

## הפודקאסט: מסע הקסם המדעי, מבית מכון ויצמן למדע

### [הולכים אל הנמלה](#)

פרופסור עופר פיינרמן

יבשם עזגד: שלום. אתם מאזינים לפוסטקסט "מסע הקסם המדעי" המביא חדשות מדע ותרבות בשפה ידידותית מחזית המחקר והיצירה במכון ויצמן למדע. אני יבשם עזגד. אורחנו בתכנית זו הוא פרופסור עופר פיינרמן מהמחלקה לפיזיקה של מערכות מורכבות במכון ויצמן למדע. בראשית אולי כדאי להבהיר את נקודת ההתחלה שלנו. אתה פיזיקאי וחוקר נמלים. מה הקשר בין פיזיקה לנמלים? פר' עופר פיינרמן: הנמלים, כמו שכולנו יודעים, תמיד באות בקבוצות. לא נראה נמלה בודדת אלא תמיד קבוצות מאד גדולות של נמלים. עכשיו, אם קצת ממצמצים ככה בעיניים ומסתכלים על הנמלים אז בעצם אנחנו רואים משהו שנראה כמו חלקיקים שזזים להם במרחב, מתנגשים אחד בשני, משנים כיוון, יוצרים כל מיני מבנים ביחד כמו שבילי נמלים, והתמונה הזו היא תמונה מאד דומה למה שיש לפיזיקאי בראש בלהבין תופעות וחומרים בטבע. למשל גז, אוסף ענק של חלקיקים שכולם זזים להם במרחב, מתנגשים אחד בשני ומחליפים את הכיוון. או גוש של מוצק אנחנו גם מבינים אותו בתור גוש ענק, מבנה ענק שמורכב מהמון המון חלקיקים שפחות אולי חופשיים לזוז מגז, הרבה יותר מסודרים. אז יש לנו פה שתי מערכות שבאופן מאד כללי מזכירות מאד אחת את השניה. אבל מצד שני זה מערכות מאד מאד שונות מה שתיארתי החומרים והנמלים. אחת מערכת דוממת, והשניה מערכת חיה. אחת יש לה מטרה, הנמלים, לפיזיקה אין מטרה. אחת, הפיזיקה פועלת לפי חוקים מאד מאד פשוטים. יש את ה-4 כוחות בטבע וכל דבר פועל לפיהם, הנמלים יש להם אינטליגנציה, מחשבות, זכרונות, רצונות.

יבשם עזגד: שאיפות.

פר' עופר פיינרמן: שאיפות, בדיוק. ועכשיו העניין הוא שבפיזיקה יש לנו תיאוריות מאד חזקות, הבנה מאד רחבה. הפיזיקה כבר עברה כברת דרך, ומצד שני עם הנמלים אנחנו לא מבינים כמעט שום דבר. אנחנו ממש בצעדים הראשונים שלנו בחשכה. לכן התקווה שלנו יכולה להיות, ניקח את המערכות של הפיזיקה שמזכירות ככה את הנמלים בגדול, בתור נקודת התחלה. ונסה מכאן, מההבנות ומהתיאוריות שכבר אנשים פיתחו בפיזיקה, להשתמש בהם ולנסות להבין איך להרחיב אותם. איך להתחיל משם בשביל להבין יותר את הנמלים. ועכשיו שאלה אם בכלל יכולה

להיות מן תקווה כזאת, וכשמסתכלים על נמלים שוב, אז נראה שאולי כן. למשל, שביל נמלים ואיך שהוא משתנה בזמן, מזכיר את הדרך שבה נהר מתפתל ומשנה את ה, מתחפר בערוץ שלו לאורך הזמן. או מבנה של קן נמלים יכול להזכיר מאד את המבנה של להבות בתוך נייר שנשרף או נמלים שהולכות בתוך אזור שהוא מלא אבנים, יכול מאד להזכיר אלקטרונים שנעים דרך חוט שמלא אטומים וזרם חשמלי. מה שמדהים בעצם שבפיזיקה תיארת עכשיו הרבה תופעות שונות מנהרות ומזרמים חשמליים, אבל קן נמלים אחד הוא יעשה את כל הדברים האלו ביחד. אבל הדבר הזה הוא נותן לנו תקווה שיש פה דברים שמזכירים אחד את השני ואולי באמת אפשר לקחת את התופעות הפיזיקאליות האלה בתור עוגן ולהבין, בתור נקודת התחלה, ולהבין משמה איך צריך להבין את קן הנמלים. מה היינו רוצים, מה היינו מקווים ללמוד מהנמלים? לאיזה תובנות אנחנו יכולים לבשם עזגד: לצפות שאולי נגיע בהמשך?

פרו' עופר פיינרמן: נמלים זה בעלי חיים. מבעלי חיים, אחד מהעולם הטבעי, אפשר ללמוד המון. ולרוב כשאנחנו רוצים ללמוד משהו מהעולם הטבעי, הכי טוב זה ללכת לדוגמא המדהימה ביותר, החזקה ביותר למשהו. למשל, אנחנו רוצים ללמוד תעופה ואיך לבנות כלי תעופה חדשים ומתקדמים יותר, כדאי להסתכל על הציפורים או על החרקים המעופפים. אם אנחנו רוצים להבין צבעים, אפשר להסתכל על כנפיים של פרפרים. ואם אנחנו רוצים להבין שיתופיות, הדוגמא המדהימה ביותר לשיתופיות בעולם החי זה בעצם הנמלים. הנמלים ביחד עם עוד כמה קרובות משפחה שלהם שזה הדבורים והצרעות, ועוד מערכת אחת שזה הטרמיטים שדווקא לא קרובי משפחה שלהם, זה מה שנקרא בטבע "הסוציאליות האמיתית", החברתיות האמיתיות. וזה מערכות מאד מפותחות. נמלים התפתחו כבר במשך 150 מיליון שנה ובזמן הזה היה להם את זמן להתפתח לתוך החברתיות האמיתית. החברתיות האמיתית היא חברה כזאת בשונה נגיד מהחברה שלנו – היא מקדשת את הקבוצה על פני הפרט. לבשם עזגד:

פרו' עופר פיינרמן: מקדשת את הקבוצה איכשהו על פני הפרט, נכון. בדרכים מסוימות שהאופן העיקרי ביותר זה שרוב חברי הקבוצה בעצם מוותרות על ההתרבות, מוותרות. בכל קבוצה של בעלי חיים, גם שהם חיים בקבוצה, יש תחרות בו זמנית, כי כל אחד רוצה להעמיד כמה שיותר צאצאים. ומי שיעמיד יותר צאצאים הוא יעביר יותר את הגנים שלו לדור הבא. זה תורת האבולוציה שאנחנו מכירים אותה, הברירה הטבעית. ולכן תמיד יש תחרות מי יעמיד יותר צאצאים, אפילו שאנחנו בשיתוף פעולה. גם אנחנו בני אדם אנחנו קבוצות, אנחנו חיים בשיתוף פעולה מדהים, אבל לא נפתרנו מהתחרות. תמיד יש תחרות בינינו ותמיד יש את הקונפליקט הזה אם לדאוג לעצמי או לדאוג לקבוצה. זה מגיע מדברים אישיים

לדברים פוליטיים והכל. והנמלים, בגלל שהם ויתרו על הרבייה, בעצם הם פתרו את הבעיה הזאת. אף נמלה לא מתרבה, אף נמלה בעצם, הדרך היחידה של נמלה להעביר את הגנים שלה לדור הבא זה לעזור לפרט היחיד בתוך הקן שמתרבה שזה המלכה. ולכן כל הנמלים המטרה שלהם משותפת, לא להתרבות בעצמם אלא לעזור למלכה להעמיד כמה שיותר צאצאים וככה נפתרים מרוב הקונפליקטים או מחלק גדול מאד של הקונפליקטים שקיימים בחיות אחרות ובעצם מגיעים לשיתוף פעולה המלא, הטהור ביותר. זו חיה שאם אנחנו רוצים להבין שיתוף פעולה, זה המקום להסתכל בו. שם השיתוף פעולה מתפתח בצורה הטובה ביותר.

יבשם עזגד: זה כמו שיש פוליטיקאים שמטיפים לנו השכם והערב למחוק את האגו, לבטל את האגו, לוותר על האגו ולעשות את מה? את מה שהם רוצים שנעשה.

פרו' עופר פיינרמן: נכון. המערכות פה באמת מאד עדינות, אולי נגיע לזה בהמשך. ולא ברור איפה עומד השיווי משקל הנכון בין הפרטי והחברתי ובין התרומה והמחשבה על עצמי וחלק מהדברים שאפשר לנסות לקבל השראה מהנמלים.

יבשם עזגד: יש אבל גם סטריאוטיפ מאד ידוע על הנמלים, הן חרוצות. האם הן באמת כל כך חרוצות כמו שנהוג לחשוב?

פרו' עופר פיינרמן: אז לא ממש. והסטריאוטיפ הזה נובע מהעובדה שהנמלים בעצם חיות מתחת לאדמה, אז רוב הקן, רוב הנמלים, רוב הזמן, רוב המושבה נמצאת מתחת לאדמה. והנמלים שאנחנו רואים שעליהם בנינו את הסטריאוטיפ הזה, זה המעט נמלים שהחליטו היום לצאת לעבוד. אז פשוט בגלל שאנחנו דוגמים את הנמלים שבמקרה היום יצאו לעבוד, יצאו לאסוף אוכל, הם אלו שעובדות. אנחנו לא רואים את אלה שבחופש.

פרו' עופר פיינרמן: אנחנו לא רואים את אלו שבחופש. אז מה קורה מתחת לאדמה? מתחת לאדמה יש גם הרבה עבודות לעשות. יש צריך לטפל בזחלים, בדור הבא, צריך לחפור, צריך לטפל בזבל. אז יש הרבה עבודה למטה. אבל עדיין היא לא מפרנסת את כל הנמלים שנמצאות שם והרבה מחקרים מראים גם במעבדה אבל גם באמת בקינים טבעיים, שבערך חצי מהנמלים שנמצאות בפנים או בסדר גודל הזה בעצם יושבות ולא עושות כלום כל היום. והסיבות לזה לא כאלו ברורות. זה יכול להיות מצד אחד ממש שיש פה נמלים שנמלים אחרות עובדות והן לוקחות ארוחת חנם בעצם ורוכבות כאילו על המערכת הסוציאלית הזאת. יכול להיות שזה דווקא מכיוון שני שזה מה שמוסיף גמישות ויכולת פעולה מהירה אם קורה פתאום אסון, שיטפון, התקפה של איזה קן אחר, יש כח עבודה זמין שיכול מאד מהר, אפשר לנתב אותו לכיוון הנכון, ויכול להיות עוד סיבות שזה פשוט טוב אנרגטית לקן. חבל להתאמץ יותר ממה שצריך. לא צריך שכולם יעבדו כל הזמן, עדיף לשמור על

הכוחות. אז יש כל מיני סיבות שיכולות להיות ולא ברור לנו עד היום בדיוק מה היא.

יבשם עזגד: עוד לפני ברטרנד-ראסל הן גילו את השבח שבבטלה.  
פרו' עופר פיינרמן: בדיוק. עכשיו, מה שכן נכון, שנמלה, כאשר היא כבר פעילה, היא מגלה הרבה מאד נחישות וגם זה אולי דבר שתרים לסטריאוטיפ הזה, שאנחנו מסתכלים על נמלה עושה משהו, אם היא כבר עובדת אז היא עובדת. אז היא לא פתאום תעצור. ואם היא נכשלת למשל, לפעמים רואים נמלה מנסה להרים איזה זרע כבד לאנשהו ונכשלת ונופלת ואז היא תנסה שוב או בדרכים שונות כל פעם ותאלתר דרכים שונות, או שעם הראש בקיר תנסה 20 פעמים תעלה, תיפול, תעלה תיפול, תעלה תיפול. אז כן יש להם הרבה נחישות ודבקות במטרה.

יבשם עזגד: הן לא מוותרות.  
פרו' עופר פיינרמן: כן. אז פה אולי כן קצת מגיע להן.

יבשם עזגד: אוקי. איך אתם חוקרים את הנמלים? אתה ושותפך למחקר.  
פרו' עופר פיינרמן: מה שאנחנו בעיקר מתעניינים בו זה דרך בה יחידים יוצרים קבוצה. היחס בין היחיד לבין הקבוצה, ומה בעצם הקבוצה יכולה לתרום מעבר למה שקבוצה של יחידים שלא מתקשרים ביניהם יכולים להשיג. ולכן באופן מאד חד, הניסויים שלנו ובאופן מאד אינטואיטיבי הניסויים שלנו בנויים ככה שנראה בו זמנית את הקבוצה ואת כל הפרטים שמרכיבים את הקבוצה הזאת. אנחנו רוצים להסתכל על הקבוצה בגדול, מה הקבוצה עושה, אבל עם מספיק רזולוציה בשביל להבחין בכל פרט ופרט. אז לדוגמא יש לנו ניסויים שאנחנו עושים במעבדה, אנחנו מכניסים את הנמלים לתוך מתקן כזה שמזכיר קצת את בית האח הגדול, יש מלא מצלמות מכל כיוון. אנחנו יכולים לראות כל מה שקורה בגדול, אנחנו במוצק על המושבה כמה אחוז הלכו לכאן, כמה אחוז עושות זה, כמה אחוז עושות את זה. אבל מצד שני אנחנו מדביקים גם לכל נמלה ברקוד על הגב עם שם פרטי משלה.

יבשם עזגד: ממש ברקוד, כמו של מוצרים בחנות.  
פרו' עופר פיינרמן: כן. כמו של מוצרים בחנות. וככה בצילום אנחנו יכולים בעצם לקלוט את כל הברקודים, לזהות אותם ונותן לכל נמלה שם משלה, מספרים שלפעמים חלק מה-  
יבשם עזגד: לכל נמלה יש שם.

פרו' עופר פיינרמן: כן. אז חלק מהסטודנטים באמת במעבדה פחות אוהבים את זה שיש להם מספרים והתוכנות מעקב שלהם מתרגמות אחרת את המספרים ממש לשמות. שמות של בנות כי הנמלים הן כולן חברת בנות. ובעצם ככה אנחנו יכולים לעקוב אחרי כל נמלה, להבין מה היא עושה בתוך הקונטקסט של הקבוצה כולה. עכשיו אנחנו לא פשוט לוקחים נמלים וזורקים אותם לשם ועוקבים אחריהם. אנחנו רוצים כמו, אנחנו לא רוצים לאבד את הביולוגיה של העניין. מערכת ביולוגית יש לה

מטרה, יש לה מטרות או מטרה בכל רגע נתון. אנחנו בעצם מחפשים איזושהי התנהגות של הנמלים שבהם יש להם מטרה שיתופית ברורה, להזיז משהו מצד ימין לצד שמאל, למצוא את האוכל, לעבור דירה לקן חדש וטוב יותר. אז אנחנו רוצים שתהיה מטרה מאד ברורה והמטרה הזאת בעצם נותנת לנו להבין מה הנמלים עושות בכל רגע. ובתוך זה אנחנו עוקבים אחרי הנמלים, אחרי כל נמלה ונמלה, ורואים איך היא השתתפה בביצוע של המשימה, איך היא עזרה לקבוצה להגיע לפתרון למטרה שנתנו להם. איפה היא היתה? מה היא ראתה? מה הבינה? לאן היא הלכה? עם מי היא נפגשה? אחרי שהיא נפגשה, איך היא, איך אלו שהיא נפגשה איתם שינו את ההתנהגות שלהם בעקבות הפגישה איתה? ככה אנחנו בעצם עוקבים מאד מאד מיקרוסקופית, מאד מאד על הפרטים מה קרה ומנסים להבין איך כל זה תרם לכלל, לפעילות הגדולה, לפתרון הקבוצתי של מה שהנמלים עושות. מכאן אפשר להתחיל לנסות להבין דברים יותר כלליים כמו איך נמלים מנהלות את המידע, כל המידע שנמצא בסביבה שלהם. יש הרבה מידע בסביבה, ונמלה אחת לא יכולה לראות את הכל. בעצם הנמלים צריכות לשלוח שליחים לכל הכיוונים, לקלוט את המידע, לאגור אותו, איכשהו לאחד ביניהם את המידע.

יבשם עזגד: לעבד אותו.

פרו' עופר פיינרמן: לעבד אותו ביחד. אולי אף נמלה בודדת עושה את זה, אולי כן, אנחנו לא יודעים. ובעצם להגיע ותוך זה שמאגדות את המידע ומעבדות אותו להגיד להחלטות הכי נכונות, להשיג את הארוחות הכי טעימות שהן יכולות. בעצם לנצל את המרחב שלהן כמה שיותר טוב. והיכולת הזאת היא יכולת שמאד מאד עזרה לנמלים כנראה לאורך השנים ולכן נמלים היום מאד מאד מוצלחות אקולוגית ובעצם אוספות, אוכל בפיקניק, הראשונות שיאספו אותו יהיו הנמלים. בדיוק בגלל היכולת הזאת שלהם לנטר שטח גדול ולמצוא את האוכל הטוב ביותר ולהגיע לשם הכי מהר ולאסוף אותו יותר מכל חיה אחרת שעובדת באופן פרטי.

יבשם עזגד: איך נקבע התפקיד של כל נמלה בצוות בקן?

פרו' עופר פיינרמן: אז שוב, חלוקת התפקידים בתוך קן נמלים היא נחשבת אחד הגורמים העיקריים להצלחה האקולוגית שלהם. באופן לא כזה מדויק אפשר להגיד, לשאול נגיד, אם כל הנמלים היו עושות בדיוק אותו דבר, אז בעצם מה הערך המוסף פה, איזה ערך מוסף יכול להיות לנו מאוסף של יחידים? של יחידות? אפשר לחשוב קצת על כמו תאים בגוף שלנו. קן נמלים זה קצת כמו גוף שלם ותאים בגוף שלנו. אז נגיד הלב מאד חשוב לחיים שלנו, אבל אם כל התאים בגוף שלנו היו תאי לב, לא היינו מגיעים רחוק. נכון? זה חשוב שהתאים בעצם יתמיינו בגוף שלנו. חלק מהתאים יהיו תאי לב, חלק יהיו תאי עור, חלק תאי מוח וחלק ירכיבו את העין וכולי. אז כנ"ל

בקן נמלים יש מן חלוקה כזו. והחלוקה הזאת היא לא פשוטה ויש לה כמה דרגות נגיד. אז הדרגה הראשונה זה ההתמיינות של הנמלים למה שנקרא קסטות. קסטות זה הנמלה כביכול כמו בהודו, נולדים לקסטה ותקועים בה לכל החיים. והקסטה של הנמלה למשל יכול לקבוע האם היא תהיה פועלת שהיא נמלה קטנה יחסית, האם היא תהיה לוחמת, שהיא נמלה גדולה יותר. גם עקרה כמו שאר הנמלים, אבל גדולה יותר. או שהאם אפילו היא תהיה מלכה. ובעצם ההתמיינות, מלכה גם פורייה, היא גם חיה 30 שנה לעומת שנה שחיה הפועלת הרגילה. וההתמיינות הזאת נעשית לא גנטית, זה לא הנמלה נולדת להיות מלכה שתחיה 30 שנה או פועלת שתחיה שנה, אלא אחרי שהנמלה כבר בוקעת מהביצה, בשלב הזחל, על פי הטיפול שהיא מקבלת מהנמלים האחרות, האוכל שהיא תקבל, הכימיקלים שיעבירו לה, זה בעצם יקבע את התהליך ההתפתחותי שלה. עכשיו היא תגדל להיות מלכה או לוחמת או פועלת. אנחנו רואים לפעמים קן נמלים ואנחנו רואים שיש נמלים גדולות וקטנות, זה לא שהם צעירות ומבוגרות. נמלה ברגע שהיא בוגרת היא בגודל אחיד לאורך כל החיים שלה, זה בעצם אומר, הגדולה למשל היא בקסטת הלוחמות כי היא קיבלה טיפול מסוים כשהיא היתה זחל, הקטנה יותר היא בקסטת הפועלות. וזה ההתמיינות הראשונית. למשל לוחמות יכולות להתאים יותר ללחימה או שטובות בפיצוח גרעינים כי יש להם לסתות מאד חזקות. הפועלות יותר זריזות, המלכה אחראית על ההתרבות וכולי. אז זה סוג ראשון של התמיינות שיש בקן והוא מאד מאד, ברגע שנכנסת לקסטה, נמלה נכנסה לשם, זהו, זה הגוף שלה, גורלה נגזר לזה.

יבשם עזגד: קצת עצוב.

פרו' עופר פיינרמן: ללא גמישות. אבל מעכשיו נראה שיש כן גמישות קצת, אז זה לא סוף הסיפור. כל נמלה גם יש לה, התפקידים שלה נקבעים ביחס לגיל שלה וביחס לניסיון. אז הפרדיגמה הכללית היא שנמלה שנולדת, כשהיא צעירה, היא תישאר קרוב למלכה, קרוב לזחלים, קרוב למרכז של הקן והיא תטפל בזחלים והיא תעשה עבודות בתוך הקן. לאט לאט כשהנמלה מתבגרת אז היא יוצאת, מתרחקת יותר ויותר מהבית ילדים הזה, מאיפה שהיא נולדה. היא תהיה עכשיו אחראית על חפירות. וכשהנמלה ממש מבוגרת אז היא כבר יוצאת לאסוף אוכל בחוץ. ויש כל מיני סיבות לעשות את זה. הנמלים שיוצאות לאסוף את האוכל בחוץ זה הנמלים המבוגרות יותר והרזות יותר ויש לזה כל מיני סיבות. כי בחוץ הסיכונים גדולים יותר. יש טורפים, יש מישהו שיכול לעבור ולדרוך עליהם. הסיכונים גדולים. א' כדאי לשים שם את הנמלים הרזות והזריזות כדי שיוכלו להתחמק ו-ב' כדאי לשים שם את הנמלים הרזות כי אם הם כבר ימותו, לא איבדת הרבה אוכל שהם אגרו בבטן שלהם. הנמלים בעצם כל האוכל שנמלים מחזיקות בבטן שלהם משותף

לכולם וחבל לאבד אותו. ודבר שלישי, הנמלה כבר מבוגרת, כבר ממילא היתה מתה בקרוב ואז המחיר לקן לשלם הוא פחות. עכשיו, היתרון בזה שנמלים ככה עוברות בין תפקידים שונים שיש להם זמן להתמקצע. יש להם זמן ללמוד. נמלה עכשיו שיוצאת החוצה לחפש אוכל היא לומדת איך למצוא את האוכל, היא לומדת איפה הוא, היא מכירה את הסביבה, היא לומדת איזה זרעים יש. מה טעים, מה אפשר לפצח, מה אי אפשר לפצח. חשוב מאד לצבור את המומחיות הזאת. ולכן יש פה עוד, יש פה יתרון של הסרט נע כזה. כל אחת עושה תפקיד מסוים בשלב מסוים ויש לזה יתרונות. אבל על כל זה יש עוד גמישות, הרבה גמישות שהנמלים מפעילות. והגמישות הזאת היא על פי מה שצריך כרגע, מה שהסביבה מזמנת להם כרגע. זאת אומרת כל מה שדיברתי עכשיו היה איכשהו משהו כזה מאד פס ייצור, נולדת ככה ועכשיו אתה עובר בין תפקידים כאלו וכאלו. על זה מתלבשת עוד הרבה גמישות. שנמלים יכולות בעצם להגיב ולהעביר-  
יבשם עזגד: התאמה למציאות.

פרו' עופר פיינרמן: כן. בדיוק. התאמה למציאות. ובעצם הקן מגיב, אם יש אוכל אז אתה רואה את הקן נמלים כמו השביל נמלים, שולח יד לאוכל, אוסף את האוכל ומחזיר את היד. עכשיו, נמלים גויסו לעבודה הזאת שלא עשו אותה קודם, יצרו מן יד כזה לקן שאספה את האוכל והכניסה אותו לתוך הקן נמלים. מה שמדעים פה שהגמישות הזאת היא לא בגלל שיש איזושהי נמלה או מישהו שרואה את השטח כולו ואומר: "הנה, עכשיו יש שם אוכל, בואו נשלח יד". אלא כל נמלה בעצם מסתובבת בסביבה ואוספת מידע. המידע יכול להיות מהסביבה, למשל היא פגשה שיח עם זרעים. אבל מה שמיוחד בנמלים, שהמידע לא רק מהסביבה, אלא מידע גם מגיע מפגישות עם נמלים אחרות ותקשורת. אז המידע הוא מידע סביבתי ומידע חברתי. ובנמלים, הרבה פעמים אתה רואה שיש הרבה יותר מידע חברתי ממידע סביבתי. זאת אומרת, המידע שמגיע הוא הרבה פעמים לא מיד ראשונה. ונמלה בעצם הולכת ככה וכל נמלה אחרת מספרת לה משהו, היא רואה גם דברים בעצמה והיא צריכה להחליט על פי החוויות האלו שלה והפיסות אינפורמציה שהיא קלטה, מה היא עושה עכשיו, מה הדבר הבא שהיא רוצה לעשות, איך היא משנה את העבודה שלה. ועל ידי הרבה החלטות כאלו אצל הרבה נמלים שונות, בעצם נוצרת הפעילות המשותפת הזאת ונוצרים בקן דברים עדינים כמו השביל נמלים מושיט יד ואוסף את האוכל.

יבשם עזגד: כן. איך הגעת לרעיון להתחיל לחקור נמלים? הרי אני זוכר שהתחלת כסטודנט במעבדה של פיזיקה של מערכות מורכבות עם לייזרים וכל מיני מערכות כאלה. מאיפה הרעיון להתחיל לחקור נמלים?

פרו' עופר פיינרמן: אז זה נכון. התחלתי אפילו יותר רחוק. ובאולי אולי אפשר להגיד בהתחלה התחלה שלי בתור ילד אז כן חלמתי לעבוד עם נמלים, לא עם נמלים סליחה, עם בעלי חיים. לא דמיינתי אז נמלים דווקא. אפילו שכן הייתי מסתכל עליהם הרבה. לא דמיינתי שיש כזה דבר.

יבשם עזגד: גדלת באזור כפרי?

פרו' עופר פיינרמן: מאד כפרי. הייתי ברחובות, גרתי די קרוב למכון ויצמן אבל אז לפני הרבה שנים היו הרבה שדות ברחובות. היה יותר כפרי מהיום. אבל בסופו של דבר זה לא מה שעשיתי באוניברסיטה. אני חושב גם איכשהו זה לא היה הדבר המקובל, לא היתה לי את המחשבה הזאת בכלל בראש, והלכתי ללמוד פיזיקה ומתמטיקה בתואר ראשון. והלכתי לכיוונים מאד תיאורטיים ואבסטרקטיים, אז בתואר השני שלי חקרתי את תורת המיתרים, למדתי את תורת המיתרים. אבל בזמן הזה קלטתי שהתחום הזה אבסטרקטי מידי בשבילי ואני אוהב לחקור דברים שאני יכול לראות אותם בעיניים. זה עושה לי טוב לאינטואיציה, זה עושה לי טוב למוטיבציה והבנתי שגם, שכיף במידע זה דבר שאי אפשר בלעדיו. שחוקרים חייבים לחקור בכיף. אז גם התחלתי לחשוב על נמלים אבל עדיין לא האמנתי שזה משהו שאפשר באמת לעשות בעבודה רצינית שאפשר לעשות באקדמיה. והגעתי למכון ויצמן ומכון ויצמן פה באמת מחלקה למערכות מורכבות אצל אלישע מוזס, הוא נתן לי פרויקט שהיה נשמע מאד כיף. הוא אמר: "המוח זה דבר שמחשב, תיקח נירונים ותבנה לי מחשבון". זה היה הפרויקט שלי לדוקטורט. אז ירקתי עליו הרבה דם לעבור ככה מתיאוריה לניסוי ובסוף הצלחתי לבנות לא מחשבון אבל כל מיני מעגלים לוגיים שבנויים בעצם מתאי מוח חיים. אחרי זה ואז התחלתי להתעניין בעצם בשיתוף פעולה הביולוגי, זה הביא אותי לכיוון של שיתוף פעולה ביולוגי ודרך עיניים פיזיקאליות כי עשיתי את זה במחלקה לפיזיקה והגישה היתה גישה פיזיקאלית לשיתוף פעולה ביולוגי. ואחרי זה עברתי לחקור מערכת אחרת שזה מערכת החיסון, שוב מבחינה ניסיונית, שוב ירקתי דם ומערכת החיסון כבר מזכירה קצת יותר נמלים. כי בעצם תאי דם לבנים זורמים לנו בגוף, מטיילים בגוף כמו שנמלים מטיילות במחילות שלהם בקן. והתאי דם האלו צריכים בעצם להבין משהו כוללני על הגוף. האם הגוף כרגע בריא, האם הוא חולה. אם הוא חולה באיזה סוג זיהום הותקף. האם זה חיידקים, תולעים, וירוסים. אז בעצם כל התאים האלו שזזים לבד בתוך הגוף וקולטים רק את הסביבה המאד קרובה שלהם, צריכים להגיע להחלטות משותפות מאד הרות גורל לגבי הגוף שלנו. ואז זו מערכת מאד מעניינת, אבל כשעברתי ל, קיבלתי את המשרה שלי במכון ויצמן להיות חוקר מכון ויצמן, עברתי עוד מערכת אחת הלאה כי היה נראה לי שבין המערכות האלו שכבר חקרתי בביולוגיה, יש מערכת אחת שהיא גם הכי כיפית כי



זה לעבוד עם בעלי חיים אבל גם יש לה הרבה מאד יתרונות ניסויים. העניין הזה שאפשר לראות באמת את כל הקן, את כל הקבוצה הרלוונטית וכל נמלה בה. זה לא קורה במוח, זה לא קורה במערכת החיסון. הנמלים מתנהגות באופן מאד טבעי במעבדה, קצת כמו שהן מתנהגות במטבח באופן טבעי, המעבדה לא שונה בהרבה ממטבח. זאת אומרת, אפשר להסתכל עליהן בהתנהגויות מאד מאד טבעיות ולראות פשוט הכל. כל מה שקורה נפרס לך מול העיניים ולכן זו מערכת מאד טובה ניסויית, מאד כיפית וממנה בעצם אני רוצה להבין וללמוד את העקרונות החשובים האלה, עקרונות שכרגע אנחנו לא מבינים בעצם איך פועלת שיתופיות במערכת ביולוגית ובעצם להכליל אותם אחרי זה גם למערכות אחרות שחקרתי קודם שזה למשל מערכת החיסון או המוח או הרבה מערכות אחרות בביולוגיה, שיתופיות.

יבשם עזגד: איפה אתה רואה את עצמך ואת המחקר שלך בעוד 10 שנים?  
פרו' עופר פיינרמן: אז הדבר שמתפתח הכי מהר הוא טכנולוגיה והמחקר הזה של קבוצות בעלי חיים עבר מהפכה טכנולוגית מאד גדולה בעשר שנים האחרונות הייתי אומר שזה מהפכה בין היכולות שלנו לפני 10 שנים מבחינת מחשוב, מצלמות ושיטות. שאז יכולנו רק להסתכל על הקבוצה באופן כללי ולהגיד באופן ממוצע מה הם עושים, למה שהגענו אליו היום שאנחנו יכולים לעקוב אחרי כל פרט ופרט בקבוצה. אז פשוט יש לנו פיצוץ גדול מאד של אינפורמציה וזה מעביר מהפכה את המחקר הזה. אבל מצד שני כשאני חושב לעתיד, זה לא הדבר שאני, זה ימשיך להתקדם והמדע שלי הוא חלק מהפיתוחים האלו, אבל זה לא הדבר שהכי מלהיב אותי כי בעיני יש לנו כבר היום כזה פיצוץ של נתונים, כזו כמות של נתונים, בדיוק איפה כל נמלה היתה כל שניה ואת מי היא פגשה והבעיה שלנו זה לא איך לאסוף עוד ועוד נתונים, אלא מה עושים עם כל הדברים האלו. מה עושים עם כל ה, איך בעצם מבינים אותם? לכן כשאני חושב על עצמי ב-10 שנים הבאות הייתי רוצה להשתפר בשני דברים. אחד מהם זה להצליח לשפר את ההבנה הרעיונית שלי של בעצם לקחת את כל הנתונים האלו, ועכשיו אנחנו צריכים להבין איזושהי-

יבשם עזגד: מה זה אומר.  
פרו' עופר פיינרמן: מה זה אומר. אפשר בתור מאמר נגיד, הייתי אוסף את כל הנתונים והייתי אומר: "הנה, זה מה שראיתי. הנה תראה, הנמלה הזאת הלכה לשם והיא היתה פה ביום הזה ופה בשעה הזאת" לתאר את כל מה שראיתי וכל מה שמדדתי. זה בעצם לא מוסיף לנו הרבה הבנה. בשביל להוסיף הבנה צריך בעצם לקחת את הדבר הזה ולמצות את העיקר, להצליח לתאר אותו בשפה קצרה יותר. לא להגיד מה כל אחד עשה בכל רגע. בשביל זה צריך להבין מה בעצם השפה שצריך להשתמש בה פה. וזה מה שאנחנו לא יודעים. האם באמת השפה הפיזיקאלית

כמו שאמרתי שזה מהווה לנו נקודת התחלה או שהאם זה ייקח אותנו לנקודות אחרות. איך בעצם צריך לאסוף ולהקטין, לעשות קומפרשן לכל המידע הזה כדי לתאר אותו. מה השפה הנכונה? ובזה הייתי רוצה, דבר אחד שהייתי מאד שמח להבין יותר. ודבר שני שהייתי שמח להשתפר בו זה לשפר ולהגדיל את הזמן שאני נמצא מול קיני נמלים מתנהגים ופשוט מסתכל ובוהה בהם. היום אני עושה את זה קצת פחות מידי לטעמי. פשוט ללכת למיני נמלים מסוימים, היום אני כבר יודע יותר איפה למצוא כל אחת ואחת מהן. שאני כבר 10 שנים כמעט בתחום הזה. ועם ההתנהגויות הכי מעניינות, ופשוט לשבת ולבהות בהם. אני חושב שבשבילי זה המהות בעצם של מדע ניסיוני, זה לא להתבלבל בין סדר העדיפויות ולא להתבלבל מי יודע מה. אנחנו פה התלמידים והנמלים פה זה המורות שלנו לטבע והמורות שלנו לשיתופיות וצריך פשוט לשהות איתם ולהסתכל עליהם ולנסות להבין מה הן מנסות להגיד לנו.

פרופ' עופר פיינרמן תודה רבה לך ושתמשיך לבהות בנמלים ושיהיה לך כיף. יבשם עזגד:

פרו' עופר פיינרמן: תודה יבשם.

עד כאן להפעם. דברו איתנו דרך הפייסבוק או הטוויטר של מכון ויצמן למדע. אני יבשם עזגד:

יבשם עזגד. תודה לעומר סנש ולעידו קינן על ההפקה. נשתמע בפעם הבאה.