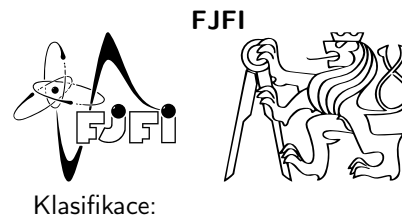


Jméno: **Ondřej Brož** Kolega: Stella Králová
Kruh: **Úterý 9:30** Číslo skup.: 9
Měreno: **15.3.2022** Zpracování: 10h



1 Pracovní úkoly

1. Sestavte aparaturu pro stanovení Planckovy délky dle návodu^[1].
2. Vykreslete závislost energií elektronů a frekvence záření do grafu. Z naměřených hodnot určete prahovou frekvenci fotokatody.
3. Z naměřených dat určete Planckovu konstantu a výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou.
4. Sestavte aparaturu pro provedení Franckova-Hertzova experimentu a nechte rtuťovou trubici zahřát na zvolenou teplotu.
5. Pozorujte závislost procházejícího proudu I_A na urychlujícím napětí U_2 (Franckovu-Hertzovu křivku) na digitálním osciloskopu. Nalezněte optimální hodnoty parametrů U_1 a U_3 a diskutujte jejich vliv na podobu Franckovy-Hertzovy křivky.
6. Za pomoci dodatečných voltmetrů proměřte Franckovu-Hertzovu křivku pro napětí U_2 v rozmezí 0 až 30 V a sestavte její graf. Naměřte alespoň 80 hodnot.
7. V okolí maxim a minim Franckovy-Hertzovy křivky proložte naměřená data polynomy druhého stupně a určete souřadnice extrémů. Postupnou metodou určete excitační energii atomu rtuť. Výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou.
8. Využijte výslednou excitační energii a hodnotu Planckovy konstanty h získanou v úkolu 3. a s jejich pomocí spočtete, jakou vlnovou délku by měl foton vyzářený při deexcitaci atomů rtuť. Výsledek porovnejte s původním výsledkem Francka a Hertze.

2 Pomůcky

Fotoelektrická buňka, vysokotlaká rtuťová lampa se zdrojem napájení, irisová clona, čočka ($f = 100$ mm), interferenční filtry (578 nm, 546 nm, 436 nm, 405 nm, 365 nm), STE klíčový spínač, zesilovač elektrometru, STE kondenzátor (100 pF, 630 V), voltmetr, optická lavice, dva optické jezdce (90 mm), tři optické jezdce (120 mm), BNC adaptér, rtuťová Franck-Hertzova trubice, patice pro Franck-Hertzovu trubici s DIN konektorem, elektrická pícka, napájecí jednotka, teplotní senzor NiCr-Ni, dvoukanálový digitální osciloskop GW Instek GDS-1072B, dva stíněné kabely BNC/4 mm, dva voltmetry, vodiče.

3 Teoretický úvod

3.1 Fotoefekt na fotokatodě

Fotoefektem nazýváme jev, kdy fotoemisivní materiál emituje elektrony po zásahu elektromagnetickým zářením. Při zapojení fotokatody v soustavě využitě v této úloze pak pro napětí na kterém se ustálí elektrometrický zesilovač U_0 a frekvenci záření dopadajícího na fotokatodu f platí vztah

$$eU_{stop} = h(f - f_0), \quad (1)$$

kde h značí Planckovu konstantu, f_0 prahovou frekvenci emisního materiálu a e náboj elektronu.

3.2 Franckův-Hertzův pokus

Pro excitační energii materiálu E_{ex} měřenou ve Franckově-Hertzově pokusu platí vztah

$$E_{ex} = eU_0, \quad (2)$$

kde e značí náboj elektronu a U_0 velikost rozdílu napětí mezi maximy, respektive minimy proudového vývoje v závislosti na napětí a pro frekvenci fotonů emitovaných tímto excitovaným materiálem f platí

$$f = \frac{E_{ex}}{h}, \quad (3)$$

kde h značí Planckovu konstantu.

4 Postup měření

4.1 Příprava aparatury pro měření Planckovy konstanty

Na kraj optické lavice připevníme rtuťovou lampu a zapneme ji. Na zbytek optické lavice umístíme (ve směru od lampy k druhému okraji lavice) irisovou clonu, čočku a fotoelektrickou buňku bez krytů a před upevněním nastavíme tak, aby paprsek dopadající na fotokatodu dopadal pouze na černou fotocitlivou část a ne na žádný z drátků vedoucí fotokatodu. Poté na fotoelektrickou buňku nasadíme stínící kryty a držák na interferenční filtry. Lavici uzemníme, elektrometrický zesilovač zapojíme do zdroje a zapojíme na něm dle schéma na Obr. 1 (g) datový kabel z fotoelektrické buňky, (f) kondenzátor s klíčovým spínačem, (h) uzemnění fotoelektrické buňky a voltmetr.

4.2 Měření Planckovy konstanty

Do držáku umístíme žlutý interferenční filtr, podržíme klíčový spínač dokud napětí na voltmetru neklesne na 0 V a uvolníme. Čekáme, dokud se napětí neustálí na V_{stop} . Opakujeme pro zelený, modrý, fialový a UV filtr.

4.3 Příprava aparatury a optimalizace na oscilátoru pro Franckův-Hertzův pokus

Rtuťovou trubici umístíme do píčky, zasuneme teploměr do píčky a zapneme zdroj píčky. Ujistíme se, že zdroj je nastavený, aby finální teplota ϑ_S byla mezi 170°C a 180°C a počkáme, než se teplota trubice ustálí na ϑ_S . Poté ke zdroji připojíme oscilátor, na kterém pozorujeme křivku závislosti proudu I_A na napětí U_2 a upravujeme parametry U_1 a U_3 dokud se dostatečně nepřiblížíme křivce v návodu^[1].

4.4 Franckův-Hertzův pokus

Následně odpojíme oscilátor a připojíme k výstupům U_2 a U_A voltmetry a pro různá napětí U_2 měříme napětí U_A (z něhož známe proud I_A díky poměru od výrobce $I_A[nA] = U_A[V]$) pro více než 80 hodnot.

5 Naměřené hodnoty a vypracování

5.1 Měření Planckovy konstanty

Naměřená napětí U_{stop} v závislosti na frekvenci záření propouštěného interferenčními filtry (vlnové délky 578 nm, 546 nm, 436 nm, 405 nm a 365 nm) jsou zobrazené na Obr. 3 s lineárním fitem

$f(x) = (0,00168 \pm 0,00008)(x - (360 \pm 20))$ který odpovídá $U_{stop}[mV]$ vyjádřeným ze vztahu (1). Koeficient

$(0,00168 \pm 0,00008)$ značí $\frac{h}{e} \cdot 10^{12}$, tudíž dostáváme experimentální hodnotu Planckovy konstanty

$h_{exp} = (1,68 \pm 0,08) \cdot 10^{-15}$ eVs. Tabulková hodnota je^[3] $h_{tab} = 4,135667696 \cdot 10^{-15}$ eVs. Zároveň koeficient (360 ± 20) značí $f_0[THz]$, tedy prahovou frekvenci fotokatody.

5.2 Franckův-Hertzův pokus

Graf naměřených proudů I v závislosti na napětí U_2 spolu s kvadratickými fity v okolí lokálních extrémů jsou zobrazené na Obr. 4. Souřadnice fitem získaných extrémů maxim a minim jsou vypsány v Tab. 1. Průměrná vzdálenost napětí maxim od sebe je $U_0^{max} = (4,900 \pm 0,002)$ V a minim od sebe $E_0^{min} = (4,90 \pm 0,02)$ V.

S využitím vztahu (2) získáváme $E_{ex}^{max} = (4,900 \pm 0,002)$ eV a $E_{ex}^{min} = (4,90 \pm 0,02)$ eV. Tabulková hodnota^[2] je $E_{ex}^{tab} = 4,9$ eV.

Z těchto hodnot pomocí vztahu (3) získáváme frekvenci záření emitovaného excitovanými atomy rtuti $f^{max} = (2900 \pm 100)$ THz, $f^{min} = (2900 \pm 100)$ THz a tabulková hodnota^[2] je $f^{tab} = 1181,1$ THz ($\lambda^{tab} = 254$ nm).

6 Diskuse

6.1 Měření Planckovy konstanty

Námi naměřená hodnota Planckovy konstanty $h_{exp} = (1,68 \pm 0,08) \cdot 10^{-15}$ eVs se poměrně, ovšem nikoliv řádově liší od tabulkové hodnoty $h_{tab} = 4,135667696 \cdot 10^{-15}$ eVs. Nejpravděpodobnějším důvodem nepřesnosti bude fakt, že během našeho měření se vykazované hodnoty napětí na multimetru nikdy neustálily a namísto toho neustále fluktovaly. Hodnoty naměřené jsou tedy pouze ty, na nichž se hodnota ustálila na nejdelší dobu (například 3 s). Důvodem tohoto kolísání by mohlo být nesprávné zapojení obvodu, nebo nesprávné nastavení čocky a clony, které by vedlo k ozařování přívodových drátků ve fotobuňce, nicméně tyto faktory jsme opakovaně kontrolovali a proto je mnohem pravděpodobnější příčinou závada na kondenzátoru, který měl zajišťovat právě ono ustálení na přibližně konstantním U_{stop} . Zároveň je samozřejmě možné, že chyba měření byla způsobena nedostatkem naměřených dat, nicméně vzhledem k tomu, že očekávané naměřené hodnoty pro 3 nejvyšší frekvence záření měly dle návodu^[1] přesahovat hodnotu 1 V, čehož nedosáhlo ani jedno z našich měření, chyba bude opravdu nejpravděpodobněji v kondenzátoru.

6.2 Franckův-Hertzův pokus

Obě experimentálně získané hodnoty excitační energie atomu rtuti $E_{ex}^{max} = (4,900 \pm 0,002)$ eV a $E_{ex}^{min} = (4,90 \pm 0,02)$ eV vyšly velmi blízko tabulkové hodnoty $E_{ex}^{tab} = 4,9$ eV. Obě metody jsou tedy validní, hodnota získaná z měření maxim má ovšem větší informační hodnotu, jelikož její chyba je o řád menší, což je velmi pravděpodobně způsobeno větším množstvím naměřených maxim než naměřených minim. Hodnoty frekvence emitovaného záření excitovanými hodnotami pro obě metody vychází různě od tabulkové hodnoty z důvodu nepřesnosti námi naměřené Planckovy konstanty (viz výše).

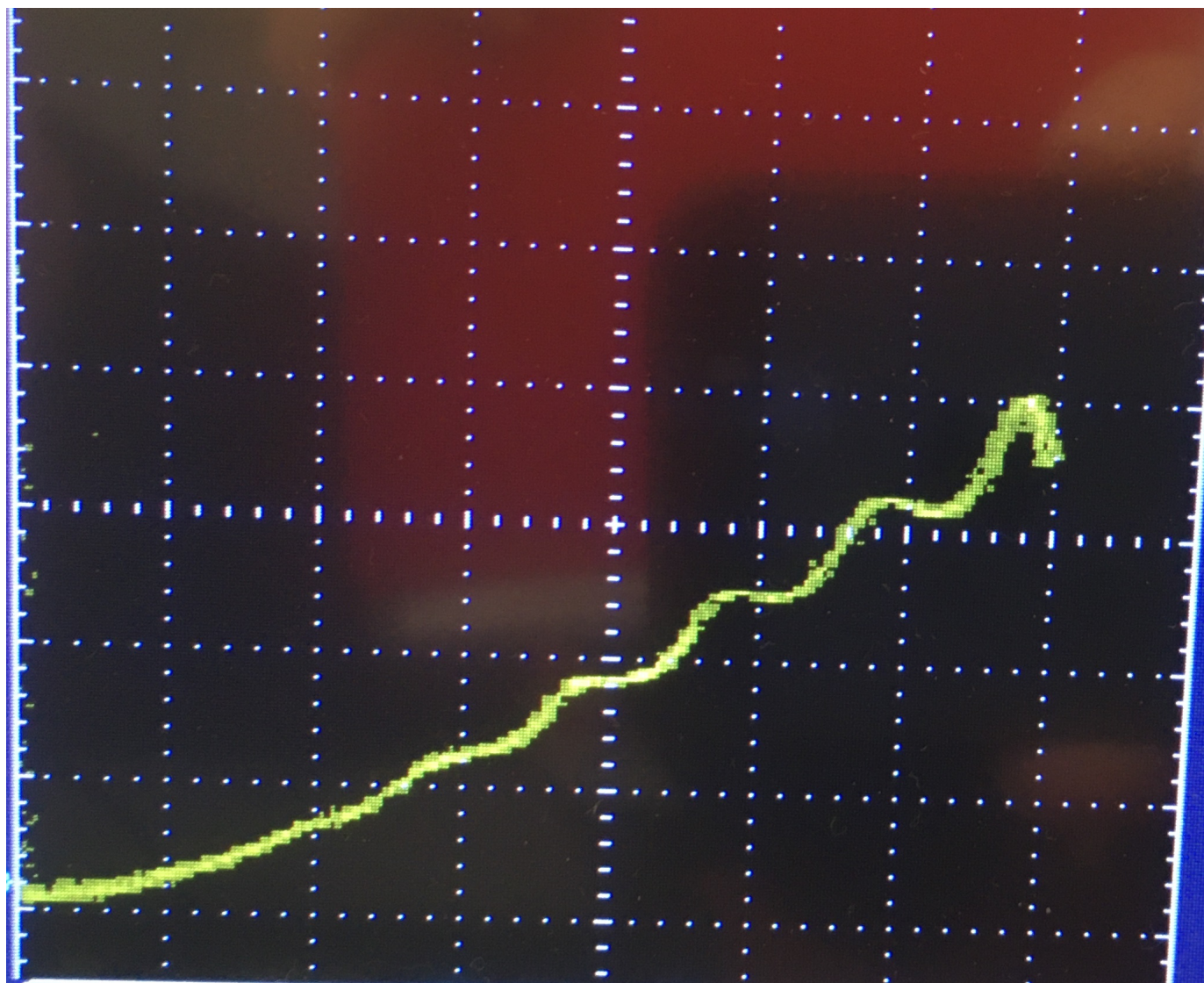
7 Závěr

Seznámili jsme se s Planckovou konstantou, kvantovými vlastnostmi atomu a metodami jejich měření. Sestavili jsme obě sestavy pro zmíněná měření a změřili Planckovu konstantu jako $h = (1,68 \pm 0,08) \cdot 10^{-15}$ eVs, prahovou frekvenci fotokatody jako $f_0 = (360 \pm 20)$ THz, excitační energii atomu rtuti jako $E_{ex} = (4,900 \pm 0,002)$ eV a frekvenci záření emitovanou excitovanými atomy rtuti jako $f^{min} = (2900 \pm 100)$ THz.

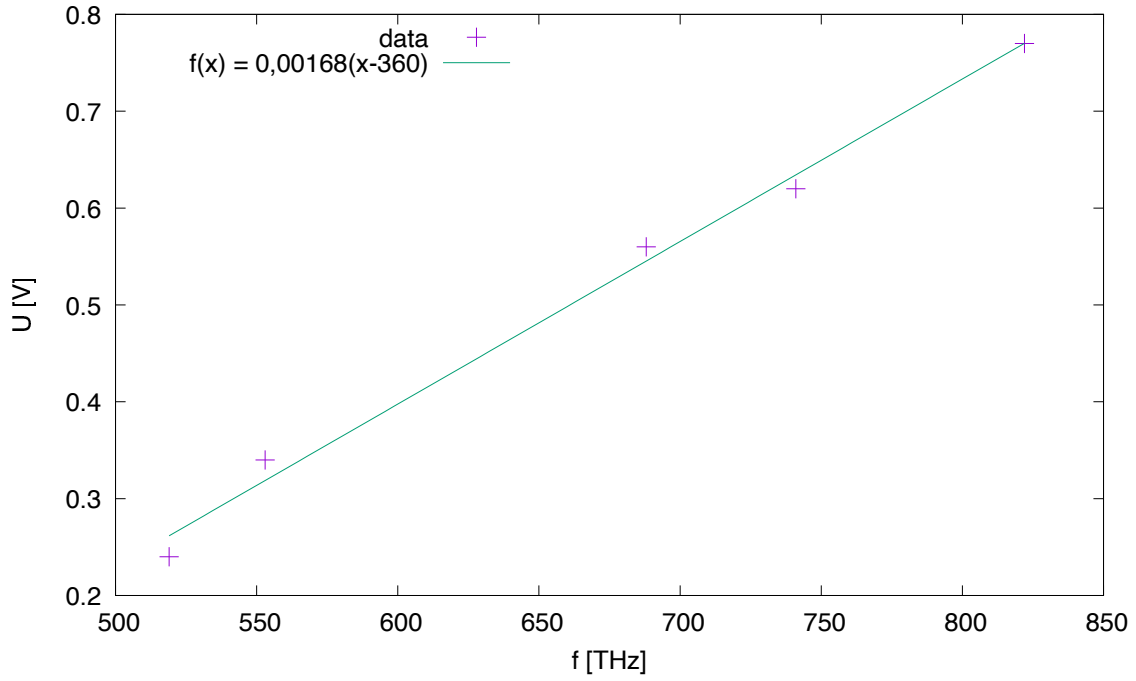
Literatura

1. Návod k úloze Měření Planckovy konstanty - Fyzikální Praktika 2 [15.3.2022]
https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/435643/mod_resource/content/1/11a_Planck_210408.pdf
2. Návod k úloze Franckův-Hertzův experiment - Fyzikální Praktika 2 [15.3.2022]
https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/435642/mod_resource/content/1/11b_Franck-Hertz_210408.pdf
3. Fyzikální tabulky - Laboratorní průvodce [15.3.2022]
<https://www.labo.cz/mft/zkonst.htm>

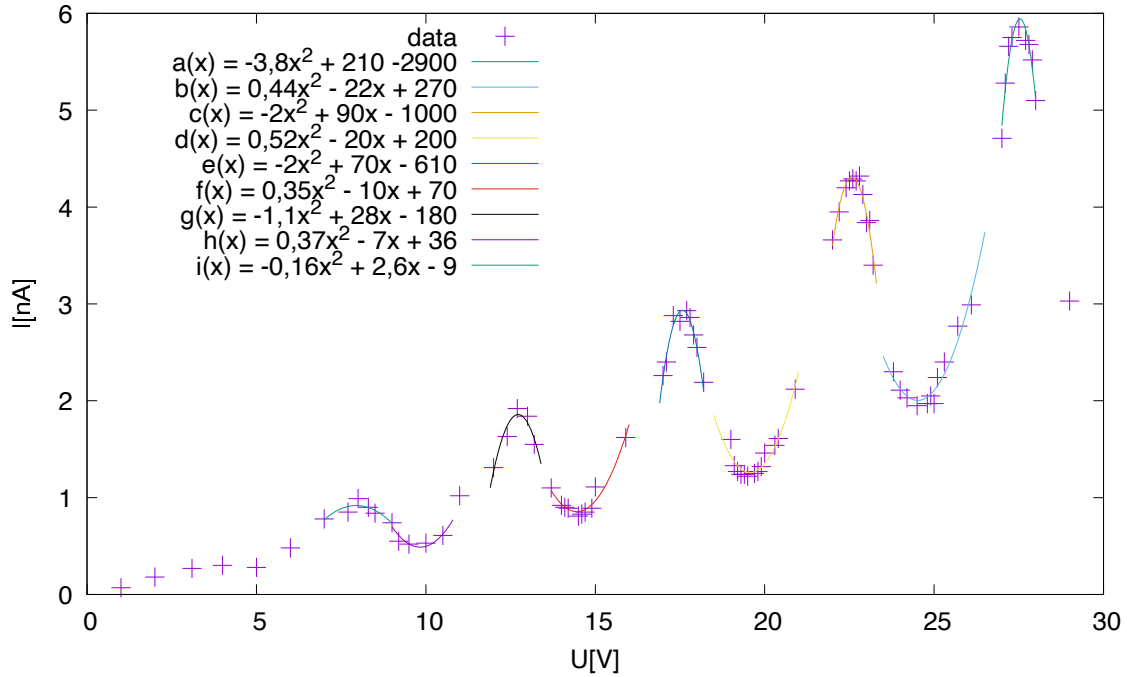
Přílohy



Obr. 2: Foto křivky zobrazené na oscilátoru na konci optimalizace U_1 a U_3 pro Franckův-Hertzův pokus.



Obr. 3: Graf zobrazující naměřené hodnoty napětí U v závislosti na frekvenci záření f a jejich lineární fit $f(x) = (0,00168 \pm 0,00008)(x - (360 \pm 20))$, v úkolu 2 a 3.



Obr. 4: Graf zobrazující naměřené hodnoty proudu I v závislosti na napětí U s jejich kvadratickými fity $a(x) = (-3,8 \pm 0,4)x^2 + (210 \pm 20)x + (-2900 \pm 300)$, $b(x) = (0,44 \pm 0,07)x^2 + (-22 \pm 3)x + (270 \pm 40)$, $c(x) = (-2,0 \pm 0,3)x^2 + (90 \pm 10)x + (-1000 \pm 100)$, $d(x) = (0,52 \pm 0,07)x^2 + (-20 \pm 3)x + (200 \pm 30)$, $e(x) = (-2,0 \pm 0,2)x^2 + (70 \pm 6)x + (-610 \pm 60)$, $f(x) = (0,35 \pm 0,06)x^2 + (-10 \pm 2)x + (70 \pm 10)$, $g(x) = (-1,1 \pm 0,3)x^2 + (28 \pm 8)x + (-180 \pm 50)$, $h(x) = (0,37 \pm 0,06)x^2 + (-7 \pm 1)x + (36 \pm 6)$, $i(x) = (-0,16 \pm 0,05)x^2 + (2,6 \pm 0,9)x + (-9 \pm 3)$, v okolích jejich lokálních extrémů, v úkolu 6.