

## צמד תרמי

### **מילות מפתח:**

צמד תרמי Thermocouple, אפקט סיבק Seebeck, נקודת היתוך, תרמיסטור.

**הציוד הדרוש:** מחשב, גוף חימום, כורית עם בדיל, כורית מתכת ריקה, מולטימטר, צמד תרמי, טרמומטר דיגיטלי, טרמיסטור, כלי לקרח, משקפי מגן, מלקחיים.

### **מטרות הניסוי:**

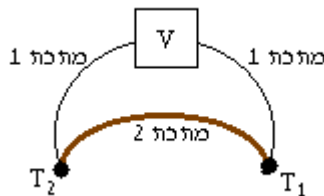
- להכיר ולהבין את התנהגותו של צמד תרמי.
- לכייל צמד תרמי למדידת טמפרטורה.
- למדוד עקומת קירור של בדיל באמצעות צמד תרמי.
- למדוד התנגדות של טרמיסטור כתלות בטמפרטורה.

### **1. תיאוריה**

בניסוי זה נעסוק בהשפעת שינויי טמפרטורה על תכונות חשמליות של חומרים.

#### **1.1 צמד תרמי**

שני חוטים העשויים ממתכות שונות ומחוברים בקצותיהם נקראים צמד תרמי. אם הקצוות מוחזקים בטמפרטורות שונות נוצר במעגל מתח חשמלי התלוי בהפרש הטמפרטורות. אפקט זה נקרא אפקט סיבק. ראה איור 1.



איור 1: צמד תרמי

אפקט סיבק קשור להימצאותם של אלקטרונים חופשיים במתכת, אלקטרונים אלו אינם קשורים לאטום מסוים במתכת אלא חופשיים לנוע במתכת. קיומם של אלקטרונים חופשיים מאפשר מוליכות חשמלית טובה וכן הולכת חום. צפיפות האלקטרונים תלויה בסוג המתכת וכן בטמפרטורה. למעשה אפקט סיבק

נובע כתוצאה של שתי תופעות: (א) תופעת פלטייה (Peltier) - תופעה זו קשורה לנקודת המגע של שתי מתכות שונות. בכל אחת מהמתכות ישנה צפיפות אלקטרונים שונה, ולכן בנקודת המגע זורמים האלקטרונים מהצפיפות הגבוהה לנמוכה ונוצר מתח מגע. (ב) תופעת תומסון (Thomson) - תופעה זו קשורה לשינוי בצפיפות האלקטרונים במתכת עקב שינויי טמפרטורה. כאשר הקצוות של חוט מתכת מוחזקים בטמפרטורות שונות נגרם שינוי בצפיפות האלקטרונים וכתוצאה מכך נוצר זרם בתוך החוט.

אפקט סיבק הינו צירוף של שתי תופעות אלו. גודל המתח הנוצר באפקט סיבק תלוי בסוג המתכות מהם מורכב הצמד התרמי. לדוגמא: בצמד תרמי נחושת-ברזל נוצר מתח של  $14 \cdot 10^{-6} V / ^\circ C$ , ובצמד תרמי כרומל-אלומל נוצר מתח של  $40 \cdot 10^{-6} V / ^\circ C$ . הצמד התרמי משמש בעיקר למדידה רגישה של טמפרטורות. את המתח המתקבל ניתן לבטא באמצעות:

$$(1) \quad V = k(T_2 - T_1)$$

כאשר  $k$  הוא קבוע סיבק.

## 1.2 נקודת היתוך

מעבר של חומר ממצב מוצק לנוזל נקרא היתוך, המעבר מנוזל למוצק נקרא התמצקות. כאשר מחממים חומר במצב מוצק, החומר קולט את אנרגיית החום ודבר זה מתבטא בעליית הטמפרטורה. כאשר הטמפרטורה מגיעה לנקודה מסוימת הנקראת נקודת ההיתוך מתחיל ההיתוך, בשלב זה האנרגיה הנקלטת ע"י החומר מושקעת בהפיכת המוצק לנוזל ללא שינוי בטמפרטורה. רק לאחר שהחומר הותך כליל, ממשיכה הטמפרטורה לעלות. תהליך דומה מתרחש בעת קירור חומר הנמצא במצב נוזל עד לנקודת ההיתוך בה איבוד החום ע"י החומר מתבטאת בהתמצקות והטמפרטורה נשארת קבועה עד להתמצקות מוחלטת ורק אז ממשיכה הטמפרטורה לרדת.

### 1.3 תרמיסטור

"תרמיסטור" זהו נגד אשר התנגדותו תלויה בטמפרטורה (Thermic resistor). נגד כזה עשוי מחומר מוליך למחצה (כמו גרמניום או תחמוצת של ניקל) והתנגדותו החשמלית יורדת באופן אקספוננציאלי עם עליית הטמפרטורה.

$$R = R_0 e^{-\alpha T} \quad (2)$$

מדידה מדויקת של התנגדות התרמיסטור יכולה לשמש כאמצעי למדידת שינויי טמפרטורה הקטנים מאלפית המעלה.

### 1.4 שאלת הכנה

1. הסבר מדוע משתמשים במי קרח כדי לשמור על טמפרטורה של  $0^{\circ}\text{C}$  ולא במים או בקרח.

2. קצה אחד של צמד תרמי מוחזק בטמפרטורה  $T_1 = 60^{\circ}\text{C}$ , המתח שמופיע במעגל  $6\text{ mV}$  וקבוע סיבך  $k = 0.04\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ . מהי הטמפרטורה בקצה השני  $T_2$ ?

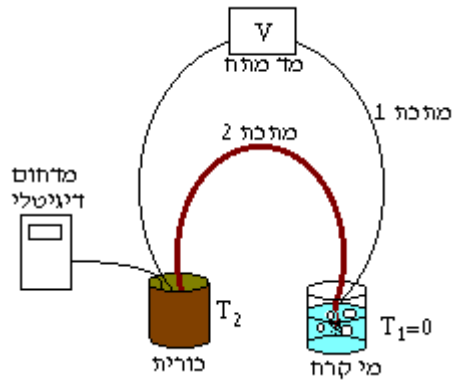
3. כאשר טמפרטורה שווה ל- $100^{\circ}\text{C}$  התנגדות התרמיסטור שווה ל- $4\text{ k}\Omega$ , כאשר טמפרטורה שווה ל- $50^{\circ}\text{C}$  התנגדות התרמיסטור שווה ל- $20\text{ k}\Omega$ . מהי תהיה ההתנגדות עבור  $T = 0^{\circ}\text{C}$ ?

### 2. מהלך הניסוי

#### 2.1 כיול הצמד התרמי

על מנת להשתמש בצמד תרמי למדידת טמפרטורה יש צורך לכיילו, כלומר, למצוא את הקשר בין המתח בצמד התרמי לטמפרטורה. בניסוי זה נשתמש בצמד תרמי כרומל-אלומל, נמדוד את הטמפרטורה בקצה אחד של הצמד באמצעות מדחום דיגיטלי כאשר הקצה השני יוחזק בטמפרטורה קבועה של  $0^{\circ}\text{C}$ . כמו כן נמדוד את המתח באמצעות מד-מתח דיגיטלי. המערכת מתוארת באיור 2.

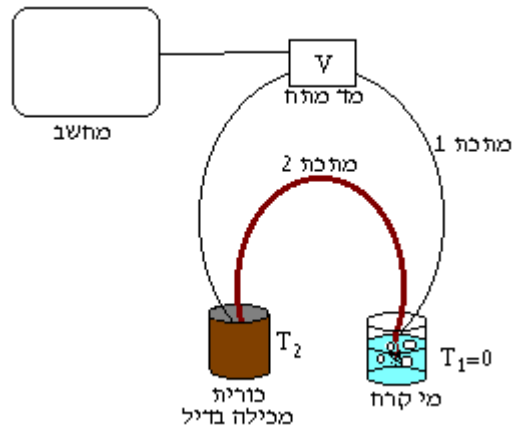
## -צמד תרמי-



איור 2 : מערכת לכיול צמד תרמי.

### 2.2 מדידת עקומת קירור של בדיל

בניסוי זה נשתמש בצמד התרמי למדידת עקומת הקירור של בדיל. נתיך בדיל בכורית (כור היתוך קטן), נרכיב את המערכת כמתואר באיור 3, ונחבר את מד המתח למחשב על מנת למדוד את המתח כתלות בזמן באמצעות תוכנה.

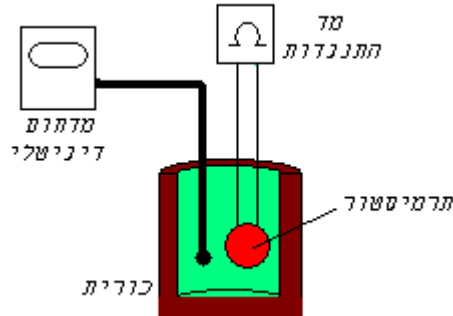


איור 3 : מדידת עקומת קירור של בדיל

כאשר נתאר את הטמפרטורה כפונקציה של הזמן בגרף, נקבל תחום שבו במשך זמן מסוים הטמפרטורה קבועה. טמפרטורה זו היא טמפרטורת ההיתוך (התמצקות) של בדיל.

### 2.3 מדידת התנגדות של תרמיסטור

למדידת התנגדות של תרמיסטור, נשתמש במערכת המתוארת בצירור 4. נחמם את התרמיסטור בתוך הכורית, נמדוד את התנגדותו באמצעות מד התנגדות דיגיטלי ואת הטמפרטורה באמצעות מדחום דיגיטלי.



איור 4: מדידת התנגדות של תרמיסטור.

### 3. הנחיות ביצוע

#### 3.1 כיול הצמד התרמי

- כוון את מד המתח למדידה ברגישות של  $200 \text{ mV}$ .
- חבר את הצמד התרמי למד המתח, הכנס את שני הקצוות למי קרח וודא שהמתח הוא 0. (הופעת מתח שונה מ-0 מצביעה על שגיאה שיטתית במערכת או על תקלה).
- השאר קצה אחד של הצמד התרמי במי קרח, העבר את הקצה השני לכורית והכנס לשם גם מדחום דיגיטלי.
- חמם את הכורית ע"י גוף החימום עד לטמפרטורה של  $210^{\circ}\text{C}$ , הפסק את החימום ע"י ניתוק מרשת החשמל.
- תוך כדי קירור הכורית רשום את המתח כפונקציה של הטמפרטורה כל 10 מעלות בין  $200^{\circ}\text{C}$  ל  $100^{\circ}\text{C}$ .
- צייר גרף של המתח כפונקציה של הטמפרטורה, מצא את השיפוע. הגרף שהתקבל הוא גרף הכיול ובו נשתמש בניסוי הבא. צור גרף מנתוני הנספח המופיע בסוף התדריך והשווה את קבוע סיבך שקיבלת לקבוע מנתוני הנספח.

### 3.2 מדידת עקומת קירור של בדיל

אזהרה !! לפני הכנסת הצמד התרמי לבדיל יש לייבשו היטב !! חובה ללבוש משקפי מגן !!

- חבר את הצמד התרמי למד המתח כמו בניסוי הקודם, את מד המתח חבר למחשב.
- פתח את תוכנת Recmeter במחשב, פתח את sample rate וכוון את זמן המדידה ל 2sec. בתפריט File לחץ על Name והכנס את שם קובץ התוצאות.
- חמם את הכורית אשר בתוכה הבדיל עד להתכת הבדיל. הכנס קצה אחד של הצמד התרמי למי קרח ואת הקצה השני הכנס לבדיל המותך.
- לחץ בתוכנה על Start recording, לאחר 15 שניות מתחילת המדידה הפסק את חימום הבדיל (אך אל תוציא את הכורית ממתקן החימום).
- המשך את המדידה במשך 10 דקות ובסיומן לחץ על End recording.
- שמור את התוצאות בקובץ.
- חמם שוב את הבדיל עד להתכתו על מנת לשחרר את צמד התרמי.
- שרטט בגרף את המתח כפונקציה של הזמן ומצא את התחום בו הגרף שטוח.
- חשב את הטמפרטורה בה מתרחשת ההתמצקות (בעזרת גרף הכיול) ואת השגיאה.
- השווה עם טמפרטורת ההיתוך של בדיל המופיעה בספרות.

### 3.3 מדידת התנגדות של תרמיסטור

- חבר את התרמיסטור למד התנגדות, בחר סקלת התנגדות המתאימה בין  $200\Omega$  -  $200k\Omega$ .
- הכנס את התרמיסטור ואת המדחום הדיגיטלי לכורית, מדוד את ההתנגדות בטמפרטורת החדר.
- חמם את הכורית בעזרת גוף החימום עד לטמפרטורה של  $80^{\circ}\text{C}$ .
- הוצא את הכורית מגוף החימום והנח לה להתקרר, רשום את ההתנגדות  $R$  כל  $2^{\circ}\text{C}$  בתחום שבין  $80^{\circ}\text{C}$  ל  $30^{\circ}\text{C}$ .

- על סמך משוואה (2), ערוך גרף של  $\ln R$  כפונקציה של הטמפרטורה  $T$ . מתוך שיפוע הגרף מצא את  $\alpha$ . הערך את ההתנגדות ב  $T=0^{\circ}\text{C}$  וב  $T=100^{\circ}\text{C}$ .
- שרטט גרף של  $R$  כפונקציה של  $T$  ומצא את התחום שבו ההתנגדות רגישה ביותר לשינויי טמפרטורה.

**נספח - צמד תרמי כרומל אלומל**

טמפרטורה $^{\circ}\text{C}$	מתח mV	טמפרטורה $^{\circ}\text{C}$	מתח mV
0	0.00	110	4.51
10	0.40	120	4.92
20	0.80	130	5.33
30	1.20	140	5.73
40	1.61	150	6.13
50	2.02	160	6.53
60	2.43	170	6.93
70	2.85	180	7.33
80	3.26	190	7.73
90	3.68	200	8.13
100	4.10	210	8.54