Pracovní úkol

1. Změřte voltampérové charakteristiky fotonek GKE, GKV.
2. Rozborem charakteristik zjistěte, která z nich je vakuová a která je plynem plněná.
3. Změřte VA charakteristiky vakuové fotonky pro záporné hodnoty anodového napětí.
4. Zpracováním výsledků měření určete hodnotu Planckovy konstanty.

Teorie

Vakuové a plynové fotonky pracují na rincipu vnějšího fotoefektu. Při vnějším fotoefektu jsou z povrchu elektrody emitovány elektrony vlivem dopadajícího elektromagnetického záření. Fotonky mají podobu baňky vyplněné vakuem či inertním plynem tlaku přibližně 10kPa. Vnitřek baňky je postříbřen. Uvnitř baňky je anoda, naproti vstupnímu okénku je umístěna na stříbrném podkladě fotokatoda.
Při osvětlení katody prochází fotonkou proud I pokud má anoda vůči katodě kladné napětí U. Ve vakuových fotonkách při malých napětích je proud omezován prostorovým nábojem a roste s rostoucím napětím. Poté co dosáhneme stavu nasyceného proudu se již proud s rostoucím napětím téměř nemění. Avšak v plynových fotonkách při stále se zvyšujícím napětím dojde k dalšímu růstu proudu díky lavinové ionizaci plynu.

Planckova konstanta *h* lze určit z Einsteinova vztahu:

$$E_k = h\nu - A \qquad (1)$$

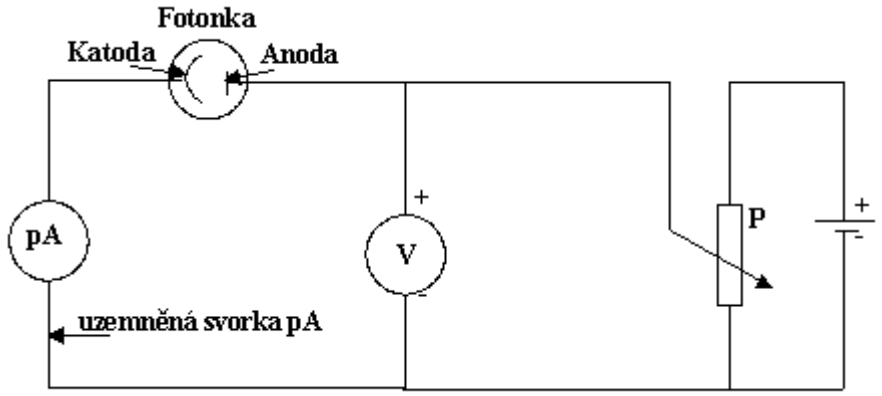
kde E_k je kinetická energie vyletujících elektronů z tofokatody, *v* frekvence dopadajícího elektromagnetického záření a A je energie potřebná k uvolnění elektronu z katody označovaná také jako výstupní práce.
Proměříme závislost napětí na anodě v závěrném směru fotonky. Napětí v závěrném směru označíme –U=V. Rozdíl potenciálu elektrického pole mezi anodou a katodou je V+K, kde K je tzv. kontaktní potenciál. Na anodu dopadnou pouze elektrony s dostatečnou kinetickou energií na překonání potenciálového rozdílu. S rostoucím závěrným napětím proud klesá k nule. Pro napětí větší než kritická hodnota V_0 je proud nulový.
Zlom V-A charakteristiky při hodnotě V_0 nebude v praxi zcela ostrý. Tuto hodnotu získáme extrapolací charakteristiky k nulové hodnotě proudu.
Platí:

$$e(V_0 + K) = h\nu - A \qquad (2)$$

$V_0 = V_0(\nu)$, veličiny K, A jsou nezávislé na frekvenci dopadajícího záření. Lze tedy určit hodnotu závěrného napětí pomocí lineární regrese.

$$V_0(\nu) = a\nu + b \qquad (3)$$

kde $a = \frac{h}{e}$, $b = -\frac{A}{e} - K$.
Ze získaného parametru a tedy určíme snadno hledanou hodnotu Planckovy konstanty.
Pro měření V-A charakteristik byl použit obvod zakreslený na obr.1.



obr.1 – zapojení pro měření V-A charakteristiky fotonek

Výsledky měření

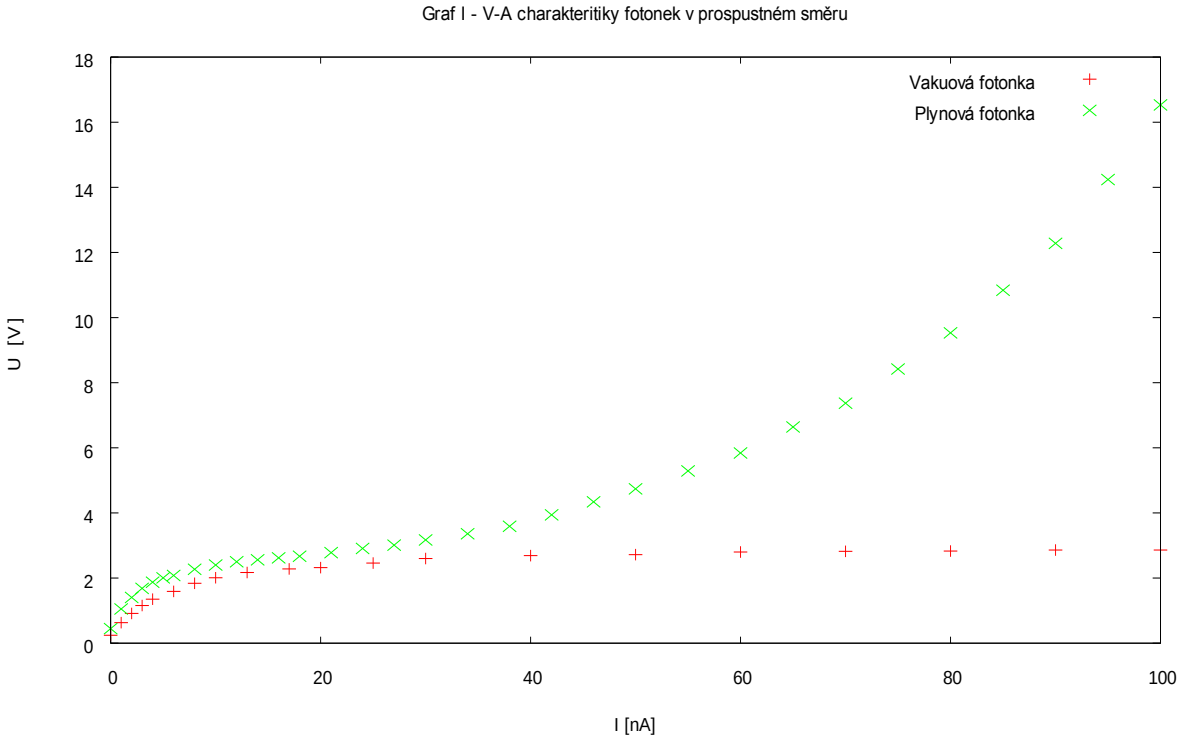
Nejprve jsme proměřili voltampérové charakteristiky obou fotonek v propustném směru. Pro osvětlení fotonek jsme používali Hg výbojku.

Tabulka I – V-A charakteristiky v propustném směru

fotonka 1		fotonka 2	
U [V]	I [nA]	U [V]	I [nA]
0	0,45	0	0,24
1	1,05	1	0,63
2	1,40	2	0,91
3	1,68	3	1,16
4	1,87	4	1,35
5	2,01	6	1,59
6	2,08	8	1,84
8	2,27	10	2,01
10	2,40	13	2,17
12	2,50	17	2,28
14	2,56	20	2,32
16	2,62	25	2,46
18	2,67	30	2,60
21	2,78	40	2,69
24	2,91	50	2,72
27	3,01	60	2,80
30	3,17	70	2,82
34	3,36	80	2,83
38	3,59	90	2,86
42	3,94	100	2,86
46	4,34		
50	4,74		
55	5,29		
60	5,84		
65	6,64		
70	7,37		
75	8,42		
80	9,53		
85	10,84		
90	12,28		
95	14,24		
100	16,53		

Naměřené hodnoty jsem zpracovala také graficky do Grafu I. Z něj je již zcela zřejmé, že fotonka 1 je plynová, fotonka 2 je vakuová. Tu také použijeme dále pro nalezení Planckovy konstanty.

Chyba měřícího přístroje při rozsahu 20μA je 0,1%, chyba určení napětí je také 0,1%.

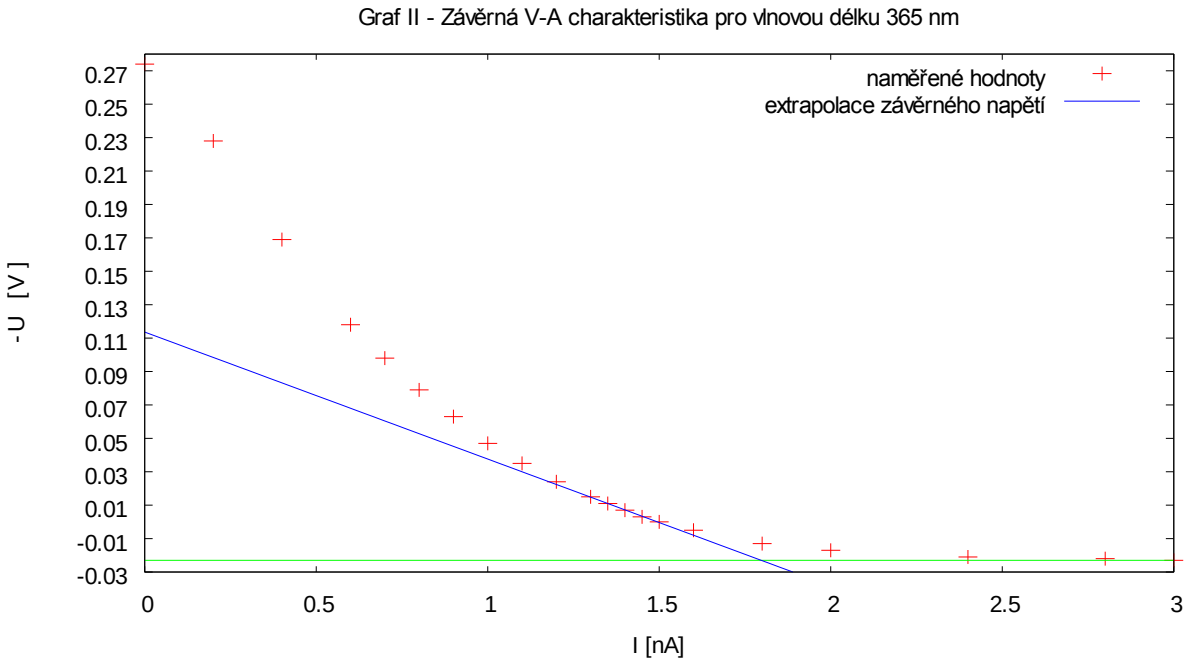


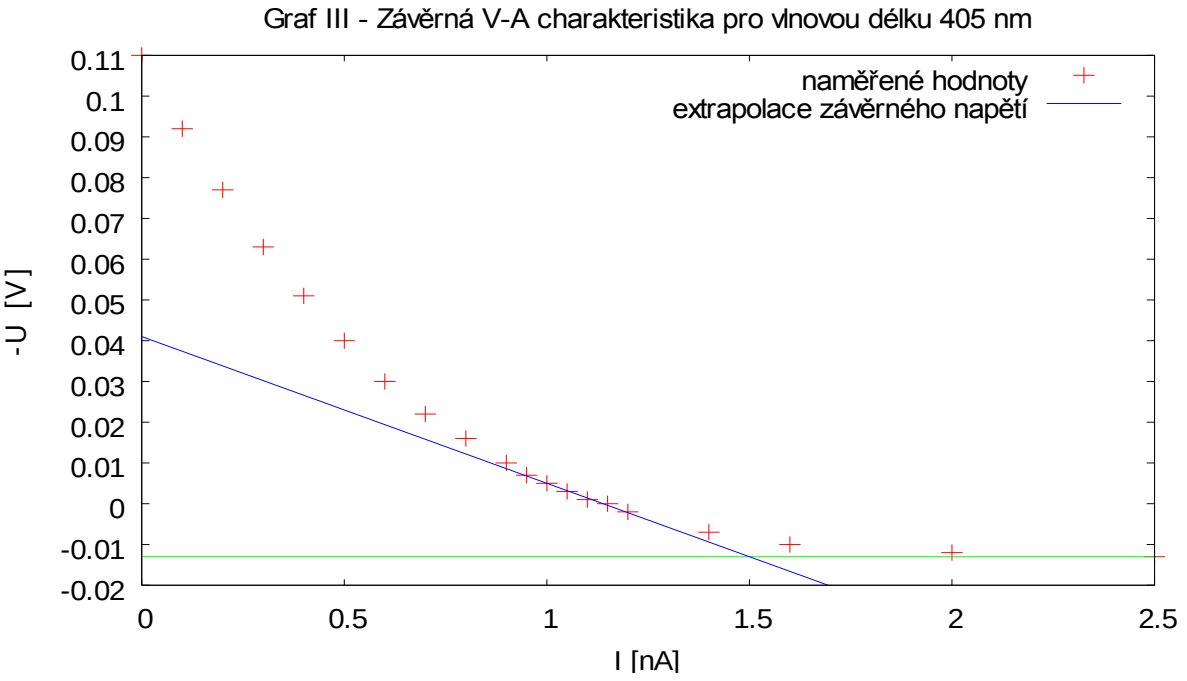
Pro určení Planckovy konstanty jsme naměřili V-A charakteristiku vakuové fotonky v závěrném směru při osvětlení vlnovými délkami 365 nm, 405 nm, 436 nm, 546 nm a 577/79 nm. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce II.

Tabulka II – V-A charakteristika vakuové fotonky pro závěrný směr při osvícení různými vlnovými délkami

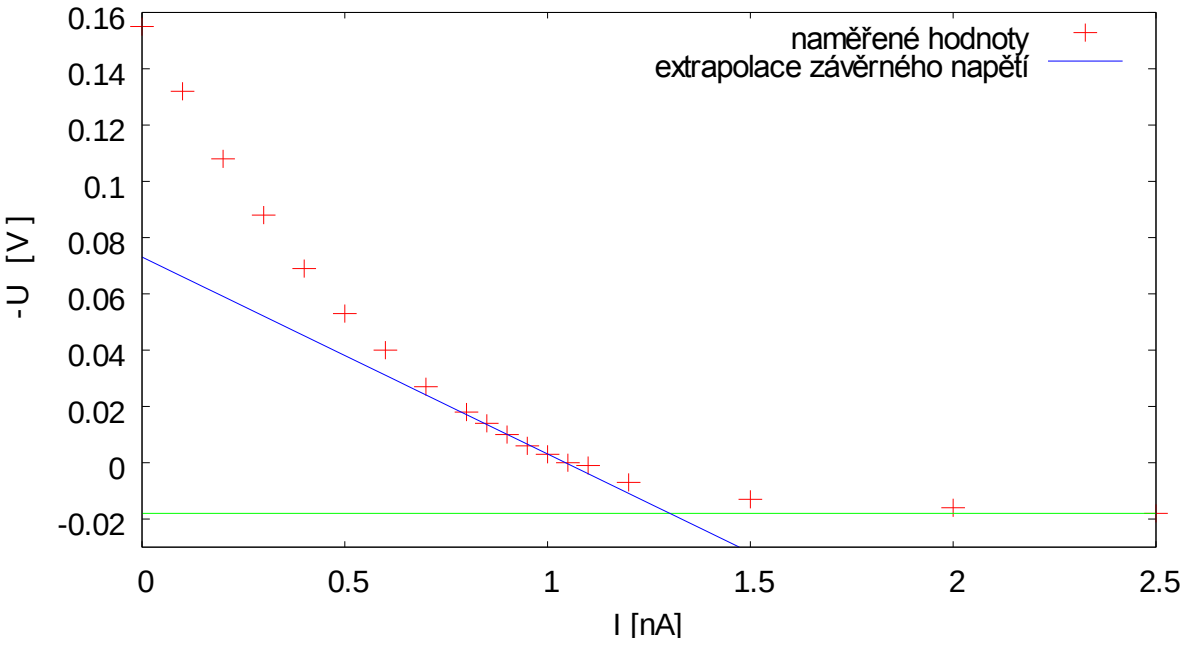
546 nm		577/79 nm		436 nm		405 nm		365 nm	
- U [V]	I [nA]	- U [V]	I [nA]	- U [V]	I [nA]	- U [V]	I [nA]	- U [V]	I [nA]
0,00	0,242	0,00	0,073	0,00	0,155	0,00	0,110	0,00	0,274
0,10	0,197	0,10	0,057	0,10	0,132	0,10	0,092	0,20	0,228
0,20	0,163	0,20	0,042	0,20	0,108	0,20	0,077	0,40	0,169
0,30	0,116	0,30	0,030	0,30	0,088	0,30	0,063	0,60	0,118
0,40	0,810	0,35	0,022	0,40	0,069	0,40	0,051	0,70	0,098
0,45	0,066	0,40	0,016	0,50	0,053	0,50	0,040	0,80	0,079
0,50	0,050	0,45	0,011	0,60	0,040	0,60	0,030	0,90	0,063
0,55	0,036	0,50	0,006	0,70	0,027	0,70	0,022	1,00	0,047
0,60	0,024	0,55	0,002	0,80	0,018	0,80	0,016	1,10	0,035
0,65	0,013	0,60	0,000	0,85	0,014	0,90	0,010	1,20	0,024
0,70	0,005	0,70	-0,004	0,90	0,010	0,95	0,007	1,30	0,015
0,75	0,000	1,00	-0,008	0,95	0,006	1,00	0,005	1,35	0,011
0,80	-0,006	1,50	-0,008	1,00	0,003	1,05	0,003	1,40	0,007
0,90	-0,013	2,00	-0,008	1,05	0,000	1,10	0,001	1,45	0,003
1,00	-0,016			1,10	-0,001	1,15	0,000	1,50	0,000
1,50	-0,020			1,20	-0,007	1,20	-0,002	1,60	-0,005
2,00	-0,022			1,50	-0,013	1,40	-0,007	1,80	-0,013
2,80	-0,024			2,00	-0,016	1,60	-0,010	2,00	-0,017
3,00	-0,028			2,50	-0,018	2,00	-0,012	2,40	-0,021
						2,50	-0,013	2,80	-0,022
								3,00	-0,023

Získané hodnoty jsme zpracovali programem Gnuplot do Grafů II – VI. V nich jsme extrapolací charakteristiky nalezli hodnoty kritického napětí V_0 pro každou z pěti použitých vlnových délek dopadajícího záření. Ty jsou uvedeny v Tabulce II.
Zelená přímka v Grafech II – VI znázorňuje hodnotu napětí, při kterém se již proud vůbec neměnil. Průnik našeho proložení s touto přímkou je hledaná hodnota V_0.

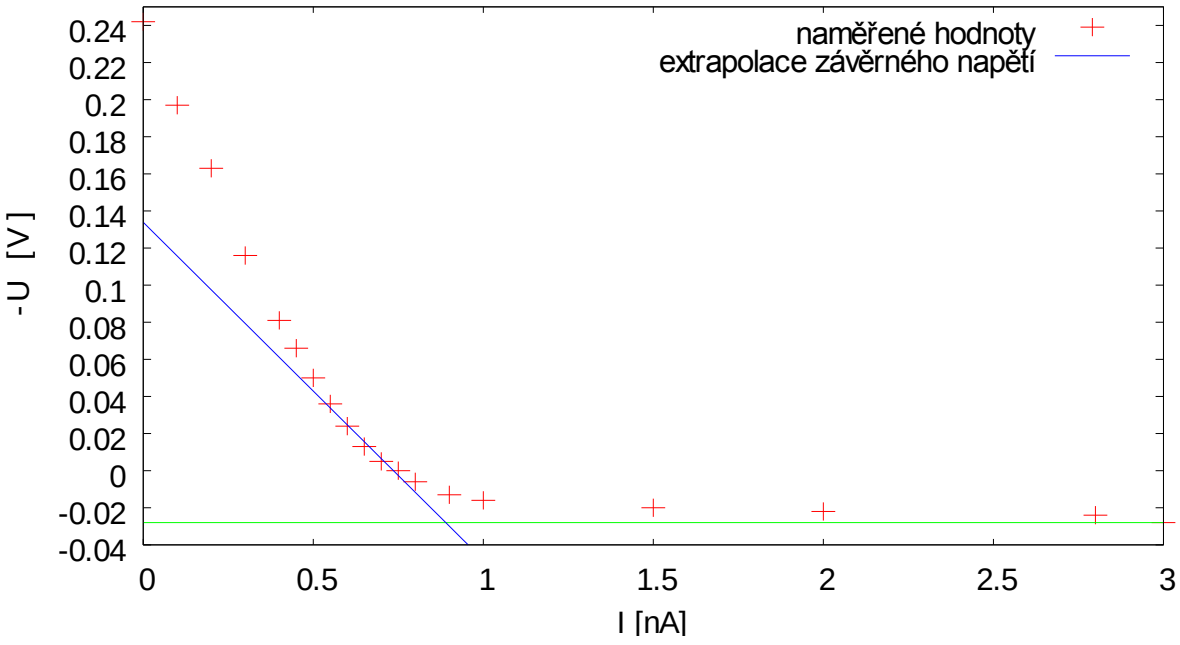


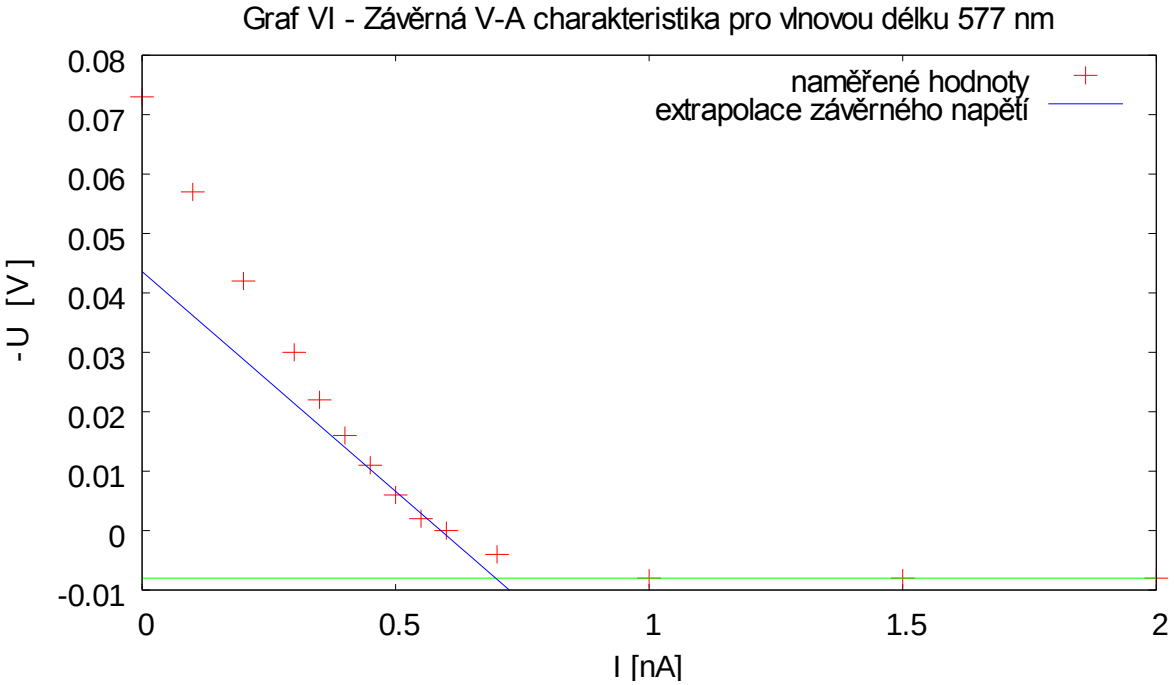


Graf IV - Závěrná V-A charakteristika pro vlnovou délku 436 nm



Graf V - Závěrná V-A charakteristika pro vlnovou délku 546 nm



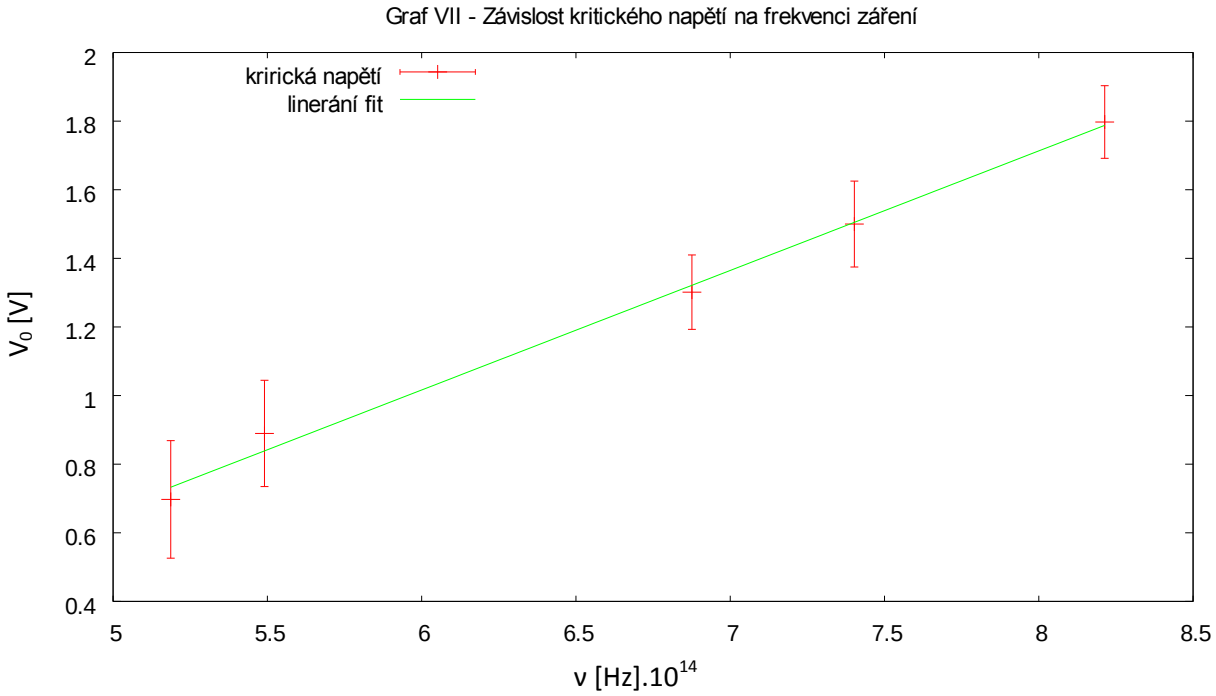


Tabulka II – Hodnoty kritického napětí v závislosti na frekvenci světla dopadajícího na fotokatodu

λ [nm]	v [Hz].10^{14}	V_0 [V]	σ_{V0} [V]
365	8,21	1,80	0,11
405	7,40	1,50	0,13
436	6,88	1,30	0,11
546	5,49	0,89	0,15
578	5,19	0,70	0,17

Chyba σ_{V0} je dána chybou fitu jednotlivých charakteristik.

V Grafu VII je znázorněna závislost kritického napětí V_0 na frekvenci dopadajícího záření. Tuto závislost jsme fitovali pomocí vztahu (3).



Směnice $a = (0{,}35 \pm 0{,}02).10^{-14}\ V$

$b = (-1{,}07 \pm 0{,}10).10^{-14}\ V$

Planckova konstanta je tedy:

$h = (5{,}6 \pm 0{,}2).10^{-34}\ J.s$

Chyba určení Planckovy konstanty je určená pouze chybou fitu. Po uvážení chyb jednotlivých hodnot V_0 získáváme:

$\mathbf{h = (5{,}6 \pm 1{,}0).10^{-34}\ J.s}$

Diskuze

Ze změřených V-A charakteristik v propustném směru bylo zcela zřejmé, která fotonka je plynová a která vakuová. V Grafu I je jasně vidět nárůst proudu díky lavinovému efektu u plynové fotonky zhruba za hranicí U=30V. Oproti tomu u vakuové fotonky se proud při napětí asi U=20V nasytil a dále se měnil jen nepatrně.

K určení hodnot kritického napětí V_0 jsme vždy použili 4 až 5 naměřených hodnot před dosažením proudu I=0. Hodnotu proudu, při kterém se proud ustálí jsme určili z poslední naměřené hodnoty proudu. Při měření se na této hodnotě proud neměnil vždy alespoň 0,3V před a za uvedenou hodnotou napětí.

Lineární regresí jsme získali hodnotu Planckovy konstanty $\mathbf{h = (5{,}6 \pm 1{,}0).10^{-34}\ J.s}$. Tato hodnota se na okraji své chyby shoduje s tabulkovou [2]. Liší se od tabulkové hodnoty o 16%. Největší vliv na tuto chybu mají chyby jednotlivých V_0. Dále také je do ní započítána chyb fitu vypočítaná programem Gnuplot.

Závěr

Proměřením voltampérových charakteristik dvou fotonek jsme určili, že první měřená fotonka je plynová, druhá pak vakuová (viz Graf I, Tabulka I).

Proměřením závěrných charakteristik vakuové fotonky pro pět různých vlnových délek dopadajícího záření jsme určili hodnoty závěrného napětí (viz Grafy II – VI, Tabulka II). Ze závislosti tohoto napětí na frekvenci jsme určili Planckovu konstantu.

$\mathbf{h = (5{,}6 \pm 1{,}0).10^{-34}\ J.s}$

Tabulovaná hodnota [2] je $h = 6{,}626.10^{-34}\ J.s$

Použitá literatura

[1] http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp - Studijní text k úloze

[2] Brož , J. a kol.: Fyzikální a matematické tabulky., SNTL , Praha, 1980