

יחידת למידה-הערכה בנושא: ניסוח הסבר מדעי לתופעות ולתהליכים (מבנה, תוכן ושפה)

מבוא פדגוגי

עריכה: יהבית לוריא

כתיבה: דר' ליאורה ביאלר, דר' יעל שוורץ ויהבית לוריא

לפני עריכה לשונית, פברואר 2020

הפרויקט מבוצע על פי מכרז 09/07.13 עבור המזכירות הפדגוגית. משרד החינוך.
© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך

תוכן עניינים

א. מבוא: רקע פדגוגי וסקירת אסטרטגיות להתמודדות עם הקושי	3
סוגי הסברים מדעיים	4
ניסוח תשובות הסבר מדעי של תלמידים	5
הערכת הסברים של תלמידים	6
קשיים של תלמידים	6
אסטרטגיות הוראה להתמודדות עם הקשיים	7
מקורות מידע	10
ב. הדגמת הקושי בתשובות שגויות של תלמידים	11
שאלה 3	11
שאלה 14	13

א. מבוא: רקע פדגוגי וסקירת אסטרטגיות להתמודדות עם הקושי

הסבר מדעי הוא ביטוי מילולי כתוב או דבור שמתייחס לסיבה מדוע מתרחשת תופעה מדעית מסוימת, או לדרך בה מתבצע תהליך מסוים ומהם התנאים וההשלכות של המאורע שנצפה בתופעה. הסבר מדעי עונה בדרך כלל על השאלה מדוע או כיצד. ניסוח ההסבר מחייב הבנה של תופעה או תהליך הנצפים ישירות או מוצגים בטקסט/איור/הנפשה וכו', וקישור שלהם למושגים או עקרונות מדעיים. היכולת לנסח הסבר מדעי והיכולת להעריך את סבירותו של ההסבר המוצע, על בסיס הראיות וההצדקות המדעיות, הוגדרו כאחת משמונה הפרקטיקות החיוניות ללמידת מדעים על ידי ה NRC כבר ב-2012 ועל פי מסמכי פיזה ב-2015 וב-2019.

הסבר מדעי הינו הסבר המתבסס על ידע מדעי ועל ראיות ונתונים נצפים ונמדדים ולא על אמונות, דעות ומטא-פיסיקה שהם פסאודו-מדעיים. הסבר מדעי טוב ניתן להפרכה בכלים מדעיים, בעוד שהסברים פסאודו-מדעיים לא ניתנים להפרכה. מדענים משתמשים בשילוב של ראיות ושל ידע מדעי כדי לפתח הסברים ולתמוך בסבירותם, להצדיק את המסקנות והמודלים המתבססים עליהן ולתמוך בסבירותם, וכן כדי להרחיב את מסקנותיהם למצבים חדשים (מסגרת מושגית - TIMSS 2019).

ההסבר המדעי משמש אמצעי לקיום שיח מדעי מיטבי בין מדענים, לצורך שכנוע בטענות המצביעות על גורם, או תהליך שהביאו לתוצאה או אירוע מסוים, להסבר על תהליכים ומנגנונים, ולהגנה על השערות לגבי חיזוי תוצאות. כדי להבין טוב יותר מה חשיבותם של הסברים מדעיים ואלו רכיבים קריטיים יש בהם, כדאי לצפות ולהאזין להרצאת TED של פרופ' נעמי אורסקס מהרווארד שניתנה ב-2014 "[מדוע עלינו לסמוך על מדענים?](#)"

לבניית הסבר של תופעות מדעיות יש להתייחס לשני היבטים: מבנה ההסבר המדעי ותוכן ההסבר המדעי.

בהיבט של תוכן ההסבר, נדרש ידע תוכן - צריך להיזכר ולהשתמש נכון ברעיונות מרכזיים, תאוריות ומודלים, עקרונות, מושגים, מידע ועובדות, תוך הקפדה על **שפה מדעית** מדויקת.

בהיבט של מבנה ההסבר, נדרש הסבר מדעי מלא הבנוי משלושה רכיבים:

1. **טענה** – אמירה או קביעה המציעה הסבר לתופעה/אירוע/תהליך שמבקשים להסביר.

2. **נימוקים לתמיכה בטענה**:

א. **ראיות (אם יש)** - עובדות או נתונים נצפים/נמדדים אשר מתאימים כדי לתמוך בטענה לגבי הסבר התופעה או התהליך..

ב. **ידע מדעי** – תיאוריות, רעיונות, או עקרונות מדעיים אשר מתאימים להסביר את התופעה או התהליך ולתמוך בטענה שהוצגה.

3. **הצדקה** – משפט שמבהיר מדוע/כיצד הראיות והידע המדעי תומכים בטענה, כלומר בהסבר המוצע לתופעה ולתהליך. משפט זה מקשר, בעזרת מילות קישור מתאימות, בין הנימוקים לטענה ובהקשר

לתופעה או לתהליך שמנסים להסביר.

הסברים מדעיים טובים מתייחסים לכל הראיות (אם קיימות) ולכל הידע המדעי המתאים, והם מאפשרים גם לחזות התרחשויות נוספות שניתן לבדוק אותם.

סוגי הסברים מדעיים:

וגנר (2006) ניתחה הסברים של תלמידים על פי אופן ההצדקה ואפיינה ארבעה סוגים עיקריים:

1. **הסבר התפתחותי סיבתי** - הסבר תופעה או תהליך אשר מציג שרשרת אירועים והסיבות להם כהצדקה לתוצאה הסופית.

לדוגמה: טיפות המים שעל גבי הכוס הם אדי מים שהתאדו, כי כאשר הוספנו קרח לכוס המיץ הקרח ניתן וטמפרטורת המיץ ירדה. בעקבות כך ירדה גם טמפרטורת האוויר (בסביבת הכוס), ירידה שגרמה לכך שאדי המים שסביב לכוס התעבו והפכו לטיפות מים.

2. **הסבר פונקציונאלי** - הסבר תופעה במונחים של תפקוד. ההסבר מציג קשר בין מבנה/תכונה/מאפיין

לבין תפקוד. הסבר זה מתאים למערכות ביולוגיות, לקשר בין מבנה חומרים ותכונותיהם ומערכות טכנולוגיות, או לקשר בין התאמות ביצורים חיים (מבניות, התנהגויות או פיסיולוגיות) לתנאי סביבה.

לדוגמה: תאי דם אדומים הם תאים בודדים הנעים בחופשיות בפלסמה הזורמת בכלי הדם ותפקידם להוביל חמצן אל תאי הגוף. הם מותאמים לתפקיד בגודלם ובמבנה שלהם:

- בגלל גודלם הקטן, תאי הדם יכולים לעבור גם בנימים דקים.

- התא בנוי בצורה דו-קערית המגדילה את שטח המגע שלו לצורך קליטת החמצן לתא.

- בתא דם אדום אין גרעין, לכן הוא יכול להכיל כמות גדולה יותר של חמצן.

3. **הסבר מכני** - הסבר המביא ראיות שמתייחסות לחוקים בטבע כהכללה או כשיקוף של המציאות

לדוגמה: גופים נופלים ארצה בגלל כוח המשיכה של כדור הארץ הפועל עליהם. כוח המשיכה תלוי במסת הגוף.

4. **הסבר אנלוגי** - הסבר המשתמש במאפיינים של תופעה מוכרת כדי להסביר תופעה לא מוכרת,

שהמסביר מוצא בה מאפיינים דומים.

לדוגמה: הקבלת זרם חשמלי לזרם מים במערכת סגורה: הסוללה = משאבה, חוט החשמל = צינור מים, מוליך עם התנגדות = צינור מים עם התנגדות.

לכל תחום דעת במדעים יש עקרונות ייחודיים שמהווים בסיס להצדקת הטענה. למשל:

בכימיה, נהוג להסביר תופעות או להמליץ על החלטות טכנולוגיות (Talanquer, 2018) על בסיס:

א. הקשר בין מבנה המולקולה ו/או הקשרים בין המולקולות לבין תכונות החומר

ב. האופן בו מתנהגים חלקיקים בעת התרחשות כימית מסוימת

ג. הקשר בין תכונות החומר לדרישות השימוש בו.

בפיסיקה, למשל, ניתן להסביר תופעות באמצעות המרות ומעברי האנרגיה המתרחשים בתופעה או באמצעות תיאור הכוחות הפועלים על הגוף בעת התרחשות תופעה.

בביולוגיה, נוהגים להסביר תופעות באמצעות רעיונות כמו:

א. הקשר בין מבנה לתפקוד

ב. הקשר בין דרגות ארגון שונות במדרג הביולוגי ובמיוחד בין הרמה המקרוסקופית של המתרחש ביצור השלם, מערכות ואיברים לבין המתרחש ברמה המיקרוסקופית ברמת הרקמה, התא ואף התהליכים הביוכימיים

ג. גישה מערכתית לפיה שינוי באיבר או מערכת אחת משפיעים על איברים ומערכות אחרות ומאפשרות שמירה על שיווי משקל דינמי

ד. התאמות מבניות, התנהגויות ופיסיולוגיות המעניקות יתרון או חסרון אבולוציוני

ניסוח תשובות הסבר מדעי של תלמידים

בעת ניסוח הסבר מדעי, התלמידים נדרשים תמיד להציג טענה להסבר שהם שמציעים ונימוק של ידע מדעי מתאים כדי לתמוך בה. לגבי שאר מרכיבי ההסבר המדעי, במקרים מסוימים התלמידים נדרשים לנסח הסבר מדעי הכולל רק חלק מהרכיבים, כמו במקרים הבאים:

א. **בשאלה בה אין ראיות ברכיבי השאלה** - יינתן הסבר ללא ראיות.

לדוגמה: בתשובה לשאלה "מדוע נהוג לרשום את כמות הגז במכלי גז לפיקניק בגרמים?" התשובה תהיה "נהוג לרשום את כמות הגז על מִכְלִי גז לפיקניק בגרמים ולא במיליליטר כי כאשר מכניסים גז למיכל גז קשיח בעל נפח קבוע, נפח הגז יהיה תמיד זהה לנפח המִכְלִי בעוד מסת הגז תשתנה בהתאם לכמות הגז שהוכנסה לִמְכֵל."

ב. **בשאלה שמילת ההוראה שלה "נמקו"** – התלמיד יציג טענה ויביא נימוקים, מסוג ראיות ו/או ידע מדעי, אשר מתאימים כדי לתמוך בטענה, ללא הכרח לנסח הצדקה.

לדוגמה: בתשובה לשאלה "האם מסת האוויר משתנה כאשר לוחצים על הבוכנה במזרק מלא אוויר שפייתו חסומה? נמקו את תשובתכם", התשובה תהיה: "מסת האוויר לא השתנתה כשדחסנו את האוויר במזרק כי לא הכנסנו עוד גז ולא הוצאנו גז מן המזרק"

הדרישה לניסוח הסבר מדעי של תלמידים עשויה לעלות גם בשלבים שונים של תהליך החקר, לשם ביסוס השערת החקר או לשם הדיון בתוצאות ובמסקנות. פרק המסקנות והדיון בעבודת החקר הוא בעצם טיעון מורכב (כולל תמיכה ו/או הסתייגות אם צריך) שבו הטענות הן מסקנות המחקר והן נתמכות בראיות שהן הממצאים האמפיריים של המחקר. בטיעון התלמידים יתייחסו לאישור / הפרכה של ההשערה. בנוסף, על התלמידים להציג הסבר מדעי לתוצאות ומסקנות שהתקבלו ולתמוך בהן, בעזרת ידע מדעי קודם והתייחסות למערך החקר ודרך איסוף הנתונים.

להסברים אלו יש לעתים יעדים ספציפיים כמו הסבר הקשר בין סיבה לתוצאה ברמת המאקרו וברמת המיקרו, הסבר הקשר בין תהליך לתוצאה, הסבר הקשר בין מבנה ותפקוד (בביולוגיה ובטכנולוגיה), הסבר הקשר בין מבנה/ תהליך פיסיולוגי/ התנהגות לסיכויי הישרדות ויתרון או חסרון אבולוציוני.

הערכת הסברים של תלמידים:

כאשר מורה מנסה להבין מהם הקשיים בהם נתקלים תלמידיו, מומלץ להיעזר בתבנית להערכת הסברים של תלמידים המשלבת ניתוח של מבנה ההסבר עם ניתוח של תוכן ההסבר (וגנר 2006).

הרכיב בהסבר		ניתוח מבנה ההסבר		ניתוח תוכן ההסבר	
		ציטוט הרכיב בהסבר התלמיד	התייחסות ביקורתית	אפיון סוג ההסבר	התייחסות ביקורתית לתוכן המדעי
טענה					
נימוקים (ראיות ו/או ידע מדעי)					
הצדקה					

קשיים של תלמידים

תלמידים רבים אינם מיומנים בניסוח הסבר מדעי איכותי ברמת התוכן, ונתקלים בקשיים בשני מרכיבים:

א. מרכיב הידע המדעי וטכנולוגי

1. תלמידים מעלים טענה שאינה תואמת את הידע המדעי הפורמלי, או אינה תואמת לראיות.
2. תלמידים מתקשים לזהות מהו הידע המדעי הרלוונטי לתופעה שאותה הם מתבקשים להסביר ולכן הם אינם מגייסים ידע מתאים.
3. תלמידים מתקשים לחלץ מידע מייצוגים רלוונטיים לתופעה שלא מפורשים במלל (Talanquer, 2018).
4. תלמידים נותנים ביטוי להשקפות אישיות ולידע אינטואיטיבי היוצרים הסבר יומיומי או נאיבי שלא מסתמך על ראיות ונתונים, כנהוג בהסבר מדעי.
5. בהסבר אנלוגי- תלמידים לא מזהים נכון על פי מה עליהם להשוות את שתי המערכות.

ב. מרכיב הצדקת ההסבר

1. תלמידים אינם מבינים את הצורך והחשיבות של ציון ראיות ונתונים בניסוח הסבר (Sandoval, 2003).
2. תלמידים מספקים לעתים רחוקות הצדקה לסיבה בגללה בחרו בראיה כדי לתקף את ההסבר.
3. תלמידים מסבירים לעיתים את הראיות באמצעות האנשה/ היבטים מטפיזיים או באופן טלאולוגי.
4. מתן הסבר טאוטולוגי- תלמידים חוזרים על מילות או נתוני השאלה, מבלי להוסיף ידע חדש.

5. בהסבר התפתחותי סיבתי - תלמידים נוטים להשמיט את הסיבה או את התוצאה, או מתקשים בחשיבה מנגנונית ולכן לא מתייחסים כראוי לתהליך/ים שמתאר/ים את הקשר בין הסיבה לתוצאה.
6. בהסבר מכני - תלמידים משתמשים לעתים בחוקים ועקרונות מדעיים כסיבה להתרחשות התופעה.
7. תלמידים אינם בוחרים בעקרונות מדעיים ייחודיים לתחום הדעת המתאימים בהצדקה (Talanquer, 2018).

אסטרטגיות הוראה להתמודדות עם הקשיים

במחקר שבחן את דפוסי העבודה של מורה בקידום הסברים מדעיים בכיתה, תוך כדי תהליך חקר, נמצאו גורמים שתומכים ביכולת התלמידים ליצור הסברים מדעיים (Hoffenberg & Saxton, 2015) ובהם:

1. ידע תוכן מעמיק הנוגע לסוגיה שבהקשר שלה יש להסביר.
2. ניסיון קודם של התלמידים בביצוע חקר וניסוח הסברים.
3. שיטות הוראה המשלבות בין עיסוק בתכנים לבין התנסויות של התלמידים בניסוח הסברים.
4. ציפיות ברורות לניסוח הסבר שעומד בסטנדרטים ברורים.

נסקור כאן מספר אסטרטגיות הוראה שעשויות לקדם את התלמידים בבניית הסבר מדעי:

1. הסבר הרציונל לניסוח הסבר מדעי

McNeill and Krajcik (2008) בדקו כמה מאפייני הוראה מפורשת של הסברים מדעיים ואת תרומתם לקידום יכולת התלמידים לנסח הסברים ובהם: הגדרה, הדגמה, הסבר הרציונל ויצירת קשר בין הסברים מדעיים להסברים בחיי יומיום. הם מצאו כי להסבר הרציונל היה האפקט החיובי הגדול ביותר על יכולת התלמידים לנסח הסברים. הסבר הרציונל מתבצע באמצעות דיון מטה-אסטרטגי כמודגם בדגם ההוראה "מסבירים מדע" (יחיאלי 2009) שפותח במרכז הארצי למורי מדע וטכנולוגיה בחט"ב: מתי יש לנסח הסברים מדעיים מלאים/ חלקיים? לשם מה (מה הרציונל/ מה החשיבות) יש לנסח הסברים מדעיים מלאים? איך מנסחים הסבר מדעי מלא? (מהם מרכיבי ההסבר המדעי? איך מזהים אותם? איך מנסחים כל אחד מהם? מהו הסבר מדעי טוב?)

2. מתן משימות המזמנות הסבר מדעי

על פי Talanquer (2018), להבי ואלון (2015) ומועלם (2011), יש לזמן ללומדים משימות שונות, בהן התלמידים ידרשו להתנסות ולפתח יכולות של הצדקת ההסברים שלהם באמצעות דרכי הצדקה שונות, ביניהן שימוש בעקרונות מדעיים ייחודיים לנושאי הלימוד שלמדו. בדגם ההוראה "מסבירים מדע", ניתנת המלצה להוראה מפורשת של המיומנות בהקשרים שונים של תוכן מדעי.

3. שימוש מדויק במילות הוראה ושאלה

- הדרישה להסבר מדעי מגיעה במילות שאלה והוראה שונות כמו נמקו, הסבירו מדוע, הסבירו כיצד. לפעמים הדרישה להסבר מופיעות רק עם מילות השאלה מדוע וכיצד, ללא הנחייה מפורשת לגבי רכיבי ההסבר הדרושים. על המורים להבהיר לתלמידים את הדמיון והשוני בין מילות השאלה וההוראה השונות, לדייק באופן התשאל ולוודא הבנה של התלמידים.
- **בתשובה למילת הוראה "נמקו"** - התלמידים צריכים להביא נימוק/ים (ראיות ו/או ידע מדעי) כדי לתמוך בטענתם. מומלץ בתחילה להוסיף תיווך כדי לכוון את התלמידים. למשל, נמקו (הביאו ראיות התומכות בטענתכם), או נמקו (הסבירו מהו העיקרון המדעי שתומך בטענתכם). בהדרגה ניתן להסיר תיווך זה ולהשתמש רק במונח נמקו
 - **בתשובה ל"הסבר מדוע"** - התלמידים צריכים להציג סיבות אפשרויות לתוצאה/ לתופעה ולהראות את יחסי הגומלין בין הסיבות לתוצאה.
 - **בתשובה ל"הסבר כיצד"** - התלמידים צריכים להציג ולהסביר את התהליך להביא לתופעה ולפרט את שלביו. לעיתים התלמידים יצטרכו להתייחס בהסבר לכמה רמות חשיבה: מוחשי ומופשט, רמות ארגון שונות באורגניזם וכו'.

4. כרטיס ניווט ככלי תיווך לתמיכה בתלמידים מתקשים

ניתן להציג ללומדים תבניות להסברים השונים ולתרגל את ניסוחם בשילוב עם תחומי התוכן המתאימים. להלן כמה דוגמאות:

כרטיס ניווט לניסוח הסבר מדעי המקשר בין סיבה לתוצאה

ברמת המאקרו וברמת המיקרו (בתחום הכימיה)

מה קרה בתהליך- מה התוצאה? (ראיות- תיאור ברמת המאקרו) _____

טענה (הסיבה להתרחשות בתחום המאקרו): _____

נימוק בעזרת ידע מדעי (מבוססים על המודל החלקיקי של החומר) ומתארת אלו שינויים במבנה החלקיקי של החומר נגרמו עקב הסיבה להתרחשות והביאו לתוצאה. הטבלה הבאה מסייעת בזיהוי השינויים הללו.

מרכיבי ההסבר (מרכיבי המודל החלקיקי)	האם חל שינוי?	תיאור השינוי בכל אחד ממרכיבי המודל החלקיקי
מספר החלקיקים		

		מיקום החלקיקים
		מרחק בין חלקיקים
		מהירות התנועה
		עצמת ההתנגשויות

ההסבר: כאשר (הפעולה שנעשתה בשאלה או התופעה) רואים/ מודדים שינוי ב _____
 וזאת מכיוון שהחלקיקים _____

כרטיס ניווט לניסוח הסבר מדעי המקשר בין מבנה ותפקיד (בטכנולוגיה¹)
שם המוצר/מערכת טכנולוגית/רכיב:
תפקיד:
מאפייני/תכונות המבנה המאפשרים את התפקוד:
הסבר: משפט מקשר בין מבנה ותפקיד עם מילות קישור מתאימות:
 (המבנה) _____ של (המוצר) _____ מקנה לו (תכונה/ות) _____ המאפשר/ות לבצע את (התפקוד) _____

כרטיס ניווט לניסוח הסבר מדעי להתאמה בין מבנה ותפקוד במערכות ביצורים חיים (בביולוגיה)
מבנה האיבר/ מערכת ומאפייניהם:
תפקוד האיבר/מערכת:
התהליך המתרחש באיבר/ המנגנון שמאפשר את התפקוד:
 מה היה קורה אם המבנה היה אחר?
הסבר: משפט המקשר בין מבנה לתפקוד עם מילות קישור מתאימות:
 ל(איבר/תא/אברון) _____ יש (מבנה) _____ (מאפייני המבנה) _____ המאפשר לו לקיים את
 (התפקוד) _____ על ידי ביצוע (התהליך)/ הפעלת (המנגנון) _____

¹ נכתב בסיוע טובה גולן

מקורות מידע:

וגר ת. (2006). [הסברים של תלמידים בכיתת מדע](#). קריאת ביניים 9, עמ' 14-3, מרכז מורים ארצי למדע וטכנולוגיה בחט"ב, מכון ויצמן.

יחיאלי ת. (2009). [דגם הוראה "מסבירים מדע"](#) / המרכז הארצי למורי מדע וטכנולוגיה בחט"ב, מכון ויצמן להבי י. ואלון ב. (2015). [לדקלם את המלים או לשיר את השיר](#). קריאת ביניים 25-24, עמ' 39-28, מרכז מורים ארצי למדע וטכנולוגיה בחט"ב, מכון ויצמן.

מועלם ר. (2011). [ערכת ה.ל.ה בנושא "כוחות ותנועה"](#). מרכז מורים ארצי מו"ט חט"ב, מכון ויצמן.
[מדריך למורה: משאלה לתשובה- אמצעי תיווך לבניית תשובות מורכבות](#) (2011) / מרכז ארצי למורי מדע וטכנולוגיה בחט"ב, מכון ויצמן

Hoffenberg, R. & Saxton, E. (2015). Scientific explanations: A comparative case study of teacher practice and student performance. *Electronic Journal of Science Education*, 19, (5).

McNeill, K., & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45 (1), 53-78.

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts and core ideas*. Washington, D.C.: The National Academies Press.

Talanquer, V. (2018). Chemical rationales: another triplet for chemical thinking. *International Journal of Science Education*, 40:15, 1874-1890

ב. הדגמת הקושי בתשובות שגויות של תלמידים

בכיתה ז' התלמידים לומדים את מאפייני החומר (מסה, נפח, צורה) ואת ביטויים בשלושת מצבי הצבירה. בין היתר הם לומדים על כך שגז הוא בעל נפח והוא ממלא את כל הכלי שבו הוא נמצא. בזיקה לנושא זה ניתנה במשימת מפמ"ר השאלה הבאה:

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.

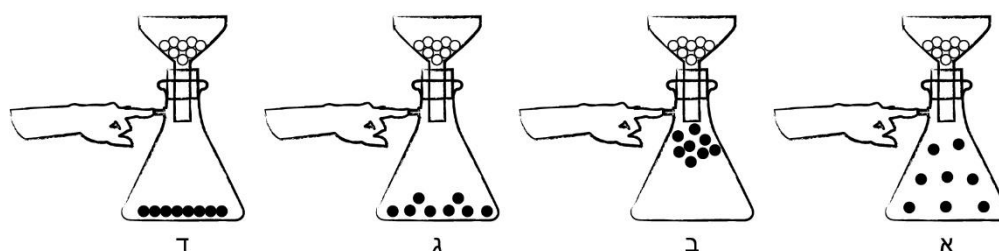


חלק א'

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 הכולל התייחסות לשני המרכיבים הבאים ברמת המקור וברמת המיקרו:

- האוויר בבקבוק תופס מקום, את כל נפח הבקבוק.
- האוויר בבקבוק לא מאפשר את כניסת המים. כדי שהמים יכנסו, יש לאפשר יציאה של חלקיקי אוויר.

לדוגמא:

הסבר "חלקי": המים נותרו במשפך ולא זרמו לתוך הבקבוק כיון שיש בבקבוק אוויר שתופס את כל נפח הבקבוק. הסבר "מלא": המים נותרו במשפך ולא זרמו לבקבוק כיון שהבקבוק היה מלא באוויר. כשטל אטמה את פתח הצינור הצדדי, נוצרה בכלי מערכת סגורה בה האוויר תופס את כל נפח הבקבוק, ואין לו אפשרות לצאת ולפנות מקום למים.

הרחבה למורה: על שאלה זו ניתן לענות ברמת המאקרו ללא המודל החלקיקי של החומר. אך כיון שניתנים האיורים ועליהם לבחור באחר האיורים, בחירת האיור המתאים תסייע לתלמידים לתת הסבר מדעי גם ברמת המיקרו. כדי לכלול בהסבר את כל ארבעת רכיבי ההסבר המדעי חשוב להתייחס נכון ל:

טענה: המים לא זרמו לבקבוק כי הבקבוק מלא באוויר.

ראייה גלויה (מוצגת בשאלה): טל אטמה את פתח הצינור הצידי של הבקבוק (המאפשר יציאה של האוויר)

ראייה לא גלויה: הבקבוק היה מלא באוויר כי לא שאבו ממנו את האוויר לפני שטל אטמה אותו.

ידע מדעי: גז תופס את כל נפח הכלי בו הוא נמצא. בין חלקיקי הגז יש ריק.

ניתוח תשובות שגויות של תלמידים:

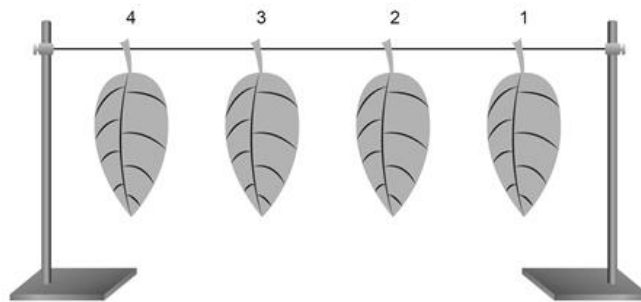
תשובות שגויות			ניתוח דיאגנוסטי של תשובות תלמידים לפי רכיבי הקושי של הסבר מדעי של תופעות ותהליכים	
ניתוח מבנה (טענה, ראיות, ידע מדעי	ניתוח תוכן (ידע מתאים ונכון)	ניתוח שפתי		
		שימוש נכון במילות קישור	שימוש נכון במושגים ומאפיינים מדעיים	
תקין	הסיבה לאי כניסת המים מובנת אך משולבת תפיסה חלופית כסיבה לתוצאה: נוצר לחץ	תקין	שילוב שפה מדעית ויומיומית	
תקין	טענה שגויה (איור ב') מוצגת תפיסה חלופית כסיבה לתוצאה: חלקיקי האוויר מפעילים לחץ על חלקיקי המים. יתכן והשגיאה נובעת מבחירת איור ב' (חלקיקי האוויר מרוכזים סמוך לפתח) או משימוש במושג לחץ ככוח.	תקין	שפה מדעית	
חסר ידע מדעי	אין גיוס של ראייה מטקסט השאלה אלא מאיור ב' שהוא טענה שגויה. אין גיוס ידע מדעי מתאים.	חלקי	שפת יומיומית	
חסרה טענה, יש רמז לראיה, חסר ידע מדעי	הסיבה לאי כניסת המים כנראה מובנת, אך הניסוח לא בהיר ובחלקו שגוי: "האוויר חוסם את היציאה". אין גיוס של ידע מדעי	מילות קישור מתאימות אך ניסוח התוצאה שגוי.	שפה יומיומית ניסוח מסורבל עם חזרות	
חלקי, חסר ידע מדעי	אין התייחסות לנוכחות האוויר שתופס מקום בבקבוק. ידע שגוי בפענוח התופעה והגורם לה (כוחות המשיכה)	תקין	יש שימוש במושג מדעי אך לא תואם לסיטואציה.	
חסר ידע מדעי	הבנה חלקית של התופעה. חסר ידע מדעי רלוונטי המתייחס לטענה ולתופעה	חלקי (יש מילת סיבה ללא תוצאה)	ניסוח מסורבל בשפה יומיומית	
חסר ידע מדעי	הבנה שגויה של הסיבה לתופעה והסבר שגוי. חסר ידע מדעי. האוויר תופס מקום בכל נפח הבקבוק.	+	שפה יומיומית	

שפה יומיומית	+	חסרה התייחסות לנוכחות האוויר שתופס מקום בבקבוק.	חלקי, חסר ידע מדעי	איור א'. "כי חלקיקי האוויר לא יכלו לצאת החוצה אז המים לא נכנסו."
שפה יומיומית	חלקי	הבנה מעורפלת של התופעה "מה שהיה בחוץ". אין גיוס ידע מדעי לצורך התמיכה בטענה והצדקתה	חסר ידע מדעי	איור א'. "כי כשהיא אטמה את האוויר מה שהיה בחוץ לא יכול היה להיכנס"

סיכום הקשיים: קשיים במבנה ההסבר, בידע המדעי המתאים ובשימוש בשפה המדעית באופן תקין.

שאלה 14

תלמידים ערכו את הניסוי הבא: הם לקחו מאותו העץ 4 עלים בגודל שווה, ותלו אותם על חוט בין שני מוטות, כמוצג באיור שלפניכם. הם מרחו את העלים בווזלין, שהוא חומר שוקני המונע מעבר אדי מים, כמוצג במערך הניסוי בטבלה. לאחר יומיים התלמידים בדקו את מצב העלים.



בטבלה שלפניכם מתוארים מערך הניסוי ותוצאותיו:

מספר עלה	מריחת העלה בווזלין (+ נמרח בווזלין; - לא נמרח)		מצב העלה אחרי יומיים
	צד עליון	צד תחתון	
1	+	+	העלה נשאר רענן וירוק
2	-	+	העלה נשאר רענן וירוק
3	+	-	העלה הצטמק והתרכך
4	-	-	העלה הצטמק והתרכך

חלק ב'

עיינו במערך הניסוי ובתוצאותיו והשיבו:

- היכן ממוקמות רב הפיוניות בעלה, האם בצדו העליון או בצדו התחתון?
צד עליון/ צד תחתון
- מדוע עלים מסוימים הצטמקו והתרככו, בעוד האחרים נותרו רעננים וירוקים? נמקו את תשובתכם תוך התייחסות לתוצאות הניסוי ולתהליך שהתרחש בעלים.

תשובה נכונה:

1. הפיוניות ממוקמות בצד התחתון.
2. ניסוח הסבר מדעי הכולל התייחסות נכונה ומלאה לנימוקים והצדקתם:
 - מערך הניסוי ותוצאותיו (ראיות)
 - התהליך שהתרחש בעלים (ידע מדעי, הצדקה - סיבה ותוצאה)
 - השפעת התהליך על מצב העלים (ידע מדעי, הצדקה - סיבה ותוצאה).

לדוגמא:

בעלים 1 ו-2 שנמרחו בווזלין בצדם התחתון, או בשני צדיהם, נחסם פתח הפיוניות, תהליך הדיות פחת או לא התקיים והעלים נותר רעננים וירוקים. ואילו בעלים 3 ו-4, שנמרחו בווזלין בצדם העליון בלבד, או שלא נמרחו כלל נותרו הפיוניות פתוחות, תהליך הדיות התקיים, והעלים אבדו מים, עברו כמישה, הצטמקו והתרככו.

ניתוח תשובות שגויות של תלמידים:

תשובות שגויות				ניתוח דיאגנוסטי של תשובות תלמידים לפי רכיבי הקושי של הסבר מדעי של תופעות ותהליכים	
ניתוח מבנה (טענה, ראיות, ידע מדעי)		ניתוח תוכן (ידע מתאים ונכון)		ניתוח שפתי	
				שימוש נכון במילות קישור	שימוש נכון במושגים ומאפיינים מדעיים
"כי יש כאלו שנמרחו בווזלין ויש כאלו שלא והווזלין רק צימק וריכך אותם"		אין טענה וההסבר מתייחס רק לחלק מהתופעה, ההצדקה שגויה		הבנה לקויה של הניסוי ותפקיד הווזלין בו-אין התייחסות לפיוניות ולתהליך הדיות בעלה	
"בצד שבו היו פיוניות העלים הצטמקו כי יצאו מים"		טענה חלקית (רק לאלו שהצטמקו) אין שימוש בראיות וידע מדעי		חסרה התייחסות לניסוי עצמו ותוצאותיו-אין התייחסות לתהליך הדיות בעלה ולקשר לפיוניות	
"בצד שהם הצטמקו היו פיוניות ובצד השני לא, משום שיש פיוניות בשני הצדדים ומסתבר שבצד התחתון יש יותר ולכן העלה הצטמק והתרכך. כי בעלה אחד היה יותר דיות מאשר בעלה השני"		אין שימוש בראיות וידע מדעי		חסרה התייחסות למערך ניסוי. הבנה לקויה של תוצאות הניסוי-הבהרת הסיבות לתופעה אינה מלאה וחסרה התייחסות לתהליך שהתרחש-תפיסה חלופית: ההצטמקות ואיבוד המים מתבצעים רק במקום דרכו מתרחש הדיות (היכן שיש פיוניות).	
"כי בצד התחתון הצטמקו ולא היו פיוניות ובצד השני היו פיוניות"		טענה חלקית (רק לאלו שהצטמקו) אין שימוש בראיות וידע מדעי,		הבנה שגויה של התופעה ברמה המיקרו- תפיסה חלופית: ההצטמקות ואיבוד המים מתבצע רק במקום דרכו מתרחש הדיות (היכן שיש פיוניות). אין התייחסות למערך הניסוי-אין הבהרה של הסיבות לתופעה ואין התייחסות	

		לתהליך הדיות שהתרחש בצמח והקשר שלו לפיוניות		
שימוש במושג יומיומי: מתכווץ במקום מצטמק	+	- הבהרת הסיבות לתופעה אינה מלאה - חסרה התייחסות לתהליך שהתרחש בצמח ולקשר שלו להצטמקות העלה.	אין שימוש בידע מדעי	"מכיוון שאם לא שמים וזלין בצד התחתון ושמים רק בצד אחד, אז העלה מתכווץ כי בצד התחתון יש את רוב הפיוניות בעלה"
שפה יומיומית	+	- יש קישור בין הצטמקות עלים למחסור במים, אך הבנת תהליך חילוף אדי המים בין פנים העלה לחוץ שגויה. - אין התייחסות למנגנונים של יציאת המים מהעלה ולקשר לתהליך בתא	טענה חלקית (רק לאלו שהצטמקו) יש ראיות	"העלים הצטמקו כי היו חסרי מים, כי הווזלין אטם את המעבר של האדים להיכנס אל העלים. הצד התחתון היה חשוב יותר מהעליון כי כשהוא לא היה מוגן בכיסוי הווזלין גם העלה לא היה מוגן והוא הצטמק"
מושג מדעי שגוי	+	- הבנה חלופית של תפקיד החלולית והקשר שלה לתופעת הצטמקות העלה. - אין התייחסות לפיוניות ולתהליך הדיות העלה, ולקשר למניעת מעבר מים בין התאים.	אין טענה שימוש חלקי בראיות ובידע מדעי רלוונטי	"כי יש בעלה חלולית שזה מאגר המים של הצמח, וכאשר הצמח מתייבש היא מספקת מים לצמח. אבל כשכיסו את העלה בווזלין המים לא יצאו לצמח."
שפה מדעית	+	יש הבנה של הקשר בין יציאה של מים מהעלה להצטמקות, אך אין התייחסות לפיוניות ולתהליך הדיות שהתרחש בעלה ולהסבר התאי של ההצטמקות וההתרככות	יש טענה, יש ראיות	"כי הצד בו נמרח הווזלין משפיע- אם נמרח ווזלין בצד התחתון לא יקרה לו כלום, ואם לא הוא יצטמק ויתרכך. כי הווזלין שומר על המים בתוך העלה. בעלים ללא הווזלין המים יצאו/ התאדו."

סיכום הקשיים

- תלמידים לא הגיבו לדרישה בשאלה: להתייחס לניסוי ותוצאותיו.
- תלמידים התייחסו לתופעה באופן חלקי, לא התייחסו לעלים שנותרו רעננים.
- אין שימוש במושגים מדעיים מתאימים כמו פיוניות, חלולית ותהליך הדיות כדי לתאר את המבנה והתהליכים המתרחשים בעלה ומביאים להצטמקותו או הישארותו רענן.
- נראה שהתלמידים לא מבינים את התופעה של הצטמקות ברמה התאית והבודדים שזיהו כי החלולית רלבנטית לתיאור התופעה, התייחסו לה במובן שגוי או לא הבינו היטב את תפקודה בהקשר לתופעה.