

Wydział WI	Imię i nazwisko Piotr Karamon Hubert Kasprzycki		Rok 2	Grupa 12	Zespół 5
PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH	Temat: Efekt fotoelektryczny				Nr ćwiczenia 82
Data wykonania 31.10.2023	Data oddania 07.11.2023	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA

1 Cel ćwiczenia

Badanie zależności energii fotoelektronów w zależności od długości światła padającego na metal. Wyznaczanie stałej Plancka i pracy wyjścia.

2 Wstęp teoretyczny

Światło ma naturę dualną – korpuskularno-falową. Możliwe do zaobserwowania zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne polegające na emisji elektronów z powierzchni metalu dowodzi jego właściwościom korpuskularnym. Emisja elektronów nie zależy od intensywności, lecz od częstotliwości światła. Istnieje graniczna częstotliwości, poniżej której nie obserwuje się tego zjawiska. Energia kinetyczna emitowanych elektronów jest ograniczona pewną wartością jako E_{kmax} i wartość ta zależy wyłącznie od częstotliwości fali i użytego metalu. Energia kinetyczna emitowanych elektronów zawiera się w przedziale $[0, E_{kmax}]$ i nie obserwuje się elektronów o wyższej energii.

Energię fotonu można wyliczyć ze wzoru:

$$E_v = hv = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

gdzie: h – stała Plancka
 v – częstotliwość padającej fali
 c – prędkość światła
 λ – długość fali padającego światła

Maksymalna energia kinetyczna elektronu wyraża się wzorem

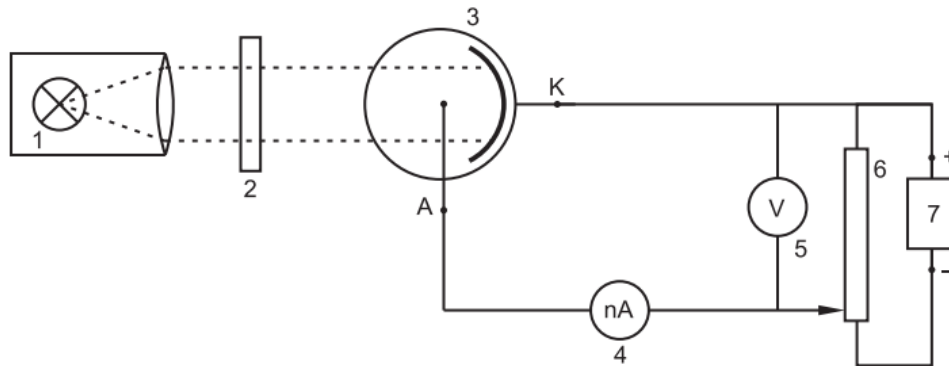
$$E_{kmax} = E_v - W \quad (2)$$

gdzie: W – praca wyjścia

Maksymalną energię kinetyczną E_{kmax} można zmierzyć dobierając takie napięcie zewnętrzne, że mierzony prąd zmniejsze się do 0. W takiej sytuacji eU_h równe jest E_{kmax} .

$$U_h = \frac{h}{e}v - \frac{W}{e} \quad (3)$$

3 Aparatura pomiarowa



Rysunek 1: Schemat aparatury do wyznaczania stałej Plancka

1. żarówka
2. filtry barwne
3. fotokomórka, A – anoda, K – katoda
4. nanoamperomierz
5. woltomierz
6. potencjometr
7. stabilizowany zasilacz napięcia stałego

4 Przebieg doświadczenia

Na początku uruchomiliśmy układ pomiarowy. Dla każdego filtra barwnego trzykrotnie zmierzaliśmy wartość natężenia prądu dla napięcia $U_{a-f} = 0$, oraz wartość napięcia odcięcia U_h , dla którego natężenie prądu było równe 0. Wyniki przedstawiliśmy w tabeli 1. Następnie znając zakres prądu pomiędzy $I = 0$ a wartością I dla $U_{a-f} = 0$, podzieliśmy go na około 10 przedziałów i zmierzaliśmy zależność prądu fotokomórki od napięcia hamującego. Dane zebraliśmy w tabeli 2.

5 Wyniki pomiarów

Tabela 1: Wyniki pomiarów zależności napięcia hamowania U_h od częstotliwości ν

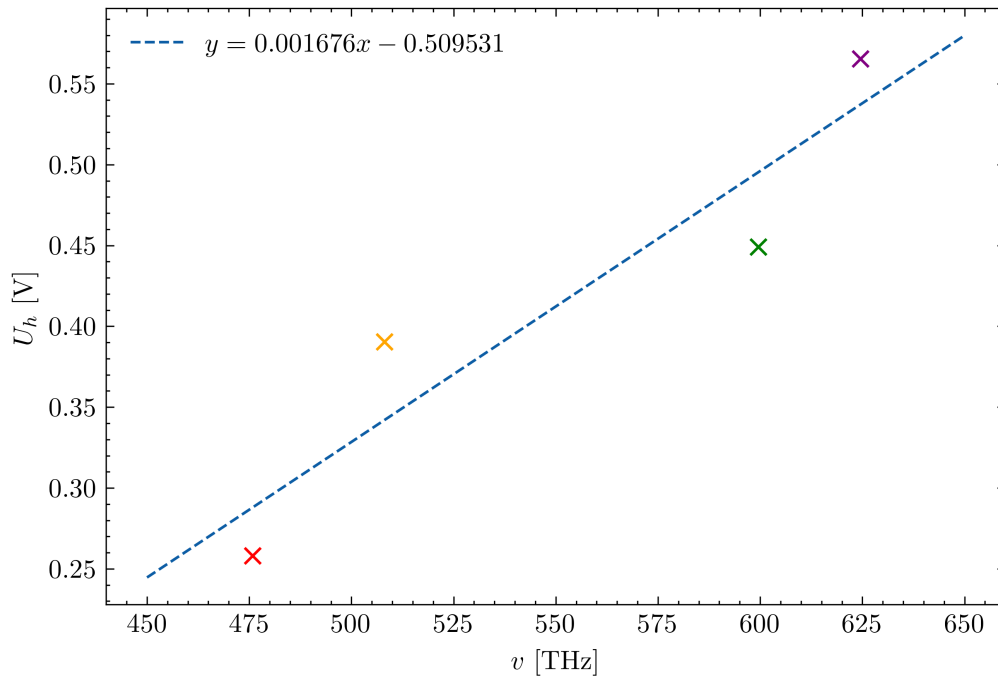
Kolor/ długość fali [nm]	Częstotliwość $\nu = c/\lambda$ [Hz]	I [uA] (dla $U_{a-f} = 0$)	U_h [V] (dla $I=0$)	$U_{h, \text{śred.}}$ [V]
Zielony / 500	599,585	2,23	0,45	0,449
		2,21	0,449	
		2,2	0,448	
Żółty / 590	508,123	3,37	0,392	0,3903
		3,3	0,39	
		3,28	0,389	
Fioletowy / 480	624,568	2,41	0,565	0,5653
		2,42	0,566	
		2,43	0,565	
Czerwony / 630	475,861	0,34	0,26	0,258
		0,33	0,258	
		0,33	0,256	

Tabela 2: Zależność prądu fotokomórki I od napięcia hamującego U_{a-f}

kolor 1/ dł.fali [nm]	I [uA]	U_{a-f} [V]	kolor 2/ dł.fali [nm]	I [uA]	U_{a-f} [V]	kolor 3/ dł.fali [nm]	I [uA]	U_{a-f} [V]	kolor 4/ dł.fali [nm]	I [uA]	U_{a-f} [V]
Zielony 500	0	0,447	Żółty 590	0	0,388	Fioletowy 480	0	0,565	Czerwony 630	0	0,27
	0,2	0,366		0,3	0,328		0,2	0,47		0,03	0,232
	0,4	0,309		0,6	0,281		0,4	0,395		0,06	0,195
	0,6	0,263		0,9	0,238		0,6	0,336		0,09	0,172
	0,8	0,222		1,2	0,201		0,8	0,286		0,12	0,144
	1	0,184		1,5	0,165		1	0,243		0,15	0,122
	1,2	0,149		1,8	0,134		1,2	0,202		0,18	0,099
	1,4	0,117		2,1	0,103		1,4	0,165		0,21	0,075
	1,6	0,085		2,4	0,074		1,6	0,129		0,24	0,057
	1,8	0,054		2,7	0,046		1,8	0,096		0,27	0,036
	2	0,027		3	0,018		2	0,063		0,3	0,019
	2,2	0		3,2	0		2,2	0,033		0,33	0
							2,4	0,002			
							2,42	0			

6 Opracowanie wyników

Na podstawie danych z tabeli 1 stworzyliśmy wykres, oraz dopasowaliśmy do niego prostą.



Rysunek 2: Wykres zależności napięcia hamowania od częstotliwości fal poszczególnych kolorów wraz z dopasowaną prostą do wykresu. W teorii punkty pomiarowe powinny znajdować się blisko dopasowanej krzywej, tak jednak nie jest i widać wyraźnie duże odległości pomiędzy punktami pomiarowymi a prostą.

Dopasowana prosta ma równanie

$$y = 0.001676x - 0.509531$$

Niepewności współczynników prostej są równe:

$$u(a) = 0.00045 \frac{\text{V}}{\text{THz}}, \quad u(b) = 0.25 \text{V}$$

Z równania (3) wynika, że

$$a = \frac{h}{e}$$

$$b = -\frac{W}{e}$$

a zatem z powyższych równań możemy wyznaczyć stałą Plancka h oraz pracę wyjścia W

$$h = a \cdot e = 0.001676 \frac{\text{V}}{\text{THz}} \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \text{C} = 2.68 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

$$W = -b \cdot e = 0.509531 \text{V} \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \text{C} = 0.510 \text{eV}$$

W celu obliczenia niepewności pomiaru h oraz W wykorzystujemy prawo przenoszenia niepewności, zatem

$$u(h) = \sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial a} u(a)\right)^2} = |e \cdot u(a)| = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 0.00045 \frac{\text{V}}{\text{THz}} = 0.72 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

$$u(W) = \sqrt{\left(\frac{\partial W}{\partial b} u(b)\right)^2} = |-e \cdot u(b)| = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 0.25 \text{V} = 0.25 \text{eV}$$

Podsumowując:

$$h = 2.68 \cdot 10^{-34} \text{Js}; \quad u(h) = 0.72 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

$$W = 0.51 \text{V}; \quad u(W) = 0.25 \text{V}$$

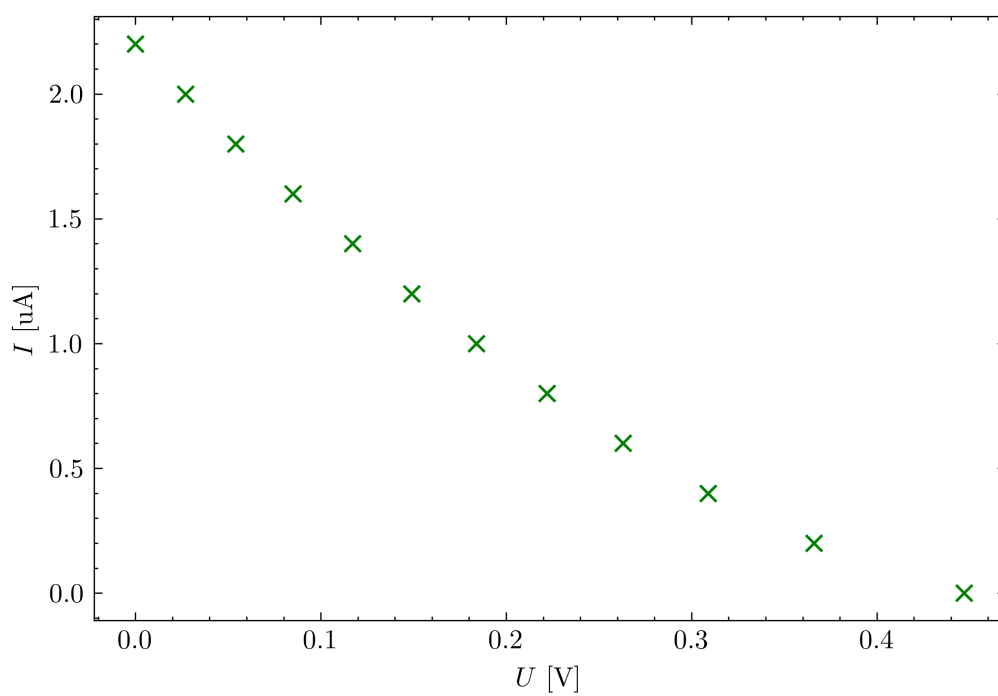
Niepewność rozszerzona $U(h)$ jest równa $U(h) = 2u(h) = 1.44 \cdot 10^{-34} \text{Js}$, a zatem wyliczona przez nas wartość stałej Plancka nie jest zgodna z wartością tablicową równą $h_{\text{tab}} = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$. Wyliczona przez nas wartość stałej Plancka jest wyraźnie zaniżona, a jej niepewność jest bardzo duża.

Tak duża niepewność i tak duże odchylenie od wartości tabelarycznej wynika najpewniej z:

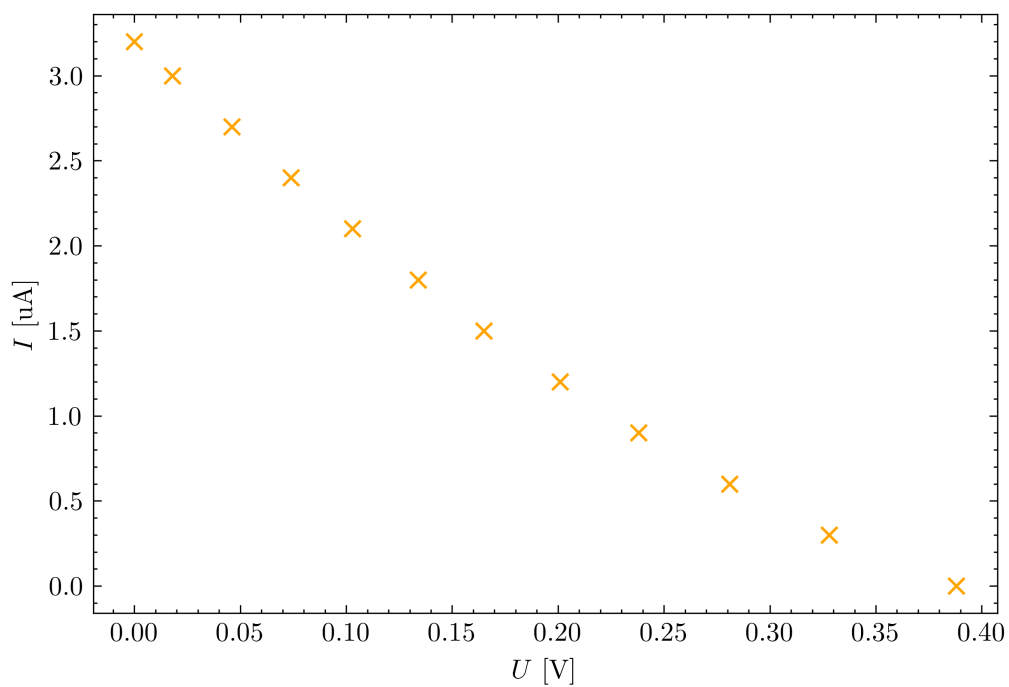
- Wad instrumentów pomiarowych.
- Faktu, że mierzymy wartości bardzo małe i podczas pomiarów nawet niewielkie zakłócenia i zaburzenia w otoczeniu mogą mieć znaczący wpływ na wyniki.
- Długości fali zostały nam podane z dokładnością do $0.01 \mu\text{A}$, nie mogliśmy sprawdzić poprawności tych wartości, więc założyliśmy, że są słuszne, być może tak nie było.
- Błędy i niedokładności ludzkie.

Niepewność pracy wyjścia jest ogromna. Niepewność względna czyli $\frac{u(W)}{W}$ równa się, aż 49%.

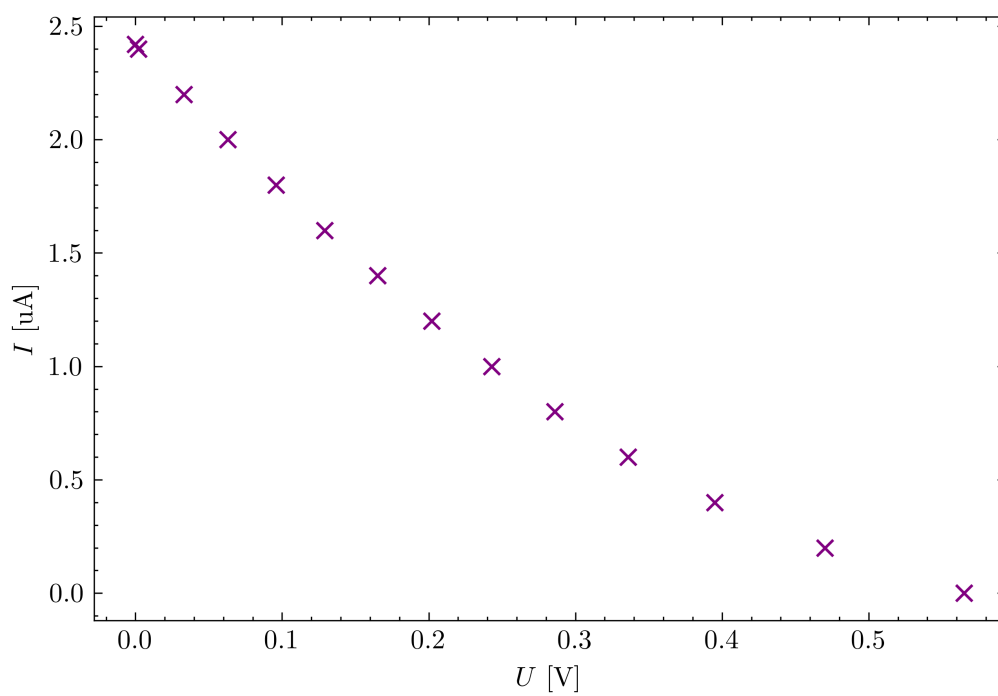
W doświadczeniu badaliśmy zależność prądu fotokomórki I od napięcia hamującego, wynikiem tego są następujące wykresy:



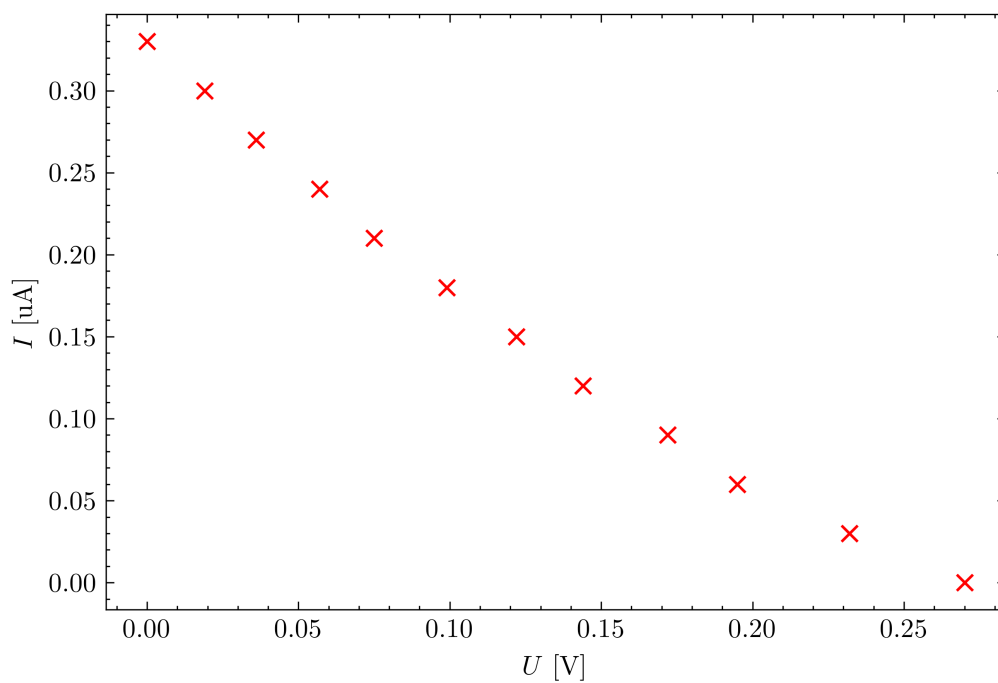
Rysunek 3: Zależność prądu fotokomórki I od napięcia hamującego U dla koloru zielonego.



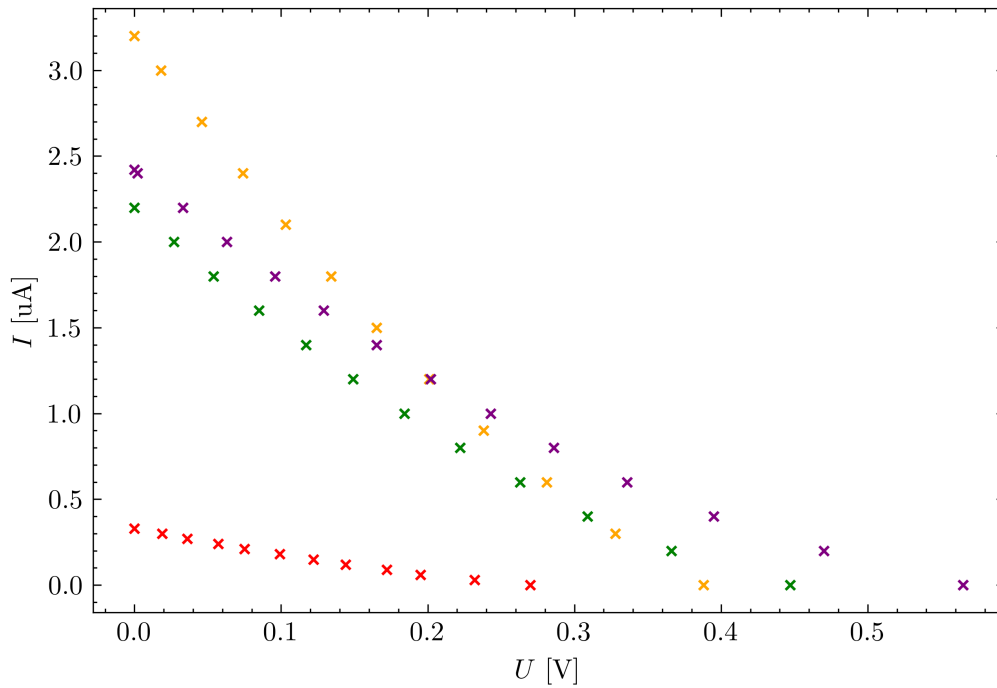
Rysunek 4: Zależność prądu fotokomórki I od napięcia hamującego U dla koloru żółtego.



Rysunek 5: Zależność prądu fotokomórki I od napięcia hamującego U dla koloru fioletowego.



Rysunek 6: Zależność prądu fotokomórki I od napięcia hamującego U dla koloru czerwonego.



Rysunek 7: Zbiorczy wykres zależności prądu fotokomórki I od napięcia hamującego U dla wszystkich kolorów.

Jak widać wykresy $I(U)$ są liniami prostymi, które lekko się "wykrzywiają" gdy zbliżamy się do $I = 0$.

Ciekawy jest wykres zbiorczy dla wszystkich kolorów. A w szczególności to co się dzieje z kolorem żółtym. Prosta dla tego koloru przecina prostą dla koloru zielonego oraz fioletowego, co nie powinno się dziać. Być może jest to spowodowane uszkodzeniem tego filtra, lub nieumiejętnym lub niedokładnym włożeniem go do kasety. Proste dla pozostałych kolorów zdają się być już zgodne z teorią.

7 Wnioski

1. Wyliczona przez nas wartość stałej Plancka jest równa $h = 2.68 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ jest ona bardzo zaniżona względnej wartości tabelarycznej. Jej niepewność $u(h) = 0.72 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ jest bardzo duża. Duży błąd oraz duża niepewność najpewniej wynika z nieznanymi nam niedoskonałości urządzeń pomiarowych lub samych filtrów.
2. Wyliczona przez nas praca wyjścia jest równa $W = 0.51 \text{ V}$, jednakże wynik ten jest obarczony bardzo dużą niepewnością pomiarową $u(W) = 0.25 \text{ V}$.
3. Wykresy zależności prądu fotokomórki I od napięcia hamującego są liniami prostymi, które jednak ztracają swój prosty kształt gdy zbliżamy napięcie zbliża się do U_h .