

# FYZIKÁLNE PRAKTIKUM

## Fyzikálne praktikum 3

**Vypracoval:** Patrik Žilka

**Namerané:** 8. marca 2011

**Obor:** AF    **Ročník:** II    **Semester:** IV

**Testované:**

### Úloha č. 1:      Štúdium činnosti fotonásobiča

#### 1. Teória

Fotonásobič je elektro-optický prístroj používaný pre premerovanie veľmi nízkych svetelných intenzít. Príkladom použitia sú scintilačné detektory, regulácie jasu a expozície u niektorých rentgenových prístrojov alebo citlivé merače osvetlenia a svetelného toku. Jeho činnosť je založená na využití dvoch druhov elektrónovej emisie: fotoemisie a sekundárnej emisie.

Fotoemisie ( vonkajší fotoefekt ) je charakterizovaná emisiou elektrónov z povrchu osvetleného telesa. Pri nej platí tzv. Stoletovov zákon, že počet emitovaných elektrónov je úmerný intenzite dopadajúceho svetla  $I_f = k(\lambda)\Phi$ , kde závislosť  $k(\lambda) = f(\lambda)$  sa nazýva spektrálna charakteristika fotokatódy. Avšak rýchlosť týchto elektrónov na intenzite svetla nezávisí. Tiež platí, že počiatková rýchlosť elektrónov  $\nu_0$  vystupujúcich z fotokatódy rastie so zvyšujúcou sa frekvenciou dopadajúceho žiarenia podľa Einsteinovho zákona:  $h\nu = \omega + \frac{m\nu_0^2}{2}$ , kde  $h\nu$  je energia kvanta monochromatického svetla o kmitočtu  $\nu$  a  $\omega$  je efektívna výstupná práca elektrónov z materiálu fotokatódy. Energia kvanta rovnajúca výstupnej práci potom odpovedá kmitočtu nazývajúcemu ako červený prah fotoefektu.

Sekundárna emisia, teda emisia nových elektrónov, vzniká dopadom urýchlených elektrónov s dostatočnou energiou na vhodnú elektródu ( s energiou vyššou ako výstupná práca materiálu elektródy). Pri dostatočnej energii primárnych elektrónov  $I_{\text{prim}}$  môže byť počet sekundárnych elektrónov  $I_{\text{sek}}$  väčší a potom koeficient sekundárnej emisie  $\sigma$  je väčší ako jeden:  $\sigma = \frac{I_{\text{sek}}}{I_{\text{prim}}}$ . Tento koeficient je závislý na materiále elektród a na urýchľujúcom napätí podľa vzťahu  $\sigma = AV \exp(-\mu V)$ , kde  $A$  a  $\mu$  sú konštanty závislé na materiále elektród (tzv. dynód),  $V$  je napätie medzi dvoma susednými dynodami.

Fotoelektróny emitované z fotokatódy, napríklad bielym svetlom, dopadajú na prvú dynódu, kde dojde k sekundárnej emisii. Elektróny z poslednej dynody potom dopadajú na anódu. Konštanta úmernosti  $k$  zo Stoletovovho zákona v tomto prípade odpovedá citlivosti fotokatódy na biele svetlo obsahujúce fotóny všetkých vlnových dĺžok a preto sa nazýva integrálna citlivosť fotokatódy. Ak nedochádza v násobiči k žiadnym stratám elektrónov, potom výsledný prúd anódy je daný vzťahom  $I_a = \sigma^n I_f$ , kde  $n$  je počet dynód. Zosilnenie  $M$  fotonásobiča je potom dané pomerom anódového prúdu a fotoprúdu podľa vzťahu:

$$M = \sigma^n = \frac{I_a}{I_f}$$

Vzájomným dosadením uvedených výrazov dostaneme vzťahy medzi zosilnením, svetelným tokom a výsledným anódovým prúdom:

$$I_a = Mk\Phi = S\Phi, \quad S = Mk,$$

kde  $S$  je integrálna citlivosť fotonásobiča. Fotonásobič tiež dáva nežiadúci prúd, tzv. temný prúd, ktorý vzniká termoemisiou z fotokatódy. Avšak je možné ho chladnutím potlačiť.

## 2. Meranie

Tabuľka č.1: Namerané a vypočítané hodnoty pre svetelný tok:  $\Phi_1 = 0,9 \cdot 10^{-4}$  Lm

$U_a$	$I_a$	$I_{10}$	$I_{12}$	$\sigma$	$V = \frac{U_a}{14}$	$\ln(\sigma/V)$	$M$	$S$	$I_f$	$k$
[V]	[ $\mu$ A]	[ $\mu$ A]	[ $\mu$ A]		[V]		[ $10^6$ ]	[A · Lm $^{-1}$ ]	[ $10^{-12}$ A]	[ $10^{-8}$ A · Lm $^{-1}$ ]
581	10	0,72	5,6	2,79	41,5	-2,700	1,72	0,11	5,81	6,45
630	20	1,24	11,5	3,05	45,0	-2,693	5,90	0,22	3,39	3,77
658	30	1,69	16,8	3,15	47,0	-2,702	9,59	0,33	3,13	3,47
680	40	2,03	21,5	3,25	48,6	-2,703	14,9	0,44	2,68	2,97
694	50	2,37	25,5	3,28	49,6	-2,716	16,7	0,56	3,00	3,33
708	60	2,74	30,8	3,35	50,6	-2,714	22,7	0,67	2,65	2,94
718	70	3,06	34,7	3,37	51,3	-2,723	24,1	0,78	2,90	3,23
727	80	3,31	38,8	3,42	51,9	-2,719	30,4	0,89	2,63	2,92

Integrálna citlivosť katódy ( pre  $\Phi_1$ ):  $k = (3,63 \pm 0,44) \cdot 10^{-8} \text{ A} \cdot \text{Lm}^{-1}$

Tabuľka č.2: Namerané a vypočítané hodnoty pre svetelný tok:  $\Phi_3 = 0,52 \cdot 10^{-4}$  Lm

$U_a$	$I_a$	$I_{10}$	$I_{12}$	$\sigma$	$V = \frac{U_a}{14}$	$\ln(\sigma/V)$	$M$	$S$	$I_f$	$k$
[V]	[ $\mu$ A]	[ $\mu$ A]	[ $\mu$ A]		[V]		[ $10^6$ ]	[A · Lm $^{-1}$ ]	[ $10^{-12}$ A]	[ $10^{-8}$ A · Lm $^{-1}$ ]
606	10	0,62	5,2	2,90	43,4	-2,704	2,92	0,19	3,43	6,59
658	20	1,08	10,3	3,09	47,0	-2,723	7,18	0,38	2,79	5,36
688	30	1,43	15,0	3,24	49,1	-2,720	14,0	0,58	2,15	4,13
707	40	1,75	19,2	3,31	50,5	-2,724	19,1	0,77	2,09	4,02
723	50	2,04	23,5	3,39	51,6	-2,722	26,9	1,00	1,86	3,57
738	60	2,28	27,2	3,45	52,7	-2,725	34,4	1,15	1,74	3,36
750	70	2,52	30,4	3,47	53,6	-2,736	37,2	1,35	1,88	3,62
760	80	2,78	34,7	3,53	54,3	-2,732	47,2	1,54	1,69	3,26

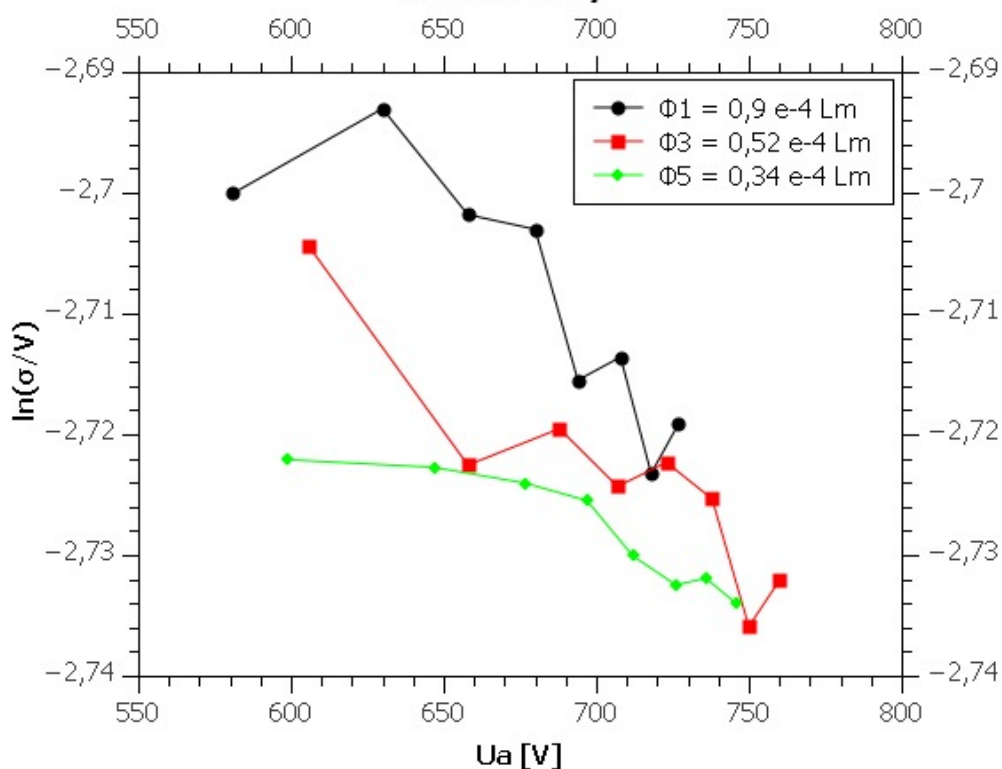
Integrálna citlivosť katódy ( pre  $\Phi_3$ ):  $k = (4,23 \pm 0,44) \cdot 10^{-8} \text{ A} \cdot \text{Lm}^{-1}$

Tabuľka č.3: Namerané a vypočítané hodnoty pre svetelný tok:  $\Phi_5 = 0,34 \cdot 10^{-4}$  Lm

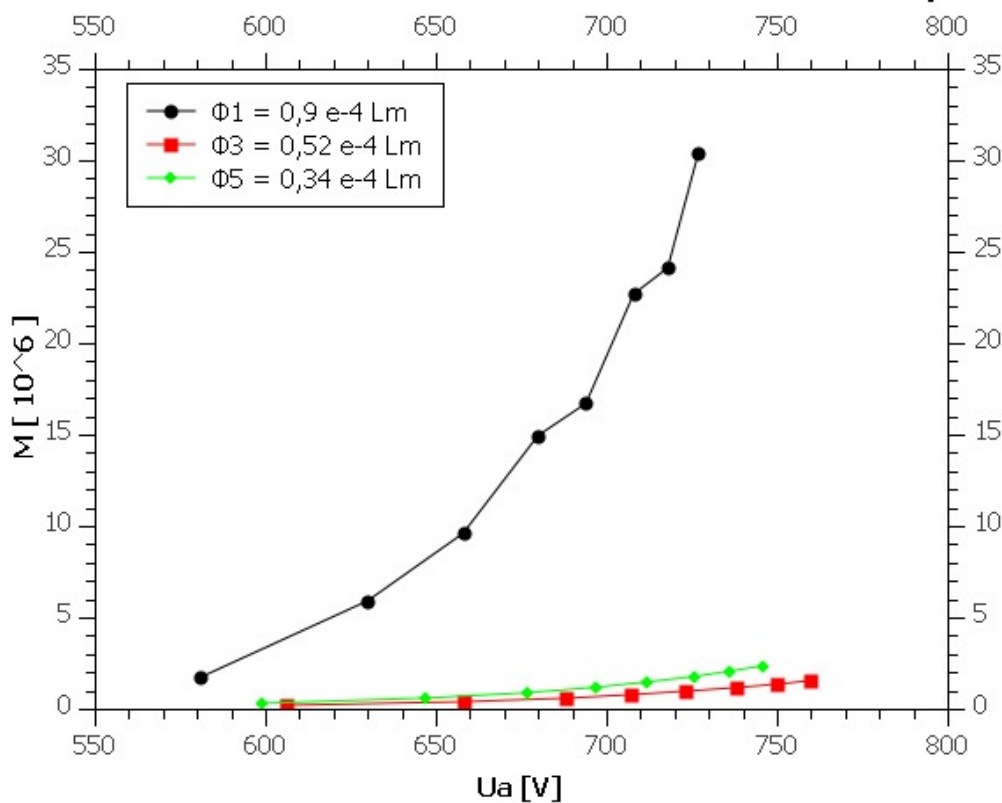
$U_a$	$I_a$	$I_{10}$	$I_{12}$	$\sigma$	$V = \frac{U_a}{14}$	$\ln(\sigma/V)$	$M$	$S$	$I_f$	$k$
[V]	[ $\mu$ A]	[ $\mu$ A]	[ $\mu$ A]		[V]		[ $10^6$ ]	[A · Lm $^{-1}$ ]	[ $10^{-12}$ A]	[ $10^{-8}$ A · Lm $^{-1}$ ]
599	10	0,67	5,3	2,81	42,8	-2,722	1,94	0,29	5,16	15,2
647	20	1,15	10,6	3,04	46,2	-2,723	5,65	0,59	3,54	10,4
677	30	1,53	15,4	3,17	48,4	-2,724	10,5	0,88	2,87	8,43
697	40	1,88	20,0	3,26	49,8	-2,725	15,4	1,18	2,59	7,63
712	50	2,20	24,2	3,32	50,9	-2,730	19,5	1,47	2,57	7,55
726	60	2,46	28,0	3,37	51,9	-2,732	24,7	1,76	2,42	7,13
735	70	2,69	31,5	3,42	52,6	-2,732	30,2	2,06	2,32	6,82
746	80	3,03	36,3	3,46	53,3	-2,734	35,4	2,35	2,26	6,64

Integrálna citlivosť katódy ( pre  $\Phi_5$ ):  $k = (8,7 \pm 1,1) \cdot 10^{-8} \text{ A} \cdot \text{Lm}^{-1}$

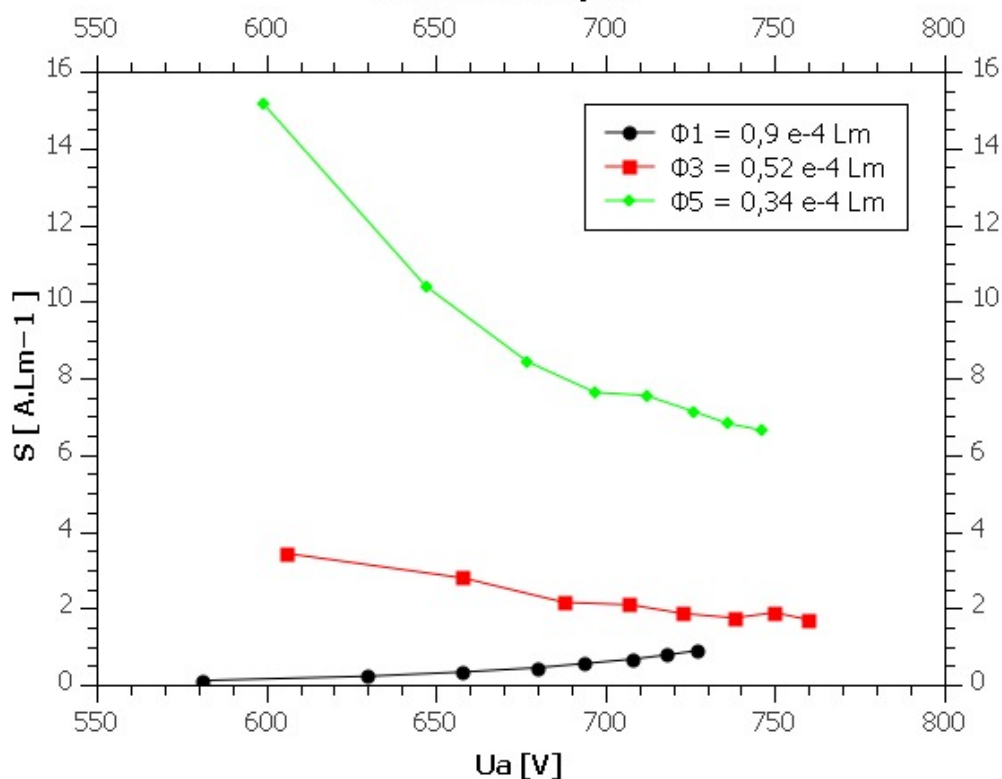
**Graf č.1 Závislosť  $\ln(\sigma/V)$  od anódového napätia pre rôzne svetelné toky**



**Graf č. 2 Závislosť zosilnenia fotonásobiča od anódového napätia**



**Graf č. 3 Závislosť integrálnej citlivosti fotonásobiča na anódovom napätí**



Tabuľka č.4: Namerané a vypočítané hodnoty koeficientu sekundárnej emisie  $\sigma$  pre  $U_a = 708$  V

n	$\Phi_n \cdot 10^{-4}$ Lm	$I_{10}$ [ $\mu$ A]	$I_{12}$ [ $\mu$ A]	$\sigma$
1	0,90	2,60	28,0	3,28
2	0,68	2,38	25,6	3,28
3	0,52	1,73	18,6	3,28
4	0,42	1,86	20,0	3,28
5	0,34	2,16	23,2	3,28
6	0,27	1,27	13,6	3,27
7	0,21	0,59	6,3	3,27
8	0,16	0,41	4,4	3,28

### 3. Záver

V tomto fyz. praktiku boli namerané jednotlivé závislosti fotonásobiča. V grafoch je vynesená závislosť integrálnej citlivosti, zosilnenia a  $\ln(\sigma/V)$  vzhľadom na anódové napätie. Z týchto grafov je možné vyčítať monotónnosť, avšak presnosť hodnôt je malá. Presnosť týchto hodnôt mohla byť spôsobená nepresnosťou meracích prístrojov, vonkajšími vplyvmi a príp. inými vplyvmi. Temný prúd nebol nameraný väčší ako  $0,03 \mu\text{A}$ , čo takmer vylučuje vplyv na výsledkoch. Z tabuľky č. 4 vyplíva konštantný koeficient sekundárnej emisie, ktorý mal v tomto prípade pri anódovom napätí veľkosť približne 3,28.