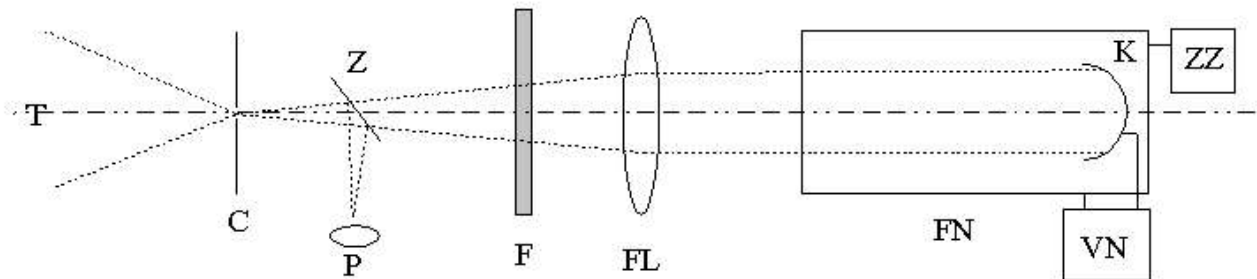


## Fotonásobič a fotometer

- *fotometer* – zariadenie na meranie intenzity dopadajúceho žiarenia



T – ďalekohľad, z ktorého dopadá žiarenie do ohniskovej roviny, v ktorej je umiestnená clonka C

FL – Fábryho šošovka, ktorá zobrazuje clonku na fotonásobič FN

Z – pomocné sklopné zrkadlo, ktoré umožňuje pozorovateľovi P nastaviť skúmaný objekt presne do clonky

F – kotúč s filtrami

FN – fotonásobič s fotokatódou K, ktorý je pripojený na zdroj stabilizovaného vysokého napätia VN

ZZ – záznamové zariadenie

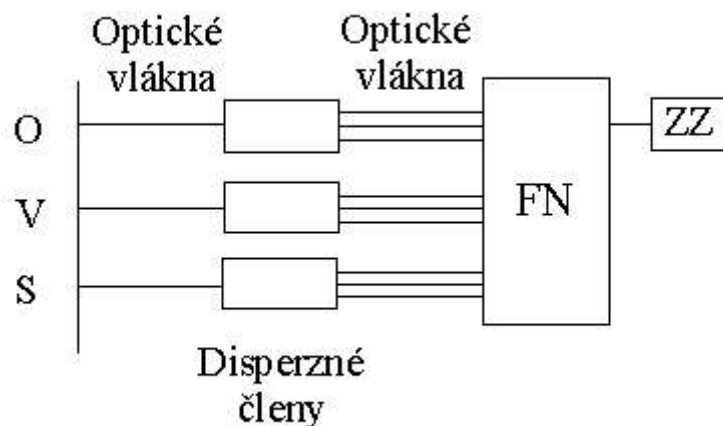
- clonka vymedzuje úsek dopadajúceho žiarenia, jej priemer je možné obvykle meniť a je závislý od napr. pozorovacích podmienok (seeing), jasnosti objektu, konfigurácie ďalekohľadu ...
- FL slúži na to, aby sme na FN dostali rovnomerne osvetlený obraz clonky. Jej ohniskovú vzdialenosť  $F_{FL}$  určíme zo vzťahu

$$F_{FL} = \frac{bf}{D}$$

kde  $D$  je priemer objektívu ďalekohľadu,  $f$  je jeho ohnisková vzdialenosť a  $b$  je priemer katódy

## • Typy fotometrov

- *jednokanálový* – máme len jeden fotonásobič, teda v jednom okamihu je možné pozorovať iba jeden objekt. Pozorovanie je značne citlivé na zmenu pozorovacích podmienok, ale má pomerne jednoduchú konštrukciu (pozri obr.)
- *viackanálový* – je zložený z 2, 3 prípadne z viacerých fotonásobičov. Umožňuje súčasne pozorovať viac objektov (napr. v jednom okamihu 2 hviezdy a oblohu), teda pozorovanie nie je veľmi závislé na pozorovacích podmienkach. Má ale pomerne zložitú konštrukciu a aj spracovanie získaných dát je zložité (je napr. nutné robiť korekciu na rôznu citlivosť fotonásobičov).
- *multifarebný* – jeden objekt sa súčasne merá vo viacerých filtroch. Používa sa hlavne pri úzkopásmovej fotometrii, napr. vo filtroch  $u, b, v, y, H\beta$ . Svetlo prechádza cez disperzný člen (hranol, mriežka), kde sa rozloží na spektrum a sadou filtrov v presne definovaných polohách sa vymedzí úsek spektra, ktorý meriame. Môže sa používať len jeden posuvný FN, alebo viacej FN v daných polohách. V druhom prípade môžeme voliť citlivosť FN tak, aby bol naúčinnnejší v danej oblasti.
- *kombinované* – viackanálové + multifarebné – využívajú sa v nich optické vlákna, ktorými sa vedie svetlo z objektov na disperzné členy a odtiaľ do fotonásobičov



- *rýchle fotometre* – merajú jasnosť s časovým rozlíšením 0.1 – 0.001s. Pozorovanie rýchlym fotometrom si vyžaduje veľmi presný časový normál, prenú heliocentickú korekciu. Je vhodná pre väčšie prístroje (s priemerom min. 1m) a jasnejšie objekty.

- **Fotonásobič** – premieňa dopadajúce svetlo na elektrický prúd. Jeho činnosť je založená na *fotoelektrickom jave* (objav v roku 1839 Hertz, ysvetlil ho Einstein)

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - \phi$$

$$h\nu_0 = \phi$$

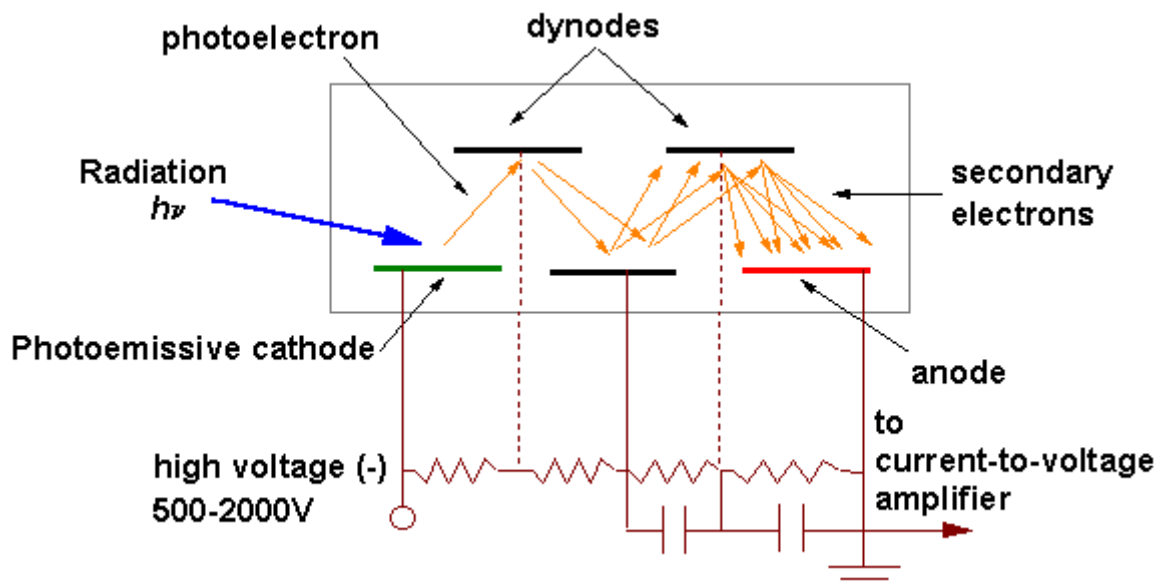
$E$  – energia uvoľneného elektrónu

$\nu$  – frekvencia dopadajúceho svetla

$\Phi$  – väzbová energia elektrónu v atóme (je závislá na zložení)

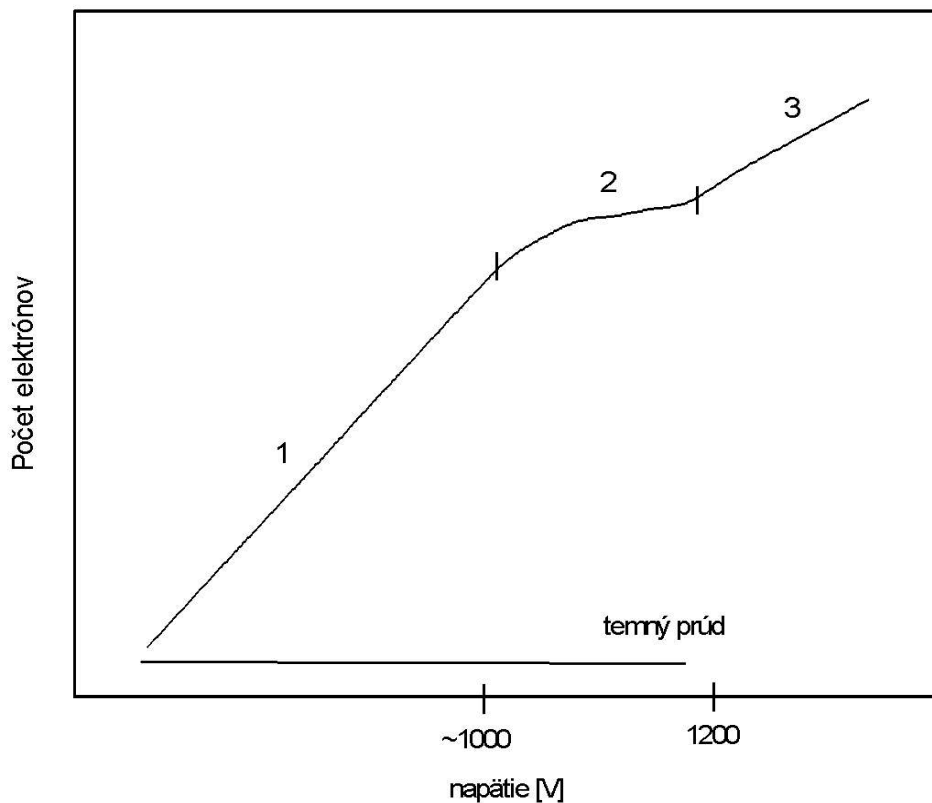
- má 3 základné časti

1. *fotokatóda* – dochádza na nej k fotoelektrickému javu
2. *dynódy* – znásobujú dopadajúce elektróny
3. *anóda* – zbiera všetky elektróny



na 1.) je záporný náboj, na 3.) je kladný, na 2.) vznikajú tzv. sekundárne elektróny. Aby sme dosiahli dostatočné zosilnenie je nutné, aby medzi 1.) a 3.) bolo dostatočné vysoké napätie medzi 600 – 1200V

- *charakteristická krivka fotonásobiča* – závislosť počtu uvoľnených elektrónov na veľkosti napätia



1 – lineárna oblasť – (pri väčšine FN zhruba do 1000V) v tejto oblasti sa snažíme voliť napätie na FN

2,3 – nelineárna oblasť – nie je lineárna závislosť počtu elektrónov na napätí

- na anóde môžeme merať priamo prúd (v mA), alebo môžeme previesť pomocou elektroniky fotonásobiča (pozri napr. Henden & Kaitchuck, 1982) prúd na pulzy.
- pri veľmi nízkom výstupnom napätí (keď meráme slabé hviezdy) je možné merať priamo počet elektrónov resp. fotónov

● **charakteristiky fotonásobičov**

- *citlivosť* – daná pomerom  $U_o/F_i$ , kde  $U_o$  je výstupné napätie na anóde a  $F_i$  je tok dopadajúceho svetla
- *spektrálna citlivosť* – závislosť citlivosti na vlnovej dĺžke dopadajúceho svetla
- *zvýšenie (amplifikácia)* –  $U_o/U_K$ , kde  $U_K$  je napätie na katóde
- *drift* – zmena citlivosti s časom
- *kvantová účinnosť QE* -

$$QE = \frac{N_i}{N_p}$$

kde  $N_i$  je počet dopadajúcich fotónov a  $N_p$  je počet fotónov, ktoré spôsobia fotoelektrický jav

- *temný tok* – prúd na anóde, ktorý zmeráme v úplnej tme. Je závislý na teplote (tzv. termická emisia). Je ho možné znížiť chladením, ale potom klesá  $QE$  a spektrálna citlivosť
- *dead time  $\tau$*  – doba, počas ktorej nie je FN schopný rozlíšiť ďalšie pulzy. Je dôležitý pri meraní jasných hviezd. Typicky je  $\tau \sim 30$  ns. Určíme ho zo vzťahu

$$N = \frac{n}{(1 - n\tau)}$$

$N$  – skutočný počet pulzov  
 $n$  – počet zmeraných pulzov na výstupe

● najdôležitejšia časť fotonásobiča je **fotokatóda**. Najčastejšie sa používajú fotokatódy vyrobené z:

- *Ag–O–Cs* – citlivé vo viditeľnej a infračervenej oblasti nad 1  $\mu$ m. Majú ale veľkú temnú emisiu, takže ich treba chladiť až na  $-180^\circ\text{C}$ . Používajú sa hlavne na fotometriu v oblasti nad 850 nm.
- *Sb–Rb–Cs* alebo *Sb–K–Cs* – majú vysokú citlivosť a nízky šum. Používajú sa hlavne v modrej oblasti. Citlivosť je možné zvýšiť chladením, ale pritom výrazne strácajú citlivosť na dlhšie vlnové dĺžky
- *Na–K–Sb–Cs* – sú najpoužívanejšie kvôli širokej spektrálnej citlivosti.

Niektoré charakteristiky fotokatód  
(podľa Sterken a Manfroid, 1992)

Ozn.	Materiál	Typ	$\lambda_{\max}$ [nm]	$QE$ pre $\lambda_{\max}$	Temná emisía fA.cm <sup>-2</sup>
S-1	Ag-O-Cs	O	800	0.4	900
S-3	Ag-O-Rb	O	420	0.55	
S-4	Cs-Sb	O	400	13	0.2
S-5	Cs-Sb	O	340	18	0.3
S-8	Cs-Bi	O	365	0.77	0.1
S-9	Cs-Sb	S	480	5.3	0.3
S-10	Ag-Bi-O-Cs	S	450	5.6	70
S-11	Cs-Sb	S	440	15.7	3
S-13	Cs-Sb	S	440	14	4
S-17	Cs-Sb	O	490	21	1.2
S-19	Cs-Sb	O	330	24.4	0.3
S-20	Cs-Na-K-Sb	S	420	19	0.3
S-21	Cs-Sb	S	440	6.7	4
S-23	Rb-Te	S	240	2	0.001
S-24	Na-K-Sb	S	380	23	0.0003
S-25	Cs-Na-K-Sb	S	420	13	1
ERMA	Na-K-Sb-Cs	S	530	10.3	1.4

Pozn: Typ O – nepriehľadná, S - polopriepustná