

FYZIKÁLNE PRAKTIKUM

Spracoval: Vladimír Domček

Namerané: 6.5.2013

Obor: Astrofyzika Ročník: II Semester: IV

Testované:

Úloha č. 1: Štúdium činnosti fotonásobiča

1. Zadanie

- Určte závislosť koeficientu sekundárnej emisie na napätí medzi dynódami. Vyneste závislosť $\ln(\sigma/V) = f(U_a)$. Zistite závislosť koeficientu sekundárnej emisie na intenzite osvetlenia fotokatódy
- Určte a vyneste závislosť integrálnej citlivosti S a zosilnenia M fotonásobiča na anodovom napätí
- Určte integrálnu citlivosť fotokatódy $k = I_f/\Phi$
- Preverte vplyv temného prúdu na presnosť merania

2. Teória

Fotonásobič je elektro-optický prístroj používaný pre premeriavanie veľmi nízkych svetelných intenzít. Jeho činnosť je založená na využití dvoch druhov elektrónovej emisie - fotoemisie a sekundárnej emisie. Fotoemisia je charakterizovaná emisiou fotonov z povrchu osvetleného telesa. Energia svetelného kvanta sa premení na výstupnú prácu a kinetickú energiu elektrónu. Počiatočná rýchlosť rastie s rastúcou frekvenciou žiarenia podľa vzťahu:

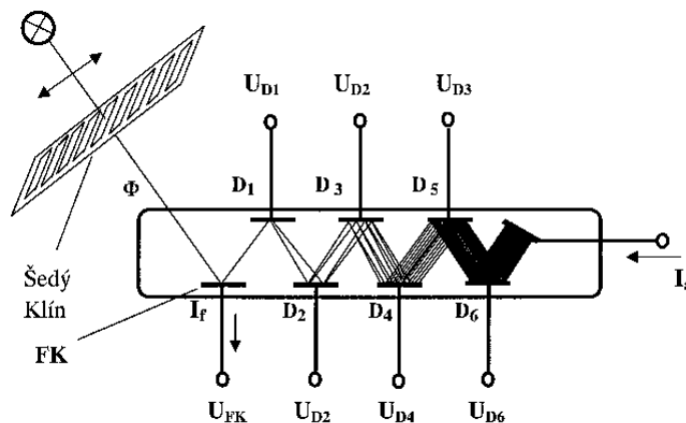
$$h\nu = w + \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

Stoletov zákon definuje počet emitovaných častíc pod vplyvom dopadajúci svetelného toku s konštantným spektrálnym zložením ako:

$$I_f = k(\lambda)\Phi \quad (2)$$

kde I_f je primárny prúd elektrónov z fotokatódy. Pri dopade dostatočne urýchlených na vhodnú elektródu (dynódu), môžu sa z nej uvoľniť ďalšie, sekundárne elektróny (sekundárna emisia). Koeficient sekundárnej emisie závisí na materiále elektród $\sigma = \frac{I_{sec}}{I_f}$.

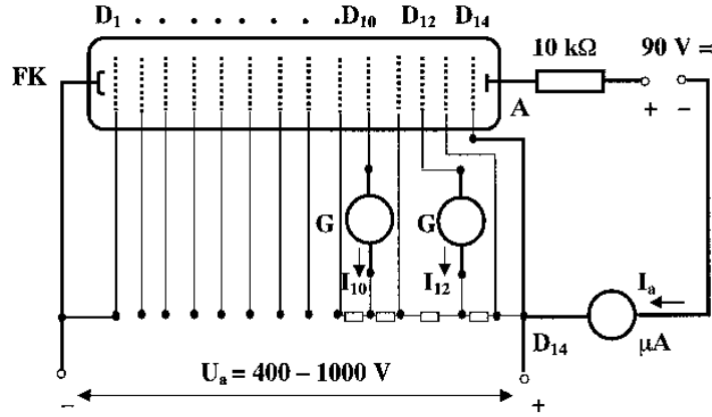
Závisí aj na urýchľujúcom napätí $\sigma = AVe^{-\mu V}$, zatiaľ čo V je napätie medzi susednými dynódami.



Obr.1: Princíp fungovania fotonásobiča

Fotonásobič funguje na takom princípe, že primárne elektróny, ktoré sú uvoľnené z fotokatódy dopadnú na prvú dynódu. Na tomto mieste sú vplyvom elektrického poľa urýchlené vyrazené sekundárne elektróny, ktoré dopadnú na ďalšiu dynódu. Tento postup sa opakuje až po dopad na anódu, kde detekujeme zosilnený signál. Celkový prúd na anóde je $I_a = \sigma^n I_f$, kde n je počet dynód. Zosilnenie udáva vzťah $M = \sigma^n = \frac{I_a}{I_f}$. Vzájomným dosadením dostávame vzťah:

$$I_a = Mk\Phi = S\Phi, S = Mk \quad (3)$$



Obr.2: Schéma zapojenia experimentu

3. Meranie

U_a [V]	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]	V [V]	σ	$\ln(\sigma/V)$	M	S	I_f [pA]	k [10^{-6}]
535	10	0,25	1,6	38,21	2,530	-2,715	439805	0,111	22,74	0,253
581	20	0,42	3,13	41,50	2,730	-2,721	1276631	0,222	15,67	0,174
606	30	0,55	4,43	43,29	2,838	-2,725	2199314	0,333	13,64	0,152
624	40	0,67	5,8	44,57	2,942	-2,718	3643110	0,444	10,98	0,122
637	50	0,78	6,92	45,50	2,979	-2,726	4325940	0,556	11,56	0,128
649	60	0,88	8,15	46,36	3,043	-2,723	5844193	0,667	10,27	0,114
659	70	1	9,32	47,07	3,053	-2,736	6108174	0,778	11,46	0,127
669	80	1,1	10,55	47,79	3,097	-2,736	7464804	0,889	10,72	0,119
676	90	1,2	11,85	48,29	3,142	-2,732	9157137	1,000	9,83	0,109
682	100	1,29	12,87	48,71	3,159	-2,736	9838341	1,111	10,16	0,113

Tab.1: Hodnoty pre polohu 1, $\Phi_1 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ Lm}^{-1}$

U_a [V]	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]	V [V]	σ	$\ln(\sigma/V)$	M	S	I_f [pA]	k [10^{-6}]
572	10	0,19	1,38	40,86	2,695	-2,719	1066298	0,238	1,294	0,2233
627	20	0,34	2,93	44,79	2,936	-2,725	3529563	0,476	0,830	0,1349
655	30	0,43	4,03	46,79	3,061	-2,727	6351205	0,714	0,635	0,1125
675	40	0,55	5,35	48,21	3,119	-2,738	8240198	0,952	0,649	0,1156
689	50	0,63	6,4	49,21	3,187	-2,737	11165443	1,190	0,573	0,1066
703	60	0,71	7,55	50,21	3,261	-2,734	15375180	1,429	0,491	0,0929
713	70	0,8	8,74	50,93	3,305	-2,735	18575911	1,667	0,471	0,0897
724	80	0,88	9,67	51,71	3,315	-2,747	19346687	1,905	0,500	0,0985
733	90	0,96	10,84	52,36	3,360	-2,746	23404876	2,143	0,463	0,0916
741	100	1	11,67	52,93	3,416	-2,740	29477863	2,381	0,396	0,0808

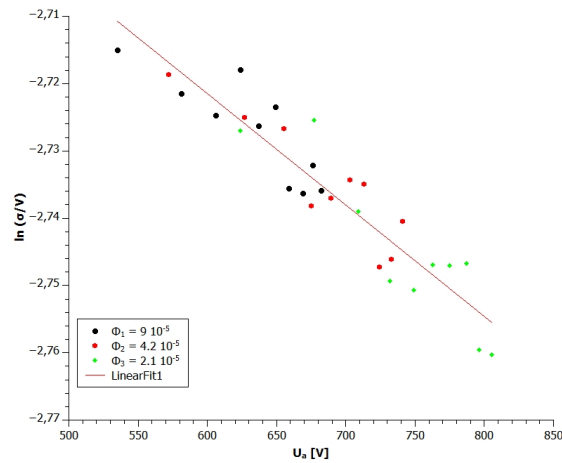
Tab.2: Hodnoty pre polohu 4, $\Phi_4 = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ Lm}^{-1}$

U_a [V]	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]	V [V]	σ	$\ln(\sigma/V)$	M	S	I_f [aA]	k [10^{-6}]
624	10	0,16	1,36	44,57	2,915	-2,727	3205771	0,476	6,551	0,1485
677	20	0,26	2,61	48,36	3,168	-2,725	10272357	0,952	2,044	0,0927
709	30	0,35	3,75	50,64	3,273	-2,739	16208490	1,429	1,296	0,0881
732	40	0,43	4,81	52,29	3,345	-2,749	21914741	1,905	0,958	0,0869
749	50	0,5	5,84	53,50	3,418	-2,751	29655135	2,381	0,708	0,0803
763	60	0,56	6,84	54,50	3,495	-2,747	40557999	2,857	0,518	0,0704
775	70	0,62	7,81	55,36	3,549	-2,747	50328665	3,333	0,417	0,0662
787	80	0,68	8,84	56,21	3,606	-2,747	62748517	3,810	0,335	0,0607
796	90	0,75	9,72	56,86	3,600	-2,760	61409422	4,286	0,342	0,0698
805	100	0,8	10,6	57,53	3,640	-2,760	71698678	4,762	0,293	0,0664

Tab.3: Hodnoty pre polohu 7, $\Phi_7 = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ Lm}^{-1}$
aA = atto A = $10^{-18} \cdot \text{A}$

Integrálna citlivosti fotokatódy:

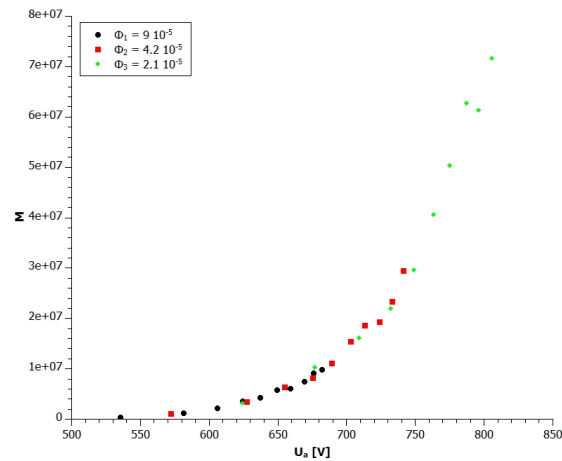
$\Phi_1 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ Lm}^{-1}$	\Rightarrow	$k = (1,4 \pm 0,1)10^{-7}$
$\Phi_4 = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ Lm}^{-1}$	\Rightarrow	$k = (1,1 \pm 0,1)10^{-7}$
$\Phi_7 = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ Lm}^{-1}$	\Rightarrow	$k = (8,3 \pm 0,8)10^{-8}$



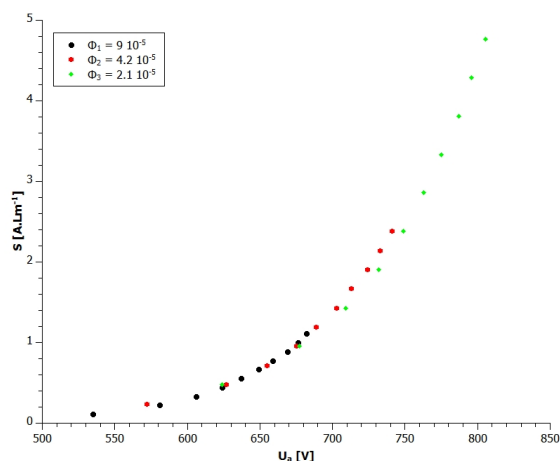
Obr.3: Graf závislosti $\ln(\sigma/V)$ na napätí

$$\ln(\sigma/V) = aU_a + b$$

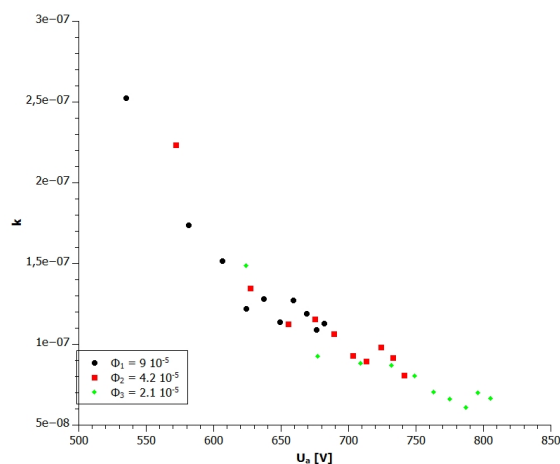
$$a = (-1,7 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}, \quad b = (-2,622 \pm 0,008)$$



Obr.4: Graf závislosti zosilnenia fotonásobiča na napätí



Obr.5: Graf závislosti integrálnej citlivosti fotonásobiča na napätí



Obr.6: Graf závislosti integrálnej citlivosti katódy na napätí

n	Φ [$\text{Lm} \cdot 10^{-4}$]	I_{10}	I_{12}	I_a	σ
1	0,9	1,19	11,15	84	3,06
2	0,68	0,92	8,63	66	3,06
3	0,53	0,72	6,77	51	3,07
4	0,42	0,54	5,16	40	3,09
5	0,34	0,43	4,06	31	3,07
6	0,27	0,33	3,13	24	3,08
7	0,21	0,24	2,36	18	3,14

Tab.4: Namerané a vypočítane hodnoty koeficientu sekundárnej emisie pre napätie $U_a = 663$ V

4. Záver

V prvej časti tohto praktika sme vyniesli do grafu závislosť $\ln(\sigma/V)$ na $f(U_a)$. V grafe klesajú hodnoty pri rôznych hodnotách osvetlenia približne rovnako, z toho usudzujeme, že koeficient sekundárnej emisie na intenzite osvetlenia nezávisí. V grafe sme si pri rôznych osvetlenia všimli rovnaký trend klesania, ktorú sme preložili priamkou a získali tak koeficienty tejto funkčnej závislosti:

$$a = (-1,7 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}, \quad b = (-2,622 \pm 0,008)$$

Koeficient sekundárnej emisie nám v Tab.4 pre napätie $U_a = 663$ V vyšiel $\sigma = (3,08 \pm 0,01)$.

Poslednou úlohou tohto praktika bolo určiť vplyv temného prúdu na meranie. Hodnoty vychádzali maximálne v jednotkách percent. Z toho dôvodu môžeme usúdiť, že vplyv temného prúdu na meranie je zanedbateľný.