

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

V tomto praktiku se zabýváme vnějším fotoefektem, při kterém dochází k emisi nositelů náboje z povrchu elektrody osvětlené elektromagnetickým zářením. Fotonka je realizována jako skleněná baňka vyčerpáná na vysoké vakuum nebo naplněná inertním plynem. Na postříbeném vnitřním povrchu baňky je nanášena fotokatoda, uvnitř baňky se nachází anoda.

V případě vakuové fotonky zapojené v propustném směru je voltampérová charakteristika význačná prudkým růstem proudu při zvyšujícím se napětí, po kterém následuje nasycení, při kterém se již proud v závislosti na rostoucím napětí téměř nemění. To je v kontrastu s průběhem VA charakteristiky fotonky plynové, u které je efekt nasycení menší a proud s rostoucím napětím nadále vzrůstá.

Vakuové fotonky lze využít k určení Planckovy konstanty h . Připojíme-li totiž fotonku v záporném směru, budeme nejprve při nulovém napětí pozorovat fotoemisi elektronů s určitou kinetickou energií. Zvyšováním proudu však postupně elektrony musejí překonávat rostoucí potenciál, až při určité kritické hodnotě napětí V_0 proud fotonkou ustane. Jelikož kinetická energie elektronů souvisí Einsteinovým vztahem $E = h\nu - A$ s frekvencí dopadajícího záření (A je energie potřebná pro uvolnění elektronu z katody), lze psát závislost kritické hodnoty napětí V_0 na frekvenci ν vztahem

$$V_0 = \frac{h}{e}\nu + C, \quad (1)$$

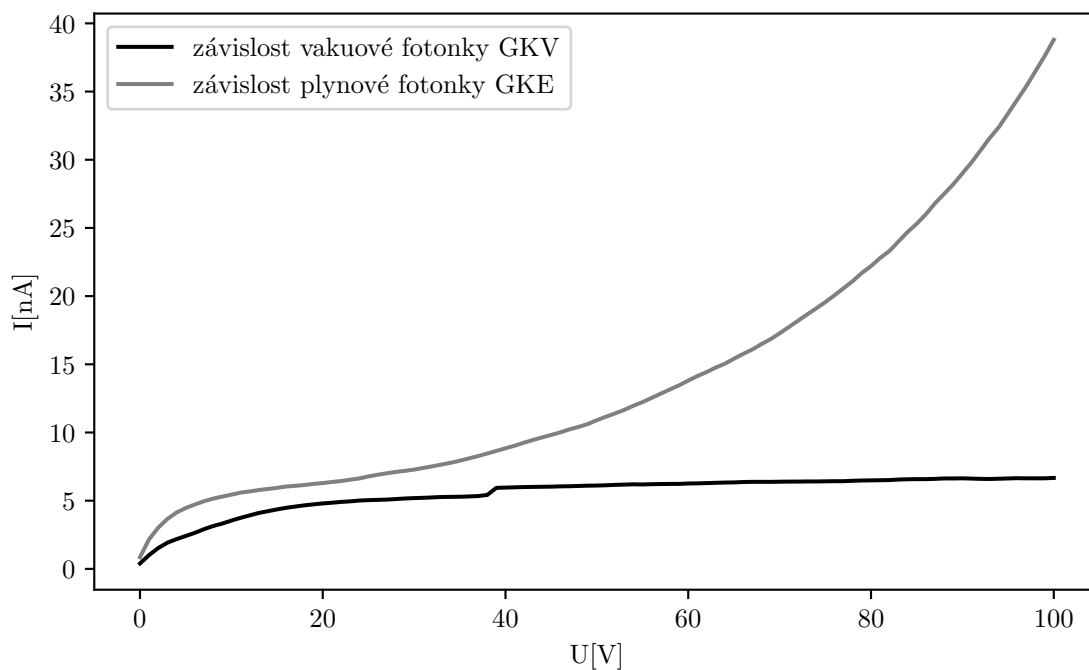
kde e je náboj elektronu a C je konstanta související s vlastnostmi fotonky. Lineární regresí pomocí tohoto vztahu můžeme tedy získat Planckovu konstantu [1].

Protože se ve fotonce při dosažení kritické hodnoty napětí projevuje slabá fotoemise anody, protékající proud není nulový, ale mírně záporný. Je proto nutné hodnotu napětí V_0 extrapolovat k hodnotě nasyceného záporného proudu.

Výsledky

Úkol 1 a 2

Elektronickým multimetrem se zabudovaným zdrojem napětí jsme proměřili voltampérové charakteristiky fotonek GKE a GKV připojených v propustném směru. Fotonka byla osvětlována rtuťovou výbojkou, spektrálním filtrem byla vybrána vlnová délka světla $\lambda = 546 \text{ nm}$. Z grafu na obrázku 1 je s pomocí popisu tvarů charakteristik v teorii zřejmé, že fotonka GKE je plněna plynem, zatímco GKV je vakuová. Kvůli velkému množství bodů závislosti bylo praktické zobrazit závislosti lomenou čarou propojující tyto body.



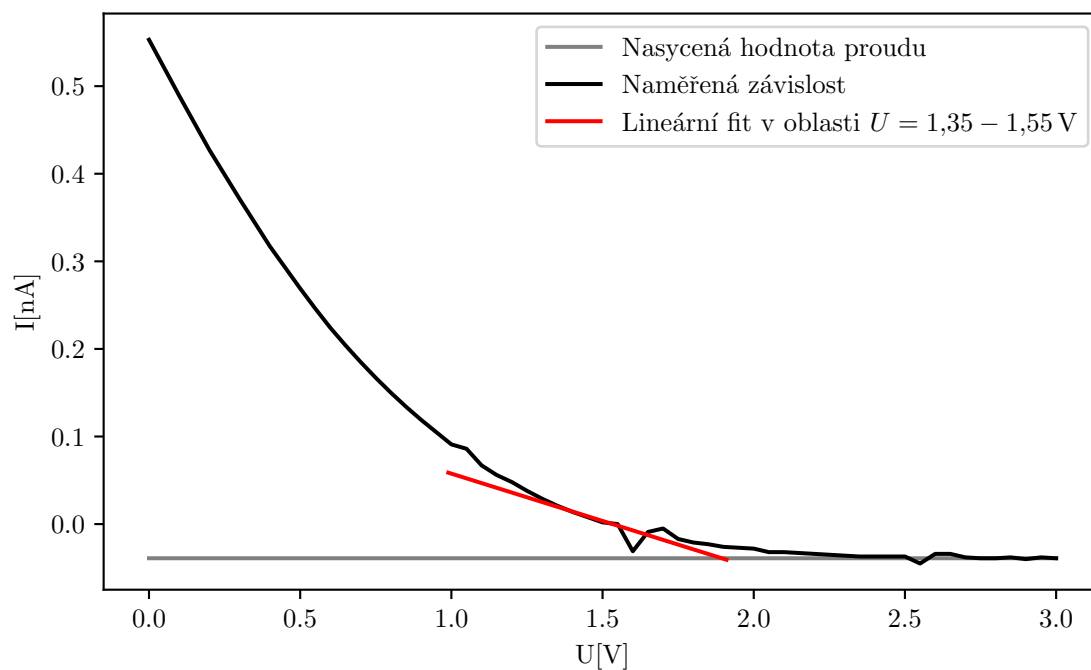
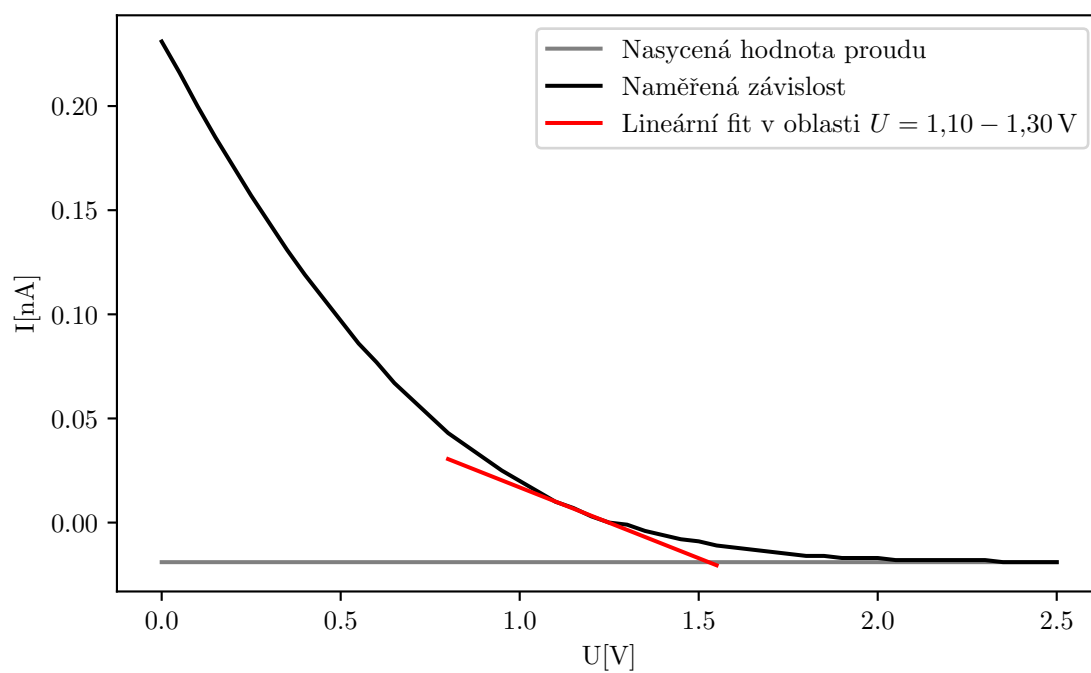
Obrázek 1: Voltampérové charakteristiky dvou fotonek

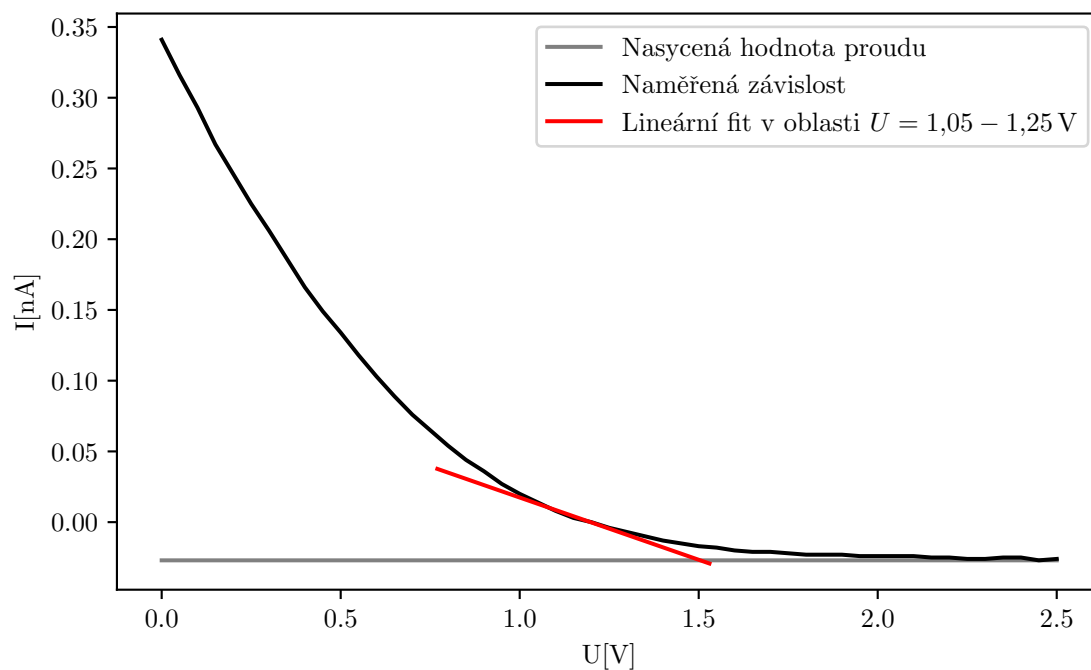
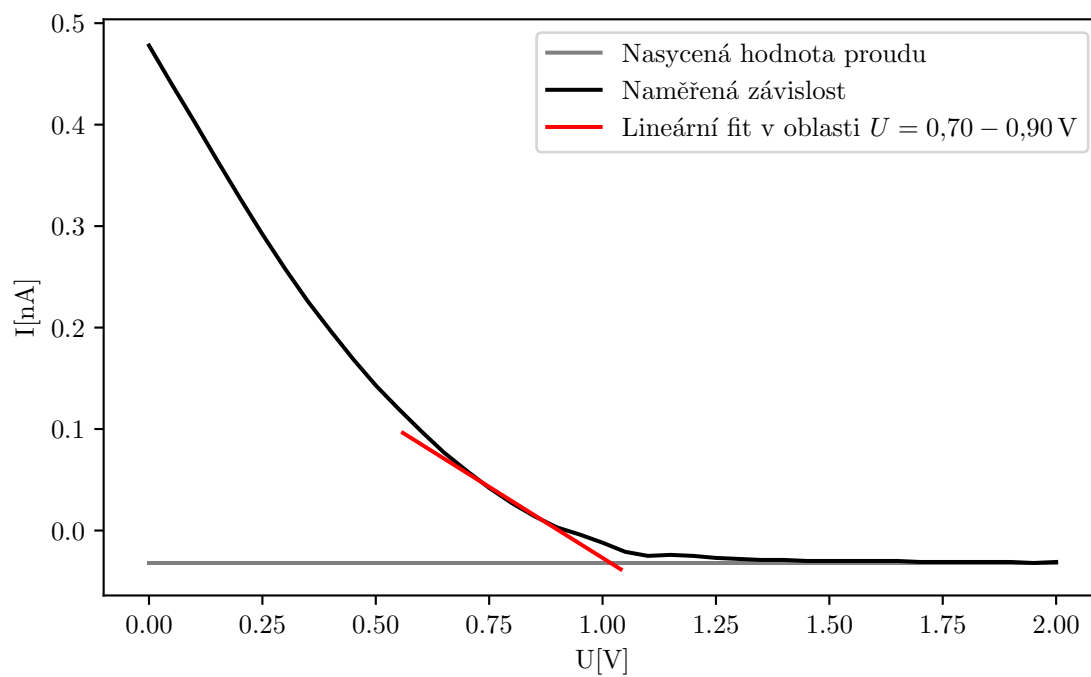
Úkol 3 a 4

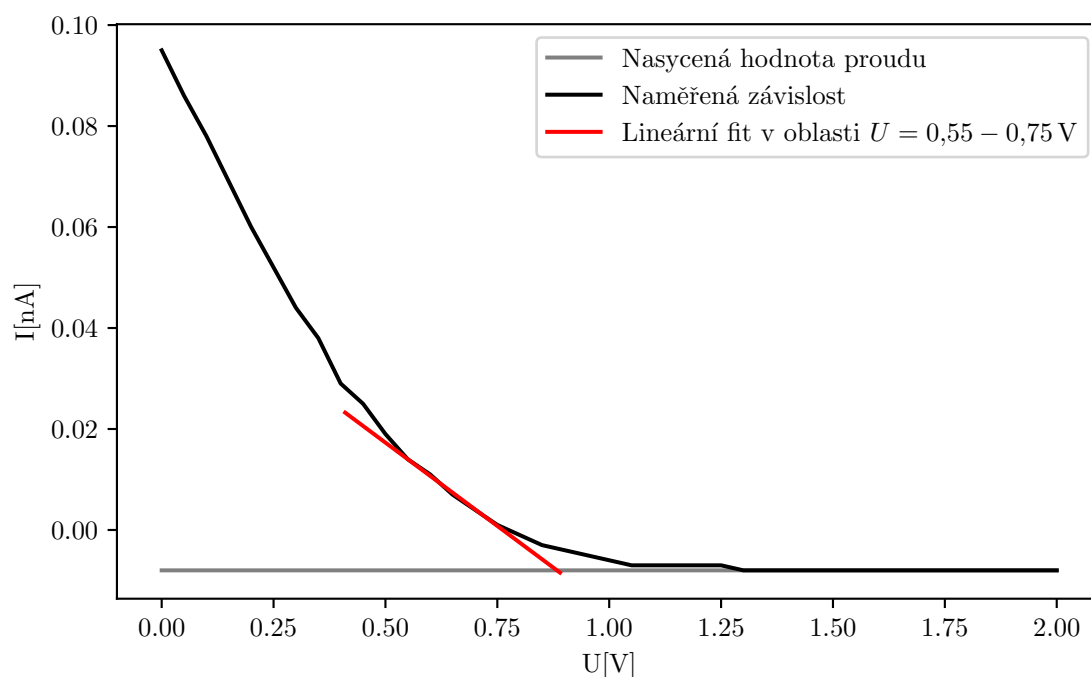
Následně jsme pro 5 vlnových délek dopadajícího světla změřili VA charakteristiky vakuové fotony v závěrném směru. Rozsah proměřovaných napětí byl volen tak, aby se průnik závislosti s osou $I = 0$ nacházel zhruba v polovině měřeného intervalu a bylo tak dostatek prostoru pro odečtení nasyceného záporného napětí.

Extrapolace hodnoty kritického napětí V_0 byla provedena lineárním fitem části závislosti. Za hodnotu V_0 byla vzata hodnota napětí, při které tato fitová přímka (v grafech červěně) protíná vodorovnou přímku značící hodnotu nasyceného záporného proudu (v grafech šedě). Pro lineární fit bylo vždy vzato posledních pět bodů kladného proudu (to odpovídá intervalu napětí 0,2 V).

Naměřené závislosti i s fitovými přímkami použitými k extrapolaci jsou znázorněny v grafech na obrázcích 2 až 6.

Obrázek 2: Voltampérová charakteristika vakuové fotonky při $\lambda = 365$ nmObrázek 3: Voltampérová charakteristika vakuové fotonky při $\lambda = 405$ nm

Obrázek 4: Voltampérová charakteristika vakuové fotonky při $\lambda = 436$ nmObrázek 5: Voltampérová charakteristika vakuové fotonky při $\lambda = 546$ nm



Obrázek 6: Voltampérová charakteristika vakuové fotonky při $\lambda = 578$ nm

Z grafů byly odečteny hodnoty kritických napětí V_0

$$V_0^{365 \text{ nm}} = (1,89 \pm 0,10) \text{ V},$$

$$V_0^{405 \text{ nm}} = (1,53 \pm 0,10) \text{ V},$$

$$V_0^{436 \text{ nm}} = (1,50 \pm 0,10) \text{ V},$$

$$V_0^{546 \text{ nm}} = (1,02 \pm 0,10) \text{ V},$$

$$V_0^{578 \text{ nm}} = (0,88 \pm 0,10) \text{ V}.$$

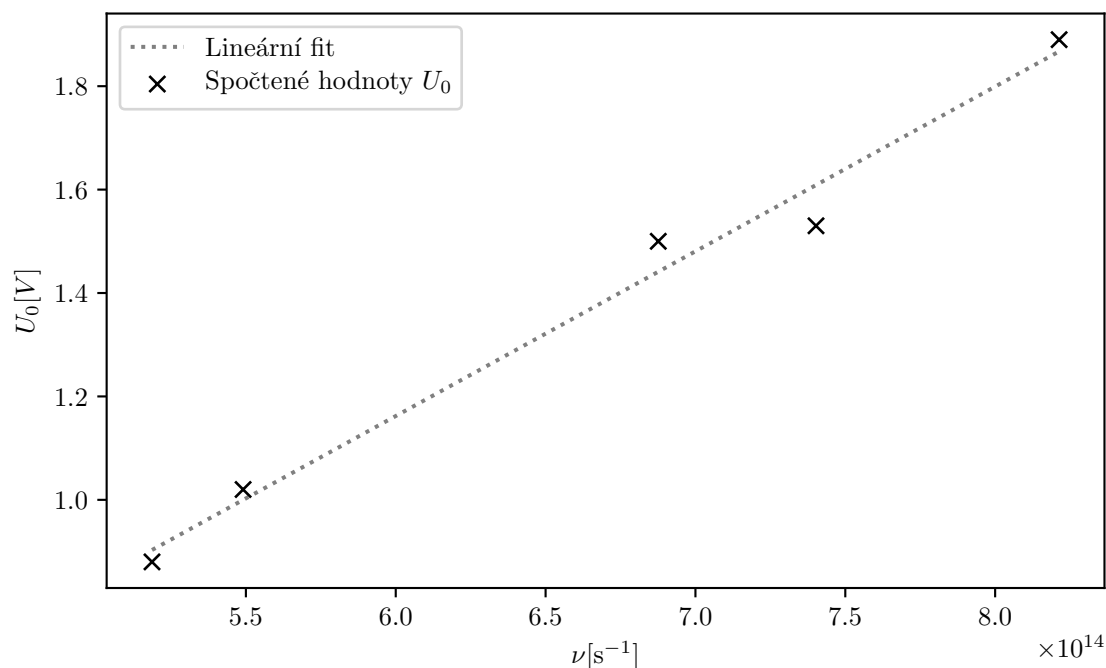
Po přepočtení vlnových délek na frekvence podle vztahu $\nu = \frac{c}{\lambda}$, kde c je rychlost světla, byla v grafu 7 vynesena závislost kritického napětí V_0 na frekvenci dopadajícího záření ν podle vztahu (1). Lineárním fitem byla určena hodnota

$$\frac{h}{e} = (3,19 \pm 0,24) \times 10^{-15} \text{ J s C}^{-1}.$$

Vynásobením této hodnoty nábojem elektronu získáme hodnotu Planckovy konstanty

$$h = (5,10 \pm 0,56) \times 10^{-34} \text{ J s}.$$

Chyba hodnot vlnových délek potažmo frekvencí byla zanedbána, jelikož je zastíněna chybou určení hodnoty V_0 .



Obrázek 7: Závislost kritické hodnoty napětí na frekvenci záření podle (1)

Diskuse

Voltampérové charakteristiky naměřené v úkolu 1 odpovídají teoretickým předpovědím.

Spočtená hodnota Planckovy konstanty se neshoduje v rámci chyby s tabulkovou hodnotou. To je způsobeno nejspíše větší systematickou chybou určení hodnoty V_0 . Měření mohlo být také zkresleno nedokonalým seřízením aparatury. Clonka, korigující intenzitu světla dopadajícího na fotonku, totiž nebyla ideálně dovořená.

Závěr

Z naměřených voltampérových charakteristik fotonek v propustném směru, které se shodují s teoretickou předpovědí, bylo určeno, že fotonka GKE je plynová, fotonka GKV vakuová.

Pomocí změřených voltampérových charakteristik vakuové fotony v závěrném směru s různými hodnotami vlnových délek dopadajícího záření byla určena hodnota Planckovy konstanty

$$h = (5,10 \pm 0,56) \times 10^{-34} \text{ J s.}$$

Reference

- [1] Studijní text k měření “Studium fotoelektrického jevu, určení Planckovy konstanty”, dostupné z https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/texty/txt_a09, 9.10.2018