

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV – Jaderná a subjaderná fyzika

Úloha č. A9

Název: Studium fotoelektrického jevu. Určení Planckovy konstanty.

Pracoval: Radim Pechal

dne 3. listopadu 2009

Odevzdal dne:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

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 V–A charakteristiky vakuové fotonky pro záporné hodnoty anodového napětí.
4. Zpracováním výsledků měření určete hodnotu Planckovy konstanty.

Teoretický úvod

Fotonka je skleněná baňka, která má dvě elektrody – anodu a katodu. Vnitřní prostor je buď vyčerpán, nebo plněn plynem. Při osvětlení jednoho z vývodů dochází k vnějšímu fotoefektu. Dopadající fotony dodávají elektronům dostatečnou energii tak, že kinetická energie elektronů je vyšší, než je výstupní práce elektronu. Elektronů pak opouštějí katodu a při přivedení dostatečného napětí na katodu a anodu, začne fotonkou protékat elektrický proud. Můžeme pak měřit závislost elektrického proudu I na napětí U při daném osvětlení.

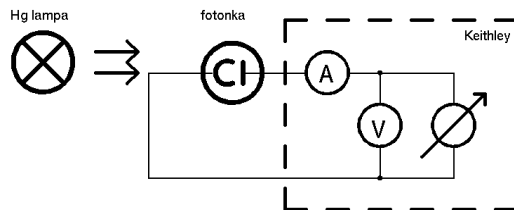
V případě, že je baňka fotonky vyčerpána (mluvíme pak o vakuové fotonce), je pro malá napětí závislost proudu na napětí rostoucí. Po dosažení nasyceného proudu se proud již nezvyšuje a závislost je konstantní. V tomto případě všechny elektrony z katody, které jsou uvolněny dopadajícími fotony, přecházejí působením elektrického pole k anodě. U plynové fotonky je průběh V–A charakteristiky pro malá napětí stejný. Pro vyšší hodnoty dochází k ionizaci plynu a tím i k nárůstu proudu po dosažení nasyceného proudu.

Pokud změníme polaritu přivedeného napětí, může fotonkou protékat proud elektronů, které jsou brzděny přivedeným napětím a při dosažení dostatečného napětí U_0 proud vymizí úplně. Hodnotu tohoto napětí můžeme odečíst z V–A charakteristiky. Při osvětlení katody dochází také k osvětlení anody, které se projevuje proudem I_S . Kritická hodnota napětí U_0 (které se dosáhne při proudu I_S) je dle [1] dána vztahem

$$U_0(\vartheta) = \frac{h}{e}\vartheta - A - \frac{K}{e}, \quad (1)$$

kde h je Planckova konstanta, e je náboj elektronu, ϑ je frekvence dopadajícího světla A je výstupní práce elektronů a K je kontaktní potenciál. Pokud naměříme závislost U_0 na ϑ můžeme z velikosti směrnice určit hodnotu Planckovy konstanty.

Uspořádání experimentu je znázorněno na obrázku 1. Základem měření je přístroj Keithley, který v rámci nastavených mezí mění s určeným krokem napětí a zaznamenává proud.



Obr 1.: Uspořádání experimentu.

Výsledky měření

Nejdříve jsem měřil V–A charakteristiky v propustném směru u předložených fotonek GKV a GKE. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 1 a znázorněny v grafu 1. Podle teoretických předpokladů je fotonka GKE plněná plynem a fotonka GKV vakuována.

Dále jsem měřil závěrné charakteristiky fotonky při osvětlení světly různých vlnových délek. Data jsem zapsal v tabulce 3. Z naměřených charakteristik jsem zjistil několik údajů. Charakteristiky byly klesající až do určitého bodu, kde začaly být v rámci chyby měření konstantní. Tento

U [V]	I_{GKV} [nA]	I_{GKE} [nA]	U [V]	I_{GKV} [nA]	I_{GKE} [nA]
0,000 ± 0,011	0,360 ± 0,006	0,500 ± 0,006	27,00 ± 0,05	3,28 ± 0,04	3,42 ± 0,04
1,000 ± 0,011	0,710 ± 0,006	1,180 ± 0,006	28,00 ± 0,05	3,30 ± 0,04	3,46 ± 0,04
2,000 ± 0,011	1,040 ± 0,006	1,580 ± 0,006	29,00 ± 0,05	3,31 ± 0,04	3,50 ± 0,04
3,000 ± 0,011	1,340 ± 0,006	1,880 ± 0,006	30,00 ± 0,05	3,33 ± 0,04	3,55 ± 0,04
4,000 ± 0,011	1,560 ± 0,006	2,11 ± 0,04	33,00 ± 0,05	3,40 ± 0,04	
5,000 ± 0,011	1,670 ± 0,006	2,27 ± 0,04	34,00 ± 0,05	3,41 ± 0,04	
6,000 ± 0,011	1,800 ± 0,006	2,39 ± 0,04	35,00 ± 0,05	3,44 ± 0,04	3,84 ± 0,04
7,000 ± 0,011	1,970 ± 0,006	2,52 ± 0,04	36,00 ± 0,05	3,50 ± 0,04	
8,000 ± 0,011	2,09 ± 0,04	2,61 ± 0,04	37,00 ± 0,05	3,55 ± 0,04	
9,000 ± 0,011	2,20 ± 0,04	2,69 ± 0,04	38,00 ± 0,05	3,61 ± 0,04	
10,00 ± 0,05	2,32 ± 0,04	2,76 ± 0,04	39,00 ± 0,05	3,89 ± 0,04	
11,00 ± 0,05	2,42 ± 0,04	2,82 ± 0,04	40,00 ± 0,05	3,88 ± 0,04	4,26 ± 0,04
12,00 ± 0,05	2,52 ± 0,04	2,86 ± 0,04	41,00 ± 0,05	3,90 ± 0,04	
13,00 ± 0,05	2,59 ± 0,04	2,90 ± 0,04	42,00 ± 0,05	3,91 ± 0,04	
14,00 ± 0,05	2,69 ± 0,04	2,93 ± 0,04	45,00 ± 0,05	3,94 ± 0,04	4,76 ± 0,04
15,00 ± 0,05	2,76 ± 0,04	2,96 ± 0,04	50,00 ± 0,05	4,01 ± 0,04	5,27 ± 0,04
16,00 ± 0,05	2,83 ± 0,04	2,99 ± 0,04	55,00 ± 0,10	4,04 ± 0,04	5,83 ± 0,04
17,00 ± 0,05	2,90 ± 0,04	3,02 ± 0,04	60,00 ± 0,10	4,05 ± 0,04	6,54 ± 0,04
18,00 ± 0,05	2,96 ± 0,04	3,05 ± 0,04	65,00 ± 0,10		7,21 ± 0,04
19,00 ± 0,05	3,02 ± 0,04	3,10 ± 0,04	70,00 ± 0,10	4,16 ± 0,04	8,32 ± 0,04
20,00 ± 0,05	3,07 ± 0,04	3,13 ± 0,04	75,00 ± 0,10		9,38 ± 0,04
21,00 ± 0,05	3,11 ± 0,04	3,16 ± 0,04	80,00 ± 0,10	4,25 ± 0,04	10,64 ± 0,04
22,00 ± 0,05	3,15 ± 0,04	3,19 ± 0,04	85,00 ± 0,10		12,13 ± 0,04
23,00 ± 0,05	3,19 ± 0,04	3,26 ± 0,04	90,00 ± 0,10	4,34 ± 0,04	13,93 ± 0,04
24,00 ± 0,05	3,21 ± 0,04	3,26 ± 0,04	95,00 ± 0,10		15,80 ± 0,04
25,00 ± 0,05	3,24 ± 0,04	3,31 ± 0,04	100,00 ± 0,10	4,38 ± 0,04	18,43 ± 0,04
26,00 ± 0,05	3,26 ± 0,04	3,37 ± 0,04			

Tabulka 1: Měření závěrné V–A charakteristiky při osvětlení různými světly.

konstantní proud představoval proud elektronů z anody I_S . Bod ve kterém přecházely charakteristiky v konstantní bylo napětí U_0 . Tyto hodnoty kritického napětí jsem určil pro všechny vlnové délky a jejich hodnoty zapsal do tabulky 2. Tyto data jsem fitoval lineární funkcí a určil jsem směrnici

$$\frac{h}{e} = (0,373 \pm 0,021) \cdot 10^{-14} \text{ Vs.}$$

Naměřená data a proložení přímkou jsem znázornil v grafu 3. V [2] jsem našel $e = 1,602176487(40) \cdot 10^{-19} \text{ JV}^{-1}$. Odtud jsem vypočítal

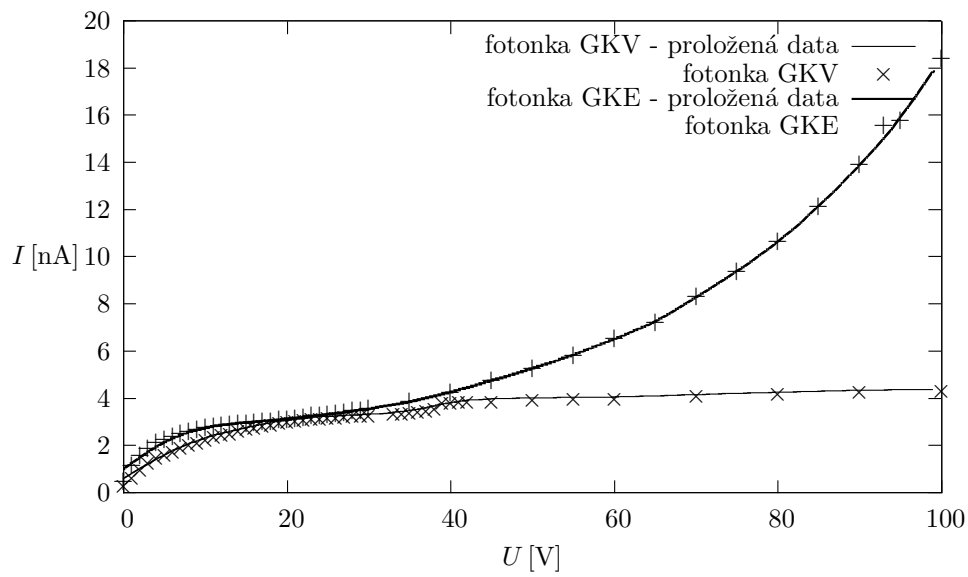
$$h = (5,97 \pm 0,33) \cdot 10^{-34} \text{ Js.}$$

λ [nm]	ϑ [$\cdot 10^{-14}$ Hz]	U_0 [V]
365	8,22	2,00 ± 0,10
405	7,41	1,70 ± 0,10
436	6,88	1,45 ± 0,10
546	5,49	1,00 ± 0,10
577	5,20	0,85 ± 0,10

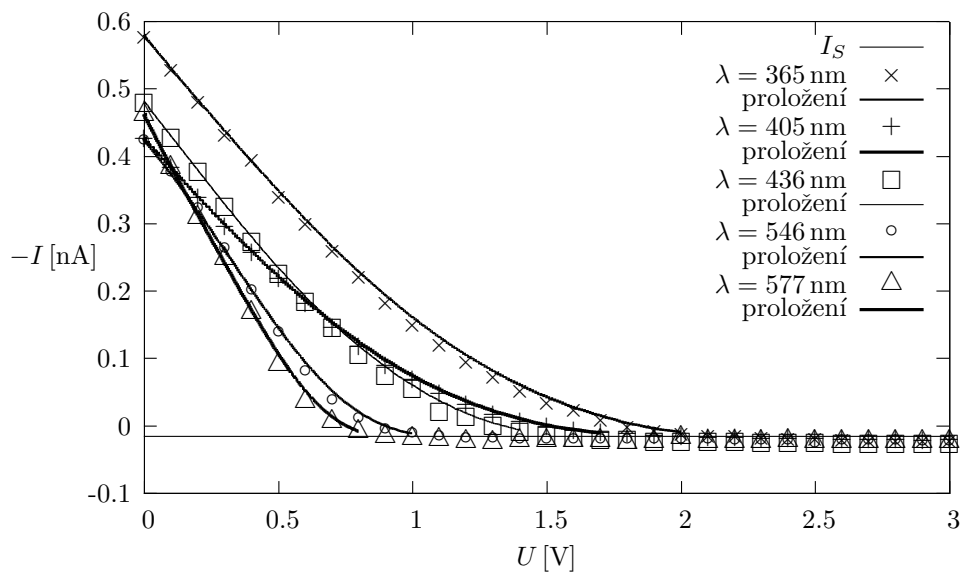
Tabulka 2: Závislost napětí U_0 na frekvenci ϑ .

U [V]	$-I_{365\text{nm}}$ [nA]	$-I_{405\text{nm}}$ [nA]	$I_{436\text{nm}}$ [nA]	$-I_{546\text{nm}}$ [nA]	$-I_{577\text{nm}}$ [nA]
($\pm 0,011$ V)	($\pm 0,006$ nA)	($\pm 0,006$ nA)	($\pm 0,006$ nA)	($\pm 0,006$ nA)	($\pm 0,006$ nA)
0,000	0,580	0,427	0,482	0,424	0,462
0,100	0,531	0,384	0,430	0,377	0,383
0,200	0,483	0,340	0,381	0,323	0,309
0,300	0,435	0,296	0,328	0,264	0,249
0,400	0,398	0,257	0,276	0,201	0,169
0,500	0,343	0,219	0,229	0,139	0,092
0,600	0,303	0,182	0,187	0,081	0,036
0,700	0,262	0,146	0,148	0,038	0,007
0,800	0,223	0,118	0,109	0,011	-0,008
0,900	0,185	0,090	0,077	-0,004	-0,015
1,000	0,153	0,069	0,059	-0,011	-0,018
1,100	0,123	0,048	0,023	-0,015	-0,019
1,200	0,098	0,032	0,016	-0,017	-0,023
1,300	0,075	0,018	0,004	-0,017	-0,024
1,400	0,055	0,007	-0,006	-0,019	-0,021
1,500	0,037	0,000	-0,012	-0,019	-0,021
1,600	0,026	-0,007	-0,015	-0,019	-0,021
1,700	0,012	-0,010	-0,017	-0,020	-0,021
1,800	0,002	-0,012	-0,018	-0,020	-0,024
1,900	-0,005	-0,014	-0,020	-0,020	-0,022
2,000	-0,009	-0,015	-0,020	-0,020	-0,017
2,100	-0,012	-0,016	-0,021	-0,020	-0,022
2,200	-0,013	-0,017	-0,021	-0,021	-0,023
2,300	-0,015	-0,018	-0,022	-0,021	-0,023
2,400	-0,016	-0,018	-0,022	-0,021	-0,021
2,500	-0,017	-0,018	-0,022	-0,025	-0,023
2,600	-0,018	-0,019	-0,023	-0,021	-0,023
2,700	-0,019	-0,019	-0,023	-0,021	-0,023
2,800	-0,019	-0,019	-0,023	-0,021	-0,023
2,900	-0,020	-0,021	-0,024	-0,022	-0,023
3,000	-0,020	-0,020	-0,024	-0,022	-0,023

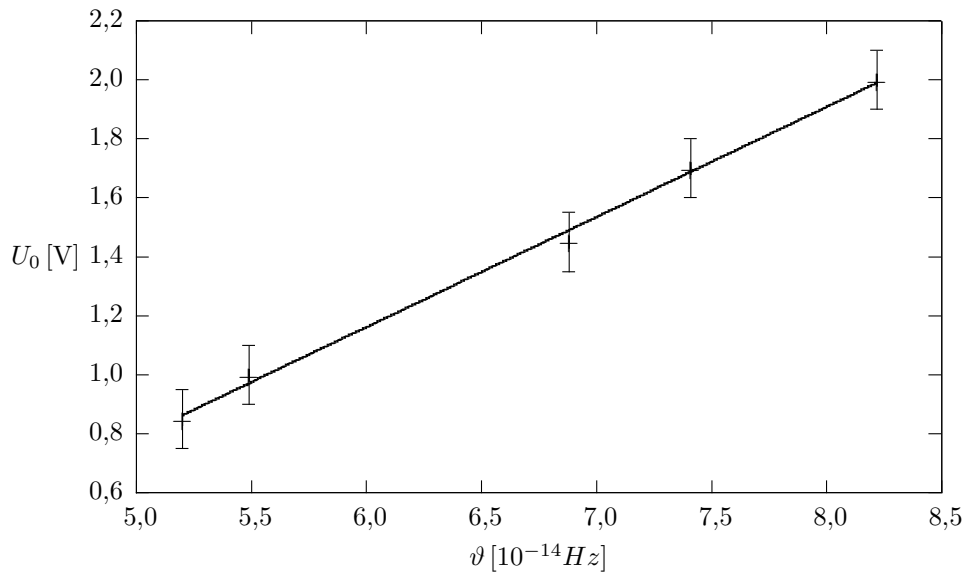
Tabulka 3: Měření V–A charakteristiky v závěrném směru.



Graf 1: Měření V–A charakteristiky GKV a GKE fotonky.



Graf 2: Měření V–A charakteristiky v závěrném směru.



Graf 3: Závislost napětí U_0 na frekvenci ν .

Diskuse výsledků

Při měření V–A charakteristik jsem se dopouštěl relativně malých chyb měření napětí a proudu. Chyby měření použitého univerzálního zařízení Keithley jsou menší než 0,5% rozsahu. Hrubou chybu při měření mohla způsobit změna osvětlení okolního prostředí, ovšem tato chyba byla minimalizována zakrytím aparatury.

Při měření V–A charakteristiky se objevil skok kolem 40 V, což by mohlo naznačovat zmíněnou chybu, ale podle vyjádření vyučujících je tento skok očekávaný, proto předpokládám, že je dán parametry fotonky.

Při určování Planckovy konstanty jsem se dopouštěl největší chyby při určování U_0 . Tuto hodnotu jsem odečítal pro proudy o trochu vyšší než je I_S , který mohu určit z konstantní části charakteristiky. Nejvhodnější je odečítat hodnotu napětí pro proud I_S ovšem změna je zde pozvolná a tak není možné napětí určit přesně. Zvolil jsem tedy hodnotu $I_S = 0,015$ nA a odečítal napětí. Využil jsem také toho, že jsem na počátku nastavoval přibližně stejnou intenzitu dopadajícího světla pro různé vlnové délky, což se odrazilo v tom, že hodnota I_S byla pro všechna měření přibližně stejná.

Závislost hodnoty napětí U_0 na frekvenci ν jsem fitoval lineárním vztahem pomocí programu GNUplot v. 4.2. V této verzi program zohledňuje chyby měření fitovaných dat a promítá je do vypočítané chyby fitu. Vypočítaná Planckova konstanta se v rámci chyby měření shoduje s tabulkovou hodnotou (která je uvedena v [2]) $h_{\text{tab}} = 6,62606896(33) \cdot 10^{-34}$ Js.

Závěr

Z naměřených V–A charakteristik pro fotonku GKV a GKE, které jsou znázorněny v grafu 1, je zřejmé, že fotonka GKE je plněna plynem a fotonka GKV je vakuovaná.

Ze závěrných charakteristik fotonky při osvětlení světlem různé vlnové délky jsem určil Planckovu konstantu

$$h = (5,97 \pm 0,33) \cdot 10^{-34} \text{ Js}.$$

Tato hodnota se v rámci chyby měření shoduje s tabulkovou hodnotou.

Seznam použité literatury

- [1] *Studijní text*: Studium fotoelektrického jevu, určení Planckovy konstanty
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_a09.htm, listopad 2009.
- [2] J. Mikulčák, B. Klimeš, V. Šůla:
Matematické fyzikální a chemické tabulky pro střední školy.
Prometheus 1988. ISBN 80-85849-84-4