

Laboratorium Podstaw Fizyki

Ćwiczenie 48 „Wyznaczenie stałej Plancka na podstawie charakterystyki diody elektroluminescencyjnej”

Prowadzący: mgr Karolina Paradowska

| | |
|---------------------------|------------------------|
| Imię i Nazwisko | Marcin Kotas |
| Nr indeksu | 235098 |
| Wydział | Elektroniki |
| Termin zajęć | 28.11.2017, godz. 9.15 |
| Numer grupy ćwiczeniowej | 5 |
| Data oddania sprawozdania | 7.12.2017 |

1 Wstęp teoretyczny

Celem ćwiczenia było obliczenie stałej Plancka na podstawie charakterystyki diody elektroluminescencyjnej w kierunku przewodzenia oraz długości fali promieniowania emitowanego przez diodę. Wartość stałej Plancka wyznacza się z następującego wzoru:

$$h = \frac{e}{c} \lambda U_B \quad (1)$$

gdzie:

$h[J \cdot s]$ stała Plancka

$e = 1,602 \times 10^{-19}[C]$ elementarny ładunek elektryczny

$c = 299792458[\frac{m}{s}]$ prędkość światła w próżni

$\lambda[m]$ długość fali promieniowania emitowanego przez diodę

$U_B[V]$ bariera potencjału

2 Wyniki pomiarów

2.1 Wykonanie pomiarów

Pomiary zostały wykonane dla 3 diod - żółtej, niebieskiej oraz zielonej. Dla każdej diody zmierzona została charakterystyka prądowo-napięciowa: napięcie zmieniane było co $0,25V$ aż do uzyskania niezerowej wartości natężenia. Od tego momentu wartości napięcia i natężenia zapisywane były co $1mA$. Wyniki tych pomiarów przedstawione są w Tabelach 1-3. Na koniec zmierzona została raz długość fali światła emitowanego przez każdą diodę przy pomocy monochromatora. Zmierzone długości fal zapisane są w Tabeli 4.

2.2 Obliczenia

2.2.1 Opracowanie wyników

Najpierw wykonane zostały wykresy charakterystyki I-V dla każdej diody - Wykresy 1-3. Następnie dopasowane zostały linie trendu dla wysokich prądów ($> 10mA$ dla diod żółtej i zielonej, $> 6mA$ dla diody niebieskiej). Miejsce przecięcia linii trendu z osią poziomą wyznacza barierę potencjału U_B . Dla diody żółtej:

$$A = 310,8082908 \approx 311$$

$$u(A) = 10,20203602 \approx 11$$

$$B = -602,4185515 \approx -602$$

$$u(B) = 20,41717286 \approx 21$$

$$U_B = \frac{-B}{A} = \frac{602}{311} = 1,938231924 \approx 1,938[V]$$

Niepewność wyznaczonego potencjału została wyznaczona ze wzoru:

$$\begin{aligned} u(V_B) &= \sqrt{\left(-\frac{u(B)}{A}\right)^2 + \left(-\frac{u(A) \cdot B}{A^2}\right)^2} = \sqrt{\left(-\frac{21}{311}\right)^2 + \left(-\frac{11 \cdot (-602)}{311^2}\right)^2} \\ &= 0,091448746 \approx 0,092[V] \end{aligned}$$

Błąd pomiarów napięcia oraz natężenia został wyliczony według wzorów podanych w specyfikacji miernika. Dla pomiaru nr.15 diody żółtej:

$$\Delta V = \pm(0,9\%rdg + 2dgt) = 0,009 \cdot 1,936 + 2 \cdot 0,001 = 0,019424[V]$$

$$\Delta I = \pm(1,4\%rdg + 3dgt) = 0,014 \cdot 6,01 + 3 \cdot 0,01 = 0,11414[mA]$$

Niepewność tych pomiarów jest niepewnością typu B. Przyrząd pomiarowy był elektroniczny, więc niepewność zaokrąglona jest do rozdzielczości wyświetlanego wyniku:

$$u(V) = \frac{\Delta V}{\sqrt{3}} = \frac{0,019424}{\sqrt{3}} = 0,011214452 \approx 0,012[V]$$

$$u(I) = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}} = \frac{0,11414}{\sqrt{3}} = 0,06589876 \approx 0,07[mA]$$

Zmierzona długość światła wyniosła $\lambda = 585nm$ dla diody żółtej. Dokładność pomiaru przy pomocy monochromatora wynosi $\Delta\lambda = 5nm$. Jest to niepewność typu B, więc

$$u(\lambda) = \frac{\Delta\lambda}{\sqrt{3}} = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2,886751346 \approx 2,9[nm]$$

2.2.2 Wyznaczenie stałej Plancka

Na podstawie tych pomiarów wyznaczona została stała Plancka wg. wzoru (1). Dla diody żółtej:

$$h = \frac{e}{c}\lambda U_B = \frac{1,602 \cdot 10^{-19}}{299792458} \cdot 585 \cdot 10^{-9} \cdot 1,938 = 6,05903 \cdot 10^{-34} \approx 6,06 \cdot 10^{-34}[J \cdot s]$$

Niepewność tego pomiaru jest niepewnością złożoną:

$$\begin{aligned} u_c(h) &= \sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial \lambda}\right)^2 \cdot u^2(\lambda) + \left(\frac{\partial h}{\partial U_B}\right)^2 \cdot u^2(U_B)} = \sqrt{\left(\frac{e}{c} \cdot U_B\right)^2 \cdot u^2(\lambda) + \left(\frac{e}{c} \cdot \lambda\right)^2 \cdot u^2(U_B)} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1,602 \cdot 10^{-19}}{299792458} \cdot 1,938\right)^2 \cdot (2,9 \cdot 10^{-9})^2 + \left(\frac{1,602 \cdot 10^{-19}}{299792458} \cdot 585 \cdot 10^{-9}\right)^2 \cdot 0,092^2} = 0,287448 \cdot 10^{-34} \approx 0,29 \cdot 10^{-34}[J \cdot s] \end{aligned}$$

Średnia stała Plancka na podstawie 3 pomiarów przy wykorzystaniu różnych diod wynosi:

$$\bar{h} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 h_i = \frac{1}{3}(6,06 + 7,32 + 5,79) = \frac{1}{3} \cdot 19,17 = 6,39 \cdot 10^{-34}[J \cdot s]$$

Niepewność średniej stałej Plancka jest odchyleniem standardowym pomiarów:

$$u(\bar{h}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (h_i - \bar{h})^2}{3 - 1}} = 0,818323 \cdot 10^{-34} \approx 0,82 \cdot 10^{-34}[J \cdot s]$$

2.3 Tabele i wykresy

Tablica 1: Wyniki pomiarów dla diody żółtej

| Lp | $U[V]$ | $u(U)[V]$ | $I[mA]$ | $u(I)[mA]$ |
|----|--------|-----------|---------|------------|
| 1 | 0,000 | 0,002 | 0,00 | 0,02 |
| 2 | 0,251 | 0,003 | 0,00 | 0,02 |
| 3 | 0,514 | 0,004 | 0,00 | 0,02 |
| 4 | 0,757 | 0,006 | 0,00 | 0,02 |
| 5 | 1,006 | 0,007 | 0,00 | 0,02 |
| 6 | 1,250 | 0,008 | 0,00 | 0,02 |
| 7 | 1,502 | 0,009 | 0,00 | 0,02 |
| 8 | 1,750 | 0,011 | 0,22 | 0,02 |
| 9 | 1,830 | 0,011 | 1,00 | 0,03 |
| 10 | 1,872 | 0,011 | 2,00 | 0,04 |
| 11 | 1,897 | 0,012 | 3,03 | 0,05 |
| 12 | 1,913 | 0,012 | 4,02 | 0,05 |
| 13 | 1,926 | 0,012 | 5,03 | 0,06 |
| 14 | 1,936 | 0,012 | 6,01 | 0,07 |
| 15 | 1,945 | 0,012 | 7,00 | 0,08 |
| 16 | 1,952 | 0,012 | 8,00 | 0,09 |
| 17 | 1,960 | 0,012 | 9,18 | 0,10 |
| 18 | 1,965 | 0,012 | 10,08 | 0,10 |
| 19 | 1,971 | 0,012 | 11,06 | 0,11 |
| 20 | 1,976 | 0,012 | 12,11 | 0,12 |
| 21 | 1,981 | 0,012 | 13,11 | 0,13 |
| 22 | 1,985 | 0,012 | 14,07 | 0,14 |
| 23 | 1,989 | 0,012 | 15,06 | 0,14 |
| 24 | 1,992 | 0,012 | 16,10 | 0,15 |
| 25 | 1,995 | 0,012 | 17,00 | 0,16 |
| 26 | 1,999 | 0,012 | 18,07 | 0,17 |
| 27 | 2,002 | 0,012 | 19,09 | 0,18 |
| 28 | 2,006 | 0,012 | 20,16 | 0,19 |
| 29 | 2,008 | 0,012 | 21,03 | 0,19 |
| 30 | 2,011 | 0,012 | 22,03 | 0,20 |
| 31 | 2,014 | 0,012 | 23,06 | 0,21 |
| 32 | 2,016 | 0,012 | 24,05 | 0,22 |
| 33 | 2,018 | 0,012 | 25,04 | 0,22 |
| 34 | 2,021 | 0,012 | 26,12 | 0,23 |
| 35 | 2,023 | 0,012 | 27,12 | 0,24 |
| 36 | 2,025 | 0,012 | 28,03 | 0,25 |
| 37 | 2,027 | 0,012 | 29,03 | 0,26 |

Tablica 2: Wyniki pomiarów dla diody niebieskiej

| Lp | $U[V]$ | $u(U)[V]$ | $I[mA]$ | $u(I)[mA]$ |
|----|--------|-----------|---------|------------|
| 1 | 0,258 | 0,003 | 0,00 | 0,02 |
| 2 | 0,501 | 0,004 | 0,00 | 0,02 |
| 3 | 0,726 | 0,005 | 0,00 | 0,02 |
| 4 | 1,000 | 0,007 | 0,00 | 0,02 |
| 5 | 1,253 | 0,008 | 0,00 | 0,02 |
| 6 | 1,500 | 0,009 | 0,00 | 0,02 |
| 7 | 1,750 | 0,011 | 0,00 | 0,02 |
| 8 | 2,000 | 0,012 | 0,00 | 0,02 |
| 9 | 2,250 | 0,013 | 0,00 | 0,02 |
| 10 | 2,501 | 0,015 | 0,00 | 0,02 |
| 11 | 2,600 | 0,015 | 0,04 | 0,02 |
| 12 | 2,815 | 0,016 | 1,00 | 0,03 |
| 13 | 2,880 | 0,017 | 2,00 | 0,04 |
| 14 | 2,925 | 0,017 | 3,01 | 0,05 |
| 15 | 2,960 | 0,017 | 4,00 | 0,05 |
| 16 | 2,992 | 0,017 | 5,02 | 0,06 |
| 17 | 3,018 | 0,017 | 6,00 | 0,07 |
| 18 | 3,043 | 0,017 | 7,03 | 0,08 |
| 19 | 3,066 | 0,018 | 8,04 | 0,09 |
| 20 | 3,087 | 0,018 | 9,09 | 0,10 |
| 21 | 3,105 | 0,018 | 10,00 | 0,10 |
| 22 | 3,124 | 0,018 | 11,01 | 0,11 |
| 23 | 3,142 | 0,018 | 12,00 | 0,12 |
| 24 | 3,160 | 0,018 | 13,00 | 0,13 |
| 25 | 3,177 | 0,018 | 14,03 | 0,14 |
| 26 | 3,194 | 0,018 | 15,07 | 0,14 |
| 27 | 3,208 | 0,018 | 16,02 | 0,15 |
| 28 | 3,224 | 0,018 | 17,05 | 0,16 |

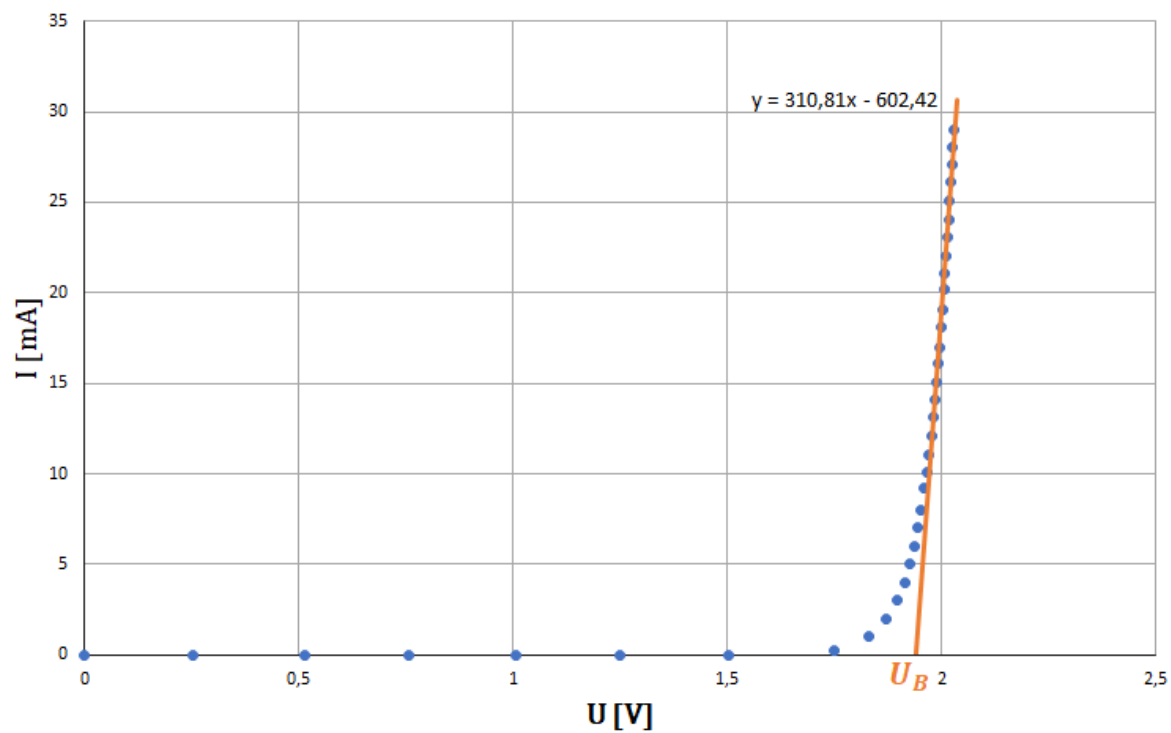
Tablica 3: Wyniki pomiarów dla diody zielonej

| Lp | $U[V]$ | $u(U)[V]$ | $I[mA]$ | $u(I)[mA]$ |
|----|--------|-----------|---------|------------|
| 1 | 0,000 | 0,002 | 0,00 | 0,02 |
| 2 | 0,250 | 0,003 | 0,00 | 0,02 |
| 3 | 0,500 | 0,004 | 0,00 | 0,02 |
| 4 | 0,750 | 0,006 | 0,00 | 0,02 |
| 5 | 1,000 | 0,007 | 0,00 | 0,02 |
| 6 | 1,250 | 0,008 | 0,00 | 0,02 |
| 7 | 1,500 | 0,009 | 0,00 | 0,02 |
| 8 | 1,750 | 0,011 | 0,16 | 0,02 |
| 9 | 1,835 | 0,011 | 1,00 | 0,03 |
| 10 | 1,873 | 0,011 | 2,00 | 0,04 |
| 11 | 1,896 | 0,012 | 3,00 | 0,05 |
| 12 | 1,913 | 0,012 | 4,04 | 0,05 |
| 13 | 1,926 | 0,012 | 5,02 | 0,06 |
| 14 | 1,937 | 0,012 | 6,04 | 0,07 |
| 15 | 1,946 | 0,012 | 7,04 | 0,08 |
| 16 | 1,954 | 0,012 | 8,03 | 0,09 |
| 17 | 1,958 | 0,012 | 9,05 | 0,10 |
| 18 | 1,961 | 0,012 | 10,05 | 0,10 |
| 19 | 1,965 | 0,012 | 10,99 | 0,11 |
| 20 | 1,970 | 0,012 | 12,02 | 0,12 |
| 21 | 1,976 | 0,012 | 13,04 | 0,13 |
| 22 | 1,979 | 0,012 | 14,01 | 0,14 |
| 23 | 1,983 | 0,012 | 15,06 | 0,14 |
| 24 | 1,985 | 0,012 | 16,03 | 0,15 |
| 25 | 1,988 | 0,012 | 17,03 | 0,16 |
| 26 | 1,991 | 0,012 | 18,14 | 0,17 |
| 27 | 1,994 | 0,012 | 19,07 | 0,18 |
| 28 | 1,996 | 0,012 | 20,00 | 0,18 |
| 29 | 1,999 | 0,012 | 21,00 | 0,19 |
| 30 | 2,002 | 0,012 | 22,05 | 0,20 |
| 31 | 2,005 | 0,012 | 23,03 | 0,21 |
| 32 | 2,008 | 0,012 | 24,01 | 0,22 |
| 33 | 2,011 | 0,012 | 25,10 | 0,23 |
| 34 | 2,014 | 0,012 | 26,00 | 0,23 |
| 35 | 2,015 | 0,012 | 27,02 | 0,24 |
| 36 | 2,018 | 0,012 | 28,02 | 0,25 |
| 37 | 2,020 | 0,012 | 29,16 | 0,26 |

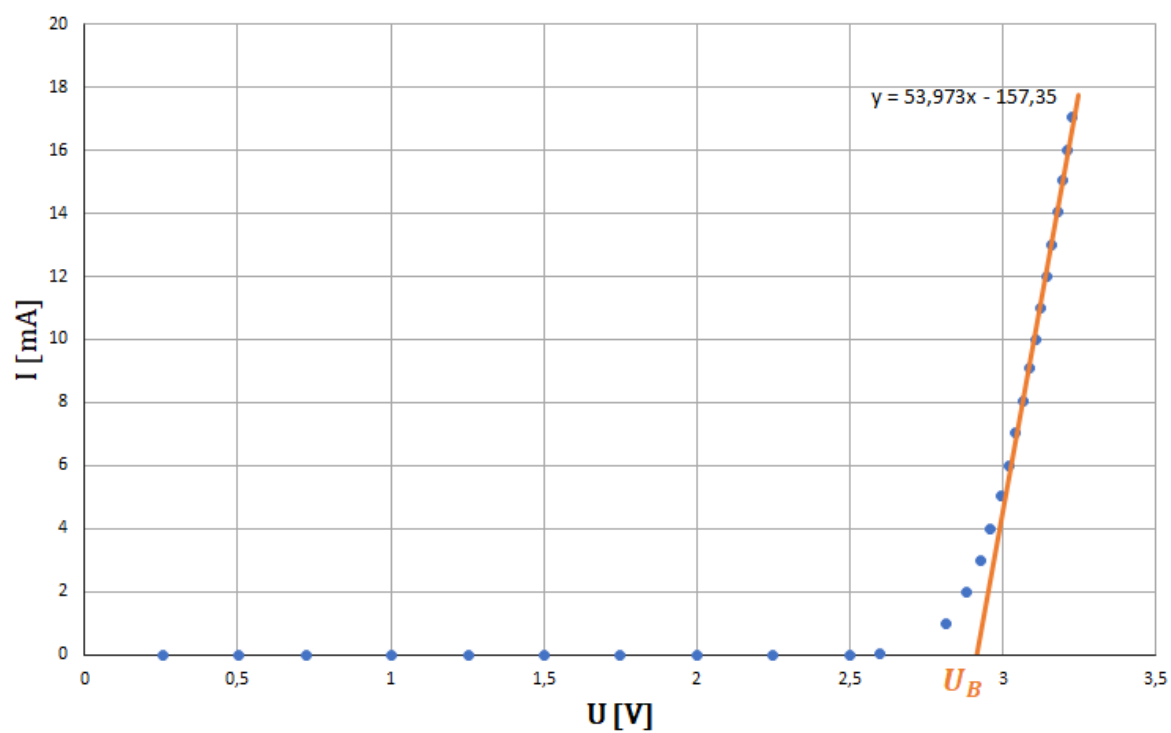
Tablica 4: Końcowe wyniki pomiarów

| | | x | $u(x)$ |
|-----------|--|-------|--------|
| żółta | λ [nm] | 585,0 | 2,9 |
| | U_B [V] | 1,938 | 0,092 |
| | h $\times 10^{-34}[J \cdot s]$ | 6,06 | 0,21 |
| niebieska | λ [nm] | 470,0 | 2,9 |
| | U_B [V] | 2,915 | 0,095 |
| | h $\times 10^{-34}[J \cdot s]$ | 7,32 | 0,25 |
| zielona | λ [nm] | 560,0 | 2,9 |
| | U_B [V] | 1,935 | 0,070 |
| | h $\times 10^{-34}[J \cdot s]$ | 5,79 | 0,21 |
| | \bar{h} $\times 10^{-34}[J \cdot s]$ | 6,39 | 0,82 |

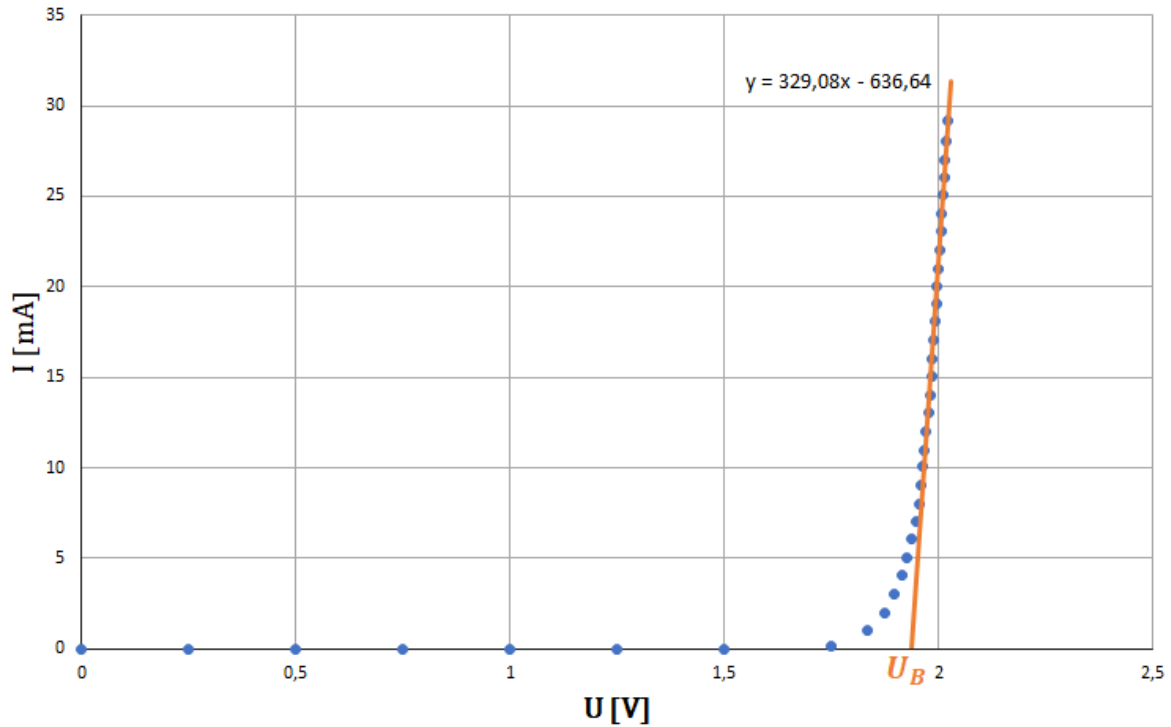
Wykres 1: charakterystyka I-V dla diody żółtej



Wykres 2: charakterystyka I-V dla diody niebieskiej



Wykres 3: charakterystyka I-V dla diody zielonej



3 Ostateczne wyniki

Ostateczne wyniki wraz z zaokrągleniami:

Potencjał wbudowany diody żółtej: $(1,938 \pm 0,0092)V$

Potencjał wbudowany diody niebieskiej: $(2,915 \pm 0,095)V$

Potencjał wbudowany diody zielonej: $(1,935 \pm 0,070)V$

Stała Plancka wyliczona na podstawie diody żółtej: $(6,06 \pm 0,21) \times 10^{-34} J \cdot s$

Stała Plancka wyliczona na podstawie diody niebieskiej: $(7,32 \pm 0,25) \times 10^{-34} J \cdot s$

Stała Plancka wyliczona na podstawie diody zielonej: $(5,79 \pm 0,21) \times 10^{-34} J \cdot s$

Średnia stała Plancka: $(6,39 \pm 0,82) \times 10^{-34} J \cdot s$

4 Dyskusja i wnioski

Zbadana stała Plancka różni się dla poszczególnych diod. Wynika to głównie z jednorazowego, a więc niedokładnego pomiaru długości fali emitowanej przez diody. Średnia wartość, która wyniosła $(6,39 \pm 0,82) \times 10^{-34} [J \cdot s]$ jest bliska wartości prawdziwej $h \approx 6,626 \times 10^{-34} [J \cdot s]$. Średnia wartość różni się od prawdziwej o zaledwie 3,5%, więc wyznaczona została z wysoką dokładnością. Najbliżej wartości prawdziwej znalazła się wartość wyznaczona przy pomocy diody żółtej.