

Ginevra Scazzosi, Eugenio Loprieno 5<sup>a</sup>E

01/03/2025

Laboratorio di fisica del liceo

## Misura sperimentale della costante di Boltzmann

### Scopo:

Misurare sperimentalmente il valore della costante di Boltzmann.

### Materiali:

- Termometro
- Amperometro



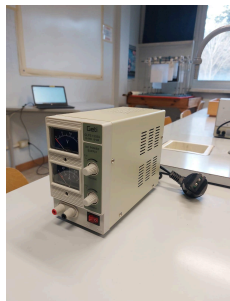
- Voltmetro
- Diodo a stato solido al germanio



- Morsetti a cocodrillo
- Spine a banana



- Trasformatore



## Premessa teorica:

### *La Costante di Boltzmann*

La costante di Boltzmann è una costante fisica fondamentale che appare in molte aree della termodinamica, della statistica e della meccanica statistica. Essa stabilisce una relazione tra la temperatura macroscopica di un sistema e l'energia microscopica delle particelle che lo compongono. La sua definizione è cruciale per comprendere la transizione dalla meccanica classica alla meccanica statistica e, più in generale, per interpretare fenomeni fisici su scala atomica e molecolare.

La costante di Boltzmann è definita come la costante di proporzionalità che lega l'energia media di una particella alla temperatura in sistemi ideali.

$$E = \frac{3}{2} k_B T$$

Dove

- $E$  è energia cinetica della particella
- $k_B$  è la costante di Boltzmann
- $T$  è la temperatura assoluta.

Il valore numerico della costante di Boltzmann è  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K

### *Diodi a stato solido e legge di Richardson-Fermi*

I diodi a stato solido sono dispositivi elettronici che permettono il passaggio della corrente elettrica in una sola direzione, fungendo quindi da raddrizzatori, sfruttando il comportamento dei semiconduttori.

Il diodo a stato solido è costruito utilizzando un materiale semiconduttore, nel nostro caso il germanio, che viene drogato (doping) in modo da creare due panetti (zone) con proprietà diverse:

- Zona di tipo N: Una regione dove gli elettroni (portatori di carica negativa) sono i principali responsabili della conduzione.
- Zona di tipo P: Una regione dove le "lacune" (portatori di carica positiva) sono i principali responsabili della conduzione.

Quando queste due regioni vengono messe in contatto, si forma una giunzione PN. In questa giunzione, gli elettroni dalla zona N si spostano verso la zona P e si combinano con le lacune, creando una zona di esaurimento, dove non ci sono portatori di carica liberi. Questa zona impedisce il flusso di corrente, a meno che non venga applicata una tensione diretta.

Quando si applica una tensione diretta alla regione P, i portatori di carica vengono spinti attraverso la giunzione, consentendo al diodo di condurre corrente. Invece, se viene applicata una tensione inversa, la zona di esaurimento si espande, impedendo il flusso di corrente. Quindi il diodo si comporta come un raddrizzatore che consente il passaggio della corrente solo in una direzione (direzione diretta) e blocca il passaggio nella direzione opposta (direzione inversa).

I diodi a stato solido seguono la legge di Richardson-Fermi, che descrive la relazione tra la corrente di emissione termica di elettroni da un materiale conduttore e la temperatura assoluta del materiale stesso.

Essa è un'applicazione del fenomeno dell'emissione termionica, in cui gli elettroni vengono liberati dalla superficie di un metallo o altro materiale conduttore a causa dell'energia termica.

La legge di Richardson-Fermi è la seguente:

$$i \propto e^{\frac{e \cdot \Delta V}{k_B \cdot T}}$$

DOVE :

- $i$  è la corrente.
- la base dell'esponenziale  $e \approx 2,7$ , la base del logaritmo naturale.
- $e$  ad esponente  $e^-$  la carica dell'elettrone =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C.
- $\Delta V$  è la differenza di potenziale.
- $T$  è la temperatura assoluta.
- $k_B$  è la costante di Boltzmann

### **Conduttori ohmici e non ohmici**

La differenza principale tra un conduttore ohmico e un conduttore non ohmico risiede nel comportamento della loro resistenza elettrica in relazione alla tensione applicata:

- Un conduttore si dice ohmico se la sua resistenza rimane costante al variare della tensione applicata. Questo comportamento è descritto dalla legge di Ohm, che afferma che la corrente ( $I$ ) che scorre attraverso il conduttore è direttamente proporzionale alla tensione ( $V$ ) e inversamente proporzionale alla resistenza ( $R$ ). La relazione è quindi:  $V=RI$  dove  $R$  è costante.
- Un conduttore si dice non ohmico quando la sua resistenza non rimane costante al variare della tensione applicata. In questi materiali, la corrente e la tensione non sono proporzionali in modo lineare e la legge di Ohm non si applica. La resistenza può cambiare in funzione di vari fattori, come la temperatura, la intensità della corrente, e altre proprietà del materiale.

## ***Semiconduttori***

I semiconduttori sono materiali che hanno una conduttività elettrica intermedia, ossia sono né buoni conduttori né buoni isolanti. La loro capacità di condurre elettricità dipende da vari fattori, come la temperatura, la presenza di impurità o l'applicazione di un campo elettrico.

Il comportamento dei semiconduttori può essere modificato mediante un processo chiamato "doping", come già spiegato per i diodi a stato solido, che consiste nell'introdurre piccole quantità di impurità nel materiale semiconduttore.

## ***Corrente***

La corrente elettrica è il flusso di cariche elettriche, generalmente elettroni, attraverso un conduttore come un filo metallico. La corrente si misura in ampere (A) e può essere di due tipi: corrente continua (CC) e corrente alternata (CA). La corrente continua è caratterizzata da un flusso unidirezionale di cariche, mentre la corrente alternata cambia direzione periodicamente.

Il movimento delle cariche è causato da una differenza di potenziale, o tensione, che viene applicata tra due punti di un circuito. La tensione spinge le cariche attraverso un conduttore, e la resistenza del materiale conduttivo influisce sulla quantità di corrente che può circolare. La relazione tra tensione (V), corrente (I) e resistenza (R) è descritta dalla legge di Ohm:  $V = I \times R$ .

## ***L'elettrone***

L'elettrone è una particella subatomica elementare con una carica elettrica negativa, pari a circa  $-1,602 \times 10^{-19}$  C. La sua massa è estremamente piccola rispetto a quella di protoni e neutroni, circa  $9,109 \times 10^{-31}$  kg. Nonostante la sua massa sia trascurabile, l'elettrone gioca un ruolo fondamentale nella formazione degli atomi, in quanto orbita attorno al nucleo atomico, determinando le proprietà chimiche degli elementi. La carica negativa dell'elettrone bilancia la carica positiva del protone, contribuendo alla stabilità dell'atomo.

## ***Amperometro***

L'amperometro è uno strumento di misura utilizzato per rilevare l'intensità della corrente elettrica che fluisce attraverso un circuito. Si collega in serie con il circuito stesso, in modo che la corrente che attraversa il circuito passi anche attraverso l'amperometro. L'unità di misura della corrente è l'ampere (A), e l'amperometro permette di leggere il valore in ampere o milliamperes (mA), a seconda dell'intensità della corrente.

## ***Voltmetro***

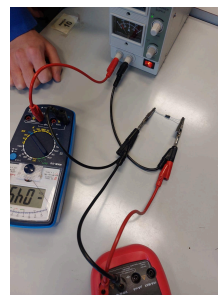
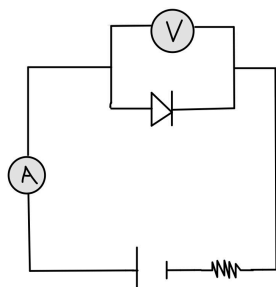
Il voltmetro è uno strumento di misura utilizzato per rilevare la differenza di potenziale elettrico, o tensione, tra due punti di un circuito. A differenza dell'amperometro, il voltmetro si collega in parallelo al componente o al tratto del circuito di cui si vuole misurare la tensione. Il voltmetro misura la tensione in volt (V).

## ***Trasformatore***

Il trasformatore è un dispositivo elettrico che consente di modificare la tensione (voltage) di una corrente alternata in un circuito. Funziona tramite il principio dell'induzione elettromagnetica e può aumentare o diminuire la tensione, a seconda del numero di spire nei suoi avvolgimenti.

### **Procedimento ed Raccolta dati**

Abbiamo creato un circuito composto dal trasformatore, amperometro, voltmetro e il diodo. Nel seguente circuito Voltmetro e diodo sono collegati in parallelo e il complesso è collegato in serie ad amperometro e trasformatore come nello schema e nelle immagini seguenti.



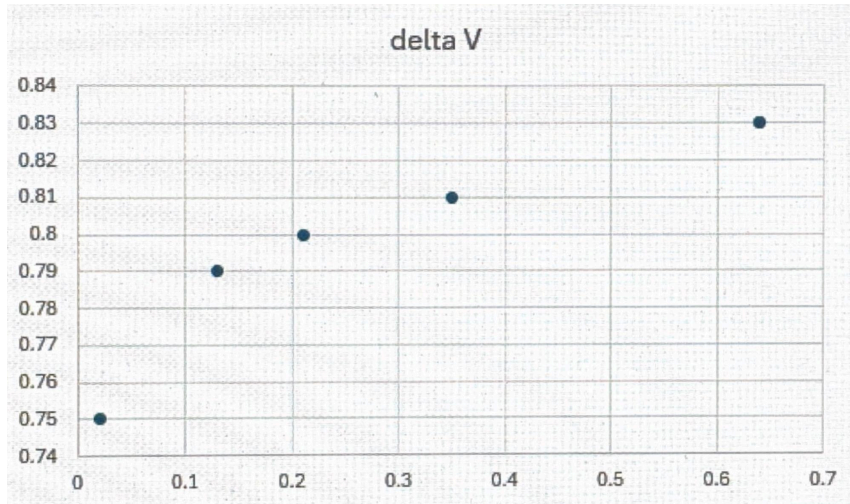
Una volta finito di assemblare il circuito abbiamo misurato 6 volte la corrente e la differenza di potenziale associata, come si può vedere dalla tabella riportata qui di seguito.

#	i (A)	Delta V (V)
1	0,21	0,80
2	0,35	0,81
3	0,02	0,75
4	0,13	0,79
5	0,64	0,83
6	0,86	0,83

t stanza = 19°C = 292,15 K

## Elaborazione dati

Aiutandoci con i fogli di calcolo, tracciamo il grafico a punti con i dati raccolti in precedenza ponendo in ordinata delta V e in ascissa I.



Dal grafico possiamo notare che la funzione è un esponenziale, infatti i diodi seguono la legge di Richardson-Fermi:

$$i \propto e^{\frac{e\Delta V}{k_B T}}$$

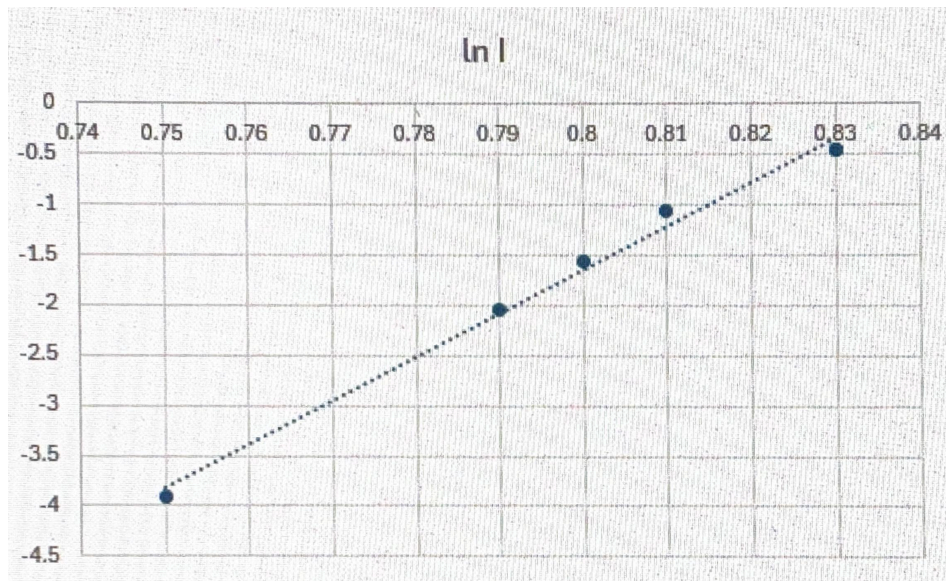
Per trovare la costante di Boltzmann, eseguo il logaritmo naturale di entrambi i membri

$$\ln i \propto \ln e^{\frac{e\Delta V}{k_B T}}$$

$$\ln i \propto \frac{e\Delta V}{k_B T}$$

Facciamo ora il grafico a punti mettendo in ordinata delta V e in ascissa il logaritmo naturale della corrente. il grafico rappresenta una retta il cui coefficiente angolare è

$$m = \frac{e}{k_B T}$$



Con Excel, ricaviamo il valore di  $R^2$  e l'equazione della retta, da cui vediamo il valore numerico del coefficiente angolare.

$$R^2 = 0,9923 \quad \text{I DATI SPERIMENTALI SONO BUONI}$$

$$y = 43,38x - 36,352$$

$$\Rightarrow m = 43,38$$

In precedenza abbiamo determinato

$$m = \frac{e}{k_B T}$$

dunque

$$43,38 = \frac{e}{k_B T}$$

Isolo la costante di Boltzmann e la ricavo

$$K_B = \frac{e}{T \cdot 43,38} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{292,15 \cdot 43,38} = 1,26 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

Abbiamo dunque trovato il valore sperimentale della costante di Boltzmann.

Ora eseguo lo scarto percentuale sapendo che il valore teorico è  $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

$$\varepsilon \% = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} - 1,26 \cdot 10^{-23}}{1,38 \cdot 10^{-23}} \cdot 100 = 8,6\%$$

#### Conclusioni:

Possiamo affermare di aver verificato sperimentalmente un valore soddisfacente della costante di Boltzmann, ottenendo un errore piuttosto basso del 8,6%. L'esperienza può pertanto dirsi molto soddisfacente in quanto gli strumenti a nostra disposizione e l'ambiente in cui le misure sono state eseguite non erano i più consoni alla riuscita dell'esperimento.