

פיזיקה מעבר לקירות בית הספר: פיזיקטבע - פיתוח סקרנות ומוטיבציה ע"י למידה בטבע

שפרה בריגה, אמי"ת אורי מעלה אדומים

כשאני חושבת על הצגת סיור פיזיקטבע לתלמידים צצים אצלי משפטים כמו: תלמידים יקרים! היום אנחנו נוסעים לבקר במוזיאון מדע. זה מוזיאון עם אלפי תערוכות ובכל תערוכה אלפי מיצגים שניתן לגעת בהן ולחקור אותם! המוזיאון קיים כבר עשרות מיליוני שנים שבמהלכן כל המיצגים עוברים ביקורת וכך הם הלכו והשתכללו יותר ויותר עם השנים והם ממשיכים להשתכלל כל הזמן!

היום אנחנו נוסעים לבקר ב"מעבדה" - המעבדה הגדולה והמשוכללת מכולן. ניסויים רבים נעשים במעבדה זו ומטרתם היא אחת - הישרדות! על כן מושקעים מיטב המאמצים והמשאבים כבר מיליוני שנים כדי לברור את הדרכים הטובות ביותר לעוף, לשחות, לראות, לחוש, לאתח, להסתתר וכד'....

פיזיקה! היכן ניתן ללמוד אותה? בכיתה? במוזיאון? במעבדה? כמובן שהפיזיקה נמצאת בכל מקום סביבנו ואין לאדם אלא לפקוח את עיניו בשביל להביט בה. שמורת טבע היא מקום נהדר



שפרה בריגה

ללמוד פיזיקה: אין ספור רעיונות וחוקים ניבטים אלינו מכל עבר ואנחנו - תחת ההשפעה המשחררת של השהות בטבע - פשוט יושבים וסופגים את כל הטוב הזה. במאמר זה אספר על המיזם "פיזיקטבע" - סיורים וסדנאות פיזיקליים לתלמידים בשמורת טבע- וגם אספר על התהליך האישי שלי באיחוד שתי אהבות גדולות שלי- טבע ופיזיקה.



תמונה 1: שלדג גמדי צולל בחדות ורכות אל המים על מנת לתפוס דג. תמונה אחת שווה אלף נוסחאות: איך השלדג עובר כל כך טוב מתווך לתווך מבלי כמעט להפריע למים ואיך זה קשור לרכבת הקליע ביפן? איך נוצרים הצבעים החיים והמבריקים של הנוצות של השלדג? איך השלדג יודע לזהות את מיקום הדג למרות שבירת האור? איך השלדג מצליח לראות בתוך במים? איך נראית התמונה מנקודת מבטו של הדג? ועוד... נסו להעלות עוד שאלות פיזיקליות על התמונה. צילום: [עשהאל בן צרויה](#)



תמונה 2: אני ועמיתי ב'ימי הזוהר' כעובדת ברשות הטבע והגנים

תוך כדי הלימודים עבדתי בפאב שכונתי בירושלים. אלדד, מנהל שמורת הטבע עינות צוקים, היה לקוח בפאב. מדי שנה היה מגייס מעובדי הבר מתגברים לימי החגים בשמורה וכך הגעתי לעבוד בשמורה. למרות שהעבודה בחג הייתה מאוד מאתגרת, נשארתי לעבוד בשמורה גם אחרי החג משום שידעתי שאני פשוט רוצה לעבוד בחוץ, בטבע ושהשמורה היפיפה והמרתקת הזו תהיה מקום משמעותי עבורי.

אחרי החגים הגיעה השגרה השקטה והברוכה, ואז יצאתי לחקור את הטבע. נדמה לי כי לאדם יש יצר טבעי לכך: להכיר את סביבתו, למפות, לקרוא לדברים בשמות. מצאתי את עצמי מחפשת כל הזדמנות לחקור את הטבע סביבי, בכל דרך אפשרית. הצטרפתי לסקרים שעורכים ברשות הטבע, למחנות אקולוגים, לספירות, לניטורים ומה לא. חוקרים שונים היו מגיעים לשמורה ומיד הייתי עטה עליהם, שואלת שאלות ומבקשת להצטרף. זו הייתה חוויה מרגשת להסתובב עם אנשים שכל אחד מהם מתעניין באמת בכל מה שנמצא מסביב. לא אחת יצאתי איתם למדבר, המדבר שנראה לאדם 'הרגיל' ריק ושומם לגמרי, וכל פעם ראינו כל כך הרבה דברים...

היום ניסע ללונה פארק. הלונה פארק של הטבע - שמורת הטבע עינות צוקים, עם בריכות שכשוך והמון כיף ויופי עם אור שמש, רוח מלטפת, אפשרות להניע את הגוף, לשהות יחד ולהתחבר לעצמנו, אחד לשני ולסביבה.

הבה ונלך יחדיו, למשך יום אחד, בנעליו של חוקר קדום שמביע פליאה מהטבע סביבו ומתופעותיו המרשימות. הפליאה היא זו שהפכה אנשים סקרנים לחוקרים הדגולים ביותר. "ראשית מחקר - פליאה" - אריסטו

מפגש ראשוני או - איך הגעתי לכל זה?

כאשר נרשמתי ב 2011 ללימודי מחשבת ישראל באוניברסיטה העברית בירושלים, עדיין לא ידעתי מה אני רוצה ללמוד אבל רציתי להתחיל משהו. בשנה הראשונה של התואר לקחתי קורס "אבני פינה" (קורס לא לפיזיקאים) שנקרא "אסטרונומיה למשוררים" של פרופ' צבי פירן. הקורס היה מרתק. אהבתי במיוחד את סדנת הכוכבים במצפה רמון והתרגשתי ללמוד על הכוכבים בשמים, להכיר אותם בשמותיהם ולעקוב אחריהם לילה אחר לילה. הקורס גרם לי לחשוב שאולי אני כן מסוגלת ללמוד פיזיקה וכך החלטתי ללמוד תואר ראשון בפיזיקה.

שמורת עינות צוקים

שמורת עינות צוקים (ובשמה הערבי עין פשח'ה) הינה שמורת טבע מוכרזת לאורך החוף הצפוני של ים המלח. בשמורה מתרכזים מאפיינים ייחודיים רבים: זוהי השמורה הנמוכה ביותר בעולם (ובסיוור לומדים את המשמעות "הפיזיקלית" של זה) ונווה המדבר הגדול בארץ. בקעת ים המלח היא בעלת אקלים חם מאוד (ולכן הסיורים שם מתקיימים רק בין אוקטובר למאי) והשילוב של החום עם הלחות של המעיינות מדמה אקלים טרופי ייחודי. השמורה הגדולה הזו (כ-10 ק"מ אורך) מורכבת מבתי גידול ייחודיים מאוד בין מדבר צחיח וקשה ומצוקים תלולים לסבכי קנים טרופיים, אגני מים גדולים ונפלאים, שטחי בוץ מרתקים, מיקרו-קניונים ועוד. בתי גידול ייחודיים אלו מביאים מגוון גדול של בע"ח וצמחייה. רוב שטח השמורה אינו פתוח למבקרים ולכן בעבודה בשמורה זוכים לקבל ביקור מפעים ב"קודש הקודשים" של הטבע. יש משהו מאד מיוחד בחוויה הזו של הצעידה בדד, בין רחש הקנים והציוף הבלתי פוסק של הציפורים, כשמעת לעת עוברים לצד פלג מים קטן, או גדול, או אגם רחב ידיים; כשמפתיעים פתאום משפחת חזירי בר, כשמרגישים את הקרקע הבוצית נמסה תחת משקל הרגליים, כשרואים אנפה ענקית קופצת בהפתעה, כשמביטים לעבר מצוק שמגרד את השמיים ורואים להקה ענקית של חסידות, או עגורים, או אלף ואחת עופות אחרים - משהו קורה. **גיליתי שאני פשוט אוהבת להיות שם.**

ביום סיור וסדנת פיזיקטבע, אני מנסה לתת לתלמידים ולמורים מעט מן החוויה הזו שאני קיבלתי בשמורה: לחקור את הטבע גם באמצעות החושים והשהייה הפיזית בטבע וגם ע"י חקירה מדעית וקריאת ספרות. ביום הפעילות יש סיור מודרך ב"שמורה החבויה", קטע בשמורה שניתן להיכנס אליו רק עם מדריך שהוסמך לכך. לאחר הסיור נחים, אוכלים ונהנים בבריכות השכשוך ולבסוף התלמידים מתנסים בעצמם במדידות שעושים חוקרים שונים בשמורה או בצילום, התבוננות וניתוח תופעות מדעיות סביבם.

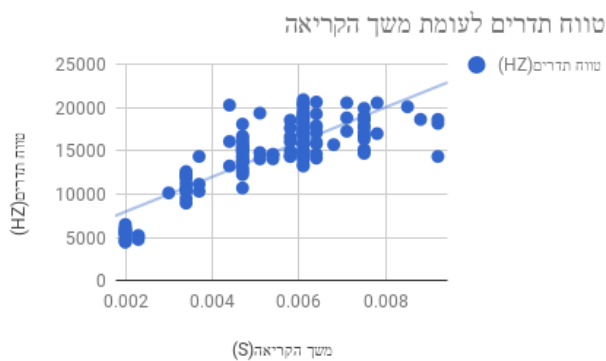
בין עבודת הטבע להוראת הפיזיקה

במקביל לעבודתי בשמורה סיימתי את התואר ואת תעודת ההוראה והתחלתי ללמד פיזיקה. ניסיתי בכל הזדמנות

שנקרתה בדרכי להביא את הכלים מהתואר בפיזיקה לכדי שימוש בשמורה. גיליתי הזדמנויות רבות להפגיש "בין העולמות" במרכזות כפולות, שהלא ה"עולמות" האלו אינם מנותקים לכתחילה. להלן כמה דוגמאות:

עטלפים

אלדד המנהל, זיהה את התשוקה המדעית שלי ומינה אותי למפרשת קולות של עטלפים. עטלפים חשים את סביבתם בצורה אקטיבית ע"י שליחת גלי קול לסביבה ומדידת ההחזר שלהם. כך ניתן להציב מיקרופון רגיש לתדרים אולטרה סוניים בשטח, ולפי הקולות המוקלטים ניתן ללמוד על העטלפים שעברו ליד המיקרופון. בעבודה זו נחשפתי לתחום המרתק של ביו-אקוסטיקה וגיליתי שנעשים המון סקרים ביו-אקוסטיים במסגרת שמירת טבע. בישראל, 33 מתוך 34 מיני עטלפים הם אוכלי חרקים (מין אחד אוכל פירות). **עטלפים מצליחים לאתר כך נמלה מעופפת או יתוש קטן באוויר ולצוד אותו בתעופה.** חרקים נחשבים לביו-אינדיקטורים למצב בית הגידול מאחר שהם מגיבים הכי מהר לשינויים בסביבה. כאוכלי חרקים, גם **עטלפים נחשבים ביו-אינדיקטורים מעולים אבל בניגוד לניטור חרקים, את העטלפים ניתן לנטר בצורה אקוסטית ולא פולשנית.** יש לזה יתרון גדול באקולוגיה ולכן ניטור עטלפים מהווה שיטת סקר מאוד חשובה ונפוצה בעולם. ישנן גם מגבלות לניטור אקוסטי: למשל, אם ישנם עשרה קבצים עם קריאות של עטלף מסוים: האם זה אומר שהיו עשרה פרטים או שמא פרט אחד עבר ליד המיקרופון עשר פעמים? ומה קורה אם יש כמה עטלפים יחד? האם הקולות שלהם מתאבכים? ואולי יש עטלפים שהתדר שלהם מאוד גבוה ולכן טווח גל הקול שלהם הוא מאוד קצר ולא מגיע למיקרופון? שעות וימים ישבתי מול קבצים רבים מאוד של הקלטות וסיווגתי עטלפים לפי קריאותיהם. ישנם מאפיינים ברורים לקריאת עטלף: באזור ים המלח הם קוראים בטווחי קול של בין 12 קה"צ (ניתן לשמוע את העטלף הזה - האשף המצוי) ל-120 קה"צ. (טווח השמיעה של אדם הוא עד 20 קה"צ). כל עטלף משתמש בתדרים אחרים, משכי קריאות שונים, סוגי קריאות אחרות (תדר קבוע/ חצי קבוע/ משתנה). נדרש, אפוא, ידע בביו-אקוסטיקה על מנת לחקור את האבולוציה, את החישה, ההתנהגות והביולוגיה של העטלף.



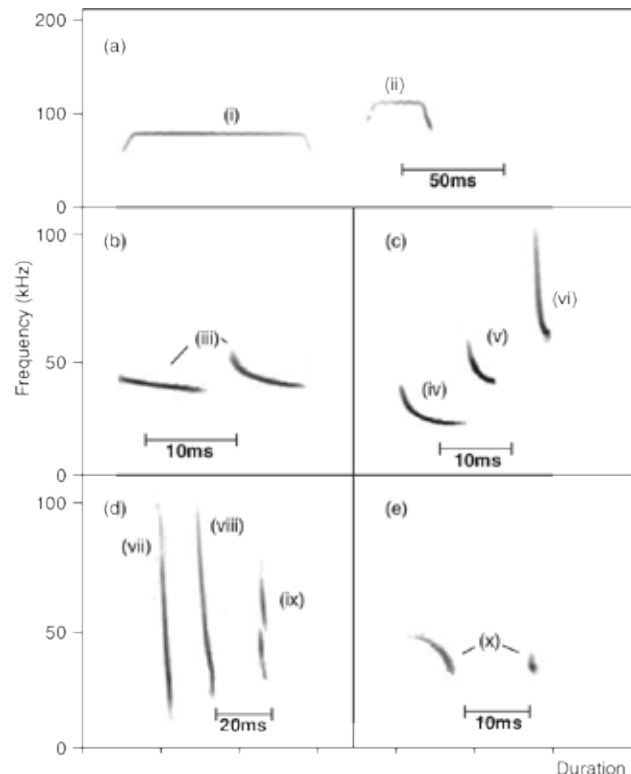
תמונה 4: אחד מהגרפים בעבודת החקר על קולות העטלפים. ניתן לראות שיש קשר בין טווח התדרים של קריאת עטלף למשך הקריאה שלו. כלומר ככל שהעטלף משתמש ביותר תדרים, כך הוא יכול להשתמש בקריאה ארוכה יותר.

ניתן לראות בגרף שאם טווח התדרים גדול יותר כך משך הקריאה ארוך יותר. פה ניתן לשאול המון שאלות מעניינות בפיזיקה: מה היתרון בשימוש בטווח תדרים רחב ומה היתרון בטווח צר? איזו קריאה משרתת את העטלף בחישה של יתוש ואיזו קריאה משמשת אותו לזהות גוף מים גדול? או אולי עטלף מסוים מעדיף לצוד מעל גוף מים כי הוא מהווה מעין מראה לקול?

נמלים

תחום נוסף שאהבתי לעסוק בו בשמורה הוא תחום חקר הנמלים. יש בשמורה נמלה מאוד מיוחדת ומעניינת בשם אורגת האשלים (אפשר ללמוד עליה ולראותה בסויר). האורגת היא נמלה ייחודית בנוף הישראלי ולכן חשוב לנטר אותה באמצעות סקרי נמלים בשמורה. חיפשתי נמלים על הקרקע, על צמחייה, גבוה על העצים, ותחת האבנים. **בעיקר התכופתי וסרקתי עם עיניי - ובחיי, ראיתי דברים מדהימים. מן הסתם אתם שואלים, כיצד נמלים קשורות לפיזיקה? כמוכן שקשורות!**

בתקופה שהייתי סטודנטית לתואר שני במכון ויצמן, היינו צריכים לעשות פרויקט באחת המעבדות. חיפשתי משהו שקשור יותר לטבע - עטלפים, חישה, תעופה... הופתעתי לגלות **שישנה מעבדה שחוקרת התנהגות קולקטיבית של נמלים במחלקה לפיזיקה של מערכות מורכבות!** ומה הקשר לפיזיקה? אפשר לחקור את התנועה שלהן, את התפשטות שבילי הריח, את הכוחות שהן מפעילות. אבל



תמונה 3: סוגים שונים של קריאות איכון הד של עטלף. מעניין לחקור מה היתרון ומה החסרון של כל סוג קריאה. איור לקוח מהמאמר:

Jones, Kate & Russ, Jon & Bashta, Andriy-Taras & Bilhari, Zoltán & Catto, Colin & Csász, István & Gorbachev, Alexander & Györfi, Páler & Hughes, Alice & Ivashkiv, Igor & Koryagina, Natalia & Kurali, Anikó & Langton, S.D. & Collen, Alanna & Crețu, Georgiana & Pandourski, Ivan & Parsons, Stuart & Prokofev, Igor & Szodoray-Parádi, Abigél & Zavarzin, Oleg. (2013). Indicator Bats Program: A System for the Global Acoustic Monitoring of Bats. 10.1002/9781118490747.ch10.

כבר בשנת ההתמחות כמורה הצעתי לתלמידי שלי לעשות עבודת חקר על עטלפים כחלק מהערכה חלופית. התייעצנו עם **פרופ' יוסי יובל** מאוני' תל אביב (גיליתי שישנם חוקרים רבים שאם פונים אליהם הם שמחים מאוד לעזור עם עבודות תלמידים) והחלטנו על ניסוי. בחרנו כמה פרמטרים של קריאות העטלפים: טווח תדרים, תדר שבו האנרגיה מקסימלית, מרווח זמן בין קריאות, משך הקריאה ועוצמת הקריאה. לקחנו את הנתונים של הקריאות מהשמורה, הצלבנו את כל הפרמטרים זה מול זה וניסינו לחפש מגמות. למשל: האם יש קשר בין טווח תדרי הקריאה למשך הקריאה? כלומר, האם ככל שהעטלף משתמש ביותר סוגים של תדרים, הוא גם קורא למשך זמן ארוך יותר?

והולכות בדרך אקראית. במסלול הקצר ביותר, באופן טבעי, יעברו הכי הרבה נמלים ביחידת זמן מסוימת, וכך פרומון-השביל בדרך הקצרה יהיה הכי חזק ואט אט יהפוך לשביל המרכזי. אבל פה אנחנו כבר נכנסים לתחום של אלגוריתמים ומדעי המחשב...

- מחזמנים להשתמש בקורס פטל לתלמידים על נמלים שהכנתי יחד עם מיכאל טומילין ברוטשילד ויצמן (מפתח רישום: W8Y3I57LIE)
- מחזמנים להקשיב לפרק ב"הסכת ישראל מצוי" של רט"ג שהתארחתי בו ושוחחתי על נמלים

תנועה

פעם ביקר אצלנו חוקר יעלים בשם יונתן. יונתן היה ממשדר את היעלים ומיד ביקשתי ממנו שייתן לי את הנתונים על מנת לתרגל באמצעותם קינמטיקה דו ממדית. כי הרבה יותר מעניין לדעת מה ההעתק היומי והמהירות המקסימלית של היעלה גולדה מאשר של יוסי בשאלת בגרות מס' 1. כמוכן שהסתבכתי עם ההמרה של קואורדינטות גאוגרפיות להעתקים אבל זה אחד החלקים הכי כיפיים בעניין: לשבת שעות מול גיליון אלקטרוני ולנסות "לפצח" את זה ולבנות פונקציה שתוכל להמיר את הנתונים.

מה שמדהים עוד יותר: מסתבר ששיירת נמלים מצייתת לעיקרון פרמה (שממנו נובע חוק סנל)!



תמונה 5: חוק סנל בנמלים, לקוח מהמאמר: https://www.huffpost.com/entry/ants-math-fastest-route-fermats-theorem_n_3108273

הנמלים שבתמונה שייכות למין האש הקטנה, מין פולש הרסני שהולך ומתפשט בארצנו בשנים האחרונות. והנמלים מצייתות לעיקרון פרמה משום שהן הולכות בדרך הקצרה ביותר בזמן. איך הן עושות את זה? איך הן יודעות מה המסלול הקצר ביותר בזמן? כמו שהאור אינו "יודע" כך גם הן. הן מפרישות פרומון-שביל כל כמה זמן

No	CollarID	UTC Date	UTC Time	Latitude	Longitude	Height	y(meter)	x(meter)	z(meter)	dy(meter)=vdy(m/s)	dx(meter)=vdx(m/s)
1	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-305.77	0	0	0	-5.906886716	1.061161
2	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-320.25	0.826588	-5.238780283	5.30358996	6.735574540	-6.299904
3	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-320.55	-1.86541	4.590014065	4.955425169	-2.601995838	9.829604
4	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-314.76	-6.26643	0.504247719	6.317828834	-4.401022242	-3.786664
5	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-310.72	-6.40047	-13.66104112	15.08608893	-0.134041287	-14.46521
6	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-313.87	-49.3384	-30.00290797	57.74468465	-42.90789213	-16.34181
7	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-320.52	-48.6235	-32.22575931	58.33302709	0.714888862	-2.22285
8	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-318.34	-51.3043	-30.56141333	59.71709498	-2.680825731	1.60434
9	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-320.88	-47.3836	-21.27905424	51.94230051	3.920707031	9.282351
10	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-313.58	-54.242	-29.45557272	61.72381822	-8.858445829	-8.1795
11	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-317.99	53.8846	-31.92416841	62.63147943	0.357443431	2.48859
12	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-329.22	82.3907	-87.9612725	106.816116	-28.50611361	-38.05711
13	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-325.51	-49.2378	-30.30450067	67.81632063	33.15287921	37.6767
14	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-323.09	-48.3777	-31.66726395	67.82058589	0.860096256	-1.36271
15	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-317.29	-49.5953	-30.56141333	58.25539794	-1.217541686	1.10584
16	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-332.78	-50.9447	-141.8156812	153.5778626	-8.349379737	-111.254
17	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-306.82	-11.1589	-4.08825924	11.88426443	47.78511866	137.727
18	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-316.10	-5.40033	2.167000799	5.824458514	5.752605214	6.25204
19	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-320.24	-9.97491	-19.9721517	22.32455124	-4.56857395	-22.139
20	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-312.17	-17.3137	-14.47645895	22.5683606	-7.338780439	5.49569
21	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-309.75	-17.0668	-13.91795359	22.01459242	0.256912490	0.558501
22	128	2022-12-29 10:11:00	11:00:20 AM	31.4889486	35.204118	-311.47	13.0132	-13.11370587	18.47463133	4.043578811	0.80424

תמונה 6: הנתונים והחישובים של היעלה הממושדרת גולדה

פיזיקטבע: כיצד נולד רעיון

המשכתי והתפתחתי כמורה לפיזיקה אבל לא יכולתי לעזוב את השמורה. מדי פעם הייתי ממשיכה לבוא לעבוד - כך הדבר למעשה עד היום - וגם הייתי לוקחת את התלמידות שלי לשמורה ליום גיבוש מגמתי. רציתי להיות בטבע ולחקור אותו וגם רציתי מאוד להעביר הלאה את הידע והמיומנות שלי בחקירה של הטבע בכלל והפיזיקה בו בפרט. מטעמים כלכליים בכל זאת אט אט התרחקתי לצערי מהשמורה. יום אחד הגיעה אליי המורה לביולוגיה בבקשה שאקח את התלמידות שלה לשמורה ואעשה להן סיור שישמש כסיור אקולוגי. שמחתי ונענית לבקשה אבל כמוכן ואיך לא - יצטרפו גם תלמידות הפיזיקה! **התחלתי להכין את הסיור ולחקור - איזו פיזיקה אפשר ללמוד בשמורה? והרעיונות התחילו פשוט לפרוץ ולזרום באין מעצור. אז הבנתי שמצאתי שביל להגיע לשמורה ולהמשיך לחקור אותה לעומק באמצעות הכלים שלי מפיזיקה, וגם להעביר את התשוקה שלי וההנאה שלי לתלמידים אחרים.**

פיזיקטבע: כיצד התכנים מפותחים?

את מרבית התכנים אני מפתחת על בסיס התנסויות שלי במסגרת העבודה בשמורה. כדי לעשות זאת באופן שיטתי יותר, החלטתי לצאת לשנת שבתון, ללמוד דברים שקשורים לפיזיקה של הטבע ולקחת קורס בשם "פריקט אישי" (אני מאוד ממליצה על מסלול זה בשנת שבתון) שבו אוכל לקבל הנחייה על "פיזיקטבע". פרופסור ירון להבי, שלימד אותי כבר בתעודה הוראה, נאות להנחות אותי וככה גם קיבלתי ליווי מקצועי ונעים. בשנה זו גם לקחתי קורס בשם "[ביומימיקרי למורים](#)". **ביומימיקרי זה לא ענף ולא מקצוע. זה גם לא עמותה או ארגון אלא כולם ביחד.** ביו- חיים, מימיקרי- חיקוי. בגישה ביומימטית עולם הטבע הוא מאגר של המצאות ופתרונות לאתגרי החיים. כל דבר שאנחנו רוצים לעשות מכלי תעופה ועד ניהול משפחה אנחנו יכולים ללמוד מהטבע. התהליך הביומימטי נע בשני כיוונים. כיוון אחד הוא מהאתגר לפתרון: למשל, אם אנחנו רוצים לבנות צוללת, אפשר לחפש בטבע אילו דברים צוללים וללמוד מהן כיצד הם עושים זאת. או אם אנחנו מחפשים להפיק צבע מיוחד

אפשר לבדוק איך הוא מופק בטבע אבל גם אתגרים אנושיים במיוחד כמו ניהול עסק, ניהול עובדים וכו' ניתן ללמוד מהטבע. התהליך ההפוך הוא מהטבע אל האתגר: למשל, הצמדן (הסקוצ'), פותח בהשראת קוץ. המדען ג'ורג' דה-מסטרל ראה שיש קוץ שכל הזמן נצמד לפרווה של הכלב שלו (כך הקוץ מפיץ את עצמו למרחקים גדולים) ושלב ממנו השראה. מאוד התלהבתי מהרעיון המדהים הזה שאני מאמינה שממש יכול לשנות את צורת ההסתכלות על החיים. ממליצה על הקורס וגם על הכנס שהיו מרתקים מאוד. **אבל החלק הכי מרגש הוא "השתלמויות" עצמיות שעשיתי לעצמי, ימי סיור שהצטרפתי למדענים ואנשי טבע ומהם קיבלתי השראה למשימות לתלמידים.**

יום אחד הצטרפתי למודדים אודי וליאו מהשירות ההידרולוגי. פעמיים שלוש בשנה מגיעים מודדים למדוד את שפיעת המעיינות בעין פשח'ה. הם הולכים לאורך החוף, עוברים דרך כל הערוצים שזורמים מהשמורה לים המלח (21 בסה"כ), ומודדים את שטח החתך של התעלה ואת מהירות המים באמצעות "מד זרם" וכך מודדים את ספיקת כלל המעיינות. **בגלל הבוץ הטובעני, המודדים סוחבים איתם "סנדלי בוץ" בעלי שטח דריכה גדול** כדי להקטין את הלחץ המופעל על הקרקע. בעין פשח'ה עשו מדידות ספיקה עוד מימי הבריטים, באמצעות מתקן ה"פרשל" - תעלה מכילת מבטון שניתן למדוד איתה את ספיקת המעיין לפי גובה המים בתעלה. את מתקן הפרשל (הריק ממים היום) עוד ניתן לראות בסיור בשמורה. מכאן לקחתי השראה לפעילות לתלמידים - למדוד את ספיקת אחת התעלות בעין פשח'ה. בסיור אני מראה לתלמידים את מתקן הפרשל ומספרת לתלמידים על חשיבות מדידות הספיקה ועל דרכים למדידתה. לאחר מכן בפעילות, התלמידים בוחרים תעלה ומודדים את הספיקה באמצעות שעון עצר ומד מרחק ("מטר"). או באמצעות נוסחת מנינג: מדידות גאומטריות שונות בתעלה ושימוש בחוק הכלים השלובים למדוד את שיפוע התעלה. חישוב הספיקה הוא לכאורה מאוד פשוט אבל בהחלט מעורר אתגרים חינוכיים רבים. כל תעלה היא בעלת מהירות זרימה אחרת, שטח חתך מורכב ומשתנה ומהירות המים שונה לאורך פרופיל העומק. בכל תעלה החיכוך עם הקרקע ועם הגדות שונה ויש עוד הרבה מאוד פרמטרים



תמונה 10: אני נועלת סנדלי בוץ ביום המדידות עם השירות ההידרולוגי



תמונות 7 ו-8: אנשי השירות ההידרולוגי מודדים ספיקה. יש למדוד לשם כך את מהירות הזרימה ואת שטח החתך של התעלה. ליאו מחזיק "מד זרם" מעין פרופלור מתכתי שמסתובב בגלל זרימת המים. הפרופלור מסתובב 30 שניות ולפי מספר הסיבובים ניתן לדעת מה מהירות הזרימה.

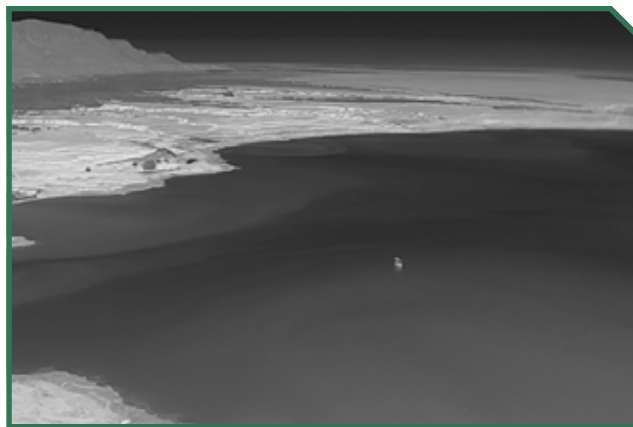


תמונה 11: פרופ' נדב לנסקי בשעת המדידה. מודדים פרמטרים שונים של המים בעומקים שונים (בבת אחת!) ובמרחקים שונים מהנביעות בעינות צוקים

נדב לנסקי לימד אותי הרבה על מלח ועל תמיסת מלח. באופן לא מפתיע, **מלח הוא אחד מהנושאים המרכזיים בסיוור. זה נושא מעניין ומגוון: גבישי המלח עצמם הם יפיפיים ומרתקים והתמכרתי לגמרי לאיסוף שלהם.** יש כאלה שקוראים להם יהלומי מלח. מה קורה למלח כאשר הוא נכנס למים? מה הם התכונות של תמיסת מלח? נכנסים פה המון נושאים: המלח מצמצם את הנפח של

נוספים שיש לקחת בחשבון. הפעילות הזו נותנת הרבה מקום ליצירתיות במדידה, כמו גם לדיון החשוב על אודות אי וודאות ורמת דיוק. חשבתי על אודי וליאו המודדים, שנהנים כל כך כל יום למדוד ספיקות נחלים ורציתי להעביר את החוויה הזו לתלמידים. מה יותר יכול להיות מהנה יותר מאשר לבצע מדידה בתוך מים?

בנוסף, ישנן נביעות בתוך ים המלח עצמו ואותם קשה לנטר. אודי סיפר לי שיש מדען בשם נדב לנסקי שלמד איך למדוד את השפיעה של המעיינות התת-ימיים בכלים של חישה מרחוק. למי ים המלח יש תכונות אופטיות שונות מהמים המלוחים ולכן ניתן באמצעות תצלומי לוויין למדוד את השפיעה שלהם. זה הדהים אותי וידעתי שאני חייבת להצטרף גם לנדב לנסקי ולראות מה הוא עושה!



תמונה 9: תמונה תת אדומה של הסירה שלנו בים המלח מול חופי שמורת עינות צוקים. ניתן לראות שלמים היוצאים מהנביעות בשמורה יש תכונות אופטיות אחרות מהמים המלוחים של ים המלח.

טופס מדידו זפיקה בעינות צוקים - סתיו תשפ"ב: 2022
 לכל הרושמים: נא לא לשכוח למלא את סוג הנביעה, נ.צ. וכו

תאריך עדכון: 24/10/2024

מדידת זרם		תצורת ומס' SEBA / MI 4158		קוטר מדחף (ס"מ)		הערכה		נפח הכלי (מטר מעוקב)		זמן (שניות)	
מרחק (מ')	עומק (מ')	מסלול	זמן	סיבובים	מהירות המים (מ/שניה)	שטח	ספיקה	נפח הכלי	זמן	זמן ממוצע	ספיקה (ליטר/שניה)
1	0.0	0.1	0.12	0.10	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	0.004
2	0.1	0.12	0.10	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	0.004	
3	0.2	0.14	0.23	0.35	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	
4	0.3	0.16	0.25	0.37	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	
5	0.4	0.18	0.27	0.39	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	
6	0.5	0.20	0.29	0.41	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	
7	0.6	0.22	0.31	0.43	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	
8	0.7	0.24	0.33	0.45	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	
9	0.8	0.26	0.35	0.47	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	
10	0.9	0.28	0.37	0.49	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	
11	1.0	0.30	0.39	0.51	0.004	0.009	0.4903	0.004	0.009	0.4903	

מקדם גדה: קיר אנכי, חלק - 0.8, גדה תלולה/אבן מחוספסת - 0.7, גדה עם שיפוע מתון - 0.6, גבע עם שטח לא זורם - 0.5

מדידת זרם: מרחק (מ'), עומק (מ'), מסלול, זמן, סיבובים, מהירות המים (מ/שניה), שטח, ספיקה

נפח הכלי (מטר מעוקב): 0.004, זמן (שניות): 0.009, ספיקה (ליטר/שניה): 0.4903

איכות המים: נפח דגימה (סמ"ק): 1000, טמפרטורה: 25.0, pH: 7.0

שם המעיין: סיכום, חתך מס': 4, אזור: דרום, מס' מעיין: 48245, תאריך מדידה: כ"ט חשוון התשפ"ג, 23.11.2022, נ.צ. ר.י.ח.: 0 623256 / User3 243964

ספיקה כללית: 0.06414 (מ"ק / שניה), נמדד ע"י: 11/22, חושב ע"י: 11/22, תאריך: 11/22, נבדק ע"י: 11/22

מקדם גדה: קיר אנכי, חלק - 0.8, גדה תלולה/אבן מחוספסת - 0.7, גדה עם שיפוע מתון - 0.6, גבע עם שטח לא זורם - 0.5

תמונה 12: כך נראה דף המדידה של המודדים בפועל. בשטח הן מבצעים מבצעים את המדידות ובמשרד הם מסכמים את החישובים. צורת שטח החתך היא תוספת שלי.



תמונה 14: פרופסור מדען, מורה, אמנית ורב חובל בהפלגה מול חופי ים המלח (חו לא התחלה של בדיחה...)

המים, משנה את טמפרטורת הרתיחה והקפאון, מעניק מוליכות למים, משנה את מקדם השבירה של המים. פה אפשר ללמוד המון נושאים וגם לעשות הרבה הדגמות ומדידות וכמעט בכל סיור פיזיקטבע תלמידים מודדים מליחות של מקורות מים טבעיים. מלבד הסיורים האלה הצטרפתי גם לסיור סיסמולוגיה של ים המלח, לסיורים ביו אקוסטיים של עטלפים וחרקים ונסעתי למוזיאון הטבע להתבונן דרך מקטבים על חיפושיות שונות. ההשתתפות בהשתלמויות כאלה תורמת רבות לי ולפיתוח התכנים. אני מקווה לא להפסיק לצאת לעוד מגוון השתלמויות עצמיות כאלה!

פיזיקטבע: מה זה בעצם ולמה זה טוב?

פיזיקטבע זה למידה של פיזיקה בטבע ומהטבע: יום סיור וסדנה בשמורת טבע. ישנם חסרונות ללמידה בחוץ - ישנה פחות "שליטה" על קבוצת הלומדים, הסחות דעת מרובות, ענייני מזג אוויר, והתנאים בכלל לא תמיד נוחים. אז למה בכל זאת? הלך הרוח המיוחד שהטבע משרה עלינו נותן הזדמנות לפתוח את החשיבה לסקרנות ולחוויות אחרות. פילוסופים ומדענים רבים דיברו בשבח השהות בטבע, מאריסטו עד רוסו ותורו. אפילו ר' משה קורדובירו נהג לעשות טקסי 'גירושין' יחד עם רבו ר'



תמונה 13: גבישי מלח צלולים ומושלמים בצורת קוביה. המקומיים קוראים להם "יהלומים"



תמונה 16: נופי נחל קלט הנצפים מגן הצוק. החורף הוא הזדמנות נהדרת להדגים את הנושא של מפנה צפוני מול מפנה דרומי. ככל אנחנו מתייחסים לנושא כשייך לכתרת של 'ביולוגיה', אך יש כאן עניין של זוויות אור ומהירות אידוי. ניתן לאתגר את התלמידים: איך ניתן למצוא את הצפון באמצעות תמונת הנוף?

לפני שאנו מתחילים לרדת מטה-מטה לגובה הנמוך ביותר בעולם אנחנו מכינים ברומטר אישי לכל תלמיד- יריעת בלון מתוחה על פני צנצנת זכוכית. מצוידים בברומטר ובטבלת מדידות הולכים לאוטובוס ויוצאים לכיוון עינות צוקים. במהלך הדרך מודדים את הלחץ הברומטרי ואת הגובה ביחס לפני הים בכמה נקודות. בין היתר עוצרים גם בנקודת גובה פני הים. במהלך הנסיעה רואים את יריעת הגומי של הברומטר שוקעת ונמתחת כלפי פנים הצנצנת וכך מבינים גם למה אנחנו חשים לחץ באזניים שלנו.

לאחר נסיעה של קצת פחות מחצי שעה מגיעים לשמורה ונאספים בסוכת ההדרכה, שם אנו מתחילים לשוחח על המקום ועל היחודיות שלו ומנסים לענות על השאלות שהעלנו לפני כן, כשעוד היינו בהרים. במהלך הדיון וההדגמות התלמידים נפתחים ומתגייסים: קשה שלא



תמונה 15: הסברים לצד כוס תה נעימה בגן הצוק המהמם שבכפר אדומים.

שלמה אלקבץ בהם היו יוצאים ללמוד מחוץ לעיר. גם האגדה אודות גילוי כוח הכבידה על ידי ניוטון קשורה בישיבתו תחת עץ התפוח. דומה הדבר שאפילו עצם היציאה מהאזור הכל כך מוכר של הכיתה כבר גורם לנו להתחיל לחשוב באופן אחר לחלוטין - תלמידים ומורים כאחד. אפילו משמעות המילה פיזיס הינה 'טבע'! החוקרים הקדמונים, שהיו חיים בטבע, היו רואים תופעה מסוימת שגורמת להם פליאה. הפליאה היא זו שנותנת את המוטיבציה לצאת למסע חקירה מאתגר. "פליאה, ללא ספק, היא ההתחלה של כל ידע." - אברהם יהושע השל ועל זה אני מדברת עם התלמידים.

איך נראה יום מלא של סיור וסדנת פיזיקטבע?

בתחילת היום נפגשים כולם בגן הצוק המהמם שבתוך כפר אדומים. הנוף לנחל פרת עוצר נשימה, וישנו גן עם דשא רחב ידיים. הגן נמצא בגובה של כ-400 מטר מעל פני הים. בגן הצוק מתחילים לתהות: מה זה פיזיקטבע? אילו שאלות יש לנו על הטבע או על ים המלח שאף פעם לא הייתה לנו תשובה אליהם? איזו פיזיקה לומדים בצפון ים המלח? מה מיוחד באזור ים המלח? יחד חושבים אילו גדלים פיזיקליים הולכים להשתנות בירידה לים המלח. מה המשמעות של מדבר, מה המשמעות של העובדה שים המלח נמוך, ומה המשמעות של נוכחות כה רבה של מלח. בשלב זה לתלמידים בדרך כלל אין ידע על מה שנלמד ונראה במהלך היום, הם לא מעלים על דעתם איזו פיזיקה יש בטבע. מרתיחים קנקן מים, מודדים את טמפרטורת הרתיחה ואז שותים תה צמחים מקומי וטעים





תמונה 19: מימין: מי השטפון המתוקים בנחל דרגה צפים על מי ים המלח המלוחים. צולם ע"י אסף שלמה מזרחי. משמאל: תלמידה שעושה את ההדגמה של מים מתוקים (צבועים בירוק) שצפים על מי ים המלח. מחזגים באמצעות פיפטה בעדינות את המים המתוקים כך שלא יתערבבו עם המים המלוחים

בתחנה זו אנחנו גם מתבוננים ודנים בגבישי מלח, עושים פעילות "מוליכות-מליחות" עם מעגל חשמלי, מים מזוקקים, מלח ונורת לד ועוד. לאחר מכן יוצאים מסוכת ההדרכה אל עבר 'השמורה החבויה'. חלק זה של השמורה אינו פתוח למטיילים בלא מדריך, וכך אנו יוצאים מהאזור המתוויר אל עבר טבע הרבה יותר שמור. אנחנו פוסעים בין פלגים ואגמים נפלאים ונחשפים למגוון תופעות פיסיקליות.

סביב האגמים ישנה הזדמנות טובה לשוחח לא מעט על אופטיקה: דוגמה אחת מני רבות היא מערכת היחסים בין ציפור טורפת דגים ובין הדגים. זה נושא מרתק בגלל הממשק בין מים ואוויר. המעבר של האור מאוויר למים יוצר השתקפויות המפריעות לציפור לראות את טרפה מתחת למים. גם מיקום ועומק הדג עצמו הינם שגויים בגלל שבירת האור. לפעמים הציפור גם צוללת למים ואז נשאלת השאלה איך היא יכולה לראות טוב במים ולמה האדם רואה מטושטש במים? גם שדה הראייה של הדג מאוד מוגבל בגלל החזרה פנימית מלאה של האור מחוץ ל"חלון סנל". פה ניתן ללמוד על מנגנונים מרתקים של הציפור לאתר את הטרף למרות כל האתגרים. בקטע זה בסיום לומדים גם על צבעים פיזיקליים בטבע וברקנית האשל, מאזן ים המלח, תעופה ביולוגית, ניווט והתמצאות בע"ח, חישה בבע"ח ועוד. בכל סיום התכנים מותאמים לרקע ולגיל של התלמידים בתיאום עם המורה.



תמונה 17: תלמיד עם ברומטר אישי בנסיעה מכפר אדומים לעינות צוקים. יריעת הבלון "נשאבת" לתוך הצנצנת. דבר דומה קורה לעור התוף באזניים שלנו ולכן הן "נסתמות" בירידה לים המלח.

להתרשם מהדגמות וניסויים מוחשיים בטבע. הניסויים הינם פשוטים לביצוע ומדגימים באופן משכנע את הטבע שאנו נמצאים בו. אחת ההדגמות האהובות, למשל, היא הדגמה של ציפה של מים מתוקים על מים מלוחים (ראו תמונה מס'). מחזגים בעדינות מים מתוקים צבועים בצבע מאכל על מים מלוחים מים המלח וניתן לראות שהמים המתוקים צפים על המים המלוחים. גם מי השטפונות והמעיינות בים המלח צפים על ים המלח ומייצרים מעין "פלומה" של מים מתוקים. ישנה השערה, שיש דג קטן בשם נאוית המלחות שמהגר מבריכה לבריכה דרך שכבת המים המתוקים הזו- כלומר יש חיים בים המוות!



תמונה 18: אזור בריכת "קנה" בשמורה הפתוחה

כתלות בתלמידים ובסיוור שעברנו. התלמידים מיישמים חלק מן הידע שדובר בסיוור לכדי חישובים בפועל: הם מחשבים בקבוצות את ספיקת המעיין, מייצרים מצפנים, מודדים מליחות וכד'. ישנן גם משימות יצירתיות: לצלם תמונות של תופעות אופטיות ולתאר בשפה פיזיקלית את המתרחש. פעילות זו נותנת לתלמידים אפשרות לבטא את עצמם, להיות יצירתיים, לפתח יכולות של עבודת צוות ולחוש קצת את העבודה המהנה ומאתגרת של החוקר בטבע.

לבסוף אנחנו מסכמים את היום ונפרדים לשלום (אלא אם כן הם נשארים גם לסיוור כוכבים). בסיכום תלמידים מתבוננים בחוויה שלהם במהלך היום, נותנים משוב, ועולים על האוטובוס לנסיעה חזרה. המזים "פיזיקטבע" הינו חדש וניסיוני והסיוורים מאוד התפתחו במהלך השנה האחרונה. הסיוורים הראשונים היו מאוד הרצאתיים והתלמידים היו די פסיביים ולאט לאט שחררתי את השליטה ואת הצורך "להספיק" להראות לתלמידים את כל הדברים הכל-כך מעניינים שפשוט אי אפשר לוותר עליהם. המשפט של אבי מרזל היקר (מורה לפיזיקה



תמונה 20: התלמידים מנסים לראות את המים מבעד למקטב אור לינארי, באופן שמבטל את ההשתקפות על פני המים ומאפשר מבט איכותי יותר למתרחש מתחת לפני המים.

לאחר הסיוור אנו יוצאים מ'השמורה החבויה' אל עבר השמורה הפתוחה. שם התלמידים יכולים לאכול, לנוח וכמובן להשתכשך במים. לאחר הסיוור העמוס, אנו מתייחסים לשלב המנוחה והכיף באותו רצינות כמו ללימודים פיזיקליים. לאחר שלב המנוחה והחגיגה אנחנו ממשיכים עם פעילות יישומית **פעילות פיזיקטבע**,



תמונה 21: מנופי השמורה: האגם הגדול, או, בשביל התלמידים - 'עמדת הסלפי'. בתמונה הזו המורים המגניבים של דרכא נופי גולן



תמונה 22: צולם מתוך המעיין. "ניתן לראות אותי (שפרה) בתוך 'חלון סגל'. מעבר לחלון רואים השתקפות של הקרקעית של המעיין, בגלל החזרה פנימית



תמונה 23: בריכות השכשוך. במתחם הזה עושים הפסקה ואת פעילות פיזיקטבע

שעזר לי המון בתחילת הדרך ועד היום) תמיד ממשיך להדהד לי: "שיעור טוב הוא שיעור שהתלמידים עושים כמה שיותר והמורה כמה שפחות". האתגר ממשיך, ומסיוור לסיוור אני לומדת איך להתגמש ולהתאים את עצמי לקבוצה ואיך אני מפתה את התלמידים ללמידה וסקרנות. עם הזמן מצאתי שאם מקשיבים לתלמידים הם גם מקשיבים חזרה, נותנים אמון, משתפים פעולה ונהנים. מסיוור לסיוור אני מפתחת תקשורת והקשבה, וגם לומדת איך לגייס את המורה ואת התלמידים. מדהים לראות את התהליך שהתלמידים עוברים במהלך יום הסיוור. תלמידים רבים מתעניינים ומתלהבים כבר מהבוקר אבל ישנם גם תלמידים שבתחילת היום הם מאוד סקפטיים ולא מבינים למה גררו אותם לטבע ובסוף היום הם אומרים שהם הופתעו לטובה, למדו הרבה וגם מאוד נהנו וזה נותן תחושת סיפוק אדירה לכולם.

עוד מידע - באתר פיזיקטבע ובפייסבוק

מאמר זה כבר התארך יתר על המידה ולא ניתן לפרט פה את כל התכנים והפעילויות. מי שמעוניין בהדגמות ופעילויות נוספות מהסיוור יכול לעקוב אחריי באתר ובבלוג שנבנו לצורך כך (חפשו "פיזיקטבע" בגוגל).

[אתר פיזיקטבע](#)

[בלוג פיזיקטבע](#)

[פייסבוק פיזיקטבע](#)

טלפון: 0547718781

[וואטסאפ](#)

דואר אלקטרוני: naturephysic613@gmail.com

קרייט לתמונות:

- צילום של גודלה היעלה תמונה 6 - יהונתן תיכון
- תמונות 22, 20, 18, 16, 11, 7-6 והתמונה שבסוף המאמר - שפרה בריגה
- תמונות 14, 9 - יואב ארי.

המסרים המיוחדים שהתלמידים מקבלים בסיוור פיזיקטבע:

- הפיזיקה קיימת בכל מקום ובכל דבר
- מדידה היא פעולה שיכולה להיות מאוד מורכבת וצריך ידע, יצירתיות ומיומנות על מנת למדוד
- יש תופעות טבע מדהימות סביבנו עם הסבר פיזיקלי מרתק שיכול גם להיות מובן. כדאי להתבונן מסביב ולחקור
- דיסציפלינות המדעים השונות דרושות כדי לחקור תופעות המתרחשות בטבע ולעתים נדרש ממדען ללמוד גם דיסציפלינות קרובות לתחום המדעי שלו
- ידע פיזיקלי נחוץ לא רק לפיזיקאי או למהנדס אלא גם לכל מי שעוסק במדעי החיים ומדעי כדור הארץ
- למידה יכולה להיות חוויה מענגת ומסעירה

