

University of Ljubljana  
Faculty of Mathematics and Physics



Fizikalni praktikum 3

# Vaja: Določanje Boltzmannove konstante $k_B$

Poročilo

**Avtor:** Orlić, Luka  
**Nosilec:** Kladnik, Gregor  
**Asistent:** Podpilec, Rok

Ljubljana, 23. april 2025

## Kazalo

<b>1 Teoretični uvod</b>	<b>2</b>
<b>2 Empirični del</b>	<b>3</b>
2.1 Naloge . . . . .	3
2.2 Potrebščine . . . . .	3
2.3 Navodilo . . . . .	3
2.4 Meritve in obdelava podatkov . . . . .	3
<b>3 Zaključek</b>	<b>6</b>

## 1 Teoretični uvod

Boltzmannovo konstanto  $k_B$  lahko izmerimo preko tokov znotraj bipolarnega tranzistorja. Tranzistor ima tri kontakte emitor, kolektor in bazo. Slednja dva v vaji sklenemo, da pride do kratkega stika in merimo odvisnost toka skozi kolektor. Napoved te odvisnosti je podana z Ebers-Millovo enačbo:

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

kjer so  $e_0$  osnovni naboj,  $T$  absolutna temperatura,  $U_{BE}$  pozitivna napetost med bazo in emitorjem ter  $I_S(T)$  velikost nasičenega toka v zaporni smeri. Brez izgube natančnosti lahko poenostavimo v

$$I_C \approx I_S(T) \exp\left(\frac{e_0 U_{BE}}{k_B T}\right) \quad (2)$$

## 2 Empirični del

### 2.1 Naloge

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

### 2.2 Potrebščine

- bipolarni n-p-n tranzistor tipa BC182B
- potenciometer in baterija ali drug stabilen vir enosmerne napetosti do  $1.5V$
- voltmeter (Voltcraft 870), namizni multimeter (SigLent SDM 3060X)
- žice
- termometer, Dewarjeva posoda in čaše za vodo
- prenosnik s programom Boltz

### 2.3 Navodilo

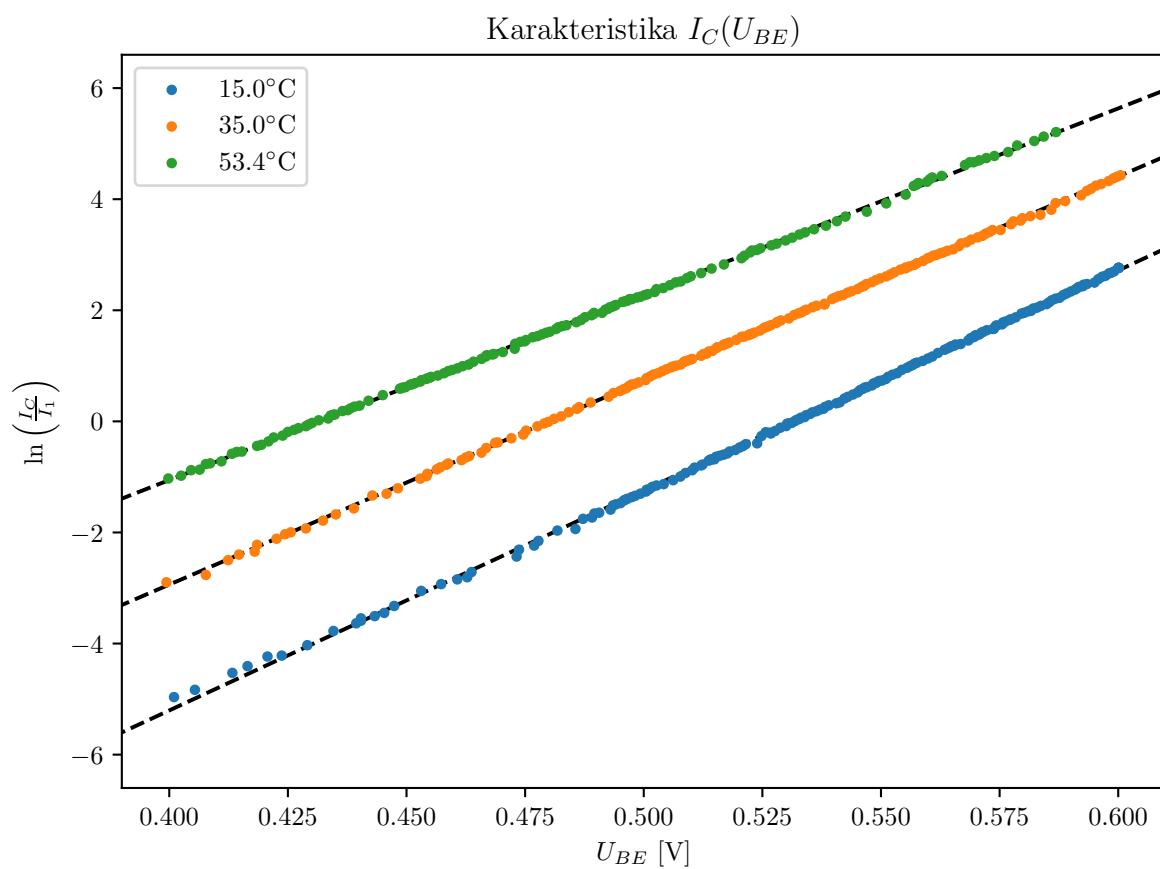
Vpišem se v računalnik in zaženem program **Boltz**. Vključim multimetre in jih povežem z računalnikom. Za prvi del vodo segrejem na tri različne temperature  $15^\circ C$ ,  $35^\circ C$ ,  $55^\circ C$  in vsakič potopim tranzistor v vodo ter spremjam napetost na potenciometru od  $0.4V$  do  $0.6V$ . Potem narišem diagram  $\ln(I_C/I)$  v odvisnosti od  $U_{BE}$ , ki naj bi bil v teoriji premica z naklonom  $e_0/k_B T$ .

Za drugi del nastavim potenciometer na eno izmed dveh, v nalogi omenjenih vrednosti, in s potopljenim tranzistorjem segrevam vodo od ledišča do vreljšča in beležim, kako se tok spreminja v odvisnosti od temperature.

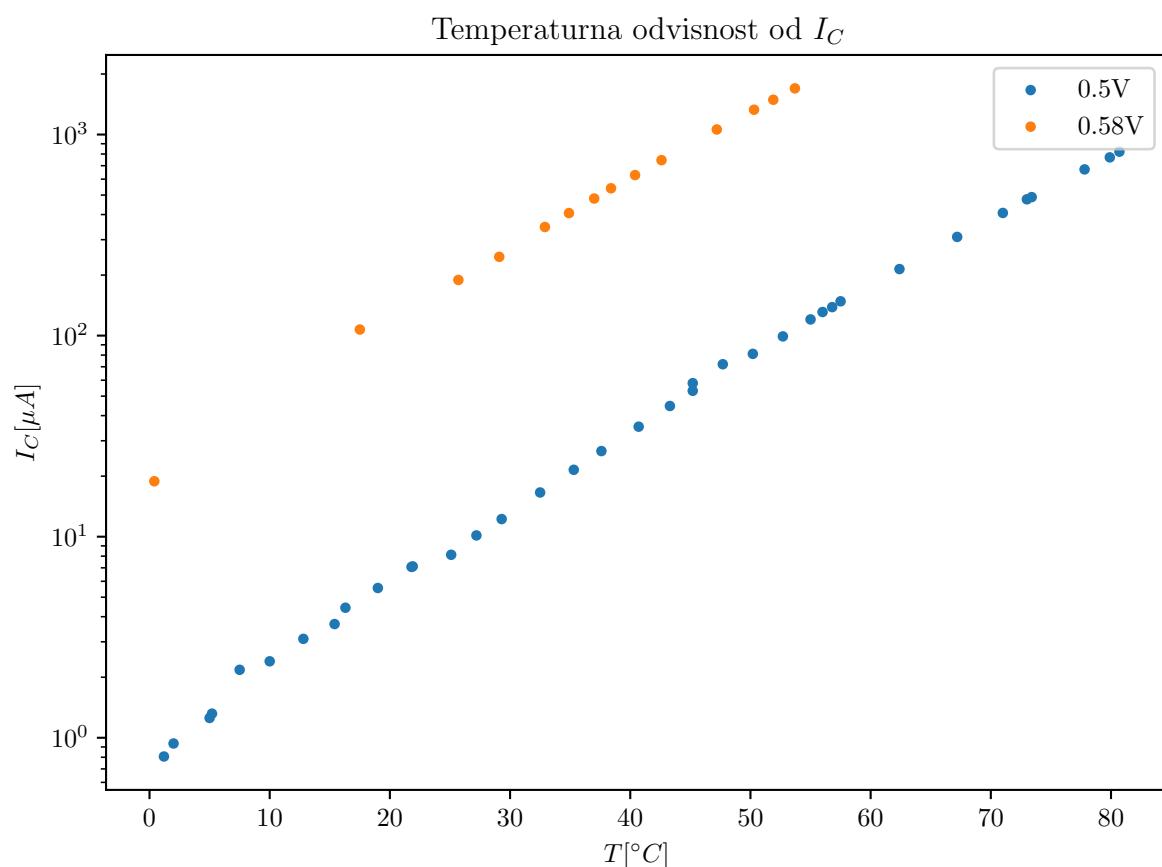
### 2.4 Meritve in obdelava podatkov

$T$ [ $^\circ C$ ]	$e_0/k_B$ [ $\cdot 10^{-6} \text{V K}^{-1}$ ]	$k_B$ [ $\cdot 10^{-23} \text{J K}^{-1}$ ]
$288.2 \pm 0.4$	$87.6 \pm 0.2$	$1.403 \pm 0.003$
$308 \pm 1$	$88.3 \pm 0.5$	$1.415 \pm 0.005$
$327 \pm 2$	$91.5 \pm 0.5$	$1.466 \pm 0.007$
Povprečje	$89.1 \pm 0.4$	$1.428 \pm 0.003$

Tabela 1: Tabela izračunanih konstant  $e_0/k_B$  in  $k_B$ .



Slika 1: Graf  $I_C(U_{BE})$  kjer  $T = \text{konst.} \in (\{15.0, 25.0, 53.4\} \pm 0.5)^\circ\text{C}$ . Črtkane črte so regresivne premice podatkov.



Slika 2: Odvisnost  $I_C(T)$  kjer  $U = (0.500 \pm 0.005)$  V ali  $U = (0.580 \pm 0.006)$  V

### 3 Zaključek

Za prvi del smo dobili eksponentne odvisnosti, kakor kaže formula in iz linearne regresije logaritmiranih vrednosti normirano z  $I_1 = 10^{-6}$  A, smo dobili, kakor naklon regresitane premice, boltzmanovo konstanto. Meritve in rezultate prikazujejo graf (1) in tabela (1).

V drugem delu, smo pa dobili, da je odvisnost temperature od kolektorskega toka tudi eksponenta, kar je pravzaprav tudi očitno iz enačb, četudi je koeficient pred eksponentom, ki je tudi odvisen od  $T$ . Meritve so prikazane na grafu (2).