

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Jakub Juránek

Naměřeno: 17. duben 2013

Obor: UF **Ročník:** II **Semestr:** IV

Testováno:

Úloha č. 1: Studium činnosti fotonásobiče

1. Teorie

Fotonásobič je elektro-optický přístroj používaný pro proměření velmi nízkých světelných intenzit. Využívá dvou druhů elektronové emise - fotoemise a sekundární emise.

Na fotokatodu dopadá bílé světlo o světelném toku Φ , což fotoemisi vyvolá proud elektronů

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

kde k je integrální citlivost fotokatody.

Dopadne-li primární proud elektronů I_{prim} na dynodu, dojde k sekundární emisi a uvolnění sekundárního proudu elektronů I_{sek} , který je dán vztahem

$$I_{sek} = \sigma \cdot I_{prim}, \quad (2)$$

kde σ je koeficient sekundární emise.

Tento koeficient závisí na urychlujícím napětí V mezi sousedními dynodami podle vztahu

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

kde A, μ jsou konstanty závislé na materiálu dynod.

Jelikož je napětí mezi dynodami rozloženo rovnoměrně a jejich součet je roven celkovému anodovému napětí U_a , tedy platí

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

kde n je počet dynod, můžeme předchozí vztah převést do tvaru

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

Celkový proud procházející anodou I_a je tedy dán vztahem

$$I_a = \sigma^n \cdot I_f = M \cdot I_f, \quad (6)$$

kde M je zesílení fotonásobiče.

Kombinací vztahů ?? a ?? dostaneme

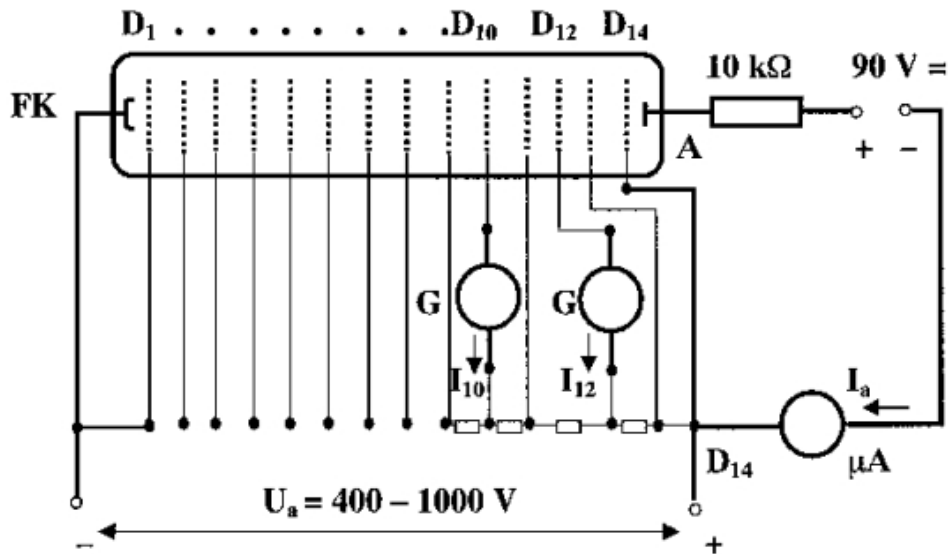
$$I_a = M k \Phi = S \Phi, \quad (7)$$

kde S je integrální citlivost fotonásobiče.

Jelikož fotonásobič dává určitý proud i bez osvětlení, tzv. temný proud, je nutno jej, není-li zanedbatelně malý, z výpočtů odečíst.

2. Měření

Použijeme zapojení fotonásobiče dle následujícího schématu.



Obrázek 1: Schéma elektrického zapojení fotonásobiče.

Máme 14 dynod.

$$n = 14$$

Koeficient sekundární emise určíme tak, že změříme proudy procházející desátou I_{10} a dvanáctou I_{12} dynodou a užijeme vztahu

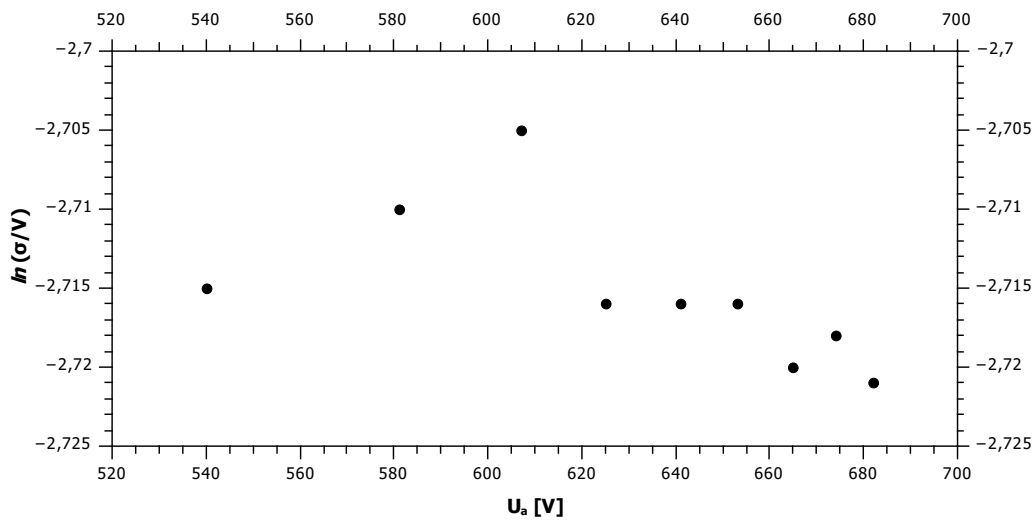
$$\sigma = \sqrt{\frac{I_{12}}{I_{10}}}. \quad (8)$$

Nejprve naměříme pro čtyři různé světelné toky hodnoty U_a, I_a, I_{10}, I_{12} a to pro hodnoty $I_a = 10 - 90 \mu\text{A}$, a dopočteme ostatní výše uvedené veličiny.

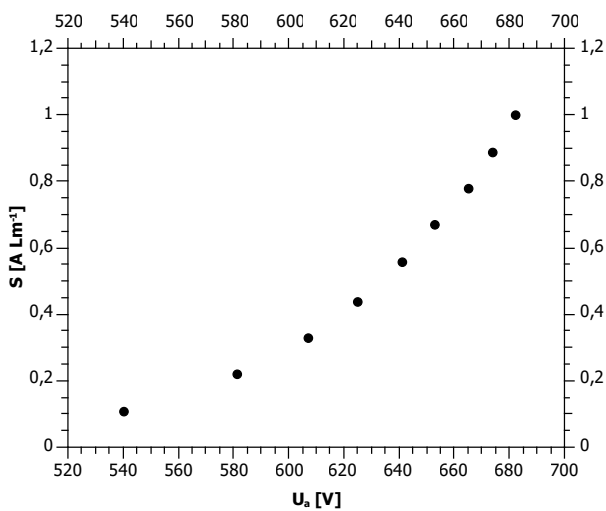
Graficky stanovíme závislosti sekundární emise na anodovém napětí užitím vztahu ??, která by tedy měla být lineární.

Dále pak závislosti integrální citlivosti fotonásobiče a zesílení fotonásobiče na anodovém napětí, tedy $S = f(U_a)$ a $M = f(U_a)$.

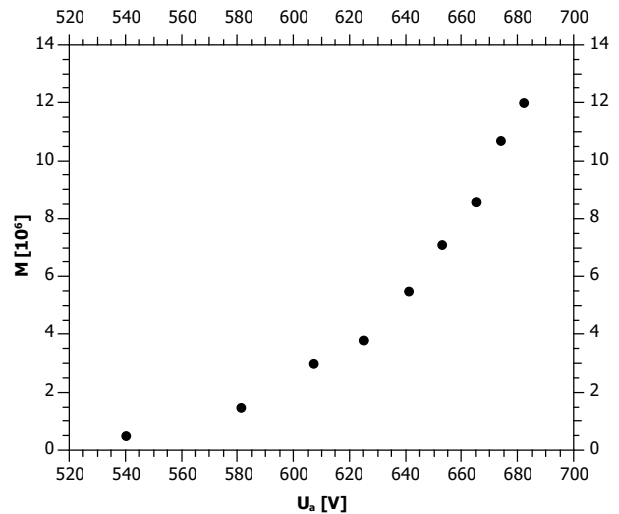
Klín č. 1: $\Phi_1 = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ Lm}$										
$U_a[\text{V}]$	$I_a[\mu\text{A}]$	$I_{10}[\mu\text{A}]$	$I_{12}[\mu\text{A}]$	σ	$V(\text{V})$	$\ln(\sigma/V)$	$M[10^6]$	$S[\text{A Lm}^{-1}]$	$I_f[\text{pA}]$	$k[10^{-9} \text{ A Lm}^{-1}]$
540	10	0,23	1,5	2,55	38,6	-2,715	0,5	0,11	19,9	221
581	20	0,38	2,9	2,76	41,5	-2,710	1,5	0,22	13,3	147
607	30	0,50	4,2	2,90	43,4	-2,705	3,0	0,33	10,2	113
625	40	0,62	5,4	2,95	44,6	-2,716	3,8	0,44	10,5	117
641	50	0,73	6,7	3,03	45,8	-2,716	5,5	0,56	9,1	101
653	60	0,83	7,9	3,09	46,6	-2,716	7,1	0,67	8,5	94
665	70	0,94	9,2	3,13	47,5	-2,720	8,6	0,78	8,1	90
674	80	1,02	10,3	3,18	48,1	-2,718	10,7	0,89	7,5	83
682	90	1,12	11,5	3,20	48,7	-2,721	12,0	1,00	7,5	83



Obrázek 2: Závislost $\ln(\sigma/V) = f(U_a)$ pro Φ_1 .

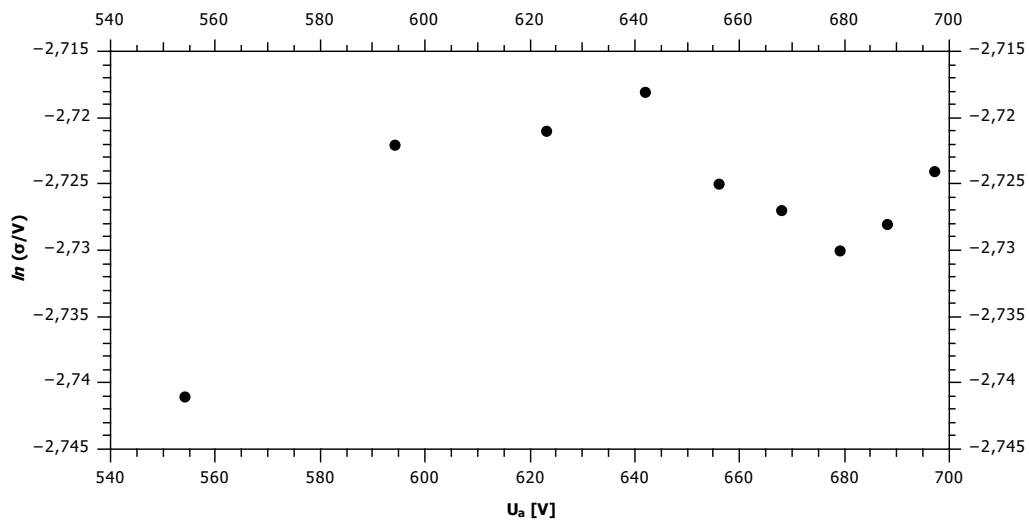


Obrázek 3: Závislost $S = f(U_a)$ pro Φ_1 .

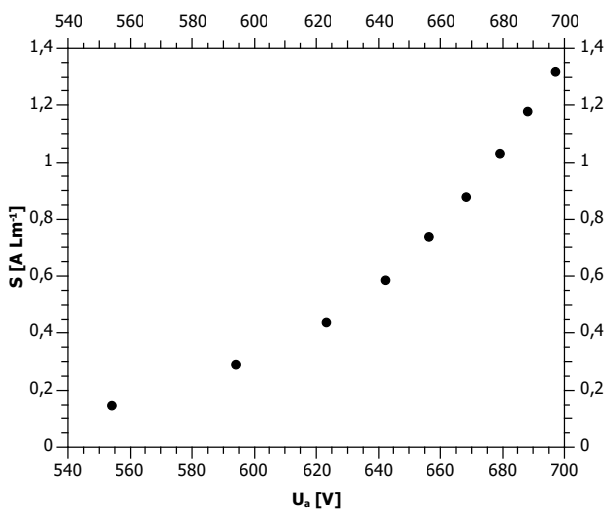


Obrázek 4: Závislost $M = f(U_a)$ pro Φ_1 .

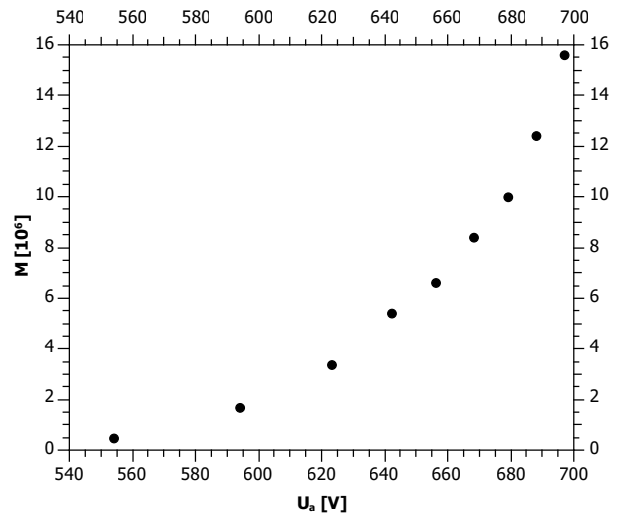
Klín č. 2: $\Phi_2 = 0,68 \cdot 10^{-4}$ Lm										
U_a [V]	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]	σ	V (V)	$\ln(\sigma/V)$	M [10^6]	S [A Lm $^{-1}$]	I_f [pA]	k [10^{-9} A Lm $^{-1}$]
554	10	0,23	1,5	2,55	39,6	-2,741	0,5	0,15	19,9	293
594	20	0,36	2,8	2,79	42,4	-2,722	1,7	0,29	11,6	171
623	30	0,49	4,2	2,93	44,5	-2,721	3,4	0,44	8,8	130
642	40	0,60	5,5	3,03	45,9	-2,718	5,4	0,59	7,4	108
656	50	0,70	6,6	3,07	46,9	-2,725	6,6	0,74	7,5	111
668	60	0,80	7,8	3,12	47,7	-2,727	8,4	0,88	7,2	105
679	70	0,89	8,9	3,16	48,5	-2,730	10,0	1,03	7,0	103
688	80	0,98	10,1	3,21	49,1	-2,728	12,4	1,18	6,5	95
697	90	1,06	11,3	3,27	49,8	-2,724	15,6	1,32	5,8	85



Obrázek 5: Závislost $\ln(\sigma/V) = f(U_a)$ pro Φ_2 .

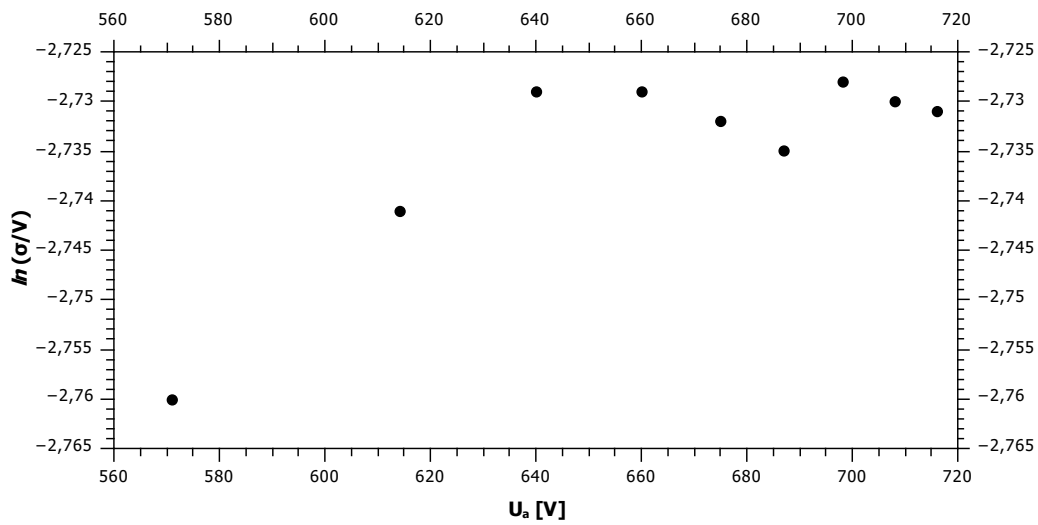


Obrázek 6: Závislost $S = f(U_a)$ pro Φ_2 .

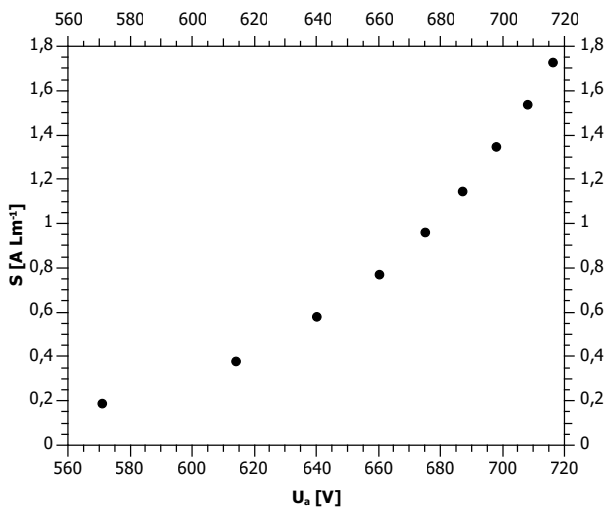


Obrázek 7: Závislost $M = f(U_a)$ pro Φ_2 .

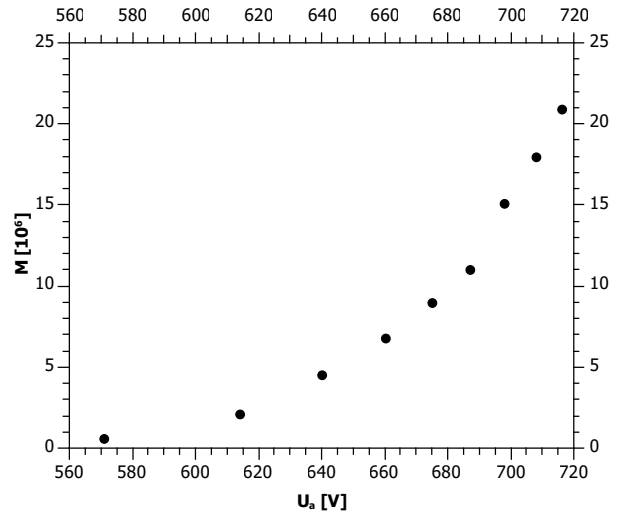
Klín č. 3: $\Phi_3 = 0,52 \cdot 10^{-4} \text{ Lm}$										
$U_a[\text{V}]$	$I_a[\mu\text{A}]$	$I_{10}[\mu\text{A}]$	$I_{12}[\mu\text{A}]$	σ	$V(\text{V})$	$\ln(\sigma/V)$	$M[10^6]$	$S[\text{A Lm}^{-1}]$	$I_f[\text{pA}]$	$k[10^{-9} \text{ A Lm}^{-1}]$
571	10	0,21	1,4	2,58	40,8	-2,760	0,6	0,19	17,1	329
614	20	0,35	2,8	2,83	43,9	-2,741	2,1	0,38	9,5	183
640	30	0,46	4,1	2,99	45,7	-2,729	4,5	0,58	6,7	129
660	40	0,56	5,3	3,08	47,1	-2,729	6,8	0,77	5,9	113
675	50	0,66	6,5	3,14	48,2	-2,732	9,0	0,96	5,6	107
687	60	0,74	7,5	3,18	49,1	-2,735	11,0	1,15	5,5	105
698	70	0,82	8,7	3,26	49,9	-2,728	15,1	1,35	4,6	89
708	80	0,91	9,9	3,30	50,6	-2,730	18,0	1,54	4,4	85
716	90	0,99	11,0	3,33	51,1	-2,731	20,9	1,73	4,3	83



Obrázek 8: Závislost $\ln(\sigma/V) = f(U_a)$ pro Φ_3 .

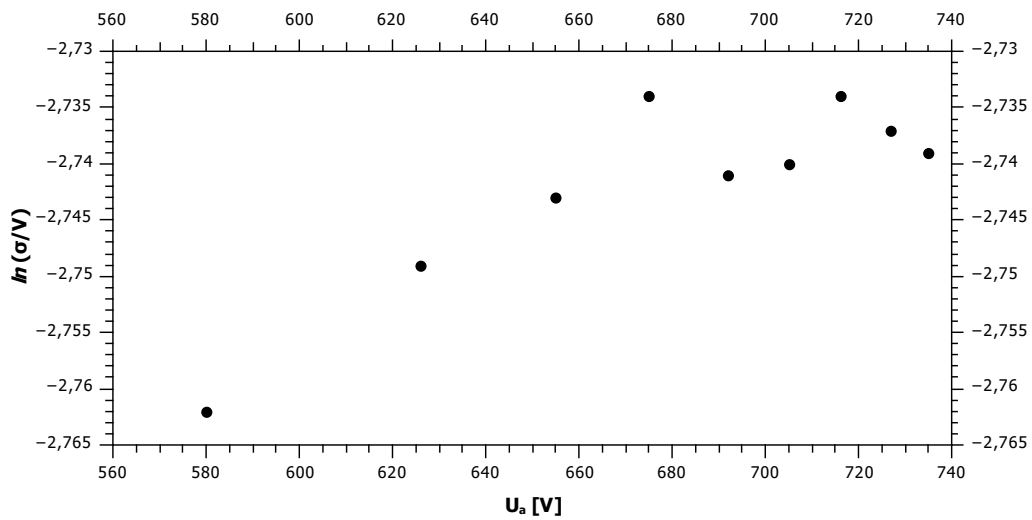


Obrázek 9: Závislost $S = f(U_a)$ pro Φ_3 .

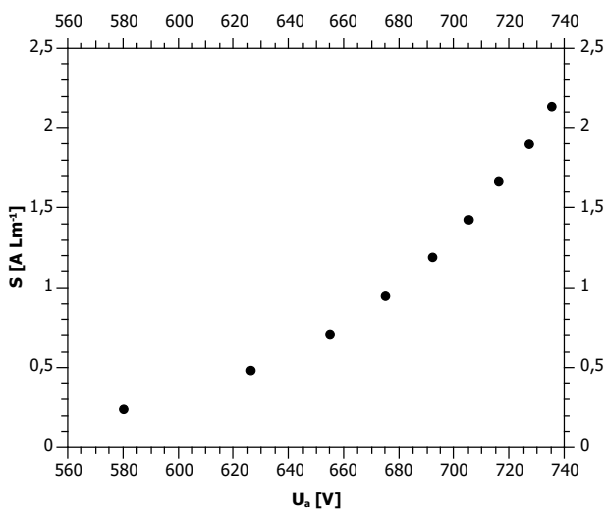


Obrázek 10: Závislost $M = f(U_a)$ pro Φ_3 .

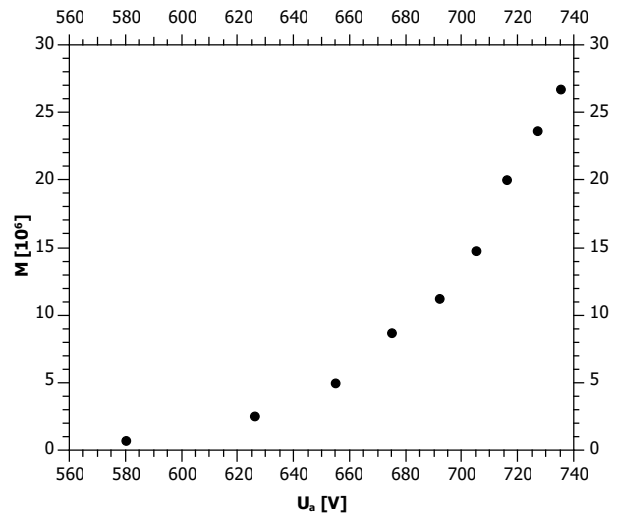
Klín č. 4: $\Phi_4 = 0,42 \cdot 10^{-4}$ Lm										
U_a [V]	I_a [μ A]	I_{10} [μ A]	I_{12} [μ A]	σ	V (V)	$\ln(\sigma/V)$	M [10^6]	S [A Lm $^{-1}$]	I_f [pA]	k [10^{-9} A Lm $^{-1}$]
580	10	0,19	1,3	2,62	41,4	-2,762	0,7	0,24	14,2	339
626	20	0,33	2,7	2,86	44,7	-2,749	2,5	0,48	8,1	194
655	30	0,43	3,9	3,01	46,8	-2,743	5,0	0,71	5,9	141
675	40	0,52	5,1	3,13	48,2	-2,734	8,7	0,95	4,6	109
692	50	0,61	6,2	3,19	49,4	-2,741	11,2	1,19	4,5	106
705	60	0,69	7,3	3,25	50,4	-2,740	14,8	1,43	4,0	96
716	70	0,77	8,5	3,32	51,1	-2,734	20,0	1,67	3,5	83
727	80	0,84	9,5	3,36	51,9	-2,737	23,7	1,90	3,4	80
735	90	0,93	10,7	3,39	52,5	-2,739	26,7	2,14	3,4	80



Obrázek 11: Závislost $\ln(\sigma/V) = f(U_a)$ pro Φ_4 .



Obrázek 12: Závislost $S = f(U_a)$ pro Φ_4 .



Obrázek 13: Závislost $M = f(U_a)$ pro Φ_4 .

Nyní ověříme, že koeficient sekundární emise σ nezávisí na osvětlení fotokatody. Nastavíme si tedy pevné anodové napětí U_a a proměříme pro něj, přes I_{10} a I_{12} , hodnoty σ pro všechny možné polohy klínu, tedy pro všechny dostupné hodnoty Φ .

$$U_a = 694 \text{ V}$$

$\Phi [10^{-4} \text{ Lm}]$	$I_{10} [\mu\text{A}]$	$I_{12} [\mu\text{A}]$	σ
0,90	1,22	12,4	3,19
0,68	1,00	10,1	3,18
0,52	0,79	7,9	3,16
0,42	0,62	6,1	3,14
0,34	0,49	4,9	3,16
0,27	0,37	3,7	3,16
0,21	0,28	2,8	3,16
0,16	0,22	2,2	3,16

Vidíme zde, že až na nepřesnost měření je σ všude stejné, tedy nezávisí na osvětlení fotokatody.

Nakonec bychom měli ještě proměřit vliv temného proudu. Vypneme tedy zdroj světla a proměříme temné proudy pro anodová napětí, která jsme používali, tedy pro $U_a = 400 - 750 \text{ V}$. Dostáváme zde tak nízké hodnoty proudů, že nám je měřicí přístroje neukazují. Díky tomu není tedy nutné korekci temného proudu provádět a předešlé naměřené hodnoty a závislosti jsou vůči temnému proudu v pořádku.

3. Závěr

Pro čtyři různé polohy klínu, tedy pro čtyři různé světelné toky, jsme proměřili a dopočetli hodnoty nejrůznějších veličin v závislosti na anodovém napětí.

Do grafu jsme vynesli závislosti $\ln(\sigma/V)$, integrální citlivosti fotonásobiče a zesílení fotonásobiče na anodovém napětí. Pohledem se snadno přesvědčíme, že odpovídající si závislosti pro různé světelné toky mají stejný průběh.

Pro jednu konstantní hodnotu anodového napětí jsme ověřili, že koeficient sekundární emise nezávisí na osvětlení fotokatody.

Během výpočtů jsme nedělali korekci temného proudu, ovšem na konci jsme se přesvědčili, že tento vliv je neměřitelně malý, vůči našim hodnotám proudů, a tato korekce tak ani potřeba nebyla.