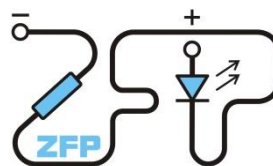


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum IV



Úloha č. 8

Název úlohy: Absorpce beta záření

Jméno: Ondřej Skácel

Obor: FOF

Datum měření: 25.10.2016

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	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 úkoly

- 1) Naměřte četnost signálů z Geiger-Müllerova detektoru v závislosti na přivedeném napětí v rozmezí 400 - 800 V a určete vhodné napětí na detektoru, graficky ho znázorněte. POZOR, nepřekračujte napětí 800 V, mohlo by dojít k poškození detektoru.
- 2) Při vhodně zvoleném napětí změřte absorpční křivku použitého zářiče ^{90}Sr a vykreslete ji do grafu. Naměřenou závislost proložte závislostí teoretickou.
- 3) Určete hodnotu maximální energie prvního a druhého β -spektra $E_0^{(1)}$, $E_0^{(2)}$, a to jak výpočtem z absorpčních koeficientů, tak výpočtem z maximálních doletů.
- 4) Ověřte, že se četnost signálů zaznamenaných detektorem při konstantním napětí a tloušťce absorbéru řídí Poissonovým rozdělením pravděpodobnosti.

Teoretická část

Tzv. β -rozpad je proces



V našem případě byl použit zářič ^{90}Sr který se rozpadá dvěma β -rozpady o různých energiích na ^{90}Zr .

Elektrony při průchodu materiálem (v našem případě hliníkové destičky) postupně ztrácejí energii a eventuálně se zabrzdí natolik, že již nedorazí do detektoru. Tento jev lze kvantifikovat pomocí tzv. absorpční křivky, což je závislost počtu zaznamenaných signálů v detektoru $N(d)$ na plošné hustotě absorbátoru d . Absorpce elektronů z β -rozpadu je přibližně dána podle

$$N(d) = N(0)e^{-\mu(E_0)d} \quad (2)$$

kde μ je hmotnostní absorpční koeficient závislejší na maximální možné energii elektronu v β -rozpadu E_0 .

Pro použitý zářič ^{90}Sr pro počet signálů platí

$$N(d) = N^{(1)}(0)e^{-\mu(E_0^{(1)})d} + N^{(2)}(0)e^{-\mu(E_0^{(2)})d} + N_B \quad (3)$$

kde superskripty značí z kterého ze dvou rozpadů elektron pochází a N_B je experimentální pozadí, které lze naměřit použitím olověné destičky jako absorbátoru.

Maximální energii elektronu při β -rozpadu lze určit podle vztahu pro hmotnostní absorpční koeficient hliníku

$$\mu[\text{cm}^2/\text{g}] = 22(E_0[\text{MeV}])^{-4/3} \quad (4)$$

nebo také podle maximální délky doletu elektronu R_β (myšleno jako nejmenší tloušťka absorbátoru přes kterou se již elektron nedostane) podle empirických vztahů

$$R_{\beta\rho}[g/cm^2] = \begin{cases} 0.407(E_0[MeV])^{1.38} & \text{pro } 0.15 < E_0 < 0.8 \text{ MeV} \\ 0.542(E_0[MeV]) - 0.133 & \text{pro } E_0 > 0.8 \text{ MeV} \end{cases} \quad (5)$$

K detekci záření byl použit Geiger-Mullerův detektor, což je plynový detektor s katodou a anodou, v němž přilétající elektrony ionizují plyn a pro dostatečně velké napětí na elektrodách může docházet k výboji. Měření je potřeba provádět v tzv. platu detektoru, což je oblast napětí, kde už každý přilétající elektron způsobuje výboj, ale ještě nedochází k spontánní ionizaci plynu (řádově 400 – 800V). V této oblasti je počet signálů v závislosti na napětí na elektrodách téměř konstantní.

Počet detekcí elektronu v určitém časovém úseku je dán podle Poissonova rozdělení

$$P(k) = \frac{\mu^k}{k!} e^{-\mu} \quad (6)$$

kde μ je střední hodnota. Pro velký počet událostí toto rozdělení přechází v Gaussovo rozdělení

$$P(k) = \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(k-\mu_k)^2}{2\sigma_k^2}} \quad (7)$$

kde μ_k je střední hodnota a σ_k je standardní odchylka.

Výsledky měření

Vnější podmínky neměly vliv na výsledky měření. Všechny chyby jsou vztaženy na pravděpodobnost 1σ .

Pikoampérmetr Keithley 6487, který byl použit k měření a nastavování napětí na fotonce, má pro relevantní rozsahy chybu měření proudu $0.3\% + 400fA$ a chybu nastavení napětí $0.1\% + 4mV$. Tyto chyby byly ve zpracování zanedbány, protože jsou řádově menší než ostatní experimentální chyby.

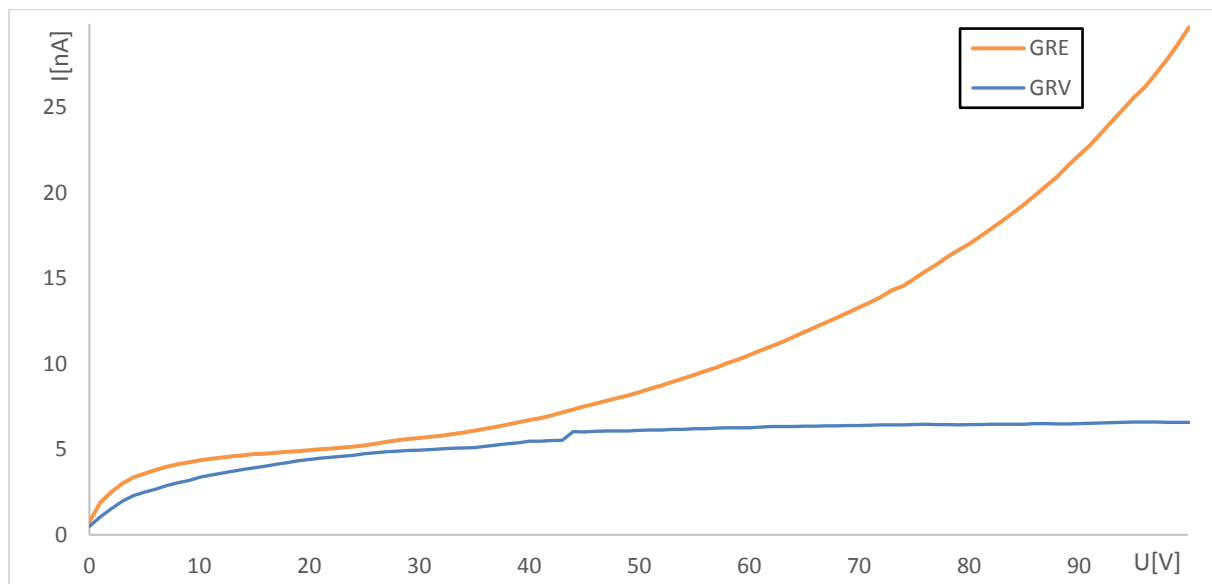
Naměřené hodnoty

Při měření voltampérové charakteristiky fotonek označených jako GKE a GKV pro kladné napětí bylo k osvětlení fotonek použito světlo o vlnové délce $\lambda = 546nm$. Měření bylo prováděno pro napětí od 0 do 100V s krokem 1V a v tabulce 1 jsou vypsány vybrané relevantní hodnoty.

Tabulka 1 – voltampérová charakteristika fotonek GKE a GKV pro kladné napětí U

	GKE	GKV		GKE	GKV		GKE	GKV
$U[V]$	$I[nA]$	$I[nA]$	$U[V]$	$I[nA]$	$I[nA]$	$U[V]$	$I[nA]$	$I[nA]$
0	0.758	0.495	14	4.66	3.83	39	6.58	5.39
1	1.905	1.064	15	4.72	3.92	42	6.98	5.51
2	2.50	1.519	16	4.75	4.02	46	7.67	6.05
3	3.00	1.972	17	4.81	4.13	50	8.34	6.11
4	3.35	2.29	18	4.86	4.23	55	9.35	6.20
5	3.59	2.50	19	4.90	4.33	60	10.51	6.26
6	3.79	2.67	20	4.96	4.40	65	11.87	6.35

7	3.98	2.87	22	5.05	4.54	70	13.30	6.40
8	4.13	3.04	24	5.16	4.66	75	14.98	6.45
9	4.24	3.17	26	5.33	4.80	80	17.02	6.45
10	4.35	3.36	28	5.53	4.90	85	19.34	6.47
11	4.45	3.49	30	5.67	4.95	90	22.2	6.50
12	4.52	3.60	33	5.89	5.06	95	25.6	6.60
13	4.60	3.72	36	6.21	5.18	100	29.7	6.59



Graf 1 - voltampérová charakteristika fotonek GKE a GKV pro kladné napětí U

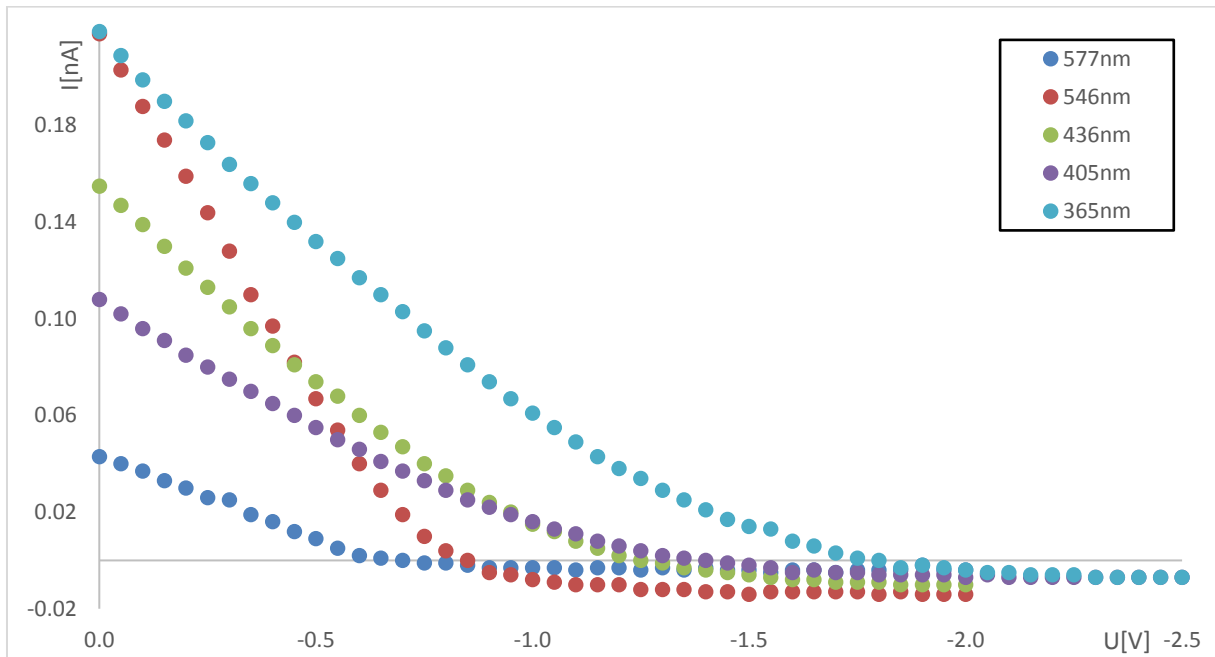
Z výsledků je vidět, že fotonka označená GKE má v sobě plyn, zatímco fotonka GKV je evakuovaná.

Závěrný směr charakteristiky byl proměřen s fotonkou GKV pro pět různých vlnových délek světla.

Tabulka 2 – závěrná charakteristika fotony GKV pro jednotlivé vlnové délky světla

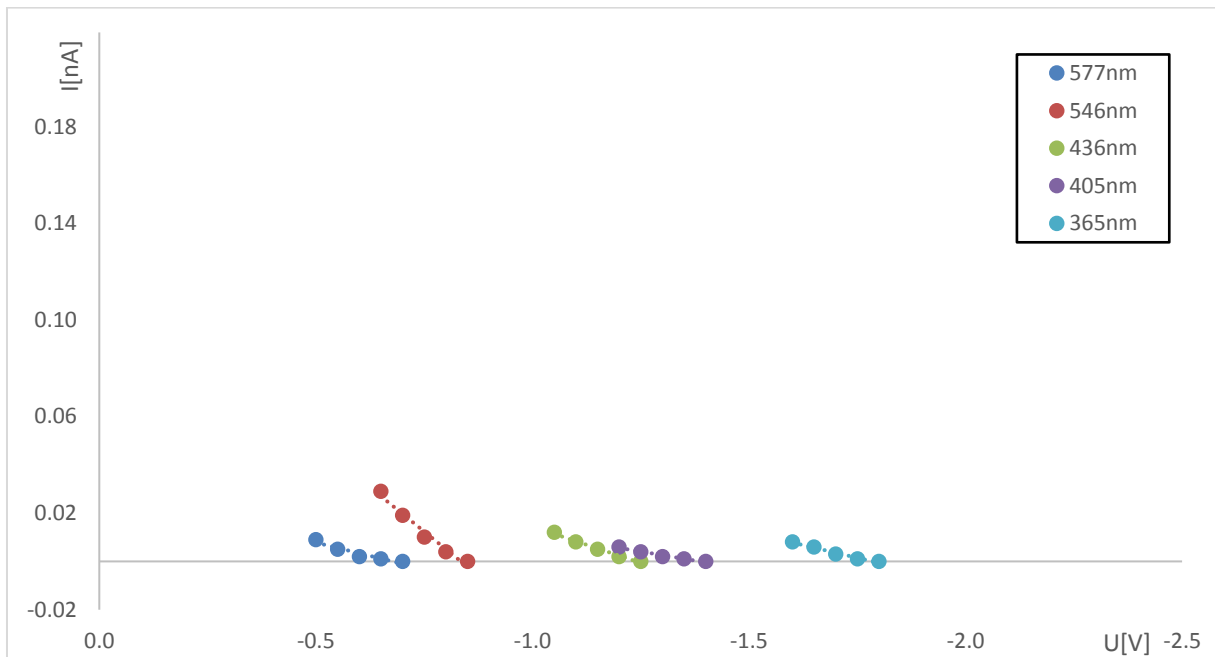
	577nm	546nm	436nm	405nm	365nm		577nm	546nm	436nm	405nm	365nm
$U[V]$	$I[nA]$	$I[nA]$	$I[nA]$	$I[nA]$	$I[nA]$	$U[V]$	$I[nA]$	$I[nA]$	$I[nA]$	$I[nA]$	$I[nA]$
0.00	0.043	0.218	0.155	0.108	0.219	-1.30	-0.003	-0.012	-0.001	0.002	0.029
-0.05	0.040	0.203	0.147	0.102	0.209	-1.35	-0.004	-0.012	-0.003	0.001	0.025
-0.10	0.037	0.188	0.139	0.096	0.199	-1.40	-0.003	-0.013	-0.004	0.000	0.021
-0.15	0.033	0.174	0.130	0.091	0.190	-1.45	-0.004	-0.013	-0.005	-0.001	0.017
-0.20	0.030	0.159	0.121	0.085	0.182	-1.50	-0.004	-0.014	-0.006	-0.002	0.014
-0.25	0.026	0.144	0.113	0.080	0.173	-1.55	-0.005	-0.013	-0.007	-0.003	0.013
-0.30	0.025	0.128	0.105	0.075	0.164	-1.60	-0.004	-0.013	-0.008	-0.005	0.008
-0.35	0.019	0.110	0.096	0.070	0.156	-1.65	-0.004	-0.013	-0.008	-0.004	0.006
-0.40	0.016	0.097	0.089	0.065	0.148	-1.70	-0.005	-0.013	-0.009	-0.005	0.003
-0.45	0.012	0.082	0.081	0.060	0.140	-1.75	-0.004	-0.013	-0.009	-0.005	0.001
-0.50	0.009	0.067	0.074	0.055	0.132	-1.80	-0.004	-0.014	-0.009	-0.006	0.000
-0.55	0.005	0.054	0.068	0.050	0.125	-1.85	-0.004	-0.013	-0.010	-0.006	-0.003
-0.60	0.002	0.040	0.060	0.046	0.117	-1.90	-0.002	-0.014	-0.010	-0.006	-0.002
-0.65	0.001	0.029	0.053	0.041	0.110	-1.95	-0.004	-0.014	-0.010	-0.006	-0.003
-0.70	0.000	0.019	0.047	0.037	0.103	-2.00	-0.004	-0.014	-0.010	-0.007	-0.004
-0.75	-0.001	0.010	0.040	0.033	0.095	-2.05				-0.006	-0.005
-0.80	-0.001	0.004	0.035	0.029	0.088	-2.10				-0.007	-0.005
-0.85	-0.002	0.000	0.029	0.025	0.081	-2.15				-0.007	-0.006
-0.90	-0.003	-0.005	0.240	0.022	0.074	-2.20				-0.007	-0.006
-0.95	-0.003	-0.006	0.020	0.019	0.067	-2.25				-0.007	-0.006
-1.00	-0.003	-0.008	0.015	0.016	0.061	-2.30				-0.007	-0.007
-1.05	-0.003	-0.009	0.012	0.013	0.055	-2.35				-0.007	-0.007

-1.10	-0.004	-0.010	0.008	0.011	0.049	-2.40				-0.007	-0.007
-1.15	-0.003	-0.010	0.005	0.008	0.043	-2.45				-0.007	-0.007
-1.20	-0.003	-0.010	0.002	0.006	0.038	-2.50				-0.007	-0.007
-1.25	-0.004	-0.012	0.000	0.004	0.034						



Graf 2 – závěrná charakteristika fotonky GKV pro jednotlivé vlnové délky světla

Kritická napětí byla určena pomocí lineárního fitu posledních pěti napětí, která ještě odpovídala kladným proudům. Napětí bylo určeno podle průsečíku výsledné přímky s přímkou odpovídající hodnotě proudu pro nejvyšší měřené záporné napětí. Chyba měření byla odhadnuta jako statistická chyba lineární regrese.



Graf 3 – body použité pro fitování přímek použitých k určení kritického napětí

Tabulka 3 – kritická napětí pro jednotlivé vlnové délky dopadajícího světla

$\lambda [nm]$	577	546	436	405	365
----------------	-----	-----	-----	-----	-----

$U_0[V]$	0.77 ± 0.19	0.93 ± 0.13	1.41 ± 0.13	1.62 ± 0.23	1.95 ± 0.24
----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Planckova konstanta byla určena podle koeficientu lineární závislosti **(3)** získaného lineární regrese pomocí hodnot z tabulky 3. Její chyba byla určena podle vzorce

$$u_h = h \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_1^N \left(\frac{u_{U_{0i}}}{U_{0i}}\right)^2} \quad (4)$$

kde u_A značí chybu veličiny A .

Výsledná hodnota je

$$h = (6.1 \pm 1.1)10^{-34}Js$$

Diskuze výsledků

Při měření voltampérové charakteristiky fotonky GKV pro kladné napětí pravděpodobně došlo okolo 45V k chybě při měření, protože skok proudu, který je vidět na grafu 1 není konzistentní s vlastnostmi fotonky. Tato chyba ale neměla žádný vliv na závěr, že GKV je evakuovaná fotonka.

Závěrný směr voltampérové charakteristiky odpovídá očekáváním popsaným v teoretické části, záporný proud opravdu konverguje a již nestoupá.

Výsledná hodnota Planckovy konstanty odpovídá v rámci experimentální chyby tabulkové hodnotě **[2]** $h = 6.63 \cdot 10^{-34}Js$. Velká experimentální chyba je způsobena obtížným určováním kritického napětí.

Závěr

Byla proměřena voltampérová charakteristika fotonek GKV a GKE pro kladné napětí, u fotonky GKV i pro záporné. Fotonka GKV je evakuovaná a GKE naplněná plynem.

Výsledná hodnota Planckovy konstanty je

$$h = (6.1 \pm 1.1)10^{-34}Js$$

Použitá literatura

[1] studijní text dostupný dne 18.10.2016 na

http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/texty/txt_a09
[2] tabulka fyzikálních konstant dostupná dne 18.10.2016 na
<http://www-pdg.lbl.gov/2016/reviews/rpp2016-rev-phys-constants.pdf>