

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Tomáš Plšek

Naměřeno: 23. března 2018

Obor: Astrofyzika **Ročník:** II **Semestr:** IV

Testováno:

Úloha č. 1: Studium činnosti fotonásobiče

Úkoly:

1. Stanovte závislost sekundární emise na energii elektronů dopadajících na dynodu. Vyneste do grafu i závislost $\ln(\sigma/V) = f(V)$. Zjistěte, jestli koeficient sekundární emise σ závisí na intenzitě osvětlení fotokatody.
2. Stanovte a vyneste do grafu závislost integrální citlivosti fotonásobiče a zesílení fotonásobiče na napětí na násobiči $S = f(U_a)$ a $M = f(U_a)$.
3. Stanovte integrální citlivost fotokatody $k = I_f/\Phi$.
4. Provéřte vliv temného proudu na přesnost měření.

1. Úvod

V této úloze se budeme zabývat fotonásobičem a jeho vlastnostmi. Jedná se o elektro-optický přístroj, jež je schopný snímat světelné signály o velmi nízké intenzitě. Fotonásobiče fungují na principu fotoemise, k níž dochází na fotokatodě, a následné sekundární emise, jež se odehrává na dynodách.

Proud na fotokatodě závisí na světelném toku podle Stoletovova zákona:

$$I_f = k \cdot \Phi \quad (1)$$

kde k je integrální citlivost fotokatody. Proud I_f se na první dynodě zvýší na hodnotu $I_1 = \sigma I_f$, kde σ je koeficient sekundární emise. Děj se následně opakuje i na ostatních dynodách. Poslední dynodou tedy bude protékat proud:

$$I_a = \sigma^n \cdot I_f, \quad (2)$$

kde n je počet dynod. Hodnota σ^n se označuje jako zesílení fotonásobiče M a součin zesílení a integrální citlivosti fotokatody se označuje integrální citlivost fotonásobiče:

$$S = M k. \quad (3)$$

Fotonásobičem však teče určitý proud i při nulovém osvětlení. Jedná se o tzv. temný proud, jež je převážně způsobený termoemisí z fotokatody. Lze jej tedy potlačit ochlazením fotokatody.

2. Měření

Nejprve při nulovém osvětlení fotokatody změříme pro různá napětí proud na dynodách a určíme tzv. temný proud fotonásobiče.

Tabulka 1: Temný proud fotonásobiče.

U_a [V]	I_a [μ A]	I_{12} [μ A]	I_{10} [μ A]
632	0	0.03	0
770	0	0.05	0
849	0	0.06	0
920	0.1	0.08	0
978	0.2	0.10	0
996	0.3	0.13	0

Z tabulky 1 vidíme, že temný proud se začíná projevovat až při velmi vysokých napětích ($U_a > 900$ V) a to ještě velmi slabě. Rozhodl jsem se proto v dalších měřeních jeho vliv zanedbávat. Nyní proměříme hodnoty proudů na 12. a 10. dynodě v závislosti na osvětlení pro dvě různá napětí a pokusíme se zjistit, zda koeficient sekundární emise závisí na hodnotě osvětlení.

Tabulka 2a: Závislost koeficientu sekundární emise na osvětlení při $U_a = 833$ V.

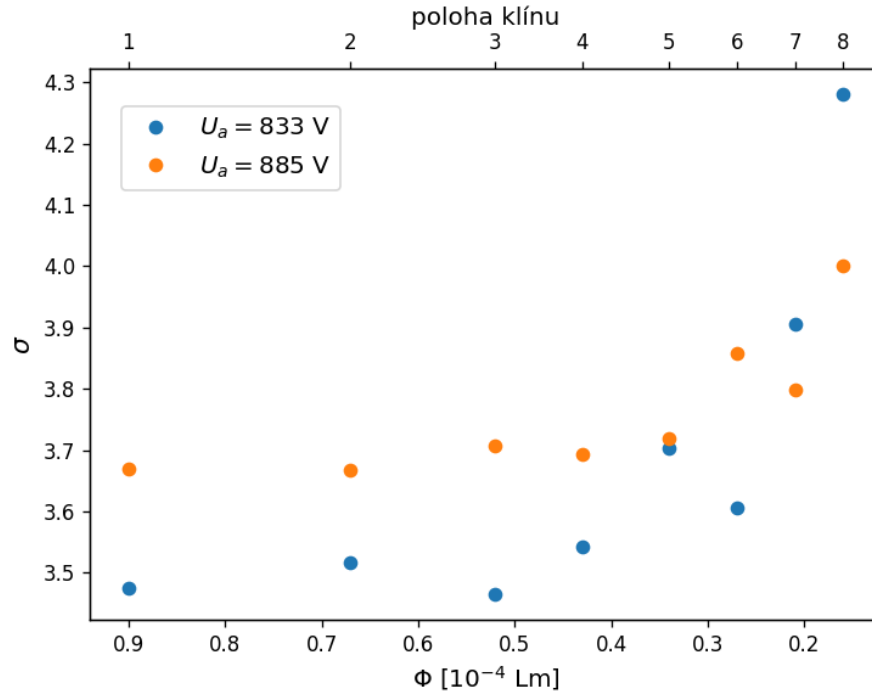
Φ [10^{-4} Lm]	I_{12} [μ A]	I_{10} [μ A]	σ
0.9	3.02	0.25	3.47
0.67	2.35	0.19	3.51
0.52	1.92	0.16	3.46
0.43	1.38	0.11	3.54
0.34	0.96	0.07	3.70
0.27	0.78	0.06	3.60
0.21	0.61	0.04	3.90
0.16	0.55	0.03	4.28

Hodnota koeficientu sekundární emise $\sigma = 3.7 \pm 0.3$.

Tabulka 2b: Závislost koeficientu sekundární emise na osvětlení při $U_a = 885$ V.

Φ [10^{-4} Lm]	I_{12} [μ A]	I_{10} [μ A]	σ
0.9	6.06	0.45	3.66
0.67	4.71	0.35	3.66
0.52	3.71	0.27	3.70
0.43	2.32	0.17	3.69
0.34	1.66	0.12	3.71
0.27	1.34	0.09	3.85
0.21	1.01	0.07	3.79
0.16	0.96	0.06	4.0

Hodnota koeficientu sekundární emise při $\sigma = 3.8 \pm 0.1$.



Graf 1: Závislost koeficientu sekundární emise na hodnotě osvětlení.

Z grafu 1 vidíme, že koeficient sekundární emise na osvětlení prakticky nezávisí. Nárůst při nízkých hodnotách osvětlení je nejspíše způsoben chybou měřidla, neboť proud měřený na 10. dynodě je velmi nízký (viz tabulky 2a a 2b).

Pro tři různé hodnoty osvětlení nyní proměříme závislosti proudů na dynodách na anodovém napětí, určíme závislost $\ln(\sigma/V) = f(V)$ a závislost zesílení a integrální citlivosti fotonásobiče na anodovém napětí a stanovíme hodnotu integrální citlivosti fotokatody k .

Tabulka 3a: Závislost proudů na jednotlivých dynodách, zesílení a integrální závislosti fotonásobiče na anodovém napětí při $\Phi = 0.90 \cdot 10^{-4} \text{ Lm}$.

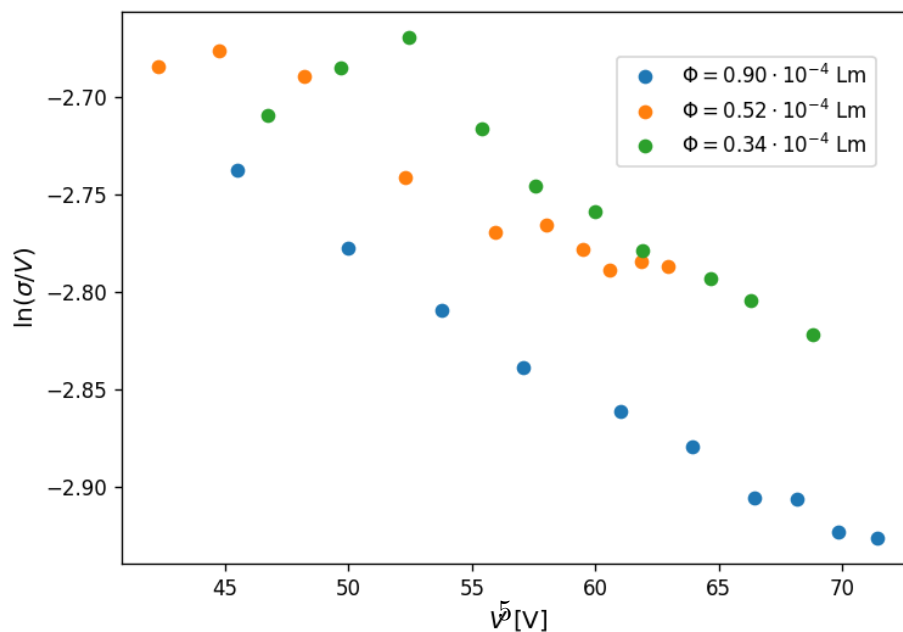
U_a [V]	I_a [μA]	I_{12} [μA]	I_{10} [μA]	$\ln(\sigma/V)$	M [10^6]	S [$\text{A} \cdot \text{Lm}^{-1}$]	k [$\text{nA} \cdot \text{Lm}^{-1}$]
637	2.3	0.52	0.06	-2.74	3.67	0.026	6.96
700	4.8	0.87	0.09	-2.78	7.89	0.053	6.76
753	9.3	1.47	0.14	-2.81	14.07	0.103	7.34
799	15.6	2.23	0.20	-2.84	21.43	0.173	8.09
854	27.9	3.65	0.30	-2.86	39.46	0.310	7.86
895	40.9	4.90	0.38	-2.88	59.28	0.454	7.67
930	50.0	5.94	0.45	-2.91	69.83	0.556	7.96
954	58.6	6.80	0.49	-2.91	99.13	0.651	6.57
978	69.8	8.04	0.57	-2.92	111.09	0.776	6.98
1000	85.5	9.52	0.65	-2.93	144.57	0.950	6.57

Tabulka 3b: Závislost proudů na jednotlivých dynodách, zesílení a integrální závislosti fotonásobiče na anodovém napětí při $\Phi = 0.52 \cdot 10^{-4}$ Lm.

U_a [V]	I_a [μ A]	I_{12} [μ A]	I_{10} [μ A]	$\ln(\sigma/V)$	M [10^6]	S [$A \cdot Lm^{-1}$]	k [$nA \cdot Lm^{-1}$]
592	0.8	0.25	0.03	-2.68	2.79	0.016	5.86
627	2.0	0.38	0.04	-2.68	6.98	0.039	5.65
675	4.1	0.75	0.07	-2.69	16.21	0.079	4.86
732	8.3	1.25	0.11	-2.74	24.47	0.160	6.52
783	15.7	2.09	0.17	-2.77	42.45	0.302	7.11
812	22.9	2.93	0.22	-2.77	74.32	0.440	5.93
833	31.2	3.69	0.27	-2.78	89.05	0.599	6.73
848	35.8	4.16	0.30	-2.79	98.58	0.688	6.97
866	44.6	5.11	0.35	-2.78	141.41	0.858	6.07
881	48.9	5.41	0.36	-2.79	173.09	0.940	5.43

Tabulka 3c: Závislost proudů na jednotlivých dynodách, zesílení a integrální závislosti fotonásobiče na anodovém napětí při $\Phi = 0.34 \cdot 10^{-4}$ Lm.

U_a [V]	I_a [μ A]	I_{12} [μ A]	I_{10} [μ A]	$\ln(\sigma/V)$	M [10^6]	S [$A \cdot Lm^{-1}$]	k [$nA \cdot Lm^{-1}$]
654	1.4	0.29	0.03	-2.71	7.89	0.043	5.41
696	2.7	0.46	0.04	-2.69	26.60	0.079	2.99
734	4.4	0.66	0.05	-2.67	69.83	0.129	1.85
776	6.8	0.94	0.07	-2.72	78.74	0.200	2.54
806	9.7	1.23	0.09	-2.75	89.05	0.285	3.20
840	12.8	1.59	0.11	-2.76	131.84	0.376	2.86
867	17.4	2.07	0.14	-2.78	154.49	0.513	3.32
905	25.8	2.82	0.18	-2.79	231.65	0.760	3.28
928	33.6	3.54	0.22	-2.80	279.30	0.988	3.54
963	43.4	4.52	0.27	-2.82	368.49	1.278	3.47



Graf 2: Grafická závislost $\ln(\sigma/V) = f(V)$ pro tři různé hodnoty osvětlení.

Hodnota přirozeného logaritmu poměru koeficientu sekundární emise a napětí mezi dvěma následujícími dynodami s rostoucím napětím určitou dobu roste a od jisté hodnoty začíná lineárně klesat (graf 2). Při osvětlení $\Phi = 0.9 \cdot 10^{-4}$ Lm vidíme pouze pokles, dá se však očekávat, že pro nižší hodnoty napětí bude průběh křivky velmi podobný.

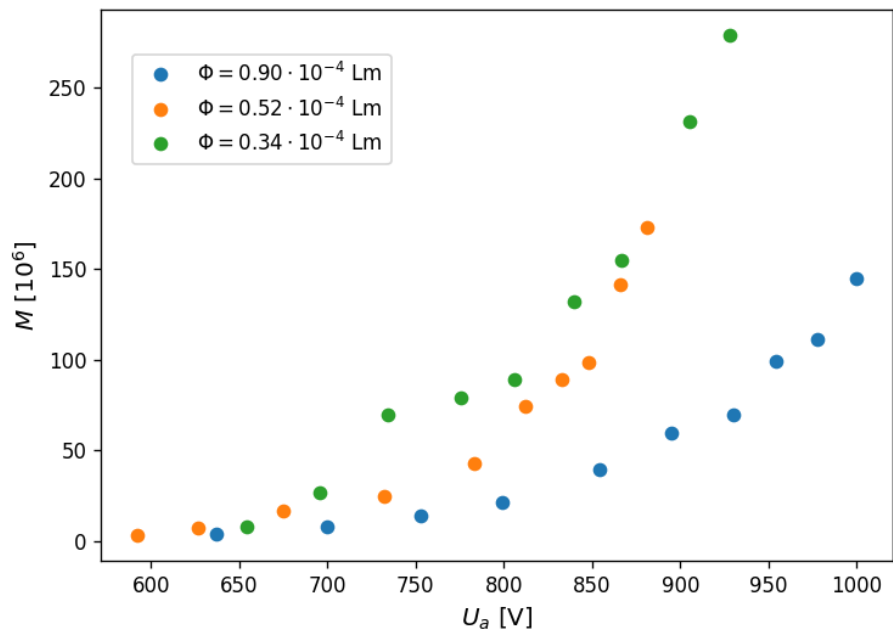
V grafu 3 vidíme, že hodnota zesílení fotonásobiče s rostoucím osvětlením klesá. Podobným způsobem závisí na osvětlení i integrální citlivost fotonásobiče viz graf 4.

3. Závěr

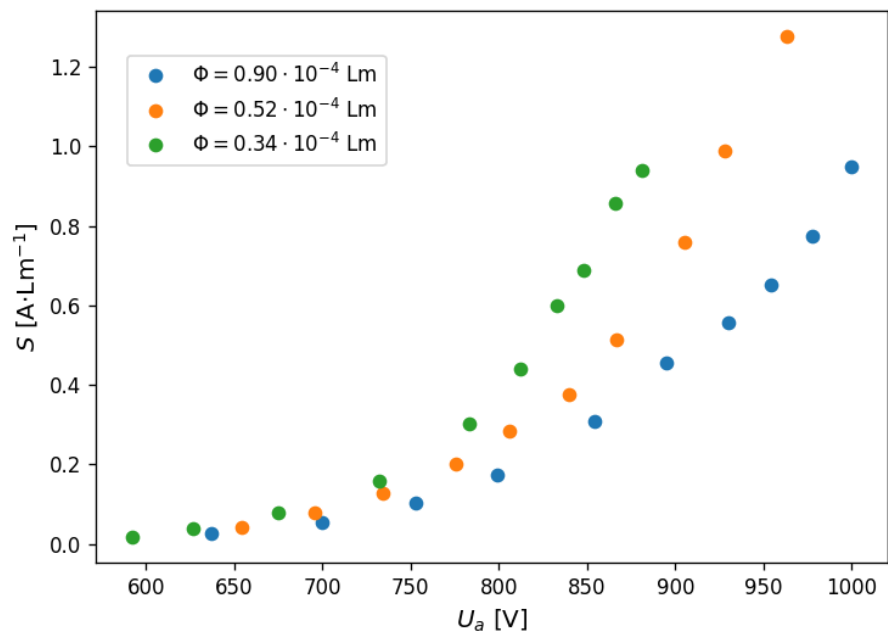
V první části jsem stanovil temný proud fotokatody a rozhodl jsem se jeho vliv zanedbávat.

Následně jsem proměřil závislost koeficientu sekundární emise na světelném toku a zjistil jsem, že do jisté hodnoty na světelném toku nezávisí. Při nižších hodnotách světelného toku a tedy i velmi nízkých hodnotách proudu na 10. dynodě se začíná projevovat nejistota měřidla.

V poslední části jsem proměřil závislost $\ln(\sigma/V) = f(V)$ a závislost zesílení fotonásobiče M a integrální citlivosti fotonásobiče S na anodovém napětí a zjistil jsem, že integrální citlivost i zesílení fotonásobiče s rostoucím osvětlením klesá.



Graf 3: Závislost zesílení fotonásobiče M na anodovém napětí U_a .



Graf 4: Závislost integrální citlivosti fotonásobiče S na anodovém napětí U_a .