

# חום וטמפרטורה

## הקדמה

כבר בפרק ג' ציינו כי החום הוא אחד מסוגי האנרגיה. הדגמו המרות אנרגיית חום לאנרגיה אחרת (תנועה), ולהפך, המרת אנרגיות מסוימות לאנרגיית חום. בפרק זה נדונו כיצד התפתחה תאוריה מודרנית אודות החום.

# 1. אום יומיומי

החומר הננו מהוות פיזיקלית הקרובה אל כל אחד מאיתנו. אנו מדברים לעיתים מזומנות על חום הגוף וחום היום. רוב תאי גופנו רגישים לחום. אנו יכולים לחוש בחום הנפלט מתנוור חיים באמצעות כל אחד מאברי גופנו (חווץ מאשר הציפוריניים והשערות).

המושג חום, כמו המושג כוח, תחילתו כביטוי של תחושות האדם לטבע הסובב אותו. לפני מאות שנים הפק גם למושג פיזיקלי.

## 2. מדוע זוקים למד-טמפרטורה?

חוש המישוש מגלת לנו בבירור כי גוף מסוים חם וגוף אחר חם פחות.

*האך אפשר למסה אותו ולא להימצא כמו קבוץ הבדוי? ואפקט גראוןדי הוא איך נזוק?*

תשובה לשאלת זו נקלט באמצעות הניסוי הבא:

### 2.1 חם וקרים באותה עת. הייתכן???

• מלא 3 כלים במים: את האחד במים קרים, את השני במים פושרים ואת השלישי במים חמים.

כשנטבול יד ימין במים הקרים ויד שמאל במים החמים, "נקלט מסר" מיד ימין, שהמים  
קרים, ומיד שמאל שהמים חמים.

## 2. מדוע זוקים למד-טמפרטורה?

חוש המישוש מגלת לנו בבירור כי גוף מסוים חם וגוף אחר חם פחות.

*האך אפשר למסה אותו ולא להימצא כמו קבוץ הבדוי? ואפקט גראוןד זעיגן לא צווק?*

תשובה לשאלת זו נקלט באמצעות הניסוי הבא:

### 2.1 חם וקרים באותה עת. הייתכן???

• מלא 3 כלים במים: את האחד במים קרין, את השני במים פושרים ואת השלישי במים חמימים.

כשנטבול יד ימין במים הקרין ויד שמאל במים החמים, "נקבל מסר" מיד ימין, שהמים קרין, ומיד שמאל שהמים חמימים.

לאחר מכן נטבול את שתי הידיים במים הפושרים, "ונקבל מסרים" סותרים מכל יד. יד ימין "תודיע" כי המים חמימים ויד שמאל "תודיע" כי המים קרין.

מאזונה סיבה עצמה נשמע דעתות שונות מפני אסקימואי מלסקה ומפני תושב מדבר סהרה לכשייפגשו ביום אביבי בפריז. האסקימואי יאמר כי מג'האויר הפריזאי חם להפליא, ואילו איש המדבר יאמר כי מג'האויר הפריזאי קריר למדני. אם כן:

## 2. מדוע זוקים למד-טמפרטורה?

חוש המישוש אינו מאפשר לנו אבחנה מדויקת, ובוודאי שאיןו מאפשר תיאור כמותי של הטמפרטורה. אנו מיישבים מחלוקת ואיך התאמות כמו אלה, בעזרה שימוש במד-חום (מד-טמפרטורה).



### 3. אבחנה בין חום לטמפרטורה

רובנו נזקק למדידת טמפרטורת הגוף באמצעות מד-חום (תרמומטר).

מד-חום מודרני מורכב מחלק שאותו מצמידים לגוף saat הטמפרטורה שלו מודדים, ומחלק שהוא צג דיגיטלי (ספרתי), שומרה על ערך הטמפרטורה.

פעולת מד-חום מבוססת על העובדה הבאה: זמן מה אחרא שמד-חום בא במגע עם הגוף (שאת הטמפרטורה שלו רוצים למדוד), טמפרטורת מד-חום משתווה לטמפרטורת הגוף.

נשאלת השאלה:

האם הזרקה של תרמיומטר אל-חומר או-זרקה מושגת מדויקת יותר?

## 4. תופעות הקשורות לחום - תכפיות

### 4.1 חוק השთאות הטמפרטוראות

כבר לפני אלפי שנים נתן האדם את דעתו לכך חום עובר מגוף לגוף. שבטים פרימיטיביים נהגו ללחם מים על-ידי הטלת אבן מלובנת לתוך כלי המכיל מים. חום עובר מהאבן להוּתת אל המים – האבן מתקררת והמים מתחממים, עד שבסופה של דבר כשנוגעים באבן שבמים ובמים – "מקבלים מסרים" זהים על תחושת הטמפרטורה. כלומר – הטמפרטורות של האבן והמים משתוות.

## 4. תופעות הקשורות לחום - תכפיות

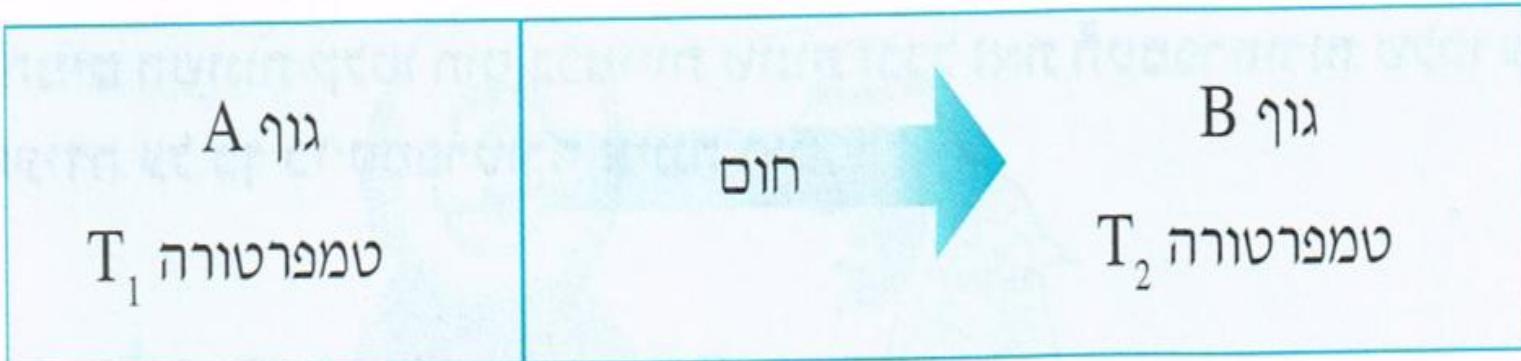
### 4.1 חוק השתוות הטמפרטורות

**חוק השתוות הטמפרטורות – חום עובר ממוקם בעל טמפרטורה גבוהה למקום בעל טמפרטורה נמוכה.** בטהlixir זה הטמפרטורה של המקום החם (הפולט חום) יורדת, וזו של המקום הקר (הකולט חום) עולה. **כאשר הטמפרטורות משתווות נפסק מעבר החום.**

נתאר לעצמו שני גופים צמודים A ו-B, המבודדים מהסביבה כך שאין מעבר חום ביניהם לבין הסביבה.  $T_1$  ו-  $T_2$  (Temperature = T) הן הטמפרטורות של שני הגוףים A ו-B בהתאם לפניו שהבאנו אותם ב מגע.  $T_3$  הינה הטמפרטורה של שני הגוףים לאחר שהבאנו אותם ב מגע. התרשים הבא ממחיש את מעבר החום מגוף A לגוף B בהתאם לחוק השתוות הטמפרטורות:

מצב התחלתי:

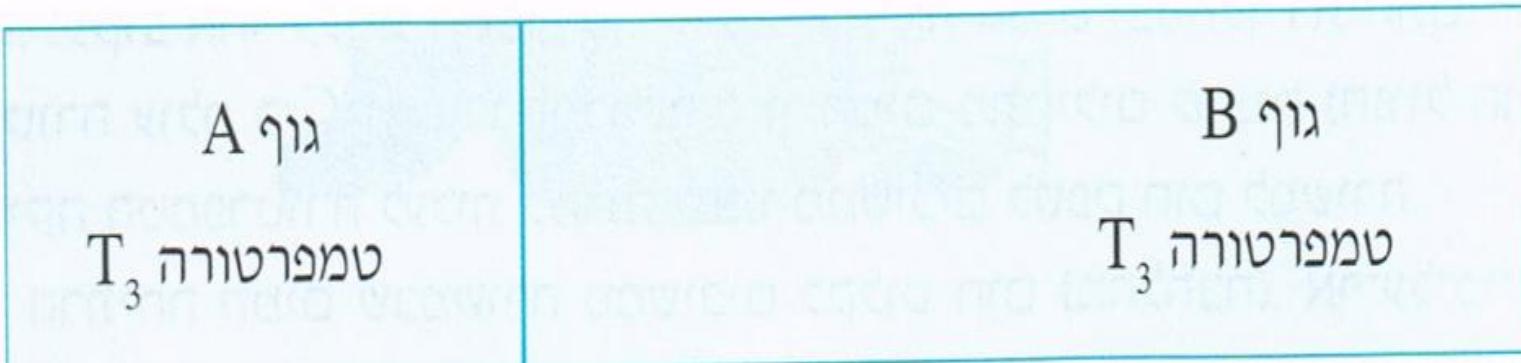
$$T_2 < T_1$$



במהלך מעבר החום, טמפרטורת גוף A יורדת וטמפרטורת גוף B עולה.

מצב סופי:

$$T_2 < T_3 < T_1$$



הטמפרטורות משתוות ומעבר החום נפסק.

## 4.2 התפשטות גופים כתוצאה מחימום

### 4.2.1 הcador המתפשט - ניסוי

**מטרת הניסוי** – להיווכח בעובדה שגוף ממתפשלים כתוצאה מחימום.

**כלים וחומרים** – מעמד, כדור נחושת תלוי על שרשרת, טבעת נחושת שאפשר להעלה ולהורידה על מוט המעמד, כוהליה.

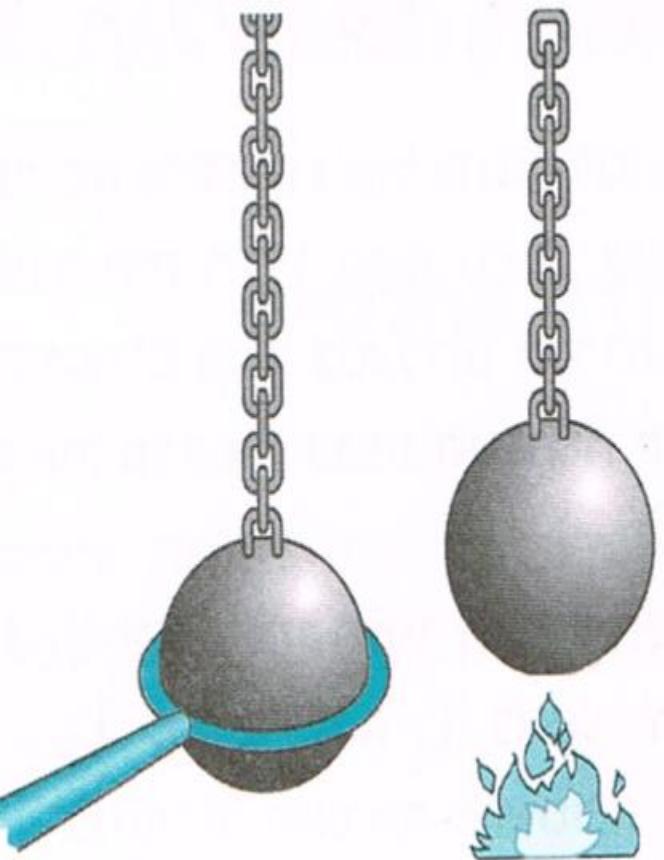
**מהלך הניסוי:**

**שלב א'** – נעה ונוריד את הcador כך שהcador יעבור בשני הכיוונים (ייכנס ויצא) דרך הטבעת.

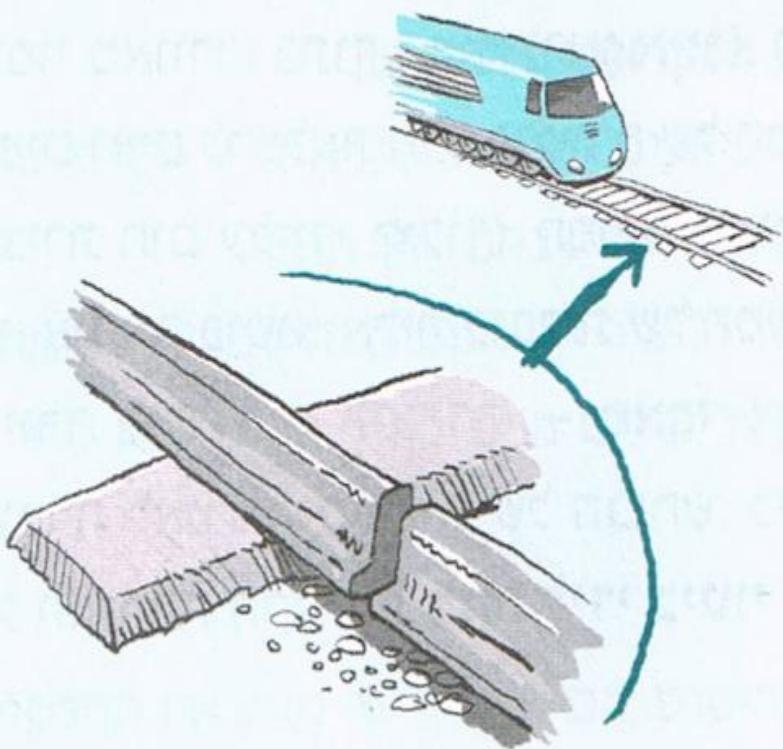
**שלב ב'** – נחמס את הcador באמצעות כוהליה, וננסה להעבירו דרך הטבעת. הפעם הcador אינו עבר דרכה.

**מסקנה** – חימום הcador גורם להתפשותו – הcador תופס נפח גדול יותר במרחב.

התופעה של התפשטות גופים כתוצאה מחימום הייתה ידועה כבר לפני מאות שנים.



## 4.2 התפשות גופים כתוצאה מתחומים



הארה: פסיס מתפסטים

בצאתכם לטייל ליד מסילת רכבת - שימו לב  
שקיים מרופוד בין פסים סמוכים (המונה חיים  
לאורך אותו ישר). המרופוד קיים כדי לאפשר  
לפסי הרכבת להתרחק במהלך ימי קיץ  
ולוחותים. המרופוד הכרחי כדי שהפסים  
המתפסטים לא ידחו זה את זה ויגרמו  
לעיוותם.



## 4.3 חיכוך יוצר חום

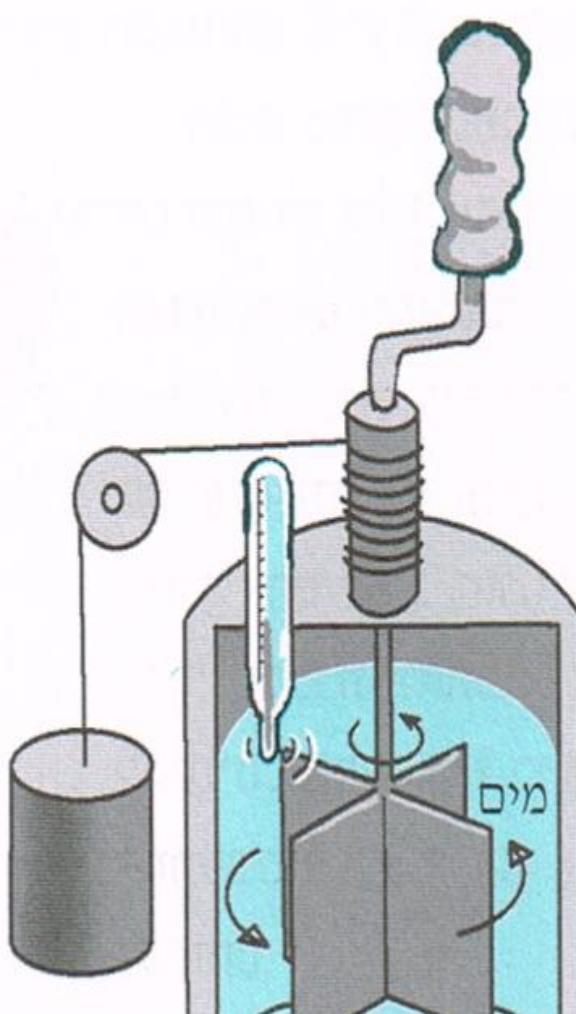


האדם הקדמון הצליח ליצור חום על ידי חיכוך שגרם להצחת עצים. קיימות שפוע של דוגמאות נוספות לייצור חום על-ידי חיכוך, למשל: כשהופרים בمعدר לאורך זמן – ידית המעדר מתחככת בכף היד. כתוצאה מכח נזירות שלפוחיות בכף היד. אלה שלפוחיות כויה, שנוצרות מהחום שנובע מחיכוך ידית המעדר בכף היד. התופעות הנ"ל ממחישות את העובדה כי חיכוך בין גופים גורם לייצור חום.

## 5. תגליתו של ג'יימס ג'אול - חום הוא סוג של אנרגיה

ג'יימס פרסקוט ג'אול (1818-1889) היה אנגלי בעל ממשלת שיכר. הוא לא היה פיזיקאי במקצועו אבל היה חקרן בלתי נלאה, שערך בשנותיו הפנויות ניסויים חשובים בתחום האנרגיה. את הניסויים ביצע במעבדתו בקרבת העיר מנצ'סטר שבאנגליה בשנת 1843.  
**ג'אול מ笛 את כמות האנרגיה הדורושה כדי לחמם כמות מסוימת של מים ב-2 דרכים:**

1. ג'ימס ג'אול ממיר אנרגיה חשמלית לחום – ג'אול חימם כמות מסוימת של מים מטמפרטורה  $T_1$  לטמפרטורה  $T_2$  באמצעות גופם (כמו בקופוקום חשמלי) שהיה מחובר לגנרטור. בניסוי זה האנרגיה החשמלית באה לידי ביטוי לחום. ג'אול חישב את כמות האנרגיה החשמלית שספק הגנרטור לגוף החימום (הчисובים של ג'אול חורגים מסגרת הספר).



2. ג'ימס ג'אול ממיר אנרגיה מכנית לחום – ג'אול חימם את אותה כמות מים מטמפרטורה  $T_1$  ל- $T_2$  באמצעות משקولات שירדו ותוֹךְ כדי כך גרמו לסיבוב של בוחש (דמוי מאוורר) בתוך המים (ראו איור). הבוחש התחכך במים וגרם להעלאת הטמפרטורה של המים מ- $T_1$  ל- $T_2$  (יצירת חום על-ידי חיכוך). המרות האנרגיה בניסוי זה הן: אנרגיית פוטנציאלית כובדית של המשקولات (כל גוף שיורד בגלל כוח הכבידה – מאבד אנרגיה כובדית) הומרה לאנרגיה קינטית של הבוחש. כשהבוחש נעצר, כל האנרגיה הקינטית באה לידי ביטוי לחום.

ג' אול חישב את כמות האנרגיה הכבידית שבאה לידי ביטוי כחום (להעלאת הטמפרטורה מ-  $T_1$  ל-  $T_2$ ), ומצא שערכה זהה לערך האנרגיה החסמלית שבאה לידי ביטוי כחום בניסוי הקודם.

### המסקנה של ג'אול:

בשני הניסויים – סוגים שונים של אנרגיה באו לידי ביטוי ביצירת חום. במקרה, אנרגיה יכולה להתגלל **לאנרגיה אחרת** (המרת אנרגיה).  
לכן, העובדה שאנרגיות שונות (חסמלית או כבידית) הפכו לחום עוררה את החשד чтохом не только одного вида энергии.

העובדת שבשני הניסויים **какие это виды** של אנרגיה מסוימים שונים (כבידית וחסמלית) באו לידי ביטוי в излучении этой формы тепла, מראה כי בתהליכיים שבהם מעורב חום מתקיים חוק שימור האנרגיה. לכן, ניתן להסיק что тепло это вид энергии.

לאחר שראינו כי החום הוא סוג של אנרגיה, נתקדם ונלמד מהי מהות החום. לשם כך נctrץ "לצאת למסע אל תוך החומר" ולדעת במבנהו.

## 6. הפתחות תאוריה מודרנית אודות מהות החומר

### 6.1 מבנה העולם לפי דמוקריטוס - המודל האלקטי של החומר

כבר לפני אלפי שנים היה הפילוסופים של יוון הקדומה אודות מבנה החומר והשינויים החלים בו. הם הבינו בכך שחומרים עוברים שינוי במצב הצבירה (ሞץק, נוזל, גז), שינוי צורה, צבע, נפח וכו'.

הם שאלו את עצם -

מה הטעות בכך שמדובר במבנה גז או נוזל?

## 6. התרחשות תאורית מודרנית אודות החום

דמוקריטוס היה פילוסוף יווני שחיה במאה ה-4 לפני הספירה. הוא ומורו לבkipos פיתחו מודל שבאמצעותו ניסו להסביר את מבנה החומר ואת השינויים שהוא עבר.

**עיקרי המודל של דמוקריטוס הם:**

- א. כל חומר בנוי מחלקיים עיריים (בלתי נראים), הנקראים אוטומיים.**
- ב. חלקיקי החומר (האוטומיים) נעים עצמאם ולכל הכווניות (תנועה אקראית - חסרת סדר).**
- ג. החלקיקים נעים בחלל ריק - בין החלקיקים יש רוחחים שבהם אין חומר.**
- ד. כשהחלקיקים מתנגשים זה בזו הם עשויים להיקשר וליצור את הגוף והחומרים - המוצקים והנוזלים - המוכרים לנו. כשהחלקיקים אינם נקשרים הם נעים בתוך הריק ללא סדר ולכל הכווניות (גז).**

## **6. התרחשות תאורה מודרנית אודות החום**

כasher הפכה הדת הנוצרית לנחלתם של עמי אירופה, הוחרמה התאורה האוטומית. הטענה כי החומרים בטבע הם תוצאה של התנגשויות אקראיות בין אוטומים נטפסה על-ידי הדת כאוים על הצורך באלהים כמשגיח על היקום. כתוצאה לכך, שקעה התאורה בתהומות החשיכה של ימי הביניים לפחות למעלה אלף שנים.

המודל של דמוקריטוס זכה לתחייה במאה ה-17 ובטחילת המאה ה-18. הוא התבבס כמודל מרכזי המשביר תופעות טבעיות וחוזה תוצאות של ניסויים ותופעות.

כפי שנלמד בהמשך, המודל החלקיקי מצליח להסביר בפשטות את תכונות החומר והשינויים המתחללים בו, ולנביא תוצאות של ניסויים ותופעות רבות.

בפרק זה ובפרקים הבאים נצעד לאורו של מודל חלקיקי החומר ונסביר באמצעותו שפע של אירועים.

## 6. הפתחות תאורית מודרנית אודות מהות החום

### 6.2 התוספת של ג'אל למודל של דמוקריטוס

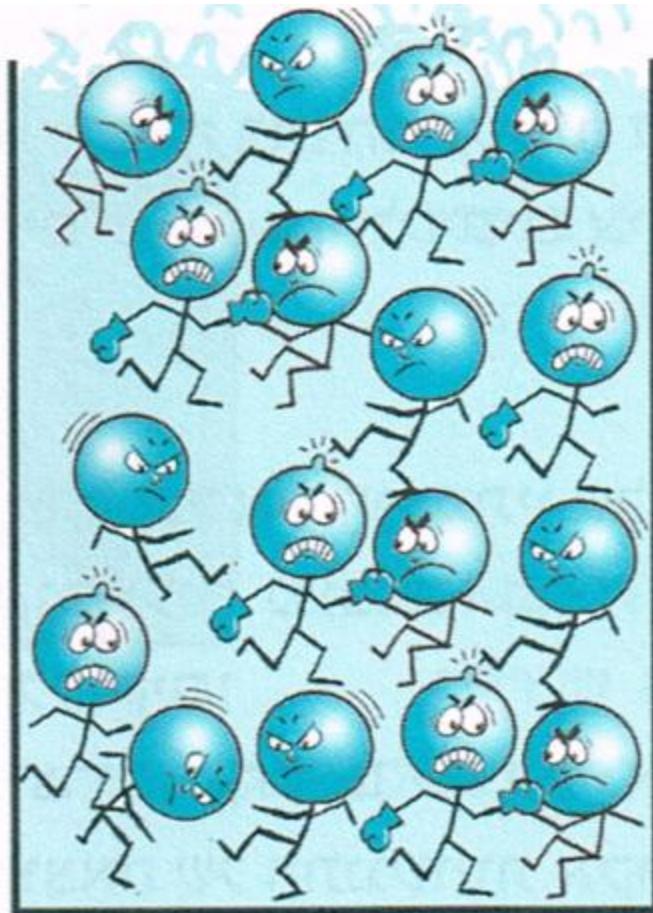
כפי שprzedנו, פליטת חום או קליטת חום גורמים לשינויים בתכונות של החומר כמו, שינויי טמפרטורה, נפח ועוד.

לאחר שג'אל הראה כי חום הוא סוג של אנרגיה, הוא ניסה לספק הסבר לשינויים החלים בתכונות החומר כשהוא מתפרק או מתחמס. כדי לספק הסבר לשינויים אלה, הוסיף ג'אל למודל החלקי של החומר (של דמוקריטוס) את השערה הבאה:

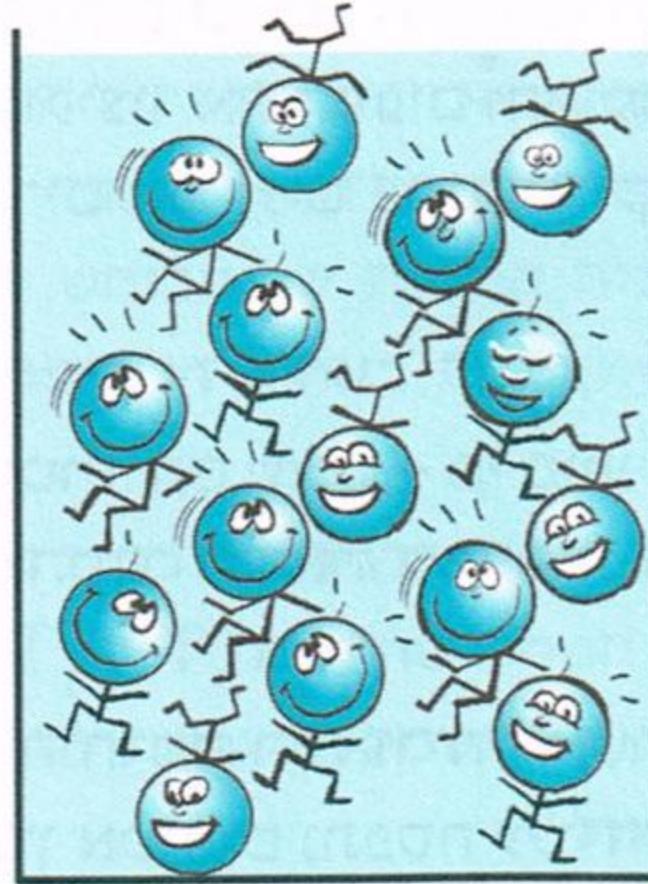
קיים קשר בין האנרגיה הקינטית של חלקיקי החומר לבין הטמפרטורה:  
כל שהטמפרטורה של הגוף גדולה יותר, מידת ההתרוצצות של החלקיקים גדולה יותר.  
כלומר, האנרגיה הקינטית (הממוצע) של כל אחד מהחלקיקים גדולה יותר.

בהמשך הפרק נראה כי השערתו של ג'אל מאפשרת להסביר את השינויים החלים בתכונות החומר בעת שהוא מתחמס או מתפרק.

## 6. התפתחות תואריה מודרנית אודות החום



התרוצצות החלקיקים  
כשהטמפרטורה עולה מתגברת



מתרכזים בנחת

## 6. התרפות תאורה מודרנית אודות החום

שימו לב:



טמפרטורה אינה מדד לאנרגיה הקינטית הכלולת של חלקיקי החומר. כדי להמחיש עובדה חשובה זו, נתיחס לשני כלים א' ו-ב' המכילים כמותות שונות של מים: כמות המים בכלי א' גודלה מכמות המים בכלי ב', בעוד שתemperatureות שלהם זהות. כיוון שתtemperatureות זהות בשני הכלים, האנרגיה הקינטית (המומוצעת) של כל חלקיק וחלקיק בכלי א' שווה לאנרגיה הקינטית של כל חלקיק וחלקיק בכלי ב'.

לעומת זאת, האנרגיה הקינטית הכלולת של כל החלקיקים בכלי א' גודלה מהאנרגיה הקינטית הכלולת של כל החלקיקים בכלי ב'.

הסיבה לכך נובעת מהעובדת מספר החלקיקים בכלי א' גדול ממספר החלקיקים בכלי ב'.

## 6. התרפות תאוריה מודרנית אודות מהות החום

### 6.3 כוחות תחיזה כגד השטוללות החלקיקים

אנו יודעים, מניסיון יום יומי; שהומר מוצק שומר על צורתו, וצריך להפעיל כוח כדי לשנות את צורתו, לשבור אותו או לפוררו.

באופן דומה, טייפת מים המונחת על משטח שומרת על צורתה ואני מתפזרת על המשטח על-אף שפועל עליה כוח כבידה. אפשר לגרום לחלוקת הטיפה על-ידי הפעלת כוח (עליה).

גם נוזל הנמצא בכלי פתוח מקבל את צורת הכליל שבו הוא נמצא ואני מתפזר מליאו לכל עבר, בניגוד לגז המתפזר לכל עבר כשהוא נמצא בכלי פתוח.

כפי שלמדנו, כל חומר מורכב מחלקיקים הנמצאים בהתרוכצות מתמדת.

אנו אך לא אנטגוניקayanui הלאזק או הראזק גדי זכר?

## 6. התרפות תאוריה מודרנית אודות החום

עובדת שיש צורך להפעיל כוח כדי לשנות צורה של מוצר, והעובדת שטיפת מים המונחת על משטח אינה מפוזרת, הובילה את המדענים למסקנה הבאה:

קייםים כוחות משיכה בין חלקיקי מוצר או נוזל. כוחות אלה גורמים לחלקיקים ל"היאחז" זה בזה וهم מכונים "כוחות תאחיזה".

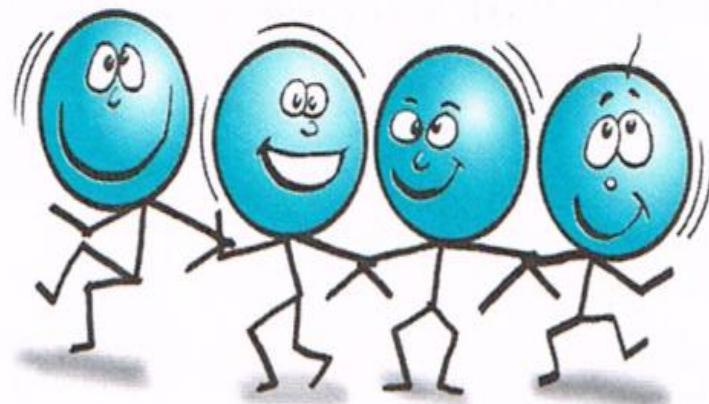
כוחות התאחיזה הפועלים בין חלקיקי הנוזל או המוצר מגבלים את התרכזות החלקיקים ואינם אפשריים להם להתפזר לכל עבר.

## 6. הפתחות תאורה מודרנית אודות מהות החום



נסכם:

בין חלקיים נזול או מוצק קיימים כוחות משיכה הנקראים "כוחות תאחיזה". כוחות התאחיזה שבין החלקיים במוצק או בנזול מגבלים את התרומות החלקיים. כוחות אלה מונעים מחלקיים הנזול והמוצק להפזר לכל עבר.



כוחות תאחיזה נגד השtolלות החלקיים

## 6. הפתחות תאורה מודרנית אודור מהות החום

נבע עתה שני ניסויים כדי להיווכח בקיומם של כוחות תאהיזה בין חלקיקים של נוזל או של מוצק.

## 6. הפתחות תאורה מודרנית אודוט החום

### 6.3.1 אוחדים זה בזה - ניסוי

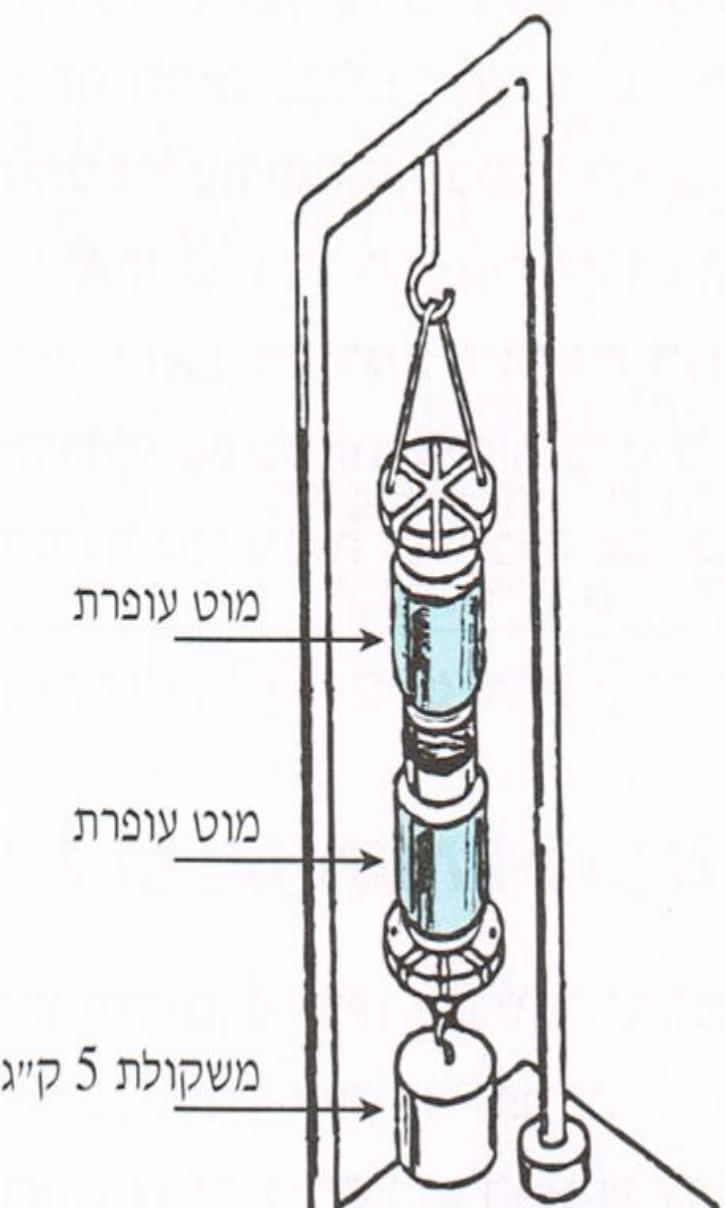
**מטרת הניסוי** – הכרה בקיום של כוחות תraction בmozek.

**כליים וחומרים** – ערכה (תוצרת סיננס-דמו), כוללת: מעמד, זוג מוטות עופרת עם ווי תליה, משקלת (0.5kg).

**מהלך הניסוי** – נתקה את אחד המוטות על הוו במעמד. נצמיד בחזקה (על ידי לחיצה ידנית) את המוט הנוסף למוט התלווי, ונתקה את המשקלת על הוו שבמוצב התחthon.

**התוצאה** – המוטות נותרים צמודים זה לזו.

**הסבר** – כאשר מצמידים היטב את מוטות העופרת זה לזה – כוחות התraction שבין החלקיקים (של 2



**הסבר** – כאשר מצמידים היבט את מوطות העופרת זה לזה – כוחות התאחזיה שבין החלקיים (של 2 מوطות) מאפשרים למשטחים (במשטח המוט העליון ובמשטח המוט התחתון) "להיאחז זה בזה". כוחות תאחזיה אלה מאפשרים לMOTEOT להמשיך להיאחז זה בזה על אף שכוח הכבידה מושך מטה את המוט התחתון ואת המשקולת.

## **6.3.2 מורה על מים ולא צופל (מתכת צפה) – ניסוי**

**מטרת הניסוי** – הכרה בקיומם של כוחות תאחיזה בנוזל.

**כליים וחומריים** – ספל מלא במילר, סיכות של שדכן שולחני.

**מהלך הניסוי** – נשים בעדינות מספר סיכות של שדכן על פני המים.

## **6.3.2 מורה על מים ולא צפל (מתכת צפה) – ניסוי**

**מטרת הניסוי** – הכרה בקיומם של כוחות תאחיזה בנוזל.

**חומרים וחומריים** – ספל מלא במילר, סיכות של שדכן שולחני.

**מהלך הניסוי** – נשים בעדינות מספר סיכות של שדכן על פני המים.

**תוצאה** – הסיכות יצופו.

## 6.4 ארגיות קשר בין חלקיקים

כשלמדנו אודות אנרגיה כובדית נוכחנו לדעת שתי עובדות חשובות:

1. האנרגיה הכבידתית של גוף נובעת מכוח הכבידה שפועל כדור-הארץ על הגוף. כוח הכבידה הוא הגורם לכך שבגוף המונח בקרבת כדור-הארץ תהיה אצורה אנרגיה כובדית.

2. כל שהגוף רחוק יותר מפני כדור-הארץ (הגובה  $h$  גדולה יותר), האנרגיה הכבידתית שלו גדולה יותר ( $mgh = U_G$ ), ולהיפך.

באופן דומה כוחות התACTION הפעלים בין חלקיקי החומר גורמים לכך שלחלקיקים תהיה אנרגיה המכונה – **אנרגיות קשר בין חלקיקיות**.

כל שחלקיקי החומר רחוקים יותר זה מזה **אנרגיית הקשר** של החלקיקים **גדולה יותר**, ולהיפך.

## 7. חום, מוצבי צבירה וՄעניזם במצבי צבירה

### 7.1 גזים

מצבים של חלקיים הנז דומה לנצח הcadorsים בקופה המטולטלת. חלקיים הנז, כמו הcadorsים, נעים לכל עבר בתנועה אקראית, מתנגשים זה בזה ונחפפים, ושוב מתנגשים זה בזה, וחוזר חלילה. לכן, כאשר גז כלוא בתוך כלי הוא תופס את כל נפח הכלי – החלקיים מתנגשים גם בדפנות הכלי ונחפפים. כתוצאה מכך הם מפעילים כוחות על דפנות הכלי.

לפי ג'אול, כל שהתרוצצות החלקיים עזה יותר, טמפרטורת הגז גדולה יותר. במילים אחרות, ככל שהאנרגיה הקינטית של החלקיים המתרוצצים גדולה יותר – הטמפרטורה של הגז גדולה יותר. אם נתיחס לגז שאינו כלוא (בתוך כלי) אז הגידול באנרגיה הקינטית של החלקיים גורם להגדלת המרוחקים בין החלקיים – המרחק בין החלקיים גדול. כתוצאה מכך נפח הגז גדול. חלקיים הנז אינם קשורים כמעט זה לזה – כוחות התאהזה שביניהם זניחים. לכן גם אנרגיית הקשר בין החלקיים זניחה. כתוצאה מכך, כאשר גז קולט חום, כל החום המושקע בו בא לידי ביטוי בהגדלת האנרגיה הקינטית של כל אחד מהחלקיים המתרוצצים, כלומר, בהגדלת הטמפרטורה.

## 7.1.1 מהירות התנועה של חלקיקי הגז

מדענים הצליחו לערוך מדידות ולחשב את המהירות הממוצעת של חלקיקי גזים שונים בטמפרטורות שונות.

נביא לדוגמה את מהירותם החלקיקיים של גזים אחדים בטמפרטורה  $0^{\circ}\text{C}$ .  
כיוון שמסות החלקיקים קטנות מאוד, הצגנו בטבלה טבלה מסה של כל אחד מהחלקיקים ביחס למסת חלקיק מימן. את המסיה של חלקיק מימן קבענו כיחידה אחת, והבענו את המסיות של החלקיקים האחרים ביחס ליחידה זו.

**לדוגמא –** בשורה של חלקיק חמצן מופיע המספר 16. המשמעות היא: מסת חלקיק חמצן גדולה פי 16 מסת חלקיק מיון.

### מהירות ממוצעת של חלקיקי גזים שונים ב- $0^{\circ}\text{C}$

הגז	מסתו של חלקיק הגז ביחס למסת חלקיק מיון	המהירות במטרים לשניה
מיון	1	1,840 (m/s)
הליום	2	1,290 (m/s)
חנקן	14	750 (m/s)
חמצן	16	460 (m/s)

כדי להתרשם מהמהירות הרשומות בטבלה, נתייחס למוכנית נוסעים הנוסעת ב מהירות 180 ק"מ/שעה. מהירות גובהה זו שווה אך וرك ל- (m/s) 50.

מהטבלה עולה כי **ככל שמסת החלקיקים גדולה יותר, המהירות (המומוצעת) שלם קטנה יותר**.

יוטר – על אף שהטמפרטורה של כל החלקיקים זהה –  $0^{\circ}\text{C}$ .

יכן נסביר עובדה זו על סמך המודל הגאולוגי?

180 כדי להתרשם מהמהירות הרשומות בטבלה, נתייחס למוכנית נוסעים הנוסעת במהירות ק"מ/שעה. מהירות גובהה זו שווה אך וرك ל-(s/m) 50.

מהטבלה עולה כי **ככל שמסת החלקיקים גדולה יותר, המהירות (המומוצעת) שלהם קטנה יותר** – על אף שהטמפרטורה של כל החלקיקים זהה –  ${}^{\circ}\text{C}$ .  
כיצד נסביר עובדה זו על סמך המודל הג'אולוגי?

כזכור, לפי המודל הג'אולוגי, **הטמפרטורה מהוות מדד לאנרגיה הקינטית של החלקיקים**. החלקיקים של גזים שונים הנמצאים באותה טמפרטורה תהיה אותה כמות של אנרגיה קינטית. בפרק י' למדנו כי האנרגיה הקינטית תלויה במשקל ובמהירות  $\frac{1}{2} \text{mv}^2 = E_{\text{k}}$ . לכן במידה של שני חלקיקים בעלי מסות שונות יש אותה כמות של אנרגיה קינטית, החלקיק בעל המסה הקטנה יותר יש **מהירות גדולה יותר**.

חלקיים הנוזל קרובים זה לזה – המרוחחים שביניהם קטנים מהמרוחחים שבין החלקיים הגז, וכן כוחות התאzieה שבין החלקיים הנוזל גדולים מכוחות התאzieה שבין החלקיים הגז. כוחות תאzieה אלה מגבילים את התרוצצות החלקיים הנוזל.

המרוחחים בין החלקיים הנוזל מספיק גדולים כדי לאפשר לחלקיים להחליק לתוכם. לכן, יש להם עדין חופש תנועה מסוים אם כי מוגבל יותר מאשר בגז.

כאשר מלחמים נוזל הטמפרטורה שלו עולה ברציפות (עד שהוא מגיע ל对照检查 של רתיחה). עובדה זו מעידה על כך שאנרגיית התנועה של החלקיים הנוזל הולכת וגדלה. כתוצאה מכך, גם הרוחחים שבין החלקיים הולכים וגדלים.

ונכל להסיק מכך כי: החומר המסופק לנוזל בא לידי ביטוי גם בהגדלת האנרגיה הקינטית של החלקיים (הגדלת הטמפרטורה), וגם בהגדלת אנרגיית הקשר של החלקיים (כתוצאה מהגדלת הרוחחים שבין החלקיים).

חלקיים המוצק קרובים מאוד זה לזה – הם כמעט נוגעים זה בזה. לכן, כוחות התאחיזה שבין חלקיים המוצק גדולים מכוחות התאחיזה שבין החלקיים הנוזל.

חלקיים המוצק כמעט קבועים במקומות מסוימים בתוך המבנה המוצקי. כל אחד מהחלקיים מתנווד (רוטט) סביב נקודת קבועה. זו הסיבה שהמוצק שומר על צורה קבועה.

כאשר מתחמים מוצק הטמפרטורה שלו עולה ברציפות (עד שהוא מגיע ל对照检查 של היתוך). עובדה זו מעידה על כך שאנרגיית התנועה של החלקיים המוצק הולכת וגדלה. כתוצאה לכך, גדלים גם הרוחחים שבין החלקיים.

ונכל להסיק לכך כי: החום המסופק למוצק בא ידי ביתוי גם בהגדלת אנרגיית התנועה של החלקיים המוצק (הגדלת הטמפרטורה) וגם בהגדלת אנרגיית הקשר של החלקיים (כתוצאה מהגדלת הרוחחים שבין החלקיים).

## 7.4 שימוש במצבי צבירה

נשוב לניסוי שביצענו בסעיף 3.2 שבו סייפקנו חום למים. נוכחנו לדעת כי כאשר טמפרטורת המים מגיעה ל- $100^{\circ}\text{C}$  המים מתחילה לרטוח (הופכים לגז). במהלך הרתיחה הטמפרטורה של המים מפסיקת לעלות, על אף שהוא ממשיכים לספק למים אנרגיית חום. העובדה שהטמפרטורה מפסיקת לעלות מעידה על כך שהאנרגיה הקינטית של החלקיקים מפסיקת גדול. חוק שימור האנרגיה מלמד כי אנרגיה לעולם אינה נעלמת. לכן, אנו חייבים להסיק כי אנרגיית החום באה לידי ביטוי בחומר באופן כleshov.

כמה גזים כleshov אומדן הלאומית אוijk נתקע לאזן יייאחה?

במצב רתיחה אנרגית החום באה לידי ביתוי אך ורק בשינוי אנרגיית הקשר של החלקיקים (ולא בשינוי האנרגיה הקינטית של החלקיקים).

כשהנוזל רותח הקשרים שבין החלקיקים מתנתקים לחלוטין והמרוחחים שביניהם גדלים מאוד.  
כתוצאה לכך, אנרגיית הקשר של החלקיקים נזלה מאוד.

ניסויים מוכחים כי (במრבית המקרים) כאשר מחממים חומר כלשהו, והוא מגע לשינוי במצב הצבירה (מנוזל לגז או ממוצק לנוזל ולהיפך) הטמפרטורה (במהלך השינוי במצב הצבירה) אינה משתנה. עובדה זו מעידה על כך כי:

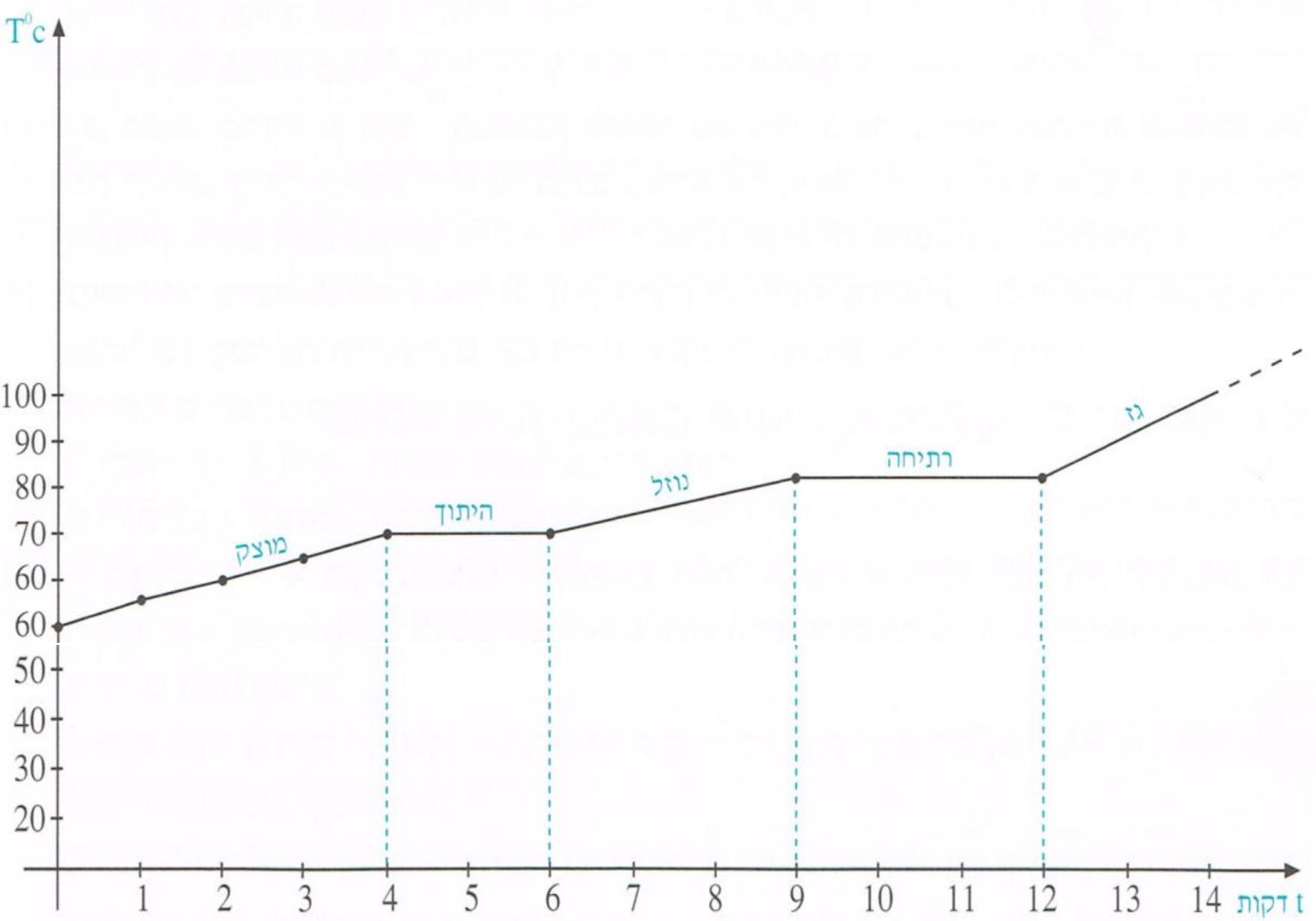
כאשר מספקים חום לחומר והוא עבר שינוי במצב הצבירה – אנרגיית החום באה לידי ביתוי אך ורק בשינוי אנרגיית הקשר של החלקיקים.

## 8.1 מהות החום - תרגיל מסכם

דן חימס גוש חומר שהיה בתחילת תהליך במאובן מוצק, עד שכל החומר הפך לנוז (הוא המשיך לחם את החומר גם כשהיה במאובן צבירה של גז). במהלך החימום הוא מدد את הטמפרטורה של החומר במרווחי זמן שווים של דקה, וערך את הנתונים בטבלה הבאה:

זמן – (דקות)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T°C	50	55	60	65	70	70	70	74	78	82	82	82	82	90	98

- (א) נערוך את הנתונים בגרף שיתאר את הטמפרטורה (T) כפונקציה של זמן החימום (t).
- (ב) 1. במשך כמה זמן היה החומר במצב מוצק ( בלבד)?  
2. כמה זמן נמשך תהליך התיווך (החומרים הופך ממוצק לנוזל)?  
3. במשך כמה זמן היה החומר במצב צבירה נוזל ( בלבד)?  
4. כמה זמן נמשך תהליך הרתיחה (החומרים הופך מנוזל לגז)?
- (ג) 1. מהי טמפרטורת התיווך של החומר?  
2. מהי טמפרטורת הרתיחה של החומר?
- (ד) באילו תחומים בגרף – החום המסופק לחומר בא לידי ביתוי אך וرك בשינוי אנרגיית הקשר של החלקיקים?
- (ה) באיזה תחום בגרף – החום המסופק לחומר בא לידי ביתוי אך וرك בשינוי האנרגיה הקינטית של החלקיקים?
- (ו) באילו תחומים בגרף – החום המסופק לחומר בא לידי ביתוי גם בשינוי אנרגיית הקשר וגם בהגדלת האנרגיה הקינטית של החלקיקים?
- (ז) נסביר את השינויים החלים בחומר במהלך החימום לאור המודל הגיאולי של החום.



(ב)

1. הגרף מראה כי מרגע  $t = 0$  ועד לרגע  $t = 4$  דקות הטמפרטורה עולה בקצב קבוע. נוכל להסיק כי בפרק זמן זה החומר היה במצב מוצק. אם כן, החומר היה במצב מוצק במשך 4 דקות.
2. מרגע  $t = 4$  עד רגע  $t = 6$  דקות הטמפרטורה קבועה. בזמן זה שבו הטמפרטורה מפסיקת לעלות, החומר עובר שינוי במצב הצבירה – ממוצק לנוזל. כמות המוצק הולכת וקטנה וכמות הנוזל הולכת וגדלה, כך שברגע  $t = 6$  דקות כל המוצק הפך לנוזל. אם כן, החומר הותך במשך 2 דקות.
3. מהגרף רואים כי מרגע  $t = 6$  ועד לרגע  $t = 9$  דקות שוב הטמפרטורה עולה בקצב קבוע. נוכל להסיק לכך כי בפרק זמן זה החומר במצב צבירה נוזל. אם כן, החומר היה במצב צבירה נוזל במשך 3 דקות.
4. מהגרף רואים כי מרגע  $t = 9$  ועד לרגע  $t = 12$  דקות שוב אין שינוי בטמפרטורה. בזמן זה שבו הטמפרטורה מפסיקת לעלות, החומר עובר שינוי במצב הצבירה – מנוזל לגז. כמות הנוזל הולכת וקטנה וכמות הגז הולכת וגדלה, כך שברגע  $t = 12$  דקות כל הנוזל הפך

לגו. אם כן, הנוזל רותח במשך 3 דקות, ומרגע  $t = 12$  דקות כל החומר במצב צבירה גז.

(ג) טמפרטורת ההיתוך = הטמפרטורה שבה המוצק מתחילה להפוך לנוזל. לפי הגרף הטמפרטורה היא  $70^{\circ}\text{C}$

טמפרטורת הרתיחה = הטמפרטורה שבה הנוזל מתחילה להפוך לגו. לפי הגרף הטמפרטורה היא  $82^{\circ}\text{C}$

(ד) בכל התחומים בגרף שבו חומר עבר שינוי במצב הצבירה, הטמפרטורה מפסקה לעלות (כלומר אין שינוי אנרגיה הקינטית של החלקיקים) וכל החום בא לידי ביטוי בשינוי אנרגיית הקשר של החלקיקים.

התחומים המתאימים הם:

שינוי מצב צבירה ממוצק לנוזל:  $4 \text{ דקות} < t < 6 \text{ דקות}$

שינוי מצב צבירה מנוזל לגו:  $9 \text{ דקות} < t < 12 \text{ דקות}$

(e) כשהחומר במצב צבירה מוצק או נוזל החום המוסף לחומר בא לידי ביטוי גם בשינוי אנרגיית הקשר של החלקיקים וגם בשינוי אנרגיית התנועה של החלקיקים.

התחומים המתאימים הם:

$0 \text{ דקות} < t < 4 \text{ דקות}$  החומר במצב צבירה מוצק.

$6 \text{ דקות} < t < 9 \text{ דקות}$  החומר במצב צבירה נוזל.

- 0 זקה > t > 4 זקה (mozak)** – תוספת החום גורמת להגדלת האנרגיה הקינטית של החלקיקים. כתוצאה מכך גדלים המרוחקים שבין החלקיקים כך שכוחות התאהיזה שביניהם הולכים וمتורופפים.
- 4 זקה > t > 6 זקה (התווך)** – תוספת החום גורמת להתרופפות הקשרים שבין החלקיקים ולהריסת המבנה של המזק.
- 6 זקה > t > 9 זקה (נוול)** – תוספת החום גורמת להגדלת האנרגיה הקינטית של החלקיקים. כתוצאה מכך הרוחקים שבין החלקיקים גדלים כך שכוחות התאהיזה שביניהם הולכים ומתרופפים.
- 9 זקה > t > 12 זקה (רתיחה)** – תוספת החום גורמת לניתוק הקשרים שבין החלקיקים ולהפיכת הנוזל לגז.
- 12 זקה > t (אז)** – החלקיקים נעים לכל הכוונות בתנועה אקראית (השתוללות). הם מתנגשים זה בזו ובדפנות הכלוי. תוספת החום גורמת לגידול באנרגיה הקינטית של החלקיקים בלבד.

## ៩. הסבר תופעות על-פי המודל היג'אולי

### ៩.១ הסבר לחוק השוואת הטמפרטורות לאור המודל היג'אולי

נתיחה לשני גופים שקיימים ביניהם הפרש טמפרטורות. לפי המודל היג'אולי, האנרגיה הקינטית של כל אחד מהחלקיים בגוף החם גדולה מזו שבגוף הקרים. כשה שני הגוף באים ב מגע – מתנגשים חלקיקי הגוף החם בחלקיקים של הגוף הקרים ומוסרים להם (**באמצעות ההתגשויות**) אנרגיה קינטית. כתוצאה מכך, האנרגיה הקינטית של חלקיקי הגוף הקרים הולכת וגדלה, וזו של חלקיקי הגוף החם הולכת וקטנה. תהליך זה נמשך עד להשתווות האנרגיות הקינטיות של כל אחד מחלקיים שני הגוף. הטמפרטורה היא ממד לאנרגיה הקינטית, ולכן הגוף מגיעים לאותה טמפרטורה.

חוק השוואת הטמפרטורות מבטא את **השתווות האנרגיות הקינטיות** של כל אחד מחלקיים שני הגוף. כאשר הטמפרטורות של שני הגוף משתוות – האנרגיה הקינטית של חלקיק בודד בגוף המתקרר משתווה לאנרגיה הקינטית של חלקיק בודד בגוף המתחם.

## 9. הסבר תופעות על-פי המודל הгалוי

### 9.2 הסבר להתפשות גופים כתוצאה מתחום

כמשמעותם חום לגוף – מגדילים את האנרגיה הקינטית של חלקיקי הגוף – מגדילים את התרומות החלקיקים. ככל שהתרומות החלקיקים נזולות יותר – גדים המרוויחים בין החלקיקים. התרומות החלקיקים זה מזה מתבטאת בהגדלת נפח הגוף.

## הארה: התפשטות מעקמת

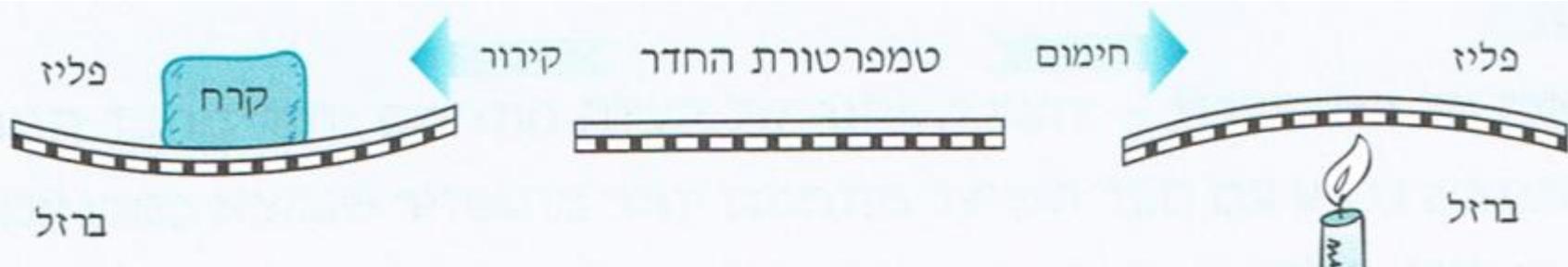


דו-מתכת - הניסיון מלמד, שכאשר שני חומרים שונים בעלי מידדים זהים מוחממים לאותה הטמפרטורה, הם יתפשטו בשיעור שונה. לתופעה זו יש השלכות מעשיות. אנו נעסק ביחסם טכנולוגי חשוב המבוסס על תופעה זו.

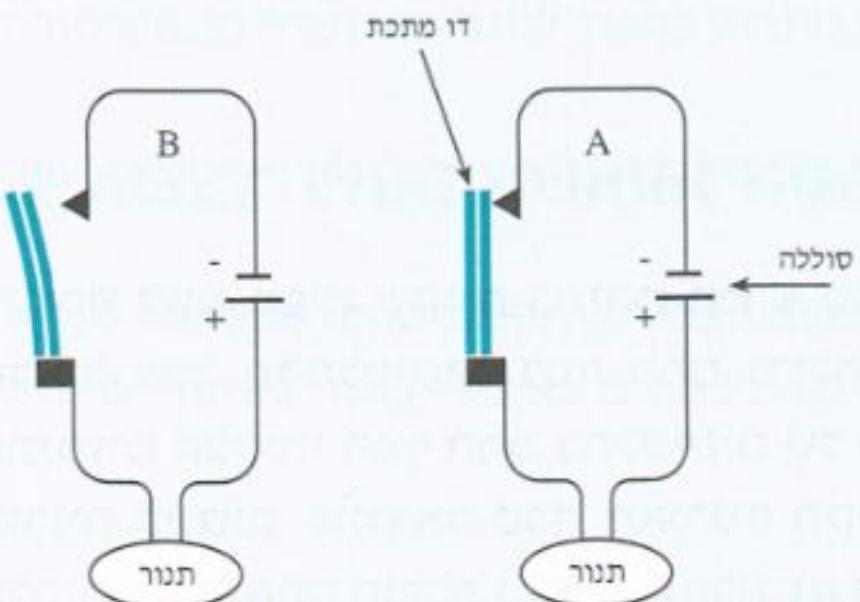
נניח שלרשותנו שתי לוחיות בעלות אותו אורך - האחת עשויה פליז והשנייה ברזל ואנו ממסמרים או מלחמים את הלוחיות זו לזו. לשילוב כזה קוראים "דו-מתכת". לאחר מכן, נחמס את דו-המתכת לטמפרטורה כלשהי.

ידוע כי לוחית הפליז מתפשט ומתררכת בשיעור גדול מלוחית הברזל. כתוצאה לכך, צידו האחד של הדו-מתכת מתארך יותר מצידו השני. לכן, הדו-מתכת מתעגם.

כאשר הדו-מתכת מתפרק ( מתחת לטמפרטורה שבה הדו-מתכת ישר) - הוא מתעגם לכיוון ההפוך. הסיבה לכך נובעת מהעובדה שהמתרכת המתררכת יותר במהלך החימום (הפליז) גם מתכווצת יותר במהלך הקירור.



## תרמוסטט - יישום מעשי לדו-דמתכת. בתרשים A מוצג מעגל חשמלי שבו משולבת דו-דמתכת.



איור A - הדו-דמתכת נוגע במשולש השחזר, כתוצאה לכך המנגל החשמלי סגור וזרם חשמלי זורם בתנור. הזרם החשמלי העובר בדו-דמתכת גורם להתחממותו ולהתעגמותו. כתוצאה מההתעגמות - הדו-דמתכת מתרחק מהמשולש השחזר (ראו איור B), המנגל החשמלי נפתח והזרם החשמלי בתנור ובדו-דמתכת נפסק. כשהdeo-דמתכת מתקרר - הוא מתיישר, שב למקומו (כמו באיור A) וסגור את המנגל החשמלי ו חוזר חלילה.

בדרך זו אפשר לשולוט בטמפרטורה של התנור ולמנוע את התקరרותו או התחממותו מעבר למידה הרצויה שנקבעה מראש. תרמוסטטים משולבים במכשירים שונים כגון: מגרים, דודים חשמליים, תנורים, מזגנים, מנועי מכוניות ועוד.

## 9.3 מדוע חיכור יוצר חום?

אילו היינו מביטים על משטח של גוף כלשהו במיקרוסקופ היינו מבחינים בבליטות זעירות על פני המשטח. גם במשטחים הנראים חלקיים מאוד מתגלות בליטות מיקרוסקופיות. כאשר שני משטחים מחליקים זה על זה, מתחככות ("מתנגשות") זו בזו הבליטות של שני המשטחים. התחככות זו גורמת לכך שאנרגיית התנועה של החלקיים שבבליטות תגדל. כתוצאה, הגדלת אנרגיית התנועה של החלקיים משנהה הגדלת הטמפרטורה. לכן, הטמפרטורה של המשטחים המחליקים זה על זה קטנה.

הארה: מהי כוואה?

כשנוגעים בגוף חם - מיליארדי חלקיקים של הגוף החם מתנגשים בחלקיקי רקמת העור. חלקיקים אלה נעים במהירות של אלפי קמ"ש, חלקם מתנגש באופן אלים בחלקיקי רקמת העור. התנגשויות אלו אלה גורמות להרס רקמת העור - לכואיה.



## 10. ניסויים והסבירם לניסויים לאוֹו של המודל הגאולוגי

### 10.1 התפשטות אוֹויר – ניסוי



**מטרת הניסוי** – להסביר התפשטות אוֹויר כתוצאה מחימום.

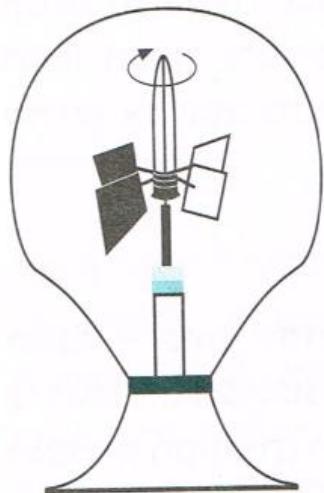
**כליים וחומרים** – כוס מים, מבחנה, כוהליה (או נר).

**מהלך הניסוי** – נניח את המבחןה כך שפתחה טבול בכוס המים, נחמס את הקצה שמחוץ למים באמצעות כוהליה (או נר).

**תוצאה** – בועות אוֹויר עלות מפתח המבחןה הטבול במים אל פני המים שבכוס.

**הסבר** – חימום האוֹויר גורם להגברת השטוללות חלקיקי האוֹויר שבמבחןה. כתוצאה לכך האוֹויר מתפשט ונפחו גדול. לכן חלקו יוצא מהבחןה אל פני המים.

## 2.10 شبشبת אור (רדיוומטר) – ניסוי



(רדיו = קרינה; מטר = מד)

**מטרת הניסוי** – להסביר את פעלת מכשיר הרדיוומטר לפי המודל הגיאולי.

### כלים וחומרים:

נורה שמקרינה אור לבן (בעל הספק של W100 לפחות).

רדיוומטר.

**מבנה הרדיוומטר** – רדיוומטר הוא מכשיר המורכב מבועת זכוכית שקופה. בתוך הבועה ישشبשת שיכולה להסתובב באופן חופשי על ציר. בתוך הבועה כלוא אווריר.

**מבנה השבشبת** – השבشبת מורכבת מארבעה עליים. לכל עלה יש צד שחור וצד מברייק (כמו מראה). השבشبת בנוייה כך שצד שחור של עלה פונה אל הצד מברייק בעליה השכנ.

**מהלך הניסוי** – נקרין אור על הרדיוומטר.

**תוצאה** – השבشبת מסתובבת.

**הסבר** – כדי להבין את הסיבה להסתובבות השבشبת – נציין **מספר עובדות יסוד**:

- **מראה מחזירה אור** – מראה שנחשפת לאור, כמעט שאינה בולעת את האור אלא מחזירה אותו חזרה.
- **משטח שחור** – בולע את מרבית האור שפוגע בו. כתוצאה מכך הוא מתחמם (אנרגיית קרינה מומרת לחום).

**כshmקרינימ אור על השבشبת** – הצד השחור של העלה מתחמם יותר מהצד המבריק. כתוצאה מכך, האויר שנמצא במאן עם הצד השחור מתחמם יותר מהאויר שנמצא במאן עם הצד המבריק. לכן, חלקיקי האויר ליד הצד השחור משתווים יותר מאשר חלקיקי האויר ליד הצד המבריק. החלקיקים מכדים בעוצמה גדולה יותר על הצד השחור של העלה והעליה נדחף. יש ארבעה צדדים שחורים שודחרים והשרשרת מחזירה

## 10.3 בוכנת אש – ניסוי [Piston Fire]

(אש = Fire; בוכנה = Piston)

**מטרת הניסוי** – להסביר את פעלת המנגנון לפי המודל היג'ולי.  
**כליים וחומרים:**

צינור גלילי חלול (циילינדר) עשוי פלסטיק שקוף.  
בסיס – תושבת לצינור.

מכתש קטן (גומה) בבסיס המיועד להנחת הצמר גפן.

בוכנה ממתקת שאפשר להוליכה הלוֹך ושוב בתוך הצינור החלול.

**מהלך הניסוי** – שמים פיסת צמר-גפן במכתש הקטן בתושבת הבסיס. קובעים את הצינור השקוף בתוך הבסיס.

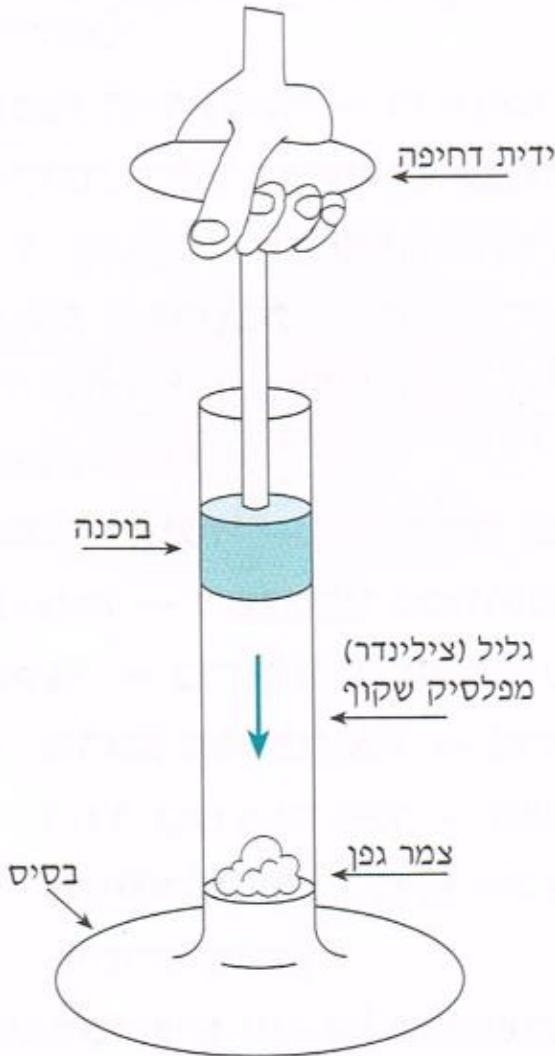
דוחפים את הבוכנה כלפי מטה בתנועה חדה ומהירה אל תחתית הצינור.

**תוצאה** – הצמר-גפן ניצת ובוער.



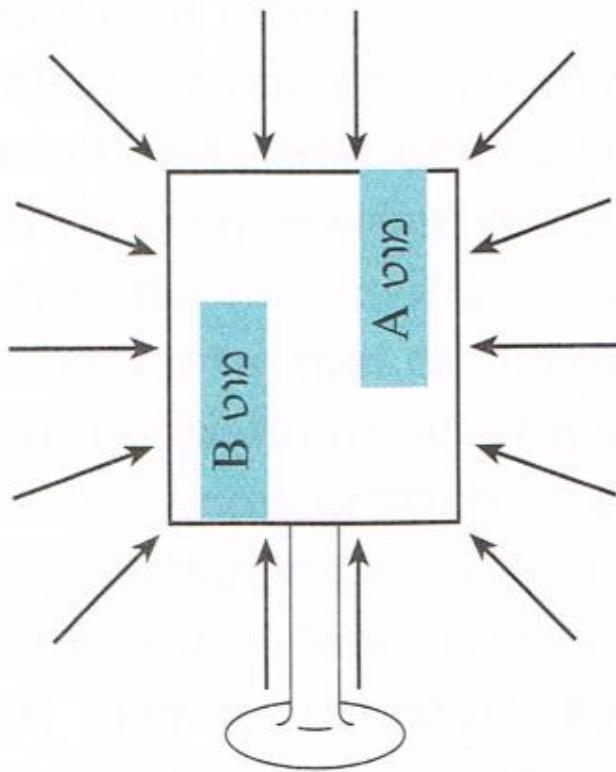
שים לב:

תנועת הבוכנהחייבת להיות מהירה, וזאת כדי למנוע מהאוויר הנדחס לפלוט חלק מהחומר של לדוף הצינור ולסביבתו. אם לא נדחוס את הבוכנה בזמן קצר, החום יספק זרום מהאוויר הנדחס אל הסביבה. כתוצאה לכך הצמר-גפן לא יתלקח.



**הסבר** – כיוון שהושקעה אנרגיה בדחיסת הגז, ברור כי האנרגיה ה**כוללת** של חלקיקי הגז (אנרגיית הקשר + האנרגיה הקינטית) חייבת לגודל (חוק שימור האנרגיה). כאשר דוחסים את הגז – חלקיקי הגז מתקרבים זה לזה, וכתוצאה מכך אנרגיית הקשר שלהם קטנה. לכן, האנרגיה הקינטית של חלקיקי הגז חייבת לגודל (כלומר הטמפרטורה חייבת לגודל), וכך שבסך הכל האנרגיה ה**כוללת** של החלקיקים גדולה.

## 11.1 תיבת קסמים



באיור מתוארת תיבה שקופה הנמצאת על כו, חסופה לкриינית אוור. בתיבה נמצאים שני מוטות מתחת שחורים זוהים:

מוט A צמוד לתקرت התיבה, מוט B צמוד לרצפת התיבה. מקרינים אוור על התיבה באמצעות מקור אוור. (החיצים שבציוור מייצגים את האור המוקרן על התיבה). אחרי-כך מודדים את הטמפרטורה של המוטות.

- א.  $T_A > T_B$
- ב.  $T_A < T_B$
- ג.  $T_A = T_B$

בחרו את האפשרות הנכונה ונמקו:

- א.  $T_A > T_B$
- ב.  $T_A < T_B$
- ג.  $T_A = T_B$

**פתרון הchallenge:**

הproblem מבקש לנו למצוא מינימום של פונקציית שגיאה  $\text{err}$  ביחס למשתנה  $T$ .  
הproblem מבקש לנו למצוא מינימום של פונקציית שגיאה  $\text{err}$  ביחס למשתנה  $T$ ,  
בנוסף לכך  $A \geq B$  מחייבים לנו ש  $A$  יהיה לפחות כפול  $B$  מינימום פונקציית שגיאה.  
בנוסף לכך  $A \geq B$  מחייבים לנו ש  $A$  יהיה לפחות כפול  $B$  מינימום פונקציית שגיאה.  
בנוסף לכך  $A \geq B$  מחייבים לנו ש  $A$  יהיה לפחות כפול  $B$  מינימום פונקציית שגיאה.  
בנוסף לכך  $A \geq B$  מחייבים לנו ש  $A$  יהיה לפחות כפול  $B$  מינימום פונקציית שגיאה.  
בנוסף לכך  $A \geq B$  מחייבים לנו ש  $A$  יהיה לפחות כפול  $B$  מינימום פונקציית שגיאה.  
 $\text{err}(B) \leq \text{err}(A)$  מחייבים לנו ש  $B$  יהיה מינימום פונקציית שגיאה. כלומר  $B$  יהיה מינימום פונקציית שגיאה.  
 $\text{err}(A) \leq \text{err}(B)$  מחייבים לנו ש  $A$  יהיה מינימום פונקציית שגיאה. כלומר  $A$  יהיה מינימום פונקציית שגיאה.  
בנוסף לכך  $\text{err}(B) < \text{err}(A)$ .



## 12. עיקרי פרק י'ב

**חוק השתוות הטמפרטורות** – חום עובר ממוקם בעל טמפרטורה גבוהה אל מקום בעל טמפרטורה נמוכה. כתוצאה לכך, הטמפרטורה של המקום החם יורדת והטמפרטורה של המקום הקרים עולה. כאשר הטמפרטורות משתווות, נפסק מעבר החום.

### המודל החלקיקי של דמוקריטוס:

- החומר בנוי מחלקיקים זעירים.
- חלקיקי החומר נעים עצמאים באופן אקראי.
- החלקיקים נעים בריק – בין החלקיקים יש מרוחחים.

### התגליות של ג'אול:

- החום הוא סוג של אנרגיה.
- קיימים קשר הדוק בין האנרגיה הקינטית של חלקיקי החומר לבין הטמפרטורה. ככל שהטמפרטורה של הגוף גדולה יותר – מידת התrozצחות החלקיקים גדולה יותר, ככלומר, האנרגיה הקינטית (המומוצעת) של כל אחד מהחלקיקים גדולה יותר.

### כוחות תraction:

- בין חלקיקי מוצק או נוזל פועלים כוחות משיכה המכונים: "כוחות תraction" (כוחות התtraction שבין חלקיקי הגז זניחים).
- ככל שהמרחק שבין החלקיקים של החומר קטן יותר, כוחות התtraction שביניהם גדולים יותר, ולהפך.

### אנרגיית קשר:

כוחות התraction שבין החלקיקים המרכיבים את החומר (נוzel או מוצק) גורמים לכך שלחלקיקים תהיה אנרגיה, המכונה: "**אנרגיית קשר בין חלקיקית**".

כל שחלקיקים רחוקים יותר אנרגיית הקשר שלהם גדולה יותר ולהיפך.

## מהות החום:

- אנרגיית החום עוברת מגוף לגוף כאשר יש הבדלי טמפרטורות בין הגוףים.
- אנרגיית החום יכולה לבוא לידי ביטוי בחומר ב-**2 אופנים**:
  - (1) הגדלת אנרגיית התנועה של חלקיקי החומר (כאשר הטמפרטורה של החומר עולה).
  - (2) שינוי אנרגיית הקשר שבין חלקיקי החומר.

## שלושת מוצבי הצבירה לאור המודל הגיאולוגי:

- **גזים** — חלקיקי הגז רחוקים מאוד זה מזה, לכן, כוחות התאהיזה שביניהם זניחים. החלקיקים נעים לכל עבר באופן חופשי וAKERAI. הם מתנגשים זה בזה, נרתקים, וחוזר חלילה.
- **נוזלים** — חלקיקי הנוזל קרובים זה לזה — המרוחחים שביניהם קטנים מהמרוחחים שבין חלקיקי הגז. לכן כוחות התאהיזה שביניהם אינם זניחים, והם מגבלים את השתוולות החלקיקים.

- **מוֹצְקִים** – חלקי הmozek קרובים זה לזה יותר מאשר חלקי הנוזל, שכן כוחות התאהזה שבין חלקי המזק גדולים מכוחות התאהזה שבין חלקי הנוזל. כתוצאה לכך חלקי המזק כמעט קבועים במקומות. כל אחד מהם מבצע תנודות סביב נקודת שיווי המשקל.

### מהות החום בשלושת מצביו הצביריים:

- **גִּזִּים** – כיוון שכוחות התאהזה שבין חלקי הגז זניחים, אנרגיית הקשר שבין החלקיקים זניחה. אנרגיית החום שגז קולט (או פולט) באה ידי ביתוי רק **בשינוי אנרגיית התנועה** של חלקי הגז.
- **נוֹזְלִים ומוֹצְקִים** – חלקי הmozek והמזק קרובים זה לזה, שכן כוחות התאהזה שבין החלקיקים אינם זניחים, אי לכך אנרגיית הקשר שבין החלקיקים אינה זניחה. אנרגיית החום שנקלטה (או נפלטה) על ידי נוזל או מזק באה ידי ביתוי בשינוי אנרגיית התנועה של חלקי הנוזל או המזק וגם בשינוי אנרגיית הקשר שבין החלקיקים.
- כאשר חומר משנה מצב צבירה, הטמפרטורה שלו אינה משתנה. עובדה זו מעידה על כך שבמהלך השינוי במצב הצבירה משתנה רק **אנרגיית הקשר** שבין החלקיקים.

## 13. שאלות לפרק י"ב

### שאלות ברמה רגילה

- (3) העתיקו את המשפט הנכון למחברת.  
חום עבר מגוף אחד לשנהו אם יש הבדל:  
(א) באנרגיה הקינטית של הגוף.  
(ב) בין המסודות של הגוף.  
(ג) בין הטמפרטורות של הגוף.  
(ד) בגודל הגוף.
- (4) העתיקו את המשפט הנכון למחברת.  
שני גופים בעלי טמפרטורות שונות נוגעים זה בזיה. תהליך מעבר החום נפסק כאשר:  
(א) החום נגמר.  
(ב) טמפרטורות שני הגוף משתווות.  
(ג) טמפרטורת הגוף הקרים מגיעה לערך של טמפרטורת הגוף חם.  
(ד) כמות החום של שני הגוף שוות.

- (1) העתיקו את המשפטים הנכונים למחברת.  
כדי לבדוק טמפרטורה אי אפשר להסתמך על החושים ודרוש מד-חום, כי:  
(א) אנשים שונים עשויים לחוש תחושות חום שונות כאשר הם נוגעים באותו גוף.  
(ב) מד-חום מאפשר מדידה מדויקת של טמפרטורה.  
(ג) מד-חום מאפשר לאנשים שונים להגיע להסכמה אודות הטמפרטורה של גוף מסוים.  
(ד) כדי להעריך את זמן החימום של חומרים שונים.
- (2) העתיקו את המשפט הנכון למחברת.  
השם "מד-חום" עלול להטעות כי:  
(א) מכשיר זה אינו מודד כמות חום אלא טמפרטורה.  
(ב) לא ניתן להשתמש במד-חום כאשר הטמפרטורה גבוהה מדי.  
(ג) מד-חום אינו מסוגל למדוד קור.  
(ד) מד-חום אינו מסוגל למדוד טמפרטורות נמוכות מפס.

(5)

העתיקו את המשפט הנכון למחברת.  
באשר מניחים כוס תה חם בחדר, התה מתקרר  
עם הזמן, כי:

(א) התה קולט קור מהסביבה.

(ב) התה פולט חום אל הסביבה בגל הפרש  
הטמפרטורות שבין כוס התה לבין הסביבה.

(ג) הסביבה מוסרת קור לכוס התה.

(ד) התה מוסר את כל החום שבו לכוס הזכוכית.

(6)

על שולחן בחדר מונחים, מזה מספר שעوت  
החפצים הבאים: מחברת, כוס תה, מד-חום,  
מאפרה. העתיקו את המשפט הנכון למחברת.

(א) הטמפרטורה של המאפרה היא הגבוהה  
ביווןר.

(ב) הטמפרטורה של כוס התה היא הגבוהה  
ביווןר.

(ג) הטמפרטורה של מד-החום היא הנמוכה  
ביווןר.

(ד) הטמפרטורה של כל הגוף שווה.

(7)

תרמוס מכיל כמות מסוימת של תה בטמפרטורה  
של  $70^{\circ}\text{C}$ . אתי פותחת את מכסה התרמוס,  
מוסיפה מים בטמפרטורה של  $90^{\circ}\text{C}$ , וסגורת  
את המכסה. בחרו מתוך הטמפרטורות הנתונות  
את הטמפרטורה האפשרית של התערובת, ונמקו  
(על סמך חוק השתוות הטמפרטורת).

- |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| (א) $70^{\circ}\text{C}$ | $90^{\circ}\text{C}$  |
| (ב) $82^{\circ}\text{C}$ | $160^{\circ}\text{C}$ |

לאחר שדוחפים גוף על משטח – האנרגיה  
הקינטית של הגוף הולכת וקטנה בהדרגה,  
ובאותה עת, הטמפרטורה של המשטחים  
המתחככים קטנה. מעובדה זו אפשר להסיק את  
המסקנות הבאות (העתיקו את המשפטים  
הנכונים למחברת):

- (א) העובדה שהאנרגיה הקינטית הולכת וקטנה  
במהלך התנועה מעידה על היווצרות  
אנרגייה מסווג אחר.

(11) העתיקו את **המשפטים** הנכונים למחברת.  
החומר הוא:  
(א) סוג של אנרגיה.

(ב) אנרגיה העוברת מגוף אחד לשני אחר כאשר יש הפרש טמפרטורות בין הגוףים.

(ג) טמפרטורה של גוף.

(ד) טמפרטורה של גוף חם מאוד.

(ה) אנרגיה הבאה לידי ביתוי בחומר בשינוי אנרגיית התנועה של החלקיקים ו/או שינוי אנרגיית הקשר שבין החלקיקים.

(ב) העובדה שהטמפרטורה של המשטחים גדלה מעידה על כך שנוצר חום במהלך התנועה.

(ג) העובدة שנוצר חום, ולא סוג אחר של אנרגיה, מעידה על כך כי החומר הוא סוג של אנרגיה.

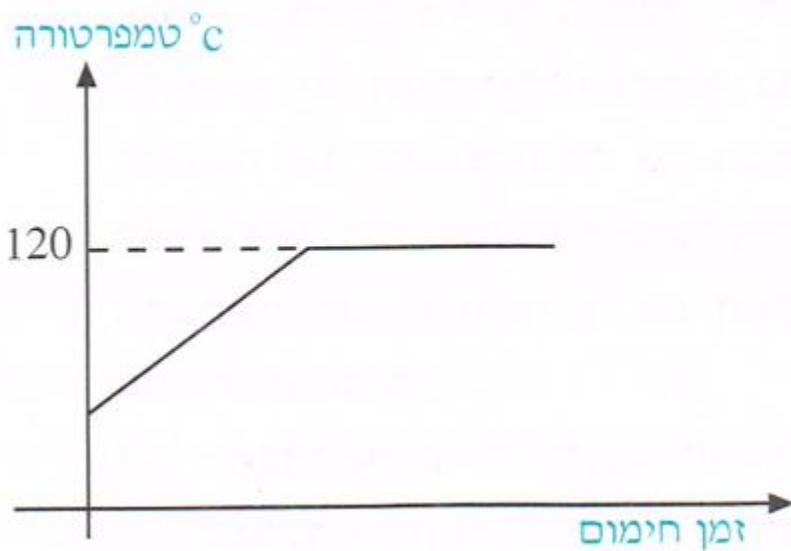
(ד) הפחת (הירידה) באנרגיה הקינטית מעיד על כך שהאנרגיה לא תמיד נשמרת.

(9) קראו בספר (סעיף 6.1) אודוט "מודל חלקיקי החומר". רישמו במחברת את עיקרי המודל.

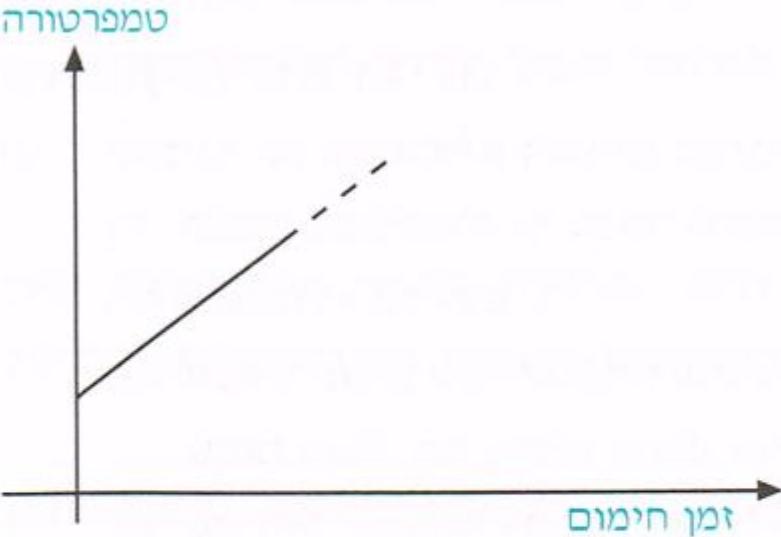
(12) לפניים שני גרפים המתארים טמפרטורה של שני חומרים כפונקציה של זמן החימום. חומר אחד היה בתחילת החימום במצב צבירה גז, והחומר השני היה במצב צבירה נוזל.

(10) קראו בספר (סעיף 6.2) וכיתו את התוספת של ג'אול למודל של דמוקריטוס.

גרף א:



גרף ב:



- שי טוען כי גרף א' מתאים לחימום הנוזל ואיו  
גרף ב' מתאים לחימום הגז.
- (א) עזרו לשוי לנמק את טענתו.  
(ב) איזה שינוי מתחולל בנוזל הטמפרטורה של  
 $120^{\circ}\text{C}$ ? נמקו.

(13) הטבלה הבאה מתייחסת לגז שאינו כולל (בתוכו כללי). העתיקו את הטבלה למחברת והשלימו אותה. האפשרויות הן: גדלה/קטנה, גדלים/קטנים, גדל/קטן.

הARIOע	הטמפרטורה	מהירות הгаз	נפח הгаз	המרווחים בין החלקיקים	מהירות החלקיקים
גז קולט חום					
גז פולט חום					

(16)

- (ג) המהירות (הממוצע) של כל אחד מחלקיקי הגז בטמפרטורה נתונה גדולה יותר ככל שחלקיקי הגז בעלי מסה קטנה יותר.

(16) העתיקו את **המשפטים** הנכונים למחברת.

- שני גזים נמצאים באותה טמפרטורה. מסת כל חלקיק מחלקיקי גז א' גדולה ממשת כל חלקיק של גז ב'. נוכל להסיק מכך את המסקנה הבאה:  
 (א) חלקיקי גז א' נעים מהר יותר מחלקיקי גז ב'.  
 (ב) חלקיקי גז ב' נעים מהר יותר מחלקיקי גז א'.

- (ג) האנרגיה הקינטית (הממוצע) של חלקיק בגז א' שווה לאנרגיה הקינטית (הממוצע) של חלקיק של גז ב'.  
 (ד) חלקיקי שני הגזים נעים באותה מהירות ממוצעת.

(14) העתיקו את **המשפטים** הנכונים למחברת.  
 כאשר מחממים גז כולל (בתוכו כללי) אז:

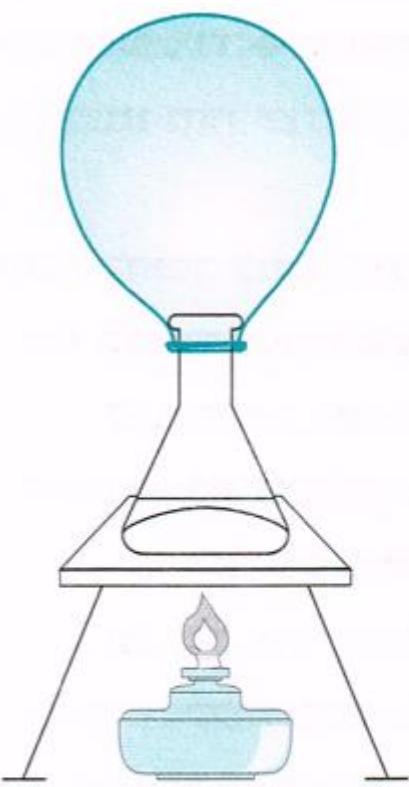
- (א) חלקיקי הגז מתנפחים.  
 (ב) אנרגיית התנועה של חלקיקי הגז גדולה.  
 (ג) הטמפרטורה של הגז עולה והרווחים שבין החלקיקים גדלים.

(ד) נפח הגז גדול.  
 (ה) הכוח שיפעליו חלקיקי הגז על דפנות הכלוי גדול.

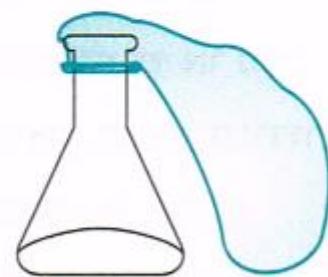
(15) הייעזרו בטבלה שבסעיף 7.1.1 והעתיקו את המשפט הנכון למחברת.

- (17) הסבירו – מדוע קשה יותר לדחוס נוזל מאשר גז?
- (18) הסבירו – מדוע אפשר לדחוס גז בקלות יחסית?
- (19) הסבירו – מדוע קשה יותר לדחוס נוזל מאשר גז?
- (20) לחומר במצב מוצק יש מבנה מסודר. העתיקו למחברת את **המשפטים** המהווים את הסיבות לבניהו של המוצק.
- (א) בין חלקיים המוצק יש כוחות תraction הגדולים מ אלה שבין חלקיים גז או נוזל.
- (ב) כל אחד מחלקיים המוצק מבצע תנודות קלות סביב נקודה קבועה.
- (ג) חלקיים המוצק קרוביים מאוד זה לזה – כמעט צמודים.
- (ד) אין בכלל מרוחחים בין חלקיים המוצק.
- (ה) חלקיים המוצק אינם נעים כלל.
- (ו) חלקיים המוצק הם קשים וモזקים במיוחד.
- (21) לפניכם תיאורי תנוצה של חלקיקים, שכל אחד מהם מתאים לאחד ממצבי הצבירה. העתיקו את המשפטים למחברת ורישמו במקום החסר את מצב הצבירה המתאים (МОזק/נוול/גז).
- (א) הרוחים שבין החלקיים גדולים מאוד. הם "משתוללים" ללא הרף, מתנגשים זה בזה ומשנים את מקומם בחופשיות. מצב הצבירה המתאים הוא: \_\_\_\_\_
- (ב) התנועה היחידה של החלקיים היא תנודות (רטיטות). כל חלקיק מתנדד בתנועה מוגבלת סביב נקודה מסוימת. מצב הצבירה המתאים הוא: \_\_\_\_\_
- (ג) החלקיים מסוגלים להחליק זה על גבי זה ולשנות את מיקומם. מצב הצבירה המתאים הוא: \_\_\_\_\_

(23) בניסוי המתואר בציור הניהו בקבוקן מלא אויר על להבה. אל פי הבקבוק חיברו בלון.



התוצאה: הבלון שעל פי הבקבוק מתנפח.  
הסבירו את תוצאת הניסוי על סמך המודל הגיאולי של החום.



- (21) העתיקו את המשפטים הנכונים למחברת.
- כasher טמפרטורה של גוף (מוחק) יורדת אז:
- (א) הגוף פולט חום.
  - (ב) מהירותו של הגוף קטנה.
  - (ג) אנרגיית התנועה של חלקיקי הגוף קטנה.
  - (ד) נפח הגוף קטן.
  - (ה) הגוף רוטט כיון שקר לו.

(22) בגוף הפרק (בסעיף 4.2.1) ביצעו את הניסוי הבא:

לקחו טבעת ברזל וכדור ברזל, שקוטרו מעט יותר קטן מהקוטר של החלק הפנימי של הטבעת. חיממו את הcador וניסינו להעבירו דרך הטבעת בעודו חם.

העתיקו את המשפטים למחברת והשלימו אותם, כך שהם יהיו הסבר לתופעה זו.

כasher הcador קולט אנרגיית \_\_\_\_\_

האנרגיה הקינטית של חלקיקיו \_\_\_\_\_

כתוצאה לכך המרוחחים שבין החלקיקים \_\_\_\_\_

לכן, נפחו \_\_\_\_\_

## שאלות ברמה גבוהה

- (26) הטמפרטורה בתוך האיגלו היא  $C^{\circ}20$ . אסיקימואי הכנסה לתוך האיגלו כלב ים מטstemperatur גוף  $C^{\circ}10$ . בחרו את האפשרות הנכונה ונמקו.
- התהיליך המתורחש בעת הכנסת כלב הים לאיגלו הוא:
- (א) קור עובר מהאיגלו אל כלב הים.
  - (ב) קור עובר מכלב הים אל האיגלו.
  - (ג) חום עובר מכלב הים אל האיגלו.
  - (ד) חום עובר מהאיגלו אל גופו של הכלב הים.

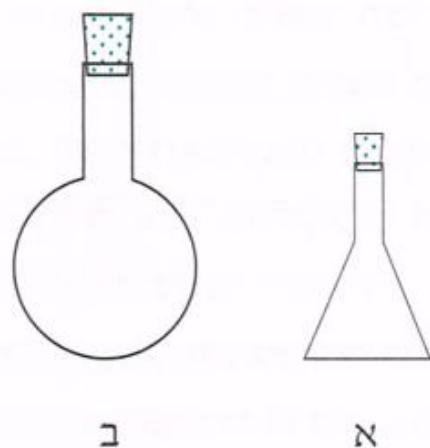
- (27) לתוך מכיל גדול מזווג מים משני כלים, מכלי'A המכיל 100 ליטר מים בטמפרטורה של  $C^{\circ}20$ , ומכליב'B' המכיל 50 ליטר מים בטמפרטורה של  $C^{\circ}20$ .

מה תהיה הטמפרטורה של המים במיכל הגדל? נמקו.

(24) כאשר מתקינים פסי רכבת משאירים רוח בין פס אחד לבין הפס שבשימושו. הסבירו את הסיבה לכך.

- (25) העתיקו את המשפט הנכון למחברת. כאשרנו הולכים לישון בלילה קריר אנו מתכסים בשמייה כי השמייה:
- (א) מספקת חום לגופנו.
  - (ב) מזרימה חום מהסביבה לגופנו.
  - (ג) מבודדת את גופנו מהסביבה הקרה, וכך שקצב זרימת החום מגופנו אל הסביבה קטן יותר.
  - (ד) מעניקה לגופנו תחושת מגע רכה ו נעימה.

(30) שני בקבוקים בעלי נפחים שונים מכילים אותו סוג של גז.



ב

א

הטמפרטורה של הגז בשני הבקבוקים היא  $20^{\circ}\text{C}$ .

(א) האם האנרגיה הקינטית (המומוצעת) של חלקיק בכלים א' שווה לאנרגיה הקינטית (המומוצעת) של חלקיק בכלים ב'? הסבירו.

(ב) האם האנרגיה הקינטית של סך כל החלקיקים בכלים א' שווה לאנרגיה הקינטית של סך כל החלקיקים בכלים ב'? הסבירו.

(28) טמפרטורת גופה של טלי  $37^{\circ}\text{C}$ , והיא נמצאת בחדר שהטמפרטורה בו היא  $24^{\circ}\text{C}$ . לפי חוק השתוות הטמפרטורות אמרור לזרום חום מגופה של טלי לסביבה, עד שטמפרטורת גופה תשווו לטמפרטורת הסביבה.  
מדוע הטמפרטורה של גופה (של טלי) נשארת  $37^{\circ}\text{C}$  ולאינה יורדת?  
רמז: המרת אנרגיה...

(29) קיראו (סעיף 5) אודוט הניסויים של ג'אול.

- (א) תארו את הניסויים בקצרה.  
(ב) הסבירו כיצד הסיק ג'אול מהניסויים כי חום הוא סוג של אנרגיה.

אנרגיות הקשר של חלוקתם	הרווחים שבין חלוקתם	האנרגiya הקיינטית של חלוקתם	טמפרטורה	haireau
				מחממים מוצק
				מחממים נוזל הנמצא בטמפרטורת ותיחה
				מרקורים נוזל
				מחממים גז

(33) אור חימם גוש חומר, שהיה לכתיחה במצב מוצק, עד שכל החומר הפך לנז (הוא המשיך לחמס את החומר גם כשהיה במצב צבירה של גז). במהלך החימום הוא מدد את הטמפרטורה של החומר במרווחי זמן שוויים של דקה, וערך את הנתונים בטבלה הבאה:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	זמן – זדקות)
T°C	40	46	52	52	52	55	58	61	61	61	61	70	79	88	

(31) במאה ה-18 שלטה במדע תאוריית אחרת (מזו שלמדנו) אודות החום. תאורייה זו נקראה – "מודל הקלוריק". לפי מודל זה כסוגוף קולט חום, הוא קולט חומר שקראו לו קלוריק. ככל שכמות הקלוריק בגוף מסוים גדולה יותר – הטמפרטורה של הגוף גדולה יותר. הצביע ניסוי שיאפשר לכם להחליט האם תאורייה זו מדעית או לא. לצורך הניסוי הניחו שעומדים לרשותכם: גוש מתכת, מד משקל ולהבת גז.

(32) הטבלה הבאה מတדת מספר אירועים. העתיקו את הטבלה למחברת והשלימו אותה. האפשרויות הן: גדלה/קטנה, גדים/קטנים, לא משתנה.

(ה) הסבירו את השינויים החלים בחומר במהלך החימום לאור המודל הג'אולוגי של החום.

(34) לפניכם שלוש תופעות ושני משפטיים.

התופעות:

(א) גזים מתערבבים זה בזו בנקל.

(ב) אפשר לדחוס גז ולהקטין את נפחו.

(ג) הגז ממלא את נפח הכליל שבו הוא נמצא.

המשפטים:

(1) בין חלקיקי הגז יש רוחמים גדולים.

(2) חלקיקי הגז נעים בתנועה אקראית.

העטיקו כל אחת מהתופעות למחברת ורישמו

צד כל תופעה את המשפט/ המשפטים

המהווה/המהווים הסבר לתופעה.

\*(35) על מנת לאפשר רחצה בבריכה, ללא סכנת הידבקות במחללה, מחותאים את הבריכה בנוזל חיטוי מיידי שבוע. את הנוזל שופכים באחת הפינות של הבריכה והוא מתפזר תוך זמן מה בבריכה כולה.

הסבירו, על סמך המודל החלקיקי של החומר, מדוע חומר החיטוי מתפזר מעליו בכל מי-הבריכה.

(א) שרטטו גרפ שיתאר את הטמפרטורה (T) כפונקציה של זמן החימום (t)?

(ב) 1. במשך כמה זמן היה החומר במצב מוצק (בלבד)?

2. כמה זמן נמשך תהליך ההיתוך (חומר הופך ממוצק לנוזל)?

3. במשך כמה זמן היה החומר במצב צבירה נוזל (בלבד)?

4. כמה זמן נמשך תהליך הרתיחה (החומר הופך מנוזל לנוזל)?

(ג) 1. מהי טמפרטורת ההיתוך של החומר?  
2. מהי טמפרטורת הרתיחה של החומר?

(ד) רישמו את התחומיים בגרף שבהם החום המסופק לחומר בא לידי ביתוי:

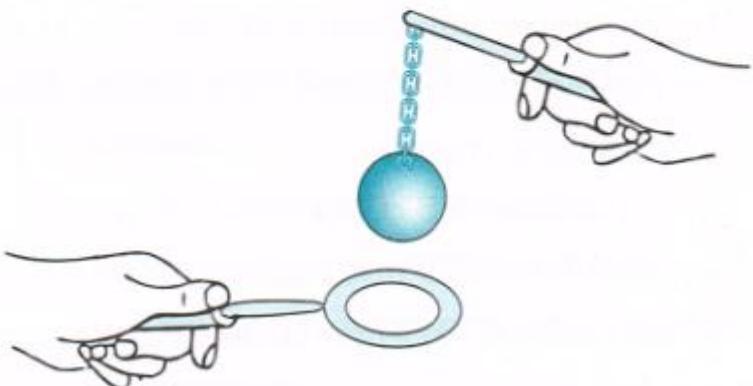
1. אך וرك בשינוי אנרגיית הקשר של החלקיקים.

2. אך וرك בשינוי אנרגיית התנועה של החלקיקים.

3. גם בשינוי אנרגיית הקשר וגם בשינוי אנרגיית התנועה של החלקיקים.

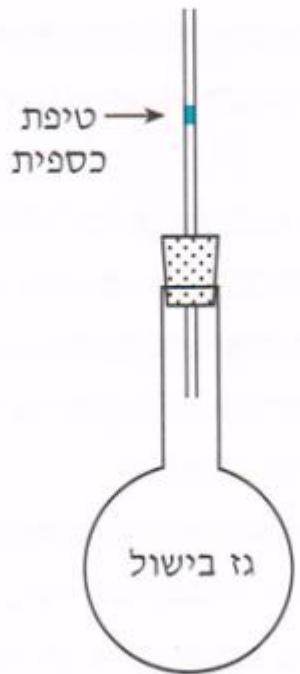
\* (36) מזרימים גז לשני חדרים אוטומאים. בחדר א' יש אוויר ובחדר ב' אין אוויר.  
באיזה חדר יתפזר הגז בחלל החדר מהר יותר?  
נקו.

(38) לקחו טבעת ברזל וכדור ברזל, שקווטרו מעט פחות מהקוטר של החלק הפנימי של הטבעת (ראו איור). הצביעו שתי דרכים שימנעו מהcador לעبور דרך הטבעת.



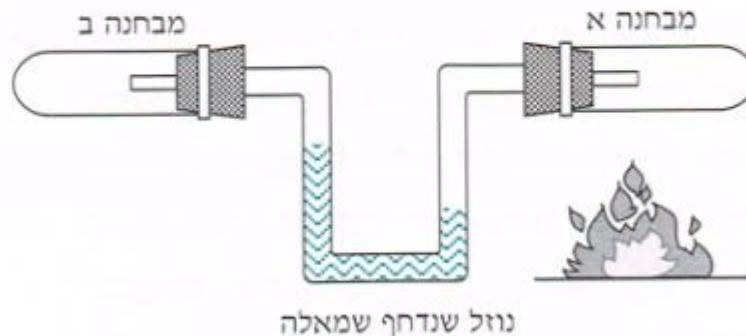
- (37) העתיקו את המשפט הנכון למחברת.  
הmozek קשה מן הנוזל. הסיבה לכך היא:  
(א) החלקיקים במזק מסודרים ואינם משתנים את מיקומם. כל אחד מהם מבצע תנודות מוגבלות סביב נקודת קבועה.  
(ב) החלקיקים במזק אינם נעים כלל.  
(ג) החלקיקים של המזק קשים מאוד.  
(ד) אין כלל רוחחים בין חלקיקי המזק.

\* (40) התרשימים שלפניכם מותאר בקבוק סגור בפקק שדרכו עוברת צינורית. הבקוק מלא גז, החסום על-ידי טיפת כספית המצויה בצינורית.



מה יקרה לטיפה אם נקרר את הגז שבבקבוק? הסבירו.

(39) חיברו שתי מבחנות (א' ו-ב') על-ידי צינור, שבתוכו נוזל צבוע (ראו ציור). לאחר שהחיממו את מבחנה א', נדחף הנוזל לצד השני של הצינור (ראו איור).



הסבירו, על סמך המודל הגיאולוגי, את הסיבה לתופעה זו.

\* (41) כאשר מתקנים חוטי חשמל בין עמודים, דואגים שהחוטים יהיו רופאים מעט. התוכלו להסביר מדוע?

(42) גדוען מתקשה לחלץ את מכסה המתכת מראשו של הבקבוק. טלי (תלמיד פיסיקה מצטיינת) התנדבה לעזור לו. היא התיזה מים חמים על המכסה והמכסה נשלף בקלות. הtocלו להסביר מדוע?

(43) שירה אחזה בידה קצה של כפית, ואת הקצה השני הניחה מעל שלhabת נר. תוך זמן קצר חשה שירה בחום גם בקצה המוחזק בידה. הסבירו – כיצד עבר החום מקצת אחד של הכפית (הקצה המוחזם) אל הקצה השני זיכרו – חלקיקי המוצק קרובים מאוד זה לזה. כמו כן, הם רוטטים בלבד.

(44) "לא רק כוחות התאחיזה שבין חלקיקי הנוזל מונעים מהנוזל להפוך לנוז, אלא גם לחץ האוויר המעיך על הנוזל ממעל".

(א) הסבירו את המשפט הנ"ל על סמך המודול הג'אולי.

(ב) בגובה פני הים רותחים המים בטמפרטורה של  $100^{\circ}\text{C}$ .

1. הסבירו מדוע באיזור ים המלח רותחים המים בטמפרטורה של  $101^{\circ}\text{C}$ .
2. האם המים ירתחו בפסגת הר האורוסט בטמפרטורה נמוכה או גבוהה מ- $100^{\circ}\text{C}$ ? נמקו.

## תשובות לחלק מהשאלות

(7) ד.

$20^{\circ}\text{C}$  (27)

(ב) לא. (30) (א) כן.

(36) בחדר א'.

(38) רמז: חומרים מתפשטים על-ידי חימום ומתכווצים על-ידי קירור.

(40) הטיפה תרד.

(41) רמז: בחורף...