

**INSTYTUT FIZYKI
UNIwersYTET ŚLĄSKI**

II PRACOWNIA FIZYCZNA

SPRAWOZDANIE

Nr ćwiczenia: 14

Data wykonania ćwiczenia: 09.03.2022r.

Wyznaczanie stałej Plancka

Fizyka medyczna II rok
Magdalena Skraba
Mail: magdalena.monika.skraba@gmail.com

Osoba prowadząca ćwiczenie:
Prof. dr hab. inż. Tadeusz Groń
dr Jacek Czeakański

Ocena kolokwium wstępnego:

Ocena zaliczająca ćwiczenie:

1. Wstęp teoretyczny

1.1. Dualizm korpuskularno-falowy

Dualizm korpuskularno-falowy polega na przejawianiu się właściwości korpuskularnych jak i falowych w przypadku obiektów kwantowych. Obiekty takie w pewnych sytuacjach mogą przejawiać właściwości falowe takie jak interferencja i dyfrakcja, a w innym przypadku właściwości charakterystyczne dla korpuskuł, między innymi pęd. Przykładami obiektów przejawiających takie cechy są na przykład elektrony i światło. Światło może być rozpatrywane jako fala, jak i zbiór fotonów pozbawionych masy, będących kwantami energii. Światło ulega dyfrakcji na przeszkodach (doświadczenie Younga, plamka Airy'ego), interferuje (doświadczenie Younga) zgodnie z zasadami dotyczącymi fal. Jednakże, jeśli światło rozpatrujemy jako zbiór korpuskuł, to można zauważyć, że fotony posiadają pęd i niekoniecznie zachowuje się wyłącznie jak fala (efekt fotoelektryczny zewnętrzny, zjawisko Comptona).

1.2. Efekt fotoelektryczny zewnętrzny i wewnętrzny. Równania Einsteina. Praca wyjścia dla elektronu. Potencjał hamowania

Efekt fotoelektryczny zewnętrzny występuje, gdy metalowa płytka zostanie oświetlona monochromatyczną falą elektromagnetyczną o odpowiednio małej długości fali, padające promieniowanie jest absorbowane i emitowane są elektrony z płytki. Efekt fotoelektryczny ma trzy ważne cechy, których nie da się wytłumaczyć teorią fizyki klasycznej. Jest to:

- brak opóźnienia
- niezależność energii kinetycznej wybitych elektronów od natężenia padającego promieniowania
- występowanie częstotliwości granicznej.

Efekt fotoelektryczny zewnętrzny opisuje równanie

$$E = W + E_k$$

Gdzie

$$E = h\nu$$

Zatem

$$h\nu = W + E_k$$

Aby fotoprąd mógł przepłynąć między elektrodami musi istnieć różnica potencjałów, czyli napięcie hamowania. Z tego wynika, że

$$E_k = eU_h$$

Ponieważ $E = qU$ dla $q = e$

Podstawiając otrzymujemy

$$h\nu = W + eU_h$$

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

Napięcie hamowania nie zależy od natężenia światła, ale jest powiązane z energią kinetyczną wybitych elektronów. Przy dostatecznie dużym napięciu U prąd osiąga stan nasycenia, czyli wszystkie emitowane elektrony docierają do anody. Natężenie fotoprądu jest równe zero dopiero po przyłożeniu napięcia hamującego U_h i wtedy nawet najszybszy elektron nie dotrze do anody.

Efekt fotoelektryczny wewnętrzny polega na tym, że elektron w ciele stałym (np. półprzewodniku) absorbuje foton i przechodzi przez pasmo wzbronione do pasma o wyższej energii, które jest pasmem przewodnictwa. Wzbudzony elektron może przewodzić prąd i jest to podstawą zjawiska fotoprzewodnictwa.

1.3. Charakterystyka prądowo-napięciowa fotokomórki. Zastosowanie efektu fotoelektrycznego

Jeśli przy danej częstotliwości, dla której zachodzi zjawisko fotoelektryczne, przyłożymy napięcie hamowania U_h , wtedy zmieniając napięcie znajdziemy taką jego wartość, przy której przestanie płynąć w obwodzie prąd. Znaczący to, że w tym momencie najszybsze elektrony wychodzące z katody zostały zahamowane. Ma to miejsce wtedy, gdy praca sił pola elektrycznego hamującego elektrony jest równa energii kinetycznej tych elektronów tuż po wyjściu z metalu.

1.4. Metody wyznaczania stałej Plancka

Do wyznaczania stałej Plancka wykorzystujemy opisane wyżej zależności wynikające z zastosowania efektu fotoelektrycznego.

Zatem otrzymujemy

$$E_k = eU_h$$

Podstawiamy do wzorów, które zostały wprowadzone wyżej

$$h\nu = W + eU_h$$

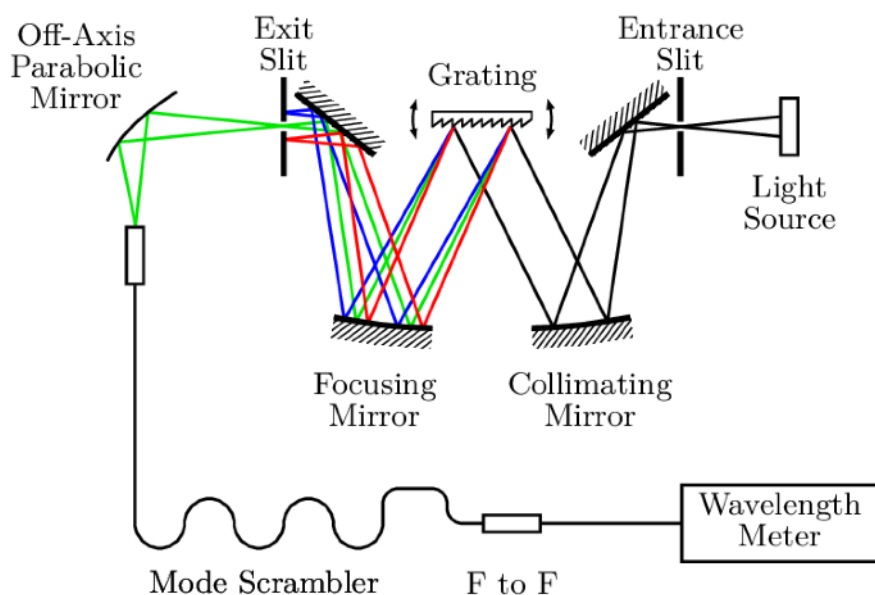
$$U_h = \frac{h\nu}{e} - \frac{W}{e}$$

Wyznaczamy wykres U_h od częstotliwości i traktujemy h jako element współczynnika kierunkowego prostej. Dzięki temu możemy obliczyć h , ponieważ

$h = \tan \alpha$ lub wyznaczyć za pomocą wykresu w arkuszu kalkulacyjnym.

1.5. Budowa monochromatora i lampy spektralnej

Zadaniem monochromatora jest eliminacja całego zakresu promieniowania nie będącego promieniowaniem źródła, a przepuszczenie jedynie linii rezonansowej lampy, czyli promieniowania emitowanego przez oznaczany pierwiastek. Monochromator jest zbudowany ze szczeliny wejściowej, elementu rozpraszającego (siatki dyfrakcyjnej lub pryzmatu), układu zwierciadeł lub soczewek oraz szczeliny wyjściowej. Zwykle w monochromatorach używa się siatki dyfrakcyjnej. Zdolność rozdzielcza siatki jest określana przez liczbę szczelin na siatce.



Zdjęcie 1. Schemat budowy monochromatora.

Lampa spektralna to taka lampa, której źródło światła o widmie liniowym jest stosowane do celów spektroskopii promieniowania widzialnego, podczerwonego i ultrafioletowego. Substancją świecącą są pary metali lub rozrzedzone gazy, które pozostają pobudzone przez niskonapięciowy łuk elektryczny. Głównym parametrem lampy spektralnej jest szerokość linii widmowych. Lampa ta posiada trzy elektrody, z czego dwie są robocze i jedna rozruchowa.



Zdjęcie 2. Lampa spektralna.

1.6. Pomiar bardzo małych prądów

Żeby zmierzyć prąd, najpierw trzeba rozłączyć obwód i dołączyć amperomierz. Po dokonaniu pomiaru trzeba ponownie wszystko połączyć. Aby sprawniej dokonać pomiaru, można zastosować metodę pomiaru pośredniego za pomocą cęgowego amperomierza lub cęgowego multimetru. Wtedy nie jest potrzebne przerywanie obwodu w celu pomiaru. Pomiar ten jest mniej dokładny od wcześniejszej, jednak znacząco prostszy i usprawniający wykonanie pomiarów.

2. Przebieg doświadczenia

Do przeprowadzenia doświadczenia wykorzystujemy monochromator, lampy spektralne (halogenową i rtęciową), fotokomórkę w oprawie, amperomierz, woltomierz, pulpit pomiarowy i zasilacz.

Wykonujemy następujące kroki:

A) Cechowanie monochromatora

1. Ustawiamy lampę rtęciową w niewielkiej odległości od szczeliny wejściowej monochromatora.
2. Włączamy zasilacz lampy i odczekujemy kilka minut do osiągnięcia pełnej jasności.
3. Ustalamy szerokość szczeliny monochromatora na około 0,2 mm i regulujemy, jeśli zajdzie taka potrzeba, aby otrzymać wyraźne linie widmowe.
4. Ustawiamy bęben monochromatora w położeniu X równym 20 działek. Zmieniamy powoli położenie bębna i obserwujemy poszczególne linie widmowe.
5. Zapisujemy położenia poszczególnych linii.
6. Dopasowujemy za pomocą danych tablicowych długości fal do zaobserwowanych linii widmowych. Wykonujemy krzywą dyspersji.

B) Pomiar napięcia hamowania

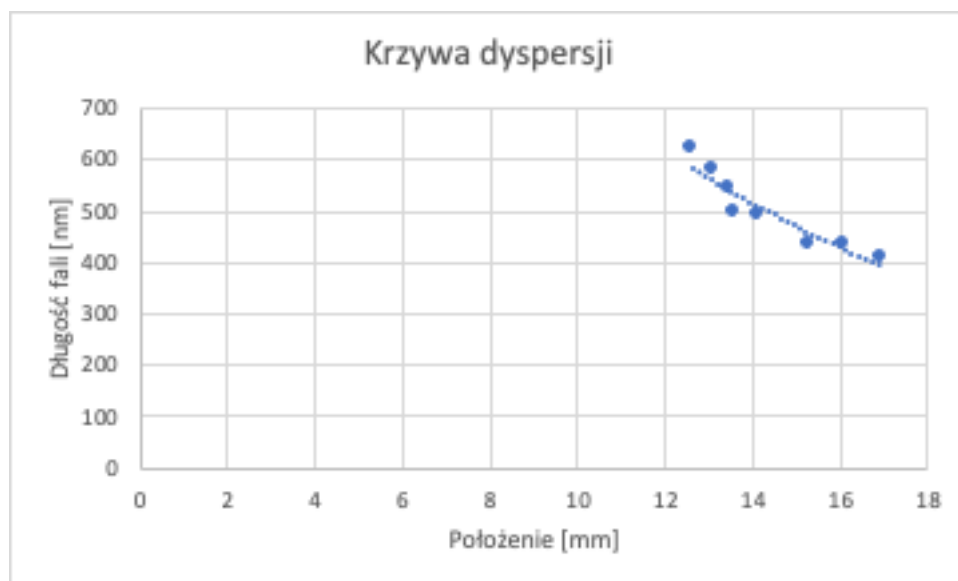
1. Ustawiamy oświetlacz halogenowy przed szczeliną wejściową monochromatora.
 1. Zakładamy fotokomórkę na szczelinę wyjściową monochromatora.
2. Podłączamy do układu woltomierz i amperomierz.
3. Badamy zależność natężenia od napięcia hamującego dla kilku różnych długości fali światła.
4. Wyznaczamy charakterystykę prądowo-napięciową dla wybranych długości fali.

3. Dane pomiarowe

3.1. Cechowanie monochromatora

Kolor	Położenie [mm]	Długość fali [nm]
Czerwony	12,61	623
Żółty dublet	13,08	579
Zielony silny	13,43	546
Zielony słaby	13,57	496
Niebiesko-zielony	14,12	492
Niebieski	15,28	436
Fiolet nr 1	16,09	435
Fiolet nr 2	16,95	408

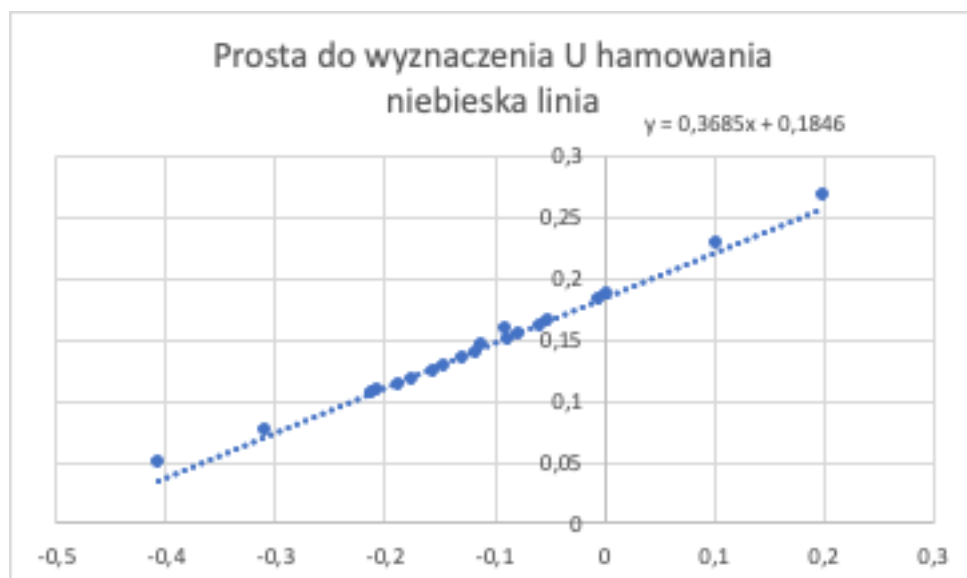
3.2. Krzywa dyspersji



3.3. Zależność natężenia prądu od napięcia

3.3.1. Dla koloru niebieskiego - wyniki zaznaczone w ramce były wykorzystane do prostej, za pomocą której wyznaczamy równanie liniowe i jego miejsce zerowe będące wartością napięcia hamowania. Analogiczne postępowanie w pozostałych dwóch kolorach.

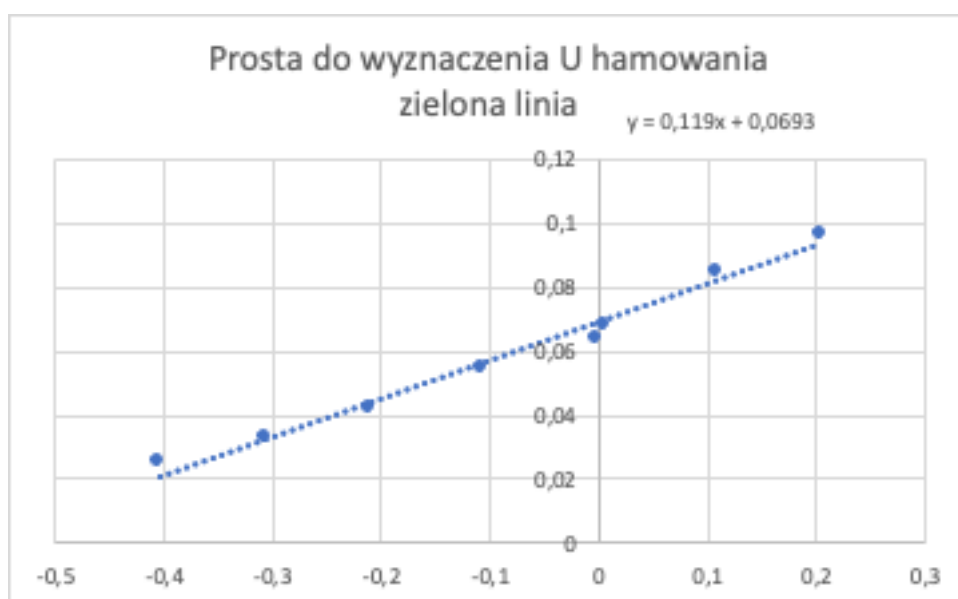
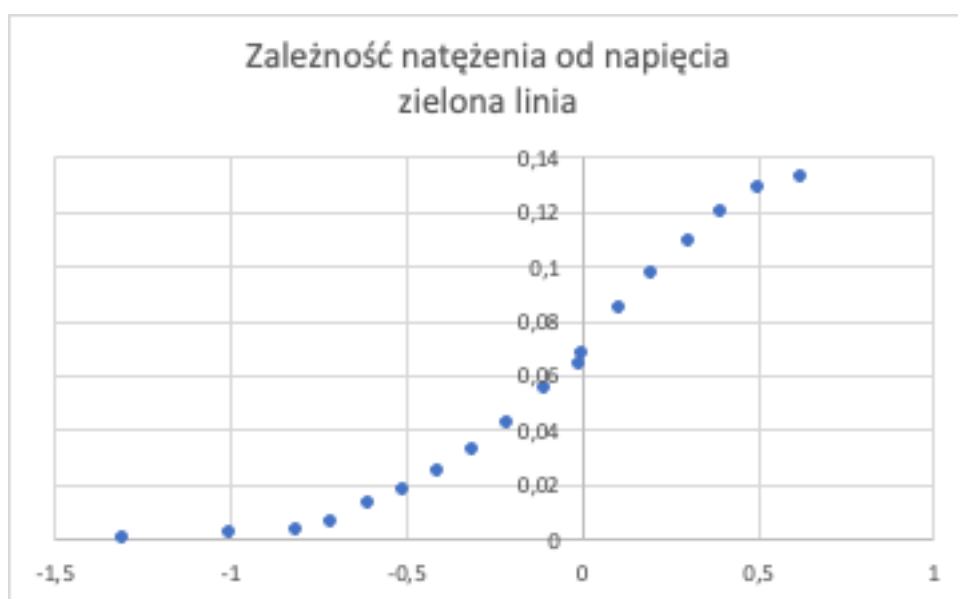
Nr	Napięcie [V]	Natężenie [nA]
1	0,701	0,421
2	0,613	0,4
3	0,51	0,373
4	0,414	0,345
5	0,302	0,307
6	0,2	0,268
7	0,103	0,228
8	0,004	0,186
9	-0,004	0,183
10	-0,05	0,164
11	-0,057	0,161
12	-0,088	0,157
13	-0,076	0,154
14	-0,086	0,15
15	-0,11	0,144
16	-0,115	0,138
17	-0,128	0,133
18	-0,146	0,127
19	-0,155	0,123
20	-0,174	0,116
21	-0,186	0,113
22	-0,207	0,107
23	-0,21	0,105
24	-0,309	0,075
25	-0,407	0,049
26	-0,511	0,031
27	-0,603	0,018
28	-0,698	0,009
29	-0,776	0,004
30	-0,865	0



3.3.2. Dla koloru zielonego

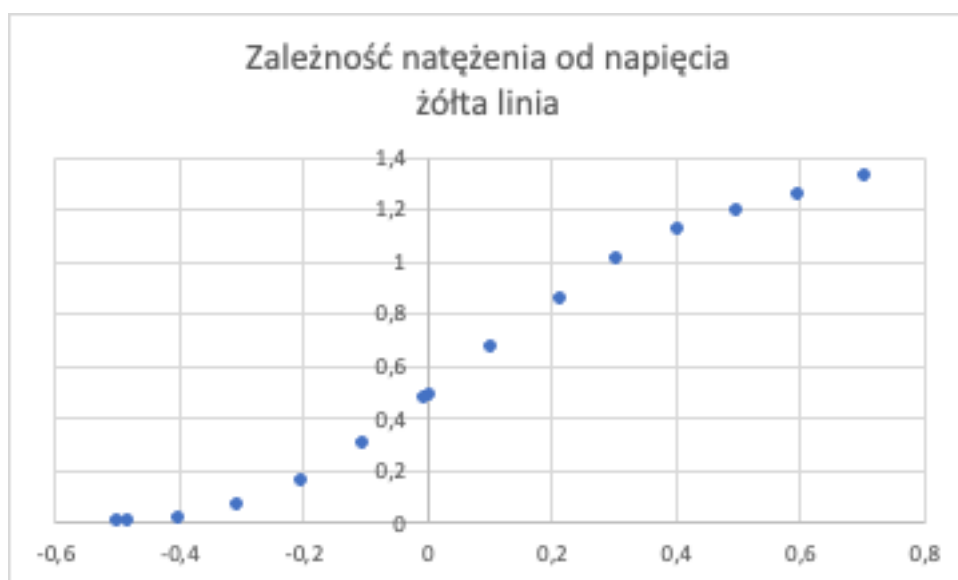
Nr	Napięcie [V]	Natężenie [nA]
1	0,629	0,133
2	0,507	0,129
3	0,4	0,12
4	0,305	0,109
5	0,203	0,097
6	0,109	0,085
7	0,005	0,068
8	-0,003	0,064
9	-0,107	0,055
10	-0,211	0,042

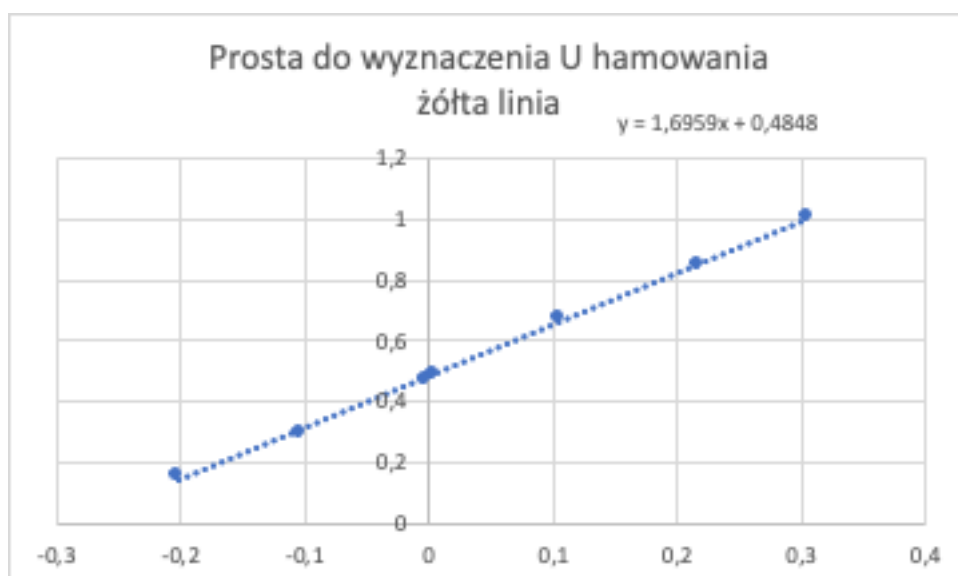
11	-0,306	0,033
12	-0,405	0,025
13	-0,509	0,018
14	-0,603	0,013
15	-0,715	0,006
16	-0,809	0,003
17	-0,998	0,002
18	-1,304	0



3.3.3. Dla koloru żółtego

Nr	Napięcie [V]	Natężenie [nA]
1	0,704	1,325
2	0,598	1,257
3	0,499	1,192
4	0,403	1,115
5	0,306	1,007
6	0,216	0,85
7	0,105	0,672
8	0,004	0,486
9	-0,003	0,472
10	-0,104	0,296
11	-0,202	0,157
12	-0,303	0,069
13	-0,4	0,017
14	-0,48	0,002
15	-0,497	0





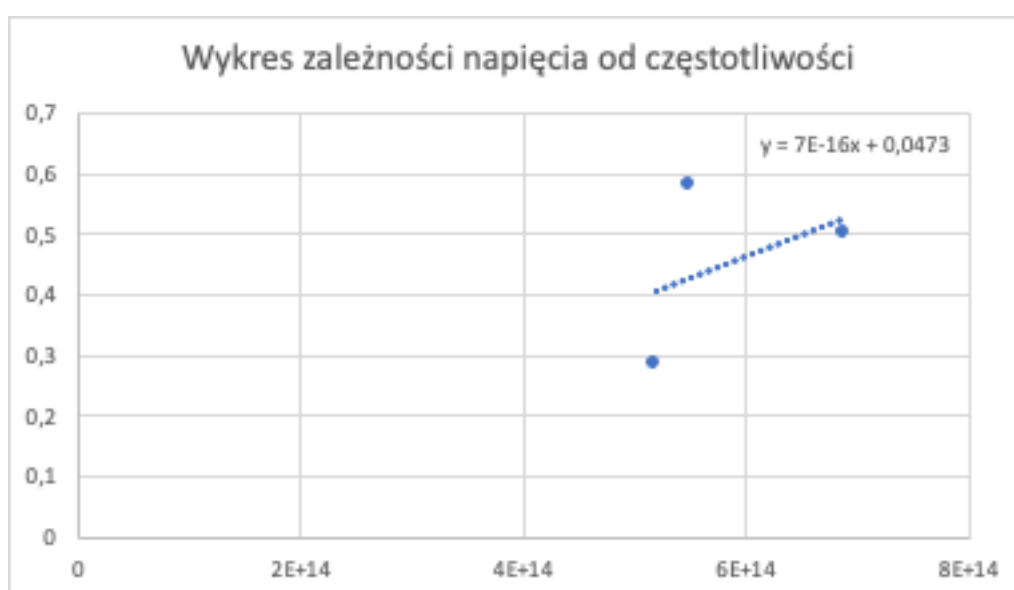
3.4. Obliczenie częstotliwości fali i napięć hamowania z równań prostych

Korzystamy ze wzoru $\nu = \frac{c}{\lambda}$. Napięcie obliczamy jako miejsce zerowe funkcji $y=ax+b$.

Kolor	Długość fali [nm]	Częstotliwość [Hz]	U_h [V]
Żółty	579	$5,18135E+14$	0,286
Zielony	546	$5,49451E+14$	0,582
Niebieski	436	$6,88073E+14$	0,500

4. Wyniki

4.1. Wykres zależności napięcia od częstotliwości



4.2. Obliczenia wartości stałej Plancka

$$y = 7E - 16x + 0,0473$$

$$a = 7E - 16$$

$$b = 0,0473$$

Obliczamy wartość h z zależności $a = \frac{h}{e} \Rightarrow h = ae$ i otrzymujemy

$$h = 1,12E - 34$$

4.3. Obliczenia niepewności wyznaczenia stałej Plancka

Δa obliczamy z funkcji REGLINP11 w Excelu i otrzymujemy

$$\Delta a = 1,54E - 15$$

Skoro $a = \frac{h}{e} \Rightarrow h = ae$ to niepewność obliczamy jako

$$\Delta h = \left| \frac{\partial h}{\partial a} \Delta a \right| + \left| \frac{\partial h}{\partial e} \Delta e \right|$$

Wyznaczona stała Plancka wynosi:

$$h = (1,12 \pm 2,46) * 10^{-34} J_s$$

5. Wnioski

W wyniku doświadczenia otrzymaliśmy stałą Plancka w poniższym zakresie uwzględniając niepewność pomiarową.

$$-1,35 * 10^{-34} J_s \leq h \leq 3,58 * 10^{-34} J_s$$

Można zauważyć, że otrzymany wynik nawet z uwzględnieniem niepewności nie pokrywa się z wartością tablicową. Jednakże istotnym czynnikiem jest fakt, że wartość stałej Plancka jest bardzo mała i mając na uwadze różnicę dopiero w okolicy 34 miejsca po przecinku, można wnioskować, że wynik wcale nie oznacza nieprawidłowości w wykonaniu doświadczenia. Pomiar w doświadczeniu były obarczone wieloma niedokładnościami. Między innymi mogło to być niedokładne zebranie pomiarów do cechowania monochromatora ze względu na niedokładne zebranie położenia linii widmowych, niewystarczające zaciemnienie pomieszczenia, gdzie był wykonywany pomiar, ruch w pobliżu aparatury, który wpływał na wahania wyników mierzonych przez nanoamperomierz oraz same wskazania na nanoamperomierzu, które zwykle nie były stałe, a bardzo szybko się zmieniały.

Biorąc pod uwagę powyższe czynniki, widzimy, że otrzymana stała Plancka zgadza się z tablicową wartością co do rzędu wielkości, jednak przez to, że jest bardzo małą liczbą, a pomiary były obarczone niedokładnościami, wynik otrzymany na drodze doświadczenia odbiega od wartości tablicowych.

6. Literatura i źródła

- http://lpf.wppt.pwr.edu.pl/opisy/tabela_72_76.pdf
- <https://warsztat.pl/artykuly/pomiar-malych-pradow-stalych,58373>
- <https://www.eduvis.pl/oferta/fizyka-pomoce-dydaktyczne/zestaw-nr-217-lampy-spektralne-z-uchwytem-zasilajacym-detail>
- https://www.researchgate.net/figure/Schematic-drawing-of-a-monochromator-setup-The-emitted-light-from-a-monochromator-is_fig3_332747576
- Podstawy fizyki. Tom 4. David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker