

# Določanje Boltzmanove konstate

By

Matic Tonin

ID No. (28181098)

Mentor

(Rok Dolenec)

---

Pod okvirom:

FAKULTETE ZA FIZIKO IN MATEMATIKO, LJUBLJANA

1. 4. 2020

# 1 Naloga

1. Izmerite kolektorski tok tranzistorja  $I_C$  v odvisnosti od  $U_{BE}$  pri treh temperaturah: približno 15, 35 in 55 °C.
2. Dolocite razmerje  $e_0/k_B$ .
3. Izmerite temperaturno odvisnost kolektorskega toka tranzistorja pri dveh napetostih  $U_{BE}$  približno 0.5 in 0.58 V.

## 2 Postopek dela

Najprej preverimo, če smo ustvarili pravilno vezavo, kot nam narekujejo navodila. Napetost  $U_{BE}$  za prvi del vaje nastavimo približno na 0.5 V in pazimo, da naj največji tok ne preseže 10mA. Z mikroamperom merimo kolektorski tok ( $I_C$ ). Tranzistor potopimo v Dewarjevo posodo, da dosežemo različne temperature. In nato merimo tok v na kolektorju v odvisnosti od napetosti. Pri drugem delu vaje merimo temperaturno odvisnost od kolektorskega toka pri neki stalni napetosti  $U_{BE}$ . Najprej stabiliziramo za iskano vrednost temperaturo, nato pa izmerimo kolektorski tok  $I_C$ . Tok  $I_1$  si izberemo poljubno, glede na našo meritev. Pri teh meritvah neposredno merimo saturacijski tok, katerega temperaturna odvisnost je podana z nastavkom:

$$I_S(T) = \alpha T^n e^{\frac{-E_g(T)}{k_B T}}$$

kjer sta  $\alpha$  in  $n$  neodvisna od temperature,  $E_g$  pa je širina energijske vrzeli, ki je odvisna od temperature.

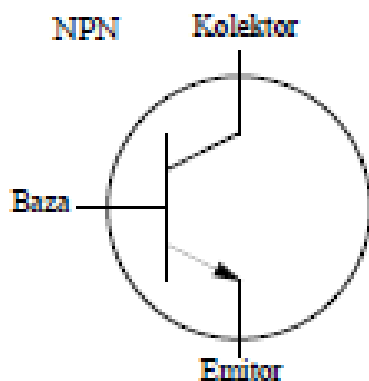
## 3 Meritve

### 3.1 Meritev boltzmanove konstante

Za to nalogo smo uporabljali N-P-N bipolarni tranzistor ki ima tri kontakte:

1. kolektor
2. emitor
3. baza

ki so med seboj zvezani, kot prikazuje spodnja slika:



Slika 1: Prikaz n-p-n kolektorja

Tok, ki teče skozi kolektor je enak  $I_C$ , napetost, ki pa je med bazo in emitorjem pa zapišemo kot  $U_{BE}$ . Teoretična napoved je podana kot:

$$I_C = I_S(T) \left[ \exp \left( \frac{e_0 U_{BE}}{k_B T} \right) - 1 \right]$$

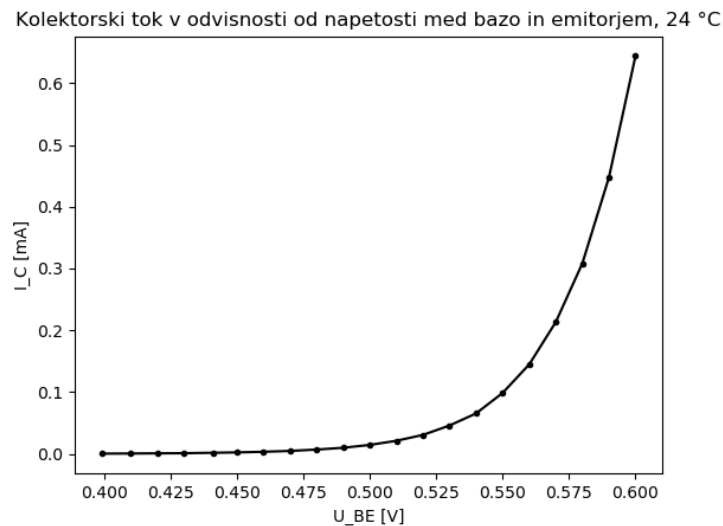
ampak ker je eksponent dovolj večji kot 1 lahko to 1 zanemarimo in dobimo:

$$I_C = I_S(T) \exp \left( \frac{e_0 U_{BE}}{k_B T} \right)$$

Ta relacija drži do 1 % natančno.

### 3.1.1 Temperatura 24°C

Za ta del meritve smo morali najprej izmeriti tok na kolektorju v odvisnosti od višanje napetosti  $U_{BE}$  pri neki stalni temperaturi, ki je bila v naši Dewarjevi posodi. Nato pa smo morali narisati funkcijo odvisnosti  $I_C$  od napetosti  $U_{BE}$ : Dobili smo:

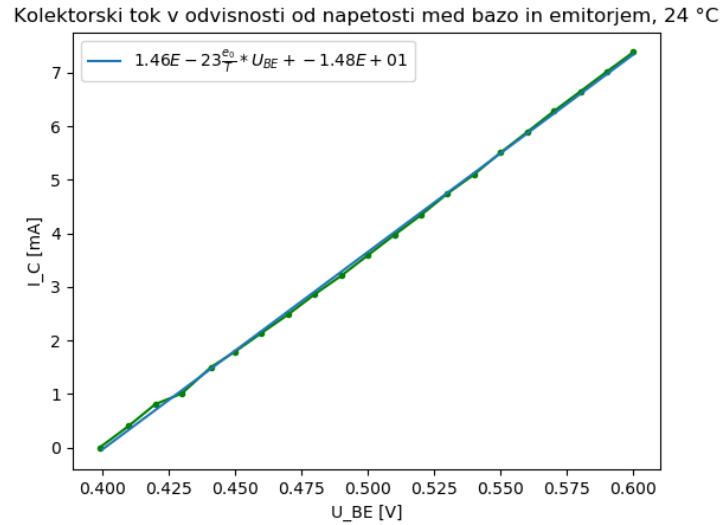


Slika 2: Prikaz odvisnosti toka na kolektorju od napetosti med bazo in emitorjem, 24 °C

Pri meritvi se lepo vidi eksponentno naraščanje, želimo pa videti odvisnost kot premico, podano z enačbo:

$$\ln \left( \frac{I_C}{I_1} \right) = \ln \left( \frac{I_S(T)}{I_1} \right) + \frac{e_0}{k_B T} U_{BE}$$

kjer bo naklon premice kar enak  $\frac{e_0}{k_B T}$ . Če sedaj to narišemo, dobimo, da je:



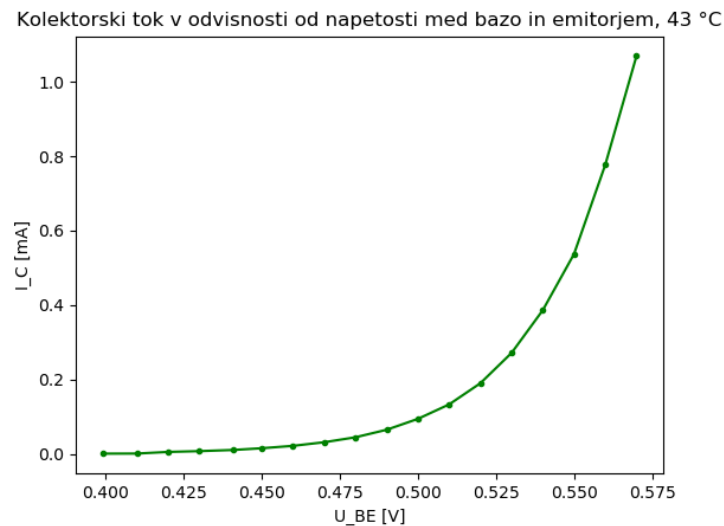
Slika 3: Prikaz linearizacije podane eksponentne funkcije, 24 °C

V sam fit funkcije smo nastavili parametre tako, da nam v legendo avtomatsko izpiše vrednost boltzmanove konstante, ki jo pri temperaturi 20 °C dobimo:

$$k_B = 1.46 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{J}{K} (1 \pm 0.06)$$

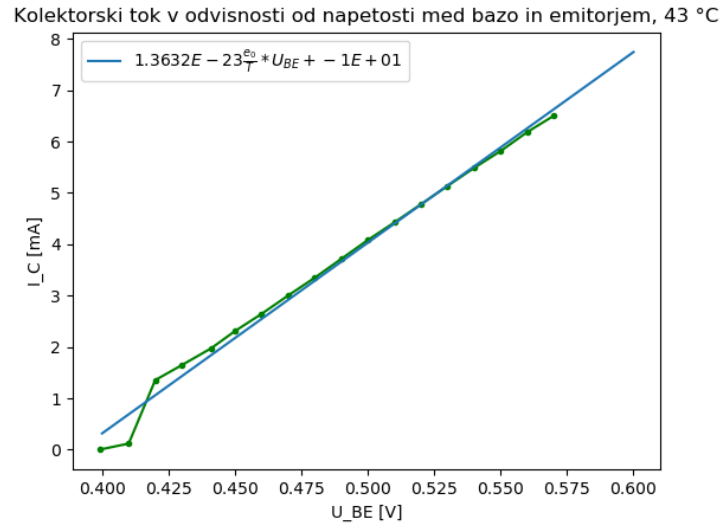
### 3.1.2 Temperatura 43°C

Za ta del meritve smo morali najprej izmeriti tok na kolektorju v odvisnosti od višanje napetosti  $U_{BE}$  pri neki stalni temperaturi, ki je bila v naši Dewarjevi posodi. Nato pa smo morali narisati funkcijo odvisnosti  $I_C$  od napetosti  $U_{BE}$ : Dobili smo:



Slika 4: Prikaz odvisnosti toka na kolektorju od napetosti med bazo in emitorjem, 43 °C

Pri meritvi se lepo vidi eksponentno naraščanje in kot pri prejšnji nalogi, narišemo še premico, da odčitamo koeficient.



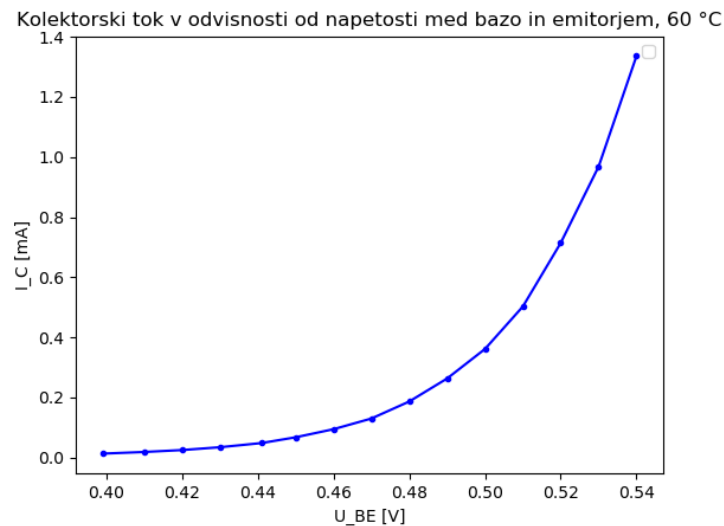
Slika 5: Prikaz linearizacije podane eksponentne funkcije, 43 °C

V sam fit funkcije smo nastavili parametre tako, da nam v legendo avtomatsko izpiše vrednost boltzmanove konstante, ki jo pri temperaturi 20 °C dobimo:

$$k_B = 1.363 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{J}{K} (1 \pm 0.06)$$

### 3.1.3 Temperatura 60°C

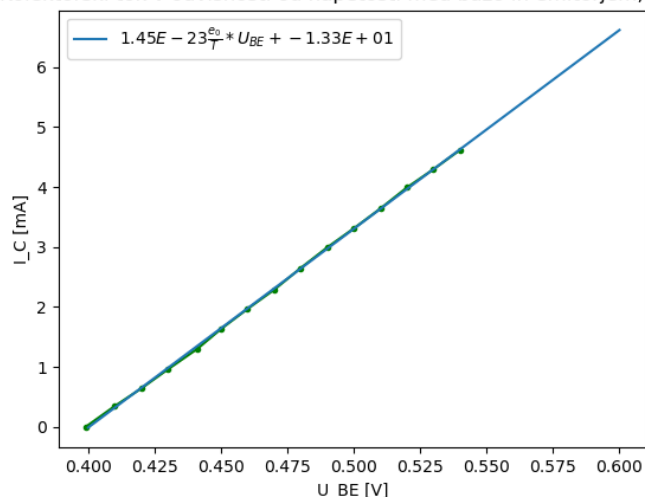
Za ta del meritve smo morali najprej izmeriti tok na kolektorju v odvisnosti od višanje napetosti  $U_{BE}$  pri neki stalni temperaturi, ki je bila v naši Dewarjevi posodi. Nato pa smo morali narisati funkcijo odvisnosti  $I_C$  od napetosti  $U_{BE}$ : Dobili smo:



Slika 6: Prikaz odvisnosti toka na kolektorju od napetosti med bazo in emitorjem, 60 °C

Pri meritvi se lepo vidi eksponentno naraščanje, ponvno pa si želimo premice, zato skiciramo graf:

Kolektorski tok v odvisnosti od napetosti med bazo in emitorjem, 60 °C



Slika 7: Prikaz linearizacije podane eksponentne funkcije, 60 °C

V sam fit funkcije smo nastavili parametre tako, da nam v legendo avtomatsko izpiše vrednost boltzmanove konstante, ki jo pri temperaturi 20 °C dobimo:

$$k_B = 1.45 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{J}{K} (1 \pm 0.06)$$

### 3.1.4 Skupna vrednost boltzmanove konstante

Če najprej vse vrednosti sestavimo v tabelo, dobimo da so:

Temperatura	$k_B \left[ \frac{J}{K} \right]$	$\overline{k_B}$
20	$1.46 \cdot 10^{-23}$	//
43	$1.363 \cdot 10^{-23}$	//
60	$1.45 \cdot 10^{-23}$	//
//	//	$1.42 \cdot 10^{-23}$

Tabela 1: Podatki o meritvah boltzmanove konstante

Vidimo, da je povprečna vrednost naše izračunane boltzmanove konstante enaka:

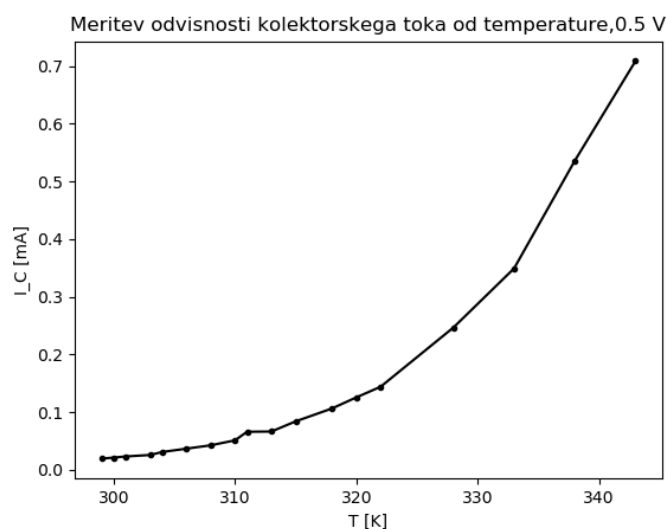
$$\underline{\underline{k_B = 1.42 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{J}{K} (1 \pm 0.06)}}$$

## 3.2 Meritev odvisnosti kolektorskega toka

Če sedaj ponovimo postopek pri prejšnjih vajah, le da tokrat namesto napetosti spreminjamo temperauro, dobimo meritve.

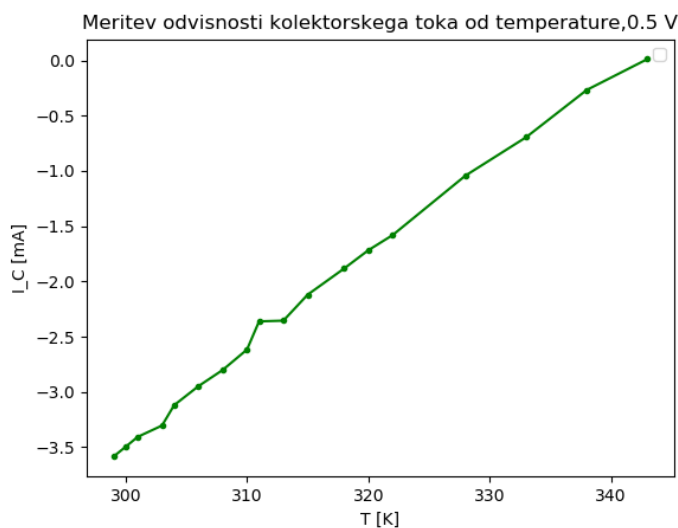
### 3.2.1 Napetost 0.5 V

Če najprej narišemo zgolj graf odvisnosti toka od temperature, dobimo, da je:



Slika 8: Prikaz odvisnosti toka na kolektorju od temperature tranzistorja, 0,5 V

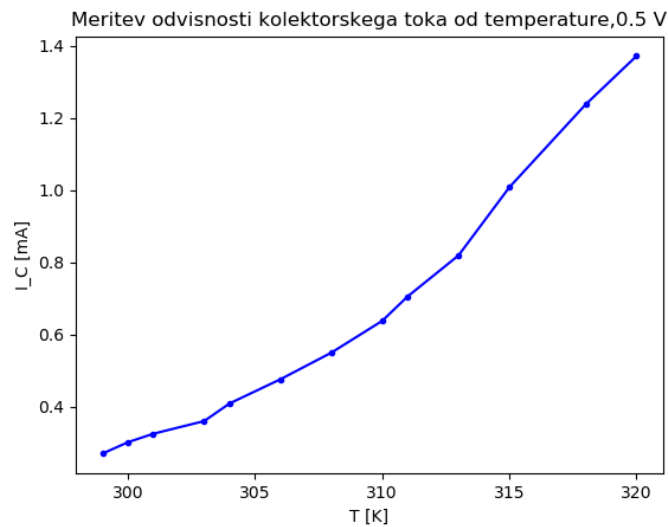
Če ponovno lineariziramo to funkcijo, dobimo premico in sicer.



Slika 9: Prikaz linearizacije podane eksponentne funkcije, 0.57 V

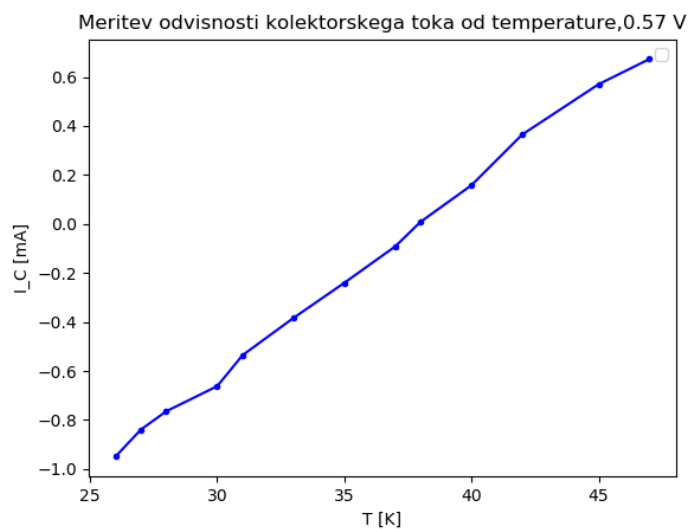
### 3.2.2 Napetost 0.57 V

Če najprej narišemo zgolj graf odvisnosti toka od temperature, dobimo, da je:



Slika 10: Prikaz odvisnosti toka na kolektorju od temperature tranzistorja, 0.57 V

Ta graf zaenkrat še ne pokaže eksponentne odvisnosti, ampak, če to ponovno lineariziramo, kot smo to pri prejšnjem delu naredili, dobimo lepo linearno funkcijo:



Slika 11: Prikaz linearizacije podane eksponentne funkcije, 0.57 V