

# Detektorji fotonov

(a)

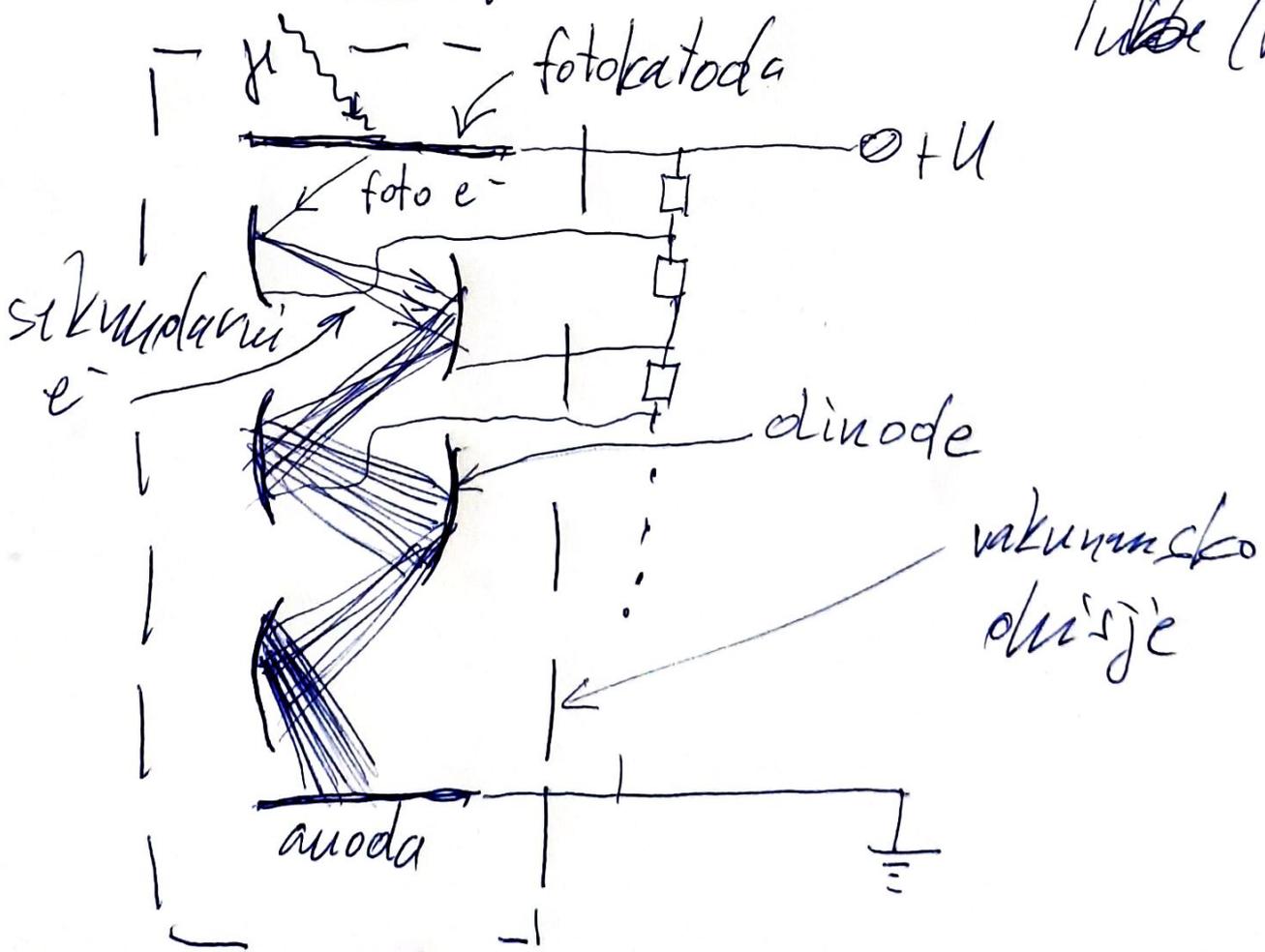
scintilatorji, detektorji Čerenkove svetlobe, detektorji prehodnega sevanja  $\rightarrow$  fotoni

$\rightarrow$  detekcija le-teh

Ne detekcija svetlobe nizke intenzitete, pač pa detekcija posameznih fotonov

## Fotopomnoževalke

Photo  
Multiplier  
Tube (PMT)



(b)

- fotoefekt na fotokatodi:

$$T_e = h\nu - A_i$$

↳ iztopno delo

$A_i \sim \sigma$  (eV):

Hg: 4,5 eV    Li: 2,9 eV

Pt: 5,2 eV

- fotokatoda

kravta izkoristek

$$\eta(\lambda) = \frac{\text{št. fotoelektronov}}{\text{št. vpadnih } \gamma (\lambda)}$$

tipično polprevodnik (Sb-antimon)

+ alkaljske kovine ( $\eta \sim 10\% - 30\%$ ,

navadne kovine  $\eta \sim 0,1\%$ )

$\eta$  znaten v določenem

intervalu  $\lambda$ !

- diode

različne konfiguracije:

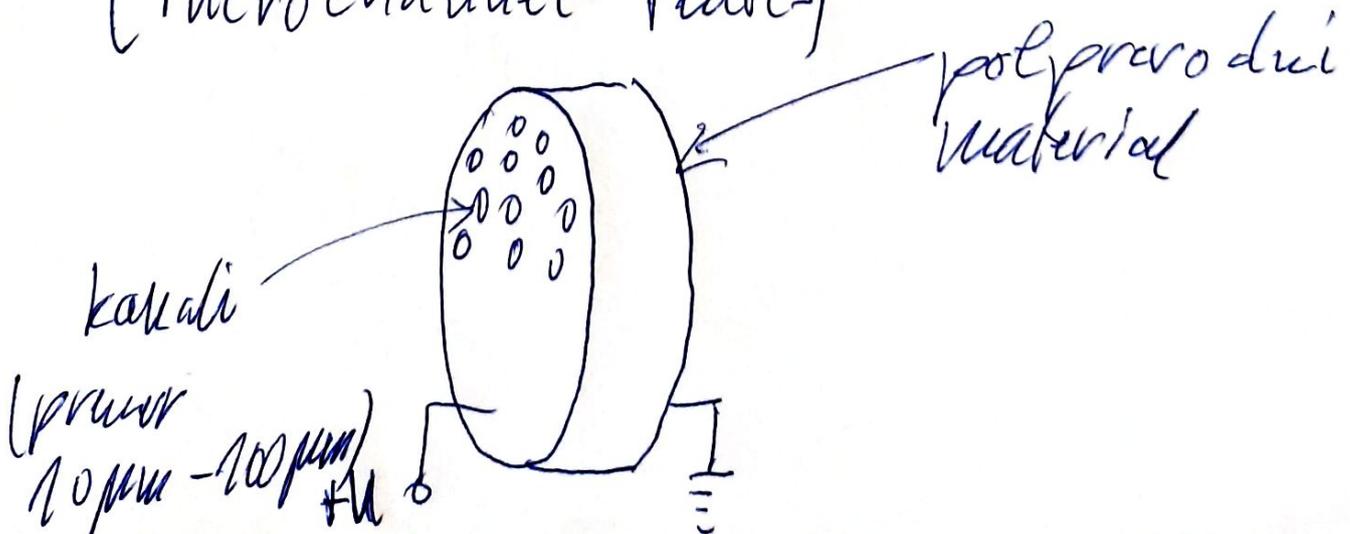
vrstična (zgorajja stica),  
ciklična

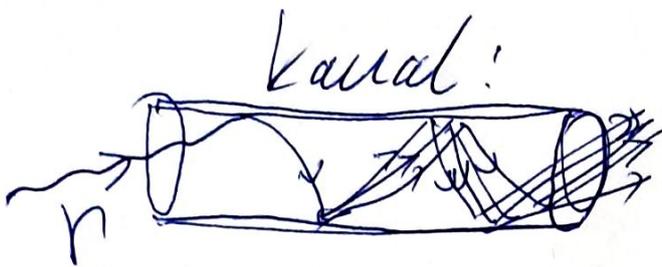
tipično 10-14 pomnoževalnih  
stopenj

skupni pomnoževalni faktor  $\sim 10^7$

Mikrokanalne plošče

(Microchannel Plates)





(d)

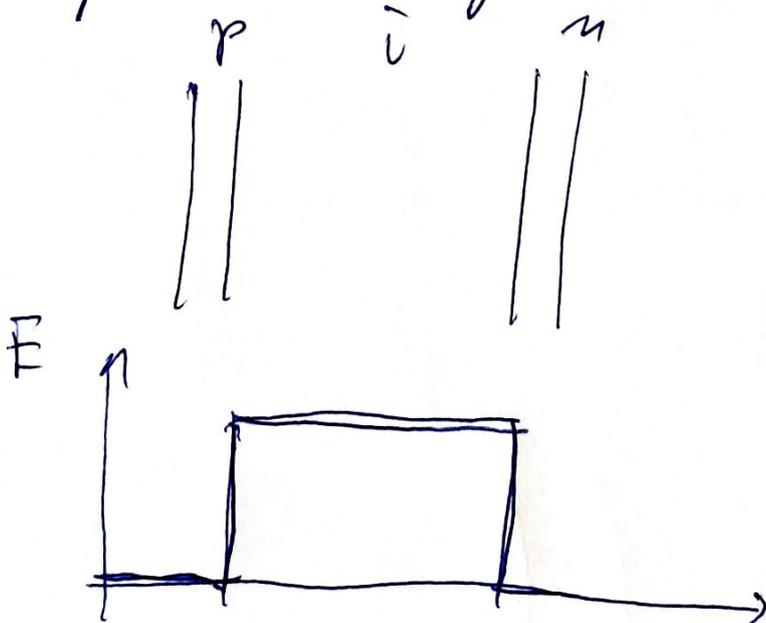
debelje kot kontinuirana dioda; pomnož. faktor  $\leq 10^5$

Prostorska občutljivost!

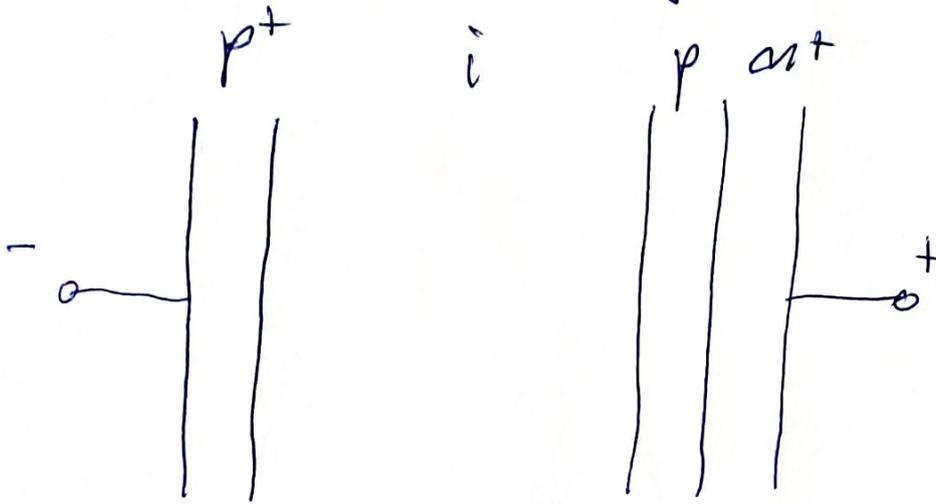
## Avalanche Photo Diode (APD)

---

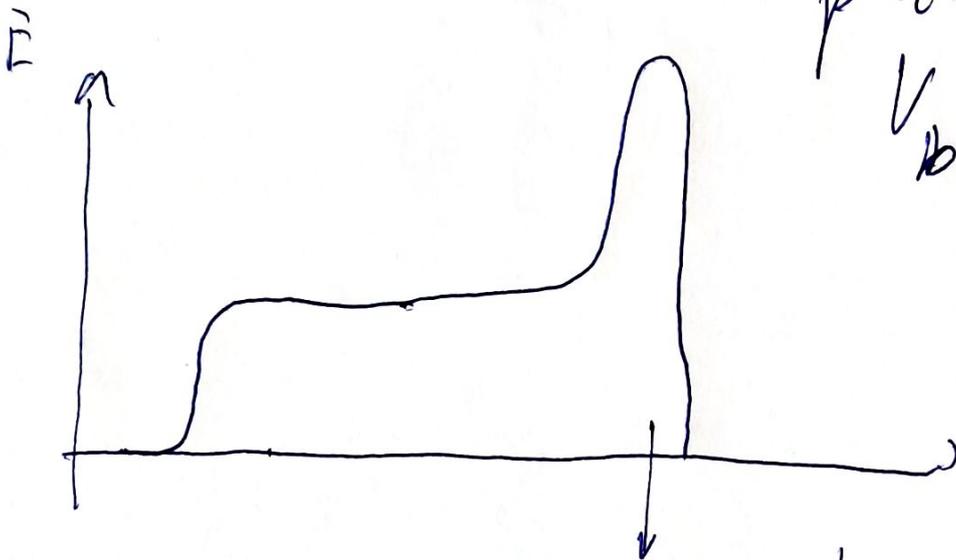
Polprevodniška struktura, podobna p-i-n detektorju:



# rekombinacijska struktura: (e)



$V_b$  rekombinacijska  
 visja kot pri  
 p-i-n detektorjih,  
 $V_b \sim 100-200V$

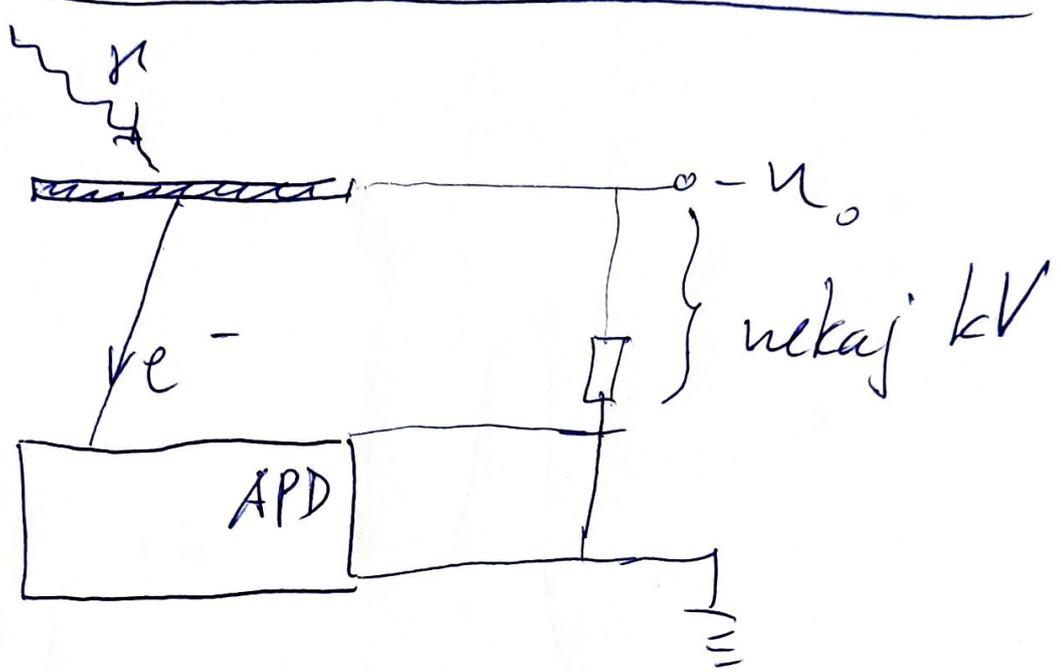


v tem območju je

$E$  dovolj visoka ( $E \sim 10^5 V/cm$ ;  
 prebojna jakost  $n$  Si  $3 \cdot 10^5 V/cm$ ) za  
 pomnoževanje - tvorbo novih parov  
 $e^-$  - vrtil.

Pomnož. faktor 10-100.

# Hybrid Avalanche Photo-Diode (HAPD)



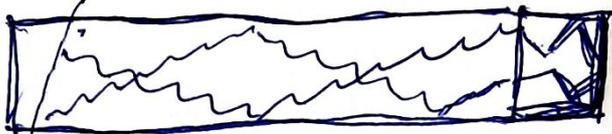
Fotoelektr. pridobi visoko energ.;  
 ob vstopu v APD se povečajo  
 energ. pač pa veliko št.  
 parov e<sup>-</sup> - vrzel (~10<sup>3</sup>);  
 dodatno pomnoževanje v APD  
 → celoten pomnož. faktor  
 ≈ 10<sup>5</sup>

HAPO: - možna uporaba v  
visokih B

(9)

- dobra časovna resoluc.  
↓ kaj? to?

scintilator → fotonski detekt.



vs. fotoni ne proizvedejo  
končne signala ~~čep~~ ob  
istem trenutku, čeprav so  
izsevani istočasno → časovna  
resoluc.

Ta časovna razlika  $\alpha$ . redukcija  
je posledica dveh efektov:

- različna pot ~~pot~~ elektr.  
v PMT

(4)

↓  
varianca  
 $T_e$

↓  
varianca  
pot foto e<sup>-</sup> od  
fotokatode do 1. dinoda

"jitter"

dorečeno

$$\sigma_t^2 \sim 0,1 \text{ ns}$$

→ varianca pot fotonov v  
scintilatorju (in opt. vodnikih)

$$\sigma_t^2 \sim 0,3 \text{ ns}$$

$$\sigma_t^2 = (\sigma_t^1)^2 + (\sigma_t^2)^2$$

ta  $\sigma_t$  prispeva k  $\sigma$ , ki smo jo omenjali ob konvoluciji ekspon. in Gaussove porazdelitve pri časovnem poteku izsevane svetlobe v scintilatorjih

Ionizirajuće zračenje ✓

naravnim okolišu

razpadi  $\alpha$

- "  $\beta$

- "  $\gamma$

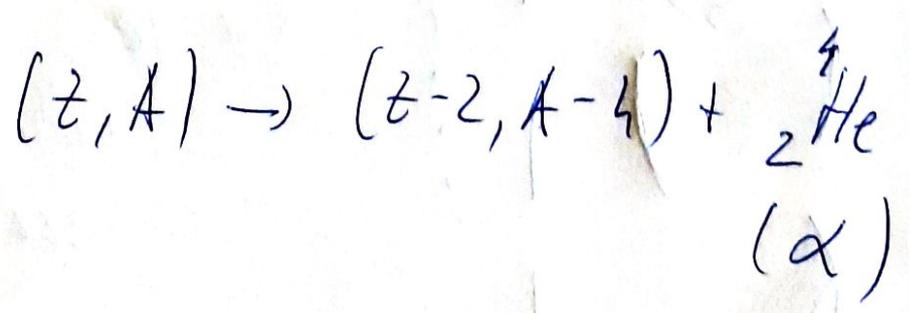
rentgensko zračenje

Kozmički zraci

cepivenje jezder (fisija)

⋮

Razpadi  $\alpha$



vazfadi mozi od  $A \geq 150$ ,  
vendar (tunelirane) opatljivi  
od  $A \geq 200$  ( $^{207}\text{Pb}$   
 $^{82}$ )

Znani sevalci  $\alpha$ :

$^{241}\text{Am}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{235}\text{Pu}$

$T_\alpha \sim$  nekaj MeV

doseg delcev  $\alpha$  pri  $T_\alpha = 5 \text{ MeV}$

zrak 4 cm

voda 40  $\mu\text{m}$

# Putpad $\beta$

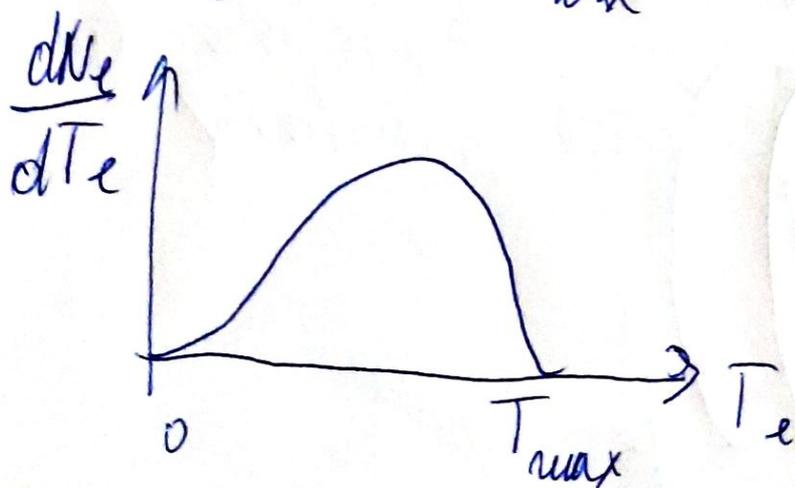
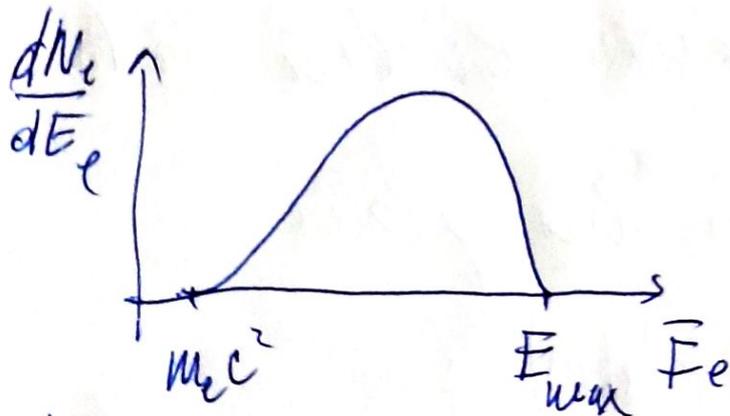
(3)

$$\beta^-: (Z, A) \rightarrow (Z+1, A) + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$\beta^+: (Z, A) \rightarrow (Z-1, A) + e^+ + \nu_e$$

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \quad (Z_m = \dots)$$

Tro-deltini putpad  $\rightarrow$  ~~zvezna~~ zvezna  
porazdelitev  $T_e$



zvani suvalci  $\beta$ :  
 $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$

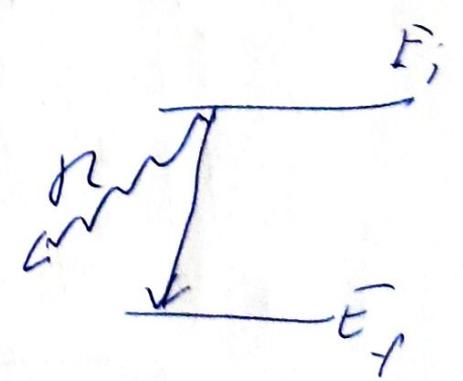
$T_{\text{max}}$ : nekaj keV -  
- - - - - MeV

Doseg  $\beta$  pri  $T_e = 500 \text{ keV}$

zrak 150 cm  
voda 2 mm

Razpadi  $\gamma$

De-ekscitacija  
vzbujenih jeder; tipično  
sledijo za razpadi  $\alpha/\beta$



5

izumi suvalci jr

$^{201}\text{Pb}$ ,  $^{123}\text{Cs}$ ,  $^{123}\text{I}$

Atenuacijska dolžina jr

$E_{\gamma} = 200 \text{ keV}$

zrak 60 cm

Voda 7 cm

Pb 1 mm