

## טפרטורות נמוכות

### ספרות

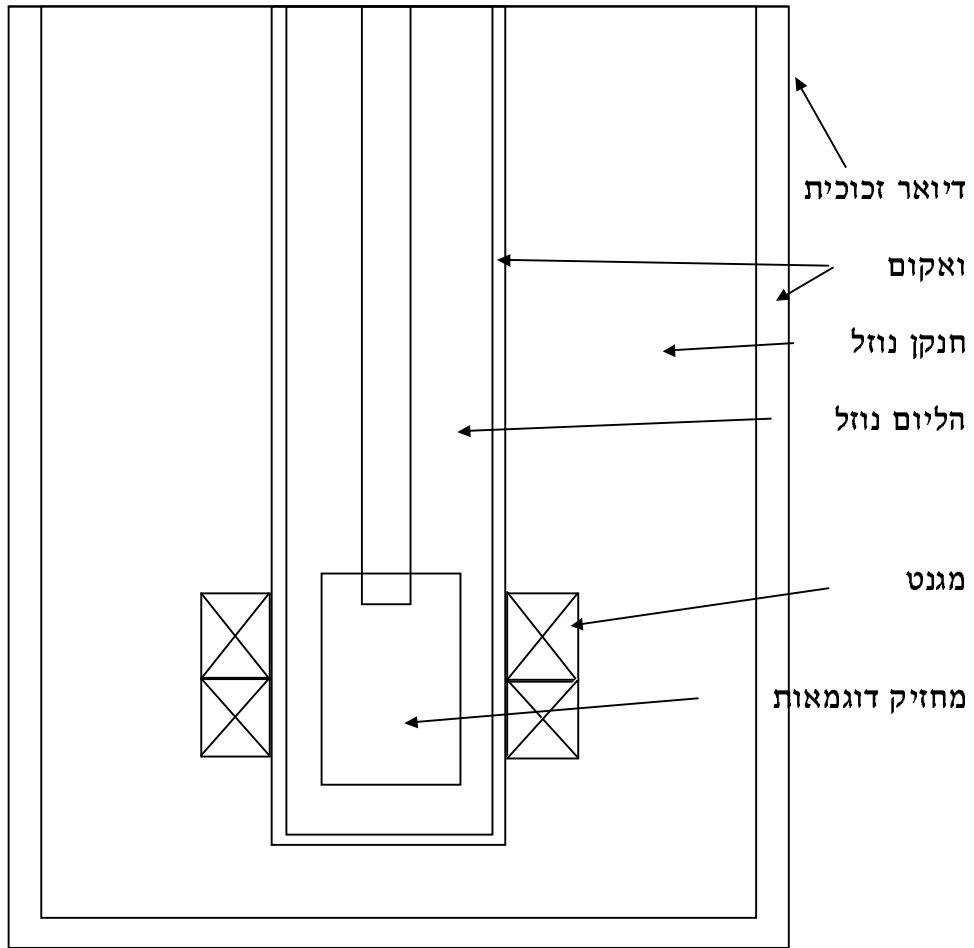
1. A.C. Rose Innes, Low-Temperature Laboratory Techniques, ch. 2.1-2.6, 3.1-3.7, 4.1, 4.2, 4.4, 4.6b
2. K. Mendelsohn, The Quest for Absolute Zero, ch.9 and 10
3. J. Wilks, An Introduction to Liquid Helium, ch.1, 5, 6
4. C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, 5<sup>th</sup> ed., pp. 337-57
5. D.R. Tilley and J. Tilley, Superfluidity and Superconductivity, ch. 1.1 and 1.2

### מטרת הניסוי

הכרת מספר תופעות יסוד בטמפרטורות נמוכות (1.5-4.2K) ולימוד טכניקת העבודה בתחום זה. הניסוי מתוכנן להיערך בשתי פגישות. הפגישה הראשונה כוללת שלושה ניסויים בעל-מוליכים, וכיול מדי הטמפרטורות לצורך הניסויים בפגישה השנייה. הפגישה השנייה כוללת שני ניסויים בעל-נוזל. התכונות הקשורות לעל-מוליכות הן: נפילת התנגדות פיסת בדיל בטמפרטורה הקריטית, תלות השדה הקריטי של בדיל בטמפרטורה, ועקומת המגנטיזציה של על-מוליך type I ו- type II. התכונות הקשורות לעל-נוזליות הן קיבול חום והולכת חום.

### מערכת ניסיונית

הקריאוסטט (cryostat) מורכב משני חלקים: דיואר זכוכית (glass dewar) המשמש להחזקת חנקן נוזל (בתוכו נמצא גם המגנט) והקריאוסטט להליום נוזל מפלדה בלתי מחלידה המוחזק בתוך החנקן הנוזל. (ציור 1)



ציור 1

בתחתית הקריאוסטט נמצא מחזיק דוגמאות המכיל

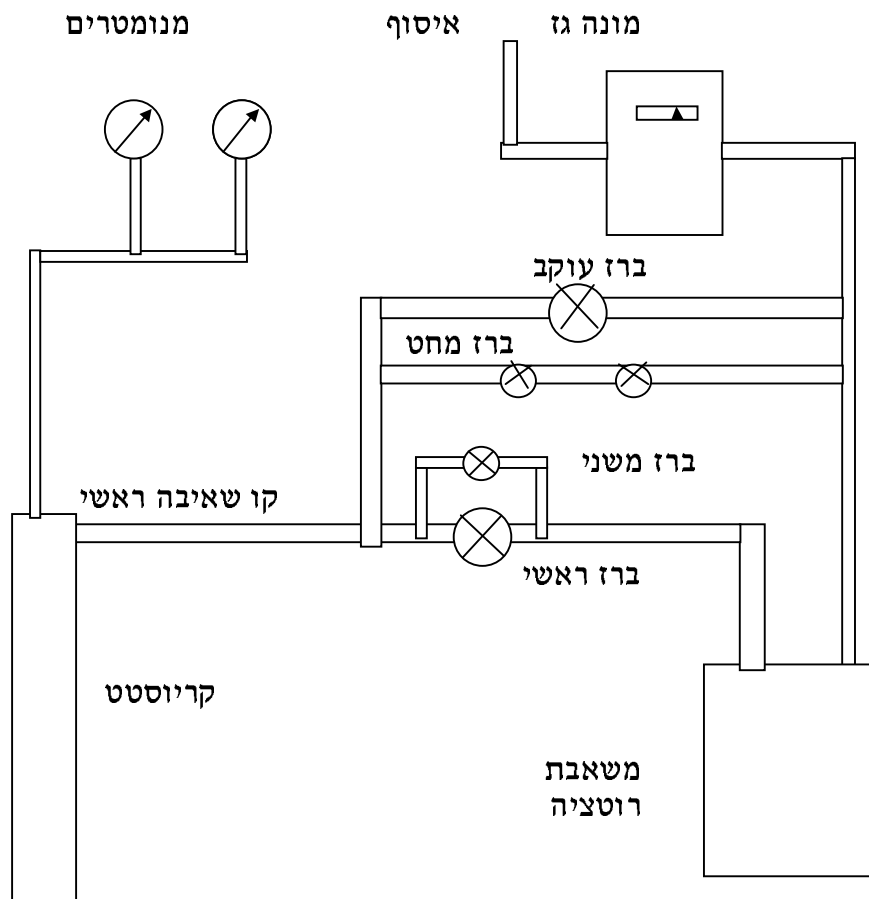
נגד פחם המשמש כטרמומטר

- נגד metal film בעל התנגדות  $100 \Omega$  לא תלויה בטמפרטורה המשמש כגוף חום.

- דוגמא של שכבה דקה מבדיל מנודפת על זכוכית למדידת טמפרטורה קריטית ושדה קריטי

- שלושה סלילים בעלי 1,000 כריכות כ"א, ללא ליבה, ושנים עם ליבות מחומרים על מוליכים מסוגים שונים.

במשך הניסוי מעבירים הליום נוזל לתוך הקרואוסטט.  $He^4$  רותח בלחץ אטמוספירי בטמפרטורה 4.2K. נתן לרדת בטמפרטורה עד ל-1.5K ע"י שאיבה של אדי ההליום בעזרת מערכת השאיבה. מערכת השאיבה מתוארת בציור 2. שקוף בקרני X של הקרואוסטט מצוי במעבדה.



ציור 2

הקריאוסטט נשאב ע"י משאבת רוטציה דרך קו שאיבה ראשי. ניתן לבקר על הלחץ בקריאוסטט ע"י כוון מהירות השאיבה בעזרת הברז הראשי או הברז המשני. הלחץ בקריאוסטט נמדד בעזרת שני מדי לחץ (מנומטרים) מסוג aneroid. למנומטרים יש שתי סקלות: האחת מכוילת בלחץ ביחידות ל-torr והשניה מראה את הטמפרטורה של הליום נוזל המתאימה ללחץ האדים המדוד. בדרך כלל, גז ההליום היוצא מהמערכת נאסף בשקים מיוחדים ומנוזל מחדש. במעבדה שלנו אין אפשרות כזו, ולכן ההליום (שהינו גז יקר מאוד) יוצא לחלל החדר ומתבזבז.

#### קרור הקריאוסטט:

א. על מנת למנוע קפיאת אוויר בקריאוסטט לאחר קרורו מוחלף בו האוויר לפני הקרור בהליום גז (שטיפת הקריאוסטט בהליום). הדבר נעשה ע"י שאיבת האוויר מהקריאוסטט והכנסת הליום גז. תהליך זה מתבצע מספר פעמים לפני תחילת קרור המערכת.

ב. לאחר מכן יש למלא את דיואר הזכוכית בחנקן נוזל. יש לתת למערכת להתקרר עם החנקן כחצי שעה.

ג. העברת ההליום נעשית באמצעות צינור העברה (transfer tube). יש להוריד את צינור ההעברה לתחתית הדיואר המשמש לאכסון הליום נוזל. הלחץ המתקבל מרתיחת הליום מספיק לבצוע ההעברה.

הזרימה דרך מונה הגז מאפשרת לעקוב אחרי השלבים השונים של ההעברה. בשלב ראשון כל הנוזל המגיע לצינור ההעברה רותח מיד בכניסה לצינור ולכן קצב פליטת הגז איטי. עם קירור הצינור מתחיל לעבור דרכו הליום נוזל, הוא רותח מיד בהגיעו לקריאוסטט, קריאת המונה מהירה. כאשר הקריאוסטט מתקרר לטמפרטורה נמוכה מתחיל להצטבר בו הליום נוזל, הרתיחה קטנה במידה נכרת, דבר המתבטא בהקטנת זרימת הגז. זרימה איטית זו תמשך עד מלוי הקריאוסטט מעבר למעטפת הואקום. בשלב זה גדלה הזרימה שוב ואז יש להפסיק את ההעברה.

ד. בדיקה גובה ההליום הנוזלי שהצטבר בקריאוסטט נעשית על ידי המחשב.

ה. תהליך העברת הליום נוזל לקריאוסטט צורך כ- 3 ליטר נוזל כמות הנוזל בקריאוסטט מספיקה למספר שעות עבודה, תלוי בכמות השאיבה

## כללי הבטיחות:

- א. אין לגעת בחלקים קרים של המערכת בידיים חשופות (חלקים אלה באוויר מצופים בשכבה של קרח).
- ב. הליום גז אומנם איננו דליק, אבל אם הוא נמצא בכמויות גדולות במעבדה, הוא גורם לחנק. לכן אין לשחרר כמויות גדולות של הליום למעבדה ללא אוורור מתאים.

## בצוע הניסוי:

1. מדידת התנגדות שכבת בדיל, וכיול נגד פחם לשימוש כטרמומטר:

בניסוי זה מודדים את ההתנגדות החשמלית של שכבה דקה של בדיל בעובי כ- 6000 A הנוצרת ע"י נידוף בדיל בואקום דרך מסכה מתאימה על זכוכית. הטמפרטורה הקריטית של על-מוליך היא 3.72K. היות ובתחום ההתנגדויות של הדוגמא ההתנגדות החשמלית של חוטי החבורים לא ניתנת להזנחה, יש למדוד התנגדות בשיטת ארבעת המגעים. בשיטה זו מופרד מעגל למדידת המתח ממעגל הזרם. מדדו את התנגדות הדוגמא מטמפרטורת 4.2K ועד לטמפרטורה 1.5K. מצאו את הטמפרטורה הקריטית והשווה לערך התיאורטי.

במקביל למדידת התנגדות הבדיל, המחשב יכול למדוד גם את התנגדות נגד הפחם. הנגד הינו נגד פחם רגיל להספק של 0.25 W. היות והוא מורכב ברובו מאבקת פחם דחוסה, תהיה התנגדותו החשמלית כשל חצי מוליך. התנהגות המדויקת כתלות בטמפרטורה תלויה בהרכב הפחם וגודל הגרגירים. קבלו את עקומת הכיול של התרמומטר והתאימו לנוסחאות המקובלות.

2. מדידת השדה הקריטי של שכבת הבדיל בטמפרטורות שונות:

בשיטה זו מודדים את תלות ההתנגדות החשמלית של הדוגמא בשדה מגנטי החיצוני מתחת לטמפרטורה הקריטית. מדדו את התלות של ההתנגדות של שכבת הבדיל מתחת לטמפרטורה הקריטית עבור מספר טמפרטורות. קבלו את תלות השדה הקריטי בטמפרטורה והתאימו לנוסחה ניסיונית.

3. מדידת עקומת המגנטיזציה של על-מוליכים:

מדידת המגנטיזציה נעשית ע"י בצוע אינטגרציה על המתח המתקבל על סליל המכיל על-מוליך, כשזה מופחת מהמתח המתקבל על סליל זהה וללא על-מוליך. במערכת קיימים שני סלילים עם ליבה על-מוליכה, האחד עם עופרת ( $T_c=8.9K$ ) והשני עם על-מוליך type II בלתי ידוע. השדה המגנטי החיצוני נוצר על ידי סליל חיצוני. מדדו את עקומת המגנטיזציה של שתי הדוגמאות בשלוש טמפרטורות. בדו"ח, יש לכלול טיפול מתמטי מלאה של המעבר ממתחים (הנמדדים) לשדה מגנטי ומגנטיזציה.

4. מדידת חום סגולי של הליום סביב נקודת ה- $\lambda$ :

$$C_v = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_v = \left( \frac{d(Pt)}{dT} \right)_v \text{ היא בחמום בהספק קבוע מתקבל כי נוסחת הטמפרטורה}$$

לכן ע"י מדידת קצב החימום ניתן למדוד את חום הסגולי. החימום יעשה לאורך עקומת שווי המשקל בין הנוזל לגז ובנפח קבוע. כגוף חימום משמש נגד שהתנגדותו בלתי תלויה בטמפרטורה הנמצא בתחזית הקריאוסטט. בניסוי תמדדו את קצב התחממות ההליום בשלושה הספקים שונים.

5. מדידה איכותית של מוליכות החום של הליום נוזל:

זוהי מדידה איכותית של תלות מוליכות החום בטמפרטורה. במהלך הניסוי, המערכת תוצא משווי משקל תרמי. הזמן שלוקח למערכת לחזור לשווי משקל ימדד. זמן זה פרופורציוני לאחד חלקי מקדם מוליכות החום.