

## Pracovní úkoly

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.

## Teoretická část

Pokud na povrch katody fotonky dopadají fotony s energií  $hf$ , kde  $h$  je Planckova konstanta a  $f$  je frekvence dopadajícího fotonu. Je-li tato energie vyšší než je výstupní práce elektronu z atomu  $A$ , pak se elektron uvolní a fotonkou může protékat proud. V případě, že se jedná o vakuovou fotonku, elektron je urychlen přiloženým napětím a pohybuje se směrem k anodě. Jestliže dosáhneme nasyceného napětí, proud s dále se zvyšujícím napětím neroste. Pokud je ovšem fotonka naplněná plynem, elektrony urychlené přiloženým napětím ionizují plyn a tak proud roste i po dosažení nasyceného napětí.

Pokud vakuovou fotonku připojíme v závěrném směru, elektrony, které mají energii  $E - A$  překonávají elektrické pole. S rostoucím napětím počet elektronů dopadajících na anodu klesá, velikost proudu také klesá. Při kritické hodnotě napětí  $U_0$  už žádné elektrony na anodu nedopadají a velikost proudu již neklesá. Závislost  $U_0$  na frekvenci dopadajícího záření je podle [1]:

$$U_0(\nu) = \frac{hf}{e} - \left(\frac{A}{e} + K\right) \quad (1)$$

Kde  $e$  je elementární náboj a  $K$  značí tzv. kontaktní potenciál mezi katodou a anodou. Velikost  $h$  lze snadno určit ze směrnice grafu závislosti  $U_0(f)$ .

Protože V-A charakteristika v okolí  $U_0$  není lineární a velmi pozvolně přechází v konstantní hodnotu proudu, je třeba hodnoty okolo  $U_0$  proložit přímkou a následně spočítat hodnotu kritického napětí.

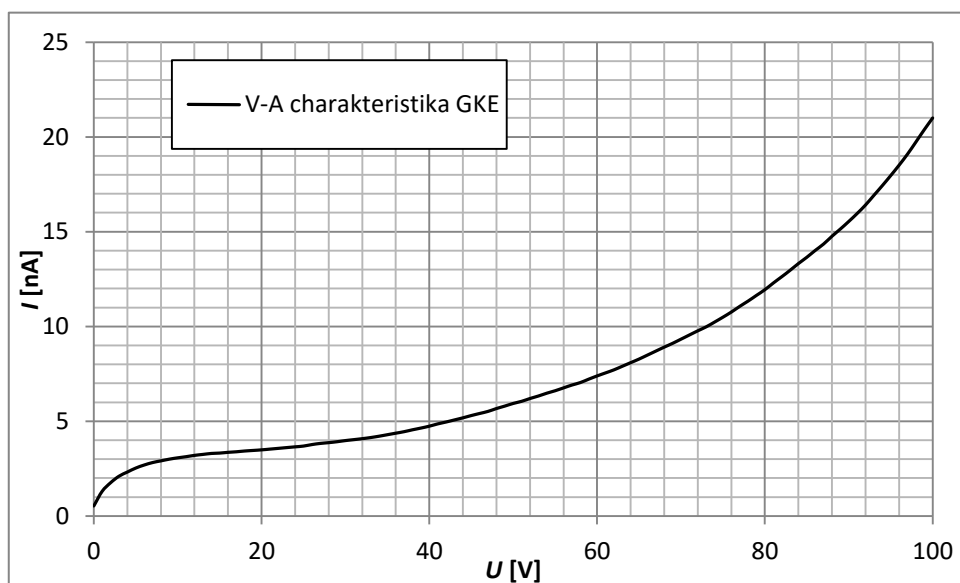
## Výsledky měření

Laboratorní podmínky by neměly ovlivnit výsledky měření.

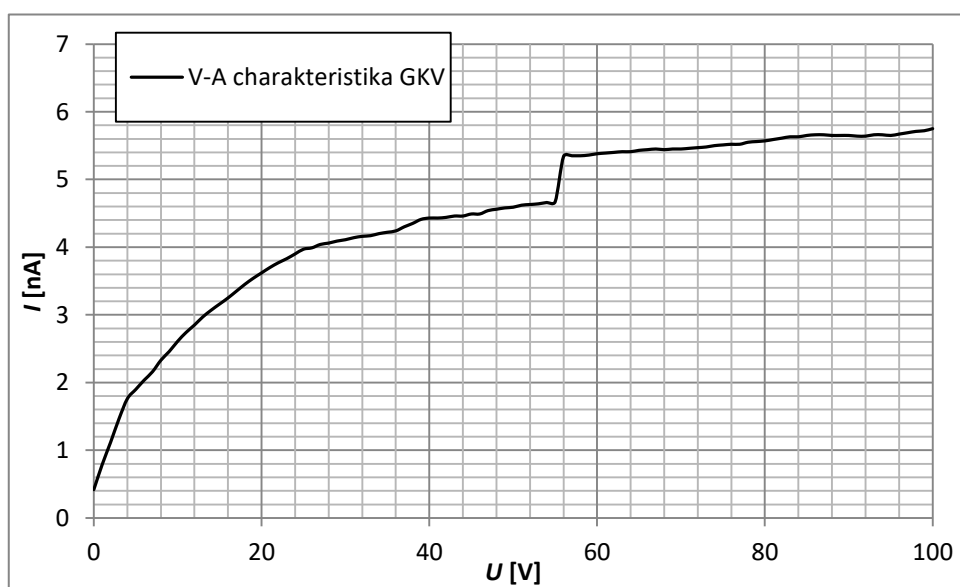
Graf č. 1 obsahuje V-A charakteristiku fotonky GKE. Z grafu je patrné, že se jedná o fotonku plněnou plynem, protože velikost proudu neustále s přiloženým napětím roste. Graf č. 2 znázorňuje V-A charakteristiku fotonky GKV. Protože proud se od určité hodnoty se zvyšujícím se napětím nemění, můžeme předpokládat, že se jedná o vakuovou fotonku.

Graf č. 3 ukazuje příklad V-A charakteristiky vakuové fotonky v závěrném směru při osvětlení světlem s vlnovou délkou 436 nm. V grafu je uveden použitý lineární fit, hodnota saturovaného proudu a je tam také vyznačena hodnota kritického napětí  $U_0$  včetně chybových úseček. Chybu hodnoty  $U_0$  jsme určili z chyby lineární regrese a nepřesnost měřicího přístroje jsme zanedbali. Data pro lineární regresi jsme vybírali pro všechny vlnové délky stejným

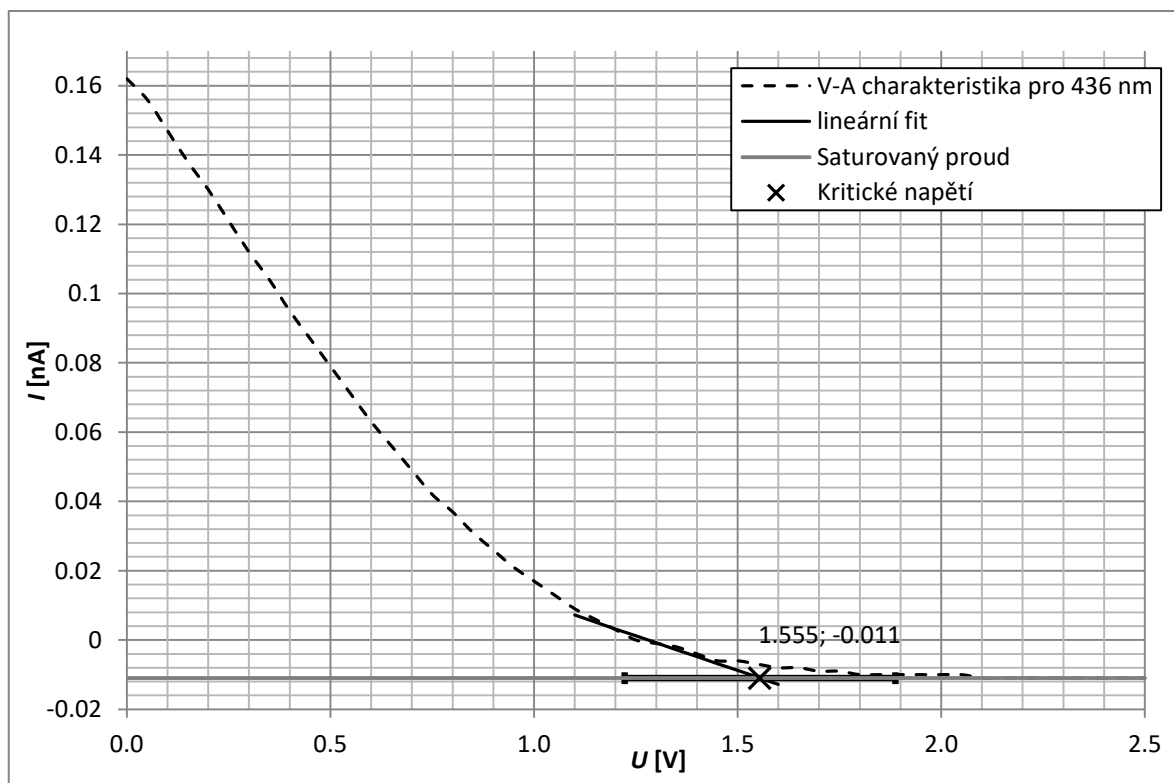
způsobem a to tak, že jsme vzali dvě hodnoty nad nulovou hodnotou proudu a dvě hodnoty pod nulovým proudem.



Graf 1: V-A charakteristika GKE. Tato fotonka je naplněná plynem.



Graf 2: V-A charakteristika fotonky GKV. Tato fotonka je vakuová.



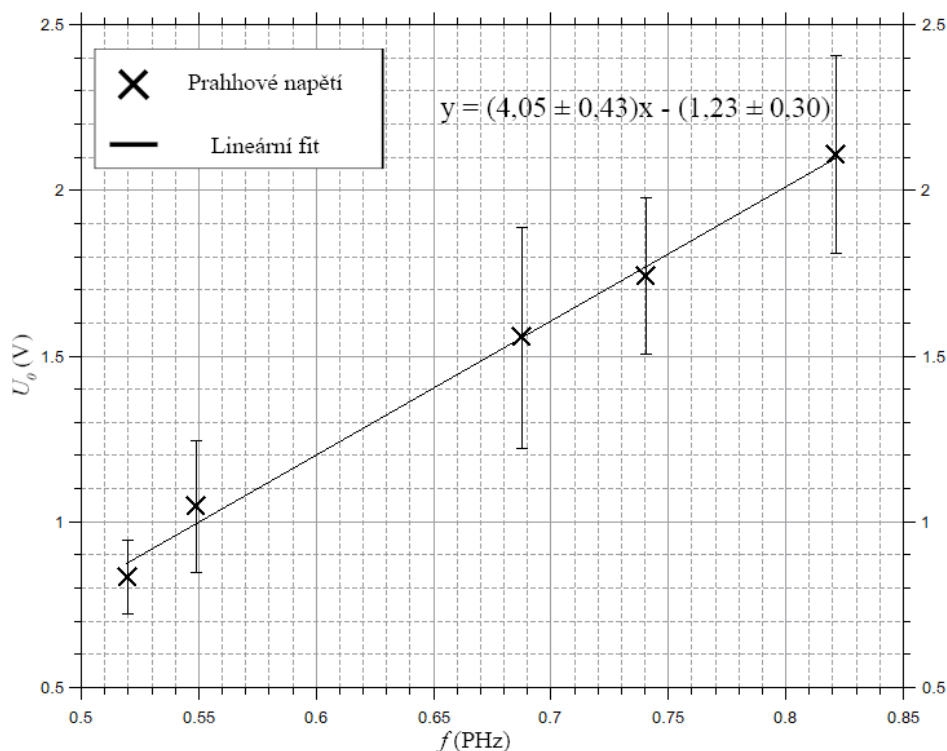
Graf 3: Příklad V-A charakteristiky v závěrném směru při osvětlení fotonky světlem s vlnovou délkou 436 nm. Graf také ilustruje metodu zjišťování hodnoty kritického napětí.

Graf č. 4 vyjadřuje závislost kritického napětí na frekvenci záření dopadajícího na fotonku. V grafu jsou uvedeny chybové úsečky. Způsob výpočtu chyby je uveden výše. Data jsme proložili přímkou. Při fitování jsme brali v potaz chyby jednotlivých měření. Velikost  $h$  jsme spočetli, jako směrnici v grafu 4 vynásobenou elementárním nábojem a hodnotou  $10^{-15}$  pro převod do SI. Chyba určení Planckovy konstanty jsme určili jako chybu určení směrnice. Tato chyba zahrnuje chyby určení kritických napětí.

Tabulka 1: Zjištěná a tabulková hodnota Planckovy konstanty

	hodnota	chyba
$h \cdot 10^{-34}$ [J·s]	6.5	0.7
$h_{ref} \cdot 10^{-34}$ [J·s]	6.6	

Tabulka č. 1 obsahuje hodnotu námi určené Planckovy konstanty  $h$  a hodnotu tabulkové hodnoty  $h_{ref}$  uvedené v [2].



Graf 4: Závislost prahového napětí na frekvenci dopadajícího záření.

## Diskuse

Při pohledu na graf č. 2 vidíme jasný skok při napětí 56V. Bohužel teorie použitá pro účely tohoto experimentu nedává žádné vysvětlení tohoto jevu. Nejspíše se jedná o vadu použité fotonky. Nicméně tato fotonka nevykazuje žádné neočekávané chování při použití v závěrném směru (viz graf 3) a je tedy naprosto vhodná k určování Planckovy konstanty.

Přesnost určení Planckovy konstanty je velmi ovlivněna přesností určení kritického napětí  $U_0$ . Přesnost tohoto určení jsme zjistili z přesnosti lineárního fitu, který jsme použili k extrapolaci na saturovanou hodnotu proudu. Při porovnání tabulkové a naměřené hodnoty  $h$  (viz tabulka 1) je patrné, že jsme dosáhli velmi dobrých výsledků a chyba měření byla nejspíše nižší. Chyba lineárního fitu je totiž daná zejména nelinearitou fitovaných dat. Způsob výběru dat do lineárního fitu při zjišťování  $U_0$  mohl způsobit systematickou chybu v našem měření.

Pro úspěšné měření bylo také důležité, že v místnosti byla dostatečná tma. Pokud by na fotonku dopadali fotony s jinou energií, mohlo by to negativně ovlivnit přesnost výsledku.

Přesnost měřících přístrojů při tomto experimentu nehrála příliš vysokou roli. Protože nepřesnost měření byla daná zejména neostrým zlomem V-A charakteristiky.

## Závěr

Naměřené charakteristiky odpovídají (až na skok u vakuové fotonky) teoretickým předpokladům. Podařilo se zjistit, která z fotonek je vakuová a která je plněná plynem.

Hodnotu Planckovy konstanty jsme určili jako:

$$h = (6,5 \pm 0,7) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

## Literatura

- [1] Studium fotoelektrického jevu, určení Planckovy konstanty. *Fyzikální praktikum* [online].  
[cit. 26. 10. 2017]. Dostupné z:  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/texty/txt\\_a09](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/texty/txt_a09)
  
- [2] Planck constant. *Google calculator* [online].  
[cit. 29. 10. 2017]. Dostupné z:  
[https://www.google.cz/search?q=planck+constant&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gfe\\_rd=cr&dcr=0&ei=zcP1WZXxBIzZ8AfQ2qj4Cg](https://www.google.cz/search?q=planck+constant&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gfe_rd=cr&dcr=0&ei=zcP1WZXxBIzZ8AfQ2qj4Cg)