

WFiiS	Imię i nazwisko: 1. 2.		ROK	GRUPA	ZESPÓŁ
PRACOWNIA FIZYCZNA I i II	TEMAT:				NR ĆWICZENIA
Data wykonania:	Data oddania:	Zwrot do poprawy:	Data oddania:	Data zliczenia:	OCENA

Cel ćwiczenia:

Wyznaczenie stałej Planck'a i pracy wyjścia elektronów z fotokatody metodą wyznaczania maksymalnej energii fotoelektronów w zależności od długości fali światła oświetlającego fotokatodę fotokomórki próżniowej.

Wstęp teoretyczny:

Gdy powierzchnię metalu oświetli się światłem o odpowiednio dużej częstotliwości, to z powierzchni wybijane są elektrony. Okazuje się ponadto, że emisja elektronów zależy od częstotliwości, a nie od intensywności padającego światła. Da się to wytłumaczyć tym, że dla każdego metalu istnieje graniczna częstotliwość, poniżej której nie obserwuje się wybijania fotoelektronów bez względu na natężenie światła.

Dodatkowo można zaobserwować, że energia kinetyczna emitowanych elektronów zawiera się w przedziale od zera do pewnej wartości E_{\max} i nie obserwuje się elektronów o większej energii.

Maksymalna energia $E_{k_{\max}}$ zależy od częstotliwości, a także od rodzaju materiału.

Nie da się wyjaśnić powyższych faktów eksperymentalnych, traktując światło jako falę. Stało się to możliwe dopiero na gruncie mechaniki kwantowej dzięki założeniu, że światło rozchodzi się w przestrzeni w postaci porcji energii (kwantów) zwanych fotonami. Każdy foton ma energię E , która zależy tylko od jego częstotliwości f :

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

gdzie h jest stałą Planck'a, c prędkością światła, a λ długością padającej fali.

Chociaż elektrony w metalu można zazwyczaj uważać za cząstki swobodne, to jednak są one „związane” – ich energia jest mniejsza niż poza metalem (to właśnie sprawia, że elektrony z metalu nieoświetlonego nie wydostaną się samoistnie poza powierzchnię). Minimalna energia, jaką trzeba dostarczyć elektronom, aby opuściły metal nazywa się pracą wyjścia i oznacza W .

Jeśli na metal pada światło, to fotony mogą się zderzyć z elektronami metalu i przekazać im swoją energię. Jeśli energia E fotonu zderzającego się z elektronem będzie mniejsza od W , to elektron nie opuści metalu. Dopiero światło o energii większe od W , czyli o częstotliwości przekraczającej częstotliwość graniczną $f_0 = W/h$, może wybić elektron z metalu.

Energia kinetyczna najszybszych elektronów $E_{k_{\max}}$ jest równa różnicy energii kwantu hf i pracą wyjścia W :

$$E_{k_{\max}} = hf - W$$

Wzór ten po raz pierwszy wyprowadził w 1905r Albert Einstein, a za wytłumaczenie zjawiska fotoelektrycznego uzyskał Nagrodę Nobla. Jego teoria była jednocześnie dowodem istnienia

fotonów jako kwantów promieniowania elektromagnetycznego, ze względu na kluczowe założenie, że jeden foton może przekazać energię tylko jednemu elektronowi.

Znajomość poziomów energii elektronów walencyjnych w metalu pozwala na pełniejsze zrozumienie zjawiska fotoelektrycznego. Elektrony te nie mają jednej energii, lecz wypełniają przedział energii o szerokości od kilku do kilkunastu eV , czyli od dna pasma do energii Fermiego E_F . Właśnie te elektrony wybite z poziomu Fermiego mogą uzyskać maksymalną energię kinetyczną $E_{k_{\max}}$, natomiast elektrony wybite z poziomów głębiej położonych uzyskują mniejszą energię. Pomiar widma energii fotoelektronów jest obecnie najważniejszą metodą badania struktury poziomów energetycznych w ciele stałym.

W układzie doświadczalnym mierzymy prąd (czyli przepływ fotoelektronów) I w funkcji napięcia U przyłożonego tak, że hamuje ono wybite elektrony. Maksymalną energię kinetyczną $E_{k_{\max}}$ można zmierzyć, dobierając takie napięcie zewnętrzne $U = U_h$ (tzw. napięcie hamowania), że zmierzony prąd I zmaleje do 0. W takiej sytuacji:

$$eU_h = E_{k_{\max}}$$

Ciekawy jest też fakt, iż istnieje liniowa zależność między napięciem hamowania U_h , a częstotliwością f . Wychodząc ze wzoru $E_{k_{\max}} = hf - W$ otrzymujemy $eU_h = hf - W$, czyli ostatecznie:

$$U_h = \frac{h}{e} f - \frac{W}{e}$$

Wyniki pomiarów:

DANE POMIAROWE		
filtr: czerwony		
długość fali λ [nm]:	610	
U [V]	I [μA]	
0,015	0,080	
0,030	0,073	
0,060	0,063	
0,090	0,050	
0,130	0,038	
filtr: żółty		
długość fali λ [nm]:	585	
U [V]	I [μA]	
0,015	1,00	
0,030	0,93	
0,060	0,83	
0,090	0,70	
0,130	0,60	
filtr: zielony		
długość fali λ [nm]:	580	
U [V]	I [μA]	
0,015	0,53	
0,030	0,50	
0,060	0,45	
0,090	0,40	
0,130	0,32	
filtr: niebieski		
długość fali λ [nm]:	572	
U [V]	I [μA]	
0,015	0,36	
0,030	0,35	
0,060	0,31	
0,090	0,28	
0,130	0,24	

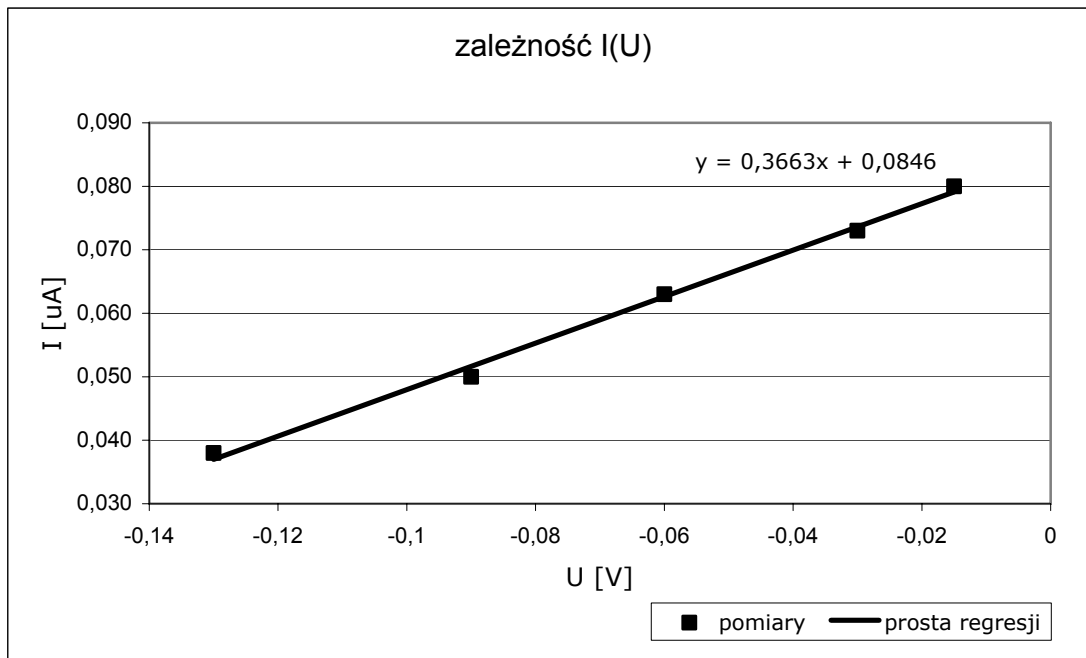
Tabela 1

CZĘSTOTLIWOŚCI		
filtr: czerwony		
f [10^{14} Hz]:	4,90	
filtr: żółty		
f [10^{14} Hz]:	5,11	
filtr: zielony		
f [10^{14} Hz]:	5,15	
filtr: niebieski		
f [10^{14} Hz]:	5,23	

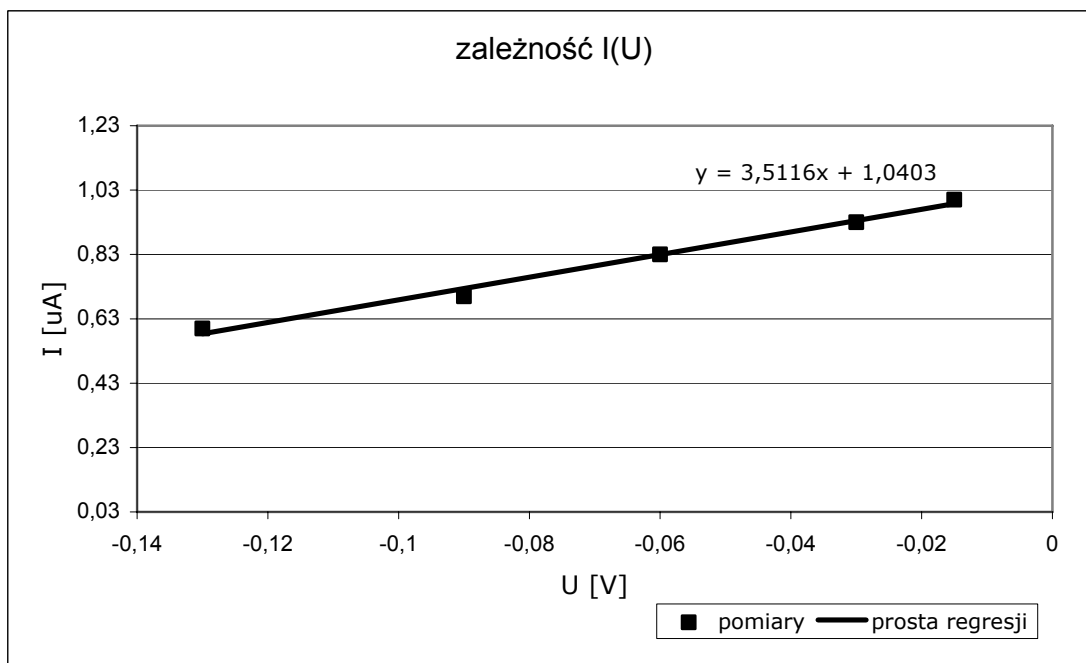
Tabela 2

Opracowanie wyników pomiarów:

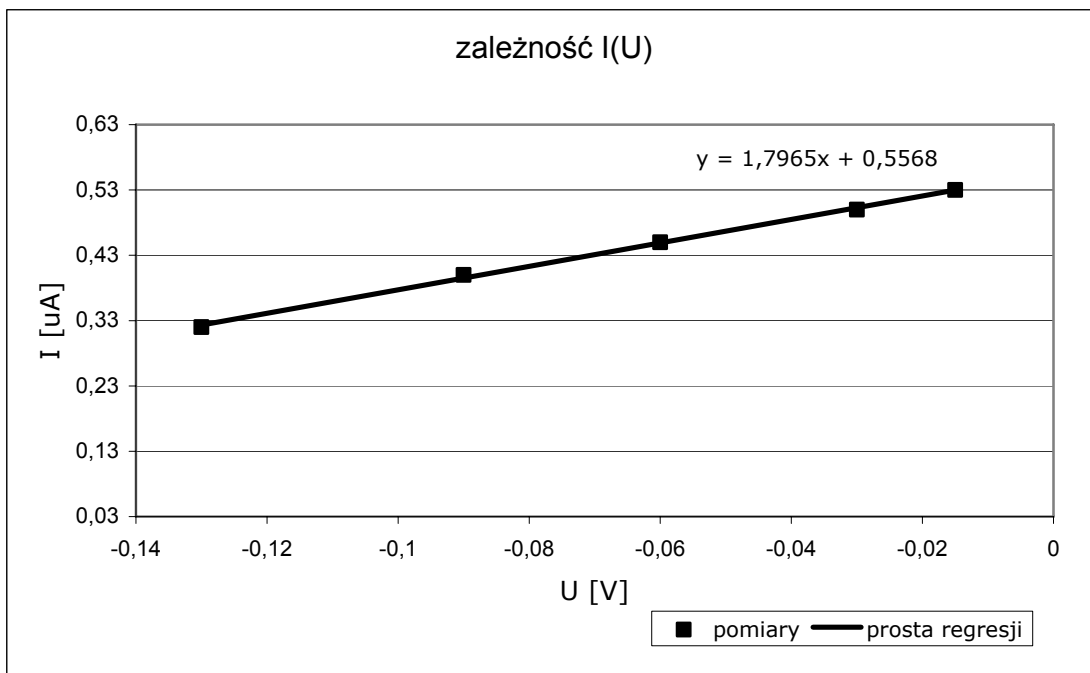
Na podstawie zależności prądu I od napięcia hamowania U_h wyznaczono poniższe zależności dla różnych długości fal na podstawie danych pomiarowych (tabela 1).



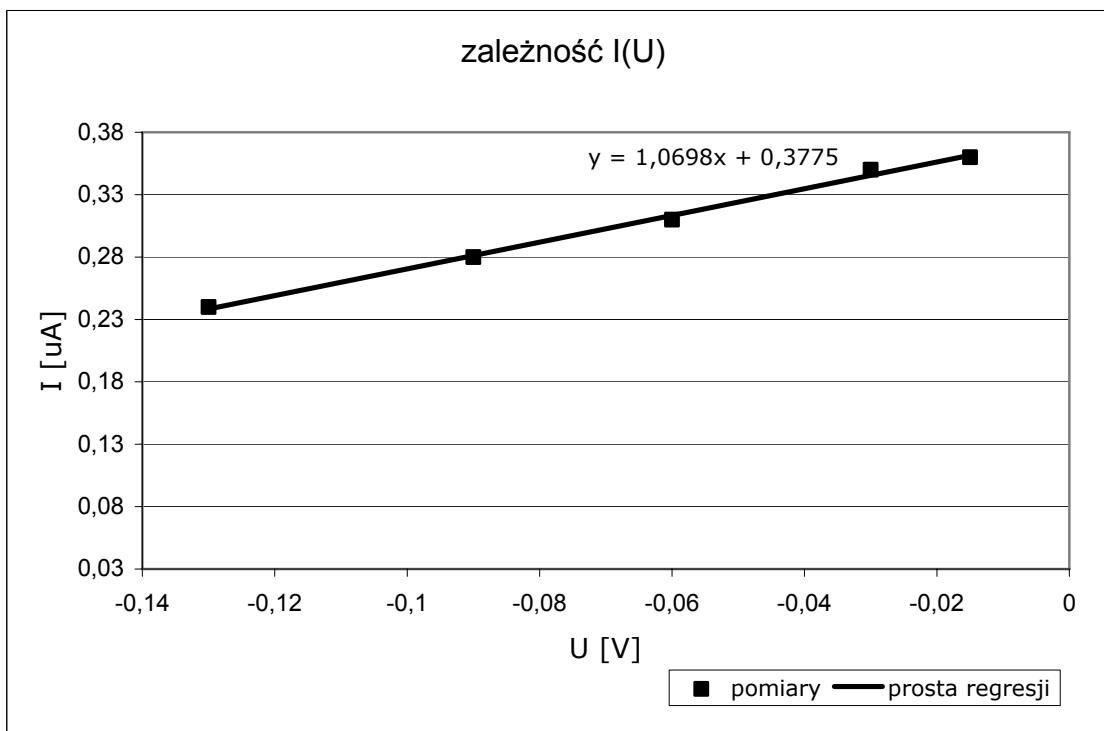
Filtr czerwony



Filtr żółty



Filtr zielony



Filtr niebieski

Ogólnym równaniem prostej regresji jest: $y = Ax + B$, gdzie współczynniki A i B dla każdej długości fali są dane. W celu znalezienia napięcia hamowania możemy przyrównać $y = 0$ i rozwiązując równanie

$$x = -B/A$$

Wyniki dla poszczególnych filtrów zostały zestawione w poniższej tabeli.

NAPIĘCIE HAMOWANIA		
filtr: czerwony	U _h [V]:	0,23
filtr: żółty	U _h [V]:	0,30
filtr: zielony	U _h [V]:	0,31
filtr: niebieski	U _h [V]:	0,35

Tabela 3

Następnie zakładając, że znamy wartość stałej Planck'a $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ oraz ładunek elektronu $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ można wstępnie obliczyć pracę wyjścia W . Aby to uczynić należy przekształcić wzór:

$$U_h = \frac{h}{e} f - \frac{W}{e}$$

otrzymując ostatecznie:

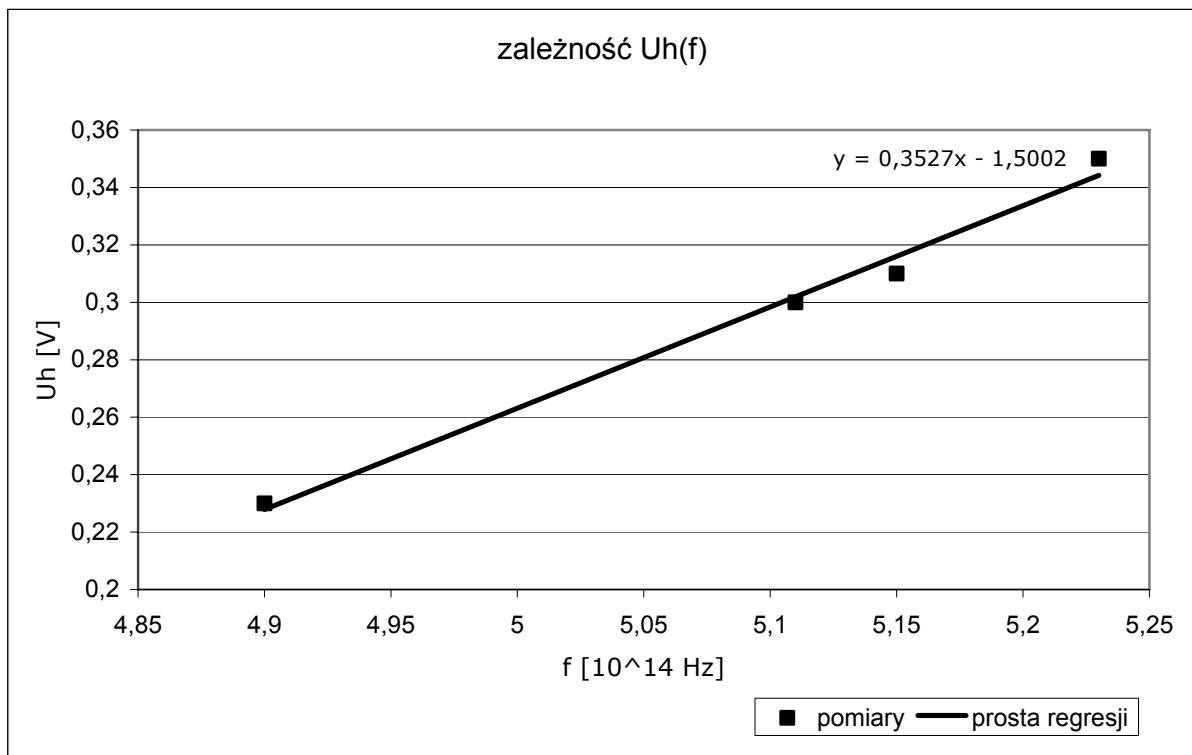
$$W = hf - eU_h$$

Poniższa tabela zawiera zestawienie wyników dla poszczególnych filtrów.

PRACA WYJŚCIA		
filtr: czerwony	W [10 ⁻¹⁹ J]:	2,88
	W [eV]:	1,80
filtr: żółty	W [10 ⁻¹⁹ J]:	2,91
	W [eV]:	1,82
filtr: zielony	W [10 ⁻¹⁹ J]:	2,92
	W [eV]:	1,82
filtr: niebieski	W [10 ⁻¹⁹ J]:	2,91
	W [eV]:	1,82

Średnia praca wyjścia jest równa $W_{sr1} = 2,9 \cdot 10^{-19} [J] = 1,81 [eV]$

Wykorzystując dane z tabel 2 i 3 można pokazać następującą zależność:



Na podstawie metody najmniejszych kwadratów wyznaczono prostą regresji o ogólnym równaniu:

$$U_h = Af + B$$

Dzięki niemu można wyznaczyć następujące zależności:

$$A = \frac{h}{e} \Rightarrow h = Ae \quad (h - \text{stała Planck'a})$$

$$B = \frac{W}{e} \Rightarrow W = Be \quad (W - \text{praca wyjścia}, e - \text{ładunek elektronu})$$

Dla wartości współczynnika $A = 0,3527 \cdot 10^{-14} [Vs]$ stała Planck'a wynosi:

$$h = Ae = 0,3527 \cdot 10^{-14} [Vs] \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} [C] = 5,643 \cdot 10^{-34} [Js]$$

Z kolei dla $B = -1,5002[V]$ otrzymano pracę wyjścia:

$$W = Be = 1,5002[V] \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}[C] = 2,4 \cdot 10^{-19} J$$

Przeliczając powyższy wynik na wartość wyrażoną za pomocą jednostki $[eV]$ otrzymujemy:

$$W = 1,498[eV] \approx 1,50[eV]$$

Niepewności $S(A)$ oraz $S(B)$ zostały wzięte z wykresu zależności $U_h(f)$, który został dołączony do sprawozdania. Wynoszą one:

$$S(A) = 0,0256 \cdot 10^{-14} [Vs]$$

$$S(B) = 0,1304[V]$$

Aby wyznaczyć niepewności pomiarowe pracy wyjścia i stałej Planck'a posłużono się odpowiednimi zależnościami:

$$u(h) = S(A) \cdot e$$

$$u(W) = S(B) \cdot e$$

Ostatecznie obliczono, że:

$$u(h) = 0,041 \cdot 10^{-24} [Js]$$

$$u(W) = 0,21 [J]$$

Wnioski:

Głównym celem ćwiczenia było wyznaczenie stałej Planck'a. Wartość obliczona na podstawie wyników pomiarów jest równa:

$$h_{dosw} = 5,643 \cdot 10^{-34} (0,041 \cdot 10^{-34}) [Js]$$

Tymczasem wartość tablicowa wynosi:

$$h_{tab} = 6,63 \cdot 10^{-34} Js$$

Różnica tych wartości wynosi:

$$h_{tab} - h_{dosw} = 0,987 \cdot 10^{-34} [Js]$$

Prawdopodobnie jest ona spowodowana, że mierzono bardzo małe wartości prądu i napięcia. Na te pomiary mogły mieć wpływ niepewności pomiarowe urządzeń, które wykorzystano w pomiarach.

Pozostałe różnice np. w wartościach pracy wyjścia wynikają z różnicy wartości doświadczalnej i tablicowej stałej Planck'a.

Załączniki:

[1] – dwie kartki z wynikami pomiarów;

[2] – cztery wykresy zależności prądu I od napięcia hamującego U_h ;

[3] – wykres zależności napięcia hamującego U_h od częstotliwości;