

מפגש 2 – מעברי מצב צבירה קלאסיים ומיוחדים

הקדמה

במפגש זה הכרנו את המצב הזכוכיתי תוך הדגשת הדומה והשונה בינו לבין מצבי הצבירה המוכרים לנו. למרות שהמצב הזכוכיתי לא מאפיין "חומרים רכים", מעניין לדבר עליו בשלבים אלה של הקורס כדי להדגים מצב צבירה ייחודי שאינו מסתדר עם ההגדרות המקובלות על מצבי צבירה שלומדים בבית הספר.



התנסות במעבר מצב צבירה ייחודי

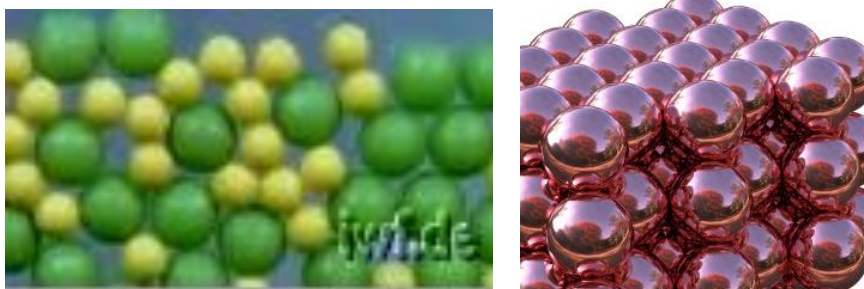
בפעילות ראינו שגם חומר מוצק (בדרך כלל מוצק גמיש) יכול לשנות את תכונותיו כאשר מקררים אותו לטמפי' נמוכות מאוד. לדוגמא, צינור הגומי שהינו מוצק גמיש הפך למוצק שביר. מצב הצבירה של צינור הגומי לאחר הטבילה בחנקן נוזלי מכונה **מצב זכוכיתי**. המעבר למצב צבירה זה מכונה המעבר הזכוכיתי (Glass transition) והטמפרטורה שמתחתיה החומר נמצא במצב זכוכיתי נקראת T_g (g- עבור המילה האנגלית glass). תהליך זה דומה למעבר מצב צבירה מאחר והוא תהליך הפיך בו משתנות תכונות החומר כפונקציה של שינוי טמפרטורה.

ראינו הדגמות למספר תהליכים נוספים בטבע בהם חל שינוי בחומר כתוצאה משינוי טמפרטורה: התכת קרח, שריפת נייר (מתקבל אפר ועוד כמה תוצרים), הכנת "ביצה עין" בעזרת חנקן נוזלי, "טיגון" ביצה. לא בכל התהליכים האלה חל שינוי של מצב הצבירה. בחלק מהם התרחש תהליך כימי לא הפיך (למרות שישנם גם תהליכים כימיים הפיכים). ראינו שניתן לראות קווי דמיון בין השינוי המוכר בין גז-נוזל-מוצק למעבר הזכוכיתי. השם הכולל לשינוי זה הוא מעבר פאזה, והוא מאופיין כשינוי הפיך בתכונות החומר כתלות בשינוי הטמפרטורה.

מוצק מסודר ולא מסודר (אמורפי)

כפי שראינו במפגש הקודם, תכונה אופיינית למוצקים היא מגבלת התנועה של החלקיקים. חלקיקי המוצק נעים רק סביב נקודות שווי משקל שלהם. מאפיין אחר שניתן להסתכל עליו הוא רמת הסדר במוצק. מוצקים שונים יכולים להיות שונים אלה מאלה ברמת הסדר של החלקיקים המרכיבים אותם.

לפניכם שני מודלים של שני מוצקים שונים. הראשון מתאר גביש מסודר של מתכת כלשהי והשני מתאר מוצק אמורפי – גביש של סגסוגת (תערובת של שתי מתכות) שלא התגבשה באופן מסודר.

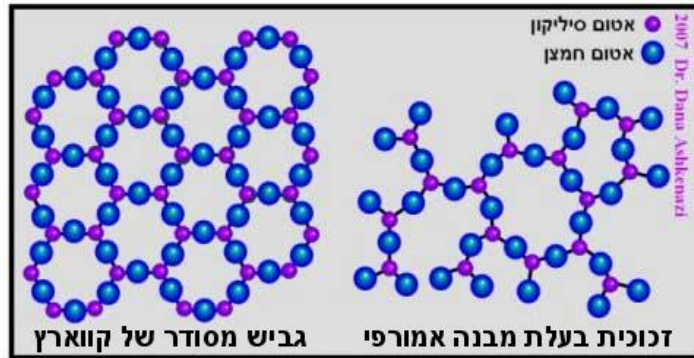


תמונות המחשה: מימין, מוצק מסודר. משמאל, מוצק אמורפי

בכיתה צפיתם בסרט אנימציה המתאר היווצרות של מוצק אמורפי – סגסוגת של מתכות. היווצרות מוצק אמורפי יכולה להתרחש בתהליך של קירור מהיר של נוזל. בדרך כלל, כאשר מקררים נוזל המורכב ממולקולות קטנות, הזמן שלוקח להן להתארגן במבנה מסודר הוא קצר יותר מקצב הקירור. ולכן, התוצאה שמקבלים היא מוצק מסודר – גביש.

זכוכית - מוצק אמורפי

ההרכב הכימי של גביש קוורץ (גרגר חול) זהה להרכב הכימי של זכוכית SiO_2 (צורן חמצני או סיליקון אוקסיד). ההבדל בין השניים הוא בצורת ההתגבשות שלהם. זכוכית נוצרת כאשר הנוזל מתקרר במהירות, ולחלקיקים אין מספיק זמן להסתדר במצב גבישי מסודר. המוצק הלא מסודר נקרא מוצק אמורפי, ואילו קוורץ הוא גביש מסודר, אשר התקבל על ידי גיבוש איטי.



זכוכית מאופיינת במצב לא מסודר. לכן, המצב המוצק הלא מסודר נקרא "מצב זכוכיתי". מצב זכוכיתי מתקבל כאשר קצב הקירור של נוזל הוא מהיר יותר מהקצב הנדרש למולקולות להסתדר בגביש.

האם הזכוכית מוצק או נוזל?

לשאלה זו יש התייחסות רחבה בספרות ולא ניתן לומר שיש לה תשובה חד משמעית. להלן ציטוט מתוך האנציקלופדיה הוירטואלית של מט"ח ערך זכוכית: "...המבנה הגבישי של הזכוכית מיוחד בעיקר בשל היעדרו. במידה מסוימת הזכוכית היא אמורפית, שכן לאטומים המרכיבים אותה אין סידור קבוע.... כשמקררים זכוכית מותכת במהירות, אין מצב הצבירה משתנה בבת אחת, אלא בהדרגה, מנוזל צמיג המתמצק ככל שהוא מתקרר. יש המגדירים את הזכוכית לפיכך, 'נוזל מוצק' – נוזל בעל צמיגות גבוהה".

מאפיין ה"מאקרו" המרכזי של נוזל – הוא היכולת לזרום. ברמת המיקרו חלקיקי הנוזל יכולים לנוע ממקום למקום בכל נפח הנוזל. מוצק לעומת זאת, לא זורם אך ברמת המיקרו הוא יכול להיות מסודר או לא מסודר, ובכל מקרה החלקיקים המרכיבים אותו לא יכולים לזרום. הם יכולים לנוע מעט, אך לא לנוע ממקום למקום בכל נפח החומר.

מכיוון שהאטומים בזכוכית לא נמצאים במצב מסודר, האינטראקציה ביניהם תהיה פחות טובה מאשר בקוורץ – הגביש המסודר. לכן, באופן תיאורטי יתכן, שאם ניתן לזכוכית זמן ארוך מאוד (אינסופי), יצליחו אטומים מסוימים לצאת מ"כלוב האטומים" המקיף אותם ולנוע לקראת מצב מסודר יותר. בפועל, לאטומים אין מספיק אנרגיה על מנת לעשות את המהלך הזה, והזכוכית מתנהגת כחומר מוצק.

דיון – כיצד תנועתיות וסדר בחומר מושפעים מטמפרטורה ומקצב שינוי הטמפרטורה

בתהליך ההתמצקות במעבר מנוזל למוצק, קטנה מהירות החלקיקים, השפעת האינטראקציה הבין מולקולרית נהיית מכרעת, והמולקולות נקשרות זו לזו. מוצקים המורכבים ממולקולות קטנות ופשוטות, מסתדרים במהירות במבנה מסודר גם אם קצב קירורם הוא לא מאוד איטי. כאשר קצב הקירור של נוזל הוא מאוד מהיר, החומר עובר למצב הנקרא מצב זכוכיתי (קצב הנקרא "מאוד מהיר" יהיה שונה עבור חומרים שונים).

מים מורכבים ממולקולות קטנות המסוגלות להתגבש במהירות, ולכן בתנאים רגילים יתגבשו למוצק מסודר ולא למוצק זכוכיתי, נפח המים במצב המוצק גדל וצפיפותם יורדת. זו הסיבה שהקפאה של רקמות חיות גורמת להרס תאים (הם מתפוצצים). אבל, אם מדובר בכמות קטנה של מים ובמהירות קירור גבוהה מאוד, גם מים יכולים לעבור למצב זכוכיתי. תהליך של הקפאה מהירה של דוגמא ביולוגית או כימית, (מיליוני מעלות בשנייה) גורם למים שבדוגמא לעבור למצב זכוכיתי – משמע הם "קופאים" אך לא מספיקים להסתדר במבנה של קרח גבישי. הקפאה מהירה כזו משמרת את המבנה האמורפי של הדוגמא.

משתמשים בטכניקת ההקפאה המהירה אם רוצים להתבונן בדוגמאות ביולוגיות או כימיות (המכילות מים) במיקרוסקופ אלקטרוני. במיקרוסקופ אלקטרוני אפשר להתבונן רק בדוגמאות מוצקות ואם הדוגמא מכילה מים, צריך להקפאה בצורה כזו שלא ייווצרו גבישוני קרח היכולים לשבש את המדידה.

נדמיין לעצמנו מה קורה בתהליך ההתמצקות מבחינה מיקרוסקופית. מולקולות שנעו אקראית בנוזל, מתחילות לאבד את האנרגיה שלהן (עקב הקירור) ומתחילות להיות מושפעות ממשיכות של מולקולות שכנות, אם קצה הקירור איטי, הן מספיקות לנוע ולשנות את מקומן כך שלבסוף מתקבל מוצק מסודר. אם לעומת זאת, קצב הקירור הוא מהיר, המולקולות "יקפאו" במצב אקראי שבו הן נמצאו ברגע הקירור ולא דווקא א במצב שבו יש סדר המאפשר קיום משיכה בין מולקולרית משמעותית יותר.

המצב המסודר הוא יציב יותר אנרגטית מהמצב הלא מסודר, שכן מולקולות החומר בגביש נמצאות ברמת סדר מקסימלית המאפשרת יותר אינטראקציה בין מולקולרית מאשר במצב לא מסודר.

ברמת המיקרו: מוצק מאופיין בתנועת חלקיקים קטנה סביב נקודות שווי משקל, ללא אפשרות זרימה. יתכנו מוצקים ברמות סדר שונות: גביש יחיד – רמת סדר גבוהה, גביש המורכב ממספר אתרי התגבשות – סדר חלקי, ומוצק אמורפי הנראה כנוזל שקפא ורמת הסדר בו נמוכה ביותר המכונה גם מוצק הנמצא ה"מצב זכוכיתי".

סיכום

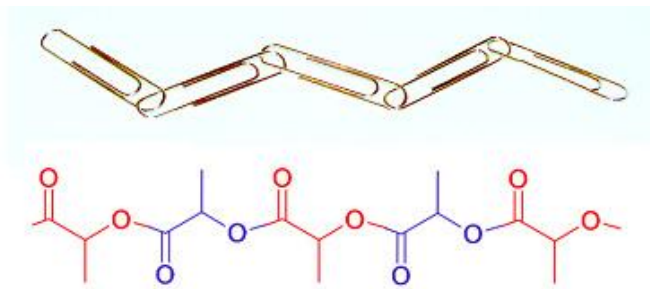
ניתן לקבל מצב זכוכיתי אם נקרר את החומר בקצב מהיר יותר מאשר הזמן הנדרש ליצירת מבנה מסודר. בחומר בעל מולקולות קטנות כמו מים, פרקי זמן אלו קצרים מאוד ולכן קיים קושי לייצר את הקרח הזכוכיתי. לעומת זאת, בחומרים המורכבים ממולקולות ארוכות כמו פולימרים, ניתן לקבל את המצב הזכוכיתי ביתר קלות.

היכרות עם פולימרים

עבור פולימרים, מתקיים מעבר זכוכיתי כדבר שבשגרה. גם אם נקרר את הפולימר באיטיות רבה, יהיה זה כמעט בלתי אפשרי לקבל מבנה גבישי מסודר של שרשרות הפולימר.

פולימרים גם נמצאים בהרכב של מגוון רחב של "חומרים רכים".

מהו פולימר?¹

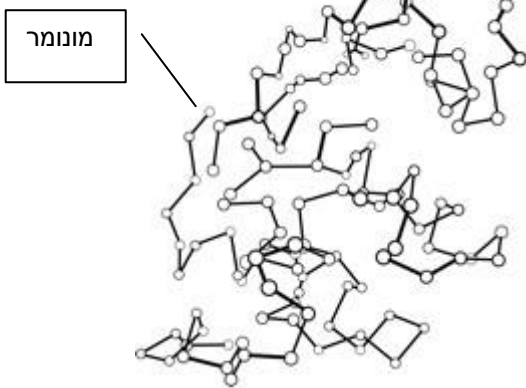


מודל המחשה לפולימר. לקוח מהאתר
[http://www.search.com/reference/Hermann
 _Staudinger](http://www.search.com/reference/Hermann_Staudinger)

פולימרים הם מולקולות ארוכות וגמישות שנמצאות בטבע בצורה של רב-סוכרים (עמילן וצלולוז), דני"א, חלבונים ועוד. החל מתחילת המאה ה-20 מופקים פולימרים גם כמוצרי לוואי של התעשייה הפטרוכימית ומהווים את הבסיס לכל מוצרי הפלסטיק שכה מאפיינים את החברה בת-ימינו. למעשה, יש הסוברים שלתקופתנו יש לקרוא "עידן הפולימרים". שרשרת (מולקולה) של פולימר בנויה מיחידות חוזרות (מונומרים) המחוברות בקשר כימי.

אם כן מה מאפיין את הפולימרים?

מכיוון ששרשרת הפולימר יכולה להיות ארוכה מאוד (אלפים ואפילו מאות אלפים של יחידות חוזרות) וגמישה, קיים מגוון עצום של תצורות (קונפורמציות) אפשריות של השרשרת. תצורה מסוימת מכתיבה חלק ניכר מן התכונות הפיסיקליות של הפולימר. תכונה זו מייחדת פולימרים לעומת חומרים רגילים.

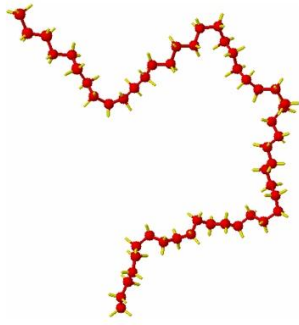
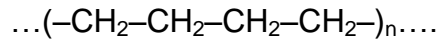


¹ חלק מהכתוב לקוח מהרצאה של פרופ' אנדלמן באתר: פיסיקה פלוס תצורה אפשרית של פולימר

מודלים של פולימרים

1. פולימר לינארי

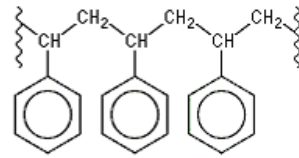
דוגמה נפוצה לפולימר מסוג זה הוא הפוליאאתילן:



מולקולת פוליאאתילן בודדת

(הסוגריים מציינים שזהו רק קטע קצר של פולימר שחוזר על עצמו n פעמים, כאשר n מספר שלם היכול להיות גדול מאוד.)

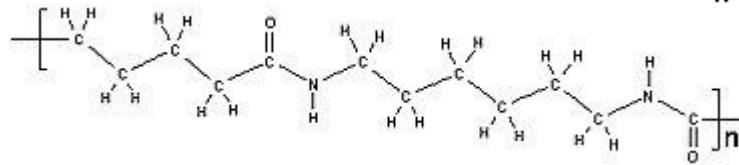
חומר זה מרכיב את שקית הפלסטיק בהן משתמשים לאריזת כריכים (ובטעות קוראים להן שקיות ניילון). ככלל, אטום הפחמן נמצא בשלד המרכיב את רוב הפולימרים הסינטטיים. דוגמאות נוספות הן:



1. פוליסטירן:

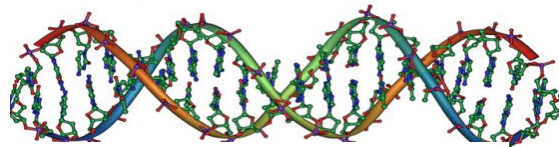


2. טפלון:

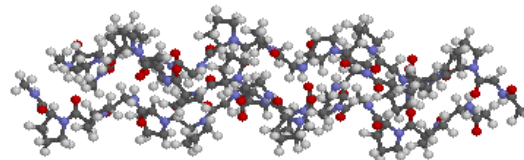


3. ניילון:

דוגמאות נוספות לפולימרים (כמעט) לינאריים מתחום החי (באיור מופיע מקטע קטן מהפולימר):



DNA (סליל כפול)



חלבון קולגן (סליל משולש)

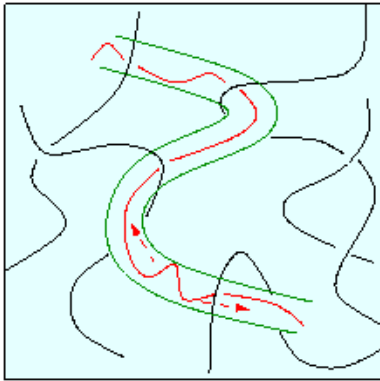
כאשר כל מונומר מיוצג על-ידי סיכת מהדק יחידה. הצגה של שרשרת עשויה מחרוזי פלסטיק.

למרות ששרשרת של פולימר מורכבת מעשרות ואף מאות אלפי מונומרים, החומר הפלסטי אינו מורכב משרשרת בודדת אלא מכמות גדולה מאוד של שרשרות שבכל אחת מהן עשרות אלפי מונומרים.

מצב נוזלי בפולימר לינארי



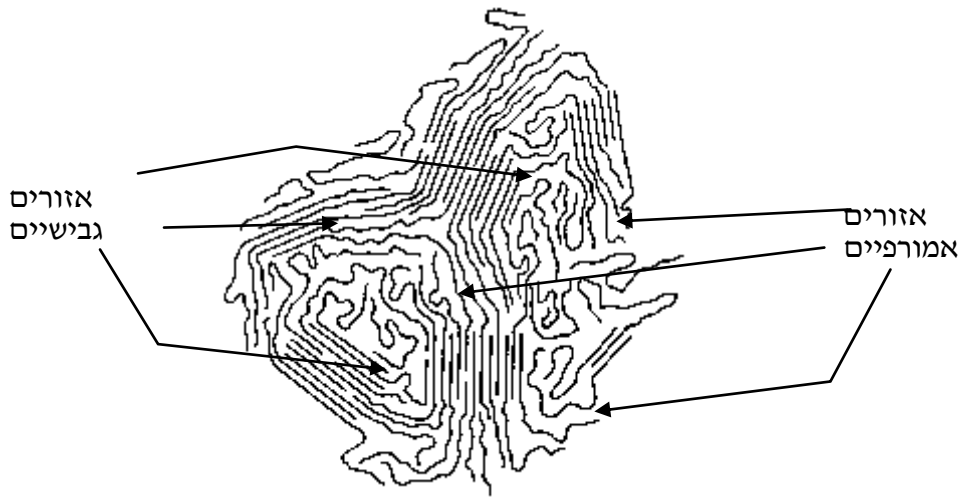
במצב הנוזלי לי (melt - נוזל של פולימר) שרשרות הפולימר מפותלות ומסובכות אלו באלו ונמצאות בתנועה מתמדת אך תנועתן איטית, שכן הן מלופפות ואחוזות זו בזו. תנועת השרשרות אחת ביחס לשנייה היא בתנועת זחילה (Reptation) המזכירה תנועה של נחש בין הרבה נחשים. באופן כזה, החומר הפולימרי יכול לזרום.



כאשר עושים פעולה מהירה על פולימר במצב נוזלי, השרשרות של הפולימר לא מספיקות להגיב, כי הן מלופפות אחת בשנייה, ומתנהגות כיחידה אחת – בדומה למוצק. כאשר נותנים ל פולימר מספיק זמן כדי להגיב, מגלים התנהגות של נוזל – שרשרות המולקולות שאינן ממש קשורות אלו לאלו, מסוגלות להחליק אחת על גבי השנייה, בתנועת זחילה. אנו מגלים התנהגות זו החומרים כמו ה- silly putty ועיסת עמילן התירס (קורנפלור).

מצב גמיש בפולימר לינארי

ישנם מיקרים, שכאשר מקררים פולימר, הוא עובר ממצב נוזלי למוצק גמיש. הטמפרטורה שבה הדבר מתרחש נקראת T_m (m – מציין melting). מתחת ל- T_m נוצרים אזורים גבישיים שבהם השרשרות מתוחות ומסודרות, אך עדיין קיימים אזורים אמורפיים ולא מסודרים שבהם לשרשרות יש חופש תנועה. תחום זה נמצא בטווח טמפרטורות $T_g < T < T_m$. דוגמא לפולימר שנמצא בתחום הזה הן שקיות הפלסטיק המשמשות אותנו בקניות בסופר – שקיות פוליאאתילן. אם נקרע רצועות משקיות אלה ונמתח אותן, הן לא ישברו, אלא ימתחו.



מצב זכוכיתי

כאשר החומר הפולימרי מתקרר, האינטראקציות הבין מולקולריות הקיימות בין שרשרות הפולימר (בדומה לאלה הקיימות בין מולקולות קטנות) מתחילות להיות משמעותיות יותר ומתחילות להגביל את תנועת הפיתול של השרשרות. אבל בניגוד למולקולות קטנות, לשרשרות פולימר מפותלות, קשה להסתדר במוצק באופן מסודר וגבישי ורק מקטעים של שרשרות הפולימר מתארגנים למבנה מסודר ויוצרים אזורים גבישיים. באזורים אלה מתקיימת אינטראקציה בין מולקולרית בין מאות מונומרים בו זמנית, ולכן כאשר נוצר אזור גבישי, הוא לא ייהרס בקלות, אלא בהשקעת אנרגיה רבה. באיור שלהלן נראה תיאור סכמתי של חומר פולימרי המכיל אזורים גבישיים בין מקטעים של שרשרות פולימר, בעוד אזורים אחרים נשארו חסרי סדר (אמורפיים). התמונה המתארת מצב זה זהה לתמונה הקודמת, רק "קפואה".

מבחינה מאקרוסקופית, החומר הפולימרי במצב הזה יתנהג כמוצק – הוא ישמור על צורתו ולא יזרום, זאת מכיוון שהאזורים הגבישיים ישמשו כעוגני אחיזה של שרשרות הפולימר אלה באלה. באזורים האמורפיים עדיין מתאפשרת תנועה של אזורי שרשרת "חופשיים" שבעצם מתנהגים כנוזל, ולכן החומר אלסטי ואינו נשבר בכיפוף ומתיחה.

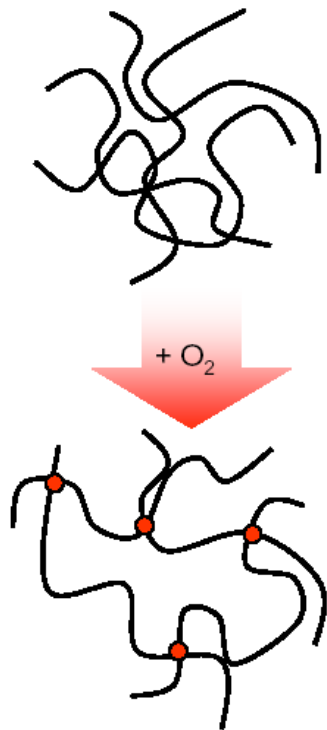
כאשר מקררים את החומר הפולימרי לטמפ' נמוכות עוד יותר, גם האזורים האמורפיים "קופאים" (אך לא מסתדרים) והשרשרות מאבדות את יכולת התנועה שלהן. זהו מעבר הפאזה הזכוכיתית. פולימר הנמצא במצב זכוכיתי נמצא מתחת ל- T_g – טמפרטורת המעבר הזכוכיתית.

נסכם את תחומי מצבי הצבירה של פולימר לינארי בטבלה:

| תחום טמפרטורות | היבט מאקרו | היבט מיקרו |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $T > T_m$ | חומר המתנהג כנוזל אם נותנים לו מספיק זמן, או כמוצק אם פועלים עליו במהירות. | שרשרות פולימריות מפותלות אלו באלו בדומה ל-silly putty או לסל מלא בנחשים. |
| $T_m > T > T_g$ | חומר מוצק הניתן לעוות. בדומה לצינור גומי | אזורים גבישיים של מקטעים של פולימר, ביניהם אזורים אמורפיים של שרשרות המסוגלות לנוע. |
| $T < T_g$ | החומר מתנהג כזכוכית. נשבר כאשר מפעילים עליו כוח במהירות. | "תמונה קפואה" של המצב הקודם. אין יותר תנועת זרימה של המקטעים האמורפיים. |

2. אלסטומר – גומי

למעשה, תארנו כבר קודם פולימר במצב אלסטי כאשר דיברנו על פולימר לינארי אלסטי מתחת ל- T_m שיש לו אזורים גבישיים ואזורים אמורפיים.



חמצן מהאוויר יוצר קשרי צילוב בין שרשרות הלטקס. קשרי הצילוב מצוינים על-ידי הכדורים האדומים.

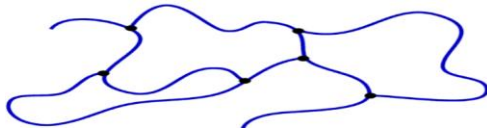
הצורה הנפוצה יותר של פולימר אלסטי הוא פולימר שהשרשרות שלו קשורות זו לזו במספר קטן של מקומות.

אחד הפולימרים הראשונים שנמצאו בשימוש על-ידי האדם הוא הלטקס שהופק משרף עצים על-ידי האינדיאנים באמזונס. האינדיאנים גילו שהם יכולים להכין לעצמם מגפיים נוחים להליכה בג'ונגלים על-ידי מריחה של כפות רגליהם בלטקס המופק מעצים מסוימים. הם היו מפיקים את שרף עץ הגומי – לטקס נוזלי, ומורחים אותו על כפות רגליהם. לאחר מספר דקות, כתוצאה מתגובה כימית עם החמצן שבאוויר, מולקולות השרף היו מתקשרות ביניהן בקשרי צילוב (ראו איור), והלטקס היה מתקשה לגומי מוצק.

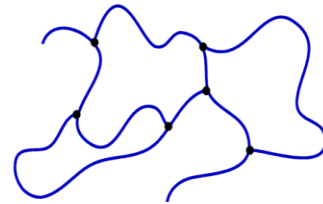
אך מהו בעצם אותו מוצק? אם נתבונן באיור, נראה שלמעשה מעט מאוד השתנה בתמונת המיקרו של הפולימר. אם יכולנו לדמיין דג מיקרוסקופי המסוגל לשחות בין שרשרות הפולימר, הוא כלל לא היה מבחין בשינוי שנגרם לחומר כתוצאה מקשרי הצילוב. אבל, בתיאור המאקרו, התחולל שינוי גדול. החומר כבר אינו מסוגל לזרום כמו נוזל, אלא הוא כולו הפך למקשה אחת – מוצקה.

החיסרון העיקרי של תהליך הצילוב בעזרת חמצן היה בכך שהוא המשיך להתרחש כל הזמן (יש הרבה חמצן באוויר) וברגע מסוים גרם לחיתוך שרשרות הפולימר והתפוררות הלטקס.

ב-1839 הצליח Goodyear (הידוע מתחום הצמיגים) ל"גפר" את הלטקס (הגבת הלטקס הנוזלי עם גופרית יוצרת קשרי צילוב שבהם הגופרית היא האטום המקשר בין שרשרות הפולימר) ולהפכו לגומי יציב שאינו מתפרק בקלות. בתהליך הגיפור רק 1 מכל 200 מונומרים של פולימר נקשר בקשר כימי של צילוב (באיור שלהלן, קשרי הצילוב מיוצגים בנקודות שחורות):



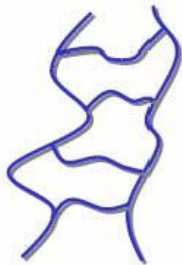
גומי במתיחה



גומי לפני מתיחה

אפקט כל-כך קטן גרם לשוני גדול בתכונות. הגומי הוא מוצק ולא נוזל, והוא עמיד לאורך זמן ולא מתפרק בקלות. עוד מאה שנים בערך עברו עד שהמדענים גיבשו את התמונה המיקרוסקופית שלעיל המסבירה את תכונות הגמישות של הגומי.

3. פולימר מצולב



פולימר בדרגת צילוב גבוהה

אם הפולימר הוא בעל צילוב מרובה, הוא קשה ומאבד במידה רבה את כושר המתיחה שלו (ניתן לייצר צמיגים למכוניות על-ידי הצלבה מרובה של הלטקס). פולימר מצולב מסוגים שונים הוא הבסיס לתעשיית הפלסטיק הענפה. בין הסוגים השונים ניתן למנות: כסאות פלסטיק, פורמייקה, מכסים לבקבוקי שתייה, ועוד.

משחק עם נוזל לא ניוטוני – עיסת עמילן תירס

הכינו עיסת קורנפלור ע"י ערבוב של חצי כוס קורנפלור עם מעט מים עד לקבלת עיסה צמיגית. בצעו על העיסה פעולות שונות, חלקן מהירות וחלקן איטיות והתבוננו בתגובתה. רעיונות יש בקישור:

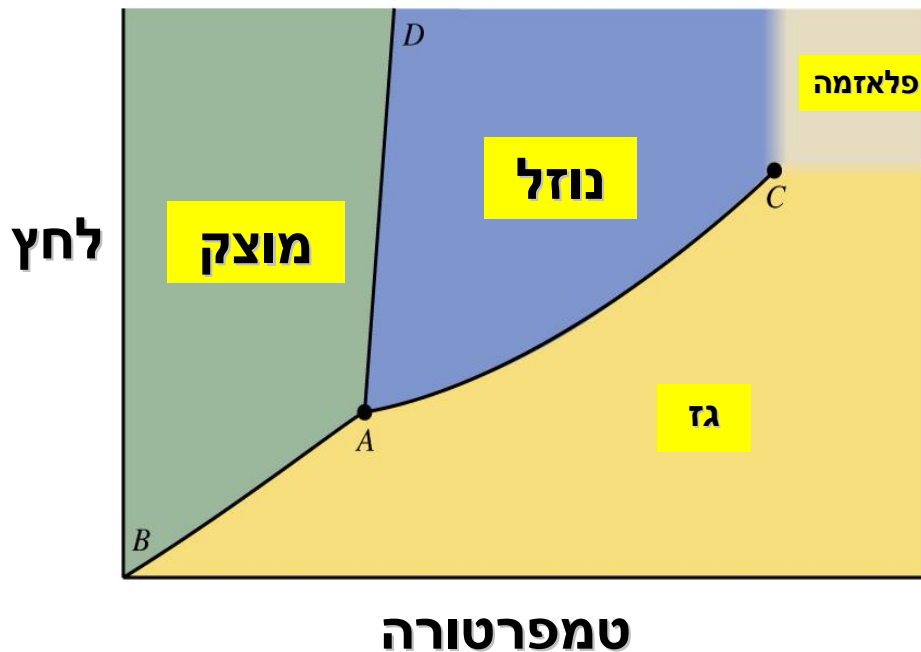
<http://www.youtube.com/watch?v=cuzn8wh8Fys&mode=related&search>

סרטים נוספים הממחישים את המורכבות של עיסת עמילן תירס:

<http://www.youtube.com/watch?v=f2XQ97XHjVw&mode=related&search>

<http://www.youtube.com/watch?v=3zoTKXXNQIU&NR=1>

עד עתה דיברנו על מעברי פאזה המלווים בשינוי טמפרטורה. אנו שואלים את עצמנו אם תמיד זה כך? האם ניתן לעשות לחומר מעבר פאזה ללא שינוי בטמפרטורה? אם ננער מיכל של דיאודורנט או ספריי לשיער נשמע את שקשוק הנוזל שבתוכו. אך כאשר נשחרר את השסתום, יצא מהמיכל גז. איך מצליחים להכניס גז למיכל? באיזה מצב צבירה נמצא הגז במיכל? התשובה: כדי להכניס גז למיכל דוחסים אותו והופכים אותו לנוזל. כלומר, מצב הצבירה של חומר תלוי גם בלחץ הפועל עליו ולא רק בטמפרטורה שבה הוא נמצא. באופן כללי ניתן לתאר גרף של טמפרטורה ולחץ המציג את תחומי מצבי הצבירה של חומר טהור ואת כל הנקודות (המיוצגות בגרף על-ידי קווים) המהוות נקודות רתיחה והתכה של החומר.



נקודה A היא נקודה מיוחדת בגרף הנקראת **הנקודה המשולשת** – המתארת מצב שבו שלוש הפאזות נוזל, מוצק וגז מתקיימות בו זמנית.

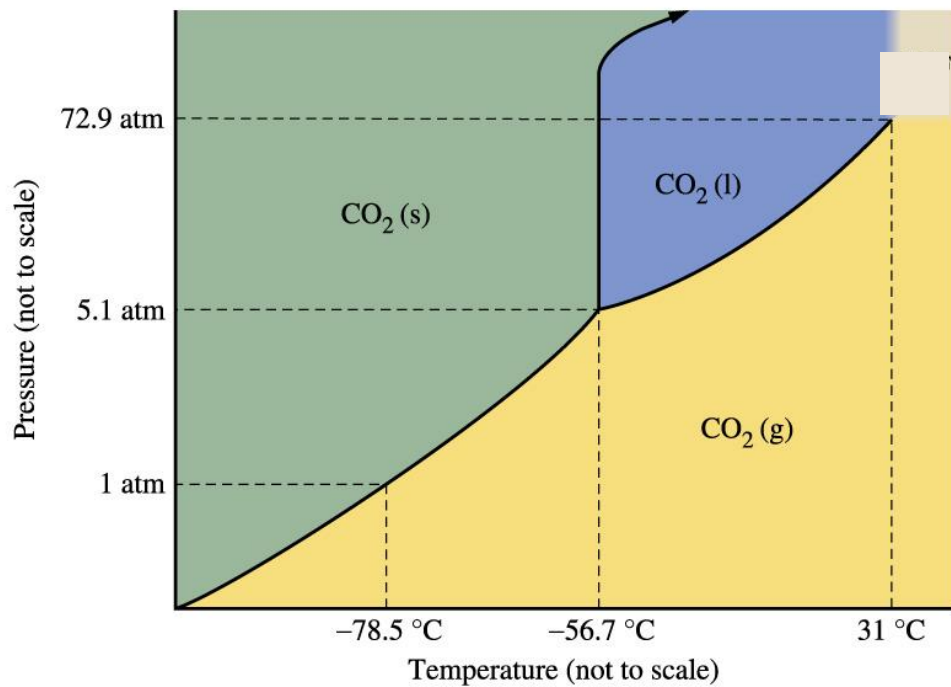
הנקודה C בגרף נקראת **הנקודה הקריטית** והיא מתארת נקודת אחרונה בקו של נקודות רתיחה בין שני מצבי צבירה מוגדרים נוזל-גז. מעל הנקודה הקריטית החומר נמצא בתנאי טמפרטורה ולחץ כל-כך גבוהים שהוא מורכב בעצם רק מאטומים מיוננים (יון הוא אטום שיצא ממנו אלקטרון וכתוצאה מכך הוא הפך להיות יון חיובי).

חקר דיאגרמת הפאזות

נעביר קווי רוחב ואורך ונסביר מה מתרחש כאשר:

- נמצאים בלחץ קבוע ומעלים (או מורידים) את הטמפרטורה
- איפה על הגרף נמצאת עקומת החימום של חומר (אם בכלל)?
- נמצאים בטמפרטורה קבועה ומעלים (או מורידים) את הלחץ.

דיאגרמת הפאזות של פחמן דו חמצני – CO₂



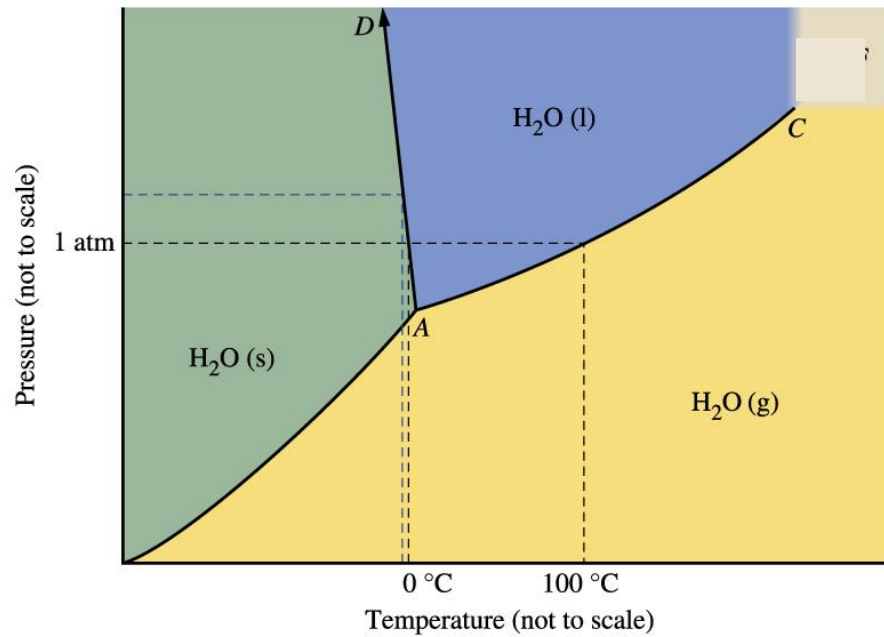
שאלות

1. למה לדעתכם פחמן דו חמצני נקרא קרח יבש?
2. מה יקרה לפחמן דו חמצני בטמפרטורת החדר (25°C) כאשר נדחוס אותו ללחץ של 40 אטמ?
אטמ?

תשובות

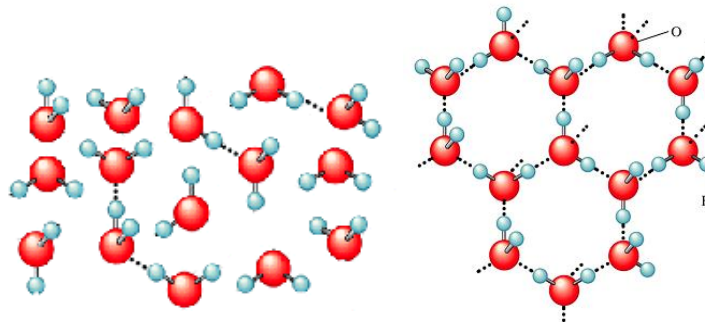
1. פחמן דו חמצני נקרא קרח יבש כי בלחץ אטמוספירי הוא עובר ישירות ממצב צבירה מוצק למצב צבירה גזי ולא עובר דרך מצב הצבירה הנוזלי שלו. מוכרי ארטיקים על חוף הים משתמשים ב"קרח יבש" כדי שלמור על הארטיקים קרים בתוך המיכל שלהם מבלי להרטיב אותם (מה שהיה קורה אם היו משתמשים בקרח העשוי ממים).
2. אם נדחו פחמן דו חמצני בטמפרטורת החדר (25°C) ללחץ של 40 אטמ, הוא יעבור מגז להיות נוזל.

דיאגרמת הפאזות של מים – H₂O



שאלות

1. התבוננו במודל המבנה המולקולרי של קרח ומים :



מים

קרח

- האם תוכלו להסביר מדוע הקו המפריד בין קרח למים הוא בעל שיפוע שלילי?
2. הסבירו את פעולתו של סיר לחץ.
3. הסבירו את התופעה של החלקה על הקרח.
4. מנגנון ההזעה של הגוף – מדוע הוא מאפשר קירור הגוף? (מנגנון של Desert cooler)
5. כאשר נמצאים על הר גבוה, אם רוצים להמית חיידקים הנימצאים במי שתייה, צריך להרתים את המים כעשרים דקות ולא רק 5 דקות כמו ליד חוף הים – מדוע?
6. מספרים על סבתא אטי מפולניה שנהגה להתלונן על כך שמאז שעברה לגור בלה-פאס התה שהיא מכינה לא מספיק חם. לה-פאס היא עיר הבירה של בוליביה והיא נמצאת בגובה 3900 מ' מעל פני הים. (נתון: בגובה זה המים רותחים בערך ב-70°C)
7. אפרופו רותח... אם אסטרונוט ישכח להצטייד בחליפת חלל בטרם יצא ל חלל, דמו ירתח, ותהיה זו שליחות קטלנית.

תשובות

1. רואים ששיפוע הקו בין קרח למים הוא שלילי, מה שאומר שאם דוחסים קרח, הוא עובר לנוזל. אפשר להסביר זאת מתוך התבוננות במודל המולקולרי כי הקרח נפוח יותר מהמים. אם לוחצים על הקרח הנפוח, וגורמים למולקולות המים להצטופף, חלק מקשרי המימן שבין מולקולות המים נשברים והקרח הופך נוזלי.
2. כאשר מגבירים את הלחץ על מים, הם רותחים בטמפרטורה גבוהה יותר. לכן, בסיר לחץ, המזון המתבשל במים מתבשל בטמפרטורה גבוהה מ- 100°C ולכן הוא מתבשל מהר יותר.
3. בהחלקה על הקרח משתמשים במחלקיים בעלי סכין דקה. כתוצאה מכך, הלחץ שמופעל על הקרח הוא גדול מאוד, כי כל המשקל של הגולש מרוכז על שטח צר מאוד. ראינו, שכאשר מפעילים לחץ גדול על קרח הוא הופך למים (נוזל) מה שמוריד את החיכוך ומאפשר גלישה חלקה יותר.
4. בתהליך מעבר מצב צבירה של מים ממצב צבירה נוזל למצב צבירה גז (אדים), יש להשקיע אנרגיה הנדרשת לניתוק כל קשרי המימן שבין מולקולות המים. בתהליך ההתנדפות (של זיעה או של כביסה ברוח למשל) האנרגיה הזו נלקחת מהגוף שקרוב אל המים המתנדפים ולכן הגוף מתקרר.
5. על הר גבוה, המים רותחים בטמפרטורה נמוכה יותר מאשר על פני הים, לכן, יש צורך להרתיח זמן ארוך יותר את המים על מנת לוודא שכל החיידקים הומתו (הפוך מפעולת סיר הלחץ).

מאמרים וספרים לקריאה נוספת

- 1) מתכת שהיא זכוכית - http://www.snunit.k12.il/heb_journals/mada/263122.html
- 2) [מה יכולים "פולימרים חכמים" לתרום לביוטכנולוגיה ולרפואה](#)
- 3) [ביוטכנולוגיה של צורן: רתימת הייצור הביולוגי של תרכובות צורן להכנת חומרים חדשים](#)
- 4) עריסת חתול – קורט וונגוט סיפור דימיוני על מבנה מיוחד של מים שנקרא קרח 9 שיש לו יציבות אנרגטית גבוהה במיוחד והוא מקפיא כל מה שבא איתו במגע - מומלץ.