vzniklé elektrony a kladné ionty jsou přitahovány elektrickým polem na příslušné opačně polarizované elektrody. Tím vzniká v prostoru komory ionizační proud, který je detekován. Velikost proudu je úměrná počtu prošlých přímo ionizujících částic objemem komory. Pokud je napětí na komoře příliš nízké, dochází ke zpětnému slučování iontů na neionizované atomy. Tomuto ději se říká *rekombinace*, která snižuje výtěžek měření.



princip ionizační komory

Pokud bychom sledovali závislost ionizačního proudu na napětí na komoře, dojdeme k následujícímu průběhu.



Zpočátku je proud přímo úměrný napětí, dochází k rekombinaci (oblast Ohmova zákona), která při jistém napětí mizí a dochází k totálnímu sběru vzniklých iontů, ke stavu nasycení. Hodnota proudu při nasycení je závislá na objemu komory a druhu a počtu detekovaných částic. V této oblasti pracují ionizační komory. Další zvyšování napětí udělí iontům vyšší kinetickou energii, takže dochází k přidavné nárazové ionizaci. Ta je nejdříve přímo úměrná počtu iontů. Tento děj se zesiluje při dalším zvyšování napětí, komora přechází do pracovní oblasti nepřímé proporcionality, kdy ionizační proud již neodpovídá dopadajícímu záření. Následující oblast již patří práci Geiger-Müllerova

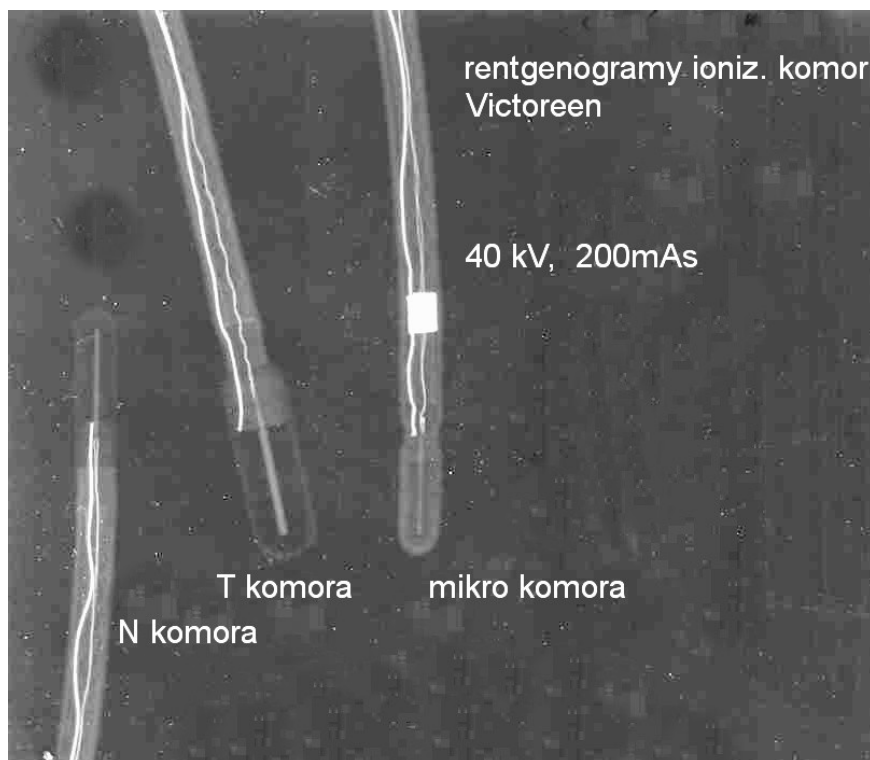
počítače, oblasti krátkodobého lavinovitého výboje. Ještě vyšší napětí by vedlo k trvalému výboji a zničení ionizační komory.

Pro ionizační komoru platí pravidlo, že pro danou geometrii elektrod musí být napětí tím vyšší, čím je vyšší expoziční rychlost měřeného záření. Komory jsou nejčastěji provedeny v tzv. otevřeném uspořádání, kdy vnitřní objem vzduchu je spojen s vnějším prostředím a hodnota ionizačního proudu kolísá s teplotou a tlakem okolí. Pro přesné měření se proto zavádějí korekce na teplotu a tlak, vztahované k laboratorním podmínkám cejchování.

$$k_t = \frac{273,2+T}{293,2} \quad [\quad k_p = \frac{1031,1}{p} \quad] \text{ [mb]}$$

Měření se provádějí buď s komorami, které mají tzv. vzduch ekvivalentní stěny bezprostředně ve vzduchu. V jiném případě s návlaky, které se volí podle druhu a energie záření. Potom mluvíme o tom, že komory pracují při elektronové rovnováze.

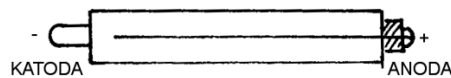
Velikost objemu komor se volí podle předpokládané velikosti expozice, druhu a energie záření. Pro měření pozadí a malých hodnot expoziční rychlosti se používají komory o objemu až 1 litru, pro klinické měření například v diagnostice a zejména v terapii potom komory s objemem cm^3 až mm^3 . Na rentgenogramu jsou typy komor pro aplikaci v terapii. Zobrazení je v měřítku 1:1.



Provozní režim dozimetřů s ionizační komorou je zpravidla volitelný mezi měřením náboje /expozice/ a proudu /expoziční rychlost/. Digitalizované systémy pak umožňují vložení konstanty citlivosti komory, opravných koeficientů na teplotu a tlak i konverzního faktoru pro přímé měření dávky.

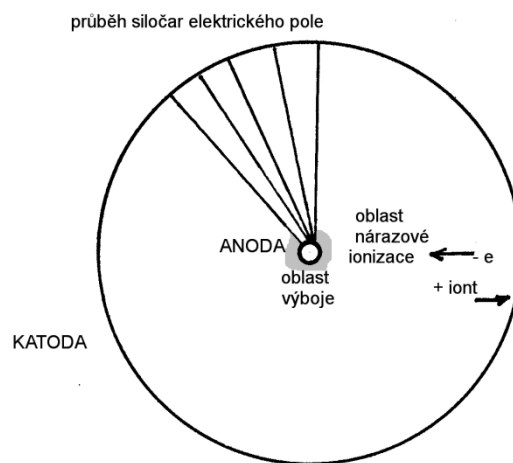
Geger-Müllerův počítač (GM trubice)

Detektor využívá rovněž primární účinek záření – ionizaci plynu. Jedná se o uzavřený válcový prostor, plněný plynem. Vnější válcová katoda může být skleněná s napařenou vodivou vrstvou nebo kovová, v ose válce je kovové anodové vlákno. Základní uspořádání je na následujícím obrázku.



GM počítač

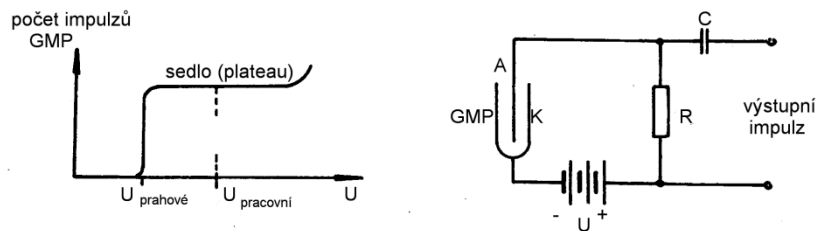
Příčný řez počítačem vyjadřuje principi činnosti detektoru.



princip funkce GMP

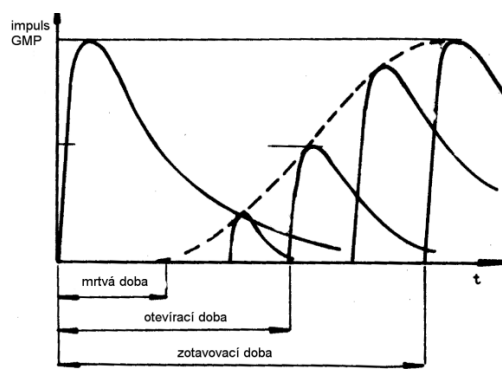
Vnikne-li do prostoru počítače přímo ionizující částice, vyvolá nejméně jeden pár elektron- těžký kladný iont. Elektron míří ke kladné anodě v ose počítače, kladný iont směřuje k záporné katodě. Záporné elektrony jsou díky narůstajícímu gradientu pole urychlovány tak, že v blízkosti anody mohou vyvolat nárazovou ionizaci dalších molekul plynové náplně. Tento děj se opakuje, až v těsné blízkosti anody dochází k lavinovitému výboji s tvorbou velkého počtu iontových párů. Tento efekt

bývá označován jako plynové zesílení, které dosahuje až hodnot 10^6 až 10^8 . Na pracovním odporu, zapojeném v sérii s napájecím napětím tak vznikne krátký napěťový impulz.



pracovní charakteristika GMP a základní zapojení

V době vzniku tohoto impulzu putují těžké ionty mnohem pomaleji ke katodě a svým nábojem zeslabují vnější přiložené pole uvnitř detektoru. Tím zabraňují vzniku dalšího impulzu po příchodu další ionizující částice. Po dopadu na katodu může dojít k nárazové emisi elektronu, který by mohl spustit nežádoucí falešný impulz na výstupním obvodu. Proto je do plynové náplně přidáván zhášecí plyn /těžké molekuly alkoholových par/, které tlumí nežádoucí efekt. Na následujícím obrázku je znázorněn časový sled událostí po příchodu nové ionizující částice do detekčního objemu počítače.

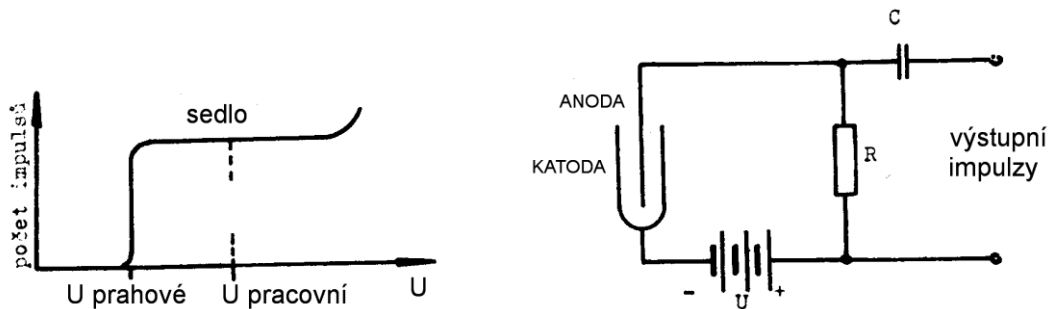


výstupní impulz GMP, mrtvá doba

Po vzniku prvního impulzu dochází k časové prodlevě, v níž je zeslabení vnějšího pole tak výrazné, že nemůže dojít k další lavinové ionizaci. Tento časový interval se označuje jako *mrtvá doba*, řádově jednotky až desítky mikrosekund. Další přicházející částice mohou vyvolat postupně narůstající odezvu. Hodnota amplitudy, která je již detekovatelná, definuje *otevírací dobu*. Prakticky teprve tato doba je reálnou hodnotou mrtvé doby. Časový úsek k okamžiku dosažení maximální amplitudy se označuje jako *zotavovací doba*.

Pracovní charakteristika GMP vyjadřuje závislost vzniku výstupního impulzu na přiložené napětí mezi katodou a anodou. K plynovému zesílení dochází až po dosažení prahového napětí a v následující nasycené oblasti sedla je umístěno pracovní napětí. Strmost sedla je mírou kvality počítače a zhoršuje se se stářím detektoru. Životnost počítače je dána počtem detekovaných impulzů (ztrátou počtu

molekul samozhášecí náplně, které se po záchytu energie kladných iontů degradují) a bývá v řádu 10^{12} impulzů.



Schema zapojení BMP a jeho pracovní charakteristika

Stěny počítače umožňují detekci i nepřímo ionizujícího záření (fotonů), kdy interakcí s materiálem stěn vznikají elektrony. Pro měření nízkoenergetických elektronů se vyrábějí okénkové počítače. Na čelní straně válcového prostoru je slabá folie, umožňující průchod elektronů do detekčního objemu.

Velkoobjemové počítače slouží k detekci kosmického záření, speciální průtokové počítače mohou detekovat i alfa záření a pracovat s geometrií 2π nebo 4π .

Zvláštním druhem GM počítače je *koronový počítač*. Používá se především k detekci neutronů. Stěny uvnitř katody jsou pokryty vrstvou boru, ve kterém dochází k uvolňování alfa částic díky interakci s neutrony.

Dalším využitím ionizační metody detekce je *jiskrový počítač*, kdy v objemu detektoru dochází k jiskrovému výboji.

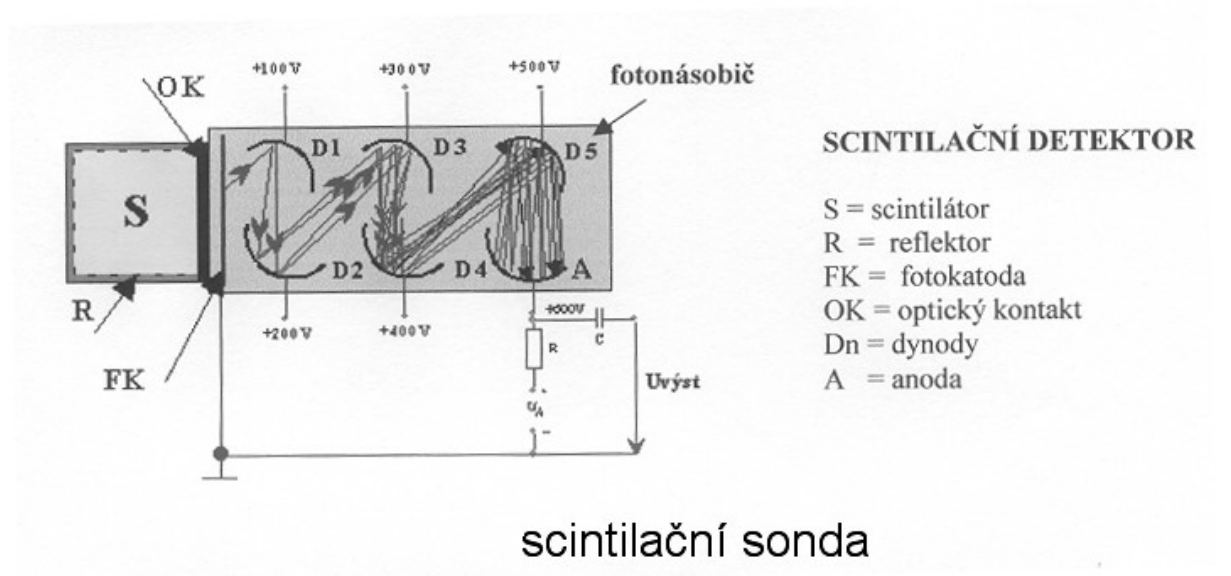
Scintilační sonda

Využívá pro detekci přímo i nepřímo ionizujícího záření scintilační detektor. Po dopadu záření na detektor dochází k excitaci elektronů v atomech scintilátoru. Elektrony se z klidové energie valenčního pásma dostávají do zakázaného pásma vodivostního. Odtud se okamžitě vracejí na klidovou hodnotu při současném vyzáření fotonu v oblasti viditelného spektra, respektive se ztráta energie nemusí projevit světelným zábleskem nebo může dojít k záchytu elektronu v záchytném centru rovněž nedoprovázeném vznikem světla.

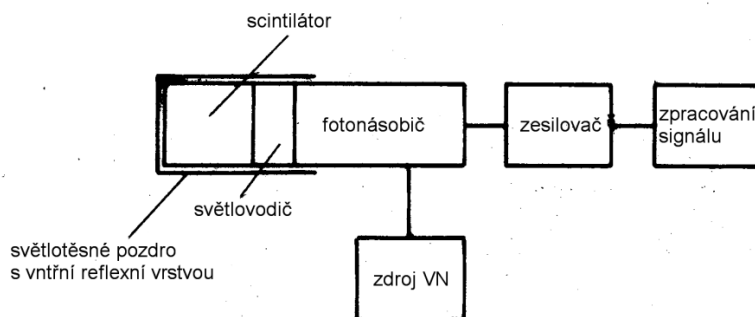
Existuje přímá závislost mezi energií dopadajícího záření a intenzitou světelného záblesku, takže systém může být využit jako spektrometr. Světelný impulz je velice malé intenzity, jeho detekce je realizována přiložením fotonásobiče na stěnu detektoru. Dobrý optický kontakt je zajištěn slabou vrstvou světlovodiče (zpravidla silikonová vazelína).

Detektory se vyrábějí ve formě anorganických krystalů, případně kapalin nebo i plynů podle účelu použití. Nejčastěji používané jsou krystaly natrium jodidu, aktivovaného thaliem /NaJ(Tl), resp. lithium jodidu aktivovaného europiem pro detekci neutronů/. Stejně vlastnosti má i celá řada dalších materiálů (diamant, antracen).

Na dalším obrázku je sestava detektoru s fotonásobičem, která tvoří scintilační sondu. Celek je světlotěsně zapouzdřen, pro zesílení světelného efektu je kolem scintilačního detektoru vrstvička odrazového materiálu.



Celkové uspořádání přístroje pro měření se scintilační sondou je na obrázku.



SKUPINOVÉ SCHEMA SCINTILAČNÍHO DETEKTORU

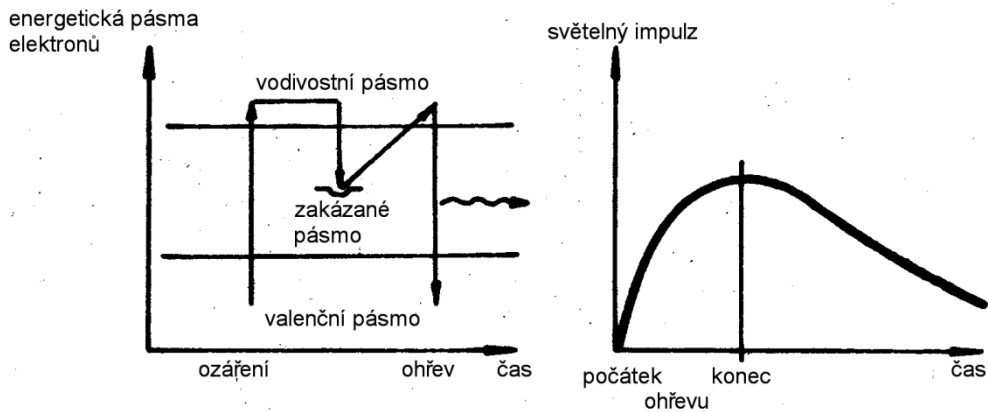
Použití scintilačních detektorů :

- k registraci počtu nabitých částic a měření jejich energie
- k měření spekter gama záření
- k registraci počtu gama kvant
- k registraci a měření spekter rychlých i pomalých neutronů
- k měření dávkového příkonu beta, gama, brzděného záření a neutronů

Termoluminiscenční detektor

V ozářeném materiálu dochází ke stejnému ději jako u scintilačních detektorů. Elektrony se ale z vodivostního pásma nevracejí okamžitě na klidovou hodnotu, ale jsou na vpravených „nečistotách“ zachyceny v záchytných centrech se získanou excitační energií. Tam mohou setrvat velice dlouhou dobu (řádově týdny až měsíce při poměrně malé ztrátě informace – fading). Pokud je potom látka vystavena krátkodobému tepelnému impulzu 200⁰C, dochází k návratu elektronů ze záchytných center na valenční energetickou hladinu a vyzáření ztracené energie opět ve formě slabého světelného záblesku. Jeho velikost je přímo úměrná dávce, kterou byla látka předtím ozářena. Světlo je registrováno v temném prostředí fotonásobičem a vyhodnocováno buď jako integrál plochy světelného píku nebo jeho amplitudou. Při vyhodnocení dochází k vymazání informace (annealing) a dozimetr je znovu připraven k použití. Při vysokých dávkách je mazání po odečtu informace provedeno následným ohřevem dlouhodobě při teplotách 80⁰ C nebo krátkým tepelným šokem 400⁰C.

Vyhodnocování tepelným impulzem je vhodné, pokud chceme získat informaci z celého detektoru. To je například u prstových detektorů nebo miniaturních prvků pro simultánní dozimetrii. V případě lokálního vyhodnocení části detektoru se používá metoda OSL – optická stimulace luminiscence světlem LED diody nebo laserem. Tento postup je praktikován u systémů nepřímé digitalizace diagnostických rentgenů.



PRINCIP ČINNOSTI TERMOLUMINISCENČNÍHO DOZIMETRU

Užití termoluminiscenčních dozimetrů

- osobní dozimetrie celotělová, prstová
- měření pole zářičů, simultánní dozimetrie
- v terapii měření in vivo v tělesných dutinách
- dlouhodobé sledování okolí jaderných elektráren
- kontroly terapeutických zářičů (kobalty, urychlovače)

Materiály pro použití v TL dozimetrii

LiF pro osobní dozimetrii, fading cca 5% za dva měsíce, přesnost do 5%.

CaF s vyšší citlivostí, ale menší přesností

LiF⁶ a LiF⁷ pro detekci neutronů

aluminofosfátové sklo

Dozimetry používané službou osobní dozimetrie VF, a.s.



obr. č. 8 TL dozimetry

Detekce neutronů

Vzhledem k charakteru částice s vysokou hmotností a nulovým nábojem je neutronová dozimetrie náročnější na použité metody a materiály. Postupně budou uvedeny používané měřicí a detekční systémy.

1. proporcionální detektory na principu GMP. Prostor počítače je plněn fluoridem boru BF_3 , vysoce obohaceným izotopem boru ^{10}B . Detektor reaguje impulzy podobně jako GMP (dlouhý počítač, BF_3 počítač).

2. jaderné reakce na materiálech, z nichž jsou uvolňovány ionizující částice. Jako příklad lze uvést reakci $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$, kdy je tento materiál přímo vložen do detektoru, například do shora uvedeného dlouhého počítače.

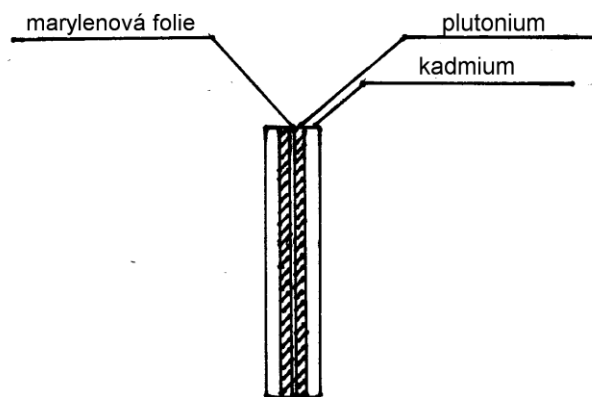
3. scintilační metody, využívající k detekci krystal lithium jodidu, aktivovaného europiem s vysokým obsahem ^7Li /LiJ(Eu)/

4. detektor s využitím termoluminiscence. Systém LiF, užívaný pro dozimetrii fotonů a elektronů je upraven tak, že jedna skupina detektorů obsahuje ^7Li a druhá ^6Li . Ve směrovém záření fotonů a neutronů je odezva detektoru s ^7Li větší o účinek neutronů. Rozdíl obou měření je potom hodnota pro neutrony.

5. aktivační metody, kdy např. aktivací zlata a následným měřením sekundárního záření je možné stanovit neutronovou dávku. Metoda je vysoce náročná na časové limity (poločas rozpadu aktivovaného materiálu).

6. měření pomocí speciálních polovodičových diod. Mírou ozáření je změna elektrických parametrů diody. Proces je nevratný a použití diod je limitováno maximálně možnou dávkou.

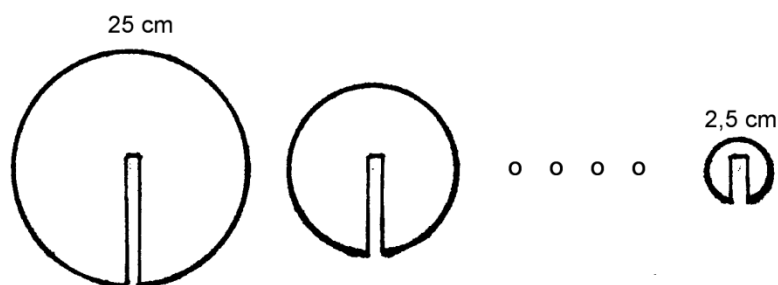
7. stopové metody- sledování mechanických stop například v keramice nebo otvorů ve slabé folii. Poslední metoda je použita i v osobním dozimetru neutronů, kdy pro zvětšení otvorů ve folii je navíc využita štěpná reakce na plutoniu. Neutrony jsou nejdříve kadmíem zabrzděny z rychlých na pomalé a teprve štěpné produkty (části jader plutonia) způsobí proděravění folie. Počet otvorů na jednotku plochy je potom mírou neutronového toku.



ŠTĚPNÝ DOZIMETR NEUTRONŮ

8. filmové metody využívají silné vrstvy klasické filmové emulze, doplněné prvky, které po interakci s neutrony vedou ke vzniku záření alfa. Výrazné stopy alfa záření po vyvolání filmu umožní sledovat počet i dráhy jednotlivých neutronů.

9. pro spektrometrii se používají nejčastěji polovodičové detektory, umístované do různě velkých Bohnerových koulí a analýzou výsledků měření lze vypočíst energii měřených neutronů.



BOHNEROVY KOULE
plyethylen, teflon