

יחידת למידה-הערכה בנושא: ממוחשי למופשט (ממאקרו למיקרו)

מבוא פדגוגי

עריכה: יהבית לוריא

כתיבה: דר' יונית חביב, תהילה לנגה, יהבית לוריא

דר' יעל שוורץ ודר' ליאורה ביאלר

לפני עריכה לשונית, פברואר 2020



תוכן עניינים

1. יחידת למידה-הערכה בנושא: ממוחשי למופשט (ממאקרו למיקרו)
3. א. מבוא: רקע פדגוגי וסקירת אסטרטגיות להתמודדות עם הקושי
13. ב. הדגמת הקושי בתשובות שגויות של תלמידים

א. מבוא: רקע פדגוגי וסקירת אסטרטגיות להתמודדות עם הקושי

ניתן להתבונן על עולם הטבע בשתי דרכים - האחת היא החשיבה המוחשית (הקונקרטית), באמצעותה אנחנו מסתכלים על הדברים כפי שהם, כפשוטם, והשנייה היא החשיבה המופשטת (האבסטרקטית) באמצעותה אנחנו מסתכלים על הדברים כחלק מפאזל שלם ובהקשרים של תמונה רחבה יותר. החשיבה המוחשית עוסקת בכל מה שנתפס על ידי החושים וכלי המדידה, בהקשר לתופעה/תהליך/אובייקט שלפנינו. החשיבה המופשטת עוסקת בחשיבה על התופעה/תהליך/אובייקט תוך התייחסות לנקודות מבט שונות, כמו: מה האובייקט הזה מזכיר לי? האם אנחנו מכירים תופעה/תהליך דומים? מהי המשמעות של התופעה? לאלו מושגים מדעיים התופעה/תהליך קשורים? מהו התהליך או המנגנון שבגללו התופעה קורית? במה ניתן להשתמש באובייקט? לדוגמא: ניקח תופעה פשוטה של נפילת תפוח מהעץ על הקרקע. אפשר להסתכל על האירוע הזה ברמה המוחשית הפשוטה: התרחש כאן אירוע שבו תפוח נפל מלמעלה למטה, ואפילו לחצות כי אם ייפול מענף גבוה יותר, יותיר גומה עמוקה יותר בחול וכדומה. אבל אפשר גם להתבונן באירוע ברמה המופשטת שמתייחסת לכלל החפצים שנופלים: מדוע הם נופלים? האם יש משהו שמושך את החפץ למטה? האם זה כוח הכבידה של כדור הארץ? אלו גורמים משפיעים על מהירות נפילת החפץ? החשיבה המופשטת במדע חיונית לפיתוח תיאוריות מדעיות, ומבחינת התלמידים – לפיתוח של יכולות של הנמקה, חשיבת חקר (בידוד משתנים וניסוח השערות, הסקת מסקנות), פתרון בעיות וחשיבה רפלקטיבית. החושבים חשיבה מופשטת נעזרים לשם כך בחשיבה ביקורתית ויצירתית, במודלים, אנלוגיות ומטפורות המסייעות להבין את העולם. יכולת החשיבה המופשטת מתפתחת עם תהליך ההתבגרות של ילדים. לפי פיאזה (שנות ה-60 של המאה ה-20), החשיבה המופשטת מתחילה להתפתח בין גילאי 11-12 ומגיעה לבשלותה לא לפני גיל 15. צפו [בסרטון קצר](#) על תיאוריית התפתחות החשיבה של פיאזה מהגיל הרך עד התיכון. מאידך, קיימת גישתו של לב ויגוצקי (1978) הטוענת כי באמצעות תיווך מתאים של מומחה (הורה, מורה) ניתן לקדם את החשיבה של התלמידים בכל שלב בלמידה, בהתאמה ליכולת התלמיד כפרט.

חשיבה מופשטת נדרשת להבנה וליישום של רעיונות, מושגים ועקרונות מדעיים, אך מסתבר שתלמידים רבים מתקשים בה בכיתה ז', למשל בהקשר להסבר תופעות בעזרת המודל החלקיקי של החומר. [בערכת ה.ל.ה "מצבים ושינויים בחומר- המודל החלקיקי"](#) ניתן אפיון של קשיים אלו: א. קשה לתלמידים להבין ולהסכים עם הרעיון שהריק הוא חלק ממבנה החומר, שהחלקיקים נעים בתנועה מתמדת ואקראית ושהם לא פועלים מתוך רצון ומטרה, ולכן האנשתם היא שגויה.

ב. התלמידים מייחסים לחלקיק הבודד תכונות "מאקרוסקופיות", כמו צבע, ברק, מוליכות חשמלית, מצב צבירה. או: טענה שחלקיקי האוויר מתכווצים כאשר דוחסים אותם במזרק, וההיפך – הם מתפשטים כאשר מגדילים את נפח המזרק.

קשיים דומים עולים בכיתה ז' גם בהקשר למצבי צבירה, חוק שימור המסה ונושא האנרגיה - בהקשר למושגים כמו סוגי אנרגיה, המרות אנרגיה, מעברי אנרגיה וחוק שימור האנרגיה. תמונה זו עולה מהמחקר, מעדויות של מורים וממסמכי הפקת תועלת מתשובות תלמידים מבחני מפמ"ר ומיצ"ב.

ניתן לעזור לתלמידים לפתח את החשיבה המופשטת בעזרת אסטרטגיות פדגוגיות שונות.

1. אסטרטגיית דיאלוג בין המוחשי למופשט

ד"ר רות וולק ורות ברנשטיין (2016), מעלות את בעיית הפער בין החשיבה המופשטת של המורה, בהקשר למושגים מדעיים, לבין החשיבה המוחשית והאסוציאטיבית של תלמידים. כיון שהמורים והתלמידים אינם שותפים לאותו עולם אסוציאציות, המורים לא מודעים להבדל זה ועלול להיווצר מצב של "כאילו" דיאלוג – משום ששניהם משתמשים באותן מילים ובאותה לשון, אבל נותנים משמעות אחרת לאותו המושג. "כאילו" דיאלוג כזה עלול ליצור חוסר בהירות אצל התלמיד ומצב של תסכול וחוסר סבלנות אצל המורה. פער זה עלול להביא את המורה ליצירת דיכטומיה המבדילה בין תלמידים "חזקים" ל"חלשים" בהקשר להתמודדות עם חשיבה מופשטת. כיצד ניתן לפתח חשיבה מופשטת?

וולק וברנשטיין מציעות לתכנן תהליך הדרגתי של הוראה-למידה שבו הלומדים מתרגלים את השימוש בהסבר המדעי המופשט ומשווים אותו להסברים האינטואיטיביים הקודמים שלהם. הסברים אלו הינם מטבעם הסברים חלקיים ו/או נקודתיים ומתבססים, במקרים רבים, על הרובד המוחשי ו/או הרגשי והאסוציאטיבי של הלומדים.

החשיבה המופשטת מבוססת על השערות לוגיות, המיוחסות לחלק הבלתי מוחשי של התופעה הנלמדת. כדי שההסבר המופשט המדעי של תופעה יתקבל על דעתם של הלומדים, נדרשת מהם יכולת התרחקות מן החוויה המיידית והחושית. כך יוכלו לפנות מקום להתבוננות אלטרנטיבית על התופעה הנלמדת. לעתים התלמידים אינם ערים כלל להבחנה בין תיאור העובדות/נתונים ובין ההסבר המוצע להם וכך גם לקשר ביניהם. לכן, הם זקוקים להתערבות הדידקטית בהבחנה בין הרובד הגלוי של התופעה ובין ההסבר האפשרי הנמצא לרוב ברובד הסמוי. עיסוק חוזר ונשנה בכל הזדמנות בהבחנות אלו וביחס בין ההיבטים הללו יכול לסייע לתלמידים להבין את הנושא הנדון בשיעור.

הן מדגישות שמטרת התהליך הדידקטי איננה לאתר "תשובות נכונות" אלא לאפשר שיח וחשיבה על התשובות, תוך כדי יצירת עימות ביקורתי בין עולם הלומדים לבין התכנים הנלמדים. הקניית תהליכי חשיבה מופשטת עשויה אומנם לערער אצל התלמידים את הביטחון הנובע מהסתמכות על

החווים כמייצגי המציאות, אבל גם לחזק את הביטחון הנובע מהיכולת הקוגניטיבית הנבנית אצלם בהדרגה.

להדגמת האסטרטגיה הפדגוגית הן מביאות דוגמה מהכיתה: באחד השיעורים ניסתה המורה להוכיח את הטענה שאוויר תופס מקום ע"י הכנסת כוס "ריקה" הפוכה לקערת מים שפקק שעם צף עליהם. פני המים ועמם הפקק ירדו מתחת לכוס הפוכה. כשנתבקשו התלמידים לתת הסבר לתופעה, אמר אחד מהם: "הפקק ירד למטה כי אין לו אוויר", לכאורה זוהי תשובה לא רלוונטית ומסתברת כתשובה אסוציאטיבית: נראה שהכוס שסגרה על הפקק העלתה בקרב התלמיד אסוציאציה של מחנק. התשובה הפתיעה את המורה והשאירה אותה פעורת פה, מפני שהיא הציגה את הניסוי הזה כדי להוכיח את קיומו של האוויר בכוס, אך התלמיד נשאר בתפיסה אינטואיטיבית מוקדמת שלו שלפיה "מה שלא רואים, אינו קיים". הן מדגישות שדווקא התשובה ה"לא נכונה" היא הזדמנות לפתח דיאלוג עם התלמיד וכך לברר את מקור הקשיים. אפשר לשאול את התלמיד אם חשב על "סגור = מחנק" כשדיבר על חוסר אוויר. אפשר לתת לגיטימציה למחשבה שלו ולומר "אילו בתוך הכוס הזאת היה יצור חי, היה בוודאי מרגיש מחנק". כך התלמיד מקבל חיזוק למעורבותו בשיעור והמורה מתרגל איתו גמישות מחשבתית. דיאלוגים כאלה לוקחים זמן, אך תורמים למשמעות של הלמידה עבור התלמיד.

בשלב הבא על המורה לתאר יחד עם התלמידים את הרובד הגלוי של התופעה (תוצאות הניסוי): "הכוס ה"ריקה" לא נתמלאה במים, ופני המים בקערה ירדו" ואחריה להציע בעצמו, או בעזרת תלמידים, את ההסבר המדעי המקובל. ומכאן לעבוד על חיזוק ההסבר המדעי המקובל בעזרת הדגמות משמעותיות של תופעות נוספות, כמו: שחרור בועות אוויר ע"י הטיית אותה כוס הפוכה מתחת למים ומעקב אחר עליית מפלס המים בתוך הכוס (בשילוב מדידה המעידה על הרובד הגלוי של התופעה).

2. אסטרטגיות להמחשת מושגים ומודלים מופשטים.

קשה ללמד תלמידים באופן מילולי מושגים מופשטים ומודלים מופשטים של רעיונות מרכזיים במדע. בספר הלימוד משלבים בצד הטקסט המילולי איורים דו-מימדיים, אבל הם אינם מספקים, כי הם לא מתארים התרחשויות שיש בהם תנועה ושינויים ממצב למצב. לכן, חשוב להציע לתלמידים כלי תיווך שיעזרו להם לראות בדמיונם מצבים משתנים באמצעות מאפיינים מוחשיים. נפרט כאן שלושה כלים:

א. כלי מדידה – כלי מדידה מאפשר לתאר באמצעות מדדים מוחשיים מצבים משתנים במצב מאקרו, כמו שינוי בנפח, לחץ וטמפרטורה. מדדים אלו עשויים לסייע לתלמיד לפתח הסברים גם ברמת המיקרו. לשם כך, מומלץ לתכנן ניסויים שניתן לשלב בהם מדידות כאלו.

ב. "משקפי הקסם" - אסטרטגיה פדגוגית לציור מצבים שונים של החומר ברמת המיקרו ולתיאורם

באופן מילולי. האסטרטגיה פותחה על ידי דר' יוסי נוסבוים ודר' שמשון נוביק (1981) מהאוניברסיטה העברית בירושלים. התלמידים מדמיינים שקיבלו "משקפי קסם" המאפשרים להם לדמיין מהו המבנה החלקיקי של החומר. בעזרת המשקפיים הם מציירים חומר כלשהוא במבט חלקיקי- מתייחסים לגודל החלקיקים, למרחק בין החלקיקים, לאופן בו הם מסודרים וכו' בהמשך, המורה ולעיתים גם התלמידים האחרים בכיתה מעריכים את נכונות הציורים באמצעות מדדים ומאפיינים שונים. ניתוח הציורים מסייע לזהות תפיסות נאיביות של תלמידים, הן ברמת המאקרו והם ברמת המיקרו.

נוסבוים ונוביק מציעים להיעזר ב"משקפי הקסם" בכל שלב בלמידה, החל מהשלב המתבסס על ידע קודם בלבד בו התלמידים מתבקשים לצייר את מבנה החומר על פי תפישתם הנאיבית ועד להערכת הסברי התלמידים לשינויים במצבי הצבירה לאחר שהבינו את מאפייני המודל החלקיקי של החומר בשלושת מצבי הצבירה.

ג. **הדמיות ממוחשבות (אנימציות, סימולציות)** - טכנולוגיות התקשוב פותחות בפני המורה אפשרויות חדשות להגברת האפקטיביות של תהליכי הוראה-למידה הדורשים חשיבה מופשטת. לסרטוני אנימציה ולסימולציות ממוחשבות יש פוטנציאל גבוה לסייע לתלמיד להבנות מושגים מופשטים ומערכות מורכבות, בהשוואה ללמידה מסורתית המתרכזים בהסברים וורבליים הניתנים בטקסט ובאיורים.

בסרטוני אנימציה - התלמיד יכול לצפות באופן תלת-מימדי במצבים דינאמיים ברמות מורכבות שונות, ולעקוב אחר התהליך והשינויים ממצב למצב.

דר' לימור ליבוביץ (2015) מתייחסת בבלוג שלה [להרצאת טד של ג'נט איוושה](#) (2014), העוסקת בתרומת אנימציות למדענים כדי לשכנע בתיאוריות שלהם. היא מעלה את השאלה מדוע קל לנו יותר להבין תופעות מורכבות באמצעות אנימציה ומעלה שלושה יתרונות לאנימציה על איור דו-מימדי סטטי:

א. האנימציה היא דינאמית (לכן ניתן לייצג באמצעותה מידע דינאמי מורכב)

ב. האנימציה מדמה בהצלחה תנועה במרחב

ג. ניתן לייצג באנימציה מאפיינים שונים באמצעות צבע/ גודל/ אופן תנועה.

בסימולציה ממוחשבת - התלמיד יכול לבצע ניסוי ממוחשב בו הוא יכול לבדוק את השינויים באופן עצמאי, לשנות גורמים ולבדוק מהן התוצאות שמתקבלות בעקבות השינוי ולנתח אותן.

3. אסטרטגיית שאילת שאלות לחשיפת ידע קודם של תלמידים

מחקרים רבים בהוראת המדעים מראים כי לתלמידים ישנן תפיסות נאיביות הנובעות מניסיונם בחיי יומיום. תפיסות אלו יוצרות לפעמים תבנית של ידע ספונטני מוטעה שאינו מתאים לידע המדעי

המקובל באותה עת (הידע המופשט). במקרה זה מגדירים אותן תפישות שגויות או תפישות אלטרנטיביות. תפישות אלו משותפות לתלמידים בגילאים שונים ובתרבויות שונות, הן רווחות גם בקרב תלמידים שכן למדו מדעים. הבעיה היא שהן הגיוניות, יציבות, עקשניות וקשות לשינוי. כדי לקדם את החשיבה המופשטת של התלמידים, חשוב קודם לחשוף את הידע המוקדם ולבחון האם יש בו רמזים לקשיים בחשיבה מופשטת ולתפיסות חלופיות. בכתבה ב"זמן חינוך", קובי שורצבורד (2017), ממובילי קהילות המורים לפיסיקה במכון ויצמן, משתף באסטרטגיה של שאלת שאלות כדי לחשוף את הידע הקודם של התלמידים. הוא מתבסס על אסטרטגיות שלמד מפרופ' בת שבע אלון ופרופ' אסתר בגנו, מקבוצת הפיסיקה במחלקה להוראת המדעים. נקודת המוצא שלו היא האמירה של דיוויד אוסובול "הגורם החשוב ביותר המשפיע על הלמידה הוא מה שהלומד כבר יודע. ברר זאת, ולמד אותו בהתאם".

באסטרטגיה שהוא מציע כלולות שאלות מסוגים שונים:

1. שאלת הבנה או שאלת הצגת עמדה – זוהי שאלה פתוחה על מנת לנתח מה הידע של התלמידים ועל אלו הנחות יסוד הם מתבססים כשהם מציגים עמדה.
2. שאלה מאבחנת (דיאגנוסטית) – על מנת לזהות קשיים ספציפיים, במקרה של תפישות נאיביות שאופייניות לתלמידים. אין צורך לתת לתלמידים שאלונים שלמים שלעיתים כוללים מעל 20 שאלות, אלא לבחור מספר מצומצם של שאלות, או אף שאלה אחת. כיון שלרוב בוחרים בשאלה מאבחנת רב-ברירתית, חשוב לדרוש מהתלמידים לבחור את התשובה הנכונה ולהוסיף נימוק מדוע בחרו בה, שכן רבים המקרים שהתלמידים בוחרים את התשובה הנכונה מהסיבות הלא נכונות.
3. שאלת נכון או לא נכון - התלמידים מקבלים שאלה ותשובות של תלמידים (בין אם תשובות אמיתיות של תלמידים או תשובות שהמורה המציא). עליהם לזהות מה החלק הנכון והחלק הלא נכון של התשובה. בעזרת חיפוש הטעות והזיהוי שלה, אנו כמורים יכולים לגלות מה הידע והתפישות של התלמידים בנושא הנשאל. השימוש באסטרטגיה זו חשוב שיעשה בשלבים, בגישת "הוראה קלינית":
 - א. המורים בוחרים/מנסחים שאלה פורייה שתתאים לחשיפת ידע מוקדם של תלמידים. ניתן להכין את השאלה בשאלון גוגל מקוון, כדי להקל על איסוף התשובות והשוואתן.
 - ב. התלמידים משיבים לשאלה באופן יחידני - זהו אתגר בפני עצמו כי התלמידים לא מתלהבים להשיב בכתב מחשש לענות תשובה שגויה. לכן, חשוב ליצור אווירה המעודדת למידה מטעויות.
 - ג. המורים אוספים את התשובות (בשיח כיתתי או באמצעות השאלון המקוון), ומציגים את השכיחות של כל תשובה (מסתבר שתלמידים מתלהבים לדעת אם צדקו וכמה השיבו כמוהם).

- ד. המורים מקיימים דיון במליאה על התשובות שעלו, התלמידים מסבירים מדוע בחרו בתשובה זו ולבסוף המורה מנסח את התשובה הנכונה ומדגים אותה על תופעה אחרת.
- ה. התלמידים מבצעים רפלקציה על התהליך שעברו.

4. אסטרטגיית ה-PEOE - להתמודדות עם דיסוננס קוגניטיבי

אחת האסטרטגיות המקדמות הוראה קונסטרוקטיביסטית היא אסטרטגיית ה P.O.E- (Predict - Observe – Explain), שפותחה ע"י White and Gunstone (1992). בהמשך, הוסף לה שלב נוסף של הסבר לניבוי של התופעה, באופן הבא:

Predict – Explain - Observe – Explain (או בעברית: נבא-הסבר-צפה-הסבר)

זוהי אסטרטגיה אפקטיבית מאד, הלוקחת בחשבון את הידע הקודם של התלמיד ומסייעת למורה לפעול על רקע ידע זה. ליישום אסטרטגיה זו בוחרים בהדגמת "תופעה מפתיעה" שקשורה בתפישה נאיבית של תלמידים. בהנחה שהתוצאה שתתקבל בהדגמה תפתיע את בעלי תפישה זו, אנו מניחים שיווצר "דיסוננס קוגניטיבי" (הפער בין ניבוי התופעה לפני ההדגמה לבין התוצאה בפועל לאחר ההדגמה) שיאלץ את התלמידים לבחון את הידע אתו הגיעו מול מה שראו בהדגמה בפועל.

יישום האסטרטגיה מתבצע בחמישה שלבים:

נבא - Predict - הפעילות מתחילה בתיאור המערכת של ההדגמה ("תופעה מפתיעה") והצגת שאלה: מה יקרה כתוצאה מפעולה מסוימת שנבצע? התלמידים מתבקשים לשער מה לדעתם יקרה ולרשום זאת בכתב באופן יחידני (ניתן גם לבצע בעזרת שאלה רב-ברירתית עם מסיחים המייצגים את התפישות הנאיביות הצפויות). החיזוי חשוב כדי ליצור מתח לקראת התצפית בהמשך.

נמק / הסבר - Explain - מבקשים מהתלמידים לנמק /להסביר מדוע לדעתם יקרה מה שניבאו, ואחר כך להציג בכיתה את הניבוי המנומק. המורים מקיימים דיון קצר על ההסברים השונים ומסכמים (אם מנבאים באמצעות שאלה רב-ברירתית, מציגים סיכום כמותי של שכיחות המשיבים לכל מסיח).

צפה בתופעה - Observe - המורים מבצעים את ההדגמה ה"תופעה המפתיעה" ומבקשים מהתלמידים להתבונן בתשומת לב. התוצאה גורמת לתלמידים בעלי התפישה השגויה, להיות מופתעים ולהתלהב מהתוצאה. התלמידים מתבקשים לתאר בכתב במילים ובאיור מה בדיוק ראו בתצפית.

הסבר - Explain - התלמידים מתבקשים לכתוב הסבר מדעי לתופעה שראו ולהציג בכיתה. אחרי כן המורים מציגים לתלמידים את ההסבר המקובל לתופעה ומקיימים דיון על ההסברים החלופיים שהוצעו ע"י התלמידים ומדוע אינם מתאימים. בכך המורה חושף את התלמידים לידע חדש ונותן מקום לתפישות הקודמות של התלמידים.

רפלקציה אישית - reflection - התלמידים מתבקשים לחשוב על ההתנסות שחוו ולכתוב:

א. מה הרגישו במהלך הפעילות?



ב. מה היתה התפתחות הידע שלהם בעקבות הפעילות? עליהם להתעמת עם הידע איתו התחילו ולכתוב מה למדו בעקבות התוצאה שהתקבלה – מה הבינו ומה עדין לא מבינים.
 במרכז הארצי למורי מו"ט בחט"ב (לוריא, 2006) פותח כלי מארגן ליישום האסטרטגיה:

תשובות	שאלות מנחות		השלב
	מה יקרה אם...? מה אתם מצפים שתראו? השיבו בכתב.	נבאו	P redict
	מדוע אתם חושבים שכך יקרה? נמקו בכתב	נמקו הסבירו	E xplain
	מה ראיתם? תארו בכתב ובציור	צפו ותארו	O bserve
	האם מה שראיתם זהה למה שניבאתם? אם לא: כיצד תסבירו סתירה זו? שפרו והרחיבו את ההסבר לתופעה	הסבירו	E xplain
	מה הרגשת במהלך התנסות זו? מה הבנת לגבי המושג / העקרון עליו מבוסס הסבר התופעה?	הרהור על ההתנסות	R eflection

5. אסטרטגיית המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר וחובריו

תלמידים הפוגשים בפעם הראשונה בתופעה חדשה, ינסו לפרש אותה באמצעות מערכת המושגים הקיימת בהכרתם, אלא שלא תמיד היא תואמת את מערכת המושגים המדעית המקובלת. כיצד על המורה ללמד כדי לסייע לתלמידים לאמץ את התפישות המדעיות המקובלות ולוותר על התפישות הנאיביות? דר' תמי יחיאלי מציעה לאמץ את האסטרטגיה שפיתחו פוזנר ועמיתיו (1982), בשם: "המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר". המודל נבנה על בסיס הגישה הרואה בלמידה תוצאה של אינטראקציה בין המושגים והרעיונות שהתלמידים מחזיקים בהם לבין המושגים המדעיים החדשים שמלמדים אותם, אשר יתכן שנמצאים בסתירה למערכת המושגים הקודמת.

באינטראקציה זו יכולים לקרות שני תהליכים:

א. התלמידים מסבירים את הידע החדש אליו הם נחשפים באמצעות מערכת המושגים הקיימת.

ב. התלמידים מאמצים את מערכת המושגים החדשה ומוותרים על התפיסה הקודמת.

על מנת שהתלמידים יאמצו את התפיסה החדשה ויזנחו את הישנה צריכים להתקיים שלושה תנאים:

1. התפיסה החדשה ניתנת להבנה.

2. התפיסה החדשה מתקבלת על הדעת וסבירה.

3. התפיסה החדשה נראית כפורייה.

1. התנאי הראשון: התפיסה ניתנת להבנה

לפי מודל זה, תלמידים יתחילו לבחון תפיסה חדשה (או מושג חדש), רק אם ירגישו שהם מסוגלים להבין את התפיסה לפחות ברמה הלשונית הראשונית (הבנת הנקרא), כלומר שהמושגים יעוררו אצלם משמעות אישית כלשהי (בין אם המשמעות תואמת את המשמעות המדעית המקובלת, ובין אם לא). לדוגמה: טמפרטורת התכת ברזל היא 1530°C , בה הוא הופך לנוזל. תפיסה זו ברורה לתלמיד מבחינה לשונית ולכן ניתנת להבנה. אך יש גם לבדוק האם יש במשפט מושג מדעי שאינו בשימוש בשפת היומיום של התלמיד, כמו התכת קרח (בשפת יומיום- המסת קרח). אם התפיסה לא תעמוד בתנאי הראשון יש לשנותה על ידי החלפת מילים, תיקון מבנה המשפט, או הצגתה בייצוגים חלופיים. שכן אם לא, התלמיד עלול להתעלם מהתפיסה המוצעת, או יבנה משמעות שונה ותיווצר תפיסה שגויה. למשל, המושג כוח נתפס בחיי היומיום במשמעות של חוזק ואלומות בעוד שבשפה המדעית הוא ביטוי לעצמת האינטראקציה וכיוונה.

דר' תמי יחיאלי (2001) מציעה לבדוק את הבנת המושגים המדעיים באמצעות טבלה פשוטה:

שם המושג	משמעות יומיומית	משמעות מדעית
לדוגמא: התכת קרח	המסה הקרח לנוזל	בטמפרטורת ההתכה של הקרח החומר משנה את מצב הצבירה ממוצק לנוזל

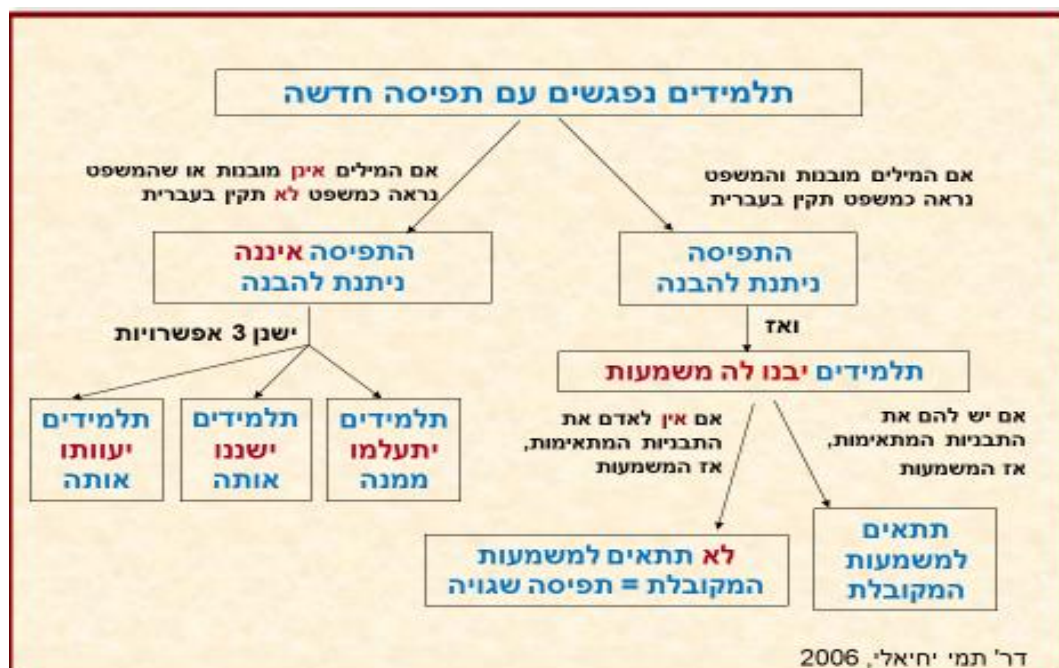
2. התנאי השני: התפיסה מתקבלת על הדעת וסבירה.

כדי שתפיסה ש"ניתנת להבנה" (כלומר עומדת בתנאי הראשון), תאומץ על ידי תלמידים באופן משמעותי, עליה להיראות בעיניהם "הגיונית", "אפשרית במציאות" ו"מתקבלת על הדעת". תפיסה תיראה בעיני התלמידים "הגיונית" מנקודת מבטם, אם התיאור שהיא מציעה מתיישבת עם הנחות יסוד, מושגים, עובדות וטענות הקיימים כבר בהכרתו. כלומר, שאין הכרח שהתלמיד יאמין באמיתות הרעיון אך לפחות הוא יאמר לעצמו שיתכן והרעיון אפשרי. לדוגמה: אם נמשיך עם טמפרטורת התכת הברזל, יתכן שישנם תלמידים שחושבים שברזל הוא מוצק ואינו יכול להפוך לנוזל לעולם. במקרה זה התפיסה לא תתקבל על דעתם. במקרה זה חשוב שהמורה יפגין אמפתיות כלפי תחושות התלמיד וייתן לו לגיטימציה להתבטא חופשי בכיתה.

3. התנאי השלישי: התפיסה נראית כפוריה

כדי שתלמידים יאמצו תפיסה חדשה ויעזבו את הקודמת, לא מספיק שהם מבינים את הרעיון והוא נראה להם אפשרי. צריך שהרעיון החדש יהיה פורה וייתן הסבר לתופעות ודוגמאות רבות יותר מאשר נתנה התפיסה הקודמת ושיניב רעיונות מאתגרים ושאלות חדשות. לשם כך על המורים להציג בפני התלמידים תופעות ותהליכים שסותרים את הרעיונות הנאיביים שלהם ולבקש מהם להסביר באמצעות מערכת המושגים המדעיים החדשה שלמדו. בנוסף לתיאור המילולי של התופעות והתהליכים, מומלץ להיעזר גם בייצוגים חלופיים באמצעות סרטונים והדמיות (אנימציות וסימולציות).

ניתן לסכם את תהליך השינוי התפיסתי בתרשים הבא:





מינהלת מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי וטכנולוגי
על-שם עמוס דה-שליט



מקורות מידע:

אוניברסיטה פתוחה (2018) "התפתחות קוגניטיבית - התיאוריה של פיאזה", יחידה 8.3. וולק. ר. וברנשטיין ר. (2016) ["הכאילו מוחשי והמופשט לכאורה"](#). "קריאת ביניים" עלון מורי מדע וטכנולוגיה בחט"ב, חוברת 26-27. מכון ויצמן למדע

וולק. ר. וברנשטיין ר. (2017) ["תהליך ההוראה-למידה כמסע חשיבה בין המוחשי למופשט"](#). "קריאת ביניים" עלון מורי מדע וטכנולוגיה בחט"ב, חוברת 28-29. מכון ויצמן למדע

יחיאלי ת. (2001), [המודל לשינוי תפיסתי של פוזנר](#). אאוריקה- עלון מורי מדע וטכנולוגיה ביסודי, גליון 13. אוניברסיטת תל אביב.

יחיאלי ת. (2007), [תרומת המודל-לשינוי-תפיסתי-של-פוזנר-להוראת החוק-השלישי-של-ניוטון](#). אתר מוטנט למורי מדע וטכנולוגיה בחט"ב, מכון ויצמן

לוריא י. (2006) [PEOE- אסטרטגיה להסבר של התרחשות או תופעה מדעית](#). מרכז ארצי למורי מו"ט בחט"ב, מכון ויצמן.

ליבוביץ ל. (2015), [המחשה של מידע מקדמת הבנה עמוקה- דרכים ללמידה משמעותית](#). האגף לטכנולוגיות מידע, משרד החינוך

נוסבויס, י. ונוביק, ש. (1981), "כיצד ייראה האוויר במשקפי קסם? - תלמידים ממציאים מודל מדעי". פרסומי מחקר, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית ירושלים, או במדריך למורה "מבנה החומר- ריק וחלקיקים" (1998).

נוסבויס י. ויחיאלי ת. (תשס"א) ["תפיסות שגויות ושינוי תפיסתי בהוראת המדעים"](#). מכון מופ"ת שוורצבורד ק. (2017), [הדבר הכי חשוב שאני עושה כשאני ניכנס לכיתה](#). זמן חינוך

שוורצבורד ק. (2017), [נבא-צפה-הסבר](#). זמן חינוך

שץ – אופנהיימר, א. (2014), [לחשוב מחדש במציאות משתנה](#) / על תורתו החינוכית של קרל פרנקנשטיין. הוצאת כרמל ירושלים.

Lucariello j. (2019), [How Do I Get My Students Over Their Alternative Conceptions \(Misconceptions\) for Learning?](#) american Psychological Association.

Ylvisaker m. (2006), [WHAT ARE CONCRETE AND ABSTRACT THINKING?](#)

Learnet, new york state

ב. הדגמת הקושי בתשובות שגויות של תלמידים

במשימת מפמ"ר לכיתות ז' בשנה"ל תשע"ז מצאנו בתשובות התלמידים ביטוי לתפישות נאיביות שגויות של התלמידים ולקשיים בחשיבה מופשטת בהסבר מדעי (מה קרה ברמה המיקרוסקופית לתופעה ברמה המקרוסקופית?). ראינו בתשובות של תיאור תופעות והסבר מדעי קושי להשתמש במושגים מופשטים כמו אוויר, נפח, מסה, לחץ, כוח (שניתנים לתחושה/מדידה ברמת המקרו), והמודל החלקיקי של מבנה החומר ומאפייני החלקיקים ברמת המיקרו. קשיים של חשיבה מופשטת עלו גם בשאלות העוסקות בהסבר מדעי של המרות אנרגיה ומשמעות חוק שימור המסה.

בחרנו להדגים קשיים אלו באמצעות תשובות שגויות לשאלות הבאות:

שאלה 2:

ליאור ושני לקחו גוש אדמה גדול ופוררו אותו לפירורים קטנים בתוך דלי.

א. האם חל שינוי במבנה החלקיקי של החומר? כן/לא

ב. הסבירו את תשובתכם (התייחסו לשלושה מאפיינים של חלקיקי החומר, מבין הבאים: סוג החלקיקים, מספר החלקיקים, גודל החלקיקים, כוחות המשיכה בין החלקיקים והמרחק ביניהם).

תשובה נכונה:

לא. כאשר מפוררים גוש אדמה, החומר עצמו והמבנה החלקיקי של גוש האדמה לא משתנים אלא רק צורת הגוף. סוג החלקיקים, גודל החלקיקים וכוחות המשיכה ביניהם בכל פירור אדמה, נשארו זהים למאפיינים אלו בגוש האדמה. לגבי מספר החלקיקים הכולל, גם הוא לא השתנה. מספר החלקיקים בסה"כ פירורי האדמה זהה למספרם בגוש האדמה השלם.

ניתוח תשובות שגויות:

הדגמת הקשיים בהקשר למעבר ממוחשי למופשט (ממקרו למיקרו)			תשובות שגויות
תפישות שגויות	הבחנה בין גוף לחומר: מייחסים לגוף מאפיינים של חלקיקים ברמת המיקרו וההיפך	מעבר מחשיבה מוחשית לחשיבה מופשטת	
		חסר מעבר לחשיבה מופשטת, הסבר מיקרו של השינוי במאפייני החלקיקים	כן, כי החומר עצמו לא השתנה, רק הצורה לא, כי הכל נשאר אותו הדבר, חוץ מזה שזה נהיה לאבקה
			לא, כי האדמה נשארת במצב צבירה מוצק, גם אחרי שמפוררים את הגוש
	טענה שגויה בגלל בלבול בין פירור אדמה לחלקיק של החומר: שימוש בשפת המיקרו (מרחק בין חלקיקים, גודל ומספר		כן. חל שינוי כי: א. בגוש האדמה כל החלקיקים היו צפופים מאד ובדלי הם לא היו צפופים מאד. ב. כשפוררו את גוש האדמה

	החלקיקים (להסבר השינוי שחל בגוף ברמת המקרו)		כוחות המשיכה נחלשו וגודל החלקיקים קטן ומספר החלקיקים גדל
	ייחוס מאפיינים ברמת המאקרו לחלקיקי החומר- החלקיקים זזים, המרחק ביניהם משתנה כי מפזרים אותם בדלי		לא. כי החלקיקים לא משתנים, לא גדלים ולא קטנים, רק זזים
פירור מוצק לאבקה מוסבר במונחים של שינוי מצב צבירה			כן, חלקיקי החומר יכולים להשתנות בגלל שמפוררים אותו והוא הופך לפחות מוצק. המרחק משתנה כי מפזרים את החומר בדלי.

שאלה 3

טל ביצעה ניסוי בכיתה: היא לקחה בקבוק קוני פקוק שבצידו יש פתח. דרך הפקק שבראש הבקבוק נעוץ משפך זכוכית. טל אטמה את הפתח בצד בעזרת האצבע (כפי שמתואר באיור), ומזגה מים למשפך, אבל המים נותרו במשפך, ולא זרמו לתוך הבקבוק.



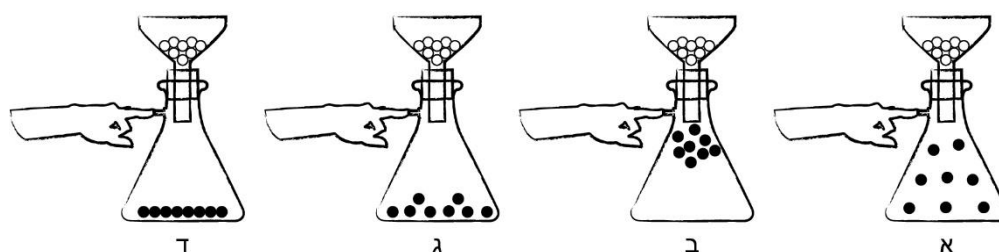
חלק א'

האיורים שלפניכם מתארים את ההתרחשות בניסוי בעזרת "משקפי הקסם".

– איזה איור מתאר את מצב חלקיקי החומרים במשפך ובבקבוק לפני זרימת המים לתוכם? הקיפו בעיגול.

– הסבירו מדוע המים לא זרמו לתוך הבקבוק.

לפני זרימת המים לבקבוק



מקרא: ○ חלקיקי מים
● חלקיקי אוויר

תשובה נכונה:

הסבר נכון המתייחס לשלושה רכיבים:

- טל אטמה את הפתח הצידי של הבקבוק

• בבקבוק יש אוויר, שלא מאפשר כניסת מים.

• ידע מדעי: האוויר תופס את כל נפח הבקבוק.

לדוגמא: המים לא זרמו לתוך הבקבוק כיון שבבקבוק נמצא אוויר שתפס את כל נפח הבקבוק, והפתח הצידי של הבקבוק היה אטום.

הסבר חלקי - מתייחס רק ל-2 מרכיבי ההסבר

לדוגמא: המים לא זרמו לתוך הבקבוק כיון שבבקבוק נמצא אוויר שלא אפשר למים להיכנס.

ניתוח תשובות שגויות:

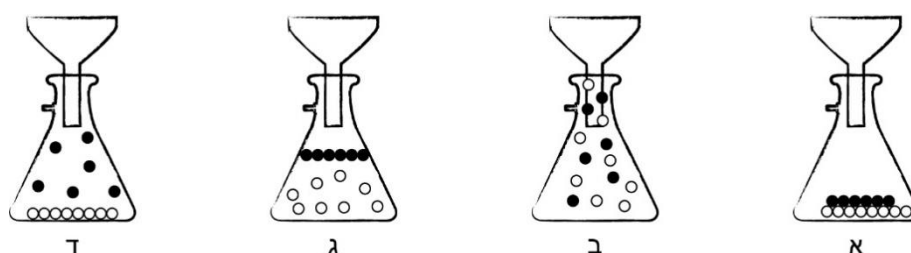
הדגמת הקשיים בהקשר למעבר ממוחשי למופשט (ממקור למיקור)			תשובות שגויות
תפישות שגויות	יישום מושגים ועקרונות הדורש חשיבה מופשטת	מעבר בין חשיבה מוחשית למופשטת	
		לא הבינו את הניסוי המתואר באיור-טעו בפתח דרכו המים לא זרמו	איור א, המים לא זרמו לתוך הבקבוק כי טל סתמה את המשפך עם היד שלה ולמים לא היתה דרך להיכנס לבקבוק
הבנת המושג לחץ		לא הבינו את התופעה ברמת המקור	איור א. המים לא זרמו לבקבוק כי היה לחץ במשפך שנכנס לתוך הבקבוק
לחץ אוויר קיים רק בכלי סגור.	לא הסבירו מה מקור הלחץ- החלקיקים מתנגשים זה וזה ובכלי	שימוש בהאנשה במקום בחשיבה מופשטת: חלקיקי האויר לא נתנו...	איור א'. כי נהיה בבקבוק לחץ ואז חלקיקי האוויר לא נתנו לחלקיקי המים להיכנס
	בחרו מאפיין לא רלוונטי של החלקיקים והתייחסו אליו באופן שגוי		איור א'. כי טל חסמה עם האצבע את חור הבקבוק ואז היא הפחיתה את כוחות המשיכה
לא מקבלים את הרעיון שהאוויר אינו רציף אלא יש ריק בין החלקיקים		לא השתמשו בעקרון שהאוויר תופס את כל נפח הכלי	איור א'. כי כשטל חסמה את הפתח של הבקבוק לא היה מרחב של אויר כדי שהמים יזרמו לתוך הבקבוק הקוני
א. לא מקבלים את המודל החלקיקי האומר שהחלקיקים נעים בתנועה מתמדת בכל נפח הכלי.		מייחסים לחלקיקים פעולה מוחשית ואנושית של חסימת הפתח המוכרת להם באופן אינטואיטיבי	איור א. כי היו חלקיקי אויר שחסמו להם את המעבר
תפיסה חלופית אינטואיטיבית שבבקבוק סגור חלקיקי האוויר מתרכזים בראש הכלי/ליד הפתח.הסבר אינטואיטיבי	לא הסבירו מה מקור הלחץ ברמת המיקור- כי החלקיקים מתנגשים זה וזה ובכלי	מייחסים לאוויר מאפיינים של גוף שמפעיל כוח ולוחץ את המים החוצה.	איור א. כי היה המון אויר שהפעיל לחץ ולא נתן למים להיכנס לבקבוק ולחץ אותם החוצה איור ב. כי חלקיקי האוויר מפעילים לחץ על חלקיקי

			המים ולכן המים לא זרמו לבקבוק
--	--	--	----------------------------------

חלק ב' + ג'

בהמשך הניסוי, טל שחררה את האצבע מהפתח שבצד הבקבוק, והמים זרמו לתוך הבקבוק.
 ב. איזה איור מתאר את מצב חלקיקי החומרים בבקבוק לאחר זרימת המים לתוכו? הקיפו בעיגול.

אחרי זרימת המים לבקבוק



מקרא: ○ חלקיקי מים
 ● חלקיקי אוויר

ג. מה קרה לחלקיקי האוויר לאחר שהמים זרמו לתוך הבקבוק?
 התייחסו לכל אחד מהמאפיינים של חלקיקי האוויר המוצגים בטבלה.

מה קרה לחלקיקי האוויר? (הקיפו בעיגול)	מאפיינים
גדל / קטן / לא השתנה	גודל חלקיקי האוויר בבקבוק
גדל / קטן / לא השתנה	מספר חלקיקי האוויר בבקבוק
גדלו / קטנו / לא השתנו	כוחות המשיכה בין חלקיקי האוויר בבקבוק

תשובה נכונה:

איור ד'.

גודל חלקיקי האוויר בבקבוק לא השתנה

מספר חלקיקי האוויר בבקבוק קטן

כוחות המשיכה בין חלקיקי האוויר בבקבוק לא השתנו

ניתוח תשובות שגויות:

קושי בהבנת התופעה	תשובות שגויות
-------------------	---------------

מספר חלקיקי האוויר בכלי לא השתנה (השיבו כ-50%)	יתכן שלא התייחסו לעובדה שמדובר במערכת פתוחה, או לא הבינו את הניסוי ואת התנהגות החלקיקים בכלי. יש קשר בין שאלה 3.א. לשאלה 3.ג. – לגבי השינוי במספר החלקיקים: תלמידים שלא הבינו בשאלה 3.א. שהמים לא נכנסו בגלל שהאוויר תפס את כל נפח הכלי, ושלא היה פתח המאפשר יציאה של החלקיקים מהמערכת, עלולים לשגות בסעיף זה 3.ג' בו נדרשת אותה הבנה של התופעה אבל בכיוון ההפוך.
---	--

שאלה 4

לפניכם תיאור של שינוי בחומר: חלקיקי החומר שהיו לא מסודרים, רחוקים מאוד זה מזה, ונעו באקראיות ובמהירות גדולה, התקרבו זה לזה ונעו בסיבוב, ואגב כך החליפו מקומות זה עם זה. השיבו על השאלות הבאות:

- באיזה מצב צבירה היה החומר בהתחלה?
- איך נקרא התהליך של שינוי מצב הצבירה שעבר החומר?
- איזו פעולה גרמה לשינוי המתואר: חימום או קירור?
- באיזה מצב צבירה נמצא החומר לאחר השינוי המתואר?

תשובה נכונה:

- באיזה מצב צבירה היה החומר בהתחלה? גז
- איך נקרא התהליך של שינוי מצב הצבירה שעבר החומר? התעבות
- איזו פעולה גרמה לשינוי המתואר: חימום או קירור? קירור
- באיזה מצב צבירה נמצא החומר לאחר השינוי המתואר? נוזל

ניתוח תשובות:

הדגמת הקשיים בהקשר למעבר ממוחשי למופשט (ממקרו למיקרו)			תשובות שגויות
מעבר בין חשיבה מוחשית למופשט	יישום מושגים ועקרונות הדורש חשיבה מופשטת	תפישות שגויות	רובם השיבו נכון לגבי מצב הצבירה ההתחלתי: גז אבל שגו בתהליך השינוי ובמקום לכתוב התעבות ציינו תהליכים אחרים כמו התכה, הקפאה, פעפוע, אידוי, הולכה
קושי בזיהוי התהליך הקורה בגז כשעובר למצב צבירה נוזל - רבים השיבו ההיפך: התכה באמצעות חימום, או שחימום הגז מביא לשינוי מצב הצבירה לנוזל	יתכן ויש קושי ליישם את המושגים המקובלים לציון מעברים בין מצבי צבירה.		

שאלה 5

מיכל קנתה קרחון (קרטיב) בחנות שליד ביתה. היא השאירה את הקרחון על השולחן במטבח ושכחה ממנו. כששבה למטבח לאחר חצי שעה היא ראתה שכל הקרחון הפך לנוזל.

- א. השלימו: הקרחון עבר תהליך הנקרא _____
- ב. לפניכם מספר תשובות של תלמידים שמסבירות את התופעה שמיכל ראתה. כתבו ליד כל תשובה האם היא נכונה או לא נכונה. אם התשובה שגויה, הסבירו את הטעות בעזרת המודל החלקיקי של החומר.

תשובות תלמידים	נכון / לא נכון	הסבר הטעות בתשובות השגויות
א. בעקבות התהליך שהתרחש בקרחון השתנה גודל החלקיקים בקרחון.		
ב. מספר החלקיקים שבקרחון במצב מוצק גדול ממספרם שבקרחון במצב נוזל.		
ג. החלקיקים שבקרחון במצב נוזל מסודרים פחות וצפופים פחות מאלו שבקרחון במצב מוצק.		

תשובה נכונה:

שם התהליך: התכה/היתוך

תשובות תלמידים	נכון / לא נכון	הסבר הטעות בתשובות השגויות
א. בעקבות התהליך שהתרחש בקרחון השתנה גודל החלקיקים בקרחון.	לא נכון	בעת שינוי מצב צבירה גודל החלקיקים לא משתנה
ב. מספר החלקיקים שבקרחון במצב מוצק גדול ממספרם שבקרחון במצב נוזל.	לא נכון	בעת שינוי מצב צבירה, אין הוספה ואין גריעה של חלקיקים, ולכן מספר החלקיקים נותר קבוע
ג. החלקיקים שבקרחון במצב נוזל מסודרים פחות וצפופים פחות מאלו שבקרחון במצב מוצק.	נכון	

ניתוח תשובות שגויות:

תשובות שגויות	הדגמת הקשיים בהקשר למעבר ממוחשי למופשט (ממקרו למיקרו)		
	מעבר בין חשיבה מוחשית למופשטת	יישום מושגים ועקרונות הדורש חשיבה מופשטת	תפישות שגויות
א. שינוי בגודל החלקיקים: 40% מהתלמידים השיבו שגודל החלקיקים השתנה: – כי החלקיקים גדלים ומתרחקים ומגיעים למצב נוזל	בלבול בין רמת המאקרו לרמת המיקרו: כשהנפח גדל החלקיקים גדלים		

שינוי בטמפרטורה משפיע על גודל החלקיקים			– כי גודל החלקיקים משתנה בטמפרטורות מאוד גבוהות או מאוד נמוכות.
האנשה: חלקיקים מתפשטים ומתכווצים בהשפעת הטמפרטורה	תיאור חלקיקים באמצעות מאפיינים מוחשיים של הגוף	בלבול בין רמת המאקרו (שינוי הנפח) לבין רמת המיקרו (החלקיקים)	– כי כשחם החלקיקים מתפשטים וכשקר הם מתכווצים
החלקיקים משתנים במעבר ממצב צבירה מוצק לנוזל			– כי חלקיקי הנוזל שונים מחלקיקי המוצק
הכלילו את חוק שימור המסה ללא תלות בתנאים	הפכו את חוק שימור המסה לגורם לתופעה		אלו שהשיבו שגודל החלקיקים לא השתנה: – כי לפי חוק שימור המסה גודל החלקיקים לא משתנה
קושי בהבנת משמעות המושג כוחות המשיכה בין החלקיקים	בחרו במאפיין של החלקיקים שאינו עונה לשאלה		– כי השתנו רק כוחות המשיכה בין החלקיקים
		נשארו בתיאור התופעה ברמת המקרו	– כי חל שינוי רק במצב הצבירה
כשהנפח גדל מספר החלקיקים קטן	התייחסות למערכת כמערכת פתוחה, בה חלק מחלקיקי הקרחון ניגרו החוצה.	בלבול בין רמת המקרו (שינוי הנפח) לבין רמת החלקיק	ב. שינוי מספר החלקיקים: אלו שהשיבו שמספר החלקיקים גדל במעבר ממוצק לנוזל: – כי במצב נוזל הם יותר משוחררים ויש פחות חלקיקים
		נשארו בתיאור התופעה ברמת המקרו	אלו שהשיבו שמספר החלקיקים לא השתנה: – כי השתנה רק מצב הצבירה
	השיבו על סוג החלקיקים במקום על מספר החלקיקים		– כי חלקיקי החומר אינם משתנים בעת שינוי מצב צבירה