

הקדמה



משה רשפון

בחברת תהודה האחרונה שיצאה בשנת תשע"ט, ושהוקדשה לזכרו של פרופ' עמוס דה-שליט, התייחסו הכותבים השונים לאישיותו, למנהיגותו המדעית והחינוכית ולתרומתו העצומה לחינוך המדעי הפורמלי בארץ בכלל. המאמר הנוכחי, המספר את סיפורו של גן המדע במכון ויצמן, בא כדי להאיר היבט נוסף - תרומתו של עמוס לחינוך המדעי הבלתי פורמלי. בשני ההיבטים הללו - תרומתו של עמוס לחינוך הפורמלי והבלתי פורמלי - עוברת כחוט השני תפיסתו לפיה יש חשיבות רבה למעורבותם של מדענים פעילים בחינוך מדעי לקהל הרחב, מנהיגותו של עמוס העניקה חיים לפעולות אלה גם לאחר לכתו. במאמר שלפניכם בחרתי להאיר את האופן בו באה לידי ביטוי גישתו החינוכית של עמוס באמצעות הסיפור האישי שלי כמי שעסק בהקמתו ובהצמחתו של גן המדע.

בראשית

"גן המדע על שם קלור" נפתח באופן רשמי במכון ויצמן בנובמבר 1998 אבל למעשה הוא נולד שנים רבות לפני כן בשני מועדים ובשני מקומות שונים. אמנם הרעיון להקים את גן המדע עלה בסוף שנות ה-70 בעת ביקור ב"אקספלורטוריום", מוזיאון המדע של סן פרנסיסקו, אבל הוא גם היה התפתחות טבעית של פעילויות אחרות שהתקיימו במכון ויצמן עוד משנת 1964 ושנועדו לקרב את העשייה המדעית לבני נוער.

כשהגעתי בשנת 1961 למחלקה לפיסיקה גרעינית במכון ויצמן כדי לעשות את עבודת המאסטר, המאור הגדול היה פרופ' עמוס דה-שליט. התחלתי את עבודת המאסטר שלי בהכנות לניסוי על רעיון של עמוס שעד מהרה הוברר שיקשה לבדוק אותו באופן נסיוני. הפגישות עם עמוס החלו בבבירור ענייני הניסוי הפיסיקלי והתפתחו לענייני חינוך למדע. נסחפתי - כמו כל מכון ויצמן וחלק מהקהילה המדעית העולמית - אחרי המנהיג הנחשון עמוס, שהארץ נתברכה בפועלו. פעולות הנוער וגן המדע היו פועל יוצא מכך. בשנת 1964 הוקמו במכון ביזמתו של עמוס "מחנות נוער שוחר מדע" ואחרי כן גם חוגי מדע, בתי ספר שדה למדע, מחנות בין לאומיים, אולימפיאדות למתמטיקה, תחרויות דגמים, ולמעשה כמעט כל דבר שמדענים יכולים לעשות ישירות עם בני נוער. כל זאת, ביחידה לפעולות נוער של מכון ויצמן למדע.

פעילויות היחידה היו מאוד אינטנסיביות, ולקראת סוף שנות ה-70 הן כללו כבר כ-20,000 בני נוער שוחרי מדע, וכ-200 מדענים "שוחרי נוער", שהפעילו את בני הנוער והדריכו אותם. אבל חיפשנו דרך להתפתח ולמשוך לתחום עוד ילדים ובני נוער, מבלי להוריד את הרמה מצד אחד ומבלי לגרום ללחץ גדול מדי על מדעני המכון המדריכים מצד שני.

בשנת 1978 יצאתי לשנת שבתון בברקלי, וביקרתי במוזיאון המדע של Lawrence Hall of Science (שהוא הזרוע החינוכית של אוניברסיטת ברקלי, בדומה למכון דוידסון במכון ויצמן). שם הסבירו לי, בין השאר, איך הארכיטקטורה של המבנה תומכת בתוכו, והבנתי שכך צריך להיראות מוזיאון מדע. למזלי מישהו לחש לי שבסן פרנסיסקו יש מוזיאון מדע חדש



איור 1: המסבך ואחת משתי הנדודות המצומדות



איור 2: הסבסבת ואני ברקע ניתן לראות את שעון השמש שהיה על קיר בניין המעבדות של היחידה לפעולות נוער

בסגנון אחר לגמרי, ושאוּלי כדאי שאראה גם אותו. **היה זה ה"אקספלורטוריום".**

נסעתי לסן פרנסיסקו, סקן. באתי (לאקספלורטוריום), ראיתי **ונוצחתי** המוזיאון היה מבנה ענק דמוי האנגר ללא שום ארכיטקטורה מיוחדת, גדוש במוצגים שלא ראיתי כמותם מעולם (כאלה היו אז אך ורק באקספלורטוריום). מספר המבקרים בתוך המוזיאון היה עצום. הסתובבו שם אנשים מכל הגילים, ליד המוצגים או עליהם, פועלים, מפעילים ומתפעלים. לא היה שם שום עיצוב מיותר. אין שום קיטש. היופי נבע אך ורק מהמוצגים הפונקציונליים שהיו בנויים כך שכל אחד יוכל ללמוד משהו. נקלעתי לחוויה אינטלקטואלית וחושית נפלאה והבנתי מיד שזה בדיוק מה שאנחנו צריכים לעשות אצלנו.

פגשתי שם את מייסד ה"אקספלורטוריום" פרופסור פרנק אופנהיימר, שהיה פרופסור לפיסיקה. הוא היה אחי של הוברט אופנהיימר, שעמד בראש פרויקט "מנהטן" ועבד אף הוא בפרויקט. המוזיאון האינטראקטיבי היה החידוש הגדול של אופנהיימר, שלאחר מכן אומץ על ידי כל עולם מוזיאוני המדע. עד אז כל מוזיאוני המדע נהגו להציג את ההתפתחות ההיסטורית של המדע, אבל לא היתה בהם שום אפשרות לחוות אותו באופן בלתי אמצעי. ה"אקספלורטוריום" הרשים אותי מאוד, ומייד חשבתי איך ניתן ליישם את הרעיונות האלה אצלנו במכון ויצמן. לרשותנו עמד בלב המכון שטח פתוח בו אפשר היה להמחיש תופעות טבע באופן הטבעי ביותר. והיה לנו גם יתרון נוסף - לבו של מכון ויצמן למדע היה איתנו כדי לתרום לחינוך. שאלתי את פרנק האם אפשר לדעתו להקים מוזיאון מדע כזה בחוף. "אצלנו בסן פרנסיסקו לא", הוא השיב, "אבל אצלכם בישראל מזג האוויר הרבה יותר מתאים, כך שחלק גדול מהפעילויות אפשר בהחלט לעשות בחוף". וכך התיישבנו, יחד עם עוד כמה מאנשי הצוות שלו והתחלנו לתכנן. כאשר חזרתי לארץ הייתי מלא ברעיונות ובתוכניות מעשיות להקמת חלק מהמוצגים.

באותה תקופה החלו להתפתח בארץ שני מוזיאוני מדע נוספים - ה"טכנודע" בחיפה (לימים "מדעטק") שהוקם על ידי הטכניון, ו"בית למדע פשוט" (לימים "עין רואה - סדנה למדע", שהפך מאוחר יותר ל"מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים"), שהוקם על ידי האוניברסיטה העברית.

עם חזרתי התחלנו לעבוד ביחידה לפעולות נוער על הקמת

מתקנים בפרדס הסמוך. המוצג הראשון היה **סנסבת**, שנבנתה על ידי בית המלאכה המרכזי של מכון ויצמן, כמתנה ליחידה לפעולות נוער. מוצג נוסף שתוכנן עוד בתחילת התכנון של הגן, **הנדנדות המצומדות** (ניתן לראותן בתמונת המסבך, באיור מס' 1) קיים עד היום.

התפתחות משמעותית להצבה של מוצגים בפרדס המוזנח מזה שנים הייתה בניית מסבך גדול מצינורות וממחברי MERO, והקמת בית מלאכה קטן במרתף אותו חפרנו מתחת לאחת המעבדות. כל הפעולות הללו נעשו בעזרת תרומתה של משפחת אברט מניו יורק (שעוד ידובר בה).

כאשר חלק מהמוצגים כבר ניצבו בפרדס, הבחנתי שהם מהווים אטרקציה, ואנשים רבים נהנים להשתמש ולהשתעשע בהם. בשבתות ראיתי לא פעם גם אברכים משיבת הדרום משתעשעים שם. החלטתי שזה הזמן לפנות להנהלת המכון ולבקש שיאשרו לנו להקים גן מדע, שהוא מוזיאון במלוא מובן המלה. ועדת הנשיא (נשיא מכון ויצמן דאז היה פרופסור מיכאל סלע) בחרה ועדה מצומצמת והטילה עליה לבחון את הנושא ולהגיש את המלצתה. הוועדה החליטה לאפשר לפתח עד 30 מוצגים.

לקט של "סיפורי מוצגים" מהגן הראשוני

לכל אחד מהמוצגים שהקמנו בגן בראשיתו נלווה סיפור מיוחד.

דשא חם: דוד מים, שכוסה ונעטף בדשא. הדשא תוסס ומחמם את המים שבדוד. המתקן הזה היה ה"בייבי" של ד"ר שרמן רוזנפלד. פגשתי את שרמן בשנת השבתון שלי בברקלי. הוא היה אז דוקטורנט, ואחר כך ניהל מוזיאון מדע בקליפורניה. הצעתי לו לבוא לארץ לעבוד ביחידה לפעולות נוער, והוא אהב את הרעיון ואכן עלה לארץ.

מוצג אחר שנבנה בתחילה הוא **חליל פאן**. הוא נבנה לזכרו של חבר, יצחק פלסר, שהיה פרופסור לפיסיקה. פרופסור פלסר היה מעורה מאוד במוסיקה ובהקמת הקאמרטה רחובות, שהתחילה במכון ויצמן (היום היא נקראת "הקאמרטה הישראלית ירושלים").



איור 3: דשא חם דוד מים, שכוסה ונעטף בדשא, הדשא תוסס ומחמם את המים שבדוד



איור 5: הגרביטום



איור 4: חליל הפאן

שמוליק הראל, שהיה המעצב של הגן הראשוני וגם טייס, רצה שהחליל יהיה בצורה שתזכיר מטוס ממריא. נסענו לירושלים להתייעץ עם איזיקה גאון, שהיה ראש מחלקת העיצוב של מוזיאון ישראל. ישבנו כמה שעות בבית קפה בירושלים, והתוצאה היא חליל הפאן, שנמצא עד עצם היום הזה בגן המדע.

מוצג בולט נוסף היה **הגרביטרם** - מתקן גדול בו מועלים כדורים לחלקו העליון בעזרת בורג ארכימדס. הכדורים מידרדרים במסלולים שונים ומתחלפים בדרכים מעניינות. הגרביטרם נוצר עוד לפני גן המדע הראשוני על ידי שבתאי לוי שהיה המעצב של מוזיאון המדע הראשון בארץ ששכן בתוך מוזיאון ארץ ישראל בתל אביב. המוזיאון הזה נסגר בשנות ה-60 ושבתאי עבר לפורטלנד, אורגון, והפך להיות המעצב ובונה המוצגים הידוע ביותר בעולם באותה תקופה. הוא בנה הרבה מתקני גרביטרם למקומות שונים, אבל חלם לבנות גם גרביטרם שיוצב בחוץ. וכשביקשתי ממנו לעשות את זה בשבילנו הוא שמח מאוד.

הגרביטרם נבנה בתרומה לזכרו של ידיד גדול של היחידה לפעולות נוער - Isidore C. Pollack (זיק פולק). גרביטרם נוסף, הדומה מאוד לשלנו, נמצא במוזיאון המדע בריאד בערב הסעודית.

ה"מוצג" המיוחד ביותר שהיה בגן היה **הקופה מלי**: אפרים בנה, שהיה מנהל בית גידול החיות הראשון במכון, עבר לעבוד ביחידה לפעולות נוער (ואחר כך בגן המדע), יחד עם מלי - הקופה שלו, שהוא אימץ וגם אימן. בנינו למלי בונגלו, עם חלון, ובו מחשב ושני מקשים ("נכון" ו"לא נכון"). הקופה התאמנה במשך זמן די ארוך ולמדה להבחין בצירופים שונים של מילים ומספרים. כל צירוף נכון זיכה אותה בבוטון, כך שהיא למדה די מהר מה "נכון" ומה "לא נכון". היא הייתה יושבת בבונגלו שלה, ומהצד השני של החלון ישב המבקר, וביניהם המחשב. על כל שאלה שנשאלה, שני ה"מתמודדים" היו

צריכים לענות, בהקשה על כפתור. המנצח היה זה שעונה מהר יותר. התחרות לא הייתה הוגנת, כי אי אפשר היה לנצח את מלי. כאשר אפרים פרש לגימלאות, מלי עברה (יחד עם המחשב שלה, כמובן), לקיבוץ צובה, שם היה אדם שידע לטפל בה כראוי. ועד היום מספרים בצובה שבמכון ויצמן אפילו לקופים יש מחשבים.

ביקור המלכה

בשנת 1995 קיבלתי הודעה שמלכת הולנד עומדת להגיע לארץ, ובמסגרת הביקור היא מתכננת לבקר ביד ויצמן. כאשר הגיעה המשלחת מהולנד, שכללה אנשים מצוות בית המלוכה וגם מהטלוויזיה ההולנדית, לתכנן את הביקור, סיפרתי להם על גן המדע הראשוני, והצעתי להם לגשת לראות אותו. כשחזרו מהביקור הם הודיעו בנחרצות: "אנחנו עושים שינוי בתוכנית, המלכה כמובן תבקר ביד ויצמן אבל החלק העיקרי של הביקור יהיה בגן המדע, והטלוויזיה ההולנדית תצלם סרט של חצי שעה על ביקור המלכה בגן המדע".

ואכן, כך היה. המלכה הגיעה לגן, והשתעשעה שם במשך שעה ארוכה. היה נפלא לראות אשה מבוגרת ומכובדת שמשחקת כמו ילדה ונהנית באופן עמוק כל כך. לימים, במסיבת הפרישה שלי, פרופסור חיים הררי, נשיא המכון, סיפר כמה אנקדוטות. אחת מהן הייתה על הביקור של



איור 6: מלכת הולנד לוחשת במתקן "מראות הקול" לידה עומד פרופ' חיים הררי

המלכה, ועל השיחות שהיא ניהלה איתי ב"מראות הקול" (המראות הפרבוליות). אני עמדתי ליד מראה אחת היא ליד המראה הנגדית, שניצבה במרחק 30 מטר ממנה. חיים עמד לא רחוק ממנה. ואנחנו התלחשנו די הרבה. חיים סיפר באותו אירוע שהוא אמר למלכה: "אני רואה שדיברת די הרבה עם משה, ואני - אף על פי שעמדתי קרוב מאוד מהצד - לא שמעתי". והמלכה אמרה: "הו, חבל שלא ידעתי שלא שומעים, הייתי אומרת למשה עוד כמה דברים".

מחזון למציאות - היציאה מהפרדס



איור 7: דיים וויאן קלור דאפילד, בטקס פתיחת גן המדע

גן המדע הראשוני היה די פרימיטיבי - המוצגים היו פזורים בשטח בתוך פרדס נטוש - ועם זאת, הוא הצליח מאוד, ובמכון השתכנעו שאפשר לשכללו ולתכנן אותו מחדש למוזיאון מלא מתחת לכיפת השמים.

כאן המקום לציין את פרופ' חיים הררי שאלמלא הוא, הכל יכול היה להיות רק בתיאוריה. הוא היה מעורב לכל אורך הדרך - מאז היותנו סטודנטים עד תקופת היותו נשיא המכון ועד בכלל. ההתפתחות הגדולה ביותר, יותר מאשר בכל השנים הקודמות יחד, אשר אפשרה את הקמת הגן, היתה בשנות ה-90 בתמיכתו, בעידודו ובמעורבותו הרצופה של חיים.

בשנת 1995 הוקמו שני צוותים לתכנון הגן: הצוות לתוכנית אב כלל את ד"ר רונן מיר, שהיה המנהל המדעי של גן המדע בשלבי פיתוחו אשר הטביע את חותמו על רמתו המדעית, את ראובן ענתי, מנהל בית המלאכה, את בתיה לוי, את ג'ודי מלקוש, את ד"ר נטע מעוז, ואותי. הצוות לתכנון פיזי כלל את ראובן ענתי, את אדריכל הגנים דן צור (שהיה גם אדריכל הגנים של מכון ויצמן, וקיבל מאוחר יותר את פרס ישראל לאדריכלות), ואת המעצב חנן דה-לנגה. במקביל הקמנו את הסדנה הטכנולוגית על שם אברט. בעבודה מאומצת של כשנתיים נבנו בה 45 מוצגים. חמישה מוצגים נוספים נקנו בהודו, כך שהגן יכול היה להיפתח עם 50 מוצגים. השם שנבחר היה "גן המדע" - גן בו אפשר לשוטט בין תופעות טבע.

לאחר הקמת הגן הוזמנתי ליעץ בהקמת גני מדע ומגרשי משחקים מדעיים ברחבי העולם. ההזמנה המרגשת ביותר באה ממנהל האקספלורטוריום ג'רי דלאקוט, שהתרשם מאד מגן המדע, ולעומת פרנק אופנהיימר, חשב שאפשר להקים גן מדע פתוח גם בסן פרנסיסקו.

הגן נפתח רשמית ב-11 בנובמבר 1998, בטקס בינלאומי שנערך ביום גשום בתוך אוהל ענק. עם תום הטקס פסק הגשם, והמשתתפים נכנסו אל הגן. דיים וויאן קלור דאפילד, Dame Vivien Clore Duffield שבתרומתה הנדיבה הוקם גן המדע, שחררה מקלע (רוגטקה) ענק שהוכן במיוחד לכבוד האירוע, דלי ובו בלון מלא במים. הבלון המלא טס ופגע בטורבינת המים שממול הכניסה לגן, שהתחילה לפעול. הקהל הריע בהתלהבות, וגן המדע יצא לדרך.



איור 9 : אחת ממכונת העץ של פייר אנדרס



איור 8 : חן צימבליסטה והקסלע-פון

חודש לאחר מכן, ב-14 בדצמבר, הגן נפתח לביקורים, בטקס במעמד שר המדע, סילבן שלום. בטקס השתמשנו במוצגי הגן, ואמון כלי ההקשה חן צימבליסטה ניגן על קסילופון האבן שקראנו לו "קסלע-פון". החלק האמנותי נקרא "צימבליסטיקה" (צימבליסטה + בליסטיקה). מיד לאחר הפתיחה הצגנו ברחבי הגן, תערוכה נפלאה של מכונות עץ, שנבנו על ידי האמון הצרפתי פייר אנדרס.

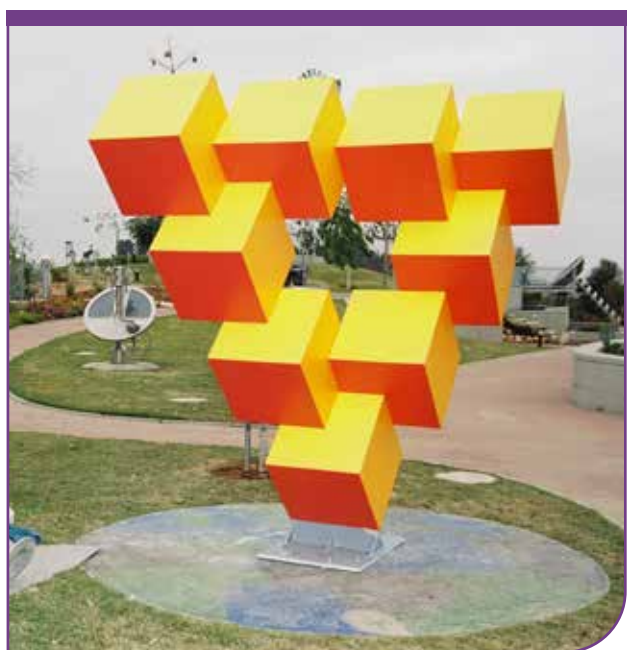
הקמת הגן הנוכחי

מיד לאחר שהתקבלה ההחלטה על ידי נשיא המכון, פרופ' חיים הררי, להקים את גן המדע הנוכחי, בקשתי אישור להקים בית מלאכה גדול יותר.

בית המלאכה הראשוני, וגם זה הנוכחי, בתקופה בה עוצב הגן, נוהלו על ידי ראובן ענתי, איש שופע רעיונות. לאחר פרישתו של ראובן ענתי לגימלאות, החל איציק אמיתי לנהל את בית המלאכה. **רמתו של הגן היא כרמת בית היוצר שלו.**

מבנה הגן ומוצגים מיוחדים

הקמת גן המדע דרשה לערוך כמה בחירות. ראשית, הבחירה להקים מחזיאון **חוץ** אכן הציבה בפנינו אתגר גדול מאוד, אבל היתרונות היו גדולים לא פחות. מוצגי חוץ מתאימים הרבה יותר להמחשה של תופעות הקשורות ברוח, גשם, שמש וכדומה. אישור לכך שהבחירה שלנו הייתה נכונה, קיבלנו כאשר זכינו בפרס החדשנות מטעם ASTC (Association of Science Technology Centers), וכאשר גן המדע נבחר כ-Governing member של ASTC, כאחד הבודדים אז באירופה והראשון בארץ.



איור 10 : משולש הקוביות

בחירה נוספת הייתה להתרכז בתופעות יסודיות, שלא יתיישנו אף פעם, ולשלב דוגמאות מחזית המדע. כשהיית "באקספלורטוריום" הבחנתי עד כמה כרוכים בו האמנות והמדע זו בזה ומתחילת דרכו של גן המדע אימצנו גישה זו. באקספלורטוריום שהו ועבדו אמנים שבנו חלק נכבד מהמוצגים המדעיים, ויש בו אף תפקיד מיוחד של "אמן הבית" ("Artist in residence"). המרכיב האמנותי נכח בגן כבר מראשיתו בדוגמאות כמו משולש הקוביות של הפסל מתיו המקרס, דיאגרמות פיינמן של Marcia Raff ופסל החוטים של סטפני וולק. היו גם תוכניות בשם "התזמורת מארחת מדענים", יחד עם תזמורת הקאמרטת הישראלית רחובות (אחר כך ירושלים) וכן פעילות משותפת עם להקת המחול בת שבע.

בנינו בגן את ה"סיפון" - שעובר על פני כל הגן - גם כדי ליצור מקום ממנו אפשר יהיה לראות את כל המתחמים המרכיבים את הגן וגם כמרחב המתאים למוצגים מיוחדים. המוצג העיקרי על הסיפון היה דגם של מערכת השמש, לפי אותו קנה מידה של המרחקים ושל הגדלים של השמש והפלנטות. קנה המידה בדגם זה, הן של המרחקים והן של הגדלים של השמש והפלנטות, הוא $10^{-10} \cdot 3:1$. לפי קנה מידה זה כמעט כל המערכת נמצאת בגן, ופלוטו, שבינתיים נפלט רשמית מהמערכת, נמצא מחוץ לגן וצפו בו בטלסקופ קטן שהיה ממוקם בקצה השני של הסיפון.

בקנה מידה זה מהירות האור היא 1 סנטימטר בשניה. התחלנו בתכנון של פס מנורות לז, בו האור יתקדם מדגם השמש לדגם כדור הארץ במהירות האמורה, ויגיע לדגם כדור הארץ כעבור 500 שניות (מרחק כדור הארץ מהשמש בדגם זה הוא 5 מטר). תכננו גם לבנות טלסקופ קטן שיוצב ליד דגם כדור הארץ ושיהיה מכוון לדגם של צדק. בלילה אפשר יהיה לכוון את הטלסקופ לצדק עצמו ולראות את הדגם ואת צדק באותו גודל. בינתיים אור השמש פגע בצבע השלטים של הדגם, והדגם הוסר זמנית.

האקו-ספירה



איור 11: האקו-ספירה

המשכנו לחשוב על קידום הגן ולהוסיף לו גם היבטים שאינם פיסיקליים. פרופסור ישראל בר יוסף, סגן נשיא מכון ויצמן למדע, הציע להקים "בועה אקולוגית". נדלקנו על הרעיון וחשבנו מיד על שדרוגו - אקו-ספירה: כיפה גאודזית, שבה יוכלו הילדים לערוך פעילויות הקשורות לאקולוגיה ולסביבה. הרעיון היה שבתוך האקו-ספירה אפשר יהיה לערוך ניסויים ופעילויות אשר אינם מתאימים לפעילויות חוץ.

פרופ' דן יקיר, שהיה אז ראש המחלקה לסביבה וחקר האנרגיה, עמד בראש ועדת ההיגוי של פיתוח האקו-ספירה. אליו הצטרפו גם פרופ' רוברט פלור, ראש המחלקה לחקר הצמח וחקרים נוספים ממכון ויצמן, ממכון דוידסון ומהפקולטה לחקלאות ועוד רבים וטובים. האקו-ספירה

אמנם הייתה חלק מהגן, אך המדריכים בתקופה הראשונה היו

מדריכי היחידה לפעולות נוער, שהיו ברובם תלמידי מחקר של מכון ויצמן. בנוסף למרכיב החינוכי, האקו-ספירה נועדה להיות גם חלון הראווה של מכון ויצמן כולו בנושא האקולוגיה והסביבה. נושאים אלה הם חיוניים וקריטיים. הציבור אינו חשוף מספיק למידע פופולרי מהימן הבא ממדענים העוסקים בנושא, ויש בלבול בין מדע בסיסי בתחום לבין פעילות ארגונים ירוקים, אשר יכול להביא לחוסר הבנה, ובסופו של דבר אף לפגוע בתחום.

קיווינו איפוא כי האקו-ספירה תשמש כבסיס להנחלת ידע, וממנה תצא הבשורה המדעית, בשונה מפעילות ארגונים ירוקים, לקהל הרחב. סמוך להקמתה של האקו-ספירה קיבל גן המדע בזכותה את פרס Roy L. Shafer Leading Edge Award. החזון ביסוד הקמת האקו-ספירה היה שאפתני ומורכב, וההשקעה באמצעים ובמחשבה בהקמתה היו בקנה

מידה גדול מאוד. אולם, די מוקדם הסתבר כי מעבר להצלחות הראשוניות, החזון היה מעט גדול על הגן, ומורכב מדי. האקוספירה נבנתה מהטפחות אל המסד! בסרטון הקמת האקו-ספירה ניתן לראות את תהליך הבנייה:

<https://www.youtube.com/watch?v=tdYz54I0UcI&t=2s>

דגם כדור הארץ

בנינו דגם של כדור הארץ בקנה מידה של 1:12,750,000 (כדור בקוטר מטר אחד). הדגם מחובר באופן קבוע לכדור הארץ כשהציר שלו מקביל לציר של כדור הארץ כך ששניהם נעים יחד. בשעת סיבובו של הכדור הגדול (הארץ), מסתובב הכדור הקטן יחד עמו באותה זווית ואפשר לראות עליו היכן באותו רגע שורר יום או לילה על כדור הארץ, את קווי הזריחה והשקיעה ואת עונות השנה באופן דומה לזה שבו רואים את כדור הארץ מהחלל.

ראשיתו של מוצג בצורך שנוגד על גבעות ג'ניפה, במלחמת יום כיפור. בלילות השמירה הרבים והארוכים הספקתי לשוחח עם אנשים רבים ולהיווכח כי רק מעטים מבינים את הסיבות לעונות השנה.

מאוחר יותר, בתחילת 1990, פגשתי בקלקוטה את פיליפ ופיליס מוריסון. פרופסור פיליפ מוריסון היה ידידו של פרנק אופנהיימר מימי פרוייקט מנהטן, ופיליס, אשתו, הייתה מחנכת מפורסמת. פיליס הראתה לי כדור שאחזה בידיה, עליו היא סימנה את הקוטב הצפוני ואת הקוטב הדרומי, וכיוונה את הציר כך שיהיה מקביל לציר כדור הארץ. כאשר השמש האירה על הכדור במצב זה, אפשר היה לראות עליו את עונות השנה. הדחיפה האחרונה לבניית המוצג הייתה תכנית רדיו בה ראינו את אחד ממגישי תכניות מזג האוויר בטלוויזיה. ביקשו ממנו להסביר באופן פשוט ביותר מדוע חם בקיץ וקר בחורף. הוא אמר שזה פשוט מאוד. בקיץ אנחנו קרובים יותר לשמש... מיהרנו אז לבנות את המוצג, שהוא אחד המוצגים המתאימים ביותר למוזיאון חוץ (ורק למוזיאון חוץ).

ללמד בני יהודה קשת

נתמזל מזלנו ומצאנו רעיון למוצג שהוא סמל לאופטימיות. בחוברת "מדע" (כרך ל"א מספר 2) מצאנו מאמר של ד"ר עמוס כהן על קשת בענן. נסענו אליו

למכללת אורנים וראינו הדגמה נפלאה, וברשותו העתקנו אותה. מאז הקשת (מעגל שלם) מככבת בין מוצגי הגן. היא פופולרית בייחוד בקיץ, כאשר לא רואים קשת בארץ וכאשר מבקרים נהנים להירטב מטיפות המים בהן נוצרת הקשת.

וכמובן במסגרת השיטה של "כזה ראה וחדש", החלטנו לנסות גם ליצור קשת בלילה, היות שמקור האור לא חייב להיות דווקא השמש. אולג וירי (עובדי בית המלאכה) ואני הצבנו זרקור השולח קרני אור לבן די מקבילות, הפעלנו את מזלפי המים, וכאשר ראינו לראשונה את הקשת פרצנו בריקוד סועה. בלילה, כאשר הרקע שחור, הקשת נראית זוהרת יותר מאשר ביום ומעוררת פליאה.

איור 11: בתמונה העליונה: יום ההיפוך הקיצי, בתמונה האמצעית ימי השיוויון האביבי והסתווי, בתמונה התחתונה יום ההיפוך החורפי.



איור 13: צילום של קטע מהקשת בעדשה רגילה. ניתן לראות בו את הקשת המשנית, שהצבעים בה בסדר הפוך



איור 12: סלפי של הצד האפל שלי והקשת המלאה. מצולם בעדשת עין הדג (eye-fish)

המראות הפרבוליות

המוצג הותיק ביותר בגן הוא צמד המראות הפרבוליות. הן נבנו ב-1942 על ידי חברת General Electric ושימשו במלחמת העולם השנייה את הצבא האמריקאי כזרקורים נגד מטוסים. כשהתחילו בצבא ארה"ב להשתמש במכ"ם, הועם זהרם של הזרקורים. היתה להם לאחר מכן הסטוריה מעניינת בארץ. הם שימשו את צה"ל במלחמת השחרור והיתה להם עדנה בגן המדע הראשוני והנוכחי. תולדות המראות הפרבוליות קשורות מאד לאחד האנשים המיוחדים שהופיע אצלנו - Uwe Langmessaer, אובה לנגמסר.

כאשר חזרתי מהשבתון בשנת 1979, מצאתי ביחידה לפעולות נוער מדריך נפלא בחוג לאסטרונומיה, ענק בגובה 2.05 מטר, אשר בזכותו הפך החוג למועדון אסטרונומיה מצויין. אובה הגיע לארץ בעקבות שחקנית נבחרת ישראל בכדור יד, שהתחרתה בגרמניה. הוא אומץ על ידי משפחתה, שעסקה בבניית מצבות. תפקידו של אובה בעסק המשפחתי היה לחרוט אותיות על מצבות השיש. וזאת גם היתה דרכו המיוחדת ללמוד עברית. הוא החל ללמד גם בבית הספר הפתוח ברחובות, ומנהלת בית הספר הביאה אותו ליחידה לפעולות נוער, שם הפכה אותו נטע למדריך לאסטרונומיה.

כאמור, כשחזרתי מהשבתון עם כוונה להקים גן מדע מצאתי את האדם המתאים ביותר לעשות זאת. אובה בנה את המוצגים הראשונים וביניהם זוג מראות פרבוליות מפברגלס. אינני יכול להתאפק מלהזכיר את שליטתו המופלאה בעברית וכן את הפיכתו ל"מומחה בינלאומי לשעטנז" אבל זה כבר מעבר לסיפור על גן המדע. בעת כתיבת דברים אלה, כשהייתי בסן פרנסיסקו בהזמנת האקספלורטוריום, אובה נפטר לפתע ממחלה נדירה מאד והשתתפתי בארוע מרגש לזכרו. בטקס נאמר כי אובה היה התרומה הגדולה של גן המדע לאקספלורטוריום, כתמורה לתרומה של האקספלורטוריום להקמת הגן. לאחר עזיבתו של אובה מצאתי במגרש גרוטאות ברמלה את המראות הנוכחיות. כשרציתי לקנות אותן וסיפרתי על יעודן במכון ויצמן, היה המחיר אסטרונומי. ניתקתי מגע ולאחר כחודש ביקשתי משמוליק הראל ז"ל, המעצב של הגן הראשוני, לרכוש אותן בעבורנו, בעילום שם. המחיר היה לפי משקל המתכת. מראות הפברגלס הושאלו לחווידע של ארגון פר"ח בבאר שבע.

המראות זכו כאן להצלחה גדולה, ששיאה בסיפור ביקורה בגן של מלכת הולנד וההתלחשויות שניהלנו. אגב, הסיבה ליעילות המראות דווקא בלחישה היא פסיקלית: כאשר מדברים בקול רגיל די בשקט, היעילות נמוכה: תדירות הקול

נמוכה בסביבות 300 תנודות לשנייה ואורך הגל כ-100 ס"מ, גדול מעט מגודל המראות. אולם כאשר לחשים התדירות היא בערך 1000 תנודות לשנייה, ואורך הגל הוא 30 ס"מ, כלומר קטן מגודל המראות, ואז החזרת הקול מהמראות יעילה מאוד.

אפקט דופלר

כדי להמחיש מהו אפקט דופלר, רצינו להתקין מוט באורך של 3-4 מטר שיסתובב במקביל לקרקע, ובקצה המוט לחבר משרוקית (כמו פייה של חליל), שכאשר היא נעה במהירות, היא תשרוק כאשר האוויר יעבור דרכה. לגבי הצופה (השומע) שעומד במרחק מה המתקן, בחלק מהסיבוב המשרוקית נעה לקראתו ובחלק אחר מתרחקת ממנו. אם משך הסיבוב גדול מספיק והמהירות גדולה שומעים בבירור את השינוי בגובה הצליל - גבוה יותר כאשר המשרוקית מתקרבת ונמוך יותר כאשר היא מתרחקת, כתוצאה מאפקט דופלר.

בניתי את המתקן עצמו באקספלורטוריום, אחרי שסיפרתי על הרעיון שלי לפרנק אופנהיימר, שהתלהב מאוד ועבד עמי כמה שעות בבית המלאכה. הוא הצליח לבנות משרוקית לא רעה כלל. כדי לשפר את המוט ביקשתי מתת אלוף אלון דומניס, ראש להק ציוד של חיל האוויר, שהיה לפני כן חניך באחד מהמחנות שלנו, לתת לנו להב ארוך של הליקופטר. הוא התעקש לתת לנו רק מטוס שלם אבל לא לקחנו כי זה היה מעל לפרופורציות של הגן. כתחליף בנינו מתקן ניצב לקרקע, אך נאלצנו לפרקו כי השריקה הפריעה לבעלי החיים בבית גידול החיות הסמוך.

בגן הנוכחי בנינו מתקן ראשוני אחר, את בריכת הגלים. בה אפשר להמחיש מספר תופעות גליות, כאשר הדבר המעניין ביותר בה הוא הדגמת אפקט דופלר בצורה הפשוטה והטובה ביותר שאני מכיר. נראה לי כי כמוצג בודד זו התרומה המקורית הבולטת ביותר של גן המדע לעולם המוזיאונים. וכאן ניתן לראות את בריכת הגלים:

<https://youtu.be/aHORPCHdCkY>

החינוך בגן

הגן הוא "מוסד חינוכי". הכל מחנכים ומתחנכים. המדריכים, המבקרים המבוגרים את הצעירים, הצעירים זה את זה והצעירים את ההורים. גם מורי בית הספר מתחנכים, כאשר הם מביאים את תלמידיהם. לעיתים, אנשים זרים מדריכים זה את זה, כאשר הם נפגשים ליד מוצג. משפחות באות יחד - מישהו שואל ואחר מסביר. לעיתים המדריכים לומדים מהמבקרים.

כל המתואר כאן אינו אופייני כלל וכלל לחינוך פורמלי. כאן המבקר (חניך) מחליט מה הוא לומד, איך הוא לומד, מתי הוא משחק, מתי הוא הולך, ולך דע מה לומדים תוך כדי משחק. אגב משחק, ילדים לומדים מה זה מהר, חזק, גבוה, חם, קר, לפני שלמדו מה זה מטה, תרומטר משקל או מאזניים. החינוך הלא פורמלי (בעיקר במוזיאונים) משול יותר למצב של השתתפות באירועי ספורט או מוסיקה מאשר במדע. בספורט ובמוסיקה יש מקצוענים, חובבים וקהל. ואילו במדע יש בדרך כלל מקצוענים - המדענים - (אולי פרט לאסטרונומיה, בה ישנה תרומה רצינית גם של חובבנים).

כאשר נערכים בגן המדע ביקורים של כיתות בית ספר, נראה כי תלמידים רבים מרגישים משוחררים ממסגרת בית הספר ויש סיכוי שאחדים גם יתרשמו ויתלהבו ממוצג מסוים, או מכמה מוצגים, והדבר יגרום להם להתעניין בנושא ולהעמיק בו בהמשך. חלק מהם גם ישובו לגן ויביאו עמם את משפחותיהם או חבריהם.

כפי שכבר סיפרתי, גן המדע התפתח באופן שונה משאר מוזיאוני המדע בעולם. כל האחרים התחילו בהצגת מוצגים. הטובים שבהם הקימו בהמשך גם מחלקות חינוך. ואילו אצלנו - המוצג הראשון הופיע ביחידה לפעולות נוער 16 שנים לאחר תחילת הפעילויות החינוכיות.

המוצגים שנוספו היו בתחילה חלק אינטגרלי של היחידה ופעולותיה, ושימשו את החוגים, את המחנות, את בית ספר השדה למדע ואת שאר התכניות. כך למשל, בנינו עבור החוג לפיסיקה גרעינית שני מוצגים שהדגימו את פיזור רתרפורד וחלמנו גם על הקמת מגרש מיני גולף, שיסייע אף הוא להמחשת תופעות פיזור.

היחידה לפעולות נוער נועדה בראש ובראשונה לאפשר לפוטנציאל החינוכי הגלום במדעני המכון להגיע לידי ביטוי. הצוות הקטן מאד של היחידה הקדיש את מאמציו למשימה זאת. באומרי "צוות קטן" הכוונה לצוות המשרד. כמעט כל מרכזי התכניות כמו המחנות הישראליים והבינלאומיים, מחנות החוץ, החוגים (לקראת פרישתי מהיחידה נערכו כ-80 חוגים בשבוע), תחרויות הדגמים וההמצאות ותכניות אחרות, היו סטודנטים או אנשי סגל של מכון ויצמן, שרכשו ניסיון כשהיו מדריכים. מספרם של המדענים והסטודנטים היה כ-200.

אפשרות להרחבת הפעילות ולהגעה לקהלים רחוקים או הבאתם למכון ויצמן התממשה בהקמת הגן. בשהותי באקספלורטוריום בסן פרנציסקו, נוכחתי לדעת כי מדריכים ברמה גבוהה מאוד לא חייבים להיות תלמידי מחקר במדע. הם יכולים להיות תלמידי תיכון נלהבים, העוברים הכשרה מוקדמת ומתמשכת כל תקופת הדרכתם. באקספלורטוריום המדריכים הצעירים האלה הודרכו כל שבוע על ידי פרופ' פרנק אופנהיימר. אצלנו, כאמור, הוקמה תכנית המדריכים על ידי ד"ר צבי פלטיאל, שהיה אחראי להכשרתם.

באופן זה נמשכה המעורבות האמיצה של מדעני מכון ויצמן בהיבטים אחרים אשר קבעו את רמתו הגבוהה של הגן, בלי להעמיס יותר מדי על מדעני המכון.

מסגרת זאת של סיפור הגן אינה מאפשרת דיון ממצה על נושא כה חשוב כחינוך לא פורמלי בגן, אולם אנסה לסקור בקצרה עוד כמה נקודות חיוניות. אין כל כוונה להציע שחינוך לא פורמלי יחליף את החינוך הפורמלי המסודר, אלא שישלים היבטים שהחינוך הפורמלי אינו יכול להציע. בבית הספר לומדים באופן דיקטטי, מסודר ומעמיק. אבל בדרך כלל קשה לבית הספר לגרום לחוויה ולהתרגשות. לכן על תלמידים רבים בית הספר לא ישאיר את הרושם המספיק, והם עלולים לשכוח עד מהרה (לאחר הבחינות) את מה שלמדו. בחינוך הלא פורמלי אין מספיק לימוד שיטתי, אולם הוא יכול ליצור חוויות עזות, שייזכרו למשך זמן רב. יתרה מזאת, חינוך לא פורמלי טוב עשוי ליצור סקרנות ומוטיבציה, כך שהילד יהיה גם תלמיד טוב יותר בבית הספר וגם יחפש חומר וללמוד באופן עצמאי. אפשר - ורצוי - ללמוד לא רק בכיתה, אלא גם בין העצים הירקרקים (והמוצגים), גם בשובבות ובאופן משובב נפש, ותוך שימוש בכל החושים - ראייה, שמיעה, מישוש והרחה, ואפילו חוש ההומור.

במצב אידיאלי, התלמיד עוסק באותו נושא הן באופן פורמלי והן באופן לא פורמלי. למרבה הצער, זה קורה מעט מדי. כך לדוגמא, דין קיימן, ממציא ומפתח הסגויי עתיר הג'ירוסקופים, סיפר לי בביקורו בגן, שבילדותו קיבל מאביו ג'ירוסקופ לשחק בו. הוא הוקסם וציפה לרגע שייגדל ויוכל ללכת לאוניברסיטה וללמוד כל מה שאפשר על ג'ירוסקופים.

בשיחותי עם פרופסור עמוס דה-שליט, בייחוד בזמן ההכנות למחנה הבינלאומי הראשון (1969), עמוס עודד אותי וטען שבדרך בה בחרתי אוכל לשנות ולהשפיע רבות. בעקבות כך נעשיתי ער יותר לאחריות שלי ושל האנשים העוסקים בחינוך הלא פורמלי, וגם למגרעות שיש באופן זה של חינוך. אנשים העוסקים בחינוך לא פורמלי צריכים להיות ערים לכך שהחינוך הזה הוא לעיתים שטחי מכיוון שהכל צריך להיות תמיד מעניין ומושך כי אנשים "מצביעים בגללים". במקומות שאינם קשורים היטב למוסד מדעי יש נטייה "לעגל פינות" ואפילו להסביר באופן לא נכון. שמעתי מספר גדול מדי של פעמים את המושגים "קוריליס" ו"ברנולי" במקומות לא מתאימים, ונדרש מאמץ רב כדי לתקן את הנזק.

ועוד משהו: אנשים, בעיקר צעירים, עלולים לקבל את הרושם שהעיסוק במדע מלהיב בכל רגע. משול לחיים עם שימוש יומיומי בכדורי מרץ. חשוב להראות שכדי להגיע לרגעים המלהיבים, יש הכרח בעבודה קשה ובמאמץ גדול. כפי שסיכם אחד החניכים במחנה הבינלאומי על שם בסי לורנס: "Science is fun. A hard fun".

לפני הגיעי למכון ויצמן הייתי מעורה מאוד בחיי המושבה הצעירה אבן יהודה. בזמן לימודי בבית הספר התיכון הקמתי יחד עם חבר (ישקה קליין), סניף של תנועת הנוער מכבי צעיר וסניף של מכבי ובו קבוצת כדורגל, כדורסל, אתלטיקה וטניס שולחן. כשהגעתי למכון החלטתי היתה נחושה להתנתק מכל פעילות, פרט לעיסוק בפיסיקה. זה היה, כמובן, בלתי אפשרי. כעבור כשנתיים היה כבר בפינת המעבדה בראשותו של פרופסור פיטר הילמן ובהשתתפות שלהבת פריאה, חנן שכטר, פנחס גלעד (פיצ'י) ואני, שולחן ששימש משרד להכנת מחנה הנוער הראשון.

אינני מתכוון לפרוט את האינטונטר של מה שאליו "הגיע" שולחן זה. עד פרישתי ממכון ויצמן לפני כ-10 שנים (הגן היה אז בן עשר שנים). זאת הייתה תקופה שהרגשתי בה עד כמה אני מגשים את ככל מאוויי ועוד למעלה מזה. בהכירי את מה שנעשה ברחבי העולם בשטח החינוך המדעי הלא פורמלי, אינני יכול לחשוב על שום מקום פרט למכון ויצמן למדע, שהיה מאפשר לי לעשות את כל מה שחלמתי ואפילו את מה שלא העזתי לחלום. המושג "מאפשר" הוא בלשון המעטה. בכל רמה ובכל פינה זכיתי לעידוד ולסיוע, של נשיאים (כולם) ואנשי המכון (חלקם היו מדריכים, ומאוחר יותר הצטרפו לסגל גם רבים שהיו חניכים בפעולות הנוער).

למרות שנקראתי "מנהל", מעולם לא הרגשתי כך. אינני זוכר את עצמי נותן "הוראות". אילו נתתי הן היו מגבילות את התוצאות. אנשי צוות המשרד וכן הצוות הגדול של המרכזים (שעבדו במעבדות שלהם) עשו מיוזמתם הרבה יותר ממה שהיו עושים אילו קיבלו הנחיות והוראות. היתה לי תחושה חזקה שהצלחתי לאסוף על ידי קבוצת אנשים מתאימה להנהיג את מה שיצרנו. האנשים עצמם התחלפו כל כמה שנים, בדרך כלל כאשר סיימו את הדוקטורט, אבל רוח הקבוצה ואופיה נשמרו.

שכרי הוא הנחת שאני רווה מבוגרי הפעולות שלנו, המובילים במדע ובחברה בארץ, והתחושה שמכון ויצמן התברך גם הוא בפעולות ובתוצאותיהן. אבל עיקר שכרי בקשר הרצוף במשך שנים רבות עם אנשים צעירים מבטיחים (ומקיימים) מחזק, מרענן ומהווה גם סגולה להישאר צעיר. בהקשר זה אני יכול גם לומר שלא התחשבתי בזמן ואילו הזמן התחשב בי מאוד.