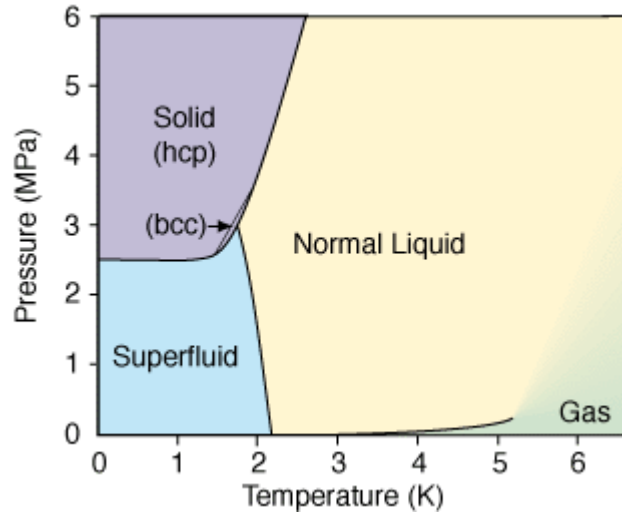


## רקע:

הפרוייקט שלי נעשה במעבדה של פרופ' פולטורק בסגרת המחקר הנעשה במעבדה. תחום המחקר במעבדה הוא הליום מוצק ותכונותיו. הליום הוא גז אציל אשר לא קופא בטמפ' קרובה לאפס קלווין ובלחץ אטמוספרי. כדי להקפיא הליום נדרש גם להפעיל לחץ.

### תרשים 1: דיאגרמת פאזות של הליום



במצבו המוצק של ההליום יש שתי תצורות של מיבנה גבישי:

1. **hcp**- Hexagonal Close-Packed.

2. **bcc**-Body-Centered Cubic.

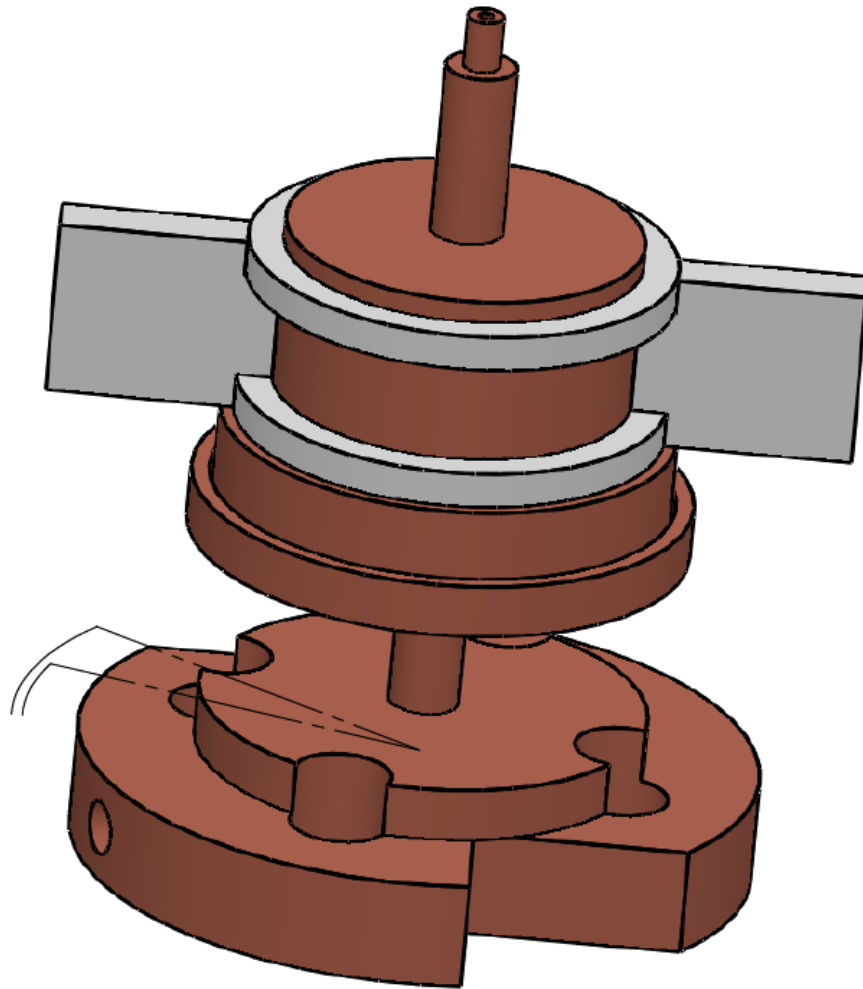
במחקרים האחרונים שנעשו במעבדה התמקדו במנגנוני החיכוך בין גבישוני הליום.

טכניקת הניסוי במעבדה היא באמצעות אוסילטור פיתול. אוסילטור פיתול הוא גוף גלילי העשוי מחומר בריליום נחושת. האוסילטור ניצב על מוט כך שהאוסילציה היא סיבוב של המוט סביב ציר (twist). המוט המסתובב מהווה את תפקיד הקפיץ, כך שהגוף הגלילי מבצע אוסילציות בזווית. האוסילטור מאולץ ע"י כוח מחזורי. הגוף הגלילי הוא חלול ובתהליך הניסוי מכיל הליום. מדידת התדירות והאמפליטודה יכולה לתת מידע על תכונות ההליום בגוף הגלילי. אל הגוף הגלילי מחוברות שתי כנפיים העומדות כל אחת מהן בצמוד לאלקטרודה כך שנוצרים שני קבלים. קבל אחד מהווה את הכוח המאלץ הניתן ע"י מתח AC וקבל אחר מהווה את החיישן באמצעותו מודדים את תנודות האוסילטור.

## מהלך העבודה:

לצורך ניסוי חדש במעבדה היו צריכים אוסילטור חדש אשר יעמוד בהפרש לחצים גבוה יותר, הפרש של בערך 100bar. בנוסף היו צריכים לקבל תדירות עצמית כפולה ממה שהיה באוסילטור הקודם. התיכונן של האוסילטור החדש הוא על בסיס תכניות של האוסילטורים הקודמים הניבנו במעבדה, כאשר חישובתי כמה חישובים על מנת שהאוסילטור החדש יעמוד בהפרש הלחצים הדרוש ובתדירות הדרושה.

את האוסילטור שירטטתי בתוכנת SolidWorks:



**ציור 1:** תא ההליום מוצב על מוט הפיתול, משני צידי התא מחוברים קנפוני האיפוקסי המהווים ביחד עם האלקטרודות (לא מופיעות בשירטוט) שני קבלים היוצרים את הכוח המאלץ והחיישן לזווית התנודה.

## חישובים:

**שיפור האטימה:** האוסילטור בנוי מחלק עליון וחלק תחתון אשר מחוברים באטימה של טבעת אינדיום. ההשערה שלנו היתה כי האוסילטור הקודם לא עמד בהפרש הלחצים הדרוש בגלל אזור האטימה עם האינדיום. אזור האטימה מחובר עם 6 ברגים. כדי שהלחיצה של האינדיום תהיה חזקה יותר הוספנו עוד 6 ברגים כך שזכית יש 12 ברגים הלוחצים את החלק העליון והתחתון של האוסילטור כשבאמצע נלחצת טבעת האינדיום שיוצרת את האטימה.

**עובי דופן:** היה צורך לחשב את עובי הדופן הנדרשת של האוסילטור בכדי שיעמוד בהפרש לחצים של 100bar. לצורך כך השתמשתי בטבלאות הלקוחות מ[1]. מצאתי את Tensile Strength ב-[2], קיבלתי מתוך גרף ב-[1] את היחס בין עובי הדופן לקוטר הגוף הגלילי באוסילטור, ומשם קיבלתי את עובי הדופן הדרוש (הקוטר נלקח ממימדי האוסילטור הקודם).

**העלאת התדירות:** תדירות התהודה התיאורטית ניתנת ע"י  $\omega = \sqrt{\frac{\kappa}{I}}$  כאשר  $\kappa$  הוא קבוע המוט (כמו קבוע קפיץ) ו-  $I$  הוא מומנט האינרציה של האוסילטור.

חישוב קבוע הקפיץ: מתוך נוסחא ב-[1]

$$\kappa = \frac{\pi D^4 G_{BeCu}}{32L}$$

כאשר  $G_{BeCu} = 5.3 \cdot 10^{11} \frac{Dyne}{cm^2}$ ,  $D$  הוא קוטר המוט,  $L$  אורכו.

**חישוב מומנט האינרציה:** את חישוב מומנט האינרציה עשיתי ברובו באמצעות תוכנת השירטוט בה עבדתי (SolidWorks), הזנתי את הצפיפות של BeCu, רשמתי את מומנט האינרציה של כל רכיב סיבובי וחיברתי אותם. חלקים לא סיבוביים כמו כנפוני איפוקסי או ברגים חישובתי ידנית.

## ביצוע:

שמואל הוידה, בעל ידי הזהב, הכין את האוסילטור לפי השרטוטים שלי (מופיעים בהמשך).

כאשר האוסילטור היה מוכן, ניקיתי אותו באמבט אולטראסוניק אם מעט סבון ע"מ להוריד שכבות שומן. אחרי יבוש הדבקתי את שתי טבעות האיפוקסי לאוסילטור ואלהן את שני הכנפונים כאשר לכל כנפון מודבק עלה נחושת בעובי 100 מיקרומטר. חיברתי את שני עלי הנחושת בחוט נחושת דק והדבקתי אותו לאוסילטור עם G-varnish (מאין לקה דביקה). באותה העת האוסילטור הישן היה בתוך הדיואר (מאין טרמוס גדול בתוכו מבצעים ניסויים בטמפ' נמוכות). הוצאנו את הפרוב מהדיואר עליו היה מותקן האוסילטור הישן. הוצאנו את האוסילטור מהתושבת שלו. העברנו את האוסילטור הישן למגש חדש ששמואל הוידה הכין עבורו. הרכבתי את שני חלקי האוסילטור על המגש.

## מדידות:

מדדנו את הקיבולים:

$$c_2 = 3.215 pF, c_1 = 3.128 pF$$

לשם השוואה, חישובתי ערך תיאורטי של הקיבול כאשר לקחתי את שטח הקבל כשטח עיגול ברדיוס

האלקטרודה (לוח קבל אחד), המרחק בין הלוחות הוא 100 מיקרומטר לפי עובי דף הנייר שהוכנס בין לוחות הקבל וקבע את המרווח בניהם.

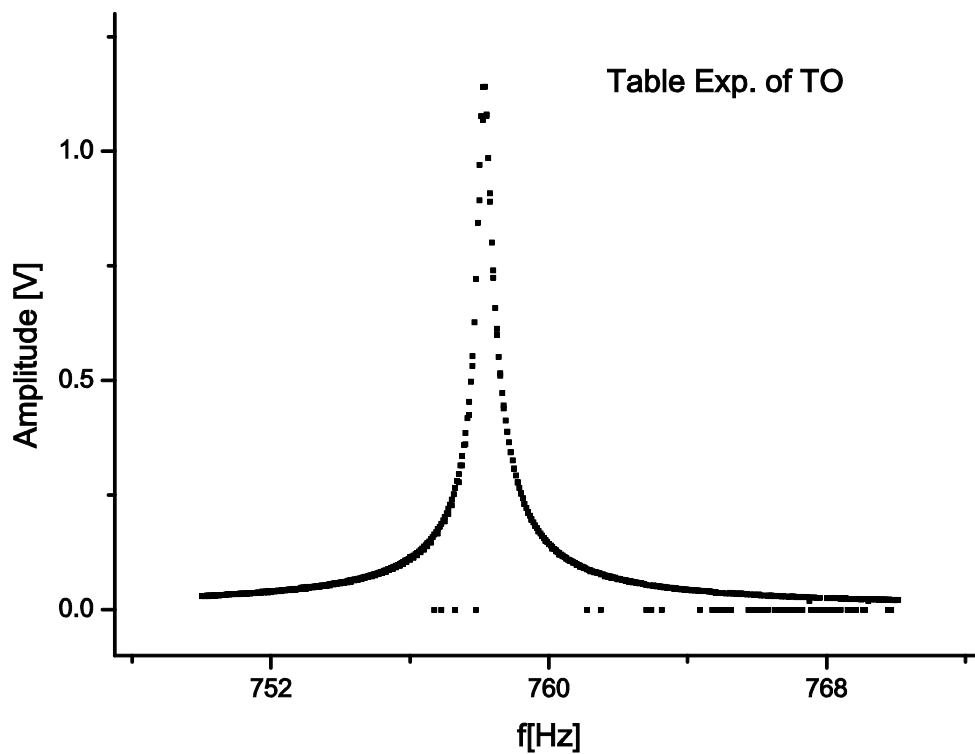
$$c = \frac{A\epsilon_0}{d} = 5.02 \text{ pF}$$

בנוסף חישבתי את הכוח התיאורטי הפועל על האוסילטור כתוצאה מהכוח המאלץ, את מומנט הכוח ואת ההעתק:

$$F = \frac{\epsilon_0 AV^2}{2d^2} = \frac{8.8 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot 0.0001 \text{ m}^2 \cdot (201 \text{ Volt})^2}{2 \cdot (10^{-4} \text{ m})^2} = 1.78 \cdot 10^{-3} \text{ Newton}$$

$$\text{displacement} = r \cdot F \cdot \kappa = 0.173 \text{ m} \cdot 1.78 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot 19.08 \text{ Joule} = 1.61 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

השלב הסופי בפרוייקט היה למדוד את גרף ההיענות של האוסילטור, כלומר, מדדנו את האמפליטודה כפונקציה של התדר המאלץ. לפי גרף זה קיבלנו את מקדם האיכות של האוסילטור – Q .factor



חישוב מתוך נתונים אלו נתן:  $Q = 1055$

### סיכום:

את הפרוייקט אני ממשיך באופן ישיר במסגרת תואר שני בו אנחנו אמורים לחקור את תכונות החיכוך הבין גבישוני בהליום המוצק.

תודה רבה לפרופ' אמיל פוטורק על ההנחיה, לאיתן לבנה ולאורי סקלי על העצות וההסברים לאורך הפרוייקט. תודה רבה לשמואל הוידה שבנה את האוסילטור וללאוניד לומין שעזר לאורך הפרוייקט.

מקורות:

[1] Low Temperature Techniques, spring 1981, Materials Science Center, Cornell University.

[2] [http://www.bucorp.com/files/BeCu\\_Alloy\\_172\\_Rev\\_Aug\\_2\\_2006.pdf](http://www.bucorp.com/files/BeCu_Alloy_172_Rev_Aug_2_2006.pdf)