

בית-ספר קיץ למורי פיזיקה ב-CERN

ברנד סרינג, התיכון הישראלי למדעים ולאמנויות, ירושלים

לצאת
מהשיגרה



ביולי 2010, בעקבות הפרס שקיבלתי מקרן דה שליט, השתתפתי יחד עם ארבעים מורי פיזיקה מרחבי העולם בבית-ספר קיץ של שלושה שבועות ("High School Teachers Programme 2010" או "HST2010") באתר המאצים של CERN ליד ז'נבה. במאמר זה אתאר את אופן התנהלותו של בית-הספר ואת החוויה שחוויתי בעת שהותי בו.



תמונה 1: אתר CERN

(מתוך <http://cernhst2010.blogspot.com/2010/07/cern.html>)

ארגון CERN ומחלקת החינוך שלו¹

ארגון CERN² נוסד בשנת 1954 כפרויקט מדעי שיתופי של שנים-עשרה מדינות אירופיות, בניסיון לשקם את המדע האירופי מההרס שחוללה מלחמת העולם השנייה, ועל מנת לגשר על הפערים בין אומות אירופה באמצעות יצירה של קהילת מדענים בין-לאומית. מתקני המחקר של הארגון נבנו באתר שממוקם על הגבול בין שוויץ לבין צרפת, בסמוך לעיירה השווייצרית Meyrin ליד ז'נבה.

כיום האתר מהווה אחד ממרכזי המחקר החשובים והמתוחכמים בעולם. הוא מעסיק כ-2400 עובדי קבע, כאשר רק 2.5% מהם הם פיזיקאים חוקרים. בנוסף לכך מעורבים במחקרים השונים כעשרת אלפים פיזיקאים מכל העולם בסטטוס של מבקרים במחלקת התאוריה או בניסויים השונים. תחום המחקר המרכזי הוא הפיזיקה של אנרגיות גבוהות (פיזיקה של חלקיקים אלמנטריים ופיזיקה של מאיצים) על כל נגזרותיה כגון פיזיקה רפואית, חקר חומרים, חקר האקלים ועוד. פרסי הנובל בפיזיקה בשנים 1984 ו-1992 הוענקו עבור מחקרים שבוצעו ב-CERN. פיתוחים רבים בתחומים של מדעי המחשב³, האלקטרוניקה, טכנולוגיית הקיחה, טכנולוגיית הריק ואחרים נרשמים לזכות המהנדסים והמדענים של CERN. כפי שהודגש מספר פעמים בפנינו, הארגון אינו עוסק במחקר ובפיתוח לצרכים צבאיים.

עשרים מדינות אירופיות הן חברות מלאות ב-CERN. מדינות אלה תורמות תקציב משמעותי לארגון וקובעות ביחד את תכנית המחקר. מדינת ישראל, שהייתה במשך שנים במעמד של "צופה" (Observer), הגישה בשנת 2010 מועמדות לחברות מלאה. הוועד

1 | בבלוג הבא אפשר לצפות בתמונות (עם הסברים) מהאתר של CERN ומב"ס הקיץ: <http://cernhst2010.blogspot.com/2010/07/cern.html>

2 | מצרפתית: "Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire" (הוועד האירופאי למחקר גרעיני); היום שמו הרשמי של הארגון הוא "European Organization for Nuclear Research", אך הכינוי CERN נשאר.

3 | הידוע ביניהם הוא פיתוח ה-World Wide Web (WWW) ע"י Tim Berners-Lee (הצעה ראשונה בשנת 1989)

המנהל של CERN אישר את המועמדות, ושינוי המעמד צפוי להתבצע בקרוב⁴.

מחלקת החינוך⁵ של CERN מטפלת ביותר מחמישים אלף מבקרים בשנה, כמחציתם כיתות מבתי-ספר ברחבי אירופה. היא מנהלת שתי תערובות קבועות שמטרתן לקרב את נושא הפיזיקה של אנרגיות גבוהות לקהל הרחב: התערובה האינטראקטיבית "Microcosm" והמיצג האור-קולי "Globe" שנמצא במבנה עץ מרשים בסמוך ל-CERN. מחלקת החינוך מציעה הרצאות וסמינרים מקוונים ומארגנת השתלמויות מקצועיות לסטודנטים, לטכנאים ולמהנדסים⁶.

בתחום החינוך התיכני, המחלקה מארגנת ועידות וידאו בין מדענים לבין כיתות מבתי-ספר בכל העולם ומציעה מספר תכניות לזורים שמתקיימות ב-CERN:

- I. **Physics Teachers Programme** - תכנית בין-לאומית של שלושה ימים שנועדה להעניק למשתתפים, מעבר לחוויה הישירה של הימצאות באתר, מידע בסיסי על פיזיקת החלקיקים בת ימינו. התכנית מתנהלת בשפה האנגלית, והיא פתוחה לזורים מכל המדינות החברות ב-CERN. קיימת אפשרות למימון חלקי ע"י CERN.
- II. **National Programmes for Teachers** - תכנית של שישה ימים עבור מורים ממדינה מסוימת, שמתנהלת בשפת האם של המשתתפים. מחלקת החינוך של CERN אינה מממנת את התכנית, אך תקבל בברכה בקשה מכל קבוצה לאומית שתפנה אליה (בכפוף לל"ז צפוף מאוד).
- III. **(HST) High School Teacher Programme** - תכנית בין-לאומית אינטנסיבית של שלושה שבועות שמתנהלת בשפה האנגלית (על התכנית שבה השתתפתי - פרטים בהמשך). קיימת אפשרות למימון כמעט מלא של התכנית ע"י CERN.
- IV. **Resident Teachers** - ישנה אפשרות לשהות ב-CERN במעמד זה במשך מספר חודשים ולעסוק בפיתוח תכניות לימודים. מספר המקומות מוגבל מאוד.

חויית השהות בבית-ספר הקיץ

במהלך התכנית התגוררו רוב המשתתפים בשני בתי אירוח של CERN ורכשו את הארחות שלהם באחת משתי קפטריות (אחת מהן התגלתה במהרה כמרכז החברתי של המקום). מרפאה מקומית ומרכז מסחרי קטן עם דואר, בנק וחנייות אחדות סיפקו את שאר הצרכים שלנו. המעוניינים יכלו לשאול אופניים ללא תשלום על מנת לנוע ביתר קלות ממקום למקום, שאר המורים צברו קילומטרים רבים של הליכה באתר המרווח של CERN, שכללה אין-ספור חציות של הגבול המדיני בין שוויץ לבין צרפת (הגבול עובר ללא סימון מיוחד בשטח CERN).

הספרייה המרכזית פתוחה 24/7 ופועלת על בסיס של אמון (גישה חופשית לצילומים וכד'). סטודנטים ספרנים מוכנים לעזור באדיבות רבה בכל עניין, כולל רכישת ספרים מתוך תצוגה באחד מחדרי הספרייה. ספרים אלה מהווים אוסף מרתק של ספרי לימוד בפיזיקה עיונית בכלל ובפיזיקה של אנרגיות גבוהות ובטכנולוגיית מאיצים בפרט, והם תרמו באופן משמעותי למשקל היתר של המזודה שלי!

אולמי ההרצאות וכיתות הלימוד ממוזגים (דבר שאינו מובן מאליו באירופה) ומצוידים לעילא ולעילא, מה שעומד בניגוד מסוים למראה היחוד מעט של הצריפים שבהם חדרים אלה ממוקמים. שילוב דומה של צריפים פשוטים ושל טכנולוגיה עילית ראיתי קודם לכן רק ב-Kennedy Space Center בפלורידה.

4 | ראו: <http://publicweb.cern.ch/press/pressreleases/Releases2011/PR18.11E.html>

5 | על הפריקטים הרבים המתנהלים במחלקת החינוך ראו את רשימת הקישורים בסוף המאמר

6 | בזמן שהותי ב-CERN התקיימה שם למשל השתלמות מקצועית בנושא "ספקי כוח למאיצי חלקיקים"

המורים המשתתפים

ב-HST2010 השתתפו ארבעים מורים מ-23 מדינות, רובן איחפיות. "בני המיעוטים" בתכנית היו חמישה מורים מארה"ב, ארבעה מורים מאפריקה (קניה, גאנה, רואנדה), שלושה מורים מהמזרח הרחוק (יפן, תאילנד) ושלושה נציגים של המזרח התיכון (שתי מוחות מתורכיה ומורה ישראלי אחד). לפי הערכתנו, כרבע מהמורים היו מתחת לגיל 40.

משיחות אישיות ומפרזנטציות מסודרות של המורים במהלך התכנית קיבלתי תמונה של מגוון תנאי העבודה שלהם בארצותיהם ושל מניעיהם להשתתף בתכנית. כולם הצהירו על רצונם לשבור את שגרת ההוראה היום-יומית ע"י שילוב של יחידות לימוד חדשות ומרתקות, שאותן קיוו להכיר או להפיק בעצמם במהלך שהותם בבי"ס הקיץ חלקם בנו על כך שה"השתלמות" ב-CERN תקדם גם את הקריירה המקצועית שלהם.

חוב המורים מארה"ב היו בעלי תואר שלישי ובעלי ידע מתקדם בתחום החלקיקים האלמנטריים. הם יזמו בעבר פעילויות אקדמיות בתחום זה עם תלמידיהם. חלקם ערכו סיורים במעבדת המאיצים Fermilab⁷ ו/או השתתפו בתכנית ה-Quarknet⁸ היוקרתית. מורה ותיק מבית-ספר פרטי לבנים במדינת מסצ'וסטס עם מסורת של 350 שנה הציג, למשל, סדרת פעילויות מתוחכמות מאוד בתחום פיזיקת החלקיקים האלמנטריים, שמהוות חלק מתכנית הלימודים הקבועה שלו.

מבין המורים האפריקניים, שני המורים מרואנדה והמורה מגאנה נאלצים להתמודד יום-יום עם כיתות גדולות וצפופות, עם היעדר תשתיות להוראת מדעים ועם מצוקה תקציבית כללית (כמו מורה ישראלי מהשורה). הם באו ל-CERN על מנת למצוא פתרונות פשוטים וזולים לצורכי ההוראה שלהם ועל מנת ליצור קשרים עם עמיתים מארצות אחרות. המורה מקניה, לעומת זאת, מלמד בבית-ספר מפואר למדיי בעיר מומבסה, ששייך לרשת בתי-ספר ע"ש אגא חאן⁹, ואינו חי תחת מגבלות תקציביות חמורות מדי. כמו שלושה מורים אחרים בקבוצה, הוא מלמד את תלמידיו על פי תכנית ה-International Baccalaureate¹⁰ (IB). עקב נוכחותם של מורי IB רבים התנהל בקבוצה שיח אינטנסיבי סביב יתרונותיה וחסרונותיה של התכנית.

בין המורים האירופיים ניכר השוני בין המורים ממזרח וממערב אירופה. המורים ממדינות המזרח נאלצים להתמודד בחיי היום-יום עם מחסור חמור באמצעי הוראה ועם משכורות נמוכות מאוד. הם עובדים לרוב תחת בקרה קפדנית מצד משרד החינוך (זכורה לי כמקרה קיצוני מערכת החינוך ברומניה). מצבם של המורים ממדינות המערב טוב יותר מבחינה חומרית, אם כי גם הם כפופים במידה רבה לתכתיבי תכניות הלימודים הרשמיות. התנהל ויכוח ער סביב השאלה באילו מקומות ובאיזה היקף ניתן לשלב "נושאי CERN" בהוראה השוטפת.

התכנית¹¹

אתחיל את תיאור מרכיבי התכנית באירועים החברתיים, מכיוון שכונתה המוצהרת ואולי העיקרית של התכנית היא יצירת קהילה של עמיתים\חברים כבסיס לשיתופי פעולה מקצועיים עתידיים. ערב "ברכה ופיצה", יום ראשון של "חפש-את-המטמון" בעיר העתיקה של ג'נבה, פיקניק בגשם על פסגת הר, ערב בינלאומי בהפקת המשתתפים וברביקו גדול לסיום התכנית - כל אלה שירתו את המטרה הזאת בהצלחה רבה.

תכנית הלימודים העיונית כללה מיני-סדרות של הרצאות בתחומי הפיזיקה וטכנולוגיית המאיצים, באורך של 4-6 שעות אקדמיות.

7 | Fermi National Accelerator Laboratory ליד שיקגו, אילינוי, ארה"ב: <http://www.fnal.gov>

8 | <http://quarknet.fnal.gov>

9 | <http://www.agakhanschools.org/academies/mombasa>

10 | <http://www.ibo.org>; תכנית הלימודים של פיזיקה מתקדמת בתכנית ה-IB מולת פרק על חלקיקים אלמנטריים.

11 | התכנית המלאה של בית-ספר הקיץ נגישה בקישור: <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=96344>

דרך אותו הקישור אפשר להוריד חומרי לימוד הקשורים להרצאות שהתקיימו במהלך התכנית.

כולן ניתנו על ידי מרצים מהשורה הראשונה, שעסקו בצורה פעילה בתחום שעליו הרצו. התועלת שניתן להפיק מהרצאות מסוג זה תלויה בידע הקיים אצל המורים. הגעתי ל-CERN עם ידע טוב למדי בתחום של פיזיקת החלקיקים האלמנטריים ובטכנולוגיית מאיצים בסיסית. חלק מההרצאות התנהלו לפי הערכתי ברמה של מדע פופולרי ("Antimatter", "Introduction to Particle Physics"), חלקן נכנסו לעומק העניין והציגו מידע בעל ערך רב עבורי ("Introduction to Accelerators", "Introduction to Detectors"). מספר מפגשי Q&A (שאלות ותשובות) עם מדעני CERN מהשורה הראשונה היו בעלי ערך רב עבור מלנו.

פעילויות מעבדה

התכנית כללה שתי פעילויות מעבדה. ה"להיט" היה סדנת בנייה של "תאי ערפל"¹² (cloud chambers), סוג של גלאי חלקיקים. יוצרים מעל לוח מתכתי המקורר בעזרת קרח יבש אדים של איזופרופנול¹³ במצב של חוויית-על וצופים בעקבות של חלקיקים טעונים, שעוברים דרך האדים (מקור החלקיקים בקרינה קוסמית או ברדיואקטיביות הטבעית של הארץ). המתקן פשוט יחסית לייצור (אם כי לא ברור לגמרי מניין משיגים קרח יבש ברואנדה), והתוצאות במעבדה של CERN היו מרשימות. ניסיונתי לשחזר את המתקן ביחשלים הפיקו עד כה תוצאות מרשימות קצת פחות.

בביקור נוסף במעבדות המורים של מחלקת החינוך של CERN ראינו מערכות ניסויים בתחומי המכניקה והאופטיקה שהיו מרשימות בפני עצמן, אך הסתמכו בדרך כלל על מכשור מתקדם, שאינו עומד לרשותם של מורי התיכון הממוצעים.

הדגמות

שלושה מפגשים במהלך התכנית הוקדשו להדגמות ציוד ולא להדגמות של שיטות הוראה. בנוסף לפגישה עם נציגה של חברה גרמנית ידועה שמשווקת ציוד מעבדה, הדגמו שלושה סטודנטים חביבים מאוניברסיטת אוקספורד הבריטית כיצד הם מנסים להלהיב תלמידים ללמוד מדעים באמצעות מופע המכונה Accelerate!¹⁴, שמדגים אפקטים כימיים-פיזיקליים בעלי פוטנציאל דרמטי (כגון רחיפה של גוש על-מוליך בשדה מגנטי). המפגש השלישי נערך עם נציגים של Perimeter Institute¹⁵ הקנדי, שהדגמו דרכים לקרב נושאים בפיזיקה של המאה העשרים ללבותיהם של תלמידי תיכון.

סיוורים

המרכיב המלהיב ביותר בתכנית של HST2010 היה ללא ספק הביקורים הרבים באתרים שונים ב-CERN כגון חדרי הבקרה, מרכז החישובים, הסדנה לבדיקת מגנטים על-מוליכים וכמו גם אתרי ארבעת הגלאים ATLAS, CMS, ALICE ו-LHCb. ברוב האתרים הוקמו תערוכות מצוינות של פריטי חומרה, דגמים ופוסטרים המיועדים לציבור הרחב. בזמן שהאלומה במאיץ ה-LHC פועלת, לא ניתן לרדת למפלסי ארבעת הגלאים הגדולים מטעמים של בטיחות. במהלך שהותנו בבי"ס הקיץ התמזל מזלנו, והאלומה סבתה במשך יומיים לצורכי תחזוקה, כך שיכולנו לרדת למנהרת המאיץ ולצפות בגלאי ה-CMS מקרוב. קשה לתאר את יראת הכבוד שמורי הקבוצה הפגינו בעומדם מול פלא טכנולוגי ענקי זה. הצטערתי מאוד שתלמידי לא עמדו לידי ברגע זה.

<http://teachers.web.cern.ch/teachers/document/cloud-final.pdf> | 12

תרומת כימית דליקה | 13

<http://webnix.physics.ox.ac.uk/accelerate> | 14

<http://www.perimeterinstitute.ca/Outreach/General/teachers> | 15

פיתוח תכניות לימודים



תמונה 2: בכיכר van Hove: מה שנראה כמו כלי נחיתה על הירח הוא תא הבעות (Big European Bubble Chamber) BEBC. התא מכיל מימן נוזלי ושוקל 26 טון. כאשר חלקיק אנרגטי עבר דרך הנוזל, נוצרות בעות לאורך מסלולו. צילומי המסלולים שימשו למדידת המטען והתנע הקווי של החלקיק. BEBC פעל בין השנים 1973-1984 והפיק 3000 ק"מ של סרט צילום. (מתוך <http://cernhst2010.blogspot.com/2010/07/cern.html>)

חלק ניכר מתכנית HST2010 הוקדש לעבודה עצמית של צוותי מורים. יחד עם מורה מרומניה פיתחתי יחידות לימוד בפיזיקה של חלקיקים אלמנטריים עבור תלמידי תיכון והשתתפתי בצוות שעסק בהכנת אירועי ה-"Physics Masterclass". בשעה שהקשר שלי עם העמיתה מרומניה נקטע אחרי חזרתי לארץ, שמרתי על קשר עם מורה מקליפורניה, שעסק כמוני בהכנת Masterclasses, וערכנו מפגשים בין תלמידיו לבין תלמידיי בוועידת וידאו סביב נושאי לימוד בתחום טכנולוגיית המאיצים. על פי סקר בלת-פורמלי שערכתי בין חלק מעמיתי מ-HST2010, מעטים שמרו על קשרים בינלאומיים לאורך זמן.

נגזרות מהתכנית

תכנית ה-Physics Masterclasses

באביב 2011, בעקבות השתתפותי ב-HST2010, לקחתי חלק בהפקת שני אירועים מסוג "Physics Masterclass"¹⁶, אחד מטעם המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן, שבו השתתפו 55 תלמידים מארבעה בתי-ספר שונים, ואחד מטעם מעבדות בלמונטה באוניברסיטה העברית בירושלים, שבו השתתפו 25 תלמידים משלושה בתי ספר שונים. התלמידים למדו מושגי יסוד בפיזיקה של אנרגיות גבוהות בהרצאות של מרצי אורח (כולם חוקרים פעילים), עיבדו נתוני אמת ממאיץ החלקיקים LHC באמצעות סימולטורים ממוחשבים של גלאי ה-ATLAS וה-CMS ובסוף שיתפו בתוצאותיהם תלמידים מרחבי אירופה בוועידת וידאו משותפת מול מנחה ב-CERN. תכנית ה-Masterclasses תמשיך לפעול בארץ גם בשנת 2012.

פעילויות נוספות

מאז חזרתי מב"ס הקיץ ב-CERN, תלמידיי חשופים לניסיונות מוגברים מצדי להזרים להוראת הפיזיקה השוטפת שלי תכנים שקשורים לפיזיקה של אנרגיות גבוהות. עדיין לא הצלחתי לבנות את תא הערפל המושלם, אך לא אבדה תקוותי שבעתיד אצלית. תחזוקת הקשרים עם מורים בחו"ל, שנמצא במהלך ב"ס הקיץ, כחכה במאמץ לא קטן מכל הצדדים.

חלקיקים אלמנטריים בבית-הספר התיכון?

לפיזיקת החלקיקים האלמנטריים ייצוג מינימלי בתכנית הלימודים בפיזיקה ברמה של 5 יח"ל, ומיקוד נושאי הלימוד בעבר והתאמת תכנית הלימודים בהווה מאפשרים למורים בדרך קבע להתעלם מהנושא כליל. לאור מצוקת הזמן שממנה רוב מורי הפיזיקה בארץ סובלים ולאור העובדה שהעיסוק בפיזיקה של חלקיקים אלמנטריים דורש כלים מתקדמים כגון דינמיקה יחסותית ואלמנטים של תורת השדות הקוונטיים, הוויתור על פרק לימוד זה נראה מובן.

עם זאת קיימת סיבה טובה אחת לפחות להכללת הנושא בהוראת הפיזיקה השוטפת: ניתן לארגן את חומרי הלימוד בפרק "קרינה וחומר" על פי נרטיבים שונים, כגון התפתחות תורת הקוונטים הישנה ופענוח מבנה האטום, גילוי תופעת הרדיואקטיביות ופענוח מבנה הגרעין. נרטיב חשוב נוסף הוא בעיניי הניסיון להביא להצלחה את התכנית הרדוקציוניסטית בפיזיקה, שמנסה להסביר את

התכונות של מערכות מורכבות בעזרת תכונתיהן של מספר קטן של אבני יסוד פשוטות. אם אנחנו טורחים ומסבירים לתלמידים שחומר עשוי מאטומים ומולקולות ושאלה מהווים מצבים קשורים של פרוטונים, נייטרונים ואלקטרונים - אין כל הצדקה להסתיר ידע קיים ולהימנע מהוראת המודל הסטנדרטי של החלקיקים האלמנטריים.

עבור מורות ומורים שלרשותם עומד די זמן הוראה, נושא החלקיקים האלמנטריים מהווה כמובן הזדמנות מצוינת לעסוק בפיזיקה של המאה ה-21. לפי ניסיוני, האפקט המוטיבציוני של העיסוק בחומרים אלה אצל התלמידים הוא גבוה מאוד. אפשר רק לשער איזו מוטיבציה הייתה נוצרת אצל תלמידים בעקבות הביקור ב-CERN.

תודות

השתתפותי בבית-ספר הקיץ HST2010 התאפשרה בזכות פרס שהוענק לי במימון ההשתתפות הישראלית ב-CERN, משרד המדע והטכנולוגיה ומשרד התמ"ת. אני מודה להם על כך. ברצוני להודות באופן מיוחד לפרופ' בת-שבע אילון, ראש המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, ולפרופ' גיורא מיקנברג ממכון ויצמן למדע, ראש ההשתתפות הישראלית ב-CERN, על העזרה והתמיכה שהעניקו לי!

נספח: אתרי האינטרנט מטעם CERN

http://public.web.cern.ch/public/	עמוד הבית
http://education.web.cern.ch/education/	מחלקת החינוך
http://teachers.web.cern.ch/teachers/	אתר המורים של CERN
https://teachers.web.cern.ch/teachers/hst/2010/2010.htm	אתר בית-ספר הקיץ HST2010
http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/Welcome.html	התערוכה Microcosm
http://public.web.cern.ch/public/en/spotlight/SpotlightGlobe-en.html	התערוכה Globe



ברכות

**לבוגרי המחזור הראשון של תכנית חטשילד - ויצמן
למצוינות בהוראת המדעים, ברכות לקבלת התואר
השני בהוראת המדעים.**

בוגרי המחזור הראשון של תכנית חטשילד - ויצמן
למצוינות בהוראת המדעים, בטקס הענקת
התארים, מכון ויצמן למדע. מימין לשמאל: חתי
חנן, מיכל ולטר, קובי שורצבורד, טל טפה, קובי
לחאם, זיאד סעדי וטאהא חיג'אזי.