

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM III

Úloha č.: IX

**Název:** Studium fotoelektrického jevu, určení Planckovy konstanty

**Vypracovala:** ..... **stud. sk.** ..... **dne:** 10/04.....

**Odevzdal dne:** ..... **vráceno:** .....

**Odevzdal dne:** ..... **vráceno:** .....

**Odevzdal dne:** .....

**Posuzoval:** ..... **dne** ..... **výsledek klasifikace** .....

**Připomínky:**

## I. Pracovní úkol

- I. Změřte voltampérové charakteristiky fotonek GKE, GKV.
- II. Rozborem charakteristik zjistěte, která z nich je vakuová a která je plynem plněná.
- III. Změřte VA charakteristiky vakuové fotonky pro záporné hodnoty anodového napětí.
- IV. Zpracováním výsledků měření určete hodnotu Planckovy konstanty.

## II. Teorie

### A. Charakteristiky fotonek

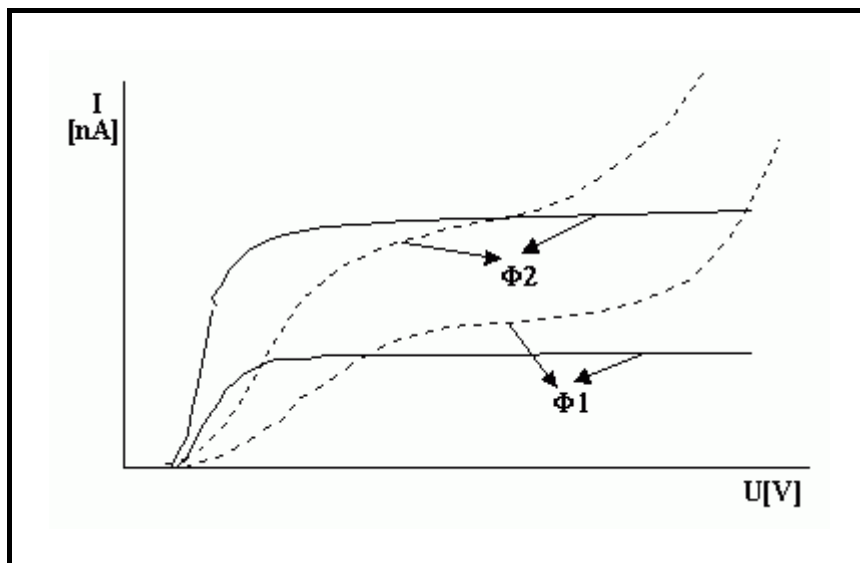
Rozlišujeme dva druhy fotoefektu – vnitřní a vnější. My budeme studovat fotoefekt vnější, při kterém dochází k emisi elektronů z povrchu elektrody, na kterou dopadá elektromagnetické záření.

Budeme sledovat voltampérové charakteristiky vakuové a plynové fotonky. Fotonka je skleněná baňka, v níž je anoda tvořena drátěnou smyčkou. Povrch baňky je postříbřen a proti vstupnímu okénku je nanášena fotokatoda. Pokud je baňka vyčerpána na vysoké vakuum, jedná se o vakuovou fotonku, když je plněna inertním plynem (argonem pod tlakem okolo 10kPa), jedná se o plynovou fotonku.

Má-li anoda vůči katodě kladné napětí  $U$ , protéká fotonkou při osvětlení katody proud  $I$ . Budeme se zabývat nejprve vakuovými fotonkami. Při malých napětích je proud omezen prostorovým nábojem a roste s rostoucím napětím  $U$ , při vyšších napětích dostáváme oblast nasyceného proudu, kde se proud s rostoucím napětím téměř nemění. Na obr. 1 jsou plnou čarou vyneseny tyto závislosti – voltampérové charakteristiky – pro dvě hodnoty  $I$ , 2 světelného toku.

U plynových fotonek je průběh voltampérových charakteristik při nízkých napětích kvalitativně stejný. Při vyšších napětích dochází k dalšímu nárůstu proudu. Ten je způsoben lavinovitou ionizací. Elektrony emitované z fotokatody ionizují na své dráze molekuly plynu,

elektrony vzniklé ionizací mohou samy dále ionizovat. Voltampérová charakteristika plynové fotonky viz obr. 1 čárkovaně.



obr. 1

## B. Určení Planckovy konstanty z fotoefektu

Planckovu konstantu  $h$  určíme z Einsteinova vztahu:

$$E_k = h\nu - A \quad (1)$$

$K_e$  ..... maximální kinetická energie emitovaných elektronů

$\nu$  ..... frekvence záření

$A$  ..... výstupní práce (energie potřebná pro uvolnění elektronů z fotokatody)

Hodnotu  $K_e$  stanovíme, proměříme-li závislost proudu fotonky při záporných napětích anody vůči katodě.

$$e(V_0 + K) = E_k \quad (2)$$

$e$  ..... náboj elektronu

$V_0$  ..... kritická hodnota napětí mezi katodou a anodou

$K$  ..... konstantní potenciál mezi katodou a anodou

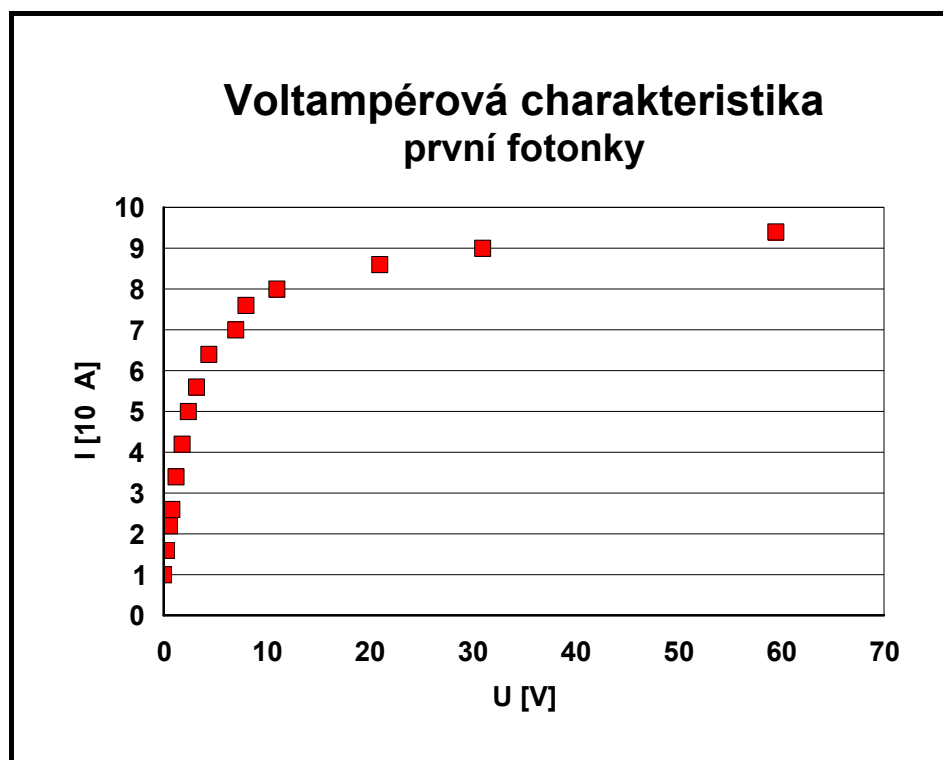
Pro napětí větší než  $V_0$  je proud nulový, protože i elektrony s maximální energií  $K_e$  toto napětí nepřekonají. Získáme vztah:

$$h\nu - A = e(V_0 + K) \quad (3)$$

### III. Výsledky měření

tab. 1 – měření voltampérové charakteristiky první fotonky

U [V]	59,5	31,0	21,0	11,0	8,0	7,0	4,4	3,2	2,4	1,8	1,2	0,8	0,6	0,3	0,0
I [ $10^{-8}$ A]	9,4	9,0	8,6	8,0	7,6	7,0	6,4	5,6	5,0	4,2	3,4	2,6	2,2	1,6	1,0

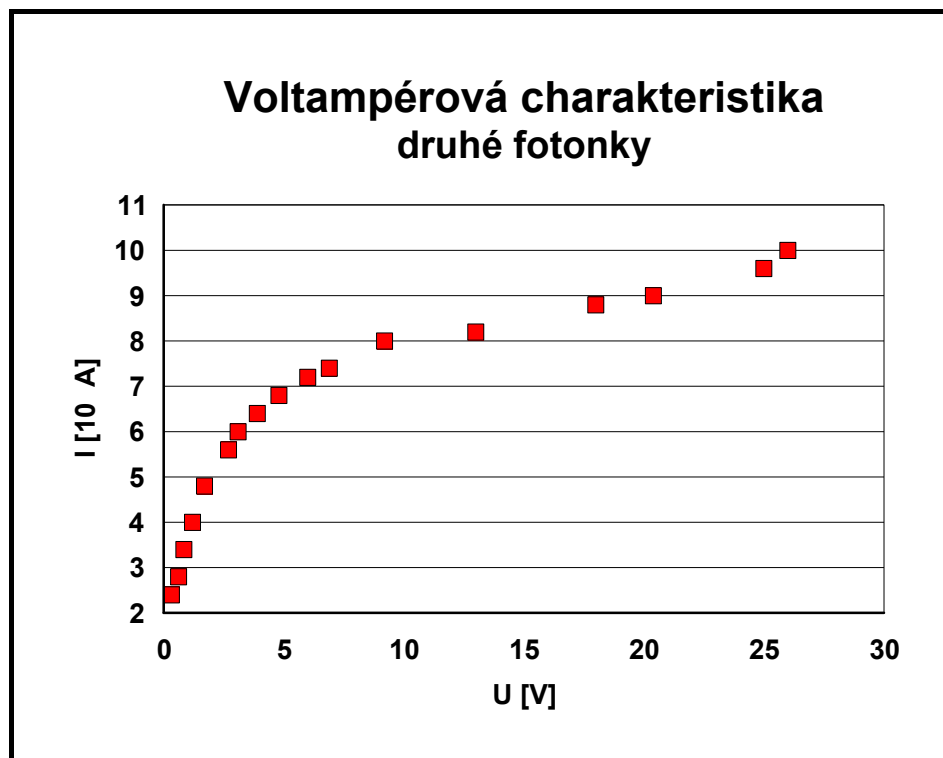


graf 1

Z grafu 1 je vidět, že se jedná o vakuovou fotonku, neboť nedochází k dalšímu nárůstu proudu při vyšších napětích.

tab. 2 – měření voltampérové charakteristiky druhé fotonky

U [V]	0,00	0,32	0,62	0,84	1,20	1,70	2,70	3,1	3,9	4,8	6,0	6,9	9,2	13,0	18,0	20,4	25	26
I [ $10^{-8}$ A]	1,2	2,4	2,8	3,4	4,0	4,8	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,4	8,0	8,2	8,8	9,0	9,6	10,0

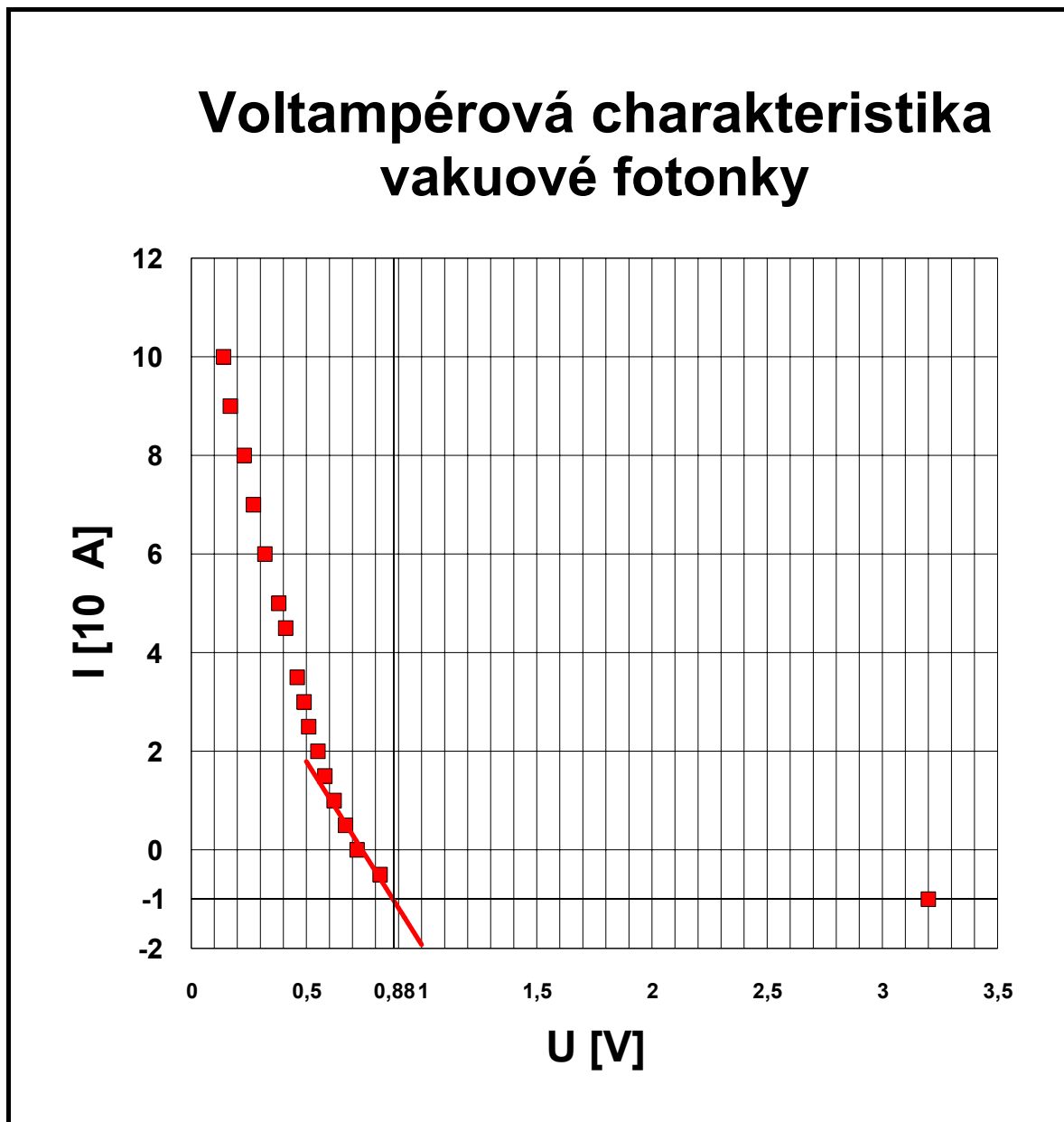


graf 2

Z voltampérové charakteristiky je patrné, že fotonka je plynová.

tab. 3 – měření voltampérové charakteristiky vakuové fotonky při  $\lambda = 546 \text{ nm}$

U [V]	0,00	0,14	0,17	0,23	0,27	0,32	0,38	0,41	0,46	0,49	0,51	0,55	0,58	0,62	0,67	0,72	0,82	3,2
I [ $10^{-10} \text{ A}$ ]	13,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0

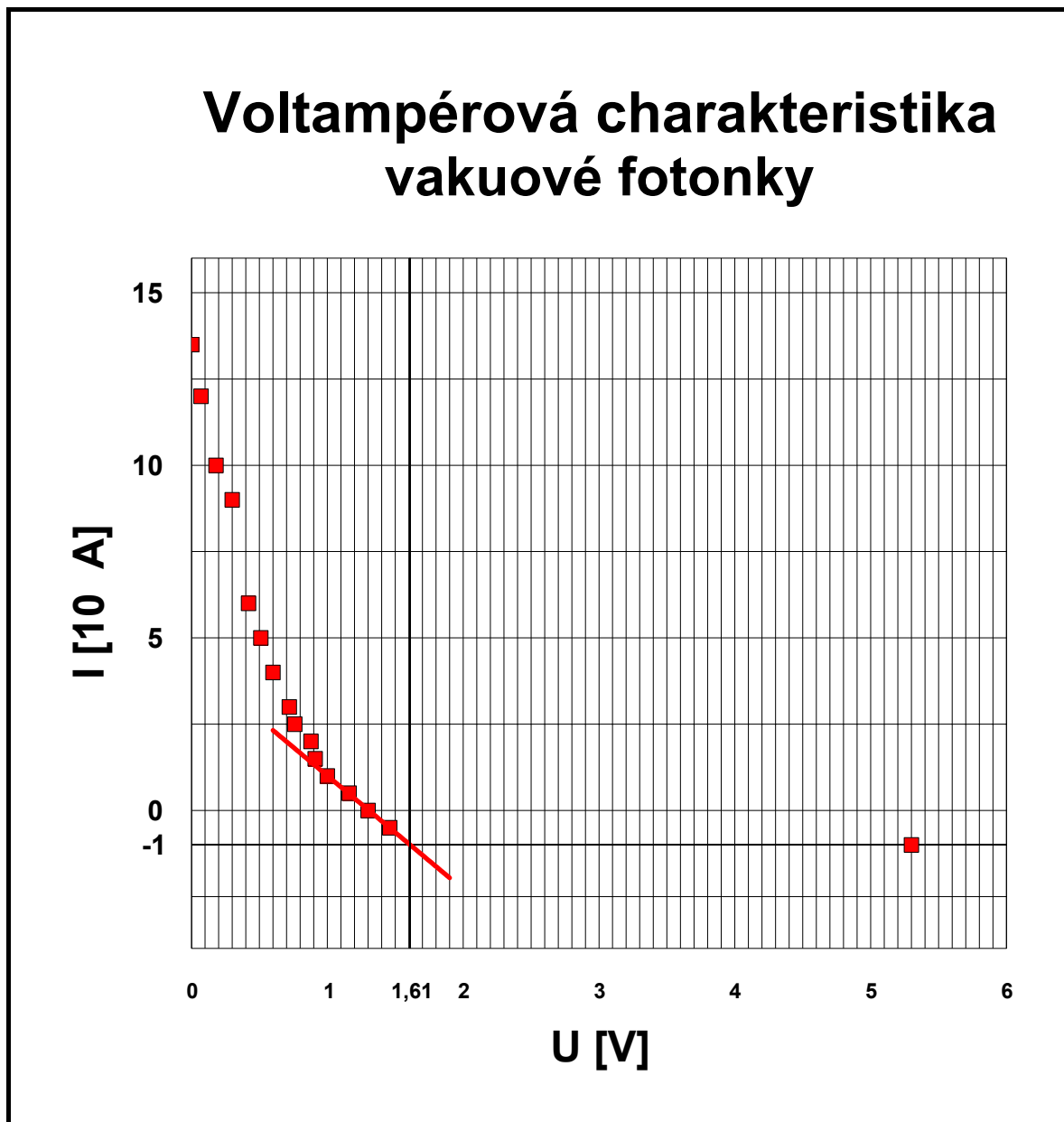


graf 3

Z interpolace získáme  $V_0 = (0,88 \pm 0,19) \text{ V}$

tab. 4 – měření voltampérové charakteristiky vakuové fotonky při  $\lambda = 405 \text{ nm}$

U [V]	0,00	0,07	0,18	0,30	0,42	0,51	0,60	0,72	0,76	0,88	0,91	1,00	1,16	1,30	1,46	5,30
I [ $10^{-10} \text{ A}$ ]	13,5	12,0	10,0	9,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0

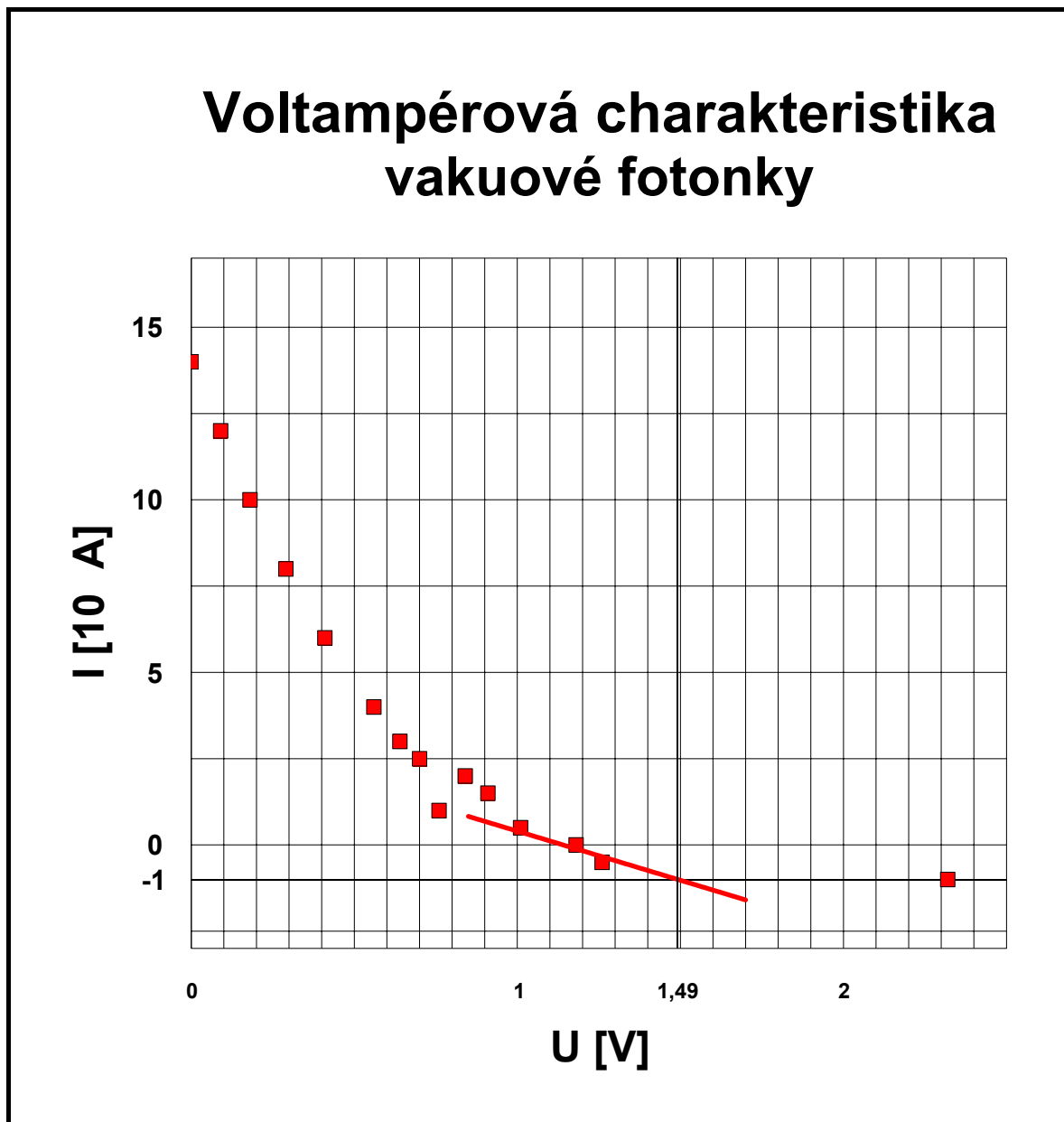


graf 4

Z interpolace získáme  $V_0 = (1,61 \pm 0,33) \text{ V}$

tab. 5 – měření voltampérové charakteristiky vakuové fotonky při  $\lambda = 436 \text{ nm}$

U [V]	0,00	0,09	0,18	0,29	0,41	0,56	0,64	0,70	0,84	0,91	0,76	1,01	1,18	1,26	2,32
I [ $10^{-10} \text{ A}$ ]	14,0	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0



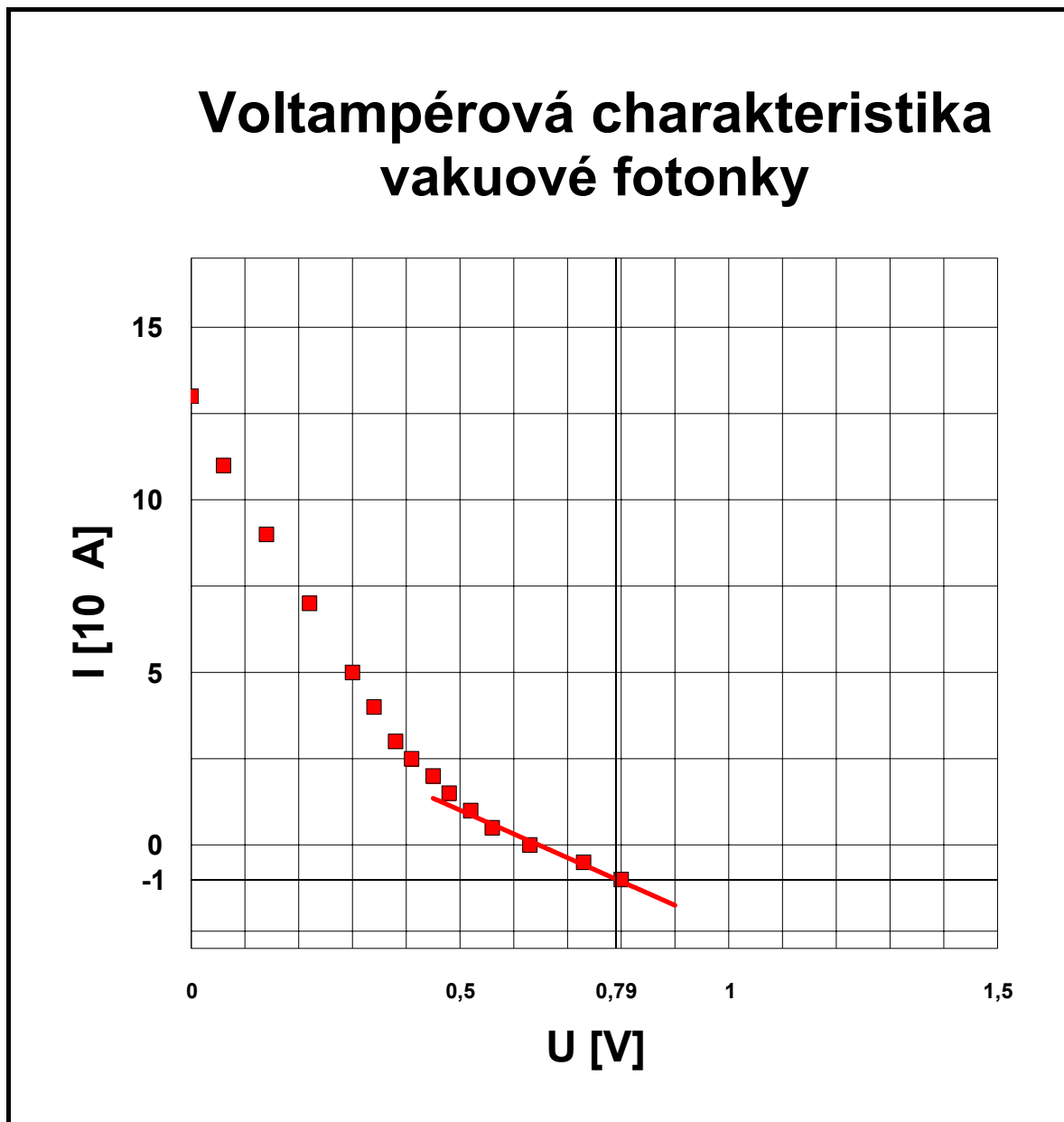
graf 5

Z interpolace získáme  $V_0 = (1,49 \pm 0,31) \text{ V}$



tab. 6 – měření voltampérové charakteristiky vakuové fotonky při  $\lambda = 577 \text{ nm}$

U [V]	0,00	0,06	0,14	0,22	0,30	0,34	0,38	0,41	0,45	0,48	0,52	0,56	0,63	0,73	0,80
I [ $10^{-10} \text{ A}$ ]	13,0	11,0	9,0	7,0	5,0	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0

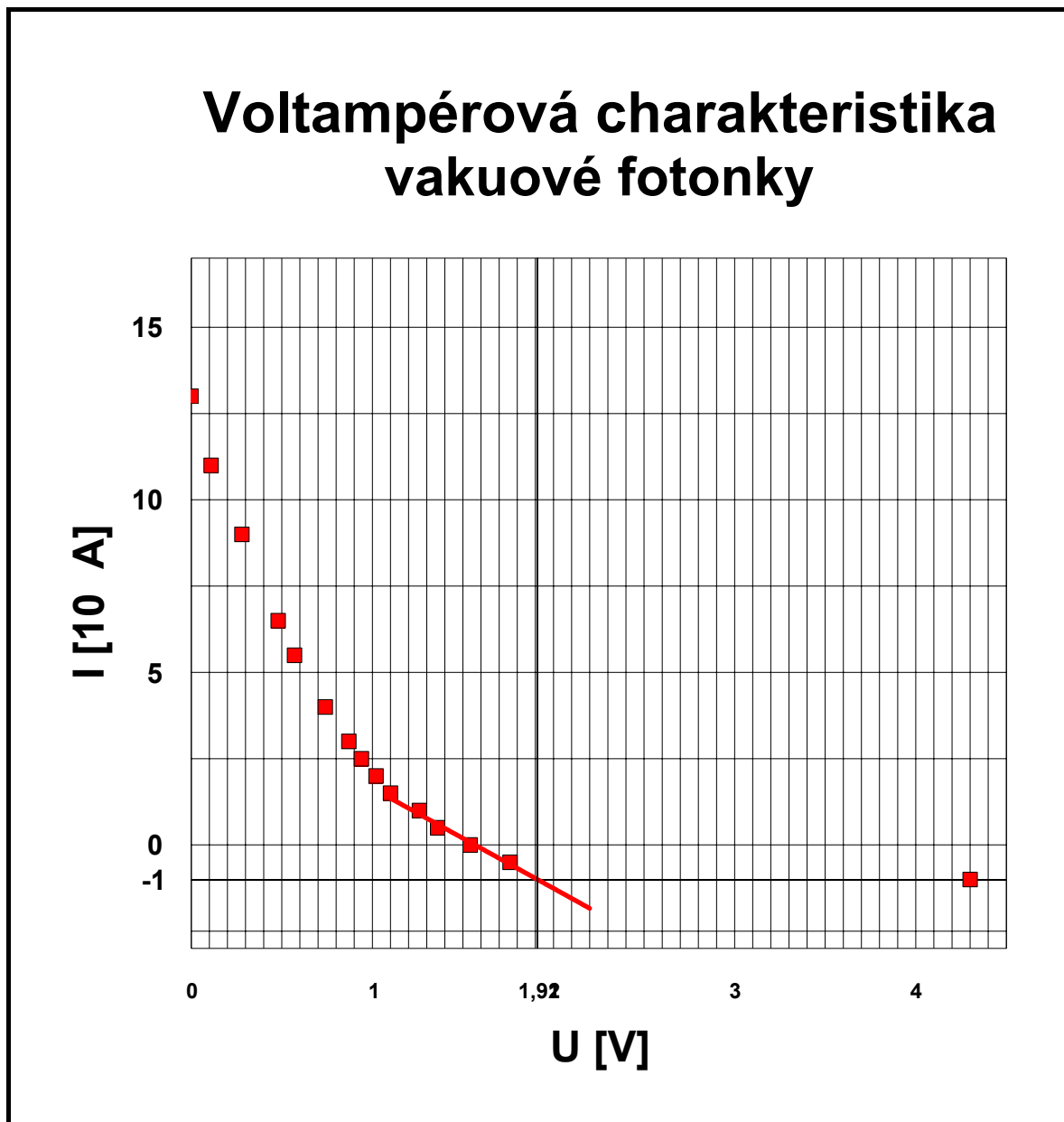


graf 6

Z interpolace získáme  $V_0 = (0,79 \pm 0,17) \text{ V}$

tab. 7 – měření voltampérové charakteristiky vakuové fotonky při  $\lambda = 365 \text{ nm}$

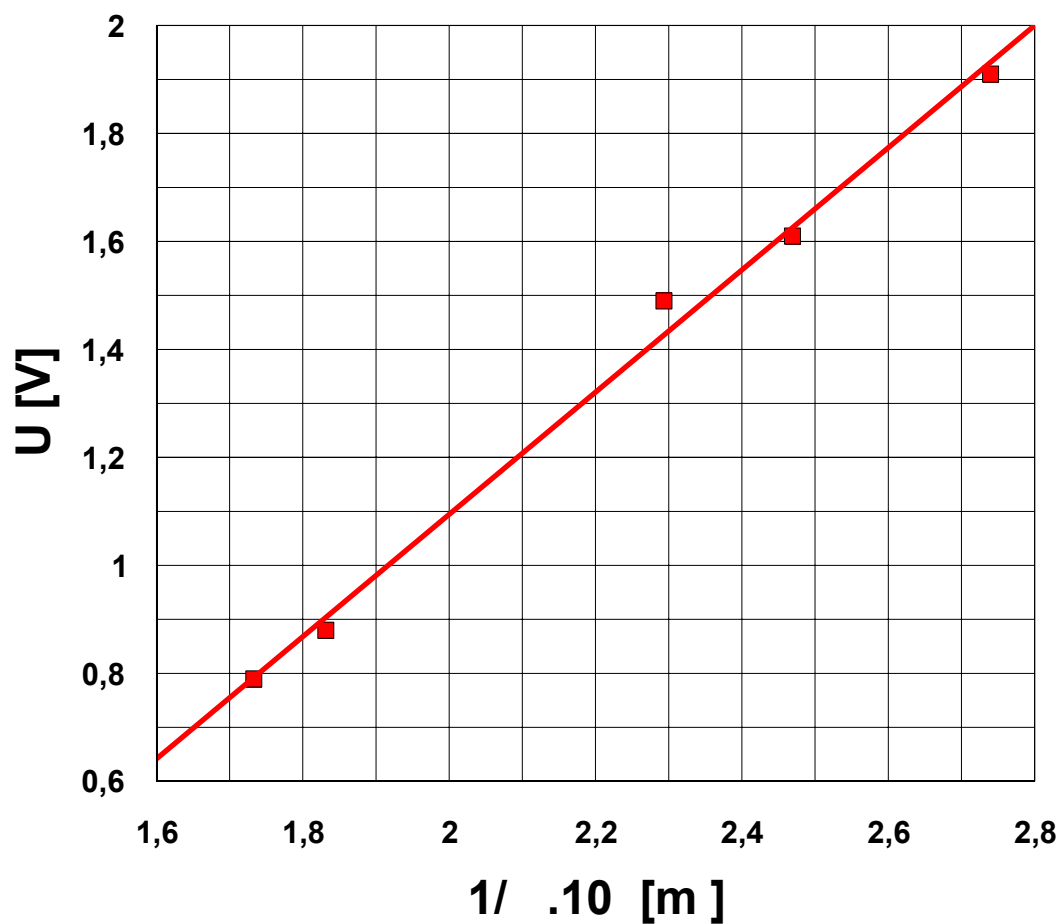
U [V]	0,00	0,11	0,28	0,48	0,57	0,74	0,87	0,94	1,02	1,10	1,26	1,36	1,54	1,76	4,30
I [ $10^{-10}$ A]	13,0	11,0	9,0	6,5	5,5	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0



graf 7

Z interpolace získáme  $V_0 = (1,91 \pm 0,40) \text{ V}$

## Závislost brzdného napětí na vlnočtu



graf 8

Z lineární regrese ze vzorce (3) jsme určili směrnici ( $1,13 \cdot 10^{-6}$ ) a z ní Planckovu konstantu  $h = (6,0 \pm 1,3) \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

## IV. Diskuse

### A. Charakteristiky fotonek

Proměřili jsme voltampérové charakteristiky fotonek GKE, GKV. Zjistili jsme, že první fotonka je vakuová a druhá plynová, viz tab. 1, tab. 2 a graf 1, graf 2. Voltampérové charakteristiky se shodují s teoretickými.

### B. Určení Planckovy konstanty z fotoefektu

Proměřili jsme voltampérové charakteristiky vakuové fotonky při záporných napětích anody vůči katodě pro pět různých vlnových délek (365, 405, 436, 546, 577 nm), viz tab. 3 – 7 a graf 3 – 7.

Protože ve fotonce hraje velkou roli tzv. parazitní proud, proud ve fotonce nikdy nedospěje na nulu. Hodnotu parazitního proudu však můžeme určit pro vysoké záporné napětí anody vůči katodě a nulu tak posunout. Průsečík charakteristiky a nové nuly tak symbolizuje hodnotu záporného napětí anoda-katoda, při kterém již nedochází k průchodu fotoelektronů fotonkou.

Z grafů 3 až 7 je vidět, že předposlední 4 body tvoří přibližně přímku, proto jsme k určení  $V_0$  použili regresi z těchto bodů. Planckova konstanta nám vyšla  $h = (6,0 \pm 1,3) \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ , což je ve velmi dobré shodě s teoretickou hodnotou. Chyby měření jsme počítali z maximálních chyb měřících přístrojů. Chyba brzdného napětí nám vyšla okolo 21%, stejně tak chyba při výpočtu Planckovy konstanty.

## V. Závěr

Proměřením fotonek jsme zjistili, že první fotonka je vakuová a druhá plynová.

Planckova konstanta nám vyšla  $h = (6,0 \pm 1,3) \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ .

Teoretická hodnota Planckovy konstanty  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ .

## VI. Literatura

Fyzikální praktikum III – texty z internetu