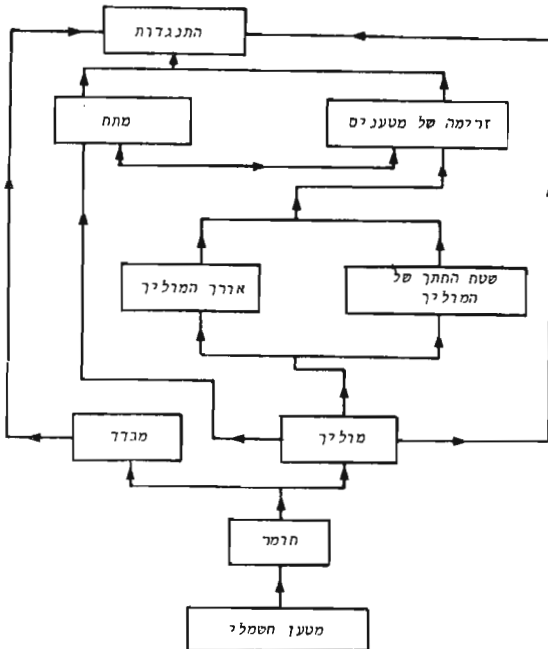


תפיסת המושג התנגדות חשמלית

מאת: א.ה. ג'ונסטון וא.ר. מוגהול
המחלקה לכימיה, אוניברסיטת גלזגו, בריטניה.

בהמשך למאמר הודן בהוראת החשמל בתיכון שהבאנו בגליון האחרון של "תהודה" (כרך 7 מס' 2, חשון תשל"ט) אנו מביאים בזה מאמר אינפורמטיבי המציג תוצאות של מבחנים לבדיקת מידת ההבנה של המושג "התנגדות" ע"י תלמידים ברמות גיל שונות. פרט למידע הספציפי עשוי המאמר - כך אנו מקווים - להביא את המורה לכלל הרהור נוסף בעמדו לפני חריטת מושג חדש על לוח הידע של תלמידו.

במאמר קודם שהתפרסם בירחון זה (Johnstone and Mughol, Physics Education 1976) דווח על סקר של נושא-לימוד בפיסיקה שהעלה כי קיימים לפחות שלושה ענפים בעייתיים המצריכים חקירה נוספת. החלטנו להתרכז בחקירתם של שלושה נושאים משניים, אחד מכל ענף. הנושאים שנבחרו הם - התנגדות חשמלית, חום וטמפרטורה וצפיפות. הראשון שבהם נבחר כנושא התלוי לחלוטין בדרך ההוראה. התנגדות חשמלית איננה נכללת בנסיון החיים היומיומי או בשיחה השוטפת ולכן, במהלך החקירה-לאורך של השיפור החל בתפיסת המושג, יהיו השנויים תלויים כמעט לחלוטין באופן ההוראה. מאידך, הנושא השני הוא כזה שהופעתו השגורה בשפת היומיום גורמת לבלבול ולקשיים במהלך ההוראה. במרבית המקרים מתייחסים ל"חום" ול"טמפרטורה" כאל מלים נרדפות בעוד המורה מנסה להבחין ביניהן. הנושא השלישי, צפיפות, נלמד בפרק בשנה הראשונה ואינו נלמד שוב עד לשנה החמישית. השינויים בתפיסתו של מושג זה יהיו אם כן אלה הנובעים מנסיון החיים בעולם הגשמי. מכאן ואילך יצטמצם הדיון בנושא הראשון בלבד - התנגדות חשמלית.



תרשים 1: תרשים זרימה עבור מושג ההתנגדות.

*תרגום - אורי לוי

Translated with permission of the author and the editor of "Physics Education".

כצעד ראשון סרטטנו תרשים זרימה (תרשים 1) על מנת להבהיר לעצמנו את נושאי המשנה הקשורים עם המושג התנגדות. בהסתמך על התרשים נקבע לוח ראיונות על מנת לבחון כל אחד מהנושאים הללו ואת הקשרים ביניהם.

ראיונות נערכו לתלמידים בקבוצות של ששה תוך שימוש בלוחות המעגל החשמלי ובציוד חשמלי פשוט נוסף. למשל, המעגל שבסרטוט 1 (תרשים 2) הוצג בפני קבוצת התלמידים וכל אחד מהם נתבקש להסביר מדוע אין הנורה מאירה. מעגל אחר כמו זה שבסרטוט 12 - נבנה, והתלמידים נתבקשו לבחור, מתוך ערימה של תילים בעלי מימדים שונים, את התיל אשר בחברו את הנקודות $y-x$ יגרום לנורה להאיר בבהירות מכסימלית. הדיונים הוקלטו ונותחו לאחר מעשה. ראיונות אלה נערכו עם קבוצות תלמידים מכיתות ח', ט', י' ו-י"א בשני בתי ספר. מערכת הראיונות, חרף היותה אידיאלית במובנים רבים (Davies 1970, Wallace 1965), התגלתה כאיטית ומייגעת ועל כן, כדי להגדיל את קבוצת המדגם, תוכנן מבחן דיאגנוסטי אובייקטיבי שהתבסס על "תמונות" (תרשימים) של המכשירים ששמשו בעת הראיונות. המסיחים נלקחו מתוך מושגים שכיחים במהלך הראיונות. השוואה בין תוצאות הראיונות לתוצאות המבחן (טבלה 1) העלתה כי קיימת התאמה טובה ביניהן.

מבחן מאבחן (דיאגנוסטי)

המבחן המאבחן כלל טבלה של סרטוטים (תרשים 2) אשר היוותה, בצרופים שונים, בסיס לסדרה של 14 שאלות. מספר שאלות מובאות בזה ואיתן דרגת הקושי* (facility value) שהתקבלה מתוך מדגם של כ-800 תלמידים; 200 מכל אחת מהכיתות ח', ט', י' ו-י"א של ארבעה בתי-ספר מקיפים שונים. תלמידי כיתות ח' באו מכיתות מעורבות לחלוטין מבחינת כישורי התלמידים ולכן, כדי להשוות באופן הוגן את הישגיהם עם אלו של תלמידי ט' ו-י"א מכיתות יותר סלקטיביות נלקחו בחשבון תוצאותיהם של שני השלישים העליונות של תלמידי כיתות ח'. תלמידי כיתות י"א באו מכיתות סלקטיביות עוד יותר - עובדה העשויה להסביר חלק מתוצאותיהם הטובות יותר.

10. שני המכשירים בסרטוט 14 מחוברים לרשת החשמל במקביל כך שמתקבל שוויון

א. בזרם העובר דרכם.

ב. בטמפרטורת עבודתם.

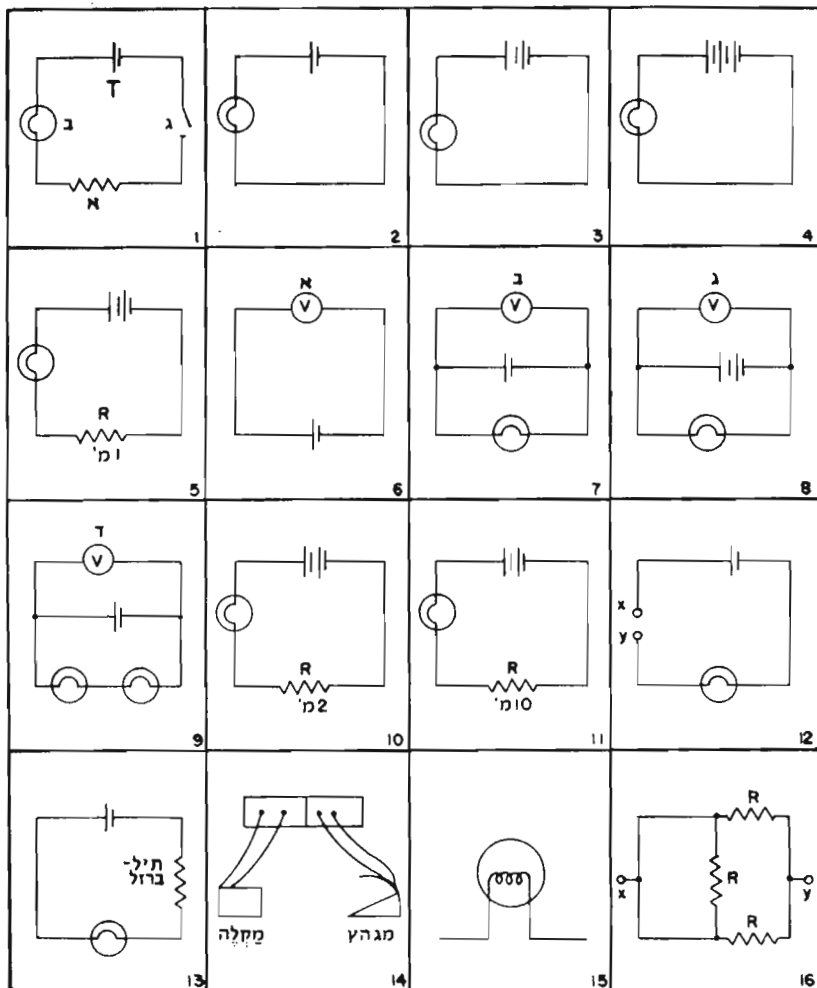
ג. במתח על פניהם.

ד. בהספק המועבר אליהם.

דרגת הקושי: כיתה ח', 0.20; כיתה ט', 0.21; כיתה י', 0.40; כיתה י"א, 0.65.

המסיח \bar{d} היה הפופולרי ביותר. תוצאות אלה תואמות את תוצאות הראיונות.

*"דרגת הקושי" - היחס בין מספר התשובות הנכונות לבין מספר התשובות הכולל.



תרשים 2: שרטוטים סכמטיים עבור המבחן המאבחך.

- ש2. השווה את המעגל שבשרטוט 4 עם המעגלים בשרטוטים 2 ו 3. האם, לפי דעתך, בהירותה של הנורה בשרטוט תהיה:
- א. זהה לבהירותה של הנורה בשרטוט 2?
 - ב. זהה לבהירותה של הנורה בשרטוט 3?
 - ג. גדולה מבהירותה של הנורה בשרטוט 3?
 - ד. קטנה מבהירותה של הנורה בשרטוט 2?

דרגת הקושי: כיתה ח', 0.80; כיתה ט', 0.86; כיתה י', 0.90; כיתה י"א, 0.96. מסתבר שאין כל קושי לקשר מתח וזרם בכל אחד מהגלילים הללו.

3. תלמיד מבקש לחבר בין הנקודות X ו-Y שבתרשים 12 כך שהנורה תאיר באור בהיר ככל האפשר. עליו לבחור ב-

- א. מוליך קצר ועבה.
- ב. מוליך קצר ודק.
- ג. מוליך ארוך ועבה.
- ד. מוליך ארוך ודק.

דרגת הקושי: כיתה ח', 0.30; כיתה ט', 0.34; כיתה י', 0.38; כיתה י"א, 0.57. המסיח ב נבחר יותר פעמים מהתשובה הנכונה ע"י תלמידי כיתות ח', ט' ו-י". אפילו תלמידי י"א סימנו את תשובה ב כאפשרות שניה. המושג "קצר" קיים ואילו המושג "עבה" נעדר. עובדה זו קיבלה אישור גם בשאלות אחרות.

4. בסרטוט 15 נראית נורה. חוט הלהט מתלהט בעוד החוטים המוליכים אליו נשארים קרים. איזה משפט מסביר תופעה זו באופן הטוב ביותר? חוט הלהט -

- א. מפותל כסליל.
- ב. דק מתיילי החיבור.
- ג. קצר מתיילי החיבור.
- ד. מעביר יותר זרם בהשוואה לתיילי החיבור.

דרגת הקושי: כיתה ח', 0.25; כיתה ט', 0.35; כיתה י' 0.47; כיתה י"א,

0.69. מסיח א נבחר במקרים רבים במקום שני על ידי תלמידי כיתות י' ו-י"א. יתכן שנגרם בלבול מסויים בעקבות ההנחה הסמויה שמדובר בזרם חילופין ואז יש לסליל קשר כלשהו.

תוצאות

טבלה 1 משווה בין כמה מתוצאות הראיונות לבין תוצאות המבחן. כאשר נלקחות בחשבון תוצאות המבחנים והראיונות כולם, עולים ומתבררים הממצאים הבאים לגבי תפיסתם של התלמידים את המושג התנגדות ואת העקרונות המונחים ביסודו:

1. הסמלים המשמשים בסרטוט מעגלים חשמליים מוכרים לתלמידים בכל הרמות.
2. כולם מבינים את הצורך בסגירת המעגל כדי להעביר בו זרם.
3. בכל הרמות קיים בלבול בין מתח והספק.
4. כמחצית מתלמידי חטיבת הביניים וכשלושה רבעים מתלמידי התיכון מודעים לעובדה שקיים הבדל בין כא"מ לבין הפרש פוטנציאלים, אולם בכל הרמות קיימת רק הבנה מועטת לגבי מקור ההבדל.
5. בין 80% ל 90% מהתלמידים יודעים כי הגדלת המתח במעגל חשמלי נתון גוררת אחריה עליית הזרם בו.
6. בערך 70% מתלמידי חטיבת הביניים ו-90% מתלמידי התיכון יודעים את הקשר בין אורכו של תייל להתנגדותו (יחס ישר).

7. בערך 25% מתלמידי חטיבת הביניים ו 70% בתיכון יודעים את תלות ההתנגדות בשטח החתך (יחס הפוך) של התייל.

8. מתקבל הרושם שתלמידים בכיתות ח', ט' ו-י' מזהים התנגדות עם "כמות של חומר" דהיינו - לתייל קצר ודק ההתנגדות הקטנה ביותר. רק בכיתה י"א מפרשים מרבית התלמידים נכונה את ההשפעה של שטח החתך.

בהסתמך על פרוש נאיבי של סולם ההתפתחות של פיאג'ה (Inhelder and Piaget 1958) אמורים לכאורה תלמידים בגיל 17 להתמודד בהצלחה עם מושג ההתנגדות, אולם העובדה שהם עדיין מתקשים מרמזת כי משהו מורכב יותר מותר. האם יתכן שהבאת מושג ההתנגדות נעשית בשלב מוקדם מדי ואי הבהירות המשתרשת אז ממשיכה להתקיים גם לאחר השלב בו היתה משמעות המושג חייבת להתבהר? עבודה נסיונית בחקר התפתחות התפיסה של מושגים בכימיה (Garforth et al 1976) הראתה, כי ילדים שלמדו מושג חדש בגילים 15, 16 ו-17 הגיעו במבחן להישגים נמוכים באופן משמעותי בהשוואה למדגם אחר של תלמידים אשר למדו לראשונה את אותו מושג בגיל 17.

במידה והוראת החשמל בחטיבת הביניים רצויה, האם אין תועלת בהחלפת המושג "התנגדות" במושג "מוליכות" ובכך להתגבר על בעיית שטח החתך? תלות ההולכה באורך התייל, אם כי היא ביחס הפוך לאורך התייל, תהיה מן הסתם קלה יותר להסבר (על הזרם לעבור דרך יותר ארוכה). גישה זו גם תואמת את גישת הכימאים אשר בה מודגשת "מוליכות" (בהקשר עם אלקטרוליטים) ולא "התנגדות".

כיתה	הבנה של מתח שווה על פני שני מעגלים במקביל.	הזרם פרופורציוני למתח	התנגדות: עומדת ביחס ישר לאורך המוליך	התנגדות עומדת ביחס הפוך לשטח החתך של המוליך	התנגדות תלויה בשני הגורמים בעת ובעונה אחת
ראיונות (חלק התלמידים שגילו הבנה)					
ח'	1/6	כולם	כולם	1/6	1/6
ט'	1/3	כולם	כולם	1/3	1/6
י'	1/2	כולם	כולם	1/2	1/2
מבחן מאבחן (דרגת הקושי)					
ח'	(0.20)	(0.90)	(0.75)	(0.25)	(0.30)
ט'	0.21	0.86	0.72	0.35	0.34
י'	0.40	0.90	0.87	0.47	0.38
י"א	0.65	0.96	0.91	0.69	0.57