

תקציר למורה

מכל עולם החי, רק חרקים, עופות ועטלפים הם מעופפים אמיתיים. בעלי חיים אחרים (דגים, סנאים, צפרדעים ונחשים) מסוגלים לבלות זמן קצר באוויר, אך לא לעופף. יכולת התעופה התפתחה בחרקים כבר לפני כ-300 מיליון שנה, ולאורך האבולוציה התפתחו בחרקים יכולות מדהימות של תעופה מהירה, תמרון חד ונשיאת משקל רב (יחסית לגודלם). יכולת התעופה היא אחד הגורמים להצלחתם של החרקים, והיא מסייעת להם לברוח מסכנות, למצוא מזון ובני זוג ולנדוד למרחקים.

מדענים ומהנדסים רבים חוקרים את תעופת החרקים במטרה להבין את המנגנונים שמאפשרים להם לעופף במהירות וביעילות, ולהשתמש בתובנות הללו בהשראה לפיתוח כלי טייס זעירים בעלי מאפיינים שונים (למשל, יכולת תמרון, מהירות גבוהה או יכולת לשאת ציוד כבד).

בפעילות זו התלמידים יחקרו את המבנה והתפקוד של כנפי חרקים שונים ואת היתרונות והחסרונות שלהם, ויחשבו כיצד אפשר לקבל מהם השראה לפיתוח כלי טייס זעירים. בסיום השיעור הם יקבלו מטלת בית, שבה הם יתנסו בבניית דגם של כנף. את הדגמים יהיה על התלמידים להביא לכיתה, ולהציג בשיעור הבא.

מצגת פתיחה – 15 דקות

המצגת מציגה את תחום המחקר הנקרא ביומימיקרי, בדגש על היתרונות בפיתוח טכנולוגיות בהשראת חרקים בכלל ובתחום התעופה בפרט. המצגת מציגה את הכוחות הפיזיקליים הפועלים על גוף בתעופה (כבידה, גרר, עליו וזדחף) ואת מבנה הכנף של חרקים.

עבודה בקבוצות – 15 דקות

התלמידים יתחלקו לחמש קבוצות וכל קבוצה תחקור את מבנה הכנף של חרק אחר.

1. כל קבוצה תקבל תמונה של חרק מעופף אחר, תבחן את מבנה הכנף ותנסה לשער מה מאפיין את התעופה שלו.
2. לאחר מכן, כל קבוצה תקבל דף מידע על התעופה של החרק שאת תמונתו בחנה ותתעמק בהיבטים נוספים של מבנה הכנף. כל קבוצה תבחן את החוזקות והחולשות של הכנף שקיבלה ותחשוב כיצד ניתן לקבל ממנה השראה לפיתוח כלי טייס זעירים ולאילו שימושים טכנולוגיים יכול להתאים מבנה כנף כזה.
3. כל קבוצה תרכז את הממצאים שלה על שקופית (ניתן להשתמש בשקופיות האחרונות של המצגת כתבנית לריכוז הממצאים).

שכבת גיל

חט"ב – תיכון (כיתות ז'-י')

מטרות

1. התלמידים ידעו להסביר שביומימיקרי הוא תחום מדעי, העוסק בחקר מבנים ותהליכים הקיימים בטבע לצורך פתרון בעיות של בני אדם.
2. התלמידים ילמדו על הכוחות הפיזיקליים הפועלים על גוף בעת תעופה.
3. התלמידים יחקרו מגוון טיפוסים של כנפי חרקים.
4. התלמידים יציעו רעיונות לרובוטים מעופפים בהשראת תעופת חרקים.
5. התלמידים יבנו מודל של כנף בהשראת חרקים (מטלת בית).

משך הפעילות

שיעור (45 דקות) ומטלה לבית

חומרי עזר

- מצגת
- תמונות חרקים
- כרטיסיות מידע על חרקים

הצגת התוצרים – 15 דקות

כל קבוצה תציג בפני כל הכיתה את החרק שקיבלה ואת ההמלצות שלה.

מטלה לבית

לאחר שהכירו טיפוסים שונים בחרקים וחשבו כיצד הם יכולים להוות השראה לפיתוח רובוטים מעופפים, כל תלמיד/ה יתכנן ויבנו מודל של כנפיים לרובוט מעופף.
הנחיות לתלמידים:

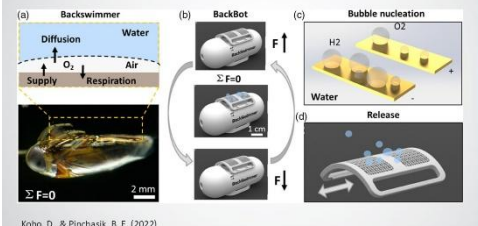
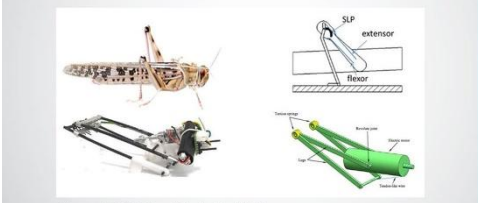
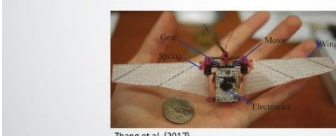
1. צורך: מה הרובוט שלכם יוכל לעשות? לאיזה צורך אתם מפתחים אותו?
2. השראה: אילו חרקים יכולים לשמש השראה לפיתוח רובוט כזה? אילו תכונות של חרק תרצו לאמץ לצורך פיתוח הרובוט שלכם?
3. תכנון: שרטטו את מבנה הכנף. התייחסו לצורה החיצונית, למספר הכנפיים, לעורקים או למבנים שונים שתרצו להוסיף לכנף.
4. דגם: בנו דגם של הכנף שלכם. חשבו היטב באילו חומרים תשתמשו ומה היתרונות של חומרים אלו.
5. הביאו את הדגם לשיעור הבא והציגו אותו בפני חבריכם.

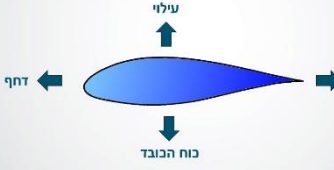
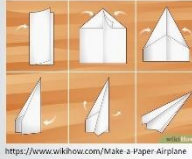
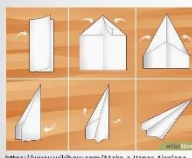
תמלול המצגת

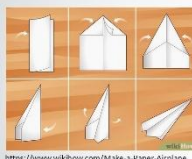
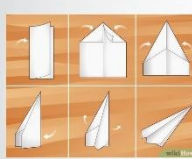
	 רובוטים מעופפים בהשראת חרקים
מה זה ביומימיקרי? לאורך האבולוציה התפתחו אצל היצורים החיים מגוון התאמות מדהימות לסביבת החיים, המתבטאות במגוון מבנים ותהליכים. ביומימיקרי הוא תחום מדעי, שעוסק בחקר המבנים והתהליכים הקיימים בטבע לצורך פתרון בעיות של בני אדם. במקרים מסוימים, החוקרים מחקים במדויק את המבנים והמנגנונים הללו. במקרים אלה מדובר בביומימיקרי (biomimicry). במקרים אחרים הם לא מחקים אותם ממש, אלא רק שואבים מהם השראה, ואז מדובר בהשראה מהטבע (bioinspiration) ולא ביומימיקרי.	ביומימיקרי ביו = חיים, מימיקרי = חיקוי  תמונה: https://www.festo.com/

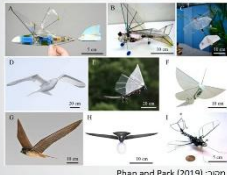
ביומימיקרי: רובוטים מעופפים בהשראת חרקים

מערך פעילות

<u>דוגמה להשראה מחרקים: צוללת רובוטית בהשראת שטגב</u> הנה דוגמה לפיתוח טכנולוגי בהשראת חרקים. שטגב הוא פשפש שחי במים. השטגב, כמו ששמו מרמז, שוחה על גבו. רגליו האחוריות ארוכות ועטורות בזיפים שמשמשים כמשוטחים. השטגב שולט בציפה שלו בעזרת בועית אוויר שהוא מחזיק צמוד לבטנו. על ידי שינוי נפח הבועית הוא עולה ויורד בעמודת המים. חוקרים מאוניברסיטת תל אביב בחנו את מנגנון הציפה של השטגב ובנו רובוט עם יכולת ציפה דומה.	השראה מחרקים: צוללת רובוטית בהשראת שטגב  Kobo, D., & Pinchasik, B. E. (2022)
<u>דוגמה נוספת להשראה מחרקים: רובוט קופץ בהשראת חגב</u> דוגמה אחרת היא השראה מהתנהגות הקפיצה של חגבים. חוקרים מאוניברסיטת תל אביב ומ- Braude College בחנו את המנגנון שבעזרתו חגבים קופצים, יצרו מודל ממוחשב בעזרת סימולציית מחשב ואז בנו רובוט פיזי, שמסוגל לקפוץ לגובה גדול ולמרחק רב: אורכו של הרובוט 13 ס"מ, משקלו 25 גרם והוא מסוגל לקפוץ למרחק של עד 3 מטרים.	השראה מחרקים: רובוט קופץ בהשראת חגב  Zaitsev et al., 2015, Bioinspir. Biomim. 10: 066012
<u>תעופה בהשראת חרקים</u> היום נתעמק בהשראה מחרקים לפיתוח רובוטים מעופפים.	תעופה בהשראת חרקים  FESTO
<u>מדוע לפתח רובוטים זעירים מעופפים?</u> לשימוש במספר רב של רובוטים קטנים מעופפים במקום ברובוט מעופף אחד גדול יש יתרונות בתחומים שונים: נגישות וחקירה בסביבות מורכבות: גודלם הזעיר מאפשר להם להיכנס ולנווט במקומות שאינם נגישים לאדם או לכלים גדולים יותר, כמו אזורי אסון ומבנים שקרסו (לצורך חיפוש והצלה), סביבות מסוכנות או מזהמות (ללא סיכון חיי אדם), חללים צרים ומערכות פנימיות (כגון צנרת או תשתיות) ואפילו בתוך גוף האדם (לצורך רפואה ממוקדת). רפואה: רובוטים זעירים יכולים לנוע בתוך גוף האדם לצורך העברת תרופות באופן ישיר לאזורים נגועים (כגון גידולים סרטניים), או אבחון וטיפול בתוך הגוף. חקלאות מדויקת וניטור סביבתי: רובוטים יכולים לבצע האבקה מלאכותית כתחליף או סיוע לדבורים שמספרן הולך וקטן, לנטר יבולים צמח אחר צמח, לזהות מחלות ומזיקים, לאסוף נתונים על תנאי הסביבה (טמפרטורה, לחות, זיהום) באזורים קשים להגעה, לנקות את הסביבה (למשל, לאסוף חלקיקי פלסטיק זעירים מהאוקיינוסים) ועוד.	מדוע לפתח רובוטים זעירים מעופפים? - נגישות וחקירה בסביבות מורכבות - רפואה - חקלאות מדויקת וניטור סביבתי - נחילי רובוטים  Zhang et al. (2017)

נחילי רובוטים: שימוש במספר רב של רובוטים זעירים במקום ברובוט אחד גדול מאפשר לבצע משימות מורכבות, שדורשות שיתוף פעולה וכיסוי שטח נרחב, לצד עמידות גבוהה (אובדן של רובוט בודד אינו משבית את המשימה כולה).	
<u>אתגרי התעופה</u> משחר ההיסטוריה חלמו בני האדם על תעופה, ורבים ניסו לפתח כלי טייס מעופפים. מהו בעצם האתגר בהתרוממות לאוויר ובתנועה קדימה וכיצד מתמודדים איתו? כדי לעוף צריך להתגבר על שני כוחות: כוח הכובד, המושך כלפי מרכז כדור הארץ; וכוח הגרר, המושך בכיוון ההפוך לכיוון התעופה. ההתגברות על שני הכוחות הללו מושגת באמצעות שני כוחות שמנוגדים להם: כוח העילוי, המתנגד לכוח הכובד; וכוח הדחף, המתנגד לכוח הגרר.	אתגרי התעופה על מנת לעוף צריך להתגבר על שני כוחות בעזרת כוחות המנוגדים להם. 
<u>כוח העילוי</u> כוח העילוי הוא הכוח שמתנגד לכוח הכובד, והוא מושפע מצורת הכנף ומתנועות הכנף. האוויר הזורם כאשר החרק מנפנף בכנפיו נחצה לשניים – חלקו זורם מעל לכנף וחלקו מתחת לכנף. בשל צורת הכנף, לאוויר העובר מעל לכנף יש מרחק גדול יותר לעבור מאשר לאוויר שעובר מתחת לכנף. מכיוון שהאוויר שעובר למעלה פוגש באוויר שזורם למטה באותה נקודת זמן, הרי שהאוויר "העילוי" חייב לעבור מהר יותר, ולכן מעל לכנף נוצר תת-לחץ, הדוחף את הכנף כלפי מעלה.	עילוי כוח העילוי מושפע מצורת הכנף ומתנועות הכנף. 
<u>כוח העילוי: הדגמה</u> השתמשו בשני גיליונות נייר בגודל A4. בקשו מאחד התלמידים לקפל אחד מהם לצורת מטוס. בקשו מתלמיד/ה אחר/ת לגלגל את הנייר השני לכדור. זרקו את שני הניירות קדימה ובדקו: מי מהם נופל מהר יותר לקרקע?	עילוי: הדגמה  https://www.wikihow.com/Make-a-Paper-Airplane - מטוס 1: קפלו דף נייר לצורת מטוס. - מטוס 2: גלגלו דף נייר שני לצורת כדור. - זרקו את שניהם לפניכם (קדמיה). מי מהם נופל מהר יותר לקרקע?
<u>כוח העילוי: הדגמה</u> דיון: כיצד מתבטא כוח העילוי? כנפי מטוס הנייר, הודות לשטח הפנים שלהן, מעניקות לו <u>כוח עילוי</u> ומאטות את קצב הנפילה שלו.	עילוי: הדגמה  https://www.wikihow.com/Make-a-Paper-Airplane - מטוס 1: קפלו דף נייר לצורת מטוס. - מטוס 2: גלגלו דף נייר שני לצורת כדור. - זרקו את שניהם לפניכם (קדמיה). מי מהם נופל מהר יותר לקרקע? כנפי המטוס מעניקות לו כוח עילוי ומאטות את קצב הנפילה שלו.

גרר ודחף גרר הוא הכוח שמתנגד לתנועת הכנף, כלומר, אם הכנף נעה שמאלה אז הגרר יפעל ימינה ולהפך. כוח הגרר נובע מהתנגדות האוויר לתנועת הגוף. דחף הוא הכוח שבכיוונו הגוף מתקדם, והוא נוצר כתוצאה מדחיפת האוויר לכיוון ההפוך. בעלי חיים מתגברים על כוח הגרר באמצעות נפנוף הכנף והודות לצורה האווירודינאמית של גופם.	כוח הגרר - גרר הוא כוח שמתנגד לתנועת הכנף. - הגרר נובע מהתנגדות האוויר לתנועת הגוף. - דחף הוא כוח שפועל בכיוון אליו הגוף מתקדם. - דחף נוצר כתוצאה מדחיפת האוויר על ידי חבטות הכנף. 
גרר ודחף: הדגמה השתמשו בשני גיליונות נייר בגודל A4. בקשו מאחד התלמידים לקפל שני מטוסי נייר דומים. קפלו את קצות הכנפיים של אחד משני המטוסים כלפי מטה וערכו תחרות טיסה בין שני המטוסים.	גרר: הדגמה - קלפו שני מטוסי נייר דומים. - קפלו את קצות הכנפיים של מטוס אחד. - מי מהם טס רחוק יותר?  https://www.wikihow.com/Make-a-Paper-Airplane
גרר ודחף: הדגמה דיון: כיצד מתבטאים כוחות הגרר והדחף? כשהמטוס נע קדימה, פועל עליו כוח הגרר שנובע מהתנגדות האוויר. הקיפול הגדיל את התנגדות האוויר לתנועת המטוס והגביר את כוח הגרר שפועל על המטוס.	גרר: הדגמה - קלפו שני מטוסי נייר דומים. - קפלו את קצות הכנפיים של מטוס אחד. - מי מהם טס רחוק יותר?  https://www.wikihow.com/Make-a-Paper-Airplane הקיפול הגדיל את התנגדות האוויר לתנועת המטוס והעלה את כוח הגרר שפועל על המטוס.
כנפי חרקים יכולת התעופה התפתחה בחרקים כבר לפני כ-300 מיליון שנה, מה שאומר שהם בעלי החיים המעופפים הראשונים שהתפתחו על פני כדור הארץ. אפשר למצוא אצלם מגוון צורות כנפיים וסגנונות תעופה, שהתפתחו לאורך מאות מיליוני שנות אבולוציה, ולכן הם מקור נפלא להשראה לפיתוח מבנים מעופפים זעירים.	כנפי חרקים 
כנפי חרקים הכנפיים הן התארכות של הקוטיקולה (השלד החיצוני) מהחזה, והן מחוברות ומונעות על ידי שרירי החזה. לרוב החרקים שני זוגות כנפיים קרומיות דקות, המשורגות בעורקים מעובים, שמעניקים לכנף חוזק.	כנפי חרקים - לרוב החרקים שני זוגות כנפיים: קדמיות ואחוריות. - הכנפיים הן התארכות של הקוטיקולה (השלד החיצוני). - הכנפיים עשויות כיטין. - לרוב קרומיות דקות, משורגות בעורקים. - מחוברות לחזה ומונעות על ידי שרירי החזה. 
מדריך לחוקרים הצעירים - הקדמה לפעילות בפעילות זו תחקרו תעופה של כמה חרקים. כל קבוצה תחקור חרק מסוג אחר. כשאתם מתבוננים בחרק שקיבלתם, נסו להבין מהם היתרונות והחסרונות בתעופה שלו או בכלל במבנה ובצורה של הכנף. למשל:	מדריך לחוקר הצעיר מה היתרונות והחסרונות של כנפיים כאלו? 

• מהירות גבוהה: מאפשרת להגיע למרחק רב במהירות, לסרוק שטחים גדולים ביעילות וגם להתחמק מאויבים או להצליח לתפוס טרף מעופף. • יכולת תמרון: מאפשרת תנועה מדויקת וזריזה, מה שחיוני לניווט בסביבות מורכבות. • צבעי הסוואה: מאפשרים להסתתר ולהגיע ליעדים מבלי שיבחינו בך. • יכולת לשאת משקל רב: מאפשרת נשיאת מטען כבד, מה שחשוב למשימות לוגיסטיות או הובלה. • יכולת ריחוף: מאפשרת תנועה אנכית מדויקת, חיונית למשימות הדורשות דיוק במקום.	
<u>שימו לב לדברים הבאים:</u> • חומר: ממה עשויה הכנף? האם היא קלה או כבדה? האם היא עמידה וחזקה? • צורה: מה צורת הכנף? האם הצורה מסייעת בעליו? האם שטח הפנים גדול או קטן? האם המבנה מאפשר תעופה? • נפנוף: האם צורת הנפנוף יעילה? האם היא מהירה? • תוספות: האם יש מבנים מיוחדים וכיצד הם תורמים?	שימו לב לדברים הבאים: חומר ממה עשויה הכנף? האם היא קלה או כבדה? האם היא עמידה וחזקה? נפנוף האם צורת הנפנוף יעילה? האם היא מהירה? צורה מה צורת הכנף? האם הצורה מסייעת בעליו? האם שטח הפנים גדול או קטן? האם המבנה מאפשר תעופה? תוספות האם יש מבנים מיוחדים? וכיצד ולמה הם תורמים?
<u>משימה 1</u> חלקו את התלמידים לחמש קבוצות. בשלב הראשון, כל קבוצה תקבל תמונה של חרק מעופף אחר, תבחן את מבנה הכנף ותנסה לשער מה מאפיין את התעופה שלו.	משימה 1. בחנו את הכנפיים של החרק שקיבלתם: 1. התבוננו ותארו מה מאפיין את הכנף? 2. העריכו מה היתרונות והחסרונות של המבנה? 3. שערו במה החרק שלפניכם מתמחה?  טובילי נאוי (Nemoptera degeyeri): צילם: עזר סגור
<u>משימה 2</u> בשלב השני, כל קבוצה תקבל דף מידע על התעופה של החרק שלה. התלמידים יחקרו את המבנה והתפקוד של כנפי חרקים שונים, יחקרו את היתרונות והחסרונות שלהם ויחשבו כיצד ניתן לקבל מהם השראה לפיתוח כלי טייס זעירים ולאיילו שימושים טכנולוגיים יכול להתאים מבנה כנף כזה. רכזו את התשובות של הקבוצות בשקופיות 22 – 26. כל קבוצה תציג את הממצאים שלה, כהכנה למטלת הבית.	משימה 1. השתמשו בתצפיות שלכם על הכנף ובדף המידע שקיבלתם וחשבו על רעיונות לפיתוח רובוט בהשראת החרק שלכם: 1. מה מטרת פיתוח הרובוט? 2. אילו מאפיינים של מבנה הכנף יסייעו לרובוט?  מקור: Phan and Park (2019)
<u>מטלת בית</u> לאחר שהכירו טיפוסים שונים בחרקים וכיצד הם יכולים להוות השראה לפיתוח רובוטים מעופפים, כל תלמיד/ה יתכננו ויבנו מודל כנפיים לרובוט מעופף. הנחיות לתלמידים: 1. צורק: מה הרובוט שלכם יוכל לעשות? לאיזה צורך אתם מפתחים אותו?	מטלה עליכם לתכנן כנפיים לרובוט מעופף. 1. צורק: פרטו מה תפקיד הרובוט שלכם? לאיזה צורך אתם מפתחים אותו? 2. השראה: פרטו אילו חרקים יכולים לשמש השראה בפיתוח רובוט כזה, ואילו תכונות תרצו לאמץ לטובת פיתוח הרובוט שלכם. 3. תכנון: שרטטו את מבנה הכנף. התייחסו לצורה החיצונית, למספר הכנפיים, לעורקים או מבנים שונים שתמצאו להוסיף לכנף. 4. דגם: בנו דגם של הכנף שלכם. חשבו היטב באילו חומרים תשתמשו ומה היתרונות של חומרים אלו.

2. השראה: אילו חרקים יכולים לשמש השראה בפיתוח רובוט כזה? אילו תכונות של חרק תרצו לאמץ לטובת פיתוח הרובוט שלכם? 3. תכנון: שרטטו את מבנה הכנף. התייחסו לצורה החיצונית, למספר הכנפיים, לעורקים או למבנים שונים שתמצאו להוסיף לכנף. 4. דגם: בנו דגם של הכנף שלכם. חשבו היטב באילו חומרים תשתמשו ומה היתרונות של חומרים אלו.	
--	--

מקורות להרחבה וקריאה נוספת

- [תעופה בשליטה – על זבובים ובוכניות](#)
- [הזבובאים של ישראל – מבוא \(חלק א'\)](#)
- [קשקשים לפרפרים](#)
- [פטרוסטיגמה – כתם לכל החיים](#)