



## **מהלך הוראה מבוססי דיאגנוזה בכיתה הפיזיקה**

**אוף , כמה נוסחאות!**

**אלקטרוסטטיקה**

**פיתוח: המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע**

**צוות הפיתוח: ד"ר אסתר בגנו, ד"ר חנה ברגר, פרופ' עידית ירושלמי, ד"ר זהורית קפאח, אסתר מגן,**

**קורינה פולינגר, אירינה ויסמן**



## תוכן עניינים

1	מהלך הוראה מבוססי דיאגנוזה בכיתת הפיזיקה
3	מהלכי הוראה לשילוב ידע – מבוא כללי
7	מבוא כללי למהלכי הוראה מהסוג "אוף, כמה נוסחאות!"
10	מהלך הוראה "אוף כמה נוסחאות!" אלקטרוסטטיקה
11	"אוף כמה נוסחאות!" – אלקטרוסטטיקה דף פעילות לתלמיד
16	קשיים שהפעילות המאבחנת יכולה לחשוף
17	הצעה לפתרון "אוף כמה נוסחאות" – אלקטרוסטטיקה
27	דגשים בהפעלת הפעילות
29	מקורות



## מהלכי הוראה לשילוב ידע – מבוא כללי

### הקדמה

"מהלך הוראה לשילוב ידע" מוגדר על ידינו כרצף של פעילויות הוראה שמכוונות לעודד "למידה משמעותית" של כל תלמיד ותלמיד. למידה משמעותית מתרחשת כאשר הלומד **משלב** בין הידע החדש שהוא אמור ללמוד לבין הידע שכבר קיים אצלו וכך יוצר מבנה ידע מעודכן (Ausubel, 2000; Linn & Eylon, 2011). כל "מהלך הוראה לשילוב ידע" בנוי משלש פעילויות עוקבות:

1. **פעילות מאבחנת** המאפשרת למורה לחשוף קשיי למידה או טעויות של תלמידים. פעילות מאבחנת מנוסחת בדרך כלל (אך לא תמיד) כשאלה רבת בחירה בה התלמיד מתבקש לבחור בתשובה הנראית לו נכונה **ולנמק** את הסיבה שבגללה בחר בתשובה זו. פעילות מאבחנת מסוימת יכולה לחשוף באותה כיתה "משפחות" שונות של קשיים (למשל, תלמידים אינם יודעים לכתוב נימוק, או שימוש לא נכון בנוסחה הנובע מפרוש לא נכון של הנוסחה או "בלבול" בין מושגים פיזיקאליים שונים שנראים דומים). במקום שאלה רבת בחירה, ניתן להתייחס לשלב של העבודה האישית בפעילות ה"טיפול" המתוארת בסעיף הבא, כפעילות מאבחנת.
2. **פעילות "טיפול"** המותאמת למשפחה של קשיים או טעויות העולים מממצאי הפעילות המאבחנת (למשל, פעילות ה"טיפול" "נימוק מה חסר?": המותאמת לקושי של תלמיד לכתוב נימוק מדעי לפתרון בעיה, פעילות ה"טיפול" "נוסחה ומשמעותה" המותאמת לקושי של התלמיד לפרש מה אומרת הנוסחה ובאילו תנאים פיזיקאליים מותר להשתמש בה, או פעילות ה"טיפול" "למה כן למה לא" המותאמת לקושי של תלמיד להסביר לא רק מדוע תשובה מסוימת בשאלה רבת בחירה היא נכונה אלא מדוע שאר התשובות לא יכולות להיות נכונות מבחינה פיזיקלית).
3. **פעילות משוב אישי (רפלקציה)** שבה התלמיד מתבקש להשוות בין הידע ההתחלתי שלו, כפי שהיה בעת ביצוע הפעילות המאבחנת, לבין הידע שרכש בעקבות הפעילות ה"טיפול", המתוארת בסעיף הקודם. באופן כזה, ניתן להציע לתלמידים שונים באותה הכיתה מהלכי הוראה שונים, בהתאם לקשיים/טעויות הנחשפים בפעילות המאבחנת.



ברצוננו להעיר שבמהלך השנים האחרונות העברנו פעילויות מאבחנות מגוונות בכיתות של מורים מצוות הפיתוח. ניתוח הממצאים שנאספו מצביע על "משפחות" מסוימות של טעויות או קשיים הנחווים על ידי מרבית התלמידים (למשל, ייחוס תכונות ווקטוריות לגדלים סקלרים וההפך, קושי לזהות עקרונית פיזיקאליים העומדים בבסיס של אירוע או מצב פיזיקאלי או קושי להימנע מהכללות יתר). לכן, באוגדן זה, אנחנו מציעים, בשלב ראשון, פעילויות "טיפול" שתופעלנה בהשתתפות כל תלמידי הכיתה. הניסיון מלמד שאם מפעילים את פעילות ה"טיפול" בהתאם למתואר למטה, כל התלמידים לומדים, אלה שהתקשו בפעילות המאבחנת וגם כאלה שלא התקשו.

### המלצות זידקטיות להפעלת "מהלך ההוראה לשילוב ידע"

ניתן לבצע את הפעילות המאבחנת ואת פעילות ה"טיפול" שבאה בעקבות האבחון, באופן אישי, קבוצתי ודיון כיתתי. את פעילות המשוב יש לעשות באופן אישי, כדי שהתלמיד ייתן לעצמו דין וחשבון על מה שלמד.

כדי להבטיח, עד כמה שניתן, שכל תלמיד ילמד ממהלך ההוראה, מומלץ להפעילו בארבעה שלבים: עבודה אישית, עבודה בקבוצות קטנות, דיון כיתתי ומשוב אישי (רפלקציה).

### בשלב של העבודה האישית

- כדי להבטיח את ביצוע השלב האישי, במיוחד אם הוא ניתן כשעורי בית, מומלץ לתגמל תלמידים (באופן שמתאים למורה) על ביצוע שלב זה. יחד עם זאת, חשוב שהמורה ידגיש שתשובות לא נכונות בשלב של העבודה האישית לא יפגעו בציון הסופי של התלמידים.
- אם השלב האישי מתבצע בכיתה, מומלץ שהמורה יעבור בין התלמידים ויעודד אותם לעבוד לבד. יחד עם זאת, מומלץ לא להסתכל בתשובות שהתלמידים כותבים כדי להפיג חששות.
- אם השלב האישי מתבצע בכיתה, מומלץ שהמורה יקשיב לשאלות שהתלמידים מפנים אליו, אבל לא ייתן תשובות. במידת הצורך, ניתן לסייע לתלמידים בשאלות מנחות (מגוון של שאלות מנחות ניתן במדריכים למורה).



### בשלב של העבודה בקבוצות

- עד כמה שניתן, מומלץ לחלק את התלמידים לקבוצות בנות שלושה תלמידים כל אחת. בכל מקרה, רצוי ואף חשוב שבקבוצה יהיה לכל היותר תלמיד אחד שלא הפגין קשיים בשלב האבחון.
- כדאי שהמורה יקפיד שכל התלמידים בקבוצה ישתתפו ושלא תהיה השתלטות של תלמיד אחד על השיח.
- אם התלמידים בקבוצה חווים קשיים במענה על המשימות, המורה יכול לסייע להם בשאלות מנחות.
- בקבוצות שמסיימות מהר את העבודה, כדאי לוודא שאכן דנו ועדכנו בכתב את התשובות לכל השאלות. כמו כן רצוי לבקש מכל אחד לספר בעל-פה או בכתב מה הוא למד מחבריו במהלך העבודה בקבוצות, אפשר גם לבקש מהם לענות על שאלות הרחבה שהן מעבר לפעילות המקורית.

### בשלב של הדיון הכיתתי

- בשלב זה, מומלץ שהמורה ידגיש שנציג אחד מכל קבוצה מציג את התשובות שעליהן הסכימו כקבוצה. לאחר ההצגה של הקבוצה הראשונה, מומלץ לבקש מנציגי הקבוצות האחרות להציג רק השלמות, תיקונים, תוספות או גישות אחרות לתשובה שניתנה ולהשתדל לא לחזור על דברים שכבר נאמרו.
- במקרה שהמורה מזהה שימוש שגוי במושג, כדאי לחזור עם התלמידים על הגדרת המושג ולוודא שהשימוש בו יהיה נכון.
- מאוד חשוב בדיון הכיתתי להציג את כל הספקטרום של התשובות שהציעו נציגי הקבוצות וגם את הקשרים ביניהם. לדוגמא, אם קבוצה אחת הציגה תשובה המסתמכת על שימור אנרגיה מכנית וקבוצה אחרת הציגה תשובה המסתמכת על חוקי ניוטון, חשוב שבדיון הכיתתי יודגש הקשר בין התשובות. אפילו במקרה קיצוני שבו כל הקבוצות נקטו אותה הגישה, רצוי שהמורה יציין ויסביר גם את הגישה האחרת.

### בשלב של המשוב האישי (רפלקציה)



- שלב המשוב האישי **חיוני מאד** והוא הכלי שבאמצעותו התלמידים אכן מוודאים מה הם למדו במהלך הפעילות ומה עדיין לא ברור להם. מורים ותלמידים נוטים לדלג עליו. לכן, חשוב לבקש מהתלמידים לענות על השאלות הרפלקטיביות, אפילו באופן אנונימי ולאסוף את התשובות. עיון בתשובות של התלמידים משכנע בדרך כלל מורים בחשיבות הרפלקציה. כדאי גם שמורים יעשו בכיתה פעולות המשך שיעידו על כך שהם קראו את התשובות ומתייחסים אליהן ברצינות.



## מבוא כללי למהלכי הוראה מהסוג "אוף, כמה נוסחאות!"

עם ההתקדמות של לימוד נושא בפיזיקה מתוודע התלמיד למספר הולך וגדל של נוסחאות כך שבבואו לפתור בעיות, אם אינו מבין את משמעות הנוסחאות, הוא מתקשה לבחור את אלה שבעזרתן יפתור את הבעיה. ואכן, הן מורים מנוסים והן ספרות הוראת הפיזיקה מעידים על כך שתהליך פתרון הבעיות מתמצה בדרך כלל בחיפוש אחר נוסחאות המכילות כפרמטרים את הגדלים הנתונים ואת הגדלים שיש למצוא ובהמשך, ביצוע מניפולציות מתמטיות עד לקבלת הערכים של הגדלים הנדרשים. תהליך זה אינו מבוסס על ההבנה של משמעות הנוסחאות או של הפרמטרים המרכיבים אותן ואף אינו מקדם הבנה כזאת (Sherin, 1991; Van Heuvelen, 2001; Mason & Singh, 2010). מטרת מהלכי ההוראה לשילוב ידע "אוף, כמה נוסחאות!" היא לקדם הבנה כזאת. כמו כל מהלכי ההוראה, גם מהלכי ההוראה "אוף, כמה נוסחאות!" מורכבים כל אחד מפעילות מאבחנת (דיאגנוסטית) ומפעילות "טיפול".

**הפעילות המאבחנת** ב"אוף, כמה נוסחאות!" היא השלב של העבודה האישית של מהלך ההוראה. מטרת הפעילות המאבחנת היא לברר עד כמה התלמידים יודעים אילו גדלים מיוצגים על-ידי האותיות המופיעות בנוסחאות של הנושא הנלמד, מהן יחידות המידה של הגדלים הללו, מה מתארות הנוסחאות שבהן משולבות האותיות הללו ובאילו תנאים פיזיקאליים (בניגוד לתנאים מתמטיים) הנוסחאות תקפות. בהתאם לכך, התלמיד מקבל רשימה של נוסחאות מתוך הנושא הנלמד ומתבקש:

1. לתאר במילים מה מייצגת כל אחת מהאותיות שמופיעה בנוסחאות ומהן יחידות המידה שלה
2. לספר במילים מה מתארת כל נוסחה ומהם התנאים הפיזיקאליים שבהם מותר להשתמש בנוסחה.

תשובותיו של התלמיד לשאלות אלה יכולות לחשוף אחד או יותר מהקשיים הבאים:

- א. קושי לזהות את כל הגדלים הפיזיקאליים המיוצגים על ידי אותיות בנוסחאות
- ב. קושי להבחין בין שני סוגי גדלים פיזיקאליים: משתנים (כמו מסה, כוח או מטען חשמלי) וקבועים (כמו קבוע הגרוויטציה העולמי, המקדם הדיאלקטרי של ריק)
- ג. קושי להתאים לכל גודל את יחידות המידה שלו



- ד. קושי לנסח במילים מה מתארת הנוסחה, ובמיוחד לשלב בתיאור את הגדלים הפיזיקאליים המרכיבים אותה (כאותיות)
- ה. קושי לקשר בין נוסחה לבין עיקרון/חוק/ מקרה פרטי שאותו היא מייצגת (לראות את הנוסחה כייצוג סימבולי של עיקרון/חוק/מקרה פרטי)
- ו. קושי להבחין בין תנאים מתמטיים (מציאת ערך של גודל לא ידוע בעזרת גדלים ידועים) לבין תנאים פיזיקאליים (למשל, בתנועה בתאוצה קבועה בלבד) שבהם מתקיימת נוסחה

### **פעילות ה"טיפול" - "אוף, כמה נוסחאות!"**

המטרות של פעילות ה"טיפול" "אוף כמה נוסחאות" הן לחזק את הבנתו של התלמיד לכך שנוסחאות הינן ייצוגים סימבוליים של עקרונות, חוקים או מקרים פרטיים שלהם, לעזור לתלמיד ל"תרגם" את הייצוגים הסימבוליים לייצוגים מילוליים של חוקים ועקרונות פיזיקאליים תוך שימוש בגדלים המרכיבים את הנוסחאות, לקבל תמונת-על של הגדלים הפיזיקאליים, החוקים והעקרונות המרכזיים של הנושא ולהעמיק את ההבנה של כל נוסחה על ידי מציאת קשרים בינה לבין נוסחאות אחרות בנושא. לכן בשלב הקבוצתי של הפעילות (קרי ה"טיפול") מוצגות לתלמיד שוב הנוסחאות שאליהן התייחס בשלב האישי ובקבוצות קטנות התלמידים מתבקשים

- א. להשוות את תשובותיהם על השאלה "מה מייצגת כל אות המופיעה בנוסחאות ומהן יחידותיה?", לתקן, לשנות ולהוסיף במידת הצורך
- ב. להשוות את תשובותיהם על השאלה "מה מתארת כל נוסחה ומהם התנאים הפיזיקאליים שבהם מותר להשתמש בנוסחה" לתקן, לשנות ולהוסיף במידת הצורך
- ג. לבנות קבוצות שלהן יש משהו משותף (למשל, נוסחאות שבמונה שלהן מופיע ייצוג של כוח, נוסחאות שמתארות אנרגיה פוטנציאלית כובדית, או נוסחאות שמתייחסות אך ורק לטעינה של קבל)

לאחר הדיונים הקבוצתיים המורה מנחה דיון בהשתתפות כל תלמידי הכיתה שבו מרוכזות התשובות של כל הקבוצות, ומופקות תובנות בדבר כל אחת מהנוסחאות ובדבר הקשר ביניהן. הפעילות מסתיימת ברפלקציה אישית שבה כל תלמיד כותב מה למד בפעילות ומה עדיין לא ברור לו.





להלן מוצע "מדריך למורה" לביצוע מהלך ההוראה לשילוב ידע "אוף כמה נוסחאות-שדה ופוטנציאל חשמלי" חשמל. המדריך כולל

- א. "תעודת הזהות" של מהלך ההוראה
- ב. דף הפעילות לתלמידים (הכולל את השלב האישי-שלב האיבחון)
- ג. קשיים שהפעילות המאבחנת יכולה לחשוף
- ד. הצעה לפתרון מורה
- ה. דגשים להפעלת הפעילות

קיימות פעילויות נוספות במאגר הפעילויות מהסוג מסוג "אוף, כמה נוסחאות!".

## מהלך הוראה "אוף כמה נוסחאות!" אלקטרוסטטיקה

תעודת הזהות של מהלך ההוראה

נושא	אלקטרוסטטיקה
הקושי	תלמידים מתייחסים אל נוסחאות כאל כלים מתמטיים המשמשים לפתרון בעיות ולא כאל ייצוגים סימבוליים של מושגים וחוקים/עקרונות המקשרים ביניהם. לפיכך, בבואם להחליט מהי הנוסחה המתאימה לפתרון בעיה, הם בדרך כלל אינם נסמכים על הבנת המשמעות של הנוסחאות אלא על חיפוש של נוסחאות המכילות את הגדלים המופיעים בבעיה (נתונים וכאלה שיש למצוא).
סוג הפעילות	"אוף, כמה נוסחאות!" סוג זה של פעילות מכוון את התלמידים לזהות את הגדלים הפיזיקאליים שמופיעים בנוסחה (ולהיעזר לשם כך גם בבדיקת יחידות המידה של הגדלים), לספר במילים מה מתארת כל נוסחה ומהם התנאים הפיזיקאליים שבהם מותר להשתמש בנוסחה ולבנות קבוצות של נוסחאות שלהן יש גורם משותף.
סביבת הפעילות	כיתה אפשר לתת את החלק האישי כשיעורי בית.
עזרים נחוצים	דפי הפעילות
משך הפעילות	כ- 45 דקות <sup>1</sup>

<sup>1</sup> בפעם הראשונה שבה מפעילים את "אוף כמה נוסחאות" רצוי לשריין שיעור כפול לביצוע מלא של הפעילות בכיתה

## ”אוף כמה נוסחאות!” – אלקטרוסטטיקה דף פעילות לתלמיד

לפניכם אוסף נוסחאות הקשורות לאלקטרוסטטיקה:

$$\textcircled{8} E = \frac{V_{AB}}{d} ; \textcircled{7} V = \frac{kq}{r} ; \textcircled{6} U_E = \frac{kq_1q_2}{r} ; \textcircled{5} E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} ; \textcircled{4} E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} ; \textcircled{3} F = qE ; \textcircled{2} E = \frac{kq}{r^2} ; \textcircled{1} F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

### עבודה אישית

1. ציינו מה מייצגת כל אות המופיעה בנוסחאות אלו ומהן יחידות המידה שלה:

האות	F	E	U <sub>E</sub>	V	V <sub>AB</sub>	k	ε <sub>0</sub>	q	r	σ
מה האות מייצגת										
יחידת המידה										



2. מלאו את הטבלה הבאה:

מהם התנאים הפיזיקאליים שבהם מותר להשתמש בנוסחה?	מה מתארת הנוסחה?	הנוסחה	
		$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$	.1
		$E = \frac{kq}{r^2}$	.2
		$F = qE$	.3
		$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$	.4
		$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$	.5
		$U_E = \frac{kq_1q_2}{r}$	.6
		$V = \frac{kq}{r}$	.7

		$E = \frac{V_{AB}}{d}$	.8
--	--	------------------------	----



**עבודה בקבוצות**

1. דונו עם חבריכם לקבוצה על תשובותיכם בעבודה האישית ואם יש צורך, בעזרת עט בצבע אחר, עדכנו את תשובותיכם.
2. בנו קבוצות של נוסחאות שיש להן משהו משותף. אפשר לרשום אותה הנוסחא בקבוצות שונות. (במידת הצורך, אפשר להוסיף שורות לטבלה)

מה משותף?	קבוצת הנוסחאות

3. על סמך עבודתכם עד כה, נסחו במספר משפטים את הרעיונות הפיזיקליים המרכזיים של האלקטרוסטטיקה.

**דיון כיתתי**

לסיכום הפעילות, יתקיים דיון כיתתי בהנחיית המורה.

**משוב אישי**

האם הפעילות תרמה לזיהוי הקשר בין הנוסחאות וההבדלים ביניהן? הסבירו והביאו דוגמאות.

## קשיים שהפעילות המאבחת יכולה לחשוף

1. קושי לזהות שכל הנוסחאות מתאימות רק למקרה שהתווך שבו נמצאים המטענים הוא ריק או אויר.
2. קושי להבחין בין פוטנציאל חשמלי לבין אנרגיה פוטנציאלית חשמלית.
3. קושי לתאר מהו  $\sigma$  ומהן יחידות המידה שלו
4. קושי לתאר ולאפיין את  $k$  ו- $\epsilon_0$ , מהן יחידות המידה שלהם ומהם הקשרים ביניהם
5. קושי להבחין בין הגדלים  $k$  ו- $\epsilon_0$  לבין שאר הגדלים שבנוסחאות
6. קושי לנסח במילים מה מתארת הנוסחה, ובמיוחד לשלב בתיאור את הגדלים הפיזיקאליים המרכיבים אותה (כאותיות)
7. קושי לתאר את נוסחה 1 כביטוי לגודל הכוח החשמלי שמפעיל מטען נקודתי אחד על משנהו וההפך
8. קושי להבחין בין נוסחאות 4 ו-5 (השדה של לוח מישורי אינסופי לעומת השדה בין לוחות קבל)
9. קושי להבחין בכך שהנוסחאות המבטאות שדה או פוטנציאל חשמלי מבטאות מאפיין של התווך סביב המטענים בעוד שכוח ואנרגיה פוטנציאלית מבטאים מאפיין של חלקיק טעון שנמצא בתווך
10. קושי להבין שההבדל בין נוסחאות 2, 4, 5, ו-8 שכולן מתארות שדה חשמלי, נעוץ בתנאי הקיום השונים שלהן
11. טענה מוטעית שיש סתירה בין נוסחאות 7 ו-8 (הנובעת מהצבה של נוסחה 7 בנוסחה 8)
12. קושי להבין את ההבדל בין מתח ופוטנציאל חשמלי
13. קושי להבין שהנוסחאות מתארות את גודל הגדלים הפיזיקאליים בלבד. למעשה, חלק מהגדלים הפיזיקאליים הם וקטורים וחלקם סקלארים.



## הצעה לפתרון "אוף כמה נוסחאות" – אלקטרוסטטיקה

לפניכם אוסף נוסחאות הקשורות לאלקטרוסטטיקה:

$$\textcircled{8} E = \frac{V_{AB}}{d}; \textcircled{7} V = \frac{kq}{r}; \textcircled{6} U_E = \frac{kq_1q_2}{r}; \textcircled{5} E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}; \textcircled{4} E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}; \textcircled{3} F = qE; \textcircled{2} E = \frac{kq}{r^2}; \textcircled{1} F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

הנוסחאות נראות מאוד דומות.

### עבודה אישית

1. ציינו מה מייצגת כל אות המופיעה בנוסחאות אלו ומהן יחידות המידה שלה:

האות	F	E	$U_E$	V	$V_{AB}$	k	$\epsilon_0$	q	r	$\sigma$	d
מה האות מייצגת	גודל הכוח	גודל השדה החשמלי	אנרגיה פוטנציאלית חשמלית	פוטנציאל חשמלי	הפרש פוטנציאל חשמלי בין שני לוחות אינסופיים ומקביליים	המקדם בחוק קולון המבטא את הכוח שמפעיל מטען נקודתי בן 1 קולון על מטען נקודתי זהה לו הנמצא במרחק 1 מטר ממנו בריק או באוויר	דיאלקטריות הריק $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$	גודל מטען חשמלי	מרחק ממוטען נקודתי ממרכז כדור או קליפה כדורית	צפיפות מטען (כמות המטען ביחידת שטח)	המרחק בין לוחות קבל
יחידת המידה	N	$\frac{N}{C}$ או $\frac{V}{m}$	J	V	V	$\frac{N \cdot m^2}{C^2}$	$\frac{C^2}{N \cdot m^2}$	C	M	$\frac{C}{m^2}$	m



2. מלאו את הטבלה הבאה :

קובץ זה נועד אך ורק לשימוש האישי של מורי הפיזיקה ולהוראה בכיתותיהם. אין לעשות שימוש כלשהו בקובץ זה לכל מטרה אחרת ובכלל זה שימוש מסחרי, פרסום באתר אחר (למעט אתר בית הספר בו מלמד המורה), העמדה לרשות הציבור או הפצה בדרך אחרת כלשהי של קובץ זה או כל חלק ממנו.

מהם התנאים הפיזיקאליים שבהם מותר להשתמש בנוסחה?	מה מתארת הנוסחה?	הנוסחה	
כאשר $q_1$ ו- $q_2$ הם הגדלים של מטענים נקודתיים והמרחק ביניהם הוא $r$ . או כאשר $q_1$ ו- $q_2$ הם מטענים של כדורים מוליכים ו- $r$ הוא המרחק בין מרכז הכדורים והמטען $r$ גדול מרדיוס/י הכדורים.	גודל הכוח החשמלי שמפעיל מטען אחד על מטען שני (וההפך) בריק או באוויר	$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$	1
מתקיים כאשר $q$ הוא גודל המטען הנקודתי. או כאשר $q$ הוא גודל המטען של כדור מוליך או קליפה כדורית מוליכה ו $r$ גדול מרדיוס הכדור או הקליפה	גודל השדה החשמלי שנוצר ע"י מטען נקודתי במרחק $r$ ממנו בריק או באוויר או גודל השדה החשמלי שנוצר מחוץ לכדור מוליך טעון במרחק $r$ ממרכזו, או מחוץ לקליפה כדורית מוליכה טעונה במרחק $r$ ממרכזה בריק או באוויר	$E = \frac{kq}{r^2}$	2
מתקיים עבור כל שדה חשמלי ועבור כל מטען נקודתי המוצב בו.	גודל הכוח החשמלי הפועל על מטען נקודתי שגודלו $q$ הנמצא בנקודה שבה שורר שדה חשמלי שגודלו $E$ .	$F = qE$	3
מתקיים עבור כל לוח אינסופי הטעון בצפיפות מטען אחידה $\sigma$ , שנמצא בריק או באוויר.	גודל השדה חשמלי הנוצר ע"י לוח אינסופי טעון בצפיפות מטען אחידה $\sigma$ .	$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$	4
מתקיים עבור כל נקודה שנמצאת בין שני לוחות אינסופיים מקבילים הטעונים בצפיפות מטען אחידה $\sigma$ , שנמצאים בריק או באוויר.	גודל השדה חשמלי הנוצר בין שני לוחות מקבילים אינסופיים, הטעונים בצפיפות מטען אחידה $\sigma$ ו- $-\sigma$ .	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$	5

<p>מתקיים עבור מערך של שני מטענים נקודתיים שנמצאים במרחק <math>r</math> זה מזה בריק או באוויר. <math>q_1</math> ו- <math>q_2</math> מתארים את ערכי המטענים (גודל וסימן) 1 ו 2 בהתאמה, מישור הייחוס לאנרגיה פוטנציאלית אפס הוא האינסוף.</p>	<p>אנרגיה פוטנציאלית חשמלית של מערכת המורכבת משני מטענים נקודתיים. או אנרגיה פוטנציאלית חשמלית של מטען נקודתי <math>q_1</math> שנמצא בשדה חשמלי של מטען נקודתי <math>q_2</math>.</p>	$U_E = \frac{kq_1q_2}{r}$	<p>6</p>
<p>מתקיים כאשר <math>q</math> הוא ערך המטען הנקודתי (גודל וסימן) ומישור הייחוס לפוטנציאל אפס הוא האינסוף. או כאשר <math>q</math> הוא ערך המטען (גודל וסימן) של כדור מוליך או קליפה כדורית מוליכה ו <math>r</math> גודל מרדיוס הכדור או הקליפה.</p>	<p>פוטנציאל חשמלי הנוצר ע"י מטען נקודתי במרחק <math>r</math> ממנו בריק או באוויר. או פוטנציאל חשמלי שנוצר מחוץ לכדור מוליך טעון במרחק <math>r</math> ממרכזו, או מחוץ לקליפה כדורית מוליכה טעונה במרחק <math>r</math> ממרכזה בריק או באוויר.</p>	$V = \frac{kq}{r}$	<p>7</p>
<p>מתקיים כאשר השדה אחיד בין שני לוחות טעונים. או בין כל שתי נקודות בשדה חשמלי אחיד.</p>	<p>גודל השדה החשמלי בין שני לוחות מקבילים אינסופיים מוליכים שהמרחק ביניהם הוא <math>d</math> והמתח החשמלי ביניהם הוא <math>V_{ab}</math>.</p>	$E = \frac{V_{AB}}{d}$	<p>8</p>



### עבודה בקבוצות

1. דונו עם חבריכם לקבוצה על תשובותיכם בעבודה האישית ואם יש צורך, בעזרת עט בצבע אחר, עדכנו את תשובותיכם.
2. בנו קבוצות של נוסחאות שיש להן משהו משותף. אפשר לרשום אותה הנוסחה בקבוצות שונות. (במידת הצורך, אפשר להוסיף שורות לטבלה)

מה משותף?	קבוצת הנוסחאות
מתארות את גודל הכוח החשמלי .	$F = qE, F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$
מתארות שדה חשמלי הנוצר על ידי פיזורים שונים של מטענים.	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}, E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}, E = \frac{kq}{r^2}$
מתארות אנרגיה חשמלית או אנרגיה חשמלית ליחידת מטען. יכולות לקבל ערך חיובי, אפס או שלילי. מישור הייחוס באינסוף.	$U_E = \frac{kq_1q_2}{r}, V = \frac{kq}{r}$
בכולן מופיע k או $\epsilon_0$ זאת אומרת שמתקיימות בתוכם שהוא ריק או אוויר.	$V = \frac{kq}{r}, U_E = \frac{kq_1q_2}{r}, E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}, E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}, F = qE, E = \frac{kq}{r^2}, F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$
מתארות תכונה של המרחב (ריק או אוויר) בנקודות שונות סביב מטען נקודתי. בכל אחת מהנוסחאות, התכונה (שדה חשמלי בראשונה ופוטנציאל חשמלי בשנייה) תלויה רק בגודל המטען ובמרחק הנקודה מהמטען.	$V = \frac{kq}{r}, E = \frac{kq}{r^2}$
מתארות שדה חשמלי של לוחות אינסופי/אינסופיים.	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}, E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

מונה זהה וכולל מכפלה של שני מטענים, שתיהן סימטריות ושתיהן מתארות מאפיין של מטען אחד ( כוח הפועל על המטען בנוסחה הראשונה ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית של המטען בנוסחה השנייה)	$U_E = \frac{kq_1q_2}{r}, F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$
מתארות את גודלו של השדה החשמלי בין לוחות אינסופיים של קבל טעון.	$E = \frac{V_{AB}}{d}, E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$
נוסחאות שבמכנה שלהן מופיע $r^2$ .	$E = \frac{kq}{r^2}, F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$
נוסחאות שבמכנה שלהן מופיע $r$ .	$V = \frac{kq}{r}, U_E = \frac{kq_1q_2}{r}$

3. על סמך עבודתכם עד כה, נסחו במספר משפטים את הרעיונות הפיזיקליים המרכזיים של האלקטרוסטטיקה.

- מטען יוצר שדה חשמלי.
- שדה חשמלי מפעיל כוח על מטען.
- פוטנציאל בנקודה תלוי במישור הייחוס.
- יש קשר כמותי בין הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות לבין השדה החשמלי שבין הנקודות.
- שדה חשמלי הוא גודל ווקטורי בעוד שפוטנציאל חשמלי הוא גודל סקאלרי.





- שדה חשמלי ופוטנציאל חשמלי הם מאפיינים של המרחב סביב מטען חשמלי ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית מאפיינים מטען הנמצא במרחב.
- שדה חשמלי בהשפעת מספר מטענים מתקבל על ידי סופרפוזיציה של השדות שיוצרים כל אחד מהמטענים.



### דיון כיתתי

לסיכום הפעילות, יתקיים דיון כיתתי בהנחיית המורה.

### משוב אישי

האם הפעילות תרמה לזיהוי הקשר בין הנוסחאות וההבדלים ביניהן? הסבירו והביאו דוגמאות.

---

---

---

## דגשים בהפעלת הפעילות

- מומלץ לבצע את מהלך ההוראה בכיתה לאחר שכל הנוסחאות של הנושא כבר נלמדו. באופן כזה יכולה הפעילות להוות סיכום של הנושא אבל גם לסייע לתלמידים להתבסס על הבנה ולא על ניחוש בבואם לפתור את הבעיות המסכמות של הנושא.
- בעת הדיון על היחידות של הגדלים השונים מומלץ להיעזר בקשרים בין היחידות כדי לחדד קשרים בין הגדלים לבין עצמם (כמו בין  $k$  לבין  $\epsilon_0$  או בין  $q$  לבין  $\sigma$ ) או בין הנוסחאות (כמו בין כוח חשמלי שמפעילים זה על זה שני מטענים בדידים לבין האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של מערכת המורכבת משני מטענים בדידים). מומלץ גם להראות שהיחידות של וולט למטר זהות ליחידות של ניוטון לקולון ובכך לחזק את הקשר שבין השדה החשמלי לבין הפוטנציאל החשמלי.
- בעת הדיון על המשפחות שניתן להרכיב מהנוסחאות הנתונות, מומלץ
  - לכבד כל הצעה, לרשום אותה על הלוח ולמנף אותה ליצירת קשרים בין קבוצות.
  - לשאול את התלמידים גם במה נבדלות הנוסחאות שקובצו לאותה משפחה, למשל הנוסחאות  $E = \frac{V_{AB}}{d}$  ו  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$  מתארות שתיהן את השדה בין לוחות קבל, אלא שהראשונה נכונה רק עבור קבל שהתווך הדיאלקטרי שלו הוא אוויר (או ריק) בעוד שהשנייה נכונה עבור כל קבל לוחות, הנוסחאות  $E = \frac{kq}{r^2}$  ו  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$  מתארות שתיהן שדה חשמלי, אלא שבראשונה מחולל



השדה הוא מטען נקודתי ובשנייה מחוללי השדה הינם מספר רציף וגדול מאד של מטענים. הראשונה מתארת שדה לא אחיד ואילו השנייה מתארת שדה אחיד.



## מקורות

Ausubel, D.: The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view. Kluwer Academic Publishers (2000)
Linn, M.C., Eylon, B.S.: Science learning and instruction: Taking advantage of technology to promote knowledge integration. Routledge, New York (2011)
Mason, A., & Singh, C., (2010). Helping students learn effective problem solving strategies by reflecting with peers. <i>Am. J. Phys.</i> 78, 748.
Sherin, B. (2001) How students understand physics equations, <i>Cogn &amp; Instruc.</i> 19, 479
Van Heuvelen, A., (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. <i>Am. J. Phys.</i> 59(10).