

Detektory scyntylacyjne

Scyntylator – materiał, który emituje światło (widzialne lub w zakresie bliskim widzialnemu) pod wpływem promieniowania jonizującego (X, γ , α , β , n, p, ...). To świecenie jest luminescencją, to znaczy fluorescencją lub fosforescencją.

Fluorescencja – „szybka” luminescencja (związana z bezpośrednim przejściem promienistym ze stanu wzbudzonego do niższego).

Fosforescencja – opóźniona luminescencja (przejście przez pośredni stan metastabilny).

Szybkość zaniku fosforescencji nie zależy od temperatury ośrodka.

Szybkość zaniku fluorescencji zależy od temperatury $\sim e^{-\frac{A}{T}}$

Historycznie, detektory scyntylacyjne były jednymi z pierwszych zastosowanych do detekcji promieniowania (zwłaszcza α – spintaryskop).

Obecnie największe praktyczne znaczenie w detekcji i dozymetrii promieniowania mają następujące materiały scyntylacyjne:

- kryształy organiczne typu węglowodorów, np. antracen
- kryształy (lub proszki krystaliczne) nieorganiczne typu halogenków metali alkalicznych lub siarczku cynku,
- roztwory ciekłe lub tworzywa sztuczne z rozpuszczonymi węglowodorami.

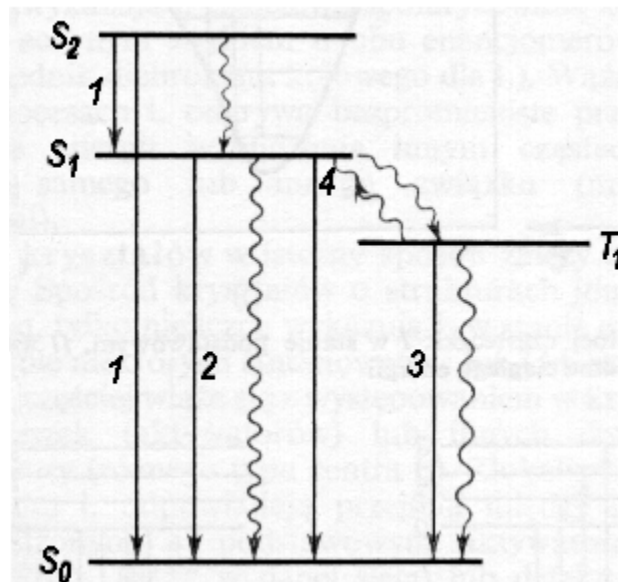
Rzadziej stosuje się scyntylatory gazowe (gazy szlachetne) i szklane.

Dozymetria promieniowania jonizującego

Przydatność w dozymetrii

Jonizacja i wzbudzenie atomów ośrodka może ostatecznie prowadzić do przejść elektronowych, którym towarzyszy emisja światła. Można zatem oczekiwać, że liczba wyemitowanych fotonów luminescencji, podobnie jak jonizacja gazu, jest dobrą miarą energii pochłoniętej promieniowania. Dodatkową zaletą jest większa gęstość scyntylatorów (większe prawdopodobieństwo oddziaływania) i większe podobieństwo do tkanki pod względem średniej liczby atomowej i gęstości.

Energia wzbudzenia atomu w ciele stałym lub cieczy może być łatwo i szybko, dzięki silnym oddziaływaniom wzajemnym atomów, przekazana sąsiadom i ostatecznie rozproszona w ośrodku jako ciepło. W nielicznych substancjach, które są dobrymi scyntylatorami atom, lub grupa atomów, biorąca udział w procesie luminescencji (tzw. centrum luminescencji) są „izolowane” od reszty ośrodka.



Schemat Jabłońskiego poziomów elektronowych i przejść.

S – stany singletowe (podstawowy i wzbudzone); T – stan trypletowy (wzbudzony).

Strzałki – przejścia promieniste; strzałki faliste – przejścia bezpromieniste.

1 – fluorescencja rezonansowa; 2 – fluorescencja; 3 – fosforescencja; 4 – fosforescencja (opóźniona fluorescencja).

W niektórych substancjach część energii wzbudzeń może zostać „zamrożona” i pozostawać w systemie przez długi okres (godziny – lata), a następnie „odmrożona” i wyzwolona w postaci światła w wyniku podniesienia temperatury systemu lub stymulacji światłem widzialnym lub podczerwienią.

Dozymetria promieniowania jonizującego

Detekcja scyntylacji

Dla dobrych scyntylatorów liczba fotonów luminescencji jest porównywalna z liczbą jonów, jaką ta sama cząstka wytworzyłaby w komorze jonizacyjnej.

Przy wydajnym układzie zbierania światła około 30% trafia na fotokatodę fotopowielacza. Typowa wydajność kwantowa fotokatody to $\sim 15\%$. W takich warunkach średnio 1 foton na 20 wytworzonych wybija elektron z fotokatody. Przy typowej krotności powielenia $2 \cdot 10^6$, na każdy foton luminescencji przypada ładunek $10^5 e$ co oznacza, że średni prąd wyjściowy anody fotopowielacza jest 10^5 razy większy od prądu komory jonizacyjnej przy jednakowych masach scyntylatora i gazu komory.

W przypadku równych objętości czynnych gazu i scyntylatora uwidacznia się istotna różnica gęstości i prąd fotopowielacza może być 10^8 razy większy. Prąd komory jonizacyjnej o objętości 1000 cm^3 wystawionej na promieniowanie X/γ o mocy ekspozycji 1 mR/h ma wartość 10^{-13} A . Przy takiej mocy ekspozycji prąd rzędu 10^{-8} A można uzyskać ze scyntylatora o objętości 1 cm^3 .

Wyższe wartości prądu detektorów scyntylacyjnych znacznie upraszczają problemy związane ze wzmacnianiem i pomiarem.

Stosuje się dwa praktyczne sposoby detekcji promieniowania przy pomocy detektorów scyntylacyjnych:

- rejestracje impulsów prądu odpowiadających błyskom luminescencji wywołanych pojedynczymi fotonami X/γ lub cząstkami naładowanymi,
 - o tylko liczba impulsów powyżej pewnego progu dyskryminacji,
 - o liczba i amplituda impulsów (analizator rozkładu amplitud impulsów),
- rejestrację średniego prądu anody fotopowielacza.

Pomiar średniej wartości prądu fotopowielacza odpowiada z grubsza pomiarom średniej wartości prądu jonizacji komory. W obu przypadkach jest on miarą mocy dawki pochłoniętej (w scyntylatorze lub gazie wypełniającym komorę).

Przy pomiarze impulsowym sytuacja jest podobna jak przy wykorzystaniu gazowego licznika proporcjonalnego. Rejestracja widma amplitud impulsów umożliwia jakościową i ilościową analizę promieniowania.

Dozymetria promieniowania jonizującego

ORGANIC SCINTILLATORS

Scintillator	Density ρ (gm/cm ³)	Effective atomic number Z_r	Wave-length of max. emission (Å)	Refractive index	Light yield relative to anthracene	Decay time (nsec)	Remarks
Anthracene	1.25	5.8	4450	1.59	1.00	25	Large crystals not quite clear
Quaterphenyl	—	5.8	4380	—	0.85	8	Pure crystals difficult to synthesize
Stilbene	1.16	5.7	4100	1.62	0.73	7	Good crystals readily obtainable
Terphenyl (<i>para</i>)	1.12	5.8	4150	—	0.55	12	Good crystals readily obtainable
Diphenylacetylene (Tolan)	1.18	5.8	3900	—	0.26-0.92	7	Large good crystals readily obtainable
Naphthalene	1.15	5.8	3450	1.58	0.15	75	Good crystals readily obtainable.
Chloroanthracene	—	9.8	—	—	0.03	—	—

INORGANIC SCINTILLATORS

Scintillator (activator in parenthesis)	Density ρ (gm/cm ³)	Effective atomic number Z_r	Wave-length of max. emission (Å)	Refractive index	Light yield relative to anthracene	Decay time (μ sec)	Remarks
ZnS (Ag)	4.1	27	4500	2.4	(2.0) ^a	(> 1) ^a	Mostly very small crystals
CdS (Ag)	4.8	44	7600	2.5	(2.0) ^a	(> 1) ^a	Yellow crystals
NaI (Tl)	3.67	50	4100	1.7	2.0	0.25	Excellent crystals available, hygroscopic
KI (Tl)	3.13	49	4100	1.68	0.8	> 1	Excellent crystals available, not hygroscopic
NaCl (Ag)	2.17	16	2450 3850	1.54	1.15	> 1	Excellent crystals available
LiI (Ti, Sn, or Eu)	4.06	52	Blue-green	1.95	—	—	Activation problems, hygroscopic
CsI (Tl)	4.51	54	White	1.79	1.5	> 1	Excellent crystals obtainable, not hygroscopic
CaWO ₄	6.06	59	4300	1.92	1.0	> 1	Small crystals, transparency good

^a The light yield and the decay time of the zinc sulfide and cadmium sulfide phosphors depend strongly on former treatment (quenching) and intensity of excitation. To a lesser degree this is also the case for other inorganic phosphors.

Dozymetria promieniowania jonizującego

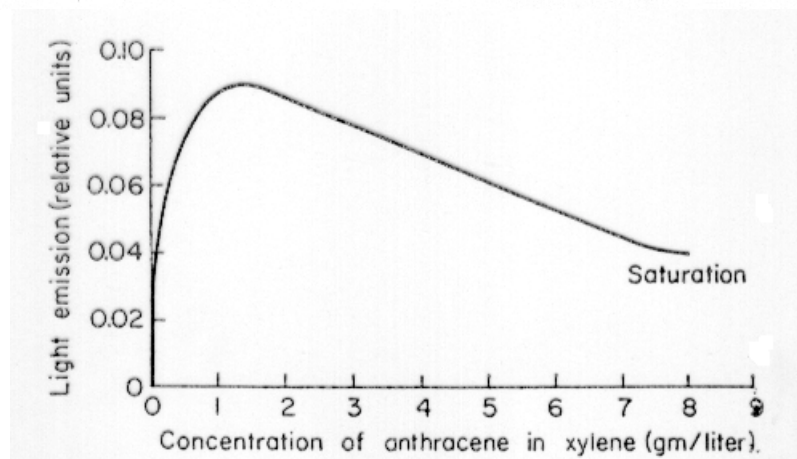
GLASS SCINTILLATORS

Number	Composition, molar ratios	Density ρ (gm/cm ³)	Effective atomic number Z_r	Wavelength of max. emission (Å)	Refractive index	Light yield relative to anthracene	Decay time (nsec)
GL-55	B ₂ O ₃ (3.0), Na ₂ O (1.0), Al ₂ O ₃ (1.0), Ce ₂ O ₃ (0.1)	2.37	23	4000	—	0.07	43
GL-127	B ₂ O ₃ (1.0), Na ₂ O (1.0), SiO ₂ (1.5), Al ₂ O ₃ (1.3), Ce ₂ O ₃ (0.09)	2.53	22.9	4000	—	0.11	42
GL-230	Li ₂ O (1.3), SiO ₂ (10.0), Al ₂ O ₃ (1.0), MgO (5.2), Ce ₂ O ₃ (0.10)	2.63	18.2	3900	1.55–1.56 ^a	0.15	52
GL-304	Li ₂ O (3.6), SiO ₂ (11.0), Al ₂ O ₃ (0.75), Ce ₂ O ₃ (0.10)	2.34	18.7	3900	—	0.12	42

^a R. J. Ginther, personal communication.

LIQUID AND PLASTIC SCINTILLATORS

Scintillating solute	Solvent	Optimum concentration (gm/liter)	Density ρ (gm/cm ³)	Effective atomic number Z_r	Wavelength of max. emission (Å)	Refractive index	Light yield relative to anthracene	Decay time (nsec)
<i>p</i> -Terphenyl	Xylene	5	0.87	5.6	3600	1.50	0.50	≤3
2, 5-Diphenyl-oxazole (PPO)	Xylene	5	0.87	5.6	3800	1.50	0.50	≤3
<i>p</i> -Terphenyl + POPOP	Toluene	4 0.1	0.87	5.6	4300	—	0.61	≤3
2-Phenyl-5-(4 biphenyl) 1, 3, 4-oxadiazole (PBD)	Xylene	10	0.87	5.6	—	1.50	0.70	≤3
<i>p</i> -Terphenyl + POPOP	Polyvinyl-toluene	36 1	—	—	—	—	0.51	—
<i>p</i> -Terphenyl + diphenylstilbene	Polyvinyl-toluene	36 0.9	—	—	—	—	0.52	—
Pilot-B	—	—	1.02	—	4000	1.58	0.68	2.1



Wydajność świetlna scyntylatorów

Absorpcja fotonów wysokiej energii lub szybkich neutronów w scyntylatorze daje początek szybkim wtórnym cząstkom naładowanym. Przekroje czynne dla różnych procesów absorpcji silnie zależą od energii promieniowania pierwotnego i wpływają na końcową wydajność detekcji.

Wewnętrzna wydajność scyntylatora

Energia pierwotnego promieniowania cząstek naładowanych i wtórnych cząstek naładowanych ulega stopniowej absorpcji w scyntylatorze. Wydajność odnosząca się do zamiany energii szybkich cząstek naładowanych w energię światła nazywa się wewnętrzną wydajnością scyntylatora η , równą stosunkowi (często w %) energii fotonów luminescencji E_L wytworzonych w scyntylatorze do energii kinetycznej E_K cząstek straconej w scyntylatorze.

$$\eta = \frac{E_L}{E_K} = \frac{h\nu_L}{W^*} \quad (1)$$

$h\nu_L$ - energia fotonu luminescencji (2 – 5 eV)

W^* - średnia praca produkcji fotonu (25 – 60 eV)

Pozostała część $(1 - \eta)$ energii cząstki jest rozpraszana w przejściach bezpromienistych, na produkcje fononów, itd.

W najlepszych scyntylatorach W^* ma wartości od 25 eV do 60 eV, co można porównać do średniej pracy jonizacji powietrza (~34 eV).

Alternatywnie wydajność wewnętrzną podaje się jako stosunek liczby fotonów luminescencji do energii kinetycznej straconej w scyntylatorze.

$$\frac{E_L / h\nu_L}{E_K} = \frac{1}{W^*} \text{ - wydajność wewnętrzna} \quad I_f = \frac{E_K}{W^*} \text{ - liczba fotonów}$$

Taki wybór podyktowany jest tym, że odpowiedź i prąd wyjściowy fotopowielacza są proporcjonalne do $\frac{E_K}{W^*}$

Oslabienie luminescencji

Straty światła luminescencji zależą od właściwości samego scyntylatora (przejrzystość, współczynnik załamania) i promieniowania luminescencji (barwa) oraz od geometrycznych i optycznych cech systemu (np. reflektory, światłowody, połączenia między elementami optycznymi).

Duże znaczenie dla parametrów optycznych ma długość fali luminescencji i dlatego ważny jest kształt widma luminescencji. Większość najlepszych scyntylatorów ma maksimum emisji przypadające w zakresie niebieskim, fioletowym lub ultrafioletowym widma, jednak widma emisyjne niektórych scyntylatorów sięgają daleko w czerwień.

Dobra przejrzystość materiału dla emitowanego światła luminescencji jest zawsze pożądana, chociaż nie zawsze musi być bardzo istotna. Na przykład, nawet słabo przezroczysty scyntylator może być przydatny do rejestracji ciężkich cząstek naładowanych o bardzo krótkim zasięgu.

Współczynnik załamania scyntylatora, ze względu na zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia powinien być dobrany do współczynnika załamania szkła fotopowielacza.

Czasami konieczna jest przestrzenna separacja scyntylatora i fotopowielacza i wtedy stosuje się różne światłowody (szkło, licyt, powietrzne).

W dobrych detektorach scyntylacyjnych duża część fotonów luminescencji dociera do fotokatody fotopowielacza i wydajność świetlna g sięga $\frac{1}{20}$ do $\frac{1}{10}$ fotoelektronu na foton luminescencji.

Wydajność całkowita detektora wynosi

$$\eta \cdot g$$

$$g = \frac{P}{P_{hv}} - \text{wydajność optyczna}$$

liczba fotoelektronów P
liczba fotonów P_{hv}

Liczba fotoelektronów wybitych z fotokatody wynosi zatem

$$P = \frac{E_K \eta g}{(hv)_L} = \frac{E_K}{f} \quad (2)$$

gdzie

$$f = \frac{(hv)_L}{\eta g} \quad [\text{keV na fotoelektron}] \quad (3)$$

Dozymetria promieniowania jonizującego

jest współczynnikiem jakości i jest rzędu 0,5 – 2 keV. Dla detektora z bardzo dobrą wydajnością świetlną i optyczną i ze scyntylatorem antracenowym f jest bliskie 1 keV.

Detektory scyntylacyjne w dozymetrii promieniowania X/γ

Wielkość ekspozycji mierzona powietrzną komorą jonizacyjną dla promieniowania X/γ jest proporcjonalna do iloczynu strumienia całkowego energii F (w erg/cm²) i masowego współczynnika pochłaniania $(\mu_{en}/\rho)_{pow}$ (w cm²/g)

$$X = \frac{F \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{pow}}{86,9} \quad (4)$$

dla powietrza

$$86,9 \frac{erg}{g \cdot R} = 8,69 \cdot 10^{-3} \frac{J}{kg \cdot R}$$

Energia kinetyczna E_K wtórnych elektronów wytworzonych w masie m scyntylatora wystawionego na strumień F promieniowania wynosi

$$E_K = F \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{sc} \cdot m \quad (5)$$

Równanie (5) jest prawdziwe przy założeniu, że

- scyntylator jest na tyle cienki, że nie osłabia strumienia promieniowania pierwotnego,
- jest jednocześnie na tyle gruby, że elektrony wtórne są w nim całkowicie pochłaniane.

Wyznaczając F z (4) i wstawiając do (5) otrzymujemy

$$E_K = 5,43 \cdot 10^{10} m X \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{sc}}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{pow}} \quad (6)$$

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$	–	$\frac{cm^2}{g}$
X	–	R
m	–	g
E_K	–	keV

Dozymetria promieniowania jonizującego

Dzieląc dalej stronami przez fX otrzymujemy

$$\frac{P}{X} = 5,43 \cdot 10^{10} \frac{m \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{sc}}{f \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{pow}} = \left(\frac{P}{X} \right)_{d \rightarrow 0} \quad (7) \quad d \ll \frac{1}{(\mu_{en})_{sc}}$$

czyli odpowiedź detektora z cienkim scyntylatorem na jednostkową ekspozycję (liczba fotoelektronów na 1 R).

Dla grubszych scyntylatorów trzeba uwzględnić poprawkę na pochłanianie

$$\frac{P}{X} = \left(\frac{P}{X} \right)_{d \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-\mu_{en}d}}{\mu_{en}d} \quad (8)$$

Zależność odpowiedzi detektora scyntylacyjnego na promieniowanie fotonowe

$\frac{P}{X}$ od energii tego promieniowania niemal w całości zależy od zależności

energetycznej współczynników pochłaniania μ_{en} powietrza i scyntylatora.

Współczynnik jakości

$$f = \frac{(h\nu)_L}{\eta g}$$

można uważać za niezależny od energii promieniowania X/γ bo współczynniki η i g bardzo mało zmieniają się z energią.

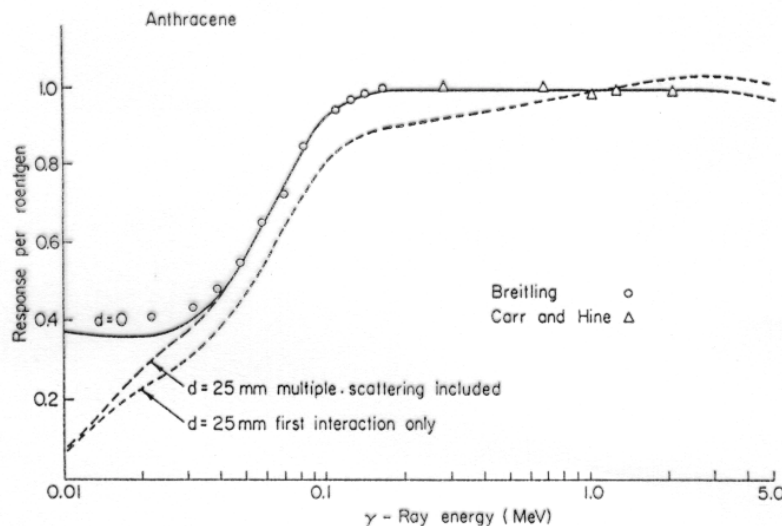
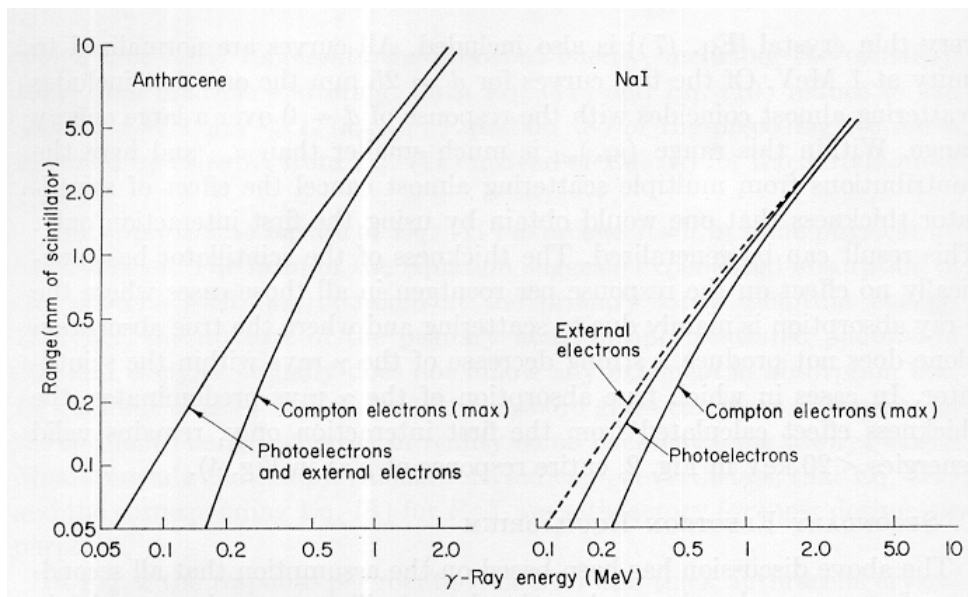
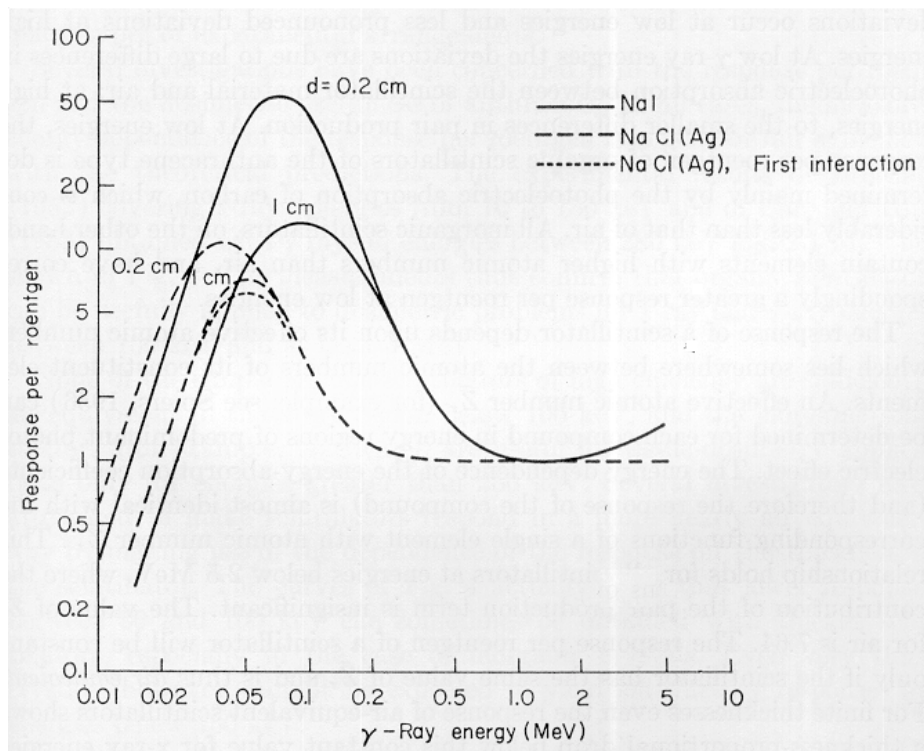


FIG. 2. Response per roentgen of a 25-mm thick anthracene crystal as calculated from Eq. (8) (long-dashed line) and from the modified Eq. (8) with $x = \mu d$, valid for first interaction only (short-dashed line). The solid line represents the response of a very thin crystal [Eq. (7)]. The curves are normalized to unity at 1 MeV. The experimental values of Breitling (1952) and Carr and Hine (1953) are included.

Równowaga wtórnych elektronów



Zasięgi fotoelektronów i elektronów comptonowskich o maksymalnych energiach w funkcji energii promieniowania γ w antracenie i NaI. Zasięgi elektronów wytwarzanych zewnętrznie (w funkcji energii elektronów) pokrywają się z zasięgami fotoelektronów dla antracenu a dla NaI są zaznaczone linią przerywaną.



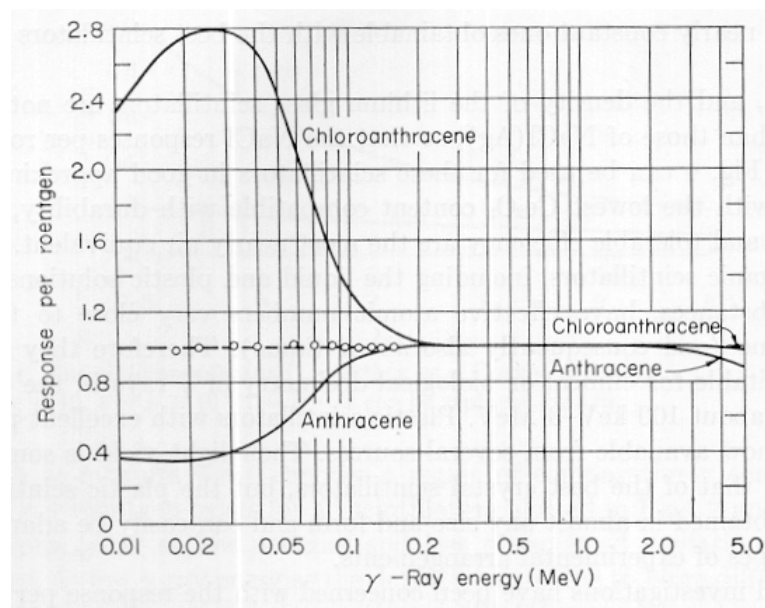
Obliczone z (8) odpowiedzi dla kryształów NaI i NaCl(Ag) o grubościach 0,2 cm i 1 cm. Krzywe są normalizowane do 1 dla energii 1 MeV.

Dozymetria promieniowania jonizującego

Nawet dla cienkich scyntylatorów, o grubościach odpowiadających zasięgowi elektronów wtórnych, strata energii wynosi tylko 10 – 25% energii przekazanej przez fotony.

W przypadku wąskich wiązek promieni X/ γ więcej elektronów opuszcza scyntylator niż do niego przenika. Można kompensować ten efekt otaczając scyntylator materiałem o zbliżonej liczbie atomowej.

W wielu zastosowaniach ośrodek, w którym mierzona jest moc dawki może zapewnić warunki równowagi cząstek naładowanych. Ponieważ scyntylator musi być zawsze chroniony od światła, to w takich przypadkach osłona powinna być możliwie najcieńsza.



Obliczone odpowiedzi antracenu i chloroantracenu normalizowane do jedności przy energii 1 MeV. Dobrana eksperymentalnie mieszanina tych substancji pozwala uzyskać odpowiedź prawie niezależną od energii.

Dozymetry z ciała stałego

Jednym z pierwszych dozymetrów był fosfor termoluminescencyjny $\text{CaSO}_4:\text{Mn}$ (użyty przed rokiem 1895). Innym przykładem wcześniej używanego dozymetru były pastylki platynocyjanku baru, zmieniające kolor pod wpływem pochłanianego promieniowania.

Dozymetr z ciała stałego

Materiał w stanie stałym z przynajmniej jedną mierzalną cechą zależącą od dawki pochłoniętej (lub mocy dawki) promieniowania jonizującego jakiegoś typu w tym materiale.

Tak szeroka definicja obejmuje między innymi: filmy fotograficzne, scyntylatory stałe, błony plastikowe z barwnikiem, fosfory termoluminescencyjne, detektory półprzewodnikowe i krystaliczne.

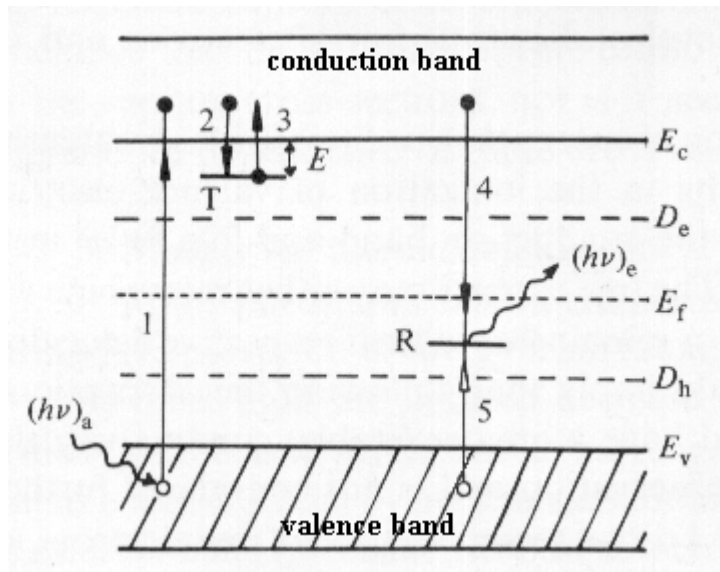
Błony fotograficzne są traktowane oddzielnie od innych dozymetrów z ciała stałego.

Dozymetry sumujące z ciała stałego

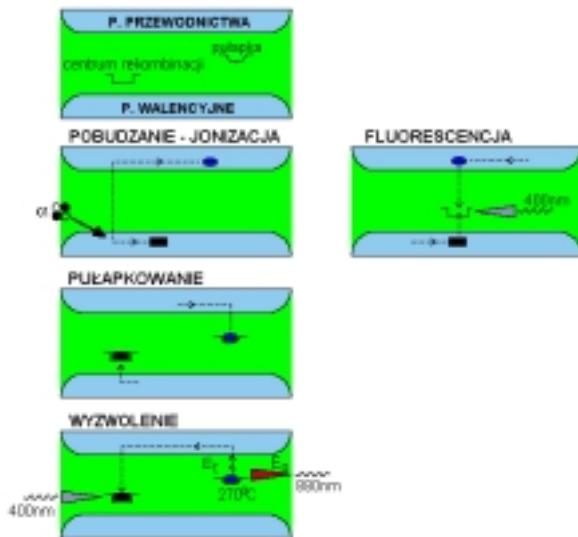
Procesy i zjawiska zachodzące przy pochłanianiu energii promieniowania

- a) uszkodzenia struktury (sieci krystalicznej)
- b) jonizacja
- c) wzbudzone przewodnictwo elektryczne
- d) wzbudzanie ekscytonów
- e) zapełnianie pułapek (tworzenie lub aktywacja centrów)
- f) fluorescencja i fosforescencja
- g) zmiany absorpcji światła widzialnego
- h) radiofotoluminescencja
- i) wygaszanie luminescencji
- j) ERP
- k) TL / OSL

Dozymetria promieniowania jonizującego



Uproszczony schemat poziomów energetycznych w ciele stałym.

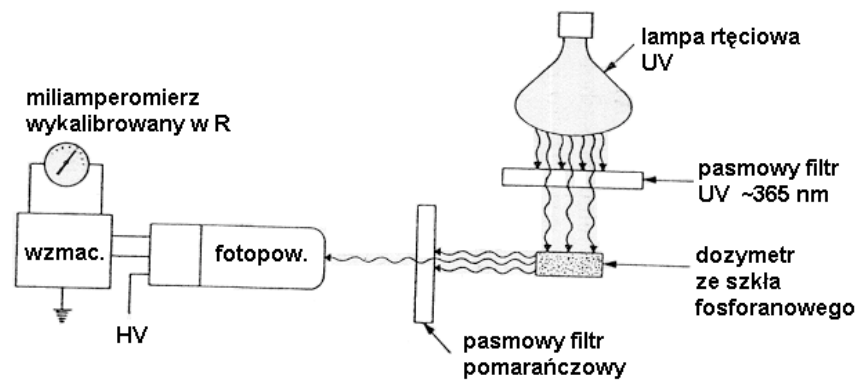


Dozymetria promieniowania jonizującego

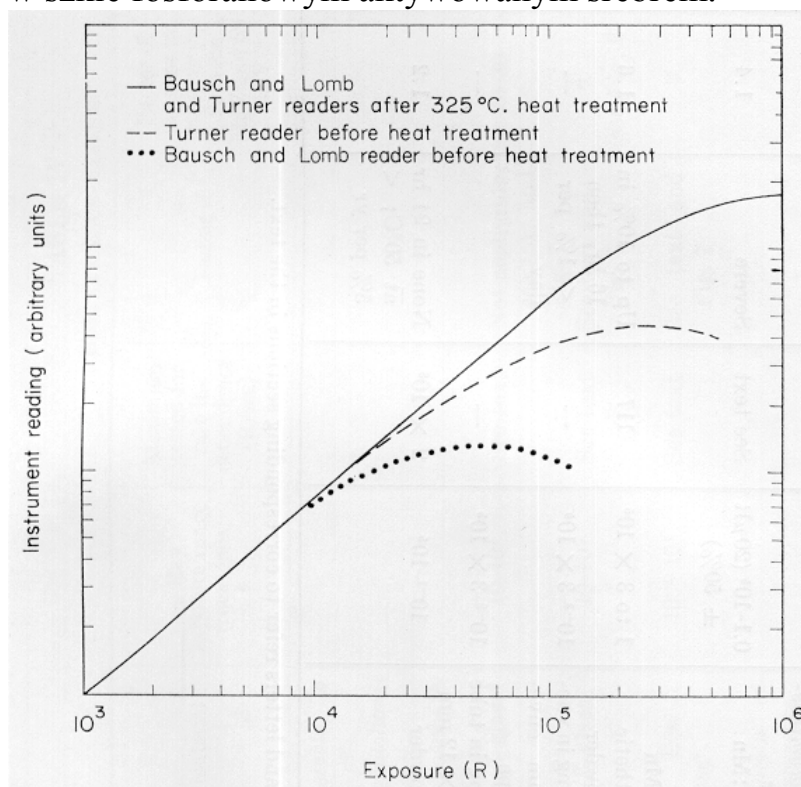
Typ centrów wytwarzanych przez promieniowanie	Mierzona cecha	Materiał	Zakres stosowania
I. centra stabilne względem pomiaru	A. barwa	szkła plastyki barwniki	w w, bw s, w, bw
	B. radiofotoluminescencja	szkło fosforowe	n, s, w
	C. degradacja luminescencji	antracen, itp.	w, bw
	D. ERP	alanina	s
II. centra niszczone w czasie odczytu	A. termoluminescencja	1. $\text{CaSO}_4:\text{Mn}$ 2. $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ 3. LiF	n, s n, s, w n, s
	B. luminescencja stymulowana podczerwienią	$\text{SrS}:\text{Eu},\text{Sm}$	n, s

n – niskie dawki $< 10^{-1}$ Gy
 s – średnie dawki $10^{-1} - 10^{+2}$ Gy
 w – wysokie dawki $10^{+2} - 10^{+5}$ Gy
 bw – bardzo wysokie $> 10^{+5}$ Gy

Dozymetria promieniowania jonizującego

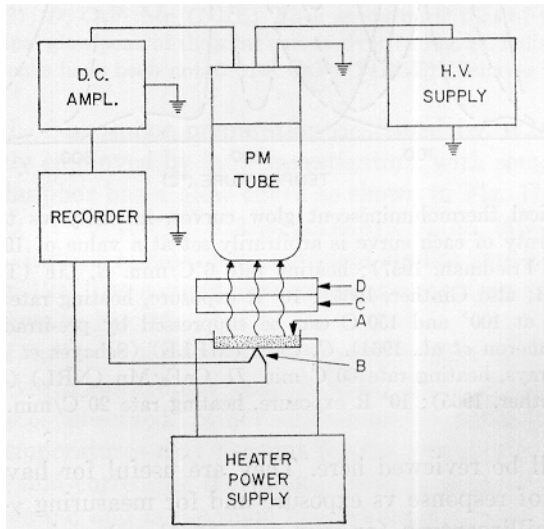


Schematyczna budowa fluorymetru do pomiarów radiofotoluminescencji w szkła fosforanowego aktywowanym srebrem.

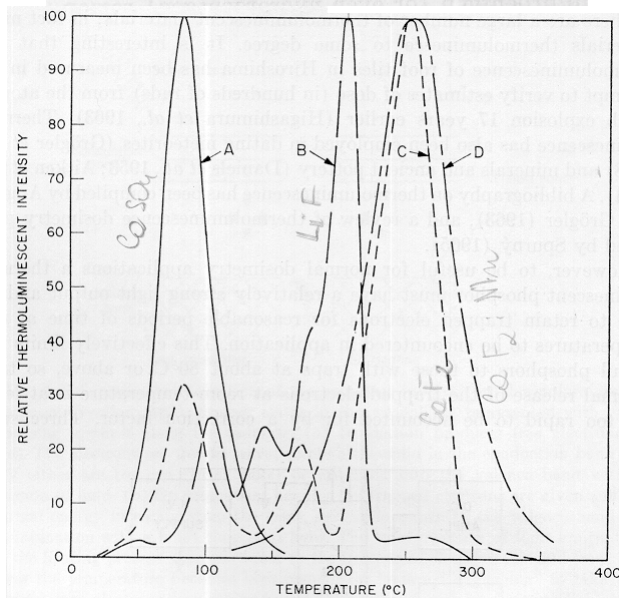


Radiofotoluminescencja szkła fosforanowego aktywowanego srebrem w funkcji ekspozycji na promieniowanie γ .

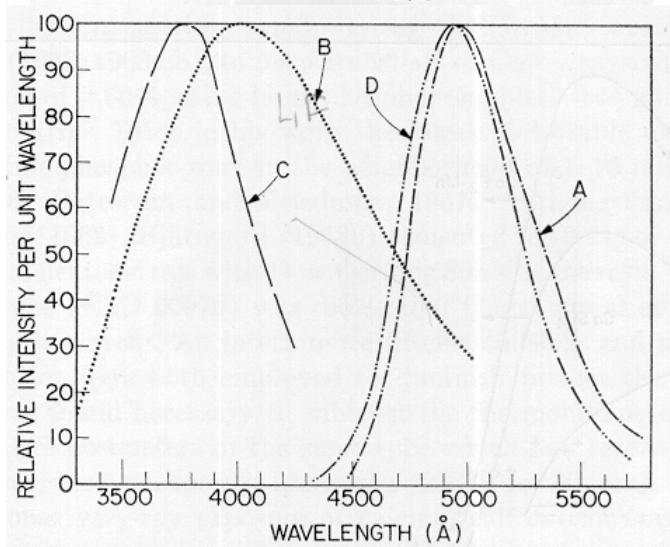
Dozymetria promieniowania jonizującego



Schemat czytnika TL.

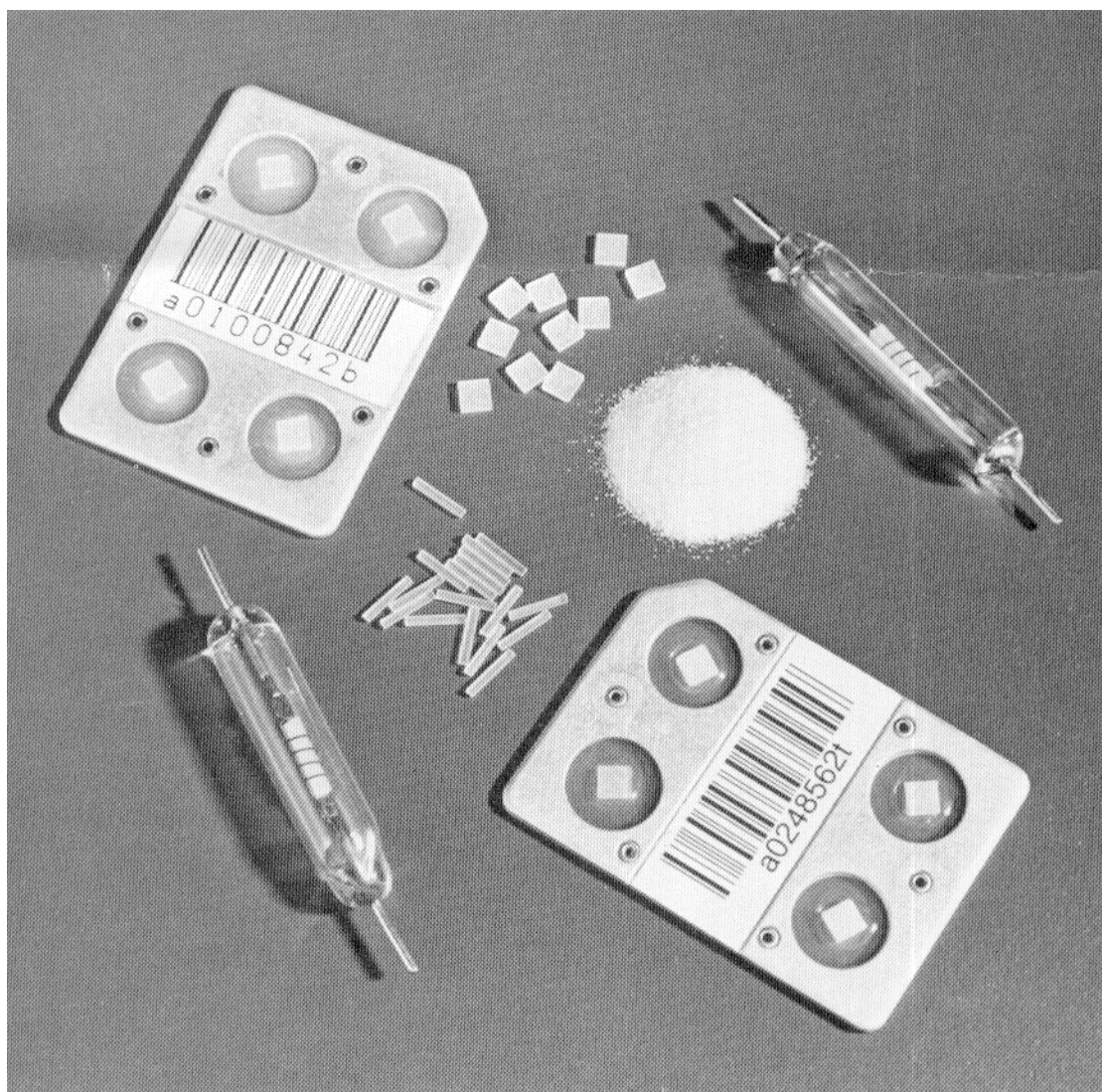


Przykładowe krzywe jarzenia TL.
A – CaSO₄:Mn, B – LiF (TLD-100), C – CaF₂ (MBLE), D – CaF₂:Mn (NRL).



Widma emisyjne TL. A – CaSO₄:Mn, B – LiF (TLD-100), C – CaF₂ (MBLE), D – CaF₂:Mn (NRL).

Dozymetria promieniowania jonizującego



Przykłady dozymetrów TL.

Dozymetria promieniowania jonizującego



Szklane dozymetry radiofotoluminescencyjne (RPL).



External view of GLASS DOSEMETER:GD-300 SERIES

Dozymetria promieniowania jonizującego

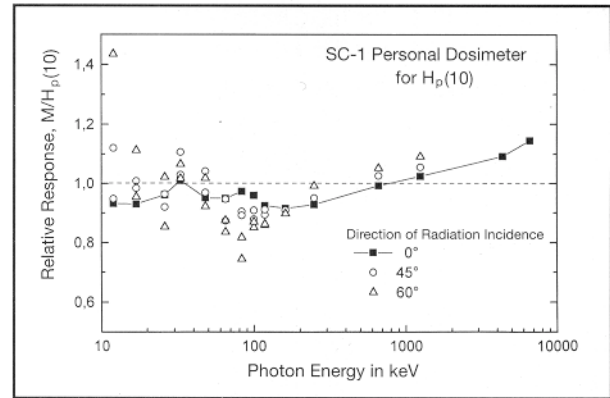
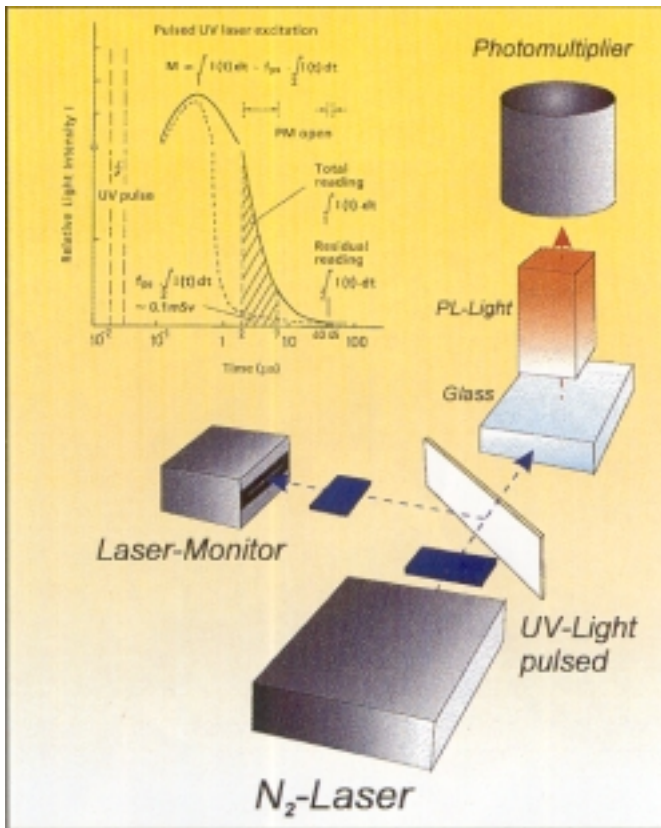


Fig. 7: Dependence on energy and direction of the SC-1 personal dosimeter for irradiation in a slab phantom (PTB results).

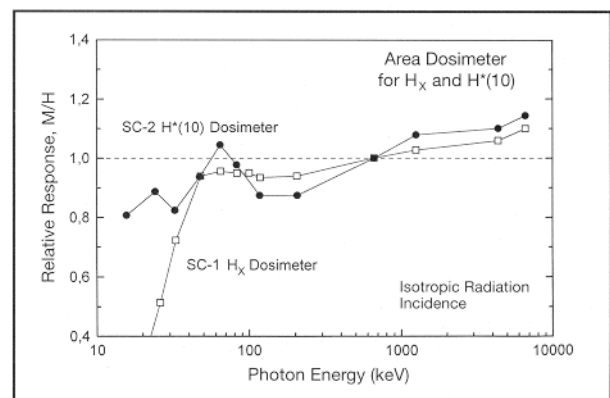


Fig. 8: Energy dependence of the SC-2 area dosimeter when rotated about two axes.

Zasada działania systemu ze szklanymi dozymetrami RPL.

Dozymetria promieniowania jonizującego

<p>Size and weight of dosimeter 40 x 30 x 9 mm³, 15 g.</p> <p>Type of radiation Gamma-radiation and X-rays.</p> <p>Quantities measured SC-1-personal and area dosimeter: Photon dose equivalent, $H_x^{(1)}$ Personal dose equivalent, $H_p(10)$. SC-2 area dosimeter: Ambient dose equivalent, $H^*(10)$.</p> <p>Measurement range ¹⁾ Personal dosimeter: 0.1 mSv to 8 Sv with predoses < 3 mSv. Area dosimeter: 0.03 mSv to 8 Sv after annealing.</p> <p>Coefficient of variation in dose measurement ¹⁾ for $H \geq 3$ mSv: approx. 1%, for $H = 0,1$ mSv: $5\% \leq v(H_0) \leq 26\%$, for predoses $0.03 \leq H_0 < 3$ mSv.</p> <p>Nominal range of use of energy: 25 keV to 1.3 MeV for $H_x^{(1)}$, Fig. 5 10 keV to 10 MeV for $H_p(10)$, Fig. 7 direction: 0° to 60° relative to the reference direction.</p> <p>Further information Radiation quality: 10 keV to > 150 keV for 0° - 60° Under certain conditions, incidence, Fig. 4.</p>	<p>Long-term stability approx. 1% over one year, Fig. 9.</p> <p>Temperature dependence under radiation exposure: + 0.1 % / °C in the range between -10 °C and 50 °C.</p> <p>Environmental influences Insensitive to humidity of the air and UV light.</p> <p>Response relative to ¹³⁷Cs-photons: β-radiation ⁹⁰Sr/⁹⁰Y, $R_\beta/R_\gamma = 0.08$, thermal neutrons, $R_{th}/R_\gamma = 0.39$, ²⁵²Cf neutrons, $R_n/R_\gamma = 0.04$, cosmic radiation, $R_c/R_\gamma = 0.91$.</p> <p>Exposure time Usual period of use, 1 month up to several years, with interim evaluations.</p> <p>Pattern approval Personal dosimeter for H_x, No. 23.02/92.05 Area dosimeter for H_x, No. 23.01/92.06.</p> <p>Dosimeter shipment Dosimeter ready for use, with safety lock.</p> <p>Evaluation systems FGD-10: automatic readout of 500 dosimeters, replacement of glass cards; FGD-203: compact unit (20 dosimeters).</p>
--	---

Dane techniczne dozymetrów serii FGD.