

Datum: 5.5.2005

Vypracoval: Tomáš Henych

Název: Studium činnosti fotonásobiče

Úkol:

1. Stanovte závislost koeficientu sekundární emise na napětí mezi dynodami. Vyneste do grafu závislost  $\ln\left(\frac{\sigma}{V}\right) = f(U_a)$ . Ověřte, že koeficient sekundární emise  $\sigma$  nezávisí na intenzitě osvětlení fotokatody.

2. Stanovte a vyneste do grafu závislost integrální citlivosti fotonásobiče a zesílení fotonásobiče na anodovém napětí  $S = f(U_a)$  a  $M = f(U_a)$ .

3. Stanovte integrální citlivost fotokatody  $k = \frac{I_f}{\Phi}$ .

4. Provéřte vliv temného proudu na přesnost měření.

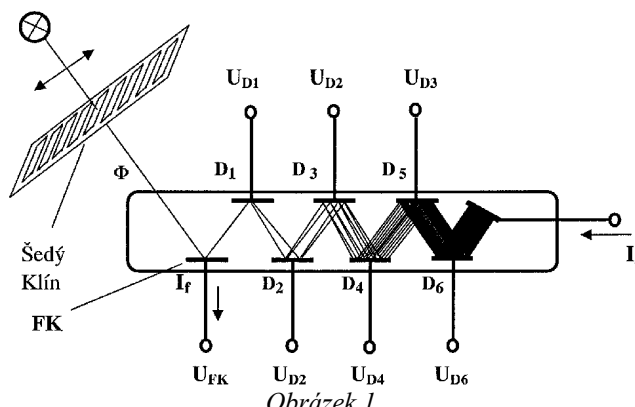
Teorie úlohy:

Fotonásobič je elektro-optický přístroj používaný pro proměřování velmi nízkých světelných intenzit. Jeho činnost je založena na využití dvou druhů elektronové emise: fotoemise a sekundární emise.

*Princip činnosti fotonásobiče*

Zjednodušené, základní schéma fotonásobiče je na *obrázku 1*, jeho hlavní součásti jsou fotokatoda

FK, řada dynod  $D_i$  a anoda A. Napětí přivedené na jednotlivé elektrody je voleno tak, že postupně roste od katody přes jednotlivé dynody až k anodě. Fotoelektrony emitované z fotokatody, například bílým světlem, dopadají na první dynodu, když jsou urychleny jejím potenciálem na dostatečnou rychlost. Na první dynodě dojde k sekundární emisi, takže jí opustí celkem  $I_1 = \sigma I_f$  elektronů. Tyto sekundární elektrony první dynody se stávají primárními elektrony druhé dynody, kde se děj opakuje. Tvar dynod a rozložení potenciálu kolem nich je takové, že téměř všechny elektrony, které opustí  $n$ -tou dynodu jsou urychleny polem  $(n + 1)$ . dynody a na tuto dynodu dopadají. Elektrony z poslední dynody pak dopadají na anodu.



Proud elektronů z fotokatody  $I_f$  závisí na světelném toku dopadajícím na fotokatodu podle Stoletovova zákona pro bílé světlo:

$$I_f = k \Phi$$

kde konstanta úměrnosti  $k$  odpovídá citlivosti fotokatody na bílé světlo obsahující fotony všech vlnových délek, a proto se nazývá integrální citlivost fotokatody. Nedochází-li v násobiči k žádným ztrátám elektronů, pak výsledný proud anody je dán vztahem:  $I_a = \sigma^n I_f$ , kde  $n$  je počet dynod. Zesílení  $M$  fotonásobiče je pak dáno poměrem anodového proudu a fotoproudu podle vztahu:

$M = \sigma^n = \frac{I_a}{I_f}$ . Vzájemným dosazením uvedených výrazů dostaneme vztahy mezi zesílením,

světelným tokem a výsledným anodovým proudem:  $I_a = Mk \Phi = S \Phi$ ,  $S = Mk$ , kde  $S$  je integrální citlivost fotonásobiče (citlivost na bílé světlo obsahující fotony všech vlnových délek),  $k$  je zmíněná integrální citlivost fotokatody. Závislost zesílení na anodovém napětí ( $U_a$ )  $M = f_1(U_a)$  a závislost integrální citlivosti na anodovém napětí  $S = f_2(U_a)$  charakterizují vlastnosti fotonásobiče. Pro výpočet koeficientu sekundární emise použijeme vztah:

$$\sigma = \sqrt{\frac{I_{12}}{I_{10}}}$$

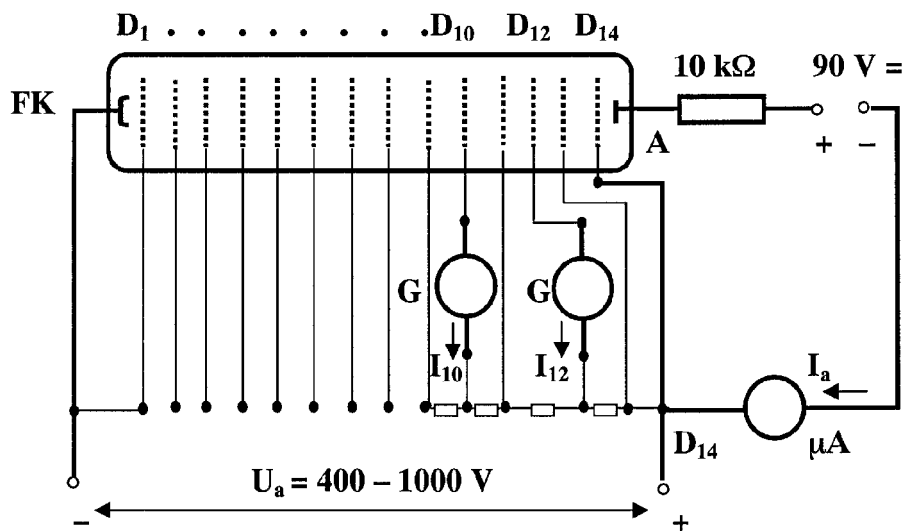
Velikost koeficientu sekundární emise závisí na materiálu elektrod a na urychlujícím napětí takto:

$\sigma = A V e^{-\mu V}$ , kde  $A$  a  $\mu$  jsou konstanty charakterizující materiál elektrod a  $V$  je napětí mezi jednotlivými elektrodami. Když rovnici upravíme a zlogaritmujeme, dostaneme závislost

$\ln\left(\frac{\sigma}{V}\right) = f(U_a)$ , jejímž grafem by měla být přímka.

### Temný proud

Fotonásobič dává určitý nežádoucí proud i bez osvětlení - tzv. temný proud. Vzniká hlavně termoemisí z fotokatody a lze jej ochlazením fotokatody potlačit. Zpravidla je nutno tento temný proud při použití fotonásobiče respektovat a příslušné veličiny (proudy fotokatodou, dynodami a anodou) o tento temný proud opravit.



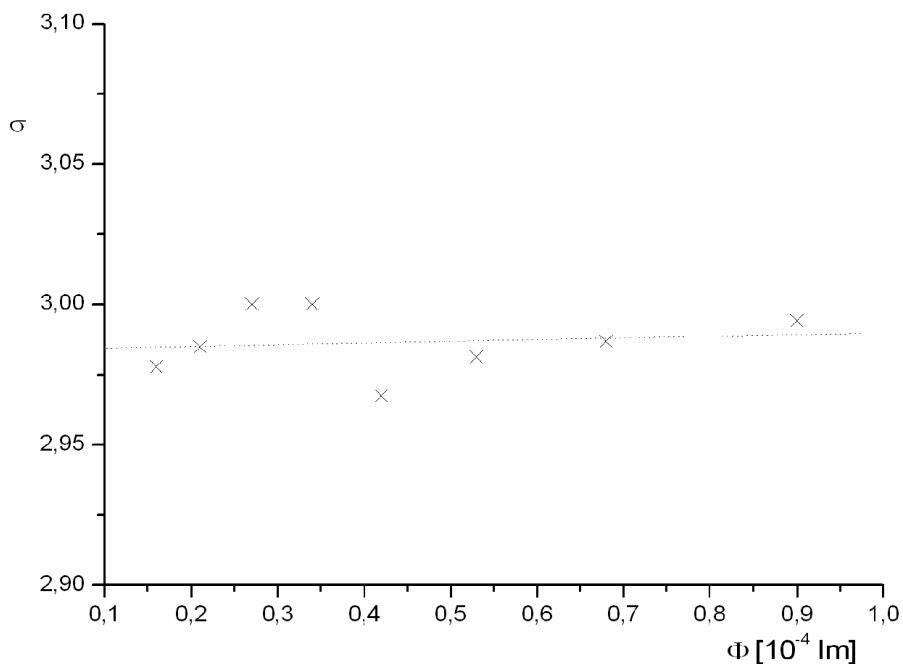
Obrázek 2: Schéma zapojení fotonásobiče

### Výsledky:

ad 1) koeficient sekundární emise  $\sigma$

$\frac{\Phi}{10^{-4} \text{ lm}}$	0,90	0,68	0,53	0,42	0,34	0,27	0,21	0,16
$\frac{I_a}{\mu A}$	65	57	53	50	46	44	42	40
$\frac{I_{12}}{\mu A}$	7,80	6,87	6,40	5,90	5,40	5,22	4,99	4,70
$\frac{I_{10}}{\mu A}$	0,87	0,77	0,72	0,67	0,60	0,58	0,56	0,53
$\sigma$	2,99	2,99	2,98	2,97	3,00	3,00	2,99	2,98

Tabulka 1: Koeficient sekundární emise



Graf 1

$$\sigma = 2,984 \pm 0,009$$

$$\tilde{k} = (0,01 \pm 0,02) \text{ lm}^{-1}$$

závislost koeficientu sekundární emise na napětí mezi dynodami

temný proud $\Phi = 0 \text{ lm}$										
$\frac{U_a}{V}$	765	750	735	720	705	690	675	660	630	615
$\frac{I_a}{\mu A}$	7,0	5,9	4,1	3,4	2,5	1,8	1,2	0,8	0,5	0,3
$\frac{I_{12}}{\mu A}$	0,74	0,62	0,48	0,39	0,32	0,26	0,22	0,14	0,11	0,10
$\frac{I_{10}}{\mu A}$	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
$\frac{M}{10^6}$	5,79	4,28	7,51	8,38	15,71	3,67	19,49	105,41	19,49	10,00

Tabulka 2

1.klín $\Phi = 0,90 \cdot 10^{-4} \text{ lm}$											
$\frac{U_a}{V}$	750	735	720	705	690	675	660	645	630	615	600
$\frac{I_a}{\mu A}$	80	64	52	42	31	25	20	16	13	10	8
$\frac{I_{12}}{\mu A}$	9,33	7,56	6,33	5,17	4,01	3,28	2,71	2,22	1,86	1,53	1,22
$\frac{I_{10}}{\mu A}$	1,01	0,83	0,73	0,63	0,50	0,43	0,37	0,31	0,28	0,24	0,20
$\frac{k}{10^{-7} \text{ A lm}^{-1}}$	1,55	1,37	1,57	1,86	1,61	1,85	1,97	1,84	2,53	2,60	2,83
$\frac{M}{10^6}$	5,74	5,29	3,49	2,29	1,84	1,40	0,92	0,77	0,48	0,36	0,20
$\frac{S}{\text{A lm}^{-1}}$	0,81	0,65	0,53	0,43	0,32	0,26	0,21	0,17	0,14	0,11	0,09

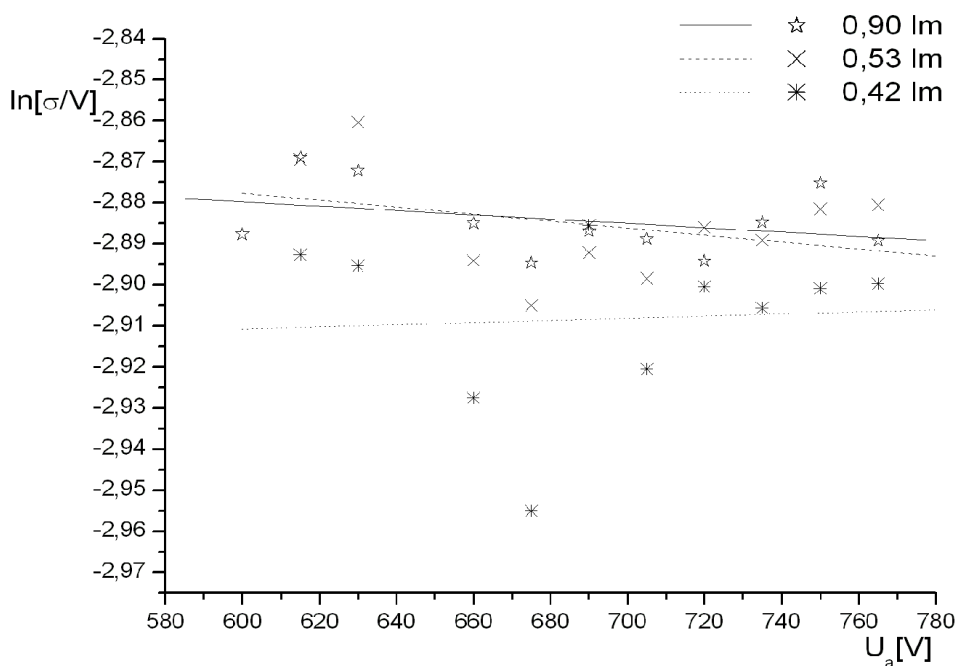
Tabulka 3

$\frac{U_a}{V}$	750	735	720	705	690	675	660	645	630	615
$\frac{I_a}{\mu A}$	66,0	54,0	42,5	35,0	27,0	22,0	17,0	14,0	11,0	8,5
$\frac{I_{12}}{\mu A}$	7,60	6,30	5,00	4,26	3,40	2,80	2,31	1,91	1,57	1,28
$\frac{I_{10}}{\mu A}$	0,81	0,70	0,58	0,51	0,43	0,37	0,32	0,27	0,23	0,20
$\frac{k}{10^{-7} A l m^{-1}}$	1,95	2,13	2,27	2,33	2,64	2,92	3,14	2,98	3,01	3,65
$\frac{M}{10^6}$	6,47	4,84	3,28	2,57	1,60	1,30	0,80	0,68	0,57	0,36
$\frac{S}{A l m^{-1}}$	1,11	0,91	0,72	0,60	0,46	0,38	0,30	0,25	0,20	0,15

Tabulka 4

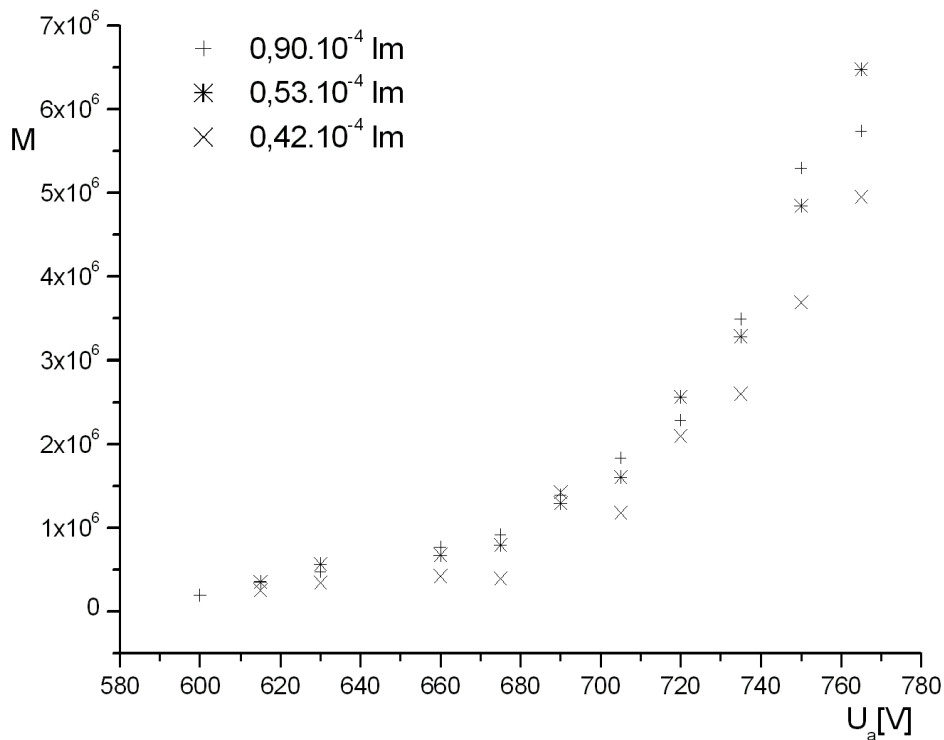
4.klín $\Phi=0,42 \cdot 10^{-4} \text{ lm}$										
$\frac{U_a}{V}$	750	735	720	705	690	675	660	645	630	615
$\frac{I_a}{\mu A}$	59,0	48,0	36,0	29,5	22,5	18,0	12,0	9,0	7,0	6,0
$\frac{I_{12}}{\mu A}$	6,80	5,65	4,44	3,67	2,90	2,38	1,67	1,35	1,10	0,93
$\frac{I_{10}}{\mu A}$	0,75	0,65	0,53	0,45	0,38	0,31	0,25	0,2	0,17	0,15
$\frac{k}{10^{-7} A l m^{-1}}$	2,79	3,05	2,96	2,93	3,55	2,73	4,81	3,36	3,51	4,06
$\frac{M}{10^6}$	4,95	3,69	2,60	2,10	1,18	1,43	0,40	0,42	0,35	0,26
$\frac{S}{A l m^{-1}}$	1,24	1,00	0,76	0,62	0,48	0,39	0,26	0,20	0,15	0,14

Tabulka 5



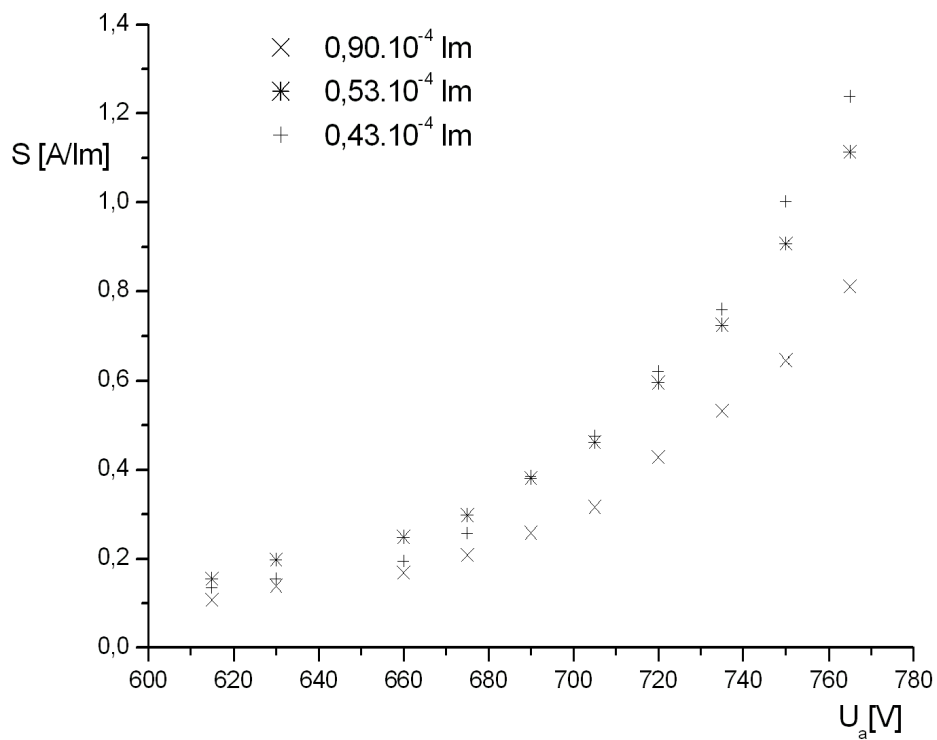
Graf 2

ad 2) závislost integrální citlivosti fotonásobiče na anodovém napětí



Graf 3

závislost zesílení fotonásobiče na anodovém napětí



Graf 4

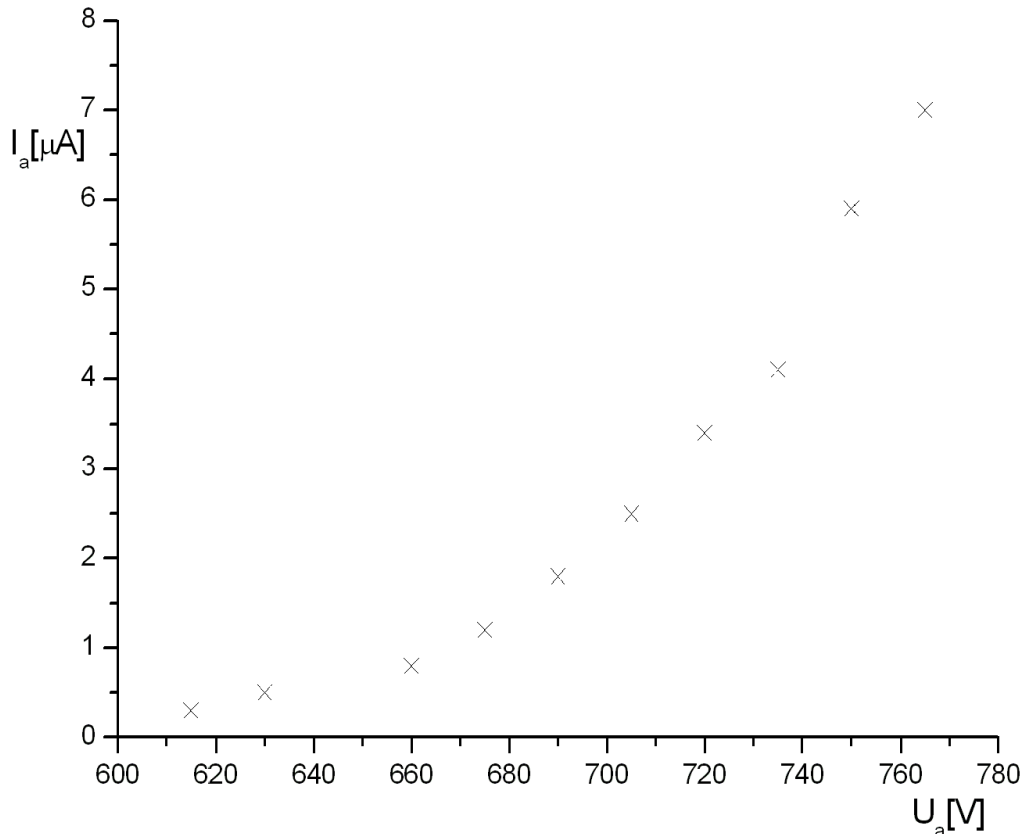
ad 3) integrální citlivost fotokatody

$$U_a = 750 V$$

$\frac{\Phi}{10^{-4} \text{ lm}}$	0,90	0,68	0,53	0,42	0,34	0,27	0,21	0,16
$\frac{k}{10^{-7} \text{ A lm}^{-1}}$	1,55	1,86	2,28	2,90	2,83	3,41	4,48	5,80

Tabulka 6

ad 4) vliv temného proudu na přesnost měření



Graf 5

Temný proud roste s anodovým napětím a závisí také silně na okolní teplotě. Protože tvoří nezanedbatelnou část velikosti měřeného proudu (5 – 8%), je nezbytné jeho velikosti od naměřených hodnot odečíst. To bylo také provedeno ve všech předchozích úkolech.

Závěr:

Koeficient sekundární emise je skutečně nezávislý na osvětlení – hodnota směrnice proložené závislosti je  $\tilde{k} = (0,01 \pm 0,02) \text{ lm}^{-1}$ . Pokud se jedná o závislost koeficientu sekundární emise na napětí mezi dynodami, tak není z přiložených grafů hned patrná. Když ale vezmeme v úvahu, že na svislé ose je vynášen logaritmus hodnot o dost menších než jedna, dojdeme k závěru, že malá změna této hodnoty vede k velké změně logaritmu hodnoty a tedy, že koeficient sekundární emise zůstává přibližně konstantní, je tedy na napětí mezi dynodami nezávislý. Jednotlivé závislosti se mírně liší, ale ze stejného důvodu jako výše je tento rozdíl malý. Závislost integrální citlivosti fotonásobiče a zesílení fotonásobiče na anodovém napětí je patrná z grafů 6 a 7 – jedná se zřejmě o exponenciální závislosti. Vliv temného proudu na měření byl diskutován výše.