



כשהטבע מאיר את העתיד

חגי האורות ויום ההיפוך החורפי כהזדמנות ללמידה ביומימיטית. בתקופה זו, כשהאור תופס מקום מרכזי בחיינו, אנו מזמינים אתכם להפנות את הזרקור אל "האור של הטבע" בהקשר טכנולוגי מרתק. נצלול יחד לעולם הביומימיקרי (חיקוי הטבע) ונחקור כיצד יצורים חיים המפיקים אור בתהליך של ביולומינסנציה (הארה ביולוגית) משנים את פני המדע והתעשייה.

מה בעלון?

- מהגחלילית ל-LED:** שיפור יעילות נורות על ידי חיקוי המבנה המדורג של קשקשי הגחלילית, המונע החזרה פנימית של אור (חוק סנל).
- החלבון ששינה את הרפואה:** שימוש בחלבון ה-GFP ממדוזות כ"סמן" ביולוגי (נובל בכימיה) לזיהוי תהליכים בתאים.
- חיישנים סביבתיים (ביו אינדיקטורים):** ניצול רגישותם של יצורים זוהרים לשינויי סביבה ככלי לניטור זיהומים.
- עתיד ירוק:** הנדוס צמחים זוהרים כתחליף אפשרי לתאורת רחוב חסכונית.

הצעות לפעילויות

פעילות מבוססת סרטון

מיומנות מובילה: שאילת שאלות

הסרטון* מיועד להיכרות עם תופעת ביו לומינסנציה ביצורים חיים המשמשים גם כביו אינדיקטורים ומהווים השראה ביומימיטית לפיתוחים מחקרניים חדשניים. (*סרטון זה יוצר בבינה מלאכותית לפיכך ייתכנו שיבושים בהגייה ובקריינות).

הצעה לפעילויות באמצעות הסרטון בכיתה:

מומלץ לחלק את הסרטון למקטעים בהתאם לנושאים הבאים (ניתן לבחור את מקטעי הצפייה בהתאם לדגשים בהוראה):

- חלק 1:** (0:50-2:37) ביולומינסנציה-מה לשם מה ואיך?
- חלק 2:** (2:37-4:14) איך לייצר אור יעיל יותר?
- חלק 3 א:** (4:14-5:20) צמחים זוהרים בהנדוס גנטי
- חלק 3 ב:** (5:20-6:36) זיהום אור והשלכותיו על המגוון הביולוגי
- חלק 4:** (6:36-7:44) פיתוח חיישנים להארה בהשראת ביואינדיקטורים מאירים

עודדו תלמידים לשאול שאלות לגילוי מידע חדש וחקר בכל אחד מנושאי הסרטון. תוכלו להיעזר [בעזרים לשאילת שאלות](#).

- הציעו קריטריונים להשוואה בטבלה בין נורת ליבון, נורת LED רגילה (סטנדרטית), נורת LED משופרת/יעילה, אור המופק מגחלילית (הארה ביולוגית). **דוגמה:** מקור האנרגיה, יעילות האור (באחוזים), פליטת חום (גבוהה כ-90%, כמעט אפסית -'אור קר'), מבנה (חלק סימטרי, קשקשי א-סימטרי), צורך/ תפקוד (תאורה, תאורה חסכונית, תקשורת, חיזור והישרדות). אילו תובנות ניתן להסיק מהשוואה שערכתם על למידה מיעילות האור המופק על ידי יצורים בטבע? הסבירו!

ב. כיצד מבנה א-סימטרי של הגחלילית ו/ או של כנפי פרפר המורפו משפר את יעילות נורת הLED?
 מיומנות מובילה: הסקת מסקנות מתצפית

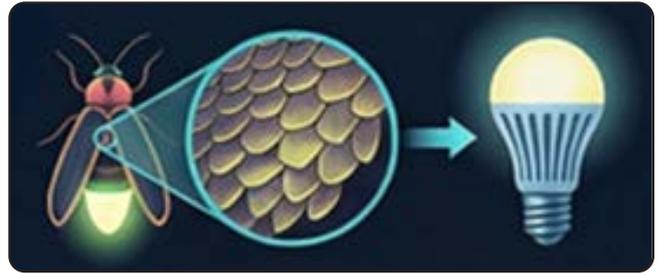
- **הדגמה:** המורה יקרין לייזר למנסרה בזוויות משתנות.
- **התצפית:** התלמידים יבחינו שבזוויות מסוימות האור נכלא ומוחזר פנימה במקום לצאת מהזכוכית.
- **ההסבר:** מבנה חלק וסימטרי ב-LED רגיל גורם לאובדן של כ-50% מהאור, בעוד שבנורה משופרת (בחקי מבנה הגחלילית) האובדן פוחת ל-10% בלבד
- **התנסות:** התלמידים יקרינו פנס על שני דגמי פירמידות -סימטרי ואסימטרי (צלעות וזוויות זהות/ שונות משני הצדדים) וישוו את כיווני החזרת האור.

על התלמידים לתאר את התוצאות ולהסביר: בדגם האסימטרי האור נשבר לזוויות מגוונות ו"בורח" החוצה, בעוד שבמבנה הסימטרי הוא נוטה להשתקף בחזרה פנימה ולהילכד.

- **הקשר לטבע:** המבנה מחקה את קשקשי הגחלילית או הפרפר האסימטריים, המגדילים את שטח הפנים ויוצרים אקראיות בפיזור קרני האור הזוויות מגוונות ורבות.
- **המסקנה המצופה:** החיקוי הביומימיטי מעלה את יעילות החזרת האור מ-50% לכ-90%.

ביולומינסנציה - מה, לשם מה ואיך?

מיומנות מובילה: חיפוש מקורות מידע, ארגון ידע בטבלה



שיפור נורות LED בהשראת גחליליות: חיקוי מבנה הקשקשים הא-סימטרי בבטן הגחלילית הגדיל את יעילות פליטת האור לכ-90%

בקשו מהתלמידים לאתר מקורות מידע נוספים על מגוון יצורים חיים המקיימים את התופעה **ביו-לומינסנציה** (הארה ביולוגית) ולארגן את המידע שרכשו באמצעות הטבלה הבאה:

מהו היצור החי? ומהי סביבת החיים?	מנגנון: איך זה פועל?	תפקוד: לשם מה? (תקשורת / רבייה / הגנה וכו')

א. איך ליצר אור יעיל יותר?

מיומנות מובילה: מיומנות ההשוואה

בקשו מהתלמידים לערוך השוואה בין אור מלאכותי לבין אור המופק על ידי יצורים בטבע. מומלץ להעלות טבלה שיתופית לקריטריונים שתלמידים העלו ולהסיק מסקנות מההשוואה ברמה מערכתית.

הכימיה של האור: איך גחליליות זוהרות?

<p>מרכיב 1: לוציפרין (Luciferin) המולקולה הייעודית המשמשת כ"דלק" בתהליך יצירת האור.</p>	<p>מרכיב 2: לוציפראז (Luciferase) האנזים שפועל כוח (קטליטור) ומאפשר את התגובה הכימית.</p>	<p>מרכיב 3: ATP (אדנוזין טריפוספט) "מטבע האנרגיה" של התא, המספק את הכוח להפעלת התגובה.</p>	<p>מרכיב 4: חמצן (Oxygen) המרכיב שנוכחותו חיונית כדי שהתגובה הכימית תוכל לפלוט אור.</p>
<p>התוצאה: אור קר ויעיל כמעט 100% מהאנרגיה הכימית הפכת ישירות לאור, ללא איבוד חום משמעותי.</p>			

NotebookLM

מנגנון לוציפרין-לוציפראז: המרת אנרגיה כימית לאור ביעילות מקסימלית

שלב א

התלמידים יתבקשו לחקור בעזרת כלי בינה מלאכותית ובדיאלוג מתמשך את הסוגייה ב-3 היבטים:

1. **חיסכון בחשמל:** הפוטנציאל לחיסכון בחשמל והפחתת זיהום אוויר מתחנות כוח באמצעות צמחים המפיקים "אור קר" ומתמשך ללא צורך בתשתית חיצונית.
2. **סיכונים למגוון הביולוגי:** חשש מ"זליגת גנים" לטבע והפיכת צמחים מהונדסים למינים פולשים המשבשים מערכות אקולוגיות קיימות.
3. **זיהום אור:** השפעת ההארה הקבועה על תקשורת ורבייה של בעלי חיים, בדגש על פגיעה קריטית בביו אינדיקטורים כמו גחליליות, שסיכויי הרבייה שלהן צונחים מ-40% ל-3% תחת אור מלאכותי.

להעמקה: [משימת אוריינות מדעית](#) המציגה מחקר על השפעת זיהום האור על רבייה בגחליליות (שאלות 9-12 לביסוס ידע פרוצדורלי ואפיסטמי).

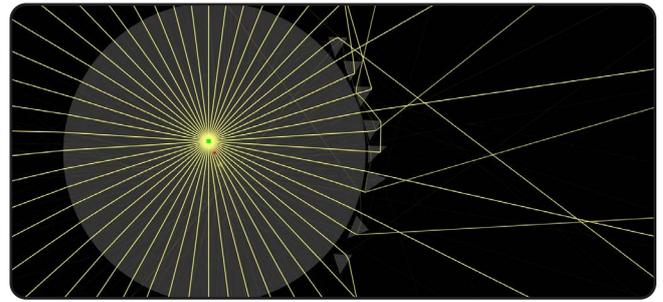
שלב ב

בנו [מפת השלכות](#) לניתוח שרשרת ההשפעות של שתילת צמחים זוהרים:

- **דוגמה להשלכה ישירה:** תאורה טבעית זמינה ללא תלות בחשמל.
- **דוגמה להשלכה עקיפה חיובית:** הפחתת זיהום האוויר בשל ירידה בפליטת המזהמים מתחנות הכוח.
- **דוגמה להשלכה עקיפה שלילית:** פגיעה במגוון הביולוגי בשל זיהום אור עלול לשבש את יכולת התקשורת והחיזור של הגחליליות ולגרום לצניחה דרמטית בסיכויי הרבייה שלהן.

שלב ג

בניית טיעונים והמלצה: התלמידים יגבשו עמדה מנומקת המאזנת בין הצורך בחדשנות לבין שימור הטבע.



השפעת שטח פנים במבנה א-סימטרי על פיזור קרני האור

המחשת העיקרון הפיזיקלי של שינוי זווית הפגיעה כדי למנוע "החזרה גמורה" (כליאת אור). [סימולציה למבנה הקשקשי של הגחלילית ופרפר המורפו](#) - השוו את הדומה והשונה בין הסימולציה למציאות.

העיקרון הפיזיקלי: מניעת "החזרה גמורה" - כאשר אור עובר מחומר אחד לאחר, חלקו עלול להיפגע בזווית חדה מדי להיכלא בתוך הגוף ולהפוך לחום במקום להיפלט החוצה. הבליתות הקטנות משנות את זווית הפגיעה של האור, ובכך מאפשרות לאור ה"כלוא" למצוא נתיב יציאה חדש ולהיפלט לאוויר.

השוואה למציאות (ביומימיקרי): המבנה - העיגול הגדול מייצג את גוף הגחלילית או כנף פרפר המורפו. העיגולים הקטנים מדמים את המבנה המיקרוסקופי של הבליתות או הקשקשים שעל פניהם. התוצאה - היתרון למבנה הא-סימטרי הזה, בבעל החיים הוא מיקסום פליטת האור (בגחלילית) או את החזר הצבע המרהיב (בפרפר), ובכך הוא מונע בזבוז אנרגיה והתחממות מיותרת.

חלק 3:

צמחים זוהרים בהנדוס גנטי וזיהום אור והשלכותיו על המגוון הביולוגי

מיומנות מובילה: פיתוח חשיבה ביקורתית, טיעון וקבלת החלטות

- **דילמה אתית-סביבתית:** צמחים זוהרים במרחב העירוני - פתרון ירוק או איום על הטבע?
- **מטרה:** פיתוח חשיבה ביקורתית וקבלת החלטות סביב שימוש בטכנולוגיות ביומימטיות והנדסה גנטית.
- **הסוגייה לדין:** האם כדאי להחליף את פנסי הרחוב החשמליים בצמחים זוהרים המהונדסים גנטית?

צמחים זוהרים: הפתרון הירוק לתאורת רחוב?

החזון: עיר המוארת על ידי הטבע



ביומימיקרי: השראה מהטבע
חיקוי תהליכים טבעיים, כמו הארה לפיתוח טכנולוגיות חדשות.



צמחים מהונדסים גנטית כמקור אור
שתילת צמחים המפיקים "אור קר" ומתמשך יכולה להחליף פנסי רחוב חשמליים.



הדילמה: יתרונות מול סיכונים

יתרון: חיסכון באנרגיה והפחתת זיהום



אין צורך בחשמל מתחנות כוח מזהמות ובתשתיות יקרות.



סיכון: פגיעה במערכות אקולוגיות
חשש ש"זליגת גנים" לטבע תהפוך צמחים מהונדסים למינים פולשים.



סיכון: זיהום אור מזיק
הארה קבועה עלולה לשבש תקשורת ורבייה של חיות בר, כמו גחליליות.

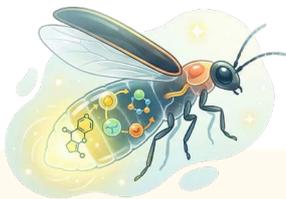
NotebookLM

צמחים זוהרים מהונדסים גנטית - ירוק או מזיק?

חלק 4:

פיתוח חיישנים להארה בהשראת ביואינדיקטורים מאירים

- תכננו פתרון טכנולוגי חכם / מוצר בהשראה ביומימטית שישמש חיישן המשנה את תגובת ההארה שלו על מנת להזהיר אותנו משינוי סביבתי.
- תארו את המוצר הטכנולוגי שתכננתם בתגובה לבעיה שבחרתם. הסבירו כיצד המוצר הטכנולוגי שלכם מחקה את המנגנון בטבע.
- צרו תמונה במחולל תמונות של המוצר הטכנולוגי שייצרתם.
- מיומנות מובילה: חשיבה הנדסית (זיהוי צורך, הגדרה ואפיון בעיה, פיתוח רעיון לפתרון)
- משימה: כשהטבע מאיר את המחר-אתגר לתכנון חיישני העתיד
- בחרו בעיה סביבתית אחת (עירונית או אישית) שמטרידה אתכם. (כגון: זיהום אוויר, קרינת שמש חזקה בגני משחקים או חלונות, מים מזוהמים, זיהום אור).
- בחרו אחד מהיצורים המקיימים מנגנון הארה ביולוגית (דוגמאות לכרטיסי מידע).



קישורים להרחבה

- מאמרים על חיישנים ימיים ועור חכם:
- [Bio-inspired soft robotics and bioluminescence](#)
- [Biomimetic material that flashes when touched](#)
- [פנסים מולקולריים שמאירים את המדע](#)
- [פיטוניות זוהרות](#)
- [הולכת אור](#)
- [פיתוי צבע חיידיקי המשתנים עם האור](#)
- [AskNature - Bioluminescence Results](#)

מידעון למורי מדע וטכנולוגיה בחטיבות הביניים | ינואר 2026

כתיבה: ד"ר ורד אלבוחר-אגמון, עירית קידר | גרפיקה: מור מוריה-שיפוני | האוירים נלקחו ברישיון מאתר Shutterstock או נוצרו באמצעות בינה מלאכותית המידעון נכתב במסגרת פרויקט של מרכז מורי מו"ט חט"ב מופעל על ידי מכון ויצמן למדע עבור משרד החינוך במסגרת מכרז מס' 22/11.2020