

DETEKCIJA X IN γ ZARUKOV S POLPREVODNIŠKIM DETEKTORJEM

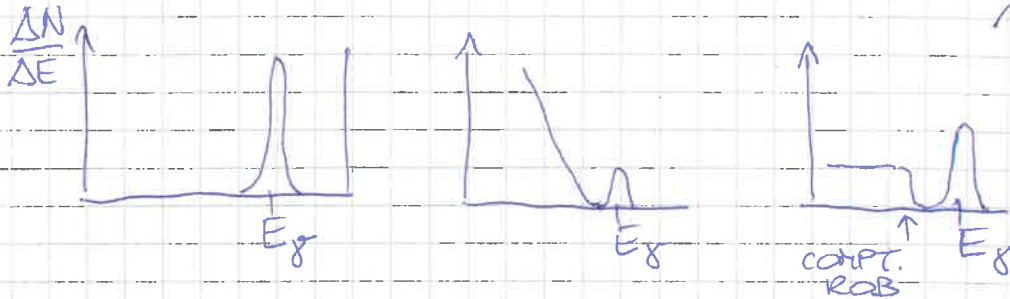
(1)

ZARADAJ MORAJ BITI VELIK

- ABSORPCIJA $e^{-\mu x}$

- FOTOLEKTREON LARICO PORBEJNE IZ DET. PRIDEV PUSTI VSO ENERGIJO

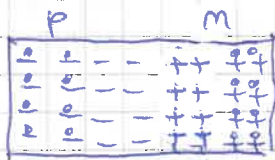
- KOMPENZIRAN γ SE NE ABSORBIRA



KAKO NARABITI VELIK DETEKTOR (\sim cm)
(= KRISTAL Z VELIKO OSIROTAŠENO PLASTJO)

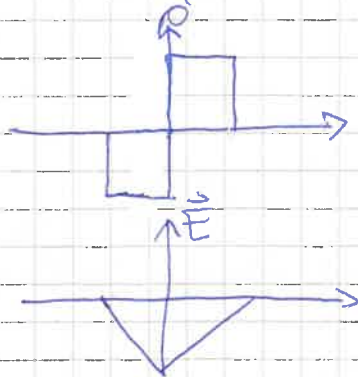
1) NOVEJŠA VERZIJA HPGe (GLEJ PREDAVANJA 1.4.)

2) Ge-Li - PRIMER KOMPENZIRANJA POLPREVODNIKA



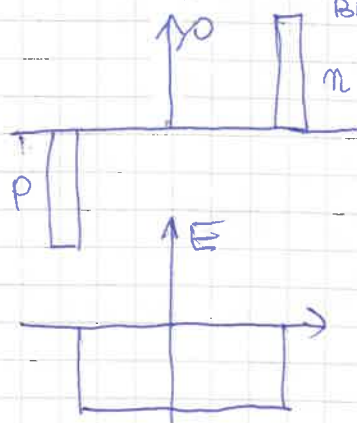
+ DON. ION
+ DON. ION
- AKC. ION
- AKC. ION

OSIROTAŠENA PLAST



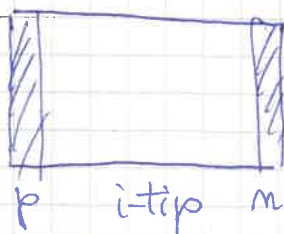
PRI POVIŠANI T
IN \vec{E} OD $m \rightarrow p$
→ DONORSKI IONI
DIFUNDIRAJO

DE ZARAJ VLOPIH
NAPETOST; SE OSIROTAŠENA STRAN
BISTRUJO POVEČA

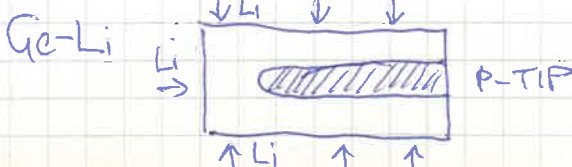


KOMPENZIRANI
POLPREVODNIK

ZARADI VELIKE OSIM. PLASTI
MORAMO DETEKTOR HLAJITI
(TEMNI TOK)



$d \sim 10-15$ mm

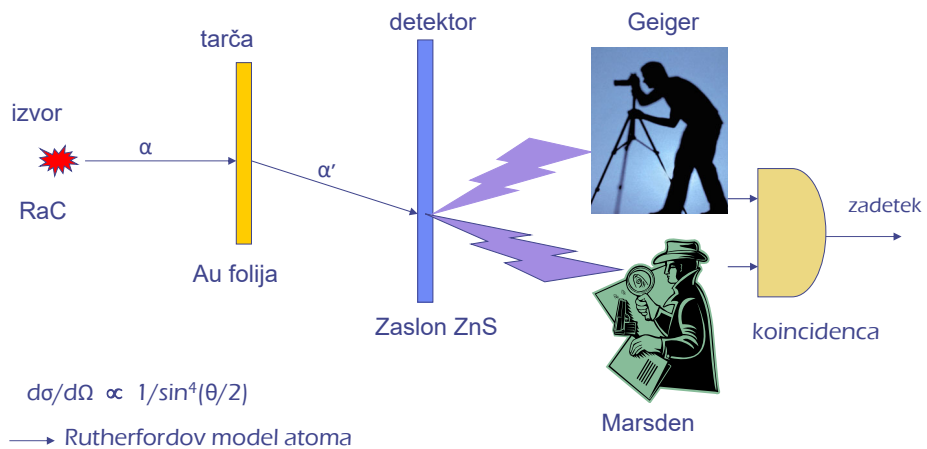


Li ATOMI: DONOR, KI SE LAHKO
PRODRE GLOBOKO PRI T↑
→ HLAJENJE!

Scintilacijski detektorji

Zgodovina I

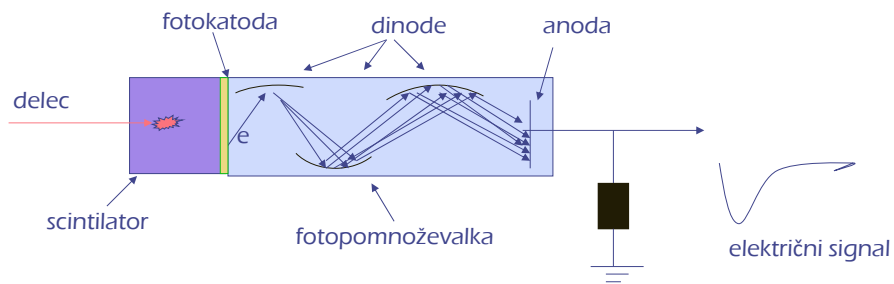
1911 Rutherfordov eksperiment – prvi scintilacijski števec



2

Zgodovina II

◆ 1944 Curran in Baker - fotopomnoževalka



Nal(Tl) - 1948, Robert Hofstadter

3

I) Scintilatorji

- 1) mehanizem produkcije svetlobe in vrste scintilatorjev
 - a) anorganski
 - b) organski
 - c) žlahtni plini
- 2) pridelek fotonov
- 3) časovni potek scintilacij
- 4) zbiranje svetlobe na fotopomnoževalki

4

I) SCINTILATORJI

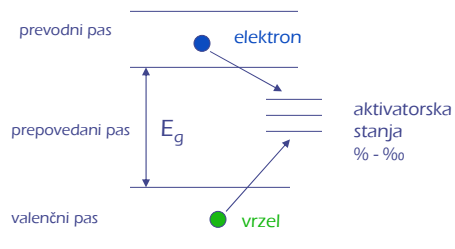
luminescenca → fluorescenca $\tau \approx 10^{-8}$ s
luminescenca → fosforescenca $\tau > 10^{-6}$ s

1. MEHANIZEM PRODUKCIJE IN VRSTE SCINTILATORJEV

A) Anorganski kristali (velik Z, $\rho \approx 4-7$ g/cm³)

- e-h se nevtralizirata preko aktivatorskih stanj in pri tem nastane foton
- $h\nu < E_g$, zato je kristal prozoren

- + velika gostota in visoko vrstno število
- $\tau_d > 200$ ns
- higroskopični (razen BGO in BaF₂)



primeri: NaI(Tl), CsI(Tl), BaF₂ in BGO (Bi₄Ge₃O₁₂)

6

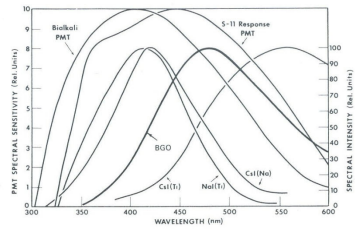


Figure 8-7 The emission spectra of several common inorganic scintillators. Also shown are the response curves for two widely used phototubes. (Primarily from *Scintillation Phosphor Catalog*, The Harshaw Chemical Company. The emission spectrum for BGO is from Ref. 55.)

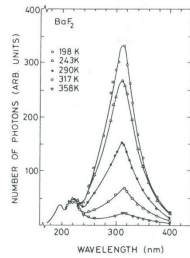


Figure 8-13 The scintillation emission spectra from BaF_2 , measured at various temperatures. The fast component (corresponding to the two small peaks at the left) does not display the strong temperature dependence of the slow component. (From Schotanus et al.^{25,76})

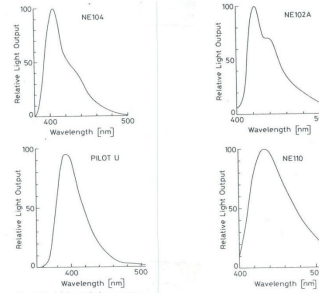


Fig. 7-5. Light emission spectra for several different plastic scintillators (from *Nuclear Enterprises catalog* [7-11])

7

Scintillator material	Density (g/cm ³)	Radiation length	Refractive index	Wavelength at peak	Decay time	Light yield (Y/MeV)
NaI (Tl)	3.67	2.59 cm	1.78	410 nm	230 ns	4.1 x 10 ⁴
CsI (Tl)	4.51	1.86 cm	1.85	550 nm	800–6000 ns	6.6 x 10 ⁴
CsI (Na)	4.51	1.86 cm	1.80	420 nm	630 ns	4.0 x 10 ⁴
LaBr ₃ (Ce)	5.3	1.88 cm	1.9	358 nm	35 ns	6.1 x 10 ⁴
Bi ₄ Si ₃ O ₁₂	BSO 6.8	1.15 cm	2.06	480 nm	100 ns	0.2 x 10 ⁴
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂	BGO 7.1	1.12 cm	2.15	480 nm	300 ns	0.9 x 10 ⁴
CdWO ₄	7.9	1.1 cm	2.25	495 nm	5000 ns	2.0 x 10 ⁴
YAlO ₃ (Ce)	YAP 5.5	2.9 cm	1.94	350 nm	30 ns	2.1 x 10 ⁴
Lu ₃ Al ₅ O ₇ (Ce)	LuAG 7.4	1.4 cm	1.84	420 nm	40 ns	2.6 x 10 ⁴
Gd ₂ SiO ₅ (Ce)	GSO 6.7	1.4 cm	1.87	440 nm	60 ns	0.8 x 10 ⁴
PbWO ₄	8.3	0.89 cm	1.82	425 nm	25 ns	0.05 x 10 ⁴

8

3

B) Organski scintilatorji (nizek Z, $\rho \approx 1 \text{ g/cm}^3$)

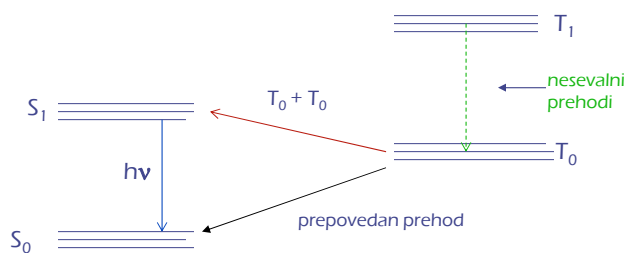
Gre za prehode v t.im. π orbitalah organske molekule

Singletna stanja (hitra komponenta)



$h\nu < S_{10} - S_{00} \Rightarrow$
kristal je prozoren

Tripletna stanja (počasna komponenta)



Prehod se lahko izvrši z
interakcijo dveh molekul v
stanju T_0 .

$T_0 + T_0 = S_1 + S_0 + \text{fononi}$
 \searrow
 $S_0 + h\nu$

9

ORGANSKI KRISTALI

Antracen ($C_{14}H_{10}$), $\tau \approx 30 \text{ ns}$, velik pridelek, za normalizacijo

Transtilben ($C_{14}H_{12}$), $\tau \approx 1 \text{ ns}$

Naftalen ($C_{10}H_8$), $\tau \approx 1 \text{ ns}$

-So manj v uporabi zaradi težavne obdelave (krhkost, termični šok)
ter anizotropije glede na os kristala in smer vpadnega delca.

ORGANSKE TEKOČINE

- $\approx 3 \text{ g/l}$ scintilatorja v topilu (ksilen, toluen, benzen, dekalin ...)
- lahko dodajo tudi ^6Li ali ^{10}B za termične nevtrone ali Pb za fotone (t.im. loaded liquids)
- izvor (^{14}C ali ^3H) zamešajo v tekočino za meritev nizkih aktivnosti β

10

PLASTIČNI SCINTILATORJI =

plastični polimer = (PVT-poliviniltoluen, PST-polistiren, polifenilbenzen)

+

≈10 g/l organskega scintilatorja = PBD ($C_{20}H_{14}N_2O$), p-terfenil ($C_{18}H_{14}$) ali PBO ($C_{15}H_{11}NO$)

+

fluorescenčni pretvornik (WLS) = POPOP ($C_{24}H_{16}N_2O_2$) (po potrebi)

- absorbirana energija se učinkovito in hitro prenese na molekule scintilatorja, $\tau \approx 2-3$ ns
- WLS za kompatibilnost s fotopomnoževalko
- odporni so na vodo, metilal, silikonsko olje in nižje alkohole
- telesne kisline lahko škodijo
- poceni in preprosta obdelava \Rightarrow široka uporaba
- proizvajalca Nuclear Enterprises (UK) in Bicron (USA)

11

Scintillator material	Density (g/cm ³)	Refractive index	Wavelength at peak	Decay time	Light yield (Y/MeV)
Naphtalene	1.15	1.58	348 nm	11 ns	0.4 x10 ⁴
Antracene	1.25	1.59	448 nm	30 ns	4 x10 ⁴
p-Therphenyl	1.23	1.65	391 nm	6 – 12 ns	1.2 x10 ⁴
NE102™	1.03	1.58	425 nm	2.5 ns	2.5 x10 ⁴
NE104™	1.03	1.58	405 nm	1.8 ns	2.4 x10 ⁴
NE110™	1.03	1.58	437 nm	3.3 ns	2.4 x10 ⁴
NE111™	1.03	1.58	370 nm	1.7 ns	2.3 x10 ⁴
BC400™	1.03	1.58	423 nm	2.4 ns	2.5 x10 ⁴
BC428™	1.03	1.58	480 nm	12.5 ns	2.2 x10 ⁴
BC443™	1.05	1.58	425 nm	2.2 ns	2.4 x10 ⁴

12