

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Jan Beran

Naměřeno: 22. února 2018

Obor: UF

Skupina: F4210/04

Testováno:

Úloha . 1: Studium činnosti fotonásobiče

1. Úkoly

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

2. Teorie

Fotonásobič je elektro-optický přístroj používaný pro proměňování velmi nízkých světelných intenzit. Jeho činnost je založena na dvou druzích elektronové emise – fotoemise a sekundární emise.

Fotoemise je jev, při kterém se z povrchu osvětleného tělesa emitují elektrony. To je zapříčiněno přeměnou energie světelného kvanta s energií $E = hf$, kde h je planckova konstanta a f je frekvence elektromagnetické vlny, na výstupní práci daného kovu a kinetickou energii elektronu. Elektron, která je takto emitován proletí fotokatody k anodě. Takovýto proud elektronů I_f se řídí rovnicí

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

kde k je integrální citlivost fotokatody a Φ je světelný tok.

Sekundární emise je jev, který se uplatňuje přitom, kdy emitované elektrony (primární proud I_{prim}) dopadají na vhodnou elektrodu a tím uvolní další elektrony. Pakliže je energie primárních elektronů dostatečně velká, bude proud z elektrody (sekundární proud I_{sek}) větší než proud z fotokatody. Můžeme zavést koeficient sekundární emise jako

$$\sigma = \frac{I_{\text{sek}}}{I_{\text{prim}}}. \quad (2)$$

Tento koeficient závisí na urychlujícím se napětí V mezi sousedními dynodami jako

$$\sigma = A V e^{-\mu V} \quad (3)$$

kde A, μ jsou materiálové konstanty dynod.

V našem případě je napětí rozloženo mezi dynody rovnoměrně a proto musí platit

$$V = \frac{U_a}{n}. \quad (4)$$

kde U_a je celkové anodové napětí a n je počet dynod.

Vztahy (3) a (2) můžeme upravit do tvaru

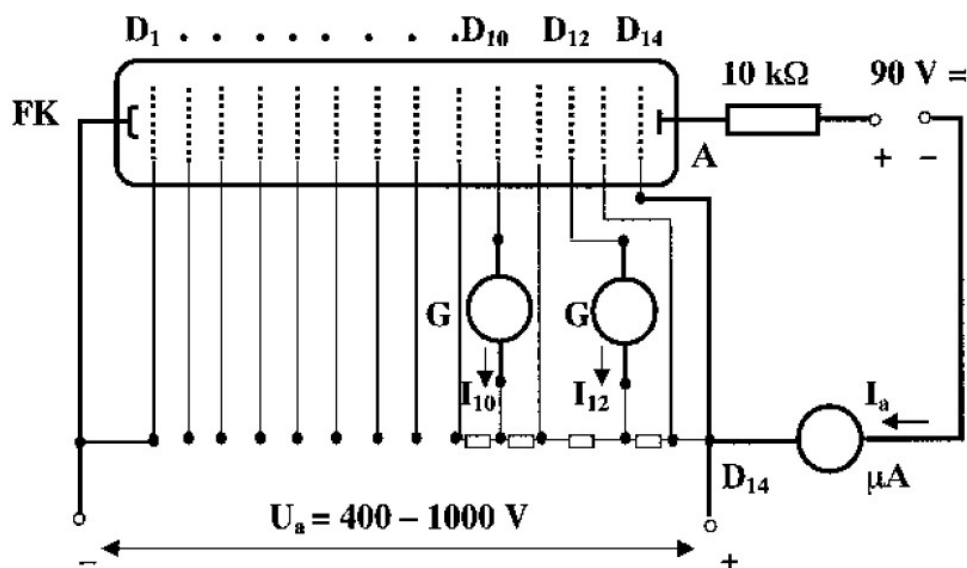
$$\ln \frac{\sigma}{V} = \ln A - \frac{\mu}{n} U_a \quad (5)$$

Celkový proud I_a je můžeme vyjádřit jako

$$I_a = MK\Phi = S\Phi, \quad (6)$$

kde S je integrální citlivost fotonásobiče.

I přesto, že fotokatodu neozařuje žádný zdroj světla, tak fotonásobič dává určitý proud. Tento proud se nazývá temný proud.



Obrázek 1: Schéma elektrického zapojení fotonásobiče. Napětí na násobiči U_a je rozděleno napět'ovým děličem a je přivedeno na jednotlivé dynody. Při zapojování fotonásobiče do obvodu je třeba zapojit jen výrazně vyznačené spoje. Ostatní spoje jsou zapojeny trvale.

3. Postup

Zapojil jsem obvod podle schématu na obrázku 1. Nejdříve jsem měřil temný proud. Z naměřených hodnot z tabulky 1 vyplývá, že pakliže se nedostanu na napětí U_a , alespoň na hodnotu 900 V, nemá smysl, abych prováděl korekci kvůli temnému proudu. A protože hodnota kolem 900 V bude v mém měření maximální hodnotou, nebudu žádnou korekci na temný proud v tomto protokolu provádět.

Dále jsem změřil pro 3 různé světelné toky závislost veličin I_a , I_{10} a I_{12} na U_a . Dbal jsem na to, aby hodnota I_a nepřekročila 90 μA .

Nakonec jsem naměřil pro tři různé hodnoty napětí závislost světelného toku Φ , na proudech I_a , I_{10} , I_{12} z čehož jsem dokázal zjistit, zda-li závisí koeficient sekundární emise σ na světelném toku dopadající na fotokatodu.

4. Naměřené hodnoty

Tabulka 1: Naměřené hodnoty temných proudů v závislosti na zvyšujícím se napětí.

U_a [V]	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]
407	0,0	0,00	0,02
505	0,0	0,00	0,03
600	0,0	0,00	0,04
701	0,0	0,00	0,06
803	0,0	0,00	0,09
902	0,5	0,00	0,16
1003	3,0	0,00	0,32

Tabulka 2: Naměřené hodnoty I_a , I_{10} , I_{12} v závislosti na měnících se světelných tocích pro $U_a = 669$ V.

Φ	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]
0,90	16,0	0,17	2,12
0,68	13,0	0,14	1,71
0,52	10,5	0,11	1,38
0,42	7,0	0,08	1,00
0,34	5,0	0,06	0,72
0,27	4,0	0,04	0,57
0,21	3,0	0,03	0,46
0,16	2,0	0,03	0,41

Tabulka 3: Naměřené hodnoty I_a , I_{10} , I_{12} v závislosti na měnících se světelných tocích pro $U_a = 777$ V.

Φ	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]
0,90	76,0	0,49	7,65
0,68	59,0	0,38	5,95
0,52	47,0	0,30	4,73
0,42	33,0	0,21	3,39
0,34	24,0	0,15	2,40
0,27	18,0	0,12	1,86
0,21	14,0	0,09	1,48
0,16	12,0	0,08	1,33

Tabulka 4: Naměřené hodnoty I_a , I_{10} , I_{12} v závislosti na měnících se světelných tocích pro $U_a = 801$ V.

Φ	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]
0,90	89,0	0,55	9,03
0,68	70,0	0,42	6,96
0,52	56,0	0,34	5,55
0,42	40,0	0,24	3,94
0,34	27,0	0,17	2,75
0,27	21,0	0,13	2,13
0,21	16,0	0,10	1,70
0,16	14,0	0,09	1,51

Tabulka 5: Naměřené hodnoty U_a , I_a , I_{10} a I_{12} pro světelný tok $\Phi = 0,90 \cdot 10^{-4}$ [Lm].

$\Phi = 0,90 \cdot 10^{-4}$ [Lm]			
U_a [V]	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]
604	5,5	0,08	0,89
650	14	0,14	1,46
670	19	0,18	2,22
690	25	0,21	2,88
704	32	0,25	3,44
719	38	0,29	4,06
732	45	0,32	4,68
741	50	0,35	5,18
750	56	0,38	5,68
760	63	0,41	6,3

Tabulka 6: Naměřené hodnoty U_a , I_a , I_{10} a I_{12} pro světelný tok $\Phi = 0,42 \cdot 10^{-4}$ [Lm].

$\Phi = 0,42 \cdot 10^{-4}$ [Lm]			
U_a [V]	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]
605	3	0,04	0,89
650	6	0,07	1,46
670	8	0,18	2,22
690	10	0,21	2,88
730	18	0,25	3,44
750	23	0,29	4,06
773	31	0,32	4,68
799	42	0,35	5,18
814	51	0,38	5,68
826	59	0,41	6,3

Tabulka 7: Naměřené hodnoty U_a , I_a , I_{10} a I_{12} pro světelný tok $\Phi = 0,21 \cdot 10^{-4}$ [Lm].

$\Phi = 0,21 \cdot 10^{-4}$ [Lm]			
U_a [V]	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]
635	2	0,02	0,39
711	6	0,05	0,79
755	10	0,07	1,15
804	17	0,1	1,73
822	21	0,11	2,03
850	29	0,14	2,63
872	35	0,15	3,14
885	41	0,18	3,63
897	48	0,19	4,08
915	58	0,22	4,74

5. Zpracování měření

Po výpočet jednotlivých veličin a koeficientů jsem použil následující vztahy.

$$\sigma = \sqrt{\frac{I_{12}}{I_{10}}} \quad (7)$$

$$V = \frac{U_a}{14} \quad (8)$$

$$M = \sigma^{14} \quad (9)$$

$$S = \frac{I_A}{\Phi} \quad (10)$$

$$k = \frac{S}{M} \quad (11)$$

Tabulka 8: Naměřené hodnoty U_a , I_a , I_{10} a I_{12} pro světelný tok $\Phi = 0,90 \cdot 10^{-4}$ [Lm].

$\Phi = 0,90 \cdot 10^{-4}$ [Lm]						
σ	V [V]	$\ln(\sigma/V)$	M [10^7]	S [ALm^{-1}]	I_f [A]	k [10^{-9}ALm^{-1}]
3,335	43,143	-2,560	2,109	0,061	0,261	28,975
3,229	46,429	-2,666	1,341	0,156	1,044	115,961
3,512	47,857	-2,612	4,341	0,211	0,438	48,635
3,703	49,286	-2,588	9,125	0,278	0,274	30,443
3,709	50,286	-2,607	9,340	0,356	0,343	38,070
3,742	51,357	-2,619	10,541	0,422	0,360	40,054
3,824	52,286	-2,615	14,311	0,500	0,314	34,938
3,847	52,929	-2,622	15,554	0,556	0,321	35,719
3,866	53,571	-2,629	16,671	0,622	0,336	37,324
3,920	54,286	-2,628	20,225	0,700	0,311	34,610

Tabulka 9: Naměřené hodnoty U_a , I_a , I_{10} a I_{12} pro světelný tok $\Phi = 0,42 \cdot 10^{-4}$ [Lm].

$\Phi = 0,42 \cdot 10^{-4}$ [Lm]						
σ	V [V]	$\ln(\sigma/V)$	M [10^7]	S [ALm^{-1}]	I_f [A]	k [10^{-9}ALm^{-1}]
4,717	43,214	-2,215	269,967	0,071	0,001	0,265
4,567	46,429	-2,319	171,705	0,143	0,003	0,832
3,512	47,857	-2,612	4,341	0,190	0,184	43,881
3,703	49,286	-2,588	9,125	0,238	0,110	26,094
3,709	52,143	-2,643	9,340	0,429	0,193	45,887
3,742	53,571	-2,661	10,541	0,548	0,218	51,950
3,824	55,214	-2,670	14,311	0,738	0,217	51,575
3,847	57,071	-2,697	15,554	1,000	0,270	64,294
3,866	58,143	-2,711	16,671	1,214	0,306	72,840
3,920	59,000	-2,711	20,225	1,405	0,292	69,455

Tabulka 10: Naměřené hodnoty U_a , I_a , I_{10} a I_{12} pro světelný tok $\Phi = 0,21 \cdot 10^{-4}$ [Lm].

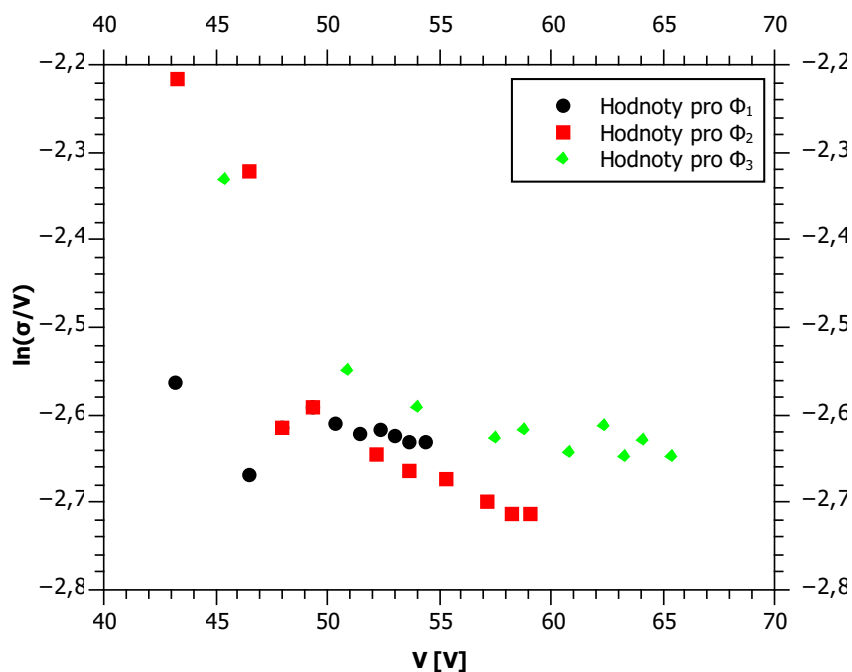
$\Phi = 0,21 \cdot 10^{-4}$ [Lm]						
σ	V [V]	$\ln(\sigma/V)$	M [10^7]	S [ALm^{-1}]	I_f [A]	k [10^{-9}ALm^{-1}]
4,416	45,357	-2,329	107,212	0,095	0,002	0,888
3,975	50,786	-2,548	24,581	0,286	0,024	11,623
4,053	53,929	-2,588	32,300	0,476	0,031	14,743
4,159	57,429	-2,625	46,379	0,810	0,037	17,454
4,296	58,714	-2,615	72,899	1,000	0,029	13,718
4,334	60,714	-2,640	82,565	1,381	0,035	16,726
4,575	62,286	-2,611	176,144	1,667	0,020	9,462
4,491	63,214	-2,645	135,656	1,952	0,030	14,392
4,634	64,071	-2,627	210,545	2,286	0,023	10,856
4,642	65,357	-2,645	215,521	2,762	0,027	12,815

Integrální citlivosti fotokatody k vypočítaný pro jednotlivé světelné toky.

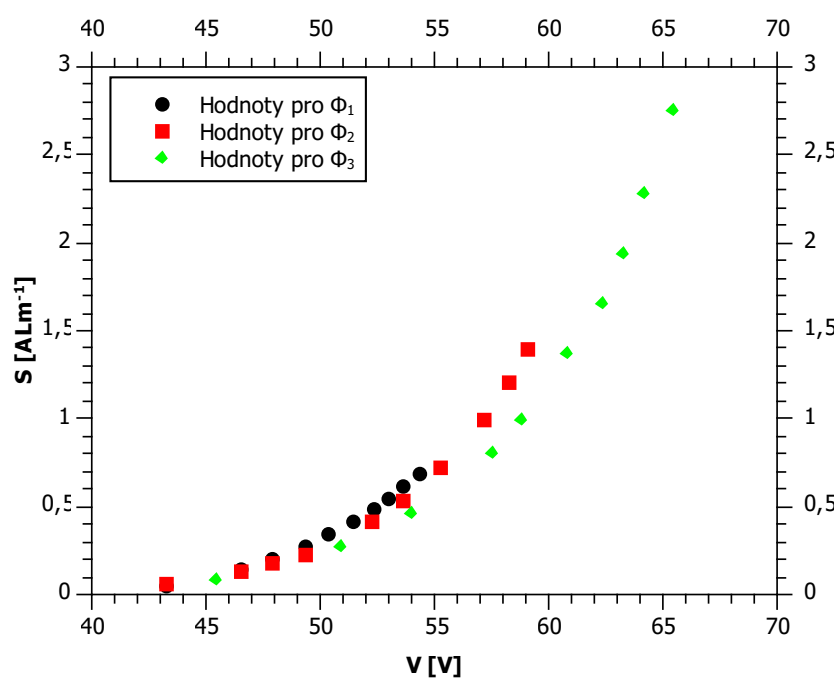
$$k_{90} = (45 \pm 25) \cdot 10^{-9} \text{ALm}^{-1} \quad (12)$$

$$k_{42} = (43 \pm 26) \cdot 10^{-9} \text{ALm}^{-1} \quad (13)$$

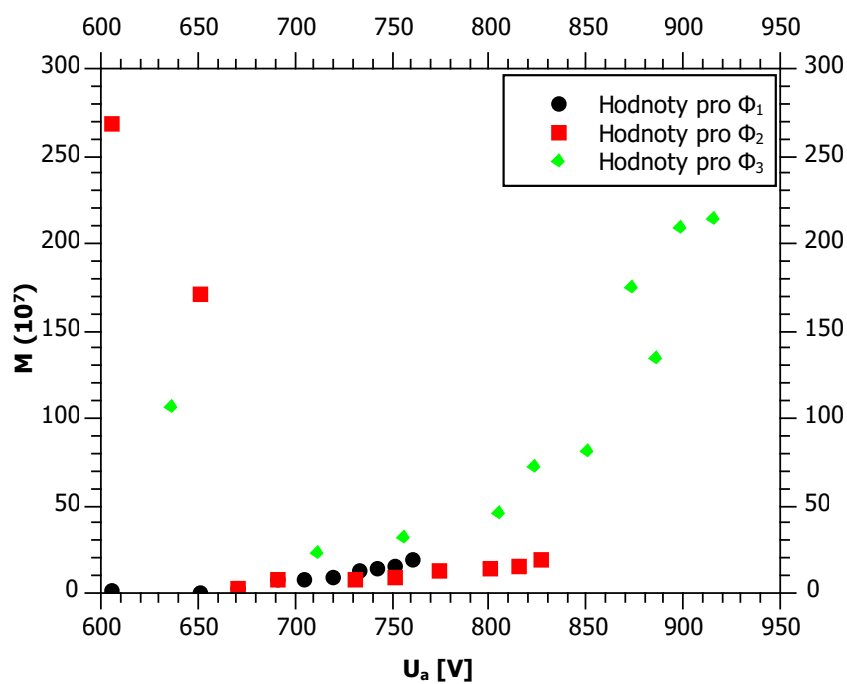
$$k_{21} = (12 \pm 5) \cdot 10^{-9} \text{ALm}^{-1} \quad (14)$$



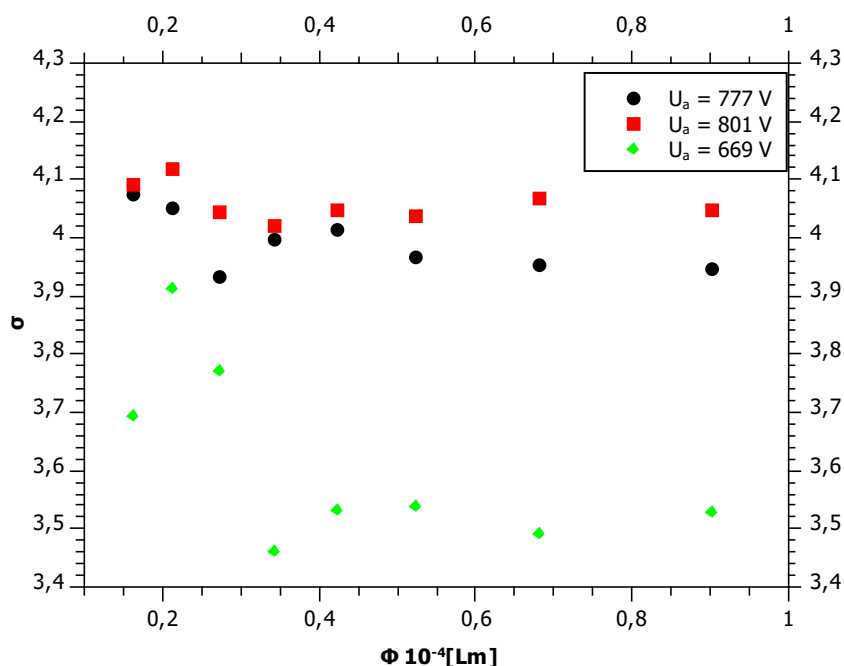
Obrázek 2: Závislost $\ln(\sigma/V)$ na V pro tři hodnoty světelných toků.



Obrázek 3: Závislost S na V pro tři hodnoty světelných toků.



Obrázek 4: Závislost M na U_a pro tři hodnoty světelných toků.



Obrázek 5: Závislost σ na Φ pro tři hodnoty napětí U_a .

6. Závěr

Nejdříve jsem provedl měření temného proudu a z hodnot v tabulce 1 vyhodnotil, že pakliže se nedostanu s měřením nad 900 V nemá smysl žádnou korekci na temný proud provádět. A protože jsem se v této úloze dostal s napětím pouze jedinkrát nad 900 V, žádnou korekci jsem neprováděl.

Dále jsem měřil závislost veličin I_a , I_{10} , I_{12} na U_a pro tři různé světelné toky. Naměřené hodnoty jsou v tabulkách 5, 6 a 7. Z těchto veličin jsem následně dopočítal σ , V , $\ln \sigma / V$, S , I_f , k , které jsou v tabulkách 8, 9, 10. Z každé tabulky jsem určil koeficient integrální citlivosti. To vyjadřují rovnice (12), (13) a (14). Už pouze z odchylek měření je vidět, že toto měření bylo zcela neprůkazné. Protože relativní odchylka u tohoto měření se pohybuje okolo 50 % a koeficient integrální citlivosti fotokatody pro světelný tok $\Phi = 0,21 \cdot 10^{-4} [Lm]$ je zcela odlišný než předchozí dva není možné z měření zjistit zcela nic, krom toho, že bylo z nějakého důvodu velmi nepřesné. Měl jsem dále vynést závislosti $\ln(\sigma / V)$ na V , která je na obrázku 2, závislost S na V , která je na obrázku 3 a závislost M na U_a , která je na obrázku 4. Z prvních dvou závislostí je vidět, že tyto hodnoty se neřídí žádnou závislostí.

Nakonec jsem ověřoval, jestli je koeficient sekundární emise σ nezávislý na světelném toku. Z grafu na obrázku 5 je zřejmé, že z mého měření nelze potvrdit, že koeficient sekundární emise σ nezávisí na světelném toku. I když by totiž měření pro $U_a = 777 V$ a $U_a = 801 V$ poměrně průkazná, protože hledané odchylky hodnot, by byli pouze v chybě měření, tak měření pro $U_a = 669 V$ dosahuje naprosto jiných hodnot.