

צלילי המוזיקה

תכנון ובנייה של כלי נגינה



יחידת לימוד בהנדסת אקוסטיקה

קול

לתלמידי כיתות ד'-ו'

הקדמה

יחידה זו היא אחת מעשר יחידות לימוד, שפותחו עבור בתי ספר יסודיים במסגרת הפרויקט החינוכי ENGINEER, שבתמיכת האיחוד האירופי. מטרת הפרויקט לתמוך בהוראת מדעים וטכנולוגיה באמצעות מגוון רחב של משימות אתגר מתחומי הנדסה שונים. פיתוח היחידות התבסס על המודל המוצלח של למידת חקר, שהתווה מוזיאון המדע של בוסטון בפרויקט *Engineering is Elementary*. כל יחידת לימוד עוסקת בתחום מדעי והנדסי שונה, תוך שימוש בחומרים זמינים וזולים, במטרה לקדם את החקירה המדעית של התלמידים ואת ההתנסות שלהם עם תהליך התיכון ההנדסי, כדרך לפתרון בעיות בהנדסה. היחידות פותחו מתוך כוונה לפנות לקשת רחבה של תלמידים, לקרוא תגר על הקפסים (סטריאוטיפים) הנוגעים להנדסה ולמהנדסים, ובכך לעודד מעורבות של בנים ובנות כאחד בתחומי מדע וטכנולוגיה.

הגישה הפדגוגית שלנו

במרכז של כל יחידת לימוד מצוי תהליך התיכון ההנדסי: לשאול שאלות ולאסוף מידע; להעלות רעיונות; לתכנן; לבנות; להעריך ולשפר. שימת דגש על תהליך זה מסייעת למורים לטפח חקרנות ויצירתיות אצל התלמידים, ומקנה לתלמידים מרחב לפיתוח מיומנויות משלהם לפתרון בעיות, לרבות בחינת חלופות אפשריות, ניתוח תוצאות והערכת הפתרונות שהם מגבשים. המטלות והאתגרים תוכננו בצורה פתוחה ככל האפשר, תוך הימנעות מקביעת "תשובות נכונות". מפתחי היחידות השתדלו במיוחד להימנע מתחרותיות, שעלולה ליצור ניכור אצל חלק מהתלמידים, תוך שמירה על המוטיבציה של הרצון לפתור בעיות. אחת המטרות החשובות של כל היחידות היא לעודד עבודת צוות, המבוססת על שיתוף פעולה, שיאפשר ביטוי של מגוון דעות ורעיונות על ידי התלמידים. התלמידים נדרשים לדון ברעיונותיהם במהלך הבחינה והחקירה של כל בעיה, להבין יחד מה עליהם לדעת ולחלוק את ממצאיהם, לבחור פתרון מועדף, לתכנן ולבנות אותו ולאחר מכן לבחון אותו ולהעלות הצעות לשיפור.

מבנה היחידות

כל יחידת לימוד מתחילה בשיעור הכנה העוסק בנושא ההנדסה באופן כללי, המשותף לכל עשר היחידות. למורים הבוחרים להעביר יותר מיחידה אחת מומלץ לפתוח בשיעור הזה בפעם הראשונה, שהם מעבירים את היחידות, ולהתחיל ישירות מהפרק הראשון ביחידות הבאות. הפרק הראשון מציג משימת אתגר הנדסית באמצעות סיפור רלוונטי לתלמידים, שמניע את המשך התהליך. הפרק השני מתמקד בלמידה חווייתית של הידע המדעי הדרוש לתלמידים כדי לפתור את המשימה. בפרק השלישי התלמידים מתכננים ובונים את פתרון שלהם, והפרק הרביעי והמסכם מקנה הזדמנות לתלמידים להעריך את מה שעשו, להציג את הפתרון ולדון בכך. כל יחידה הינה ייחודית. חלק מהיחידות תובעניות יותר בהיבט של ההבנה המדעית הנדרשת, ולכן משך הזמן הנדרש לכל יחידה עשוי להשתנות. בסקירה של כל יחידה מצוינים אומדני הזמן הנדרשים לביצוע כל פעילות וקבוצות הגיל הרלוונטיות. היחידות תוכננו כך, שיאפשרו גמישות למורים בבחירת הפעילויות המתאימות למגוון יכולות של תלמידים.

תמיכה במורה

לכל יחידת לימוד נכתב "מדריך למורה" שנועד לספק למורים תמיכה מדעית, טכנית ופדגוגית מתאימה, על בסיס ניסיון וידע של מומחים ממגוון תחומים. כל שיעור כולל הצעות וטיפים לתמיכה בלמידת חקר, בארגון הכיתה ובהכנה הנדרשת. הניסויים, ההדגמות והבניות המופיעות ביחידה מומחשות באמצעות צילומים וסרטונים. הנספח כולל הערות פדגוגיות מדעיות המסבירות את הפן המדעי שבכל יחידה, ודנות בו ובאופן שבו ניתן לקדם את הבנת המושגים המרכזיים בקרב תלמידים בקבוצות הגיל הרלוונטיות. היחידות כוללות גם דפי סיכום שניתן לצלם, ומפתח תשובות.

זכויות יוצרים

יצירה זו מופצת תחת [רישיון ייחוס 4.0 בין-לאומי של Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). ניתן לך החופש:

- לשתף - להעתיק, להפיץ ולהעביר את היצירה
- להכין רמיקס - לעבד את היצירה בכפוף לתנאי הבא:
- ייחוס - עליך לייחס את היצירה (לתת קרדיט) באופן המצוין על-ידי היוצר או מעניק הרישיון (אך לא בשום אופן המרמז על כך שהם תומכים בך או בשימוש שלך ביצירה).

תוכן עניינים

2	הקדמה	
5	מידע כללי	
7	ציוד וחומרים	
10	שיעור הכנה – תכנון ובנייה של מעטפות ואריזות	
11	0.1 פתיחה – עבודה בקבוצות ודיון במליאה – 10 דק'	
11	0.2 פעילות 1: מהי אריזה? – עבודה בקבוצות – 5 דק'	
12	0.3 פעילות 2: התאמה בין אריזות לחפצים – עבודה בקבוצה ודיון במליאה – 15 דק'	
12	0.4 פעילות בחירה – 10-30 דקות – עבודה בקבוצות	
13	0.5 סיכום – 10 דקות – דיון במליאה	
14	0.6 הערכה של הישגים ותוצאות – פעילות בחירה	
15	פרק 1 – הצגת הצורך ומשימת האתגר ההנדסית	
16	1.1 פתיחה – היכרות עם תהליך התיכון ההנדסי – דיון במליאה/עבודה בקבוצות – 10 דק'	
16	1.2 משימת האתגר – דיון כיתתי – 10 דק'	
17	1.3 דף סיכום 1 פרק 1 – פסקול – עבודה בקבוצות/דיון במליאה – 15 דק'	
17	1.4 שלב איסוף המידע – עבודה בקבוצות 20 דק'	
18	1.5 סיכום השיעור – דיון במליאה – 5 דק'	
19	פרק 2 – מה אנחנו צריכים לדעת?	
20	2.1 פתיחה: קול הוא רעד – פעילות בכיתה – 5 דק'	
20	2.2 הקול מתפשט באמצעות תווך (החומר שבו מתקדם הקול) – פעילות כיתתית – 10 דק'	
21	2.3 ניסוי בעזרת סרגל – עבודה בזוגות/דיון כיתתי – 20 דק'	
22	2.4 ניסויים עם גומייה וכוס נייר – עבודה בזוגות/דיון במליאה – 20 דק'	
22	2.5 ניסויים בחומר – עבודה בזוגות/דיון במליאה – 10 דק'	
23	2.6 התקנת מיתרים – דיון במליאה/עבודה בזוגות – 15 דק'	
23	2.7 דיון במליאה – סקירה של הדברים שנלמדו בשיעור באמצעות דיון כיתתי – 5 דק'	
24	פרק 3 – כאן בונים!	
25	3.1 פתיחה – מה עשינו עד עכשיו? – דיון במליאה – 5 דק'	
25	3.2 משימת האתגר – דיון במליאה – 10 דק'	
26	3.3 סיכום – העלאת רעיונות, פיתוח ותכנון, בנייה ושיפור – דיון במליאה/עבודה עצמית – 60 דק'..	
26	3.4 הערכה של משימת האתגר – דיון בכיתה – 10 דק'	

26	מה השגנו עד עכשיו? - דיון בכיתה - 5 דק'	3.5
27	פרק 4 – הצגת כלי הנגינה והערכתו.....	
28	פתיחה – דיון במליאה – 5 דק'	4.1
28	פסקול – דיון כיתתי/עבודה בקבוצות – 50 דק'	4.2
28	מה השגנו עד עכשיו? – דיון בכיתה – 5 דק'	4.3
29	נספחים.....	
29	סיפור המסגרת של משימת האתגר – בואו נשמע!	
30	תהליך התיכון ההנדסי.....	
31	דפי עבודה (כולל תשובות).....	
32	דף עבודה 1 פרק 1 - הנדסה או לא הנדסה?	
33	דף עבודה 1 פרק 0 – הנדסה? – הערות למורה.....	
34	דף עבודה 1 פרק 1 - פסקול.....	
35	דף עבודה 2 פרק 2 – ניסויים עם סרגל, עמ' 1.....	
36	דף עבודה 2 פרק 2 – ניסויים עם סרגל, המשך.....	
37	דף עבודה 2 פרק 2 – ניסויים עם סרגל – תשובות.....	
38	דף עבודה 2 פרק 2 – ניסויים בעזרת סרגל – המשך תשובות.....	
39	דף עבודה 3 פרק 2 – גומייה וכוס נייר, עמ' 1.....	
40	דף עבודה 3 פרק 2 – גומייה וכוס נייר – המשך – עמ' 2.....	
41	דף עבודה 3 פרק 2 – גומייה וכוס נייר, עמ' 1 - תשובות.....	
42	דף עבודה 3 פרק 2 – גומייה וכוס נייר – המשך – עמ' 2 תשובות.....	
43	דף עבודה 4 פרק 3 – כאן בונים!.....	
44	דף הערכה פרק 4 – מעגל התיכון ההנדסי.....	
45	דף הערכה פרק 4 – מעגל התיכון ההנדסי - תשובות.....	
46	תיבות תהודה אפשריות.....	
47	רעיונות לאופן שבו ניתן למתוח מיתרים על תיבת תהודה.....	
50	תמונות להמחשה של ציוד וחומרים.....	
51	חומר רקע מדעי למורים על קול והנדסה אקוסטית.....	
54	מושגים הקשורים להנדסה.....	
55	תפישות שגויות של תלמידים לגבי המושגים 'קול' 'הנדסה'.....	
57	שותפים.....	

מידע כללי



משך היחידה: 4 שעות ו- 55 דקות (295 דקות)

קהל יעד: תלמידי כיתות ד'- ו'

תקציר: ביחידה זו התלמידים מתכננים ובונים בכוחות עצמם כלי נגינה, מעין גיטרה פשוטה, שבעזרתה הם ילחינו פסקול (יחברו מנגינה) לסרט אילם קצר. הפעילות מאפשרת להם להתנסות בתכונות הקול, וללמוד עקרונות מדעיים הקשורים בקול, כמו העובדה שקול הוא רעד או שלקול יש גבהי צליל שונים. בנוסף, התלמידים לומדים להשתמש, בדומה למהנדסים בעולם האמיתי, בתהליך התיכון ההנדסי.

קשר לתוכנית הלימודים במדע וטכנולוגיה: מדעי החומר - אנרגיה: אנרגיית קול; טכנולוגיה - פתרון בעיות: תהליך התיכון ההנדסי (תכנון ובניה של כלי נגינה).

תחום ההנדסה: הנדסת אקוסטיקה.

מטרות:

- להציג את תהליך התיכון ההנדסי הדרוש על מנת לבנות כלי נגינה.
- לבדוק את תכונות הקול.
- לעשות שימוש במונחים המדעיים המתייחסים לקול.
- לספק לתלמידים הזדמנות לתכנן ולערוך ניסויים מדעיים תוך שיתוף פעולה עם תלמידים אחרים.

מבחינה מדעית התלמידים ילמדו כי:

- הקול מופק באמצעות רעידות (ויברציות) וזקוק לחומר מתווך על מנת להתפשט;
- רעידות חזקות (גדולות) מפיקות קול רם, בעוד רעידות חלשות (קטנות) מפיקות קול שקט;
- רעידות מהירות מפיקות קול בעל גובה צליל גבוה, בעוד רעידות איטיות מפיקות קול בעל גובה צליל נמוך;
- תדירות ומשרעת הן מושגי יסוד בקול המתארים את אופי הרעידות;
- הגודל של תיבת התהודה והחומר שממנו היא עשויה משפיעים על גובה הצליל.

מבחינה עיצובית והנדסית התלמידים ילמדו כי:

- הנדסה וטכנולוגיה מהווים היבטים משמעותיים של חיי היומיום;
- ניתן ליישם את כישורי התכנון והבנייה שנרכשו ביחידה זו לפעילויות בתחומי הנדסה נוספים;
- תכנון הנדסי מוצלח דורש ידע מדעי;
- הדרך הטובה ביותר להגיע ליצירתיות היא באמצעות שיתוף פעולה, שבמהלכו כל אחד מהמשתתפים תורם את חלקו.

כדי להעריך את מידת ההצלחה של תהליך הלימוד:

- המורה תנהל דיון במליאה שיאמוד את מידת ההבנה של התלמידים;
- התלמידים ימלאו את דפי העבודה.

יחידת הלימוד כוללת את החלקים הבאים:

שיעור הכנה - מטרתו להעלות את המודעות להשפעה של ההנדסה והטכנולוגיה על חיי היומיום שלנו בדרכים שאינן תמיד גלויות לעינינו. **פרק ראשון** - כולל הצגה של משימת האתגר ההנדסית, הקשרה, ואת תהליך התיכון ההנדסי. משימת האתגר ביחידה הנוכחית היא לתכנן ולבנות כלי מיתר פשוט שישמש את התלמידים כדי

להלחין פסקול לסרט קצר אילם. **פרק שני** - כולל את שלב איסוף המידע בתהליך התיכון ההנדסי. התלמידים לומדים, תוך התנסות פעילה, על תכונות הקול, ומגלים כיצד הגודל של תיבת התהודה והחומר שממנו היא עשויה משפיעים על הקול. **פרק שלישי** - כולל העלאת רעיונות לפתרון משימת האתגר ובחירה של הפתרון המועדף. זה גם הזמן להלחין את הפסקול לסרט הקצר האילם. **פרק רביעי** – בשלב זה הקבוצות מציגות בפני הקבוצה את הפסקול שהלחינו. זה גם הזמן לבחון את תהליך התיכון ההנדסי, לבדוק אם התלמידים עמדו בתנאי הסף שנקבעו, ולהעלות רעיונות לשיפור כלי הנגינה והפסקול.

ציוד וחומרים



הטבלה כוללת ציוד וחומרים עבור 30 תלמידים.

פרק 4	פרק 3	פרק 2	פרק 1	שיעור 0	כמות כוללת	ציוד/חומר
1	1	1	1		1	לוח חכם או מחשב עם מקרן
1	1	1	1		1	חיבור לאינטרנט (כדי להקריין את הסרטון)
1	1		1		1	סרטון (ר' פרק 1)
1	1	1	1	1	1	פוסטר של תהליך התיכון ההנדסי
			12		12	A4 דפי נייר
30		30	30		30	דף סיכום 1 פרק 1 - פסקול
1		1	1		1	רשימת השאלות מפרק 1
		15			15	דף סיכום 2 פרק 2 (ניסויים בעזרת סרגל)
		15			15	דף סיכום 3 פרק 2 (ניסויים בעזרת גומייה וכוס נייר)
	30				30	דף סיכום 4, פרק 3 (כאן בונים!)
	30				30	גיליון הערכה פרק 2 (תהליך התיכון ההנדסי)
	30 (1 לכל תלמיד)				30 (1 לכל תלמיד)	תיבות תהודה (1 לכל תלמיד, לדוגמה, מכלי קוטג', מכלי פרינגלס, קופסאות שימורים ריקות, בקבוקים וכו')
	5				5	תיבה לאחסון חומרים
		1			1	כלי פריטה (אם אפשר)
		1			1	צינור אלומיניום שרשורי (סלינקי) 

פרק 4	פרק 3	פרק 2	פרק 1	שיעור 0	כמות כוללת	ציוד/חומר
		15	15		15	סרגל (לא מעץ) 
	30	45			75	כוס נייר 
	15	15			30	כוס פלסטיק 
		1			1	קופסת קרטון גדולה רבועה 
		1			1	קופסת קרטון קטנה רבועה 
			1 חופן		1 חופן	חופן של גרגרי סוכר (לפעילות הבחירה)
			1		1	בלון (לפעילות הבחירה)
	5 (1 לכל קבוצה)	1 קופסא			6 חפיסות	חוט דנטלי 
	5 (1 לכל קבוצה)	1 סליל			6 סלילים קטנים	חוט דייגים (0.3-0.8 מ"מ) 
	75 (15) לכל קבוצה)	15			90	מהדקי נייר 
	75 (15) לכל קבוצה)	15			90	כפתורים 
	90 (18) לכל קבוצה)	15			105	שיפודי עץ

פרק 4	פרק 3	פרק 2	פרק 1	שיעור 0	כמות כוללת	ציוד/חומר
						
	90 (18) לכל (קבוצה)				90	גומיות עבות 
	90 (18) לכל (קבוצה)	15			105	גומיות דקות 
	5 סלילים (1 לכל (קבוצה)				5 סלילים קטנים	חוט תפירה 
	75 (15) לכל (קבוצה)				75	סיכות מתפצלות 
	90 (18) לכל (קבוצה)				90	בורג עין 
	90 (18) לכל (קבוצה)				90	מקלות ארטיק 
	10 (2 לכל (קבוצה)	15			15	זוג מספריים
	15 (1 לכל (קבוצה)	15			15	מחט רקמה עבה וקהה או כלי אחר שיכול לשמש לניקוב 
	5 גלילים (1 לכל (קבוצה)				5	נייר דבק 

שיעור הכנה – תכנון ובנייה של מעטפות ואריזות מהי הנדסה ומה עושים מהנדסים?

משך השיעור: כל מורה תחליט לכמה זמן היא זקוקה כדי להעביר את השיעור, בהתאם לידע ולניסיון של התלמידים. ההקדמה, הפעילויות המרכזיות והסיכום דורשים כ-40 דקות; פעילות הבחירה עשויה לקחת 10 עד 30 דקות נוספות.

מטרות

- התלמידים יחשפו למגוון אמצעים ושיטות שבהם משתמשים מהנדסים כדי לפתור בעיות, ויוכלו לתאר אותם.
- התלמידים יוכלו להסביר את משמעות המושג טכנולוגיה ולתאר מה עושים מהנדסים.
- התלמידים ילמדו שפתרונות שונים נועדו לפתור בעיות שונות, בהתאם להקשר ולחומרים שהיו זמינים בזמן ובמקום מסוימים.
- התלמידים ייווכחו לדעת שחפצים שונים תוכננו ונבנו כדי לפתור בעיות וצרכים ממשיים.
- התלמידים יבינו שגברים ונשים יכולים להיות מוכשרים באותה מידה בפתרון בעיות הנדסיות.

ציוד וחומרים (ל-30 תלמידים):

- 8X ערכות של דוגמאות לאריזות לפעילות הבחירה
- 8X חבילות של פתקיות נדבקות
- קרטון, נייר, דבק, ומספריים לפעילות הבחירה
- 8X ערכות של מעטפות מ-5 סוגים שונים
- 8X ערכות של חפצים מ-5 סוגים שונים

הכנות

- לרכז מגוון של מעטפות ואריזות
- להדפיס עותק של **דף עבודה 1 פרק 1**
- לאסוף צילומים ותמונות לפעילות

אופן העבודה בכיתה

- עבודה בקבוצות
- דיון במליאה
- המקדימה

תקציר השיעור



שיעור זה זהה בכל היחידות ומטרתו לעודד את התלמידים לחשוב מהי טכנולוגיה ולהתמודד עם המושגים השגויים הרווחים על הנדסה ועל מהנדסים (בעיקר אלו הקשורים למגדר). מטרתו לגרום לתלמידים להבין שמוצרים/אביזרים/חפצים תוכננו ונבנו על ידי מהנדסים כדי לענות על צורך קיים או עתידי בחיי היומיום, ושהמילה טכנולוגיה, במובן הרחב של המילה, חלה על כל חפץ, שיטה או תהליך שעברו שינוי או עיצוב כדי להתאימם לצרכים או למטרות מסוימות. הפרק מעודד את התלמידים לחשוב אילו בעיות נועדה הטכנולוגיה לפתור (במקרה הזה, מעטפה או אריזה).

בפרק ידונו התלמידים במגוון הטכנולוגיות שבהן נעשה שימוש על מנת לפתור את הבעיות ההנדסיות הקשורות בתכנון וביצירה של מעטפות ואריזות שנועדו לצורך מסוים.

אחת ממטרות הפרק היא ללמד את התלמידים להיות זהירים בבואם לנקוט עמדות שיפוטיות בנוגע לטכנולוגיה 'מפותחת' לעומת טכנולוגיה 'פרימיטיבית', ולעודד אותם להעריך כל טכנולוגיה בהקשרה; טווח החומרים והאמצעים הזמינים במקום ובזמן מסוים הוא זה שקובע באיזו טכנולוגיה יעשה המהנדס שימוש בבואו לפתור בעיה מסוימת.

0.1 פתיחה – עבודה בקבוצות ודיון במליאה – 10 דק'

המורה תחלק את התלמידים לקבוצות של ארבעה ותיתן חבילת פתקיות נדבקות לכל קבוצה. המורה תשאל את התלמידים: אילו אסוציאציות עולות לכם כשאתם שומעים את המילים הנדסה וטכנולוגיה? יש לוודא שכל אחד מהתלמידים בכל אחת מהקבוצות רושם לפחות רעיון אחד. כל קבוצה תציג את הפתקיות שלה על הלוח הראשי ותסביר בקצרה את בחירותיה לשאר התלמידים. יש לשמור את הרשימה של כל הכיתה ולבחון אותה שוב בסוף הפרק.

חומר נוסף לדיון

ניתן להרחיב חלק זה באמצעות תמונות של דוגמאות טיפוסיות להנדסה לעומת דוגמאות חריגות. המורה תבקש את התלמידים לחלק את התמונות לאלו שמתקשרות אצלם עם המילים הנדסה וטכנולוגיה ולאלו שלא. אפשר להפנות את התלמידים לצילומים בדף העבודה הראשון, או להציג את הצילומים בדף העבודה על הלוח בפני כל הכיתה. המורה תבקש מהתלמידים לעבוד בזוגות. כל זוג יתבקש להחליט אילו צילומים קשורים למילים הנדסה וטכנולוגיה ואילו אינם קשורים, ולהסביר את בחירתם. כל זוג תלמידים יחלק את דעותיו עם זוג תלמידים אחר ויבחן את ההבדלים ואת הדמיון בתובנות שאליהן הם הגיעו. ניתן להשתמש ברעיונות אלו כבסיס לדיון בכיתה; המורה תנסה לעודד את התלמידים להרחיב את ההגדרות של הנדסה וטכנולוגיה, כמו גם את המושגים שלהם בנוגע למהנדסים, מהנדסות, ממציאים וממציאות.

0.2 פעילות 1: מהי אריזה? – עבודה בקבוצות – 5 דק'

המורה תחלק לכל קבוצת תלמידים מעטפות ואריזות שונות. כל קבוצה תדון בשאלה מהי מעטפה/אריזה. כדי לסייע בדיון, המורה תספק מגוון דוגמאות למעטפות שמכסות ו/או מגנות על חפצים או חומרים (כפי שניתן לראות בתמונות).



אחת ממטרות הפעילות היא לגרום לתלמידים לשים לב שיש פרשנויות רבות ושונות למילה מעטפה, שמהווה למעשה אריזה. בתמונות לעיל יש כמה דוגמאות שעשויות לאתגר את התלמידים בבואם להגדיר את המושג מעטפה. מעטפה או אריזה היא למעשה דבר מה אשר 'מגן', 'מכיל', 'מחזיק במקום', 'מכסה', 'מסתיר', ואפילו 'חושף' טווח רחב של חפצים שונים ומשונים.

0.3

פעילות 2: התאמה בין אריזות לחפצים – עבודה בקבוצה ודין במליאה – 15 דק'

המורה תחלק את הכיתה לקבוצות של ארבעה תלמידים ותספק לכל קבוצה מגוון של מעטפות וחפצים שניתן להכניס לתוכן. המורה תבקש מהתלמידים להתאים בין המעטפות לחפצים ולהסביר על סמך מה נעשתה ההתאמה.



החפצים עשויים לכלול: זוג משקפיים, דיסק DVD, תעודה מזהה או צילום שאסור שיתקמטו, תכשיט עדין, מסמכים חסויים, זוג מספרים ועוד. מגוון החפצים והמעטפות עשוי להשתנות בהתאם להקשר ולחומרים הזמינים למורה.

השאלות הבאות עשויות לסייע בהנחיית הדין:

- מאיזה חומר המעטפה עשויה?
 - באילו אמצעים נעשה שימוש כדי לסגור את המעטפה?
 - האם יש בתוך המעטפה אמצעים מיוחדים כדי למנוע מהחפץ שבפנים להחליק או לזוז?
 - לאיזה סוג של חפצים עשויה המעטפה להתאים?
 - מאילו חומרים נוספים ניתן לדעתכם להכין אותה?
- בסיום הדין הקבוצתי, יציג נציג מכל קבוצה את התובנות של הקבוצה בפני המליאה.



נוצרת כאן הזדמנות למורה להנחות את הדין ולציין את הטכנולוגיות השונות שבהן נעשה שימוש לשם תכנון המעטפה, כולל צורת המעטפה, אופן הסגירה שלה והאמצעים השונים שנקטו כדי למנוע תזוזה או החלקה של החפץ המאוחסן בתוכה (לדוגמה, סגירה חד-פעמית לעומת סגירה רב-פעמית; אמצעי קיבוע, החומר שממנו עשוי החלק הפנימי המעטפה לעומת החומר שממנו עשוי החלק החיצוני; חתימה לשם מניעת דליפות; אריזות אטומות לאור וכו').

המורה יכולה להוסיף דיון בנוגע לתהליך המחשבתי של האנשים שעיצבו את האריזה; אילו בעיות הם היו צריכים לפתור ועל אילו צרכים היה עליהם לענות? כיצד הם ניגשו לפתרון הבעיה? האם לדעת התלמידים עמדו בפניהם אפשרויות נוספות? אילו גרסאות מוקדמות, מוצלחות פחות, היו אולי למעטפות שהתלמידים רואים עכשיו?

0.4

פעילות בחירה – 10-30 דקות – עבודה בקבוצות
חלק א'

המורה תציג בפני התלמידים מגוון מעטפות ותבקש מהם להעריך את העיצוב שלהן על פי מידת התאמתן למטרה שלשמה הן נועדו (ר' צילום).



ניתן להשוות מעטפות על פי סוג הסגירה, אמצעי הקיבוע, ושילוב החומרים שמהם הן עשויות (לדוגמה, אריזת פלסטיק עם בועות אוויר ('פצפצים'), יכולת ספיגה, עמידות לחום, לאש, לקריעה, וכדומה). ניתן להרחיב את הפעילות ולבחון את צורות הקיפול השונות כדי להבין כיצד ניתן להשתמש בקיפולים עצמם כדי לצמצם או למנוע את הצורך בדבק בתהליך הייצור. שלושת התמונות הבאות מציגות מעטפות אשר ייצורן מצריך סוג אחד בלבד של חומר, ושאינן צורך בדבק. כדי להכין את המעטפות והאריזות האלו די בחיתוך ובקיפול בלבד.



חלק ב'

המורה תחלק את התלמידים לקבוצות ותבקש מהם לתכנן ו/או ליצור מעטפה שנועדה לחפץ מסוים. לשם כך יצטרכו הקבוצות להשתמש בידע שלהם על חומרים ועל תהליך התכנון והבנייה. בדיון במליאה שיתקיים לאחר מכן יציגו הקבוצות את המעטפה שלהם ויקבלו משוב מהמורה ומהתלמידים האחרים בכיתה.

סיכום – 10 דקות – דיון במליאה 0.5

- המורה תזכיר לתלמידים את מה שרשמו על הפתקיות הנדבקות מתחילת השיעור ותסב את תשומת לבם למה שחשבו בתחילת התהליך לעומת מה שהם חושבים עכשיו, בסופו של התהליך. המורה תבקש מהתלמידים לחשוב על המקום שממלאים הנדסה וטכנולוגיה בחיינו ותסכם את הנקודות המרכזיות שעלו בדיון:
- משמעות המילה טכנולוגיה היא מעשה ידי אדם. אנשים (מהנדסים) מתכננים מפתחים ובונים חפצים/מוצרים/אביזרים/תהליכים על מנת לפתור בעיה או לתת מענה לצורך קיים או עתידי.
 - לשם כך עליהם לבצע תהליך מחשבתי ומעשי כדי לפתור את הבעיות הניצבות בפניהן; כמה מהתוצאות של תהליכים אלו מוצלחות מאוד, ואילו אחרות מוצלחות פחות. התהליך כולל שלב של הערכה ושיפור של הרעיון המקורי.
 - אין טכנולוגיה 'מפותחת' (High-Tec) וטכנולוגיה 'פרימיטיבית' (Low-Tec). יש טכנולוגיה **מתאימה** לצרכים ולמשאבים העומדים לרשות המהנדסים והחברה בזמן ובמקום נתונים.
 - יש מגוון תחומי הנדסה ובעיות הנדסיות מסוגים שונים, שמהנדסים ומהנדסות מכל רחבי העולם מנסים למצוא להן פתרון.



יש הגדרות נוספות, תקפות באותה מידה, למילים הנדסה וטכנולוגיה; לעתים קרובות נוהגים להשתמש במילים אלו כמילים נרדפות. ניתן להגדיר הנדסה כשימוש בטכנולוגיה לשם פתרון בעיות. כאשר דנים בקשר בין הנדסה, מדע וטכנולוגיה יש לעודד את התלמידים לחשוב על האופן שבו מהנדסים משתמשים בסוגים שונים של טכנולוגיות (כולל גזירה והדבקה, שילוב חומרים, מרכיבים ושיטות ייצור מעורבות) כמו גם בידע שלהם על תהליכים מדעיים. זוהי ההזדמנות לדון באופן שבו חפצים מיוצרים, ולשאל על ידי מי הם מיוצרים וכיצד מתנהל תהליך החשיבה המוביל לייצורם משלב הצגת הבעיה ועד לשלב הפתרון.

0.6 הערכה של הישגים ותוצאות - פעילות בחירה

בסוף השיעור תלמידים צריכים להיות מסוגלים:

- להבין כיצד נעשה שימוש במגוון של שיטות, תהליכים, חומרים ואמצעים כדי ליצור חפצים שונים מעשה ידי אדם ובכך לספק מגוון פתרונות לבעיות בחיי היומיום.
- להיות מודעים לכך שטכנולוגיה מתאימה תלויה לעתים קרובות בהקשר ובחומרים הזמינים בזמן ובמקום מסוימים.
- לתת את הדעת לכך שמהנדסים ומהנדסות משתמשים במגוון רחב של כישורים כדי לפתור בעיות.
- להבין שמהנדסים ומהנדסות יכולים להיות אנשים בעלי כישורים, רקע ותחומי עניין שונים.

פרק 1 – הצגת הצורך ומשימת האתגר ההנדסית

משך השיעור: 60 דק'



מטרות

- התלמידים יבינו שתכנון ובנייה של מכשיר טכנולוגי הוא תוצאה של תהליך הכולל מספר שלבים שנקרא: תהליך התיכון ההנדסי.
- התלמידים יבינו את האופן שבו ניתן להשתמש בתהליך התיכון ההנדסי על מנת לפתור בעיות בצורה יעילה.
- התלמידים יכירו את תחום הנדסת האקוסטיקה.
- התלמידים יבינו את התכונות העיקריות של פסקול.
- התלמידים יהיו בעלי מוטיבציה לתכנון ובנייה של כלי נגינה.

ציוד וחומרים (ל-30 תלמידים)

- ☐ פוסטר של תהליך התיכון ההנדסי
- ☐ גיליונות נייר A4
- ☐ סרטון באורך של כ-50 שניות
- ☐ דף סיכום 1 פרק 1 (פסקול)
- ☐ לוח חכם או מחשב עם מקרן



הכנות

- לבחור סרטון באורך של כ-50 שניות
- לבחור את האופן שבו רוצים להקרין את הסרטון
- לצלם עותקים של דף סיכום 1 פרק 1 (פסקול)
- להציג במקום בולט את הפוסטר של תהליך התיכון ההנדסי

אופן העבודה בכיתה

- עבודה בקבוצות
- דיון במליאה



מסרים מרכזיים

- תהליך התיכון ההנדסי הוא תהליך המשמש מהנדסים בבואם לפתור בעיות הנדסיות.
- תהליך התיכון ההנדסי כולל חמישה שלבים: איסוף מידע; העלאת רעיונות; תכנון ופיתוח; בניה; ושיפור והערכה.



תקציר הפרק

בפרק זה נציג את תהליך התיכון ההנדסי ואת משימת האתגר ההנדסית. משימת האתגר ההנדסית שלנו היא לתכנן ולבנות כלי נגינה פשוט עם מיתרים. באמצעות אותו כלי נגינה ילחינו התלמידים פסקול לסרט קצר. לפני שהתלמידים יתכננו וייבנו את כלי הנגינה בפרק 3, עליהם לחשוב לאיזה ידע הם זקוקים הם כדי לבצע בהצלחה את משימת האתגר.



פתיחה 1.1

המורה תפתח את השיעור באמצעות הצגה של חפץ שהתלמידים משתמשים בו בחיי היומיום כדי להסביר את תהליך התיכון ההנדסי. לדוגמה שקית תה, כוס נייר או עט. מדוע הם מעוצבים כפי שהם מעוצבים? מי עיצב אותם כך?

- המורה תציג את תהליך התיכון ההנדסי בכך שהיא תבקש מהתלמידים לפתור בעיה פשוטה. הבעיה/הצורך: דף A4 צריך להגיע מקצה הכיתה לקצה.
- **הצורך? דף הנייר הזה צריך להגיע מצד אחד של הכיתה לצד השני.**
- **מה צריך לדעת?** במקרה הזה יש להניח שהתלמידים יחשבו רק על המגבלות (חומרים, זמן, עלות) שעליהם לקחת בחשבון. אך במקרים שבהם המשימה מורכבת יותר, יש לעודד אותם לחשוב גם על הידע שהם זקוקים לו לשם פתרון הבעיה.
- לכל קבוצה יש דף נייר ושתי דקות כדי להגיע לפתרון ולממש אותו.**
- הקבוצות לא רשאיות לבצע ניסויים לפני שכל התלמידים בכיתה מוכנים.**
- כשכל התלמידים הגיעו לפתרון, המורה תיתן להם להציג אותו בפני כל הכיתה.
- המורה תיקח את הפוסטר של תהליך התיכון ההנדסי ותעבור על התהליך שלב אחר שלב. המורה תתייחס לכל שלב בהקשר של המשימה הפשוטה של העברת דף נייר ממקום א' למקום ב'.
- מה עשיתם? יש להניח שרוב הקבוצות יבנו מטוס נייר. למה בניתם מטוס נייר?
- בסדר, היה לכם רעיון לבנות מטוס נייר. ומה עשיתם? **בניתם אותו.**
- ואז? **בדקתם איך הוא עובד.**
- עכשיו, אחרי שבדקתם את הפתרון שלכם וראיתם מה התלמידים האחרים עשו, האם הייתם משנים משהו? **האם יש לכם הצעות לשיפור?**

1.2 משימת האתגר – דיון כיתתי – 10 דק'

המשימה היא לבנות כלי נגינה, כלי מיתר, שבעזרתו יש לחבר מנגינה שתלווה את הסרטון. הסרטון אילם; מישו מחק בטעות את הפסקול ועל התלמידים לעזור למורה להוסיף פסקול שילחינו בעצמם וינגנו אותו באמצעות כלי נגינה שיבנו.

ניתן לבחור את אחת מבין האפשרויות הבאות:

1. סרטון קצר במשך של כ-50 שניות המתאים לנושא מסוים הנלמד בכיתה. זה יכול להיות סרט מצויר או מצולם למשל, סרט קצר על החלל או על חיות בר. צפו בסרטון ללא קול ובדקו אם הוא מתאים.
2. סרטון שהתלמידים צילמו בעצמם על אחד הנושאים הנלמדים בבית הספר;
3. סרטון שהתלמידים בוחרים בעצמם. על המורה לוודא שתוכן הסרטונים הולם את גילם.

אפשר למצוא הרבה סרטונים באתר: <http://movieclips.com/>

לדוגמה, אפשר להשתמש בחלק מהסרט 'זמנים מודרניים' של צ'רלי צ'פלין (1.35-0.40):

<http://movieclips.com/xruv-modern-times-movie-a-cog-in-the-machine>

או בסצנה 'מבמבי' (0.50-0.0):

<http://movieclips.com/hGMO-bambi-movie-bambi-on-ice>

או במכונה של רוב גולדברג:

<http://www.youtube.com/watch?v=qybUFnY7Y8w&feature=youtu.be>

המורה תדון עם התלמידים בתפקיד שממלא הפסקול בסרטים או במחזות ותנחה את התלמידים לחשוב על מהות הקול. ממה עשוי הקול? למה הוא חשוב בסרטים? קול יכול ליצור תחושות חזקות שמאפשר לנו לחוות את מה שאנחנו רואים בצורה חזקה יותר.

המורה תקרין את הסרטון ותשאל את התלמידים מה מתרחש בסרטון.

1.3

דף סיכום 1 פרק 1 – פסקול - עבודה בקבוצות/דיון במליאה - 15 דק'

כל אחד מהתלמידים יתכנן ויבנה כלי מיתר פשוט לעצמו. הלחנת הפסקול תתבצע בקבוצות. המורה תחלק את התלמידים לקבוצות של כ-5 תלמידים. כל קבוצה תקבל עותק של דף עבודה 1 פרק 1 פסקול.

הקרינו שוב את הסרטון ובקשו מהתלמידים לענות על השאלות בדף עבודה 1 פרק 1 פסקול, פרט לשאלה האחרונה.

לאחר 10 דקות, המורה תנהל דיון בכיתה ותשאל את התלמידים איזה סוג של קולות/צלילים הם רוצים להלחין.

המורה תנצל את ההזדמנות כדי לשוחח עם התלמידים על התפקיד של מהנדס אקוסטיקה. מהנדס אקוסטיקה ומהנדסות אקוסטיקה הם גברים ונשים הפותרים בעיות הקשורות בקול. הדבר העיקרי שמהנדס אקוסטיקה מנסים לעשות הוא לשלוט בקול. כלומר, להגביר/להנמיך אותו או לתעל אותו למטרות מועילות. לדוגמה:

- למצוא דרך להרחיק רעשים לא רצויים, כמו בומים על-קוליים או רעשים שחודרים לאולפן קול ופוגעים באיכות ההקלטות.
- לבנות אולם קונצרטים עם אקוסטיקה טובה.
- למצוא דרך להנמיך את עוצמת הקול שיוצרות מכונות.
- למצוא פתרון לבעיות ניווט. לדוגמה, סונאר לשם איתור קרחונים המסתתרים מתחת למים, או סונאר לאיתור צוללות אויב.
- לפתח מכשירי אולטרה סאונד לשימושים רפואיים.
- ליצור אפקטים קוליים לסרטים.

ייתכן שהדיון בכיתה יוביל לצורך להסביר לתלמידים את המושג 'גובה צליל'.

1.4

שלב איסוף המידע – עבודה בקבוצות 20 דק'

המורה תורה לתלמידים לבחון את שלב 'איסוף המידע' בתהליך התיכון ההנדסי. מה אנחנו צריכים לדעת כדי למלא את המשימה בהצלחה?

- המורה תשאל את התלמידים מה עליהם לדעת כדי למלא בהצלחה את משימת האתגר. כל קבוצה תדון בשאלה ותרשום שתי שאלות בדף סיכום 1 פרק 1 פסקול.

אם התלמידים מגלים עניין רק בחומרים או בתנאי הסף, נסו לגרום להם לחשוב על סוגיות מדעיות באמצעות שאלות כמו: האם אתם יודעים כיצד להפיק צליל? מה ההבדל בין קול בעל גובה צליל נמוך וקול בעל גובה צליל גבוה?

- אחרי 10 דקות, המורה תאסוף את כל השאלות ותכתוב אותן על הלוח. על אילו שאלות כבר אפשר לענות ואילו דורשות מידע נוסף?

- על המורה לוודא שהמגבלות ותנאי הסף ברורים. חלק מהשאלות יעסקו בצד המדעי של משימת האתגר. על המורה להגיד לתלמידים שבפרק 2 הם יעסקו בניסויים שיספקו להם מידע נוסף על תכונות הקול ועל אקוסטיקה, שזהו תחום הנדסה שעוסק בהתקדמות גלי הקול בסביבה.

חשוב שאוצר המילים שבו יעשה שימוש יהיה ברור לתלמידים. לדוגמה, ניתן להתבלבל בקלות בין המושגים 'גובה צליל גבוה' ובין 'וצליל רם'. רשמו צליל גבוה/נמוך, קול רם/שקט, וכל מילה אחרת שמופיעה במהלך הדיון במקום בולט. רשמו גם את שאר המילים שעשויות לגרום לבלבול. דונו במילים אלו. הציגו את הרשימה במקום בולט במהלך כל השיעורים ביחידה. והמשיכו להוסיף מונחים לרשימה במהלך השיעורים הבאים, עד סוף היחידה.

1.5 סיכום השיעור – דיון במליאה – 5 דק'

- המורה תסכם את השיעור ואת הדברים שנלמדו במהלך הפרק.
שאלות אפשריות כדי להקל על ניהול הדיון:
- איזה שימוש ניתן לעשות בתהליך התיכון ההנדסי?
 - מי יכול להסביר את השלבים השונים של תהליך התיכון ההנדסי?
 - מה למדנו על הקול?
 - על איזה שאלות עוד לא ענינו? מה עוד אנחנו צריכים לדעת?

פרק 2 – מה אנחנו צריכים לדעת? איסוף מידע על קול ואקוסטיקה

משך השיעור: 85 דק'



מטרות:

- התלמידים יבדקו כיצד הקול מתפשט.
- התלמידים יגלו באמצעות ניסויים כמה מתכונות הקול.
- התלמידים יתנסו בכמה אמצעים להגברת הקול.
- התלמידים יחזרו ויתנסו בתהליך התיכון ההנדסי.

ציוד וחומרים (ל 30 תלמידים):

- | | |
|--|---|
| ☐ 45X ספלי נייר | ☐ צינור אלומיניום שרשורי (סלינקי) |
| ☐ 15X זוגות מספריים | ☐ רשימת השאלות מפרק 1 |
| ☐ 15X סרגלים | ☐ רשימת המושגים מפרק 1 |
| ☐ 1X קופסה גדולה ו1X קופסה קטנה, עשויות מאותן חומרים וזהות בצורתן | ☐ חופן סוכר |
| ☐ 15X כוסות פלסטיק | ☐ בלון אחד |
| ☐ 1X קופסת חוט דנטלי (20 סנטימטר לכל זוג) | ☐ לוח חכם או מחשב שעליו ניתן להקרין את הסרטון |
| ☐ 1X סליל של חוט דיג (20 סנטימטר לכל זוג) | ☐ 15X דפי סיכום 2 פרק 2 ניסויים בעזרת סרגל |
| ☐ 15X מהדקי נייר | ☐ 15X סרגלים (לא מעץ) |
| ☐ 15X כפתורים | ☐ 15X דפי סיכום 3 פרק 2 ניסויים עם גומיות וכוסות |
| ☐ 15X שיפודים | ☐ נייר |
| | ☐ 15X גומיות דקות |



הכנות לפני השיעור

- להכין עותקים של דפי הסיכום
- לארגן את הציוד והחומרים הדרושים לשיעור, כולל גיטרה או כלי פריטה אחר
- להציג את רשימת השאלות מפרק 1
- להציג את רשימת המושגים מפרק 1
- להכין את הלוח החכם או המחשב כדי להקרין את סרטון הווידאו של הגל באצטדיון

אופן העבודה בכיתה

- פעילות בכיתה
- דיון במליאה
- עבודה בזוגות



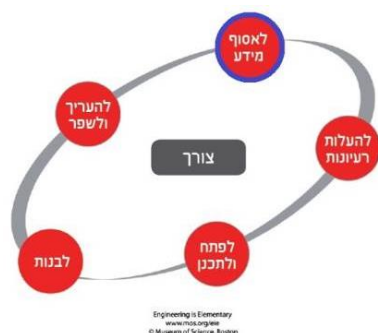
מסרים מרכזיים

- קול הוא רעד.
- קול זקוק לתווך על מנת להתפשט.
- גודל של תיבת התהודה והחומר שממנו היא עשויה משפיעים על הקול.
- ה'תדירות' וה'משרעת' של הרעידות משפיעים על הצליל שאנו שומעים.



תקציר הפרק:

שלב איסוף המידע של תהליך התיכון ההנדסי מוביל לאיסוף מידע על תכונות הקול. התלמידים מגלים באמצעות ניסויים את תכונות הקול וכיצד הגודל של תיבת התהודה משפיע על הקול. באופן כללי מטרות הפרק לגרום לתלמידים להרגיש ששאלת השאלות המתאימות תוך תהליך חקר מאפשרים להם לקבל את המידע הדרוש לפתרון המשימה.



2.1 פתיחה: קול הוא רעד – פעילות בכיתה – 5 דק'

- המורה תזכיר לתלמידים שמטרת השיעור היא לחקור את תכונות הקול. באיזה שלב של תהליך התיכון ההנדסי אנחנו נמצאים? על אילו שאלות אנחנו רוצים לענות היום?
- המורה תפתח את השיעור בכך שתשאל את התלמידים כמה שאלות בנוגע לקול ותכתוב את תשובותיהם על הלוח סביב המילה 'קול'. הנה כמה שאלות אפשריות:
 - מה זה לדעתכם קול?
 - איזה סוג של קולות יש בעולם? המורה תרשה לתלמידים להפיק קולות כמו זמזום או מחיאות כפיים. המורה תציג את מושג גובה הצליל בכך שתבקש מהתלמידים להפיק קולות בעלי גובה צליל גבוה וגובה צליל נמוך. אחר כך תציג המורה בצורה דומה את המושגים קול רם (חזק) וקול שקט (חלש).
 - המורה תבקש את התלמידים להניח יד על הגרון כדי לחוש את הרעידות.
 - עכשיו התלמידים יניחו את היד על הגרון תוך כדי זמזום. מה אתם מרגישים עכשיו? התלמידים ירגישו רעד בגרון והמסקנה היא שקול הוא רעד.
 - המורה תפנה את התלמידים לרשימת השאלות מפרק 1 – האם זאת הייתה אחת השאלות ברשימה שלנו?

2.2 הקול מתפשט באמצעות תווך (החומר שבו מתקדם הקול) – פעילות כיתתית - 10 דק'

- גילינו שקול הוא רעד. קול בתנועה נקרא גל קול.
- מי יודע מה זה גל? **התלמידים כנראה יציעו את הגלים בים בתור דוגמה.**
- מה זה גל בים? **הגלים שאנו רואים בסמוך לחוף הים, שמתקדמים לעבר החוף ומתנפצים עליו, הם אכן מים שמתקדמים אבל... הם גם חוזרים בחזרה לכיוון הים. המים של גלי הים שנמצאים רחוק מהחוף אינם מתקדמים לעבר החוף. למעשה, התנועה של הגלים מועברת על ידי מים ממוקם למקום.**
- ומה לגבי הקול באוויר? **הקול שעובר באוויר ומגיע לאוזנינו מועבר למעשה על ידי חלקיקי האוויר ומתקדם מהמקום בו הוא נוצר למרחב. באופן דומה אם נשמיע קול בתוך מים הקול (גלי הקול) יועבר על ידי המים ויתפשט במרחב.**
- הדגימו זאת בעזרת צינור אלומיניום שרשורי ('סלינקי').
- הניחו את קצוות הצינור במרחק 80 סנטימטרים זה מזה. החזיקו את הצינור מכל צד ולחצו על נקודה מסוימת בצינור עד שנוצר גל. ודאו שהתלמידים מבחינים:
 - בגל (אזור הדחיסה) עובר מצד לצד? כן.
 - לאחר שהגל שוכך, הצינור חוזר לתנוחתו המקורית.
- המורה תסביר לתלמידים שהקול נע באופן דומה. האוויר זז קצת, אבל האוויר לא 'נושא' את הקול לאוזנינו. ברגע שחלקיקי האוויר מקבלים את ה"דחיפה" הראשונית, הרעד מתפשט ומתקדם באוויר.



אפשר להדגים את האופן שבו עור התוף באוזן מתפקד באמצעות הדגמה פשוטה. לשם כך יש לקחת בלון, לחתוך את הפייה (החלק שאליו נושפים כדי לנפח את הבלון), למתוח את הבלון החתוך על שפה של כוס פלסטיק ולפזר חופן סוכר על הבלון. לאחר מכן, יש להחזיק את הכוס קרוב לפה ולקרוא 'היי'. יש לעבור בין התלמידים ולשאל אותם מה הם רואים. הרעידות של הקול גורמות לבלון המתוח על שפת הכוס לרעוד ומקפיץ את גרגרי הסוכר.





ומכאן: הקול זקוק לתווך כדי להתפשט ולהתקדם. לדוגמא, אוויר. האם לדעתכם הקול יכול לנוע רק באוויר? האם הוא יכול לנוע גם בתווך אחר כמו העץ שממנו עשוי השולחן הזה? בקשי מהתלמידים להניח את האוזן על השולחן ולנקוש עליו. **מה אתם שומעים? הקול מועבר אליהם גם באמצעות העץ שממנו עשוי השולחן.**

אפשר גם להשוות את גל הקול לגל באצטדיון. לא האנשים הם אלו שזזים מקצה האצטדיון אל קצהו, אלא הגל. לדוגמא: <http://www.youtube.com/watch?v=z5A6ehNcrmw>

2.3 ניסוי בעזרת סרגל – עבודה בזוגות/דיון כיתתי - 20 דק'

המורה תבקש מהתלמידים לערוך את הניסויים בדף עבודה 2 פרק 2 **ניסויים בעזרת סרגל**. בניסויים אלו התלמידים בוחנים את ההבדל בין רעד של קול רם לרעד של קול חרישי, ואת ההבדל בין רעד של קול בעל גובה צליל גבוה לרעד של קול בעל גובה צליל גבוה.

הצעה למורה: אם התלמידים ברמה המתאימה, ניתן להציג בשלב זה את המונחים תדירות ומשרעת.

יש לשים לב שהתלמידים עלולים להתקשות במציאת המונחים המתאימים כדי לתאר את הדברים שהם שומעים. כדי לעזור להם, המורה תזכיר להם את רשימת המושגים משיעור 1. הפעילות הזאת עלולה להיות רעשנית להפליא. אחרי 10-15 דקות על המורה לדון בממצאים של התלמידים ולהשלים, בסיוע התלמידים, את המשפטים הבאים:

- קול רם נובע מרעד _____ . חזק
- קול חרישי נובע מרעד _____ . חלש
- קול בעל גובה צליל גבוה נובע מרעידות _____ . מהירות (בקצב מהיר)
- קול בעל גובה צליל נמוך נובע מרעידות _____ . איטיות (בקצב איטי)
- אם התלמידים ברמה המתאימה, ניתן להציג בפניהם בשלב זה את המושגים תדירות ומשרעת, ולהוסיף אותם לרשימת המושגים מפרק 1.
- אם הרעידות חזקות, המשרעת של הרעד גדולה.
- אם הרעידות חלשות, המשרעת של הרעד קטנה.
- לקול בעל גובה צליל גבוה יש תדירות גבוהה של רעידות (הרבה רעידות ביחידת זמן אחת כלומר קצב רעידות מהיר).
- לקול בעל גובה צליל נמוך יש תדירות נמוכה של רעידות (מעט רעידות ביחידת זמן אחת, כלומר קצב רעידות איטי).

הצעה למורה: אם אין ברצונך להשתמש בדף העבודה, ניתן לרשום את ההוראות והשאלות על הלוח. אפשרות נוספת היא לשאול שאלות מנחות כמו: מה צריך לעשות עם הסרגל כדי להפיק קול חרישי? מה צריך לעשות עם הסרגל כדי להפיק קול בעל גובה צליל גבוה?

2.4 ניסויים עם גומייה וכוס נייר – עבודה בזוגות/דין במליאה - 20 דק'

במהלך הניסוי התלמידים יבחנו שני דברים. ראשית, הם יבחנו את ההבדל בין גובה הצליל של גומייה מתוחה היטב וגובה הצליל של גומייה רפויה יותר. שנית, הם יגלו את תפקידה של תיבת התהודה ויבינו שככל שתיבת התהודה גדולה יותר, כך הקול רם יותר. על המורה להבהיר שניתן להסיק מסקנות מהימנות מהניסוי רק אם הניסוי נערך בתנאים זהים ובכל פעם משנים משתנה אחד בלבד.

- התלמידים יעבדו בזוגות על דף עבודה 3 פרק 2 ניסויים בעזרת גומייה וספל נייר.
- כשהתלמידים יסיימו, המורה תדון איתם על הממצאים בנוגע למידת המתיחות של המיתר.
- גומייה מתוחה יותר, מפיקה קול בעל גובה צליל גבוה יותר.
 - גומייה רפויה יותר, מפיקה קול בעל גובה צליל נמוך יותר.
 - לכן, אם אנחנו רוצים להפיק גובה צליל גבוה, מה אנחנו צריכים לעשות עם המיתר? למתוח אותו חזק.
 - ואם אנחנו רוצים להפיק קול בעל גובה צליל נמוך, מה אנחנו צריכים לעשות? למתוח פחות את המיתר, אבל לוודא שהוא לא מדולדל לגמרי, אחרת המיתר לא יפיק קול.
- עכשיו המורה תשאל את התלמידים אם גודל הכוס משפיע בדרכים נוספות על הקול.
- הקול מהכוס הגדולה יותר (=תיבת תהודה גדולה יותר) רם יותר מהקול הבוקע מהכוס הקטנה יותר (=תיבת תהודה קטנה יותר). מכאן, שהכוס הגדולה מגבירה את הקול, כלומר, ככל שתיבת התהודה גדולה יותר, כך הקול רם יותר.

דין במליאה: המורה תשאל את התלמידים אם גודל תיבת התהודה משפיע בדרכים נוספות על הקול.

- הקול המופק מתיבת התהודה הגדולה יותר הוא בעל גובה צליל נמוך יותר לעומת הקול המופק מתיבת התהודה הקטנה. ניתן להשתמש כדוגמה לכך בהבדל בין קונטרבס וכינור.

ייתכן שחלק מהתלמידים יתקשו להבחין בהבדלים בגובה הצליל. אם יש לך אפשרות להביא כלי מיתר, השתמשתי בו במהלך השיעור על מנת להדגים את ההבדלים בגובה הצליל כאשר מותחים את המיתר.



2.5 ניסויים בחומר – עבודה בזוגות/דין במליאה – 10 דק'

- המורה תבקש מראש מהתלמידים להביא מהבית קופסא או מיכל שישמשו להם כתיבות תהודה במהלך השיעור הנוכחי. אלו יכולים להיות: מיכלי קוטג', קופסאות נעליים, מיכל פרינגלס, קופסאות שימורים ריקות, בקבוקי פלסטיק גדולים וקטנים וכו' (דוגמאות נוספות בנספחים).
- בשלב זה התלמידים כבר יודעים שגודל תיבת התהודה משפיע על הקול; ככל שהמיכל גדול יותר, כך הקול שהוא מפיק רם יותר וגובה הצליל נמוך יותר. עכשיו הם יערכו ניסויים כדי לבדוק אם החומר שממנו עשויה תיבת התהודה אף הוא משפיע על הקול.
- המורה תאפשר לתלמידים לבחון בזוגות את ההבדלים בקולות שניתן להפיק מכוס נייר לעומת הקולות שניתן להפיק מכוס פלסטיק. המורה תבקש מהתלמידים לנקוט על כל אחת מהכוסות. לניסוי זה לא מצורך דף עבודה. הנה כמה שאלות אפשריות:
- מה יכול לשמש כתיבת תהודה?
 - האם הקול שמפיקה הנקשה על שתי הכוסות זהה?
 - מדוע זה מעניין לבדוק את הקול שמפיקה תיבת התהודה שלנו? איזה מידע אנחנו יכולים לקבל מהניסוי הזה?

ניתן להרחיב את הפרק הנוכחי ולבקש מהתלמידים לבדוק כיצד הגודל של פתח תיבת התהודה משפיע על הקול. לדוגמה, מה קורה כשיש חורים בתיבת התהודה? מה קורה אם החורים גדולים? מה קורה כשהחורים קטנים יותר?



2.6

התקנת מיתרים – דיון במליאה/עבודה בזוגות – 15 דק'

המורה תאפשר לתלמידים להתנסות בהתקנת מיתרים מחומרים שונים (חוט דיג או חוט דנטלי) על כוס נייר. כדי לקבע את המיתר במקומו ניתן להשתמש במהדק נייר, כפתור או שיפוד. כדי לנקב חורים בספל ניתן להשתמש במחט עבה, במסרגה, במברג או בכל כלי מתאים אחר. לרעיונות ניתן לראות את ההצעות בנספחים.

לאחר 10 דקות, המורה תנהל דיון כיתתי. שאלות אפשריות שהמורה יכולה להעלות בדיון:

- כיצד ניתן לקבע את מיתרים אל תיבת תהודה באופן שימנע מהם לזוז?
- האם מצאתם דרך טובה שאתם מוכנים לחלוק עם שאר התלמידים בכיתה?

מאחר שלאופן שבו המיתר מתוח יש השפעה מכרעת על גובה הצליל, יש להקדיש לנקודה זו תשומת לב מיוחדת.

בנספחים מופיעים צילומים עם הצעות שונות כיצד להתקין ולקבע מיתרים. מאחר והמיתרים צריכים להיות מתוחים על מנת להפיק קול באיכות טובה, חשוב מאוד לקבע אותם היטב. עם זאת, המשימה עלולה להתגלות לעתים כמסובכת למדי והתלמידים עשויים להתקשות לבצעה בהצלחה.

- ניתן להתקין כפתור או מהדק נייר בנקודה מסוימת ואחר כך ללפף את המיתר סביב הכוס.
- ניתן להשתמש בשיפוד עץ: לפפו את המיתר סביב השיפוד ואחר סובבו את השיפוד כדי להדק את המיתר.
- השתמשו בבורג עץ שניתן לסובב כדי למתוח את המיתר.



2.7

דיון במליאה – סקירה של הדברים שנלמדו בשיעור באמצעות דיון כיתתי – 5 דק'

על המורה לשוב ולחזור על המסקנות שהתלמידים הגיעו אליהם בעקבות הניסויים המדעיים שהם ערכו בכיתה. אם ניתן, עדיף להיעזר בכלי נגינה אמיתי. המסקנות:

- קול רם ← רעידות חזקות (גדולות)
- קול חרישי ← רעידות חלשות (קטנות)
- קול בעל גובה צליל גבוה ← רעידות מהירות (בקצב מהיר)
- קול בעל גובה צליל נמוך ← רעידות איטיות (בקצב איטי)
- אם הרעידות חזקות, המשרעת של הרעד תהיה גדולה
- אם הרעידות חלשות, המשרעת של הרעד תהיה קטנה
- לקול בעל גובה צליל גבוה יש רעד בעל תדירות גבוהה (הרבה רעידות ביחידת זמן אחת)
- לקול בעל גובה צליל נמוך יש רעד בעל תדירות נמוכה (פחות רעידות ביחידת זמן)
- הקול זקוק לחומר מתווך (תווך) שבאמצעותו הוא יכול להתפשט
- כאשר משתמשים בשתי גומיות מאותו חומר ובאותו אורך:
- גומייה מתוחה היטב מפיקה קול בעל גובה צליל גבוה
- גומייה רפויה מפיקה קול בעל גובה צליל נמוך
- ככל שתיבת התהודה גדולה יותר, כך הקול שהיא מפיקה רם יותר
- ככל שתיבת התהודה גדולה יותר, כך גובה הצליל נמוך יותר

המורה תסכם ותאמר לתלמידים שבשיעורים האחרונים הם שאלו שאלות ואספו מידע שיעזור להם להגיע לפתרון משביע רצון של משימת האתגר בשלבים הבאים.

לפני המעבר לשלבים הבאים בתהליך התיכון ההנדסי – שלב העלאת הרעיונות, שלב התכנון ושלב הבנייה – על המורה לוודא שהתלמידים קיבלו מענה לכל שאלותיהם.

זהו. עכשיו נתחיל לתכנן ולבנות כלי נגינה אמיתי. לשם כך על המורה לבקש מכל התלמידים להביא לשיעור הבא **תיבת תהודה משלהם!** על המורה להזכיר לתלמידים שלפני שהם בוחרים את תיבת התהודה, הם צריכים לחשוב על הסרטון שהם בחרו ולנסות לדמיין איך הם היו רוצים שהפסקול יישמע.

פרק 3 – כאן בונים! תכנון ובנייה של תיבת תהודה

משך השיעור: 90 דק'



מטרות:

- התלמידים ילמדו כיצד ליישם את תהליך תיכון ההנדסה בעבודת התכנון והבנייה שלהם;
- התלמידים יתכננו ויבנו כלי נגינה משלהם, באמצעות שימוש בתיבת תהודה ובמיתרים.
- התלמידים ילמדו להשתמש בציוד ובחומרים מאתגרים בצורה זהירה ובטוחה.

מטרות אופרטיביות:

- התלמידים ירכשו כלים כדי להתמודד עם משימת בנייה מאתגרת.
- התלמידים ילמדו כיצד לשנות את גובה הצליל.
- התלמידים ייווכחו לדעת שעל מנת למצוא פתרון יעיל לבעיה הנדסית, עליהם לעשות שימוש בעקרונות המדעיים (ידע בפיזיקה, במקרה זה) המונחים ביסוד הבעיה.
- התלמידים יבינו שניתן לבנות כלי נגינה שונים ומשונים, שכולם מוצלחים באותה מידה, כל עוד הם עומדים בתנאי הסף. מכאן שאין פתרון אחד ויחיד לבעיה הנדסית מסוימת, אלא **טווח** של פתרונות אפשריים.
- התלמידים יבינו שבדיקה והערכה מחודשת הם חלק חשוב מתהליך התיכון ההנדסי.
- התלמידים ילמדו לתת את הדעת לסוגיות בטיחותיות ולהשתמש בכלים בצורה נכונה.

ציוד וחומרים (ל 30 תלמידים)

- | | |
|--|---|
| ☐ 90X כפתורים (18 לכל קבוצה) | ☐ לוח חכם או מחשב עם מקרן |
| ☐ 5X קופסאות לכלי תפירה (1 לכל קבוצה) | ☐ קישור לאינטרנט (כדי להקרין את הסרטון) |
| ☐ 75X מהדקי נייר (15 לכל קבוצה) | ☐ דפי סיכום 4 פרק 3 – בואו נבנה! |
| ☐ 75X פינים מפצלים (15 לכל קבוצה) | ☐ 5X קופסאות שבהן ניתן לשים את החומרים (1 לכל קבוצה) |
| ☐ 90X בורגי עין (18 לכל קבוצה) | ☐ 30X תיבות תהודה (1 לכל תלמיד, לדוגמה, מכלי קוטג', מכלי פרינגלס, קופסאות שימורים ריקות, בקבוקים וכו') |
| ☐ 90X מקלות ארטיק (גם כדי למתוח את המיתרים וגם כדי שישמשו כגשר למיתרים. 18 לכל קבוצה) | ☐ 5X סלילים של חוט דיג (סליל לכל קבוצה) |
| ☐ 90X שיפודים (18 לכל קבוצה) | ☐ 90X גומיות דקות (18 לכל קבוצה) |
| ☐ 5X סלילים של נייר דבק (1 לכל קבוצה) | ☐ 90X גומיות עבות (18 לכל קבוצה) |
| ☐ 10X זוגות מספריים (2 לכל קבוצה) | ☐ 5X סלילים של חוט תפירה (1 לכל קבוצה) |
| ☐ 15X מחטים עבות וקהות לרקמה (3 לכל קבוצה) | |



הכנות לפני השיעור

- לצלם עותקים של דפי סיכום 4 פרק 3 – **בואו נבנה!**
- להביא תיבות תהודה נוספת, למקרה הצורך.

אופן העבודה בכיתה

- עבודה פרטנית
- דיון בכיתה



תקציר הפרק

בפרק הנוכחי יסקרו התלמידים השלבים 'העלאת רעיונות', 'פיתוח ותכנון', 'בנייה' והערכה ושיפור' בתהליך התיכון ההנדסי. הם ישתמשו בעקרונות המדעיים שלמדו בפרק 2 על מנת להתמודד עם משימת האתגר.



3.1

פתיחה – מה עשינו עד עכשיו? - דיון במליאה – 5 דק'

- המורה תזכיר לתלמידים את המושגים שנלמדו עד עכשיו.
- כיצד מפקים קול בעל גובה צליל גבוה/נמוך?
- מה תפקידה של תיבת התהודה? האם יש חשיבות לגודל של תיבת התהודה?
- מה חשוב לזכור כשמתקנים את המיתרים?
- אילו שלבים של תהליך התיכון ההנדסי ביצענו עד עכשיו? אילו שלבים טרם ביצענו?

3.2

משימת האתגר – דיון במליאה – 10 דק'

- משימת האתגר היא לתכנן ולבנות כלי נגינה כדי להלחין פסקול לסרטון אילם. כדי שנוכל להגיד שמילאנו את משימת האתגר בהצלחה, הכלי שלנו צריך לעמוד בתנאי סף מסוימים.
- משימת האתגר היא פעילות פרטנית, שבה כל אחד מתכנן בונה כלי נגינה משלו. עבודת ההלחנה של הפסקול, לעומת זאת, תתבצע בקבוצות. בשיעור 4 כל קבוצה תלחין פסקול לסרטון שלה ותשמיע אותו בפני כל הכיתה.
- תנאי הסף של כלי הנגינה הם:
- מוכרחים להיות לו שני מיתרים לפחות, כשלכל מיתר יש גובה צליל שונה.
- המיתרים צריכים להיות עשויים משני חומרים שונים לפחות.

לתלמידים מתקדמים ניתן להעמיד תנאי סף של שלושה מיתרים, כשלכל מיתר גובה צליל שונה.

אף על פי שהתלמידים מתכננים ובונים כלי פריטה או כלי מיתר, הם יכולים, כל עוד הכלים שלהם עומדים בתנאי הסף, להשתמש גם באפקטים קוליים שמפקים כלים אחרים. ייתכן שהרחבת טווח האפשרויות של התלמידים תגרום להם להפגין יותר יצירתיות.

מומלץ לרשום את תנאי הסף על פוסטר, על הלוח או על הלוח החכם.

המורה תנהל דיון בכיתה ותשאל את התלמידים כיצד לדעתם ניתן להעריך באיזו מידה של הצלחה עומדים כלי הנגינה והפסקול בתנאי הסף. כיצד, לדעתם, ניתן להעריך הצלחה? מהו מדד להצלחה? יש כמה נקודות שחשוב לקחת בחשבון:

- כולכם (גם המורה וגם התלמידים) צריכים להסכים לגבי האופן שבו תתבצע ההערכה. חשוב שהמורה תתייחס ברצינות הראויה לדעתם של התלמידים. הדבר מגביר את מעורבותם של התלמידים בתהליך הלימוד והיצירה.
- המטרה היא לא לבנות כלי נגינה מושלם כבר בניסיון הראשון. זה בסדר גמור לעשות משהו להבין בדיעבד שזה לא היה הפתרון המוצלח ביותר. תהליך התיכון ההנדסי מבוסס על ניסוי וטעייה.
- טעויות הן לפעמים חלק בלתי נמנע מהתהליך. גם מהנדסים ומהנדסות טועים ומשפרים ללא הרף.
- אלמנט חשוב נוסף הוא תהליך הלימוד זה מזה. התלמידים יכולים וצריכים לחלוק ביניהם ידע ומידע, כך שגם אם כל אחד בונה לעצמו כלי מיתר משלו, עליהם להיות מודעים לכך שהם יכולים לפנות לחבריהם בכיתה כדי לקבל עצה טובה או לצפות בתהליך העבודה שלהם.

המורה תציג בפני התלמידים את החומרים והכלים העומדים לרשותם:

- כל קבוצה תקבל בדיוק את אותם כלים וחומרים. המורה תנקוב בשמם של כל החומרים ותציג אותם בפני כל הכיתה.
- המורה תציג בפני הכיתה את כל הכלים ותנקוב בשמם. המורה תנחה את התלמידים כיצד לעבוד בזהירות עם הכלים ותדגים כיצד עליהם להשתמש בכלים ובחומרים.
- הדבר תלוי במידה רבה בסוג הכלים והחומרים שהמורה מעמידה לרשות התלמידים, אך ייתכן שכלים, חומרים או פעולות מסוימים יצריכו הבהרות נוספות. לדוגמה, ניקוב חורים בפחיות בעזרת מחט. המורה תזכיר לתלמידים את הצורות השונות לקיבוע המיתרים במקומם שבהן הם התנסו

בפרק 2. יהיה מעניין לבדוק אם יש דרך לשנות את מידת המתיחות של המיתר גם לאחר התקנתו, כמו שעושים בגיטרה או בכינור.

יש להיזהר במיוחד כאשר התלמידים משתמשים במחט או בכלי ניקוב אחר כדי לנקב חורים בתיבת התהודה.



3.3 סיכום – העלאת רעיונות, פיתוח ותכנון, בנייה ושיפור – דיון במליאה/עבודה עצמית – 60 דק'

המורה תקרין את הסרטון ותשאל את התלמידים אם הם יודעים אילו צלילים הם רוצים להפיק מכלי הנגינה שלהם. התלמידים כבר דנו בנושא בפרק 1. ר' דף עבודה 1 פרק 1 פסקול.

התלמידים יכולים להתחיל לתכנן עכשיו את תיבת התהודה שלהם. ייתכן שחלק מהתלמידים יעדיפו לבנות תיבת תהודה משלהם. הם יכולים לעשות זאת באמצעות שרטוט התיבה והעלאת הרעיון על הכתב. לשם כך הם יכולים להיעזר בדף עבודה 4 פרק 3 בואו נבנה.

אין הכרח להשתמש בדף העבודה. הדף עשוי לסייע לתלמידים, אך גם עלול להקשות עליהם ולפגוע יצירתיות.



לפני שהתלמידים מתחילים לבנות, הסבירי להם מדוע חשוב לקבוע את המיתרים באופן שמאפשר למתוח אותם. מדובר בנקודה מכרעת על מנת שהכלי יפיק קולות בעלי גובה צליל שונה.



אחרי שהתלמידים סיימו לתכנן את כלי הנגינה שלהם (לאחר כ-10 דקות), הם יכולים להתחיל לאסוף את החומרים ולהתחיל לבנות. כדי לשמור על הסדר, המורה תניח את כל החומרים המיועדים לכל קבוצה בתיבה במרכז השולחן של הקבוצה.

אחרי רבע שעה, המורה תבקש מהתלמידים לעשות הפסקה ותשאל אותם איך הם מתקדמים. שאלות אפשריות הן:

- האם הרעיון שלכם עובד בפועל?
- האם אתם מצליחים לעמוד בתנאי הסף?
- האם מצאתם דרכים ושיטות חדשות שאתם מוכנים לחלוק עם שאר התלמידים בכיתה?
- בשלב זה יכולים תלמידים להציג את הרעיונות שלהם בפני הכיתה ולהחליף רעיונות ועצות.
- לאחר ההפסקה הקצרה, העבודה העצמית תתחדש.

3.4 הערכה של משימת האתגר – דיון בכיתה - 10 דק'

מה היו תנאי הסף לכלי הנגינה?

- לכלי מוכרחים להיות שני מיתרים לפחות, כשלכל מיתר יש גובה צליל אחר.
- המיתרים צריכים להיות עשויים משני חומרים שונים לפחות.
- המורה תנהל דיון בכיתה על תנאי הסף ותהליך הבנייה שבו התנסו התלמידים ותשאל אותם:
- האם התקשיתם לעמוד בתנאי הסף?
- אילו פתרונות הצלחתם למצוא?
- כיצד הצלחתם להפיק קולות בעלי גובה צליל נמוך וגובה צליל גבוה?

3.5 מה השגנו עד עכשיו? - דיון בכיתה - 5 דק'

כל תלמיד יצר כלי נגינה שהצליח לעמוד בתנאי הסף. בשיעור הבא התלמידים ילחינו פסקול בעזרת כלי הנגינה שלהם וישמיעו את הפסקול בפני הכיתה. בנוסף, הם יחלקו ביניהם חוויות מתהליך התכנון והבנייה.

פרק 4 – הצגת כלי הנגינה והערכות

משך השיעור: 60 דק'



מטרות:

- התלמידים יסקרו שוב את כל השלבים בתהליך התיכון ההנדסי;
- התלמידים ילחינו פסקול;
- התלמידים יעריכו מחדש של הפסקול על פי תנאי סף הנגזרים מהנדסת האקוסטיקה ויבדקו באיזו מידה הוא עמד בתנאי הסף.
- התלמידים יכניסו שיפורים בפסקול.

תוצאות:

- בפרק זה התלמידים ילמדו לבצע הערכה מחדש של תהליך התכנון, הבנייה והיצירה;
- התלמידים ייווכחו לדעת שהם יכולים להשתמש בתהליך התיכון ההנדסי על מנת לפתור בעיות;
- התלמידים יבינו שהם רכשו ידע מדעי מוצק על מהות הקול והאקוסטיקה;
- התלמידים ייווכחו לדעת שידע מדעי תורם לפתרון מוצלח של בעיות הנדסיות.

ציוד וחומרים (ל 30 תלמידים):



- ☐ 30 גיליונות הערכה
- ☐ הסרטון הנבחר
- ☐ לוח חכם או מחשב עם מקרן
- ☐ חיבור לאינטרנט (או העלאת הסרטון למחשב מבעוד מועד)

הכנות לפני השיעור

- להכין עותקים של גיליונות ההערכה
- לוודא שכל כלי הנגינה נמצאים במקומם
- לוודא שהמקרן או המחשב ממוקמים במקום שבו כל התלמידים יכולים לראות בבהירות

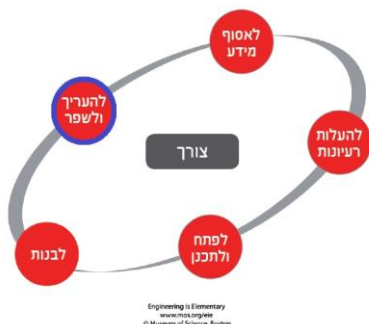
אופן העבודה בכיתה



- דיון כיתתי
- עבודה בקבוצות
- הצגה בפני המליאה

תקציר הפרק

בפרק זה נעריך את תהליך התיכון ההנדסי ואת הפסקול. האם עמדנו במשימת האתגר? איזה שימוש עשו התלמידים בידע המדעי שהם רכשו, ובאיזה אופן הם יישמו את תהליך התיכון ההנדסי? זה גם הזמן להציג את הפתרון שלהם למשימת האתגר ולחוש גאווה על הידע שהם רכשו, כלי הנגינה שבנו והפסקול שהלחינו.



4.1 פתיחה – דיון במליאה – 5 דק'

המורה תפתח את השיעור בדיון על התהליך שעברו התלמידים תוך שימוש בשלבים של תהליך התיכון ההנדסי. ניתן להשתמש בגיליון ההערכה. המורה תבקש מהתלמידים למלא את דף ההערכה, או פשוט תשתמש בשאלות מנחות, תוך התייחסות להצלחות, לאכזבות ולאופן העבודה שמבוסס על ניסוי וטעייה העומד בבסיס עבודתם של מהנדסים.

4.2 פסקול – דיון כיתתי/עבודה בקבוצות – 50 דק'

כלי פריטה או כלי מיתר הם כלי נגינה שניתן להלחין בעזרתם פסקול. היום התלמידים ילחינו פסקול ויצגו אותו בפני הכיתה עם הקבוצה שלהם. על המורה להזכיר להם שהם כבר עשו חלק מהעבודה על הפסקול בדף עבודה 1 פרק 1 פסקול.

המורה תראה לתלמידים פעמיים את הסרטון. המורה תקצה לתלמידים רבע שעה כדי להלחין ולעשות חזרות על הפסקול. אם הדבר אפשרי, יש להציג את הסרטון בלופ.

אחרי כרבע שעה של חזרות, תשמיע כל קבוצה בתורה את הפסקול שלה. שאלות אפשריות לתלמידים אחרי השמעת כל פסקול:

- האם לדעתכם הפסקול מתאים לסרט? למה?
- האם הצלחתם לזהות מתי הפסקול של הקבוצה מגיע לקולות בגובה צליל גבוה ומתי לקולות בגובה צליל נמוך? האם התקשיתם להבחין בין השניים?
- המורה תיתן לכל קבוצה 10 דקות נוספות כדי להכניס שיפורים בפסקול ואחר כך תבקש מהקבוצות להשמיע לכיתה את הפסקול המשופר.

אם הדבר אפשרי, יש לאפשר לתלמידים לבצע חזרות על הפסקול בחדרים נפרדים. ניתן להקצות להם גם זמן נוסף במהלך השבוע כדי לערוך חזרות.



4.3 מה השגנו עד עכשיו? – דיון בכיתה – 5 דק'

- מה למדנו ומה היו ההישגים שלנו?
- המורה תזכיר לתלמידים את השיעור הראשון ותוודא שהם עדיין זוכרים שחפצים מעשה ידי אדם תוכננו ונבנו על מנת למלא צורך או מטרה מסוימים. וכן, שטכנולוגיה במובן הרחב של המילה היא כל חפץ, מערכת או תהליך שתוכננו ועברו שינויים כדי לתת מענה לבעיה או לצורך מסוימים.
- מהנדסים הפותרים בעיות בתחום הקול נקראים מהנדסי אקוסטיקה. האם אתם יכולים לחשוב על בעיות נוספות שמהנדסי אקוסטיקה עשויים להיתקל בהם?
- איך להיפטר מרעשים לא רצויים, כמו בומים על-קוליים או רעשי רקע החודרים לאולפן הקלטות ופוגעים באיכות הקול.
- איך לבנות אולם קונצרטים עם אקוסטיקה טובה.
- איך לפתור לבעיות ניווט באמצעות סונארים או מערכות התמצאות באמצעות איכון ההדים.
- איך לבנות ולשפר מכשירי אולטרה סאונד לאבחון רפואי.
- איך להפיק את המיטב מהמוזיקה שמוזיקאים מלחינים.
- המשימה העיקרית של הנדסת אקוסטיקה היא לשלוט בקול. כלומר, להחליש את הקול או לתעל אותו למטרות מועילות.

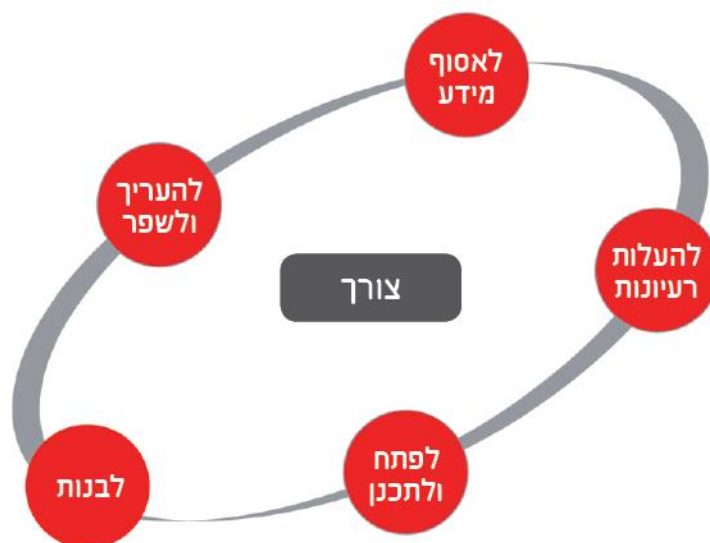
סיפור המסגרת של משימת האתגר – בואו נשמע!

משימת האתגר היא לתכנן ולבנות כלי נגינה פשוט שבאמצעותו ילחינו התלמידים פסקול לסרט קצר. לסרטון אין פסקול; הוא נמחק בטעות. האם התלמידים יכולים לעזור למורה לבנות כלי נגינה פשוט כדי להלחין פסקול לסרטון?

יש כמה אפשרויות לבחירת סרטון שיתאים להלחנת הפסקול:

1. סרטון מצויר או מצולם באורך של כ-50 שניות העוסק בנושא מסוים הנלמד בכיתה. לדוגמה, סרט קצר על החלל או על חיות בר.
ניתן למצוא הרבה סרטונים. באתר: <http://movieclips.com/>
לדוגמה, ניתן להשתמש בחלק מהסרט 'זמנים מודרניים' של צ'רלי צ'פלין (-0.40
1.35): <http://movieclips.com/xruv-modern-times-movie-a-cog-in-the-machine>
או בסצנה 'מבמבי' (0.0-0.50): <http://movieclips.com/hGMo-bambi-movie-bambi-on-ice>
או במכונה של רוב גולדברג:
<http://www.youtube.com/watch?v=qybUFnY7Y8w&feature=youtu.be>
2. ניתן להשתמש בסרטון שהתלמידים צילמו בעצמם על אחד הנושאים שנלמדו במהלך השיעורים;
3. ניתן לתת לתלמידים לבחור סרטון או סרט מצויר על פי העדפותיהם, אך על המורה לוודא שתוכן הסרטונים הולם את גילם.

תהליך התיכון ההנדסי



Engineering is Elementary
www.mos.org/eie
© Museum of Science, Boston

שאלות	השלב בתהליך התיכון ההנדסי
מה הבעיה? מה הצורך? מה אנחנו צריכים לדעת? (מידע ומגבלות)	לשאול ולאסוף מידע
מה עשויים להיות הפתרונות? מה עשוי להיות הפתרון הטוב ביותר?	להעלות רעיונות
הכנת תרשים. רשימה של כל החומרים שנהיה זקוקים להם.	לתכנן
הוצאה לפועל של התכנית. בדיקה של התכנית שביצענו.	לבנות
שיפור המכשיר/התוצר/התהליך בדיקה חוזרת!	להעריך ולשפר

דפי עבודה (כולל תשובות)

דף עבודה 1 פרק 1 - הנדסה או לא הנדסה?



דף עבודה 1 פרק 0 – הנדסה? – הערות למורה

הצילומים בדף הסיכום נועדו לגרום לתלמידים לשאול מה זאת הנדסה? מה מהנדסים עושים? איזה תחומי הנדסה קיימים? מי יכול להיות מהנדס?

הצילומים של העכביש והשבלול מהווים אתגר מיוחד. התלמידים עשויים להחליט, לדוגמה, שהעכביש 'מהנדס' את הקורים שלו (וכך גם לגבי חיות 'מהנדסות' אחרות, כמו בונה הבונה סכר). מכאן נובע שחשוב להדגיש שהמושג המקובל של הנדסה חל על חפצים מעשה ידי אדם. עם זאת, אנחנו יכולים ללמוד מהתבוננות ומצפייה בטבע. לדוגמה, בני האדם העתיקו את החומר שבו עכבישים משתמשים כדי לטוות קורים כדי ליצור חומר עמיד וחזק מאוד (קוולר) בעל תכונות מועילות רבות. השאלה המעניינת היא אם ניתן למצוא שימוש לפתרונות של הטבע לצורך פתרון בעיות בעולם האנושי. השבלול פיתח שיטה יעילה מאוד של זחילה על משטחים מחוספסים המגנה על גופו הרך מפני פגיעות. האם ניתן למצוא שימוש לעובדה זו בחיי היומיום? התשובה תלויה בצרכים ובדמיון שלנו. לשיטת הזחילה של השבלול טרם נמצא שימוש, לעומת זאת, ההשראה לסקוץ' (צמדן), באה בעקבות התבוננות בקוצים של צמח בשם לפה גדולה.

גם את הצעצועים ניתן להחשיב כתוצר של הנדסה מאחר והם מורכבים מפיקות וזיזים, אבל יהיה מעניין לשאול מאילו חומרים אפשר להכין אותם ומי בעצם בונה אותם. יש להניח שהדיון יוביל לכמה סוגיות של מגדר (ילדים רבים עשויים לחשוב שרק גברים מעצבים ובונים צעצועים).

שאלה דומה עשויה לעלות בעקבות ההתבוננות בצילומים של הסריג ושל הארוחה המוכנה – תלמידים עשויים לחשוב שרק נשים מכינות פריטים אלו ושהם אינם תוצר של הנדסה.

כמה מהצילומים האחרים, שבהם מוצגים פסלים ויצירות אמנות, עשויים להיתפס כלא קשורים לתחום ההנדסה מאחר ואין להם שימוש מעשי מוגדר. הדבר יעלה שאלות בנוגע לקשר בין הנדסה לאמנות ויגרום לתלמידים (ולמורה) לתהות האם לחפצים מעשה ידי אדם צריך להיות שימוש מעשי, על מנת שניתן יהיה להחשיב אותם כתוצר של הנדסה.

הצילומים נועדו לעורר דיון ודו-שיח. זה עשוי להיות העיתוי הנכון מבחינת המורה להציג את תהליך התיכון ההנדסי.

דף עבודה 1 פרק 1 - פסקול

תאריך:

שמות החברים בקבוצה:

- | | |
|---------|---------|
|1. |4. |
|2. |5. |
|3. |6. |

מאילו קולות וצלילים אתם רוצים שהפסקול שלכם יהיה מורכב? למה?

.....

.....

.....

האם אתם רוצים אותו סוג של קולות וצלילים לאורך כל הפסקול, או שיש חלקים בסרטון שאתם רוצים להתאים להם קולות מסוג מסוים, וחלקים אחרים שלדעתכם דורשים קולות שונים?

.....

.....

.....

איזה צליל יעשה כל אחד מחברי הקבוצה? לכל אחד מכם יש כישרונות והעדפות משלו. חלקו ביניכם את התפקידים:

- חבר מס. 1 בקבוצה:
- חבר מס. 2 בקבוצה:
- חבר מס. 3 בקבוצה:
- חבר מס. 4 בקבוצה:
- חבר מס. 5 בקבוצה:
- חבר מס. 6 בקבוצה:

מה עליכם לדעת כדי לבצע את משימת האתגר בהצלחה?

.....

.....

.....

דף עבודה 2 פרק 2 – ניסויים עם סרגל, עמ' 1

.....: **שם:**

.....: **תאריך:**

בשלב הזה אתם כבר יודעים שהקול הוא רעד. איך מפיקים קול בעל גובה צלילי נמוך? איך מפיקים קול בעל גובה צליל גבוה? מתי אנחנו שומעים קול רם ומתי אנחנו שומעים קול חרישי? אפשר לבדוק את העניין בעזרת סרגל.

למה אנחנו זקוקים?

- סרגל (לא מעץ)

לעבודה!

1. הניחו את הסרגל על השולחן. הניחו לקצה הסרגל לבצבץ 10 סנטימטרים מעבר לשפת השולחן.
2. הצמידו את קצה הסרגל המונח על השולחן ביד אחד כדי שלא יזוז.
3. הורידו בעזרת האצבע של היד השנייה את קצה הסרגל שמבצבץ מעבר לשפת השולחן ושחררו אותו.



הפעולה הזאת נקראת פריטה.

מה אתם **שומעים** כשאתם פורטים על הסרגל?

.....

מה אתם **רואים** כשאתם פורטים על הסרגל?

.....

פרטו על הסרגל פעם אחת חזק, ואחר כך פעם אחת חלש. האם אתם שומעים את ההבדל? הקיפו את המילה המודגשת הנכונה.

כשפורטים על הסרגל חזק, הצליל נעשה גבוה/נמוך/רם/חרישי
כשפורטים על הסרגל חלש, הצליל נעשה גבוה/נמוך/רם/חרישי

דף עבודה 2 פרק 2 – ניסויים עם סרגל, המשך

הניחו לסרגל לבצבץ 20 סנטימטרים מעבר לשפת השולחן. פירוטו על הסרגל.
הניחו לסרגל לבצבץ 7 סנטימטרים מעבר לשפת השולחן. פירוטו על הסרגל.

מה קורה לגובה הצליל כשהחלק המבצבץ מעבר לשפת השולחן מתקצר?

☐ גובה הצליל נעשה גבוה יותר.

☐ גובה הצליל נעשה נמוך יותר.

מה קורה כאשר החלק הרועד של הסרגל מתקצר?

☐ הסרגל רועד מהר יותר.

☐ הסרגל רועד לאט יותר.

הקיפו את המילה המודגשת הנכונה.

אם אני פורט על הסרגל חזק, הרעד גדל/קטן

אם אני פורט על הסרגל חלש, הרעד גדל/קטן

דף עבודה 2 פרק 2 – ניסויים עם סרגל – תשובות

שם:

תאריך:

בשלב הזה אתם כבר יודעים שהקול הוא רעד. איך מפיקים קול בעל גובה צלילי נמוך? איך מפיקים קול בעל גובה צליל גבוה? מתי אנחנו שומעים קול רם ומתי אנחנו שומעים קול חרישי? אפשר לבדוק את העניין בעזרת סרגל

למה אנחנו זקוקים?

סרגל (לא מעץ)

לעבודה!

הניחו את הסרגל על השולחן. הניחו לקצה הסרגל לבצבץ 10 סנטימטרים מעבר לשפת השולחן.

הצמידו את קצה הסרגל המונח על השולחן ביד אחד כדי שלא יזוז.

הורידו בעזרת האצבע של היד השנייה את קצה שמבצבץ מעבר לשפת השולחן ושחררו אותו.



הפעולה הזאת נקראת פריטה.

מה אתם שומעים כשאתם פורטים על הסרגל? **קול**

מה אתם רואים כשאתם פורטים על הסרגל? **הסרגל עולה מעלה ומטה. הוא רועד.**

פירטו על הסרגל פעם אחת חזק, ואחר כך חלש. האם אתם שומעים את ההבדל? הקיפו את המילה המודגשת הנכונה.

אם אני פורט על הסרגל חזק, הצליל נעשה גבוה/נמוך/**רם**/חרישי

אם אני פורט על הסרגל חלש, הצליל נעשה גבוה/נמוך/**רם**/חרישי

דף עבודה 2 פרק 2 – ניסויים בעזרת סרגל – המשך תשובות

הניחו לסרגל לבצבץ 20 סנטימטרים מעבר לשפת השולחן. פירוטו על הסרגל.
הניחו לסרגל לבצבץ 7 סנטימטרים מעבר לשפת השולחן. פירוטו על הסרגל.

מה קורה לגובה הצליל כשהחלק המבצבץ מעבר לשפת השולחן מתקצר?

☐ גובה הצליל נעשה **גבוה** יותר.

☐ גובה הצליל נעשה נמוך יותר.

מה קורה כאשר החלק הרועד של הסרגל מתקצר?

☐ הסרגל רועד **מהר** יותר.

☐ הסרגל רועד לאט יותר.

הקיפו את המילה המודגשת הנכונה.

אם אני פורט על הסרגל חזק, הרעד **גדל/קטן**

אם אני פורט על הסרגל חלש, הרעד **גדל/קטן**

דף עבודה 3 פרק 2 – גומייה וכוס נייר, עמ' 1

שם:

תאריך:

למה אתם זקוקים?

- 2 כוסות נייר
- גומייה דקה
- מספרים
- סרגל
- 2 מכלים עשויים מאותו חומר, אחד גדול ואחד קטן



לעבודה!

הניסוי, חלק ראשון:

1. מתחו את הגומייה על החלק התחתון של הכוס.
2. החזיקו את הכוס 10 סנטימטרים מהאוזן שלכם או של חברכם לכיתה.
3. משכו בגומייה ופירטו עליה.
4. מתחו את הגומייה חזק יותר ופירטו עליה שוב.

מה קורה לגובה הצליל כשהגומייה מתוחה מאוד?

.....

5. הקיפו את המילה המודגשת הנכונה.

גומייה מתוחה היטב מפיקה גובה צליל גבוה יותר/נמוך יותר.

גומייה מתוחה פחות מפיקה גובה צליל גבוה יותר/נמוך יותר.



הניסוי, חלק שני:

6. קחו את כוס נייר השנייה וחיתכו חלק גדול מהחלק העליון, כך שנוצרת לכם כוס קטנה ב-3 סנטימטרים בערך מגודל הכוס המקורית.
7. מתחו את הגומייה על החלק התחתון של הכוס.
8. החזיקו את הכוס 10 סנטימטרים מהאוזן שלכם או של חברכם לכיתה.
9. הדקו את הגומייה ופירטו עליה בכוח.

דף עבודה 3 פרק 2 – גומייה וכוס נייר – המשך – עמ' 2

10. חיזרו על הניסוי שביצעם עם הכוס הגדולה. האם אתם שומעים את ההבדל?
האם הקול שמפיקה כוס הנייר הקטנה רם יותר מזה שמפיקה הכוס הגדולה?

11. הקיפו בעיגול את המילה המודגשת הנכונה.

הצליל שהפקנו מכוס הנייר הגדולה רם יותר/חרישי יותר מהקול שהפקנו בעזרת הכוס הקטנה.

בוא נלמד עוד!

האם הגודל של תיבת התהודה משפיע על גובה הצליל?
מה דעתכם?

☐ כן, ככל שתיבת התהודה גדולה יותר, הצליל נמוך יותר

☐ לא, הגודל של תיבת התהודה לא משפיע על גובה הצליל



בואו נברר!

12. קחו שתי קופסאות או מכלים עשויים מאותה חומר, אחת קטנה ואחת גדולה.
13. הניחו את שתי הקופסאות על השולחן ותופפו עליהן. השוו את הקול שמפיקה כל קופסה (=תיבת התהודה שלנו). האם אתם שומעים את ההבדל בגובה הצליל? הקיפו את המילה המודגשת הנכונה.

קופסה קטנה מפיקה קול עם גובה צליל
גבוה יותר/נמוך יותר מאשר תיבה גדולה.

האם השערתכם הייתה נכונה?



דף עבודה 3 פרק 2 – גומייה וכוס נייר, עמ' 1 - תשובות

שם:

תאריך:

למה אתם זקוקים?

- 2 כוסות נייר
- גומייה דקה
- מספרים
- סרגל
- 2 מכלים עשויים מאותו חומר, אחד גדול ואחד קטן



לעבודה!

הניסוי, חלק ראשון:

6. מתחו את הגומייה על החלק התחתון של הכוס.
7. החזיקו את הכוס 10 סנטימטרים מהאוזן שלכם או של חברכם לכיתה.
8. משכו בגומייה ופירטו עליה.
9. מתחו את הגומייה חזק יותר ופירטו עליה שוב.

מה קורה לגובה הצליל כשהגומייה מתוחה מאוד?

גובה הצליל גבוה יותר

10. הקיפו את המילה המודגשת הנכונה.

גומייה מתוחה היטב מפיקה גובה צליל **גבוה יותר/נמוך יותר**.

גומייה מתוחה פחות מפיקה גובה צליל **גבוה יותר/נמוך יותר**.



הניסוי, חלק שני:

10. קחו את כוס נייר השנייה וחיתכו חלק גדול מהחלק העליון, כך שנוצרת לכם כוס קטנה ב-3 סנטימטרים בערך מגודל הכוס המקורית.
11. מתחו את הגומייה על החלק התחתון של הכוס.
12. החזיקו את הכוס 10 סנטימטרים מהאוזן שלכם או של חברכם לכיתה.
13. הדקו את הגומייה ופירטו עליה בכוח.

דף עבודה 3 פרק 2 – גומייה וכוס נייר – המשך – עמ' 2 תשובות

14. חיזרו על הניסוי שביצעם עם הכוס הגדולה. האם אתם שומעים את ההבדל?
האם הקול שמפיקה כוס הנייר הקטנה רם יותר מזה שמפיקה הכוס הגדולה?

15. הקיפו בעיגול את המילה המודגשת הנכונה.

הצליל שהפקנו מכוס הנייר הגדולה רם יותר/חרישי יותר מהקול שהפקנו בעזרת הכוס הקטנה.

בוא נלמד עוד!

האם הגודל של תיבת התהודה משפיע על גובה הצליל?
מה דעתכם?

☐ כן, ככל שתיבת התהודה גדולה יותר, הצליל נמוך יותר

☐ לא, הגודל של תיבת התהודה לא משפיע על גובה הצליל



בואו נברר!

16. קחו שתי קופסאות או מכלים עשויים מאותה חומר, אחת קטנה ואחת גדולה.
17. הניחו את שתי הקופסאות על השולחן ותופפו עליהן. השוו את הקול שמפיקה כל קופסה (=תיבת התהודה שלנו). האם אתם שומעים את ההבדל בגובה הצליל? הקיפו את המילה המודגשת הנכונה.

קופסה קטנה מפיקה קול עם גובה צליל גבוה יותר/נמוך יותר מאשר תיבה גדולה.

האם השערתכם הייתה נכונה?



דף עבודה 4 פרק 3 – כאן בונים!

שם:

תאריך:

העלאת רעיונות ותכנון

ראיתם את החומרים שבהם אתם יכולים להשתמש. בנוסף, כבר הספקתם לחשוב איך אתם רוצים לבנות את תיבת התהודה שלכם. נסו להעלות את הרעיונות שלכם על הכתב. נסו להיות ברורים ככל האפשר ולציין את כל הפרטים הידועים לכם: צורה, גודל, חומרים וכו'.

.....

.....

.....

.....

.....

אם אתם רוצים, אתם יכולים גם לשרטט את הרעיון:



ערכו רשימה של החומרים שבהם אתם רוצים להשתמש:

1.
2.
3.
4.
5.

הערכה ושיפור

האם לאחר הערכה מחדש בחרתם לשפר משהו? אם כן, מהו?

דף הערכה פרק 4 – מעגל התיכון ההנדסי

.....: *pe*

.....: *תאריך:*

במהלך השיעורים ביצעתם פעילויות שונות. כל אחת מאותן פעילויות קשורה לשלב מסוים בתהליך התיכון ההנדסי. ציינו עבור כל אחת מהפעילויות לאיזה שלב בתהליך התיכון ההנדסי היא קשורה.

תהליך התיכון ההנדסי



פעילות	השלב בתהליך התיכון ההנדסי
לחשוב מה הידע שאתם זקוקים לו כדי לדעת כיצד לתכנן ולבנות את כלי הנגינה?	
לבנות את כלי הנגינה	
לבדוק את הביצועים של כלי הנגינה ולהכניס שינויים במקרה הצורך	
לערוך ניסויים ולבדוק כיצד לקבוע את המיתר באופן שגובה הצליל שלו יהיה גבוה או נמוך יותר	
לחשוב עם החברים בכיתה על רעיונות ופתרונות אפשריים שונים	
לבחור את הרעיון שאתה מתכוון לנסות לבנות	

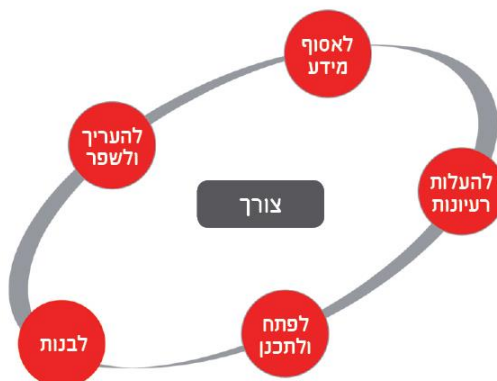
דף הערכה פרק 4 – מעגל התיכון ההנדסי - תשובות

שם:

תאריך:

במהלך השיעורים ביצעתם פעילויות שונות. כל אחת מאותן פעילויות קשורה לשלב מסוים בתהליך התיכון ההנדסי. ציינו עבור כל אחת מהפעילויות לאיזה שלב בתהליך התיכון ההנדסי היא קשורה.

תהליך התיכון ההנדסי



Engineering is Elementary
www.mos.org/ie
© Museum of Science, Boston

פעילות	השלב בתהליך התיכון ההנדסי
לחשוב מה הידע שאתם זקוקים לו כדי לדעת כיצד לתכנן ולבנות את כלי הנגינה?	לאסוף מידע
לבנות את כלי הנגינה	לבנות
לבדוק את הביצועים של כלי הנגינה ולהכניס שינויים במקרה הצורך	להעריך ולשפר
לערוך ניסויים ולבדוק כיצד לקבוע את המיתר באופן שגובה הצליל שלו יהיה גבוה או נמוך יותר	לתכנן
לחשוב עם החברים בכיתה על רעיונות ופתרונות אפשריים שונים	להעלות רעיונות
לבחור את הרעיון שאתה מתכוון לנסות לבנות	להעלות רעיונות/לתכנן
לחשוב על החומרים שבהם הייתם רוצים לעשות שימוש	לתכנן

תיבות תהודה אפשריות



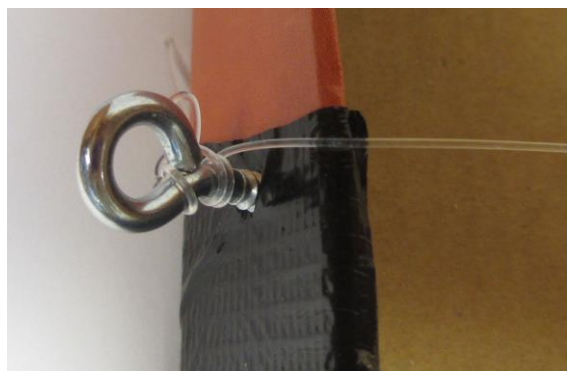
רעיונות לאופן שבו ניתן למתוח מיתרים על תיבת תהודה

נקבו חור בתיבת תהודה. מתחו חוט דרך החור ועשו קשר. קשרו את המיתר. המיתר לא יכול לזוז מפני שהכפתור גדול מהחור בתיבת התהודה.

אפשר לעשות אותו דבר, רק במקום כפתור להשתמש במהדק נייר.



אם משתמשים בבורג עין, ניתן ללפף את המיתר סביבו. אחר כך, כשאתם מבריגים את בורג העין למקומו, תוכלו למתוח את המיתר כרצונכם.



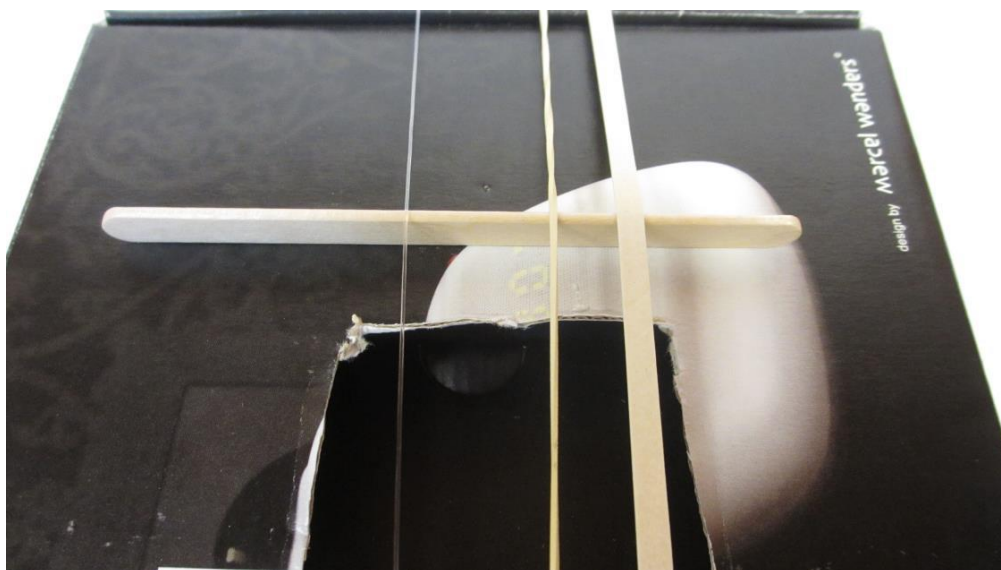
אפשר להשתמש בסיכות מתפצלות כדי לקבע את המיתר במקומו



אפשר להשתמש בחלק משיפוד עץ כדי לקבע את המיתר. שיברו את השיפוד והניחו אותו בין הכפתור למיתר. אם תסובבו את השיפוד כמה פעמים, תוכלו להדק את המיתר. קבעו את השיפוד במקומו בעזרת נייר דבק, אחרת הוא יסתובב חזרה.



אפשר להשתמש במקל ארטיק כגשר. הגשר מוודא שהמיתרים לא ייגעו בתיבת התהודה, כך שהקול שמופק רם יותר.



תמונות להמחשה של ציוד וחומרים

למיתרים:

- חוט דיג
- גומיות עבות
- גומיות דקות
- חוט דנטלי
- חוט תפירה



לתיבת התהודה:

- מכל קוטג' ריק
- קופסאות קרטון
- מכל פרינגלס
- קופסאות שימורים ריקות
- בקבוקי פלסטיק (גדולים וקטנים)



לקיבוע המיתרים במקומם:

- כפתורים
- מהדקי נייר
- פינים מפצילים
- בורגי עין
- מקלות ארטיק ושיפודים, היכולים לשמש גם כאמצעי קיבוע למיתרים וגם כדי כגשר למיתרים.



כלים

- מחט עבה וקהה לרקמה או כל כלי ניקוב אחר



חומר רקע מדעי למורים על קול והנדסה אקוסטית

פרק 2 - מושגים מרכזיים

- קול הוא רעד
- מאפייני הקול השונים – גבוה/נמוך/רם/חרישי
- הקול זקוק לחומר מתווך (תווך) על מנת להתפשט
- התקדמות הקול היא התקדמות של גל (הנע רק בתוך תווך)
- הקול מתפשט במהירויות שונות דרך חומרים מתוכים שונים
- אנחנו שומעים את הקול כאשר הרעידות מרעידות את עור התוף שלנו
- גובה הצליל עשוי להיות גבוה או נמוך
- רעידות מהירות גורמות להפקת צלילים גבוהים, בעוד רעידות איטיות מפיקות צלילים נמוכים
- קולות רמים מופקים באמצעות רעידות גדולות, בעוד קולות חרישיים מופקים באמצעות רעידות קטנות
- ניתן להגביר צלילים בגבהים ספציפיים באמצעות שימוש בתיבת תהודה

קול הוא רעד המתפשט באמצעות חומר מתווך (כגון אוויר או מים).
רעד (ויברציה) הוא תנועה הלך וחזור של חלקיקים אשר מפיק מייצר הקול (כלומר, מקור הגל). הרעידות מתפשטות מהמקור והלאה כשהן מועברות באמצעות החומר המתווך.

שמיעה – כשהרעידות מגיעות לאוזן הן מרעידות את עור התוף. הרעד הקולות מוגברים במעבר בתוך האוזן (הבנת הפרטים האנטומיים הכרוכים בתהליך השמיעה אינם חיוניים לשם הבנת יחידה זו). המסרים מועברים באמצעות עצב השמיעה למוח, שם הם מפוענחים (כלומר, 'נשמעים'). לדוגמה, אם ננשוף לתוך חליל, תגרום הנשיפה לאוויר בתוך החליל לרעוד. האנשים היושבים בסמוך יוכלו לשמוע את הקול מפני שהרעד מתפשט אל מחוץ לחליל באמצעות האוויר ובסופו של דבר מגיע לעור התוף של הסובבים, מרעיד אותו וממנו עוברים האותות אל המוח באמצעות עצב השמיעה אל המוח.

גל קול – כאשר מקור הקול רועד, הוא מרעיד את החלקיקים המרכיבים את החומר המתווך. התנועה הלך וחזור של החלקיקים (הרעידות) מתפשטת באמצעות החומר המתווך. כאשר הדבר מתרחש, נוצרים אזורים שבהם החלקיקים קרובים זה לזה (**דחיסות**) ואזורים שבהם החלקיקים מרוחקים זה מזה (**דלילות**). תהליך זה יוצר גלי לחץ (**גל קול**). להסבר נוסף אתם מוזמנים לצפות בסרטון הבא:

<http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves-intro/waves-intro.html>

ניתן לתאר את גל הקול באמצעות שלושה מאפיינים:

תדירות – מספר המחזורים של גל הקול בשנייה. תדירות הצליל נמדדת ביחידת הרץ.
אורך גל – המרחק מהנקודה הגבוהה ביותר של גל קול אחד לנקודה הגבוהה ביותר של גל הקול הבא.
משרעת (אמפליטודה) – מידת גובה הגל.

תדירות – מספר הרעידות ביחידת זמן אחת.
תחום התדירויות שהאוזן האנושית מסוגלת לקלוט נע בין 20 הרץ ל-20,000 הרץ. פירוש הדבר הוא שהצליל הנמוך ביותר שהאוזן שלנו מסוגלת לשמוע הוא 20 הרץ, בעוד 20,000 הרץ הוא הצליל הגבוה ביותר. טווח השמיעה שלנו תלוי גם בגילנו ובמצבנו הבריאותי. בדרך כלל, ילדים יכולים לשמוע צלילים גבוהים יותר מאשר מבוגרים. כלומר, יש צלילים שהתלמידים שלכם מסוגלים לשמוע ואתם לא. בעלי חיים מסוימים מסוגלים לשמוע ולהפיק קולות גבוהים משמעותית או נמוכים משמעותית מטווח הקליטה של האוזן האנושית. תחום התדירויות

של כלבים, לדוגמה, הוא 15-50,000 הרץ. תחום התדירויות של עטלפים הוא 100-100,000 הרץ, ואילו שירתו של הלווייתן גדול הסנפיר נעה בטווח שבין 20-24 הרץ.

גובה הצליל הוא תלוי-תדירות. לקול בעל גובה צליל גבוה יש תדירות גבוהה, בעוד שלקול בעל גובה צליל נמוך יש תדירות נמוכה. גובה הצליל תלוי בתדירות של גלי הקול, אשר נקבעים על פי קצב הרעידות. ככל שהתדירות גבוהה יותר, כך גדל מספר הרעידות ביחידת זמן אחת. תדירות גבוהה (בעלת קצב רעידות גבוה) מפיקה קול בעל גובה צליל גבוה יותר מאשר תדירות נמוכה (בעלת קצב רעידות אטי יותר). התדירות נמדדת על פי מספר הרעידות בשנייה (הרץ). ככל שהתדירות גבוהה יותר, כך אורך הגל קצר יותר. הדבר משפיע על האופן שבו הקול נע (ר' לעיל: **התכונות של גלי קול**).

משרעת – מידת גובה הגל. המשרעת קובעת את עוצמת הצליל. משרעת גדולה מפיקה קול רם, בעוד ומשרעת קטנה מפיקה קול חרישי. ניתן לראות זאת אם פורטים על סרגל (ר' **ניסויים בעזרת סרגל פרק 2**). רעד חזק מפיק קול רם יותר מרעידות חלשות. עוצמת הקול נמדדת בדציבלים שהן יחידות לוגריתמיות (יחסיות), כאשר אומרים שיש הבדל של 10 דציבלים בעוצמה בין שני קולות שונים, פירוש הדבר שהעוצמה של קול א' חזקה פי 10 מהעוצמה של קול ב'. הדיבור האנושי נע בטווח ש 40 דציבלים (לחישה) ל-80 דציבלים (צעקה). מידת הרגישות של האוזן שלנו לקול תלויה בתדירות הקול. האוזן האנושית רגישה במיוחד לקולות בעלי תדירות של 4,000 הרץ. הצליל הגבוה ביותר בפסנתר הוא בערך 4,000 הרץ. ישנם קולות רמים מאוד שאנחנו כלל לא שומעים. לדוגמה, הצליל שמשמיעים עטלפים הוא בעוצמה של 130 דציבלים, אבל אנחנו לא מסוגלים לשמוע אותו מפני שגובה הצליל גבוה מדי לאוזן האנושית.

הנה כמה דוגמאות לקולות שונים בסקלת הדציבלים:

40 דציבלים	•	לחישה
60 דציבלים	•	שיחה
80 דציבלים	•	צעקה
85 דציבלים	•	סיכון לפגיעה בשמיעה
100 דציבלים	•	פטיש אוויר
120 דציבלים (או כיתה מלאה ילדים צועקים)	•	מנוע סילון בגובה 10 מטרים
130 דציבלים	•	סף הכאב
150 דציבלים	•	קונצרט רוק (קרוב לרמקולים)
180 דציבלים	•	ירי ארטילרי כבד

תווך – הקול זקוק לחומר מתווך כדי להתפשט (לנוע). אם אין תווך שהוא למעשה חומר שבו מתקדם הגל, לא ייווצר רעד. התווך יכול להיות אוויר או מים, אבל גם חומר מוצק כמו עץ. כשאנחנו שוחים תחת המים, אנחנו עדיין יכולים לשמוע. גם עץ הוא תווך טוב; הניחו את האוזן על השולחן והקישו עליו. האם אתם שומעים? כשאנחנו מדברים על מהירות הקול, אנחנו מתכוונים בדרך כלל למהירות הקול באוויר. אך הקול נע במהירויות שונות בתווכים שונים. באוויר הקול נע במהירות של כ-343 מטרים בשנייה, או 1235 קילומטר בשעה (המהירות תלויה גם במידת הלחות באוויר ובטמפרטורה). הקול נע מהר יותר במים (1500 מטר לשנייה). הקול במים נע הרבה יותר רחוק מאשר באוויר. לדוגמה, לווייתנים יכולים לשמוע זה את זה ממרחק של מאות קילומטרים. הקול אינו יכול לנוע בריק (ואקום), מאחר והריק, מעצם הגדרתו, הוא אינו חומר. לכן, כאשר אנחנו צופים בהתנגשות בסרט מדע בדיוני, שבעקבותיה נשמע בום עצום, עלינו להיות מודעים לעובדה שהתיאור הזה רחוק מלהיות מדויק מבחינה מדעית.

אקוסטיקה – היא ענף בפיזיקה העוסק בחקר גלי קול ולמעשה באופן התקדמות הקול בסביבה. גל קול הוא גל מכאני. גל מכאני הוא גל הזקוק לתווך כדי לנוע בו. מכאן שהקול הוא התפשטות של הפרעה מכאנית, תנועת החלקיקים יכולה להתפשט בגז, נוזל, מוצק ופלזמה (אך לא, כאמור, בריק). אחד השימושים במדעי האקוסטיקה הוא בתעשיות העוסקות בבקרת רעשים. התכונות של חדר או אולם הרצאות קובעות את איכות הקול. לכן,

כשמעצבים חדר או אולם ורוצים שהמשתמשים בו ישמעו היטב יש לקחת בחשבון גורמים כמו רעד (ויברציה), ספיגה של רעד, הדהוד ומרחק (גם המאזינים בירכתי אולם הקונצרטים רוצים לשמוע).

התכונות של גלי קול

כאשר גלי קול נתקלים במכשול, עשויים להתרחש כמה דברים. ניתן להשתמש בידע זה כאשר מתכננים אולם קונצרטים או תיאטרון:

- **בליעה (ספיגה):** כאשר המכשול עשוי מחומר רך ונקבובי (לדוגמה, קלקר או צמר גפן) הוא סופג חלק גדול מהאנרגיה של גלי הקול. הדבר גורם להבדלים קטנים יותר בלחץ של גל הקול ומעמעם את הקול. שימוש זה רווח באולפני הקלטות שבהם הקירות, הרצפה והתקרה מחופים בחומרים רכים ונקבוביים כדי להקטין את ההד וקולות אחרים שאינם מהווים חלק מההקלטה. שימו לב שחדר שיש בו שטיח, שקט יותר מחדר ללא שטיח, מפני שהשטיח סופג רעשים.
- **החזרת קול:** כאשר קול נתקל במשטח קשה (לדוגמה, סלע או בטון) הוא מחזיר את הקול כך שגלי הקול חוזרים אל מקור הקול. זאת הסיבה להד ולהדהוד (כאשר הקול ממשיך להדהד, לדוגמה, באולם הקונצרטים גם לאחר שהנגנים סיימו לנגן). הקולות רמים יותר בחלל העשוי מחומרים מחזירי קול (לדוגמה, חדר אמבטיה עם רצפת אריחים וקירות אריחים). ניתן להגיד שכמות אנרגיית הקול המגיעה לאוזנינו גבוהה יותר, מפני שקול אחד מגיע לאוזנינו כמה פעמים.
- **דיפרקציה (עקיפה של גלי הקול):** גלי קול יכולים לנוע סביב חפצים. לדוגמה, כאשר ניצב מכשול בינינו ובין מקור הקול, אנחנו עדיין יכולים לשמוע אותו.

התדירות, ומכאן גם שגובה הצליל, משפיעים על האופן שבו הקול מתפשט בחלל וגם על האופן שבו הוא נספג, מוחזר, או נשבר. זאת הסיבה שכאשר יש קונצרט או מסיבה גדולה במרחק מה מאיתנו אנחנו יכולים לשמוע רק את הצלילים הנמוכים, כמו הבאסים והתופים. הצלילים הגבוהים יותר נספגים או מתפזרים לפני שהם מגיעים לאוזנינו.

כאשר מתכננים ובונים כלי נגינה נעשה שימוש בחומרים שונים בהתאם ליכולת הבליעה או ההחזרה של החומר. גם הצורה והגודל של החלל שבו מופקות הרעידות משפיעים על הקול. באופן כללי, ככל שהכלי גדול יותר, כך גובה הצליל שלו נמוך יותר. הדבר נובע מכך שכלי נגינה גדול יותר יכול להפיק צלילים באורך גל ארוך יותר, ומכאן שהצליל יהיה נמוך יותר. לדוגמה, האורך של צינור העוגב הוא מחצית מאורך הגל של גובה הצליל שהוא מפיק. לכן, ככל שצינור העוגב ארוך יותר, כך גובה הצליל שהוא מפיק נמוך יותר.

אחד הדרכים הרווחות יותר להסביר את המושג **תהודה (רזוננס) מכאנית** היא השוואתה לנדנדה. אם דוחפים נדנדה בדיוק בזמן המתאים מגבירים את הנדנוד אבל אם הדחיפות לא נעשות בקצב המתאים השפעתן זניחה. **תהודה (רזוננס) אקוסטית** היא תופעה שבה ניתן להגביר את גלי הקול המופקים על ידי מערכת אקוסטית כאשר תדירות הקול מגיעה לתדירות הרעד הטבעית של המערכת. אנשים שבונים כלי נגינה מקדישים מחשבה רבה לתהודה אקוסטית. בכלי נשיפה כמו סקסופון, המוזיקאי נושף לתוך פייה. בפייה מורכבת פיסת קנה הנקרא 'עלה'. כאשר המוזיקאי נושף לתוך 'העלה' נוצר רעד. כשתדירות הרעד של 'העלה' תואמת לתדירות הטבעית של עמוד האוויר בתוך גוף הכלי, התהודה מפיקה קול רם יותר. בפרק 2.5 התלמידים יחקרו את האופן שבו ניתן לבנות תיבת תהודה המגבירה את עוצמת הקול.

מושגים הקשורים להנדסה

- **טכנולוגיה** – כל חפץ, מערכת או תהליך, שבני אדם יצרו על מנת לענות על צורך קיים או עתידי.
- **הנדסה (מהנדס/ת)** – שימוש ביצירתיות, ידע והבנה בתחומי מדע, חומרים, מכונות וטכנולוגיות, על מנת לפתח כל דבר, שיכול לפתור בעיה או לענות על צורך הנדסי.
- **תהליך התיכון ההנדסי** – תהליך הנדסי מקובל, הכולל חמישה שלבים לתכנון ובניית מוצר, שנועד לפתור בעיה או לענות על צורך. חמשת השלבים הם: שאלת שאלות ואיסוף מידע, העלאת רעיונות לפתרון ובחירת פתרון מועדף, פיתוח ותכנון הפתרון הנבחר, בנייה של אב טיפוס, בחינה, הערכה ושיפור.

תפישות שגויות של תלמידים לגבי המושגים 'קול' ו'הנדסה'

תפישת עולם הטבע של ילדים מבוססת על ההתנסויות והחוויית שהם עוברים מידי יום. התפישות שלהם אולי אינן מבוססות על העקרונות המדעיים המקובלים, אבל הם ניחנו בדרך כלל בשכל ישר וביכולת הסקת מסקנות המבוססת על תצפית ואינטראקציה, הדרך הטובה ביותר ללמד עקרונות מדעיים היא באמצעות עריכת ניסויים שמעמיתים אותם עם הידע הקודם שלהם, במקום לצטט באוזניהם עובדות. עם זאת, יש קושי רב לשנות את אותן תפישות שגויות שקיימות אצל ילדים (ומבוגרים), במיוחד כאשר נראה שהן עומדות בניגוד לשכל הישר. כמו כן, קשה לעיתים לזהות שאכן קיימות תפישות שגויות אצל ילדים, מאחר ולעיתים קשה להם לבטא באופן ברור (בדיבור ו/או בציור) את מחשבותיהם. למרות זאת, חשוב שמורים ייתנו את הדעת לתפישות שגויות הרווחות בקרב ילדים, על מנת שיוכלו להתייחס אליהן ולהבין את ההקשרים השגויים שתלמידים עלולים לעשות.

מה חושבים תלמידים על קול?

רוב הילדים מתקשים להבין את מושג הקול ברמה המופשטת. בגילאים צעירים יותר ילדים עשויים להתקשות להבין שלקול יש מקור, בעוד שילדים מבוגרים יותר עשויים לחשוב על הקול כעל ישות עם תכונות משלה, כמו עוצמה או משקל, 'שנעה' דרך מים או אוויר (1). ילדים אחרים עשויים לחשוב שהקול 'כלוא' בתוך כלי קיבול כלשהו. במחקר של Haim, Eshach & Schwartz (2006), אמר אחד הילדים: "קול הוא כמו בועות של רעש. כמו כדורים קטנים. בתוך הכדורים יש רעש. כשהכדורים מתפקעים, הקולות יוצאים החוצה". ילדים צריכים להתנסות בקול כרעד, ולזהות מקורות רעד גם כאשר אלו אינם מובנים מאליו (כמו בפרק 2.1, שבו הילדים 'חשים' את הרעידות בגרונם בזמן שהם מדברים). אף על פי שילדים עשויים לנקוב במילה 'רעידות', הם עלולים לא להבין שרעידות הן תנועה, תנועה קדימה ואחורה ללא התקדמות של החומר המתווך עצמו.

גם כשילדים מבינים שהקול נגרם על ידי רעידות, הם עשויים לחשוב שישנה ישות (הנקראת 'קול'), **השונה** מהרעידות המפיקות אותה (2). מכאן שחשוב, בפעילויות המסבירות לילדים את אופן התפשטות הקול, לוודא שהילדים מבינים שהקול הוא רעד, ושהרעד הוא זה שמתפשט (זז, נע) באמצעות חומר מתווך. חשוב להדגיש את המקומות שבהם ניתן לחוש ולשמוע זאת, כמו לדוגמה במצב שבו מכים על רגל הברזל או על לוח העץ של שולחן. פעילויות שבהן הילדים יכולים לחוש את הרעידות, חיוניות על מנת שהילדים יוכלו להפנים את הרעיון. חשוב גם להבהיר שהרעידות המתפשטות באמצעות האוויר (או חומר מתווך אחר), הן אלו שחודרות לאוזן ומרעידות את עור התוף.

מה חושבים תלמידים על האופן שבו הקול מתפשט?

רוב הילדים מתקשים להפנים את העובדה שהקול זקוק לחומר מתווך על מנת להתפשט. התפיסה הרווחת בקרב ילדים בני 7 שהקול אינו זקוק לחומר מתווך על מנת להתפשט, אלא 'בורח' מתוך סדקים וחורים, כפי שכמה ילדים אמרו (1,3). ילדים אחרים חושבים שקול יכול לנוע בחלל ללא אוויר (כמו בריק או בחלל החיצון) (2). רבים מהם הסיקו זאת על סמך סרטי מדע בדיוני ומשחקי מחשב. פיאז'ה גילה שילדים בני 11 בערך כבר מבינים באופן כזה או אחר שהקול נע באמצעות חומר מתווך ושיש צורך ברעידות על מנת שזה יקרה. באחד המאמרים העוסקים בתפישות שגויות של ילדים (3), אמר ילד בן 10 כאשר שאלו אותו אם הוא יכול להסביר כיצד הקול נע: 'זה לא שהוא נוסע כמו במכונית. הוא – המממ! אני לא יודע – אבל זה לא כמו לנסוע באוטו, או כמו שאני רוכב על אופניים – זה משהו אחר'. ילדים עשויים גם לחשוב שהקול נע בכיוון אחד בלבד; מהמקור לאוזן של האדם השומע את הקול.

מה חושבים ילדים על גלי קול?

ילדים רבים (ומבוגרים) מתקשים להבין את המושג 'גלי קול'. בחיי היומיום המושג 'גל' אינו משמש באותו אופן שבו הוא משמש במדע; למעשה, יש סוגים שונים של גלים במדע. הדוגמה עם צינור האלומיניום השרשורי (סלינקי) בפרק 2.2 מאפשרת לילדים להבין שההתקדמות היא של "הפרעה" ולא של החומר עצמו. תנועת ההדיפה יוצרת גל של רעד (תנועה קדימה ואחורה) במורד הצינור כאשר אוחזים אותו בשני הקצוות. הילדים צריכים להבין מכך שהצינור חוזר למיקומו ההתחלתי ברגע שהגל חולף. חשוב לציין עובדה זו כדי שהילדים יתחילו להפנים שהגל הוא אזור דחוס הנע לאורך הצינור. מדובר במושג מאתגר וייתכן שהמורה תצטרך להשלים עם כך שהילדים מצליחים להפנים אותו באופן חלקי בלבד.

מה חושבים תלמידים על גובה צליל

ילדים (ומבוגרים) מתקשים לעתים להבחין בהבדלים בגובה צליל כאשר משנים גם את עוצמת הקול. וכמו כן, רבים מהם מתקשים להסביר באופן מילולי את הקושי. אחת התפישות השגויות הרווחות היא שאם הולמים על חפץ כלשהו חזק יותר, הדבר משנה את גובה הצליל, ושגובה צליל ועוצמת קול זהים (2.5). לכן חשוב בפרקים 2.3 ו-2.4 לוודא שהילדים מבינים את ההבדל בין קול רם/חזק לחרישי/שקט ובין גובה צליל גבוה לנמוך באמצעות התנסות ישירה. קל יותר להסביר זאת כאשר מדגימים באמצעות כלי נגינה, במיוחד כאשר מניחים לילדים להתנסות בשינוי גובה צליל בעצמם. לדוגמה, כאשר מנגנים על חלילית, גובה הצליל משתנה כאשר פותחים וסוגרים את החורים. דבר היוצר שינוי באורך של עמוד האוויר בתוך החלילית (עמוד אוויר קצר מפיק צליל גבוה, בעוד עמוד אוויר ארוך מפיק צליל נמוך). דבר נוסף שיש לשים לב אליו הוא שילדים רבים טועים לחשוב שהקול על חלילית מופק באמצעות הרעדה של החומר שממנו עשויה החלילית ולא של האוויר בתוך החלילית (2).

המונחים 'משרעת' ו'תדירות' מהווים אתגר לרוב הילדים בגילאים אלו. על המורה לשקול את רמת ההבנה של הילדים לפני שהיא עורכת להם היכרות עם מושגים אלו. הניסויים עם הסרגל, הגומייה וכוס הנייר (פרקים 2.3 ו-2.4) יקלו על ילדים רבים להפנים את המושגים.

לבסוף, יש לצאת מנקודת הנחה שלרוב הילדים יש ניסיון מוגבל עם תופעת התהודה. מדובר במושג מדעי מורכב ואין בכוונתנו ביחידה זו לספק הסבר מדעי מלא. בשלב זה, הדרך הטובה ביותר להסביר את תופעת התהודה היא באמצעות ההתנסות הישירה עם תיבות תהודה שונות (שיעורים 2.4, 2.5 ו-2.6).

1: Eshach, H. & Schwartz, J.L. (2006). Sound Stuff? Naïve materialism in the middle-school students' conceptions of sound. *International Journal of Science Education*, 28 (7), 733-764.

2. Nuffield Primary Science Process and Concept Exploration Ages 7-12 Teachers' Guide: Sound and Music (1995) Nuffield : London.

3: Hapkiewicz, A. (1992). Finding a List of Science Misconceptions. *MSTA Newsletter*, 38 (Winter'92), pp. 11-14.

4: Watt, D. & Russell, T. (1990). *Primary Space Project Research Report. Sound*. Liverpool University Press: Liverpool.

5: Periago, C., Pejuan, A., Jaén, X., & Bohigas, X. (2009). *Misconceptions about the Propagation of Sound Waves*, Departament de Física i Enginyeria Nuclear, Universitat Politècnica de Catalunya.

6: Author unknown, Operation Physics Elementary/ middle school physics education outreach project of The American Institute of Physics (1998). *Children's Misconceptions about Science*, obtained on 09-07-2012, <http://www.eskimo.com/~billb/miscon/opphys.html>

Bloomfield science Museum Jerusalem
The National Museum of Science and Technology "Leonarda da Vinci"
Science Centre NEMO
Teknikens hus
Techmania Science Center
Experimentarium
The Eugenides foundation
Condervatoire National des Art et Métiers- muse des arts et métiers
Science Oxford
The Deutsches Museum Bonn
Boston's Museum of Science

Modiin Macabim Reut
Istituto Comprensivo Copernico
The Daltonschoon Neptunus
Gränsskolan School
The 21st Elementary School
Maglegårdsskolen
The Moraitis school
EE. PU. CHAPTAL
Pegasus Primary School
Donatusschule

ECSITE – European Network of Science Centres and Museums
ICASE – International Council of Associations for Science Education
ARTTIC
Manchester Metropolitan University
Bristol Centre for Research in Lifelong Learning and Education

There are 10 units available in these languages.



The units are available on www.engineer-project.eu till 2015 and on www.scientix.eu

שׁוּתִפִּים

מוזיאון המדע והטכנולוגיה "לונארדו דה וינצ'י"
מוזיאון המדע והטכנולוגיה "לונארדו דה וינצ'י"
מוזיאון המדע והטכנולוגיה "לונארדו דה וינצ'י"
Bloomfield Science Museum Jerusalem



MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA LEONARDO DA VINCI

