

Σπινθηριστές

- Τα κατάλληλα υλικά σπινθηρισμού καλύπτουν τις παρακάτω απαιτήσεις:
- Υψηλή απόδοση μετατροπής της διεγείρουσας ενέργειας σε ακτινοβολία φθορισμού.
- Διαφάνεια στο ορατό φως.
- Εκπομπή του ορατού φωτός σε φασματική περιοχή που αντιστοιχεί στην περιοχή φασματικής απόκρισης του ΦΤ.
- Μικρή σταθερά αποδιέγερσης.
- Χρησιμοποιούνται 6 τύποι υλικά:
 - Οργανικοί κρύσταλλοι
 - Οργανικά υγρά
 - Πλαστικά υλικά
 - Ανόργανοι κρύσταλλοι
 - Αέρια
 - Γυαλιά

Γ. Τσιπολίτης

Ανόργανοι Σπινθηριστές

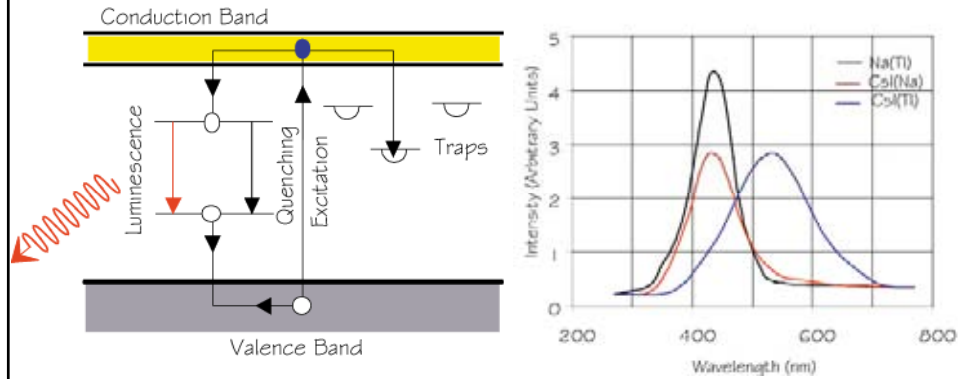
- Συνήθως είναι αλκαλικές ανώσεις με αλογόνα που περιέχουν μικρή πρόσμιξη **ενεργοποιητού**.
- NaI + πρόσμιξη Θαλίου (Tl), CsI (Tl), CsF_2 , CsI (Na), KI (Tl), LiI (Eu)
- Μη- Αλκαλικοί κρύσταλλοι: $\text{Bi}_4 \text{Ge}_3 \text{O}_{12}$ (BGO), BaF_2 , ZnS(Ag) , CaWO_4
- Χρόνος απόκρισης: **Αργός** ~ 500 ns
- Βασικό μειονέκτημα: **Υγροσκοπικότητα** πλην του CsI (Tl)
- Φυσικές Ιδιότητες: **Υψηλή πυκνότητα** → Ακτίνες-γ, ενεργά ηλεκτρόνια (κατάλληλοι για ανίχνευση)
- BGO: αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω υψηλού Z και μεγαλύτερης απόδοσης για φωτοηλεκτρική μετατροπή των ακτίνων-γ. (3 με 5 φορές μεγαλύτερη απόδοση από NaI).
- BaF_2 : έχει μια ταχύτατη συνιστώσα φωτός στο υπεριώδες (UV) χρόνο αποδιέγερσης ~ 500 ps έξοδος φωτός χαμηλή.

Γ. Τσιπολίτης

Ανόργανοι Σπινθηριστές

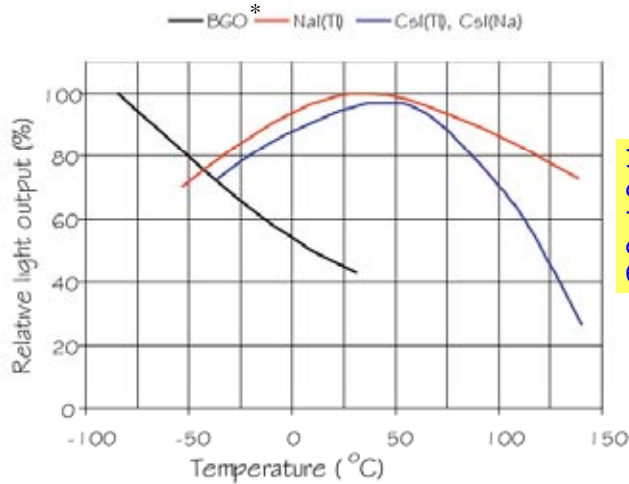
Ο πιο διαδεδομένος ανόργανος σπινθηριστής είναι το NaI(Tl).

Οι ενεργειακές ζώνες σε ένα κρύσταλλο με προσμείξεις



Γ. Τσιπολίτης

Ανόργανοι Σπινθηριστές

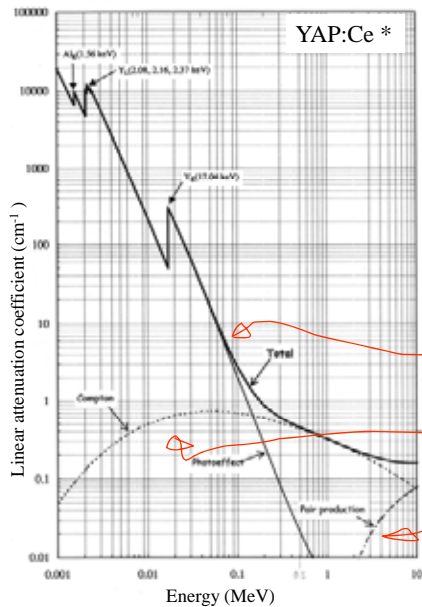


Ισχυρή εξάρτηση της απόδοσης φωτός και της σταθεράς αποδιέγερσης από τη θερμοκρασία.

Γ. Τσιπολίτης

* Bismuth germinate $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$

Απορρόφηση Φωτονίων



Η ένταση, I , μιας δέσμης ακτίνων γ καθώς περνά ένα στόχο πάχους d

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

όπου μ οι 3 διαδικασίες:

Photoel. Abs. $\rightarrow Z^4$ έως Z^5

Compton scatt. $\rightarrow Z$

Pair production $\rightarrow Z^2$

* YAP (Yttrium Aluminium Provskite $YAlO_3$) crystals

Γ. Τσιπολίτης

Ανόργανοι Σπινθηριστές

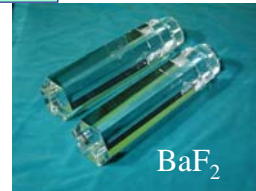
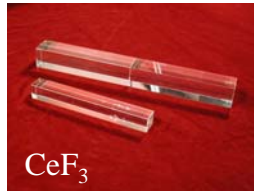
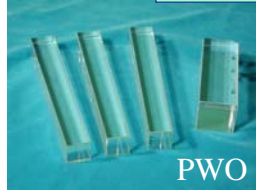
Scintillator composition	Density (g/cm ³)	Index of refraction	Wavelength of max. Em. (nm)	Decay time Constant (μ s)	Scinti Pulse height ¹⁾	Notes
NaI (Tl)	3.67	1.9	410	0.25	100	2)
CsI	4.51	1.8	310	0.01	6	3)
CsI (Tl)	4.51	1.8	565	1.0	45	3)
CaF₂(Eu)	3.19	1.4	435	0.9	50	
BaF₂	4.88	1.5	190/220 310	0.0006 0.63	5 15	
BGO	7.13	2.2	480	0.30	10	
CdWO₄	7.90	2.3	540	5.0	40	
PbWO₄	8.28	2.1	440	0.020	0.1	
CeF₃	6.16	1.7	300 340	0.005 0.020	5	
GSO	6.71	1.9	430	0.060	40	
LSO	7	1.8	420	0.040	75	
YAP	5.50	1.9	370	0.030	70	

1) Relative to NaI(Tl) in %; 2) Hygroscopic; 3) Water soluble

Γ. Τσιπολίτης

Κρύσταλλοι

Αυτοί οι κρύσταλλοι παράγουν φως light!



Κρύσταλλοι είναι τα υλικά για ηλεκτρομαγνητικά καλορίμετρα για να έχουμε ακρίβεια στις μετρήσεις

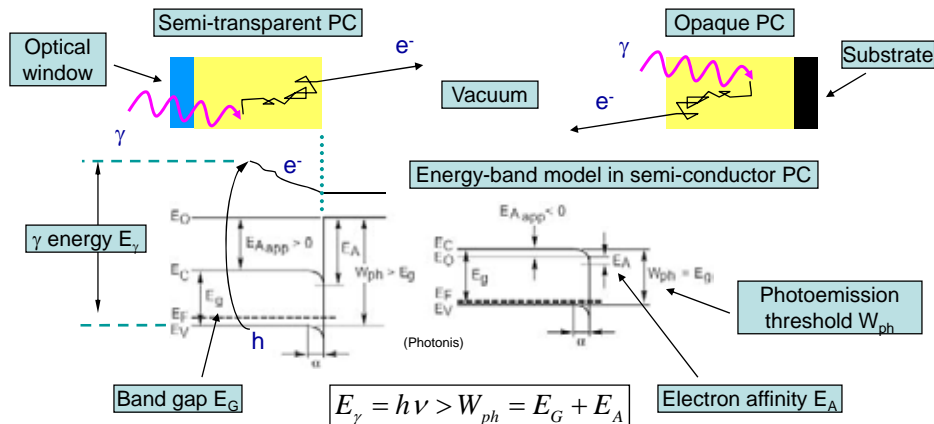


Γ. Τσιπολίτης

Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

Διαδικασία 3-βημάτων:

- Τα απορροφούμενα γ μεταφέρουν ενέργεια στα ηλεκτρόνια (e^-) του υλικού.
 - Ενερργειακά e^- διαχέονται στο υλικό χάνοντας μέρος της ενέργειάς τους.
 - e^- φτάνουν στην επιφάνεια με αρκετή ενέργεια ώστε να ξεφύγουν
- \Rightarrow Η ιδανική φωτοκάθοδος (PC) πρέπει να απορροφά όλα τα γ και να εκπέμπει όλα τα παραγόμενα e^- .



Γ. Τσιπολίτης

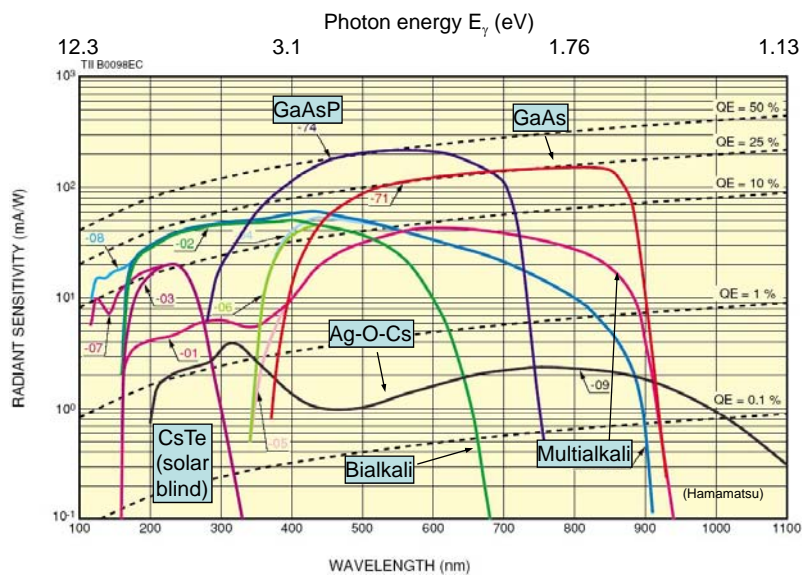
Quantum Efficiency

ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ (quantum efficiency) σε μήκος κύματος λ , που είναι ο αριθμός των φωτοηλεκτρονίων που εκπέμπονται από την φωτοκάθοδο με την πρόσπτωση ενός γ :

$$\eta(\lambda) = \frac{\text{αριθμός φωτοηλεκτρονίων}}{\text{αριθμός φωτονίων στην κάθοδο}} \%$$

Γ. Τσιπολίτης

Quantum Efficiency



Bialkali: SbKCs, SbRbCs Multialkali: SbNa₂KCs (alkali metals have low work function)

Γ. Τσιπολίτης

Φωτοπολλαπλασιαστής (PMT)

Photo Cathode

Dynodes

Anode

Photon-to-Electron Converting Photo-Cathode

Dynodes με δευτερεύουσα εκπομπή ηλεκτρονίων

Τυπική ενίσχυση $\approx 10^6$. Transient time spread ≈ 200 ps

$G = \delta^n$

$G = f(g\delta)^n$

f = ικανότητα συλλογής ηλεκτρ. από δυνόδους
 g = συντελ. μεταφοράς ηλεκτρ. δύνοδο-δύνοδο

Ο συντελεστής δ αυξάνεται με την αύξηση του δυναμικού V_d ανάμεσα στις δυνόδους: $\delta = k V_d$

Ολικό δυναμικό: $V_b = nV_d = \frac{n}{k} G^{1/n}$

Γ. Τσιπολίτης

Φωτοπολλαπλασιαστής (PMT)

Δευτερεύουσα εκπομπή: σχεδόν το ίδιο με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Ένα ηλεκτρόνιο προσκρούει \rightarrow μεταφέρεται ενέργεια στα ηλεκτρόνια του υλικού της δευτερεύουσας εκπομπής έτσι ώστε ένας αριθμός από αυτά να ξεφεύγει. Μονωτές και ημιαγωγοί χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό.

Υλικά που χρησιμοποιούνται είναι:
 Ag/Mg, Cu/Be και Cs/Sb.

Επίσης χρησιμοποιούνται ηλεκτρωνικά υλικά GaP.

Χρόνος πτήσης ηλεκτρονίων από φωτοκάθοδο μέχρι 1^η δύνοδο ανεξάρτητος του σημείου παραγωγής.

Equipotential lines

10 V, 25, 50, 100, 200

Photo cathode

Accelerating electrode

First Dynode

Electron paths

Focusing electrode

Γ. Τσιπολίτης

Gain fluctuations of PMT's

Mainly determined by the fluctuations of the number $m(\delta)$ of secondary e's emitted from the dynodes;

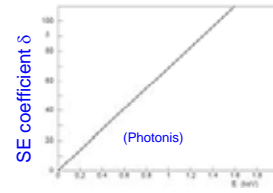
Poisson distribution:

$$P_{\delta}(m) = \frac{\delta^m e^{-\delta}}{m!}$$

Standard deviation:

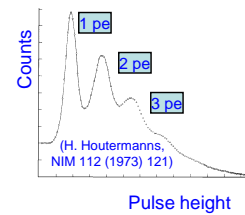
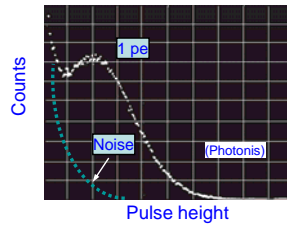
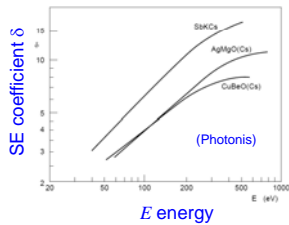
$$\frac{\sigma_m}{\delta} = \frac{\sqrt{\delta}}{\delta} = \frac{1}{\sqrt{\delta}}$$

⇒ fluctuations dominated by 1st dynode gain;



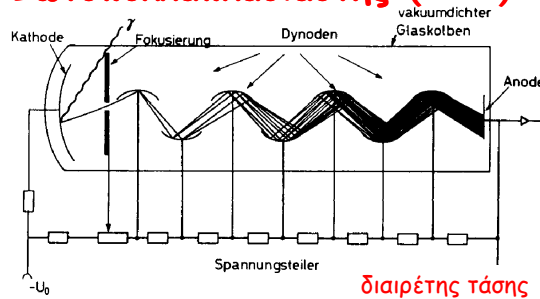
GaP(Cs) dynodes $E_A < 0$

CuBe dynodes $E_A > 0$

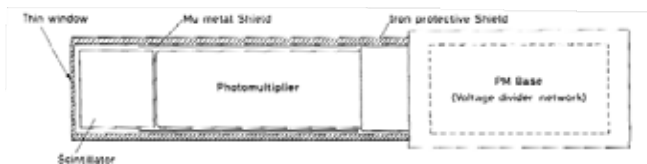


Γ. Τσιπολίτης

Φωτοπολλαπλασιαστής (PMT)



- **Απαιτήσεις:** Σταθερότητα τάσης μεταξύ δυνόδων.
Αποφυγή ή απόσβεση διακυμάνσεων τάσης.
- Ελάχιστο μαγνητικό πεδίο αποκλίνει τα ηλεκτρόνια από την τροχιά του → μηδενίζεται το ρεύμα...



Γ. Τσιπολίτης