

חלומות וסולמות

האם אנחנו מסייעים לתלמידינו להתפתח להיות לומדים וחוקרים עצמאיים?¹

זאב קרקובר, המרכז הישראלי למצוינות בחינוך, התיכון הישראלי למדעים ולאמנויות והמכון למצוינות בהוראה

פרטים



הדברים להלן מבוססים על אלה שנאמרו בטקס פרס עמוס דה-שליט לשנת תשע"ה ומרחיבים אותם.

תחילת דרכי אל הוראת הפיזיקה



את עמוס דה-שליט הכרתי מן הספר. זהו הספר שהופנינו אליו על ידי מורינו בלימודי המוסמך באוניברסיטה העברית בירושלים. בשלב הזה של הלימודים המרצים מפנים את תלמידיהם גם לספרים שאינם בגדר של ספרי לימוד גרידא. באופן טבעי הופנינו אל הספר הזה במסגרת הקורס בגרעין עיוני, שהרי ספרם של עמוס דה-שליט ויגאל תלמי נקרא "Nuclear Shell Theory". המפתיע היה שמרצים נוספים הפנו אותנו אל הספר הזה. באותה שנה השתתפנו גם בקורס על שימושים בתורת החבורות, שבו שלושה מרצים עסקו בתחומי המוצק, הגרעין והחלקיקים האלמנטריים. היה גם קורס נפרד בחלקיקים אלמנטריים, וכמובן - הקורס "תקיפות סיבוב בתורת הקוונטים". הדבר שיקף את רוח המקום שהוביל קודם לכן

יואל רקח, האב המייסד של הספקטרוסקופיה התאורטית. אכן נאה היה שתלמידי רקח שבירושלים הפנו את תלמידיהם לספרם של תלמידי רקח שברחובות. ובכל זאת היה כאן יותר מאשר מחווה. אכן מדובר בספר שחשוב להפנות אליו. אף שהיה ספר למומחים, היה אפשר ללמוד ממנו גם כספר לימוד. עיקר העניין היה הפיזיקה שבספר, אך אני מצאתי עצמי מתעניין גם בשאלות אחרות: מהו ספר פיזיקה טוב? כיצד לשלב מתמטיקה מרהיבה עם תובנות מילוליות? כיצד לקשר בין המתמטיקה למציאות? כיצד לעמוד באתגר הכתיבה העצום? וכיצד באלה. זה השתלב בשיח שהתעורר בין תלמידי המוסמך. האם ההתעלות מן האסתטיקה המופלאה שבתאוריה, שאותה אנו חווים בקורסים, מתגבשת לכלל תובנה כוללת? האם השליטה במתמטיקה מעידה על הבנה בפיזיקה? האם בעצם יש משהו מעבר לפורמליזם המתמטי? בשיחה עם אחד ממוריני הוא תהה לעצם השאלות. לדבריו, הכול כלול במתמטיקה, ואין מה לחפש מעבר לכך. החיפוש אחרי משמעות שמעבר לכך הוא מיותר. בין שנקבל את דעתו, בין שלא, היה ברור לי שברמה של הוראה (וגם ברמה של עבודה שוטפת במחקר), חשוב מאוד להחזיק גם תובנות חלופיות. מאז ועד עתה, עשרות שנים לאחר מכן, אני משוכנע יותר ויותר שהדבר הכרחי, וכי אנו מפסידים תלמידים טובים מאוד אם מסנן הכניסה לפיזיקה שאנו מציבים בפניהם הוא המסנן המתמטי, אם שיטת הלמידה היא הכנה לקראת מקבץ מסוים של שאלות, ואם המבחנים, שהם מסננים שמופעלים לאורך כל המסלול, הם אלה המסורתניים, שבהם נדרשת התייחסות למספר גדול של עניינים בזמן קצר וקצוב. אציג בפניכם דוגמה לאפשרויות חלופיות. נניח שהשאלה שלנו היא כיצד תשתנה מהירות הגל אם נגדיל את צפיפות המיתר בלי לשנות את מתיחותו. התשובה המקובלת היא שיש נוסחה שעל פיה המהירות מתכונתית הפוכה לשורש הצפיפות, ולכן המהירות תקטן. פחות צפוי לשמוע את התשובה הבאה: אם המסה קטנה, אזי לפי החוק השני של ניוטון המהירות תשתנה לאט יותר,

1 הכותרת "האם אנו מסייעים לתלמידינו להתפתח ללומדים עצמאיים?" רלוונטית תמיד, אך יש לה חשיבות מיוחדת בעת הזאת, מפני שייתכן שנסכיבות חיצוניות גורמות לכך שזוהי שעת רצון.

התהליך של התקדמות הגל יואט, ולכן מהירות הגל תקטן. היתרון של התשובה הזאת הוא בכך שהיא מסתמכת בגלוי על עקרונות ראשוניים ואינה מתחבאת מאחורי נוסחאות, שאולי איננו יודעים מה מקורן. ובכל זאת רבים יטענו שהשימוש בנוסחה עדיף, מפני שהנוסחה מניבה תוצאות ברורות, יש לה חותם כשרות, וקשה לטעות בהצבה, בעוד שהטיעון החלופי הוא נימוק של "נפנוף ידיים" שקל למשוך אותו גם לטעות. רבים יסברו שדרגת הלגיטימיות של הנימוק החלופי נמוכה יותר. האמת היא הפוכה במקרה זה. שהרי הנוסחה תקפה רק לתנודות קטנות, בעוד שהטיעון החלופי תקף לתנודות באשר הן. ייתכן שנכון לפתוח את ההוראה בטיעון המילולי ואחר כך לעבור למתמטיקה של תנודות קטנות, לא בגלל תקפותו העדיפה, אלא בגלל שהוא מאפשר דיון מפורט יותר ברזולוציה גבוהה יותר, בתת-קבוצה חשובה של מקרים.

אם אנו רוצים שתלמידים יוכלו להתבטא גם בצורה כזאת, עלינו לעסוק בכך בשיעור. עם זאת, כידוע, אין מנוס מלהשקיע חלק ניכר מזמן השיעור בהכנה לשאלות אופייניות לבחינת הבגרות, והשאלות האלה אינן תואמות אותה. הסיבה לכך נעוצה במבנה המבחן ובלוח הזמנים שלו. המבחן מורכב מסעיפים שזמן התשובה שמוקצה להם הוא כחמש דקות. זה מאפשר בדיקה של זמינות מידע ומהירות שליפה, אך אינו מאפשר באופן הוגן חשיבה חופשית על עקרונות ובנייה מושכלת ומדודה של תשובה. זה ייתכן בבחינה בעל פה, שבה הבוחנים מסייעים לתלמידים לעמוד בלחץ, או בדרכי הערכה חלופיות. במובן זה השיח העכשווי על למידה משמעותית והערכה חלופית הוא הזדמנות נדירה. אין לראות את השיח הזה כגזרה שיצאה מלפני השליט אלא כהזדמנות להגדיל את מרחב האפשרויות שלנו ללמד בדרך המיטבית².

מִשְׁתַּמוּ לִימוּדֵי הַמוֹסֵמֶךְ, נִתְמַנִּית לֵאסִיסְטַנְט וְשׁוֹבְצָתִי כִּמְתַרְגֵּל. כְּמִי שְׁסִיִּים זֶה עֵתָה אֶת לִימוּדֵי הַמוֹסֵמֶךְ הַפְּקִידוֹ בִּידֵי אֶת הַתְּרַגֵּל שֶׁל הַקּוֹרֵס לְתַלְמִידֵי מוֹסֵמֶךְ "תְּקִיפּוֹת סִיבּוֹב בְּתוֹרַת הַקּוּוֹנְטִים". הַמְּקוֹבֵל בְּאוּנִיבֵרְסִיטָה הוּא לְלַמֵּד הֵיטֵב, אֲךָ לֹא לִשְׁכּוֹחַ שֶׁהַמְּשִׁימָה הָעִיקְרִית הִיא הַמְּחַקֵּר. חָשׁוֹב לְשִׁמּוֹר עַל פְּרוֹפּוֹרְצִיָּה. אֲנִי מִצְאָתִי עֲצָמִי חוֹשֵׁב מֵעַט מֵעֵבֶר לָזֶה. הִיָּה חָשׁוֹב לִי כִּמְתַרְגֵּל לַעֲשׂוֹת הַכּוֹל - לְהִצִּיג אֶת הַיּוֹפִי שֶׁבְּפִיזִיקָה וְאֶת הָאִפֶּקְטִיבִּיּוֹת שֶׁלָּהּ, לְמַצּוֹא מְשִׁמְעוֹת, לְהַתְּבַטֵּא חֲלוֹפִית מְדִי פֶּעַם, לְהִצִּיג נְרִטִיב וְעוֹד. זֶה הִיָּה גַם בְּהַמְשָׁךְ, כְּשֶׁתְּרַגְּלָתִי בְּקוֹרְסִים אֲחֵרִים, בְּפֶרֶט בְּקוֹרְסֵי תְּוֹרַת הַקּוּוֹנְטִים. בְּשֶׁלֶב זֶה כִּבְרָה יֵייתִי נִתּוֹן עִמּוֹק בְּכַתִּיבָה שְׁלוֹתָה אֶת מַעֲשֵׂה הַתְּרַגֵּל. מִכָּאן וְאֵילָךְ הֵייתָ הַדֶּרֶךְ בְּרוּרָה - אִיבְדַתִּי פְּרוֹפּוֹרְצִיָּה, וְהַעִיסוֹק בְּחִינּוֹךְ לְפִיזִיקָה, עַל כָּל הַיִּבְטִיּוֹ, הַשְּׁתַלֵּט עַל זְמַנִּי יוֹתֵר וְיוֹתֵר, וְטוּחַ הַגִּילִים שֶׁעֲסָקְתִי בּוֹ הַתְּרַחֵב וְהַחֵל לְכַלּוֹל גִּילָאִים צְעִירִים יוֹתֵר וְיוֹתֵר. עַד הֵיכָן תִּמְשָׁךְ הַמְּגַמָּה הַזֹּאת? יָמִים יִגִּדּוּ. נַחִיהָ וְנִרְאָה.

התיכון הישראלי למדעים ולאמנויות

אתעכב כאן בקצרה על התיכון הישראלי למדעים ולאמנויות, מפני שהוא רלוונטי במיוחד לאירוע הזה. הגעתי אליו כהתנסות לזמן קצר ואני ממשיך ללמד שם עד היום - זו השנה העשרים וחמש. כאשר פנו אליי לקראת פתיחת בית הספר בשאלה אם אהיה מעוניין להצטרף לבית ספר מיוחד כזה, הבנתי כי זוהי הזדמנות חשובה להשתתף באופן פעיל בהוראה בתחום החשוב והמכונן של בית הספר התיכון, וכי הדבר יועיל מאוד גם לתחומי הפיתוח והכתיבה שמעניינים אותי במקביל. בתחילת הדרך הערכתי כי יידרשו שלוש-ארבע שנים לכנות את סגנון העבודה הראוי לבית ספר כזה, כאשר הדברים נעשים עם עמיתים יוצאים מן הכלל, ואכן כך היה. כעבור שלוש-ארבע שנים כבר התגבש הדפוס שבו פועל בית הספר עד היום, עם התאמות מתחייבות.³ לכאורה, הושלמה המשימה. ובכל זאת, אני עדיין נמצא בבית הספר. מדוע? ההסבר הפשוט הוא שאינני יכול לעזוב עד שאעשה את זה פעם אחת

2 השיח על "למידה משמעותית" מרתיע משהו, מפני שהאמירות "עוברים ללמידה משמעותית" ו"ישראל עולה כיתה" משדרות מסר כאילו קודם לכן היו מעשינו חסרי משמעות. נכון יותר להשתמש באמירה "מאפשרים למידה משמעותית", לאמור: אנו מכירים ברצונם של המורים ללמד משמעותית וסומכים עליהם, ומעלה גם מאפשרים להם לעשות זאת בהיקף הנכון, בבחירה נכונה (שהם עושים) של רעיונות מדעיים, פרקי תוכן, דרכי הוראה ושיטות הערכה, ולא רק כמעשה התנדבותי שלעתיים הוא שולי ואפילו חתרני.

3 הדפוס הזה כולל בחירה של כל תלמיד במגמת המדעים ב"מדע ראשון" שאותו הוא לומד ברמה גבוהה (מעבר למקובל בבתי הספר). מי שבחר שפיזיקה היא המדע הראשון שלו, מוצא עצמו בקורס מתקדם. לדוגמה: כיוון שהחוק השני של ניוטון הוא משוואה דיפרנציאלית, כך נתייחס אליו. לא נעסוק רק במקרים של תאוצה קבועה. אם יהיה צורך, נפתור משוואה דיפרנציאלית באופן אנליטי או נומרי. עבודה ניסויית תופשת חלק משמעותי מן הלמידה לכל אורך הדרך. עבודה בעלת אופן מחקרי נעשית בדרגות שונות. בשלב מסוים תלמידים עוסקים בחברותא במשך שנה שלמה במחקר מעמיק. במהלך השנה יש שבוע שבו הלימודים הסדירים בבית הספר מושעים, והתלמידים עובדים בו כממכון מחקר. רוחב אופקים בדיסציפלינה, ומעבר לה, הוא מובן מאליו. האם מדובר בקורס אקדמי? יש אצלנו היבטים כאלה, אך הקורס האקדמי המקובל שמתמחה לעומק בגומחה שלו, בלי לטוות קשרי רוחב בתוך הדיסציפלינה, ומוחוץ לה, אינו מתאים לתפישות החינוכיות שלנו.

נכון (דומה שזה יבטיח לי חיי נצח). ההסבר הנכון הוא, שאין עוזבים אם המקום נכון, ואין עוזבים תלמידים שרוצים ללמוד ורואים בלמידה ערך גבוה מאוד. סיבה נוספת לכך שאני עדיין בבית הספר היא ההבנה הברורה שהדבר חיוני להמשך פעילותי בהבטים אחרים של החינוך לפיזיקה.

האם אנו מכינים את תלמידנו להיות עצמאיים?

כאשר חשבתי על מה שנכון לדבר עליו באירוע כזה בעת הזאת, עלו בדעתי דברים שאמרתי לתלמידי לפני כעשרים שנה בשיחת הפרידה שלנו. ביקשתי לומר להם למה פָּנַנּוּ בתהליך הלמידה שלהם. הצגתי את הדברים באמצעות מטפורה. כאשר אני חושב היום על הדברים, נראה לי שהם עדיין תקפים, וכי אפשר להרחיב מרמת התלמידים, לרמת החוקרים, לרמת הדיסציפלינה ולרמת המורים. אני מבקש לשתף אתכם בדברים.

אחת השאלות המרכזיות שעומדות בפני הורים ומורים היא "האם אנו מכינים את ילדינו ותלמידינו לחיים?" יש שני עניינים עיקריים שעלולים לקלקל. האחד נעוץ בצורך שלנו להגן עליהם בתהליך החניכה, שמשאיר אותנו בתהייה מה יקרה כאשר לא נהיה שם להגן עליהם. האם הם מוכנים למציאות כאשר יהיו בלעדינו? העניין השני הוא המסלולים שאנו בוחרים בעבורם, שאולי יתברר שהם היו נכונים לנו, אך פחות להם. שאלה זו מלווה הורים כאשר ילדיהם עוזבים את הבית כדי ללמוד במקום רחוק או למטרות אחרות שאנו חשים שיש בהן סיכון. זוהי השאלה שעומדת גם בפני המורים.

המטפורה של החלום והסולם

את המטפורה לעניין זה אני שואב מסיפורו של יעקב בספר בראשית, שנאלץ בשלב מסוים לעזוב את הבית. הוריו חשים כי יש סכנה ממשית שמחייבת יציאה מיידית בלי שיש זמן להכנה נוספת ולליווי. האם יעקב מוכן? דומה שלא. הוא מוצג כ"איש תם יושב אהלים". אמו מסדרת בעבורו את הדברים. אנו תוהים כיצד יתמודד. אנו תוהים אם הוריו משוכנעים ביכולתו לשרוד. הוא יוצא לדרך, ועם לילה מתברר שהתנאים אכן קשים. יעקב מוצא עצמו ללא ליווי, ב"שומקום". הוא איננו במלון אורחים, אלא ב"שטח". הוא נוטל אבן שמשמשת לו כְּכָר למראשותיו. זה הלילה הראשון שלו בלי אמא, בחוץ, חשוף לשודדים ולחיות טרף. האם ישרוד? ובכן, מתברר שיעקב עובר מטרמורפוזת בלילה הזה. הוא חולם חלום מכונן, שיש בו הבטחה. הוא קם בבוקר ולוקח על עצמו התחייבות. יוצא לדרך במרץ - "וישא יעקב רגליו", מתאהב ממבט ראשון ברחל וגולל מעל הבאר אבן בכוחות עצמו, שבתנאים רגילים נגללת על ידי כל הרועים יחד. מניין באו הכוחות האלה? מה קרה בחלום? חלום הוא אחד מסוגי עיבוד המידע והמחשבות שלנו. משהו בחינוך של יעקב סיפק את האפשרות שהחלום הזה יהיה מכונן. הוריו עשו כנראה משהו נכון.

ננסה להציע פשר לחלום הזה, הנפלא מכל חלום. מה רואה יעקב בחלומו? "וַיַּחְלֵם וַיְהִי סֵלֶם מְצָב אֲרֻצָּה וְרֵאשׁוּ מְגִיעַ הַשְּׂמִימָה וַיְהִי מְלֶאכִי אֱלֹהִים עֲלָיו וַיְרִדִים בּוֹ". אני מבקש לספר לכם מעט על הפיזיקה של החלומות ושל הסולמות.

אנו מבקשים ללמד את ילדינו ואת תלמידינו להיות מסוגלים לעלות בכוחות עצמם. כדי לעלות אנו מציבים סולם. חשוב מאוד שהסולם יהיה יציב, שאם לא כן, הם לא יצליחו לעלות ואולי ייפגעו. לשם כך יש לוודא שהסולם מוצב היטב ארצה, לפחות עם חיכוך סטטי, אם לא למעלה מזה. את צדו השני של הסולם יש לתמוך במקום גבוה, כדי שאפשר יהיה לעלות. לשם כך יש צורך בקיר - בהורה או במורה. אלה תומכים בסולם ומאפשרים עלייה. כך הצעירים יכולים לעלות עוד ועוד, כל זמן שנהיה מסוגלים לתמוך בסולם בשני קצותיו.

מה יהיה כאשר התלמידים יעזבו אותנו? מי יחזיק בעבורם את הסולם בקצה העליון? האם אנו מכינים אותם לכך? באותה שיחה עם תלמידי הסברתי להם שזוהי מטרתנו בבית הספר, לסייע להם להגיע למצב שבו הם יוכלו להעמיד בעצמם את הסולמות שלהם ולחלום את החלומות שלהם. בסיום דבריי קראתי להם לחלום חלומות ולהעמיד סולמות בהמשך דרכם. חלומות כאלה וסולמות כאלה שהאדם מציב בעצמו, הם הם הישגיו הגדולים. הם המאפשרים לו לראות בעיני רוחו מלאכי אלוהים עולים ויורדים.

הסולם של החוקרים ושל התלמידים

המטפורה של הסולם רלוונטית לא רק לתלמידים, אלא גם לחוקרים. החוקרים נמצאים בחזית הידע. את הסולמות שלהם הם מציבים כך שקצה אחד שלהם נמצא בתחום שעדיין אינו מוכר. עליהם לבסס צד אחד של הסולם, אך הצד האחר נמצא במקום לא ידוע. גם התלמידים נמצאים בחזית הידע. זו אינה חזית הידע של כלל האנושות, אך זוהי חזית הידע שלהם. גם הם נמצאים באי-ודאות. המורים נמצאים שם כדי לצמצם את הנפילות. השאלה היא אם הם מאפשרים לתלמידים להתחיל להתנסות במצבים שבהם המורים תומכים פחות. או שהתלמידים ישלימו שתיים עשרה שנות לימוד ולא יתקדמו כלל בכיוון זה.⁴

יש כאלה שרואים בהבטחת ההצלחה מראש את עיקר תפקידם. הם מעגנים היטב את הסולם בתחתית, כנדרש. הם גם מעוניינים לעגן היטב את הצד השני. הם אינם יכולים לעגן את הצד השני במקום גבוה יותר, שהרי אין עדיין במה לעגן אותו שם, ולכן הם מציבים גם את הצד השני על פני הקרקע. הם מהלכים בבטחה. אנו נבהיר להם שהם אינם מתעלים, אלא מהלכים על פני השטח. אחרים יכנו אותם "שטחיים". יש כאלה שרוצים מיד להגביה עוף. הם מציבים את הסולם גבוה, בשמים, ללא עיגון בקצותיו. הם ימצאו בתחושה של ריחוף והתעלות. אחרים יטענו שהם "אסטרונוטים" ו"רחפנים". אנו נצפה בהם בחשש גדול לקראת התרסקותם הבלתי נמנעת. העמדת סולמות כאלה שמעוגנים היטב בקרקע אך גם נתמכים בשמים, כאשר הכובד מושך אותם כלפי מטה והרוח מושכת אותם כלפי מעלה, היא עניין שמחייב התנסות רבה והשראה. כאשר היא צולחת, המלאכים נוכחים. נדבר מעט על אי-הוודאות שכרוכה בדבר.

פעולה בתנאי אי-ודאות

העמדת סולמות שראשם נמצא גבוה (בשמים) היא פעולה בתנאי אי-ודאות. קשה לראות למרחקים כאלה. הרזולוציה נמוכה. העננים מסתירים. גם הסיוע לצעירים להתנסות בהעמדת סולמות בעצמם הוא פעולה בתנאים גבוהים של אי-ודאות. הנה דוגמה של פעולה בתנאים כאלה. מנתח המוח פועל בתנאים כאלה. במהלך הניתוח עשויות לצוץ הפתעות. כדי לפעול בתנאים מיטביים, המנתח מתרכז במתחם הקטן של הרקמה שבה הוא פועל. אם הוא נזקק לאזמל - הוא יושיט ידו, בתקווה שמלאך יניח בידו את האיזמל, וכך קורה. הוא לא יפנה את ראשו מן המשימה. אם ירצה לוודא מהם הנתונים השוטפים של המדדים הרפואיים, עומד לרשותו רופא מרדים שמתמחה בעניינים אלה.

הוראה כפעולה בתנאי אי-ודאות גבוהה

למעשה, הוראה היא מקצוע בתנאי אי-ודאות גבוהה במיוחד. המורים נמצאים בכיתה כאשר עליהם לפעול בחזיתות רבות בעת ובעונה אחת. עליהם לדייק במסריהם לתלמידים, בין שמדובר בדיוק המדעי ובין שמדובר בהיבטים הדידקטיים. עליהם לשלוט היטב בלוח שיהיה מדויק, בהיר ונהיר. עליהם לוודא שהמערכת הניסויית שהם מציגים (או המערכות שבהן צוותי התלמידים עובדים) פועלת ומופעלת כהלכה. על המורים לזהות את רוח הכיתה, שהרי היא עשויה להיות תלויה בשאלה אם היה בשיעור הקודם מבחן

4 למידה בדרך של חקירה היא דרך אפקטיבית למטרה זו. יש בארץ מורים שפועלים כך. קבוצה חשובה (אחרת) שעושה כך תציג היום בכנס את דרכה. דברים דומים נעשים בתיכון הישראלי למדעים ולאמנויות ובמקומות אחרים. תראו היום גם רעיונות נוספים ללמידה בסגנון מרחיב דעת. אל תירתעו משאלת ההערכה, שהרי היא אמורה להתאים עצמה ליעדים שתציבו ולא להפך (ברוח זו דיברה בכנס גם פרופ' מרים בן פרץ). התחילו בהגשמת חלומותיכם, ואת תהליך ההערכה נגבש תוך כדי תנועה. ומכל מקום, עניין ההערכה מצריך דיון נרחב ממה שמתאפשר לנו בכנס הזה.

האפשרות לתת לתלמידים להיות עצמאיים, ואולי ממש לחקור, אינה מקובלת בתחום הפיזיקה. יש מסורת חזקה לא להניח זאת לתלמידים עד לעבודת המוסמך שלהם. דומה שאנו מעוניינים שהתלמידים ימלאו כרסם בידע מוכתב ובתרגול בטרם נתיר להם להיות יצירתיים. החשש משרלטנות משתק אותנו. גם אימת התפיסות השגויות מונעת מאתנו לאפשר לתלמידים לעשות משהו שלא בפיקוחנו המלא. כנראה שהרחקנו לכת בעניין זה. יש מקום לתפיסה מאוזנת יותר. התלמידים יצאו נשכרים מכך.

המהדרין שבינינו מחשיבים את המחקר מסיבה נוספת. המחקר מזמן מצבים בלתי צפויים. במצבים כאלה התלמידים זוכים לראות את המורים שלהם חושבים. בלמידה השוטפת המורים הם יודעי-כול. התלמידים אינם יכולים להבין מהם מתי הדברים אמורים להיות פשוטים ומתי לא, שהרי הכול כבר ידוע למורים, שיוצעים לפתור את כל הבעיות ללא צורך בהרהור נוסף. מצבים בלתי צפויים מזמנים למידה מן המורים כפי ששוליות לומדים מרובם. במצבים כאלה התלמידים רואים כיצד אדם מנוסה יותר ניגש להתמודדות עם הדברים - מה הוא בודק תחילה, מהם שיקוליו, האם יטפל במערכת הניסויית או אולי יחזור לבחון את ההנחות העיוניות. זוהי הזדמנות למידה יוצאת מן הכלל. אין מדובר בהטלת חובה על מורים, אלא במתן האפשרות לבחור גם בדרך הזאת, ובסיוע למורים שמוכנים להיכנס גם לסגנון הוראה כזה כפן נוסף בדרכי ההוראה שלהם.

במתמטיקה או שיעור ספורט. עליהם לזהות מה מצבו של כל תלמיד - מי נמצא אתו ומי איננו. הם מנסים להבין, על סמך ידע מוקדם, מדוע כל תלמיד חש כפי שהוא חש ומתנהג כפי הוא מתנהג, ולא עומד לרשותם כל המידע על מה שעבר על תלמידיהם אתמול. כל הפעולות האלה נעשות בו-זמנית בתנאי אי-ודאות. לעומת מנתחי המוח, שעומד לרשותם צוות מקצועי, המורים פועלים לבד (לפחות במהלך השיעור). אין מי שיניח בידם איזמל. לא עומד לרשותם מורה מרדים (וזה גם אינו נשמע טוב). הבשורה הטובה היא שיש לנו קבוצה מצוינת שעושה זאת בהצלחה גדולה (מורי הפיזיקה). אם כך, המצב אינו אבוד. יש לנו על מי לסמוך גם כאשר נרצה לסייע לתלמידים לפעול בתנאי אי-ודאות.⁵

פיזיקה כסולם

המטפורה של הסולם רלוונטית גם לעיסוק בפיזיקה. מדע הפיזיקה מגשר בין שמים וארץ. אנו מבקשים להבין את המציאות בהיבטיה הגשמיים ביותר, באמצעות טוויית התאמה חד-ח-ערכית לתאוריות שנבנות בתודעתנו, שהן הדגמים המנטליים המופשטים ביותר. אנו מעוניינים לקחת מידע מן המציאות הגשמית ממש ולהשתמש בו כדי לעצב את הדגם המופשט לגמרי. אנו מבקשים להשתמש בדגם המופשט כדי להסיק על המציאות הגשמית. המדע הוא מהלך מתמיד בין שני הקצוות המרוחקים ביותר שאפשר להעלות על הדעת. עצם העובדה שהדבר אפשרי היא בגדר של פליאה, שראוי לה להיעשות על ידי מלאכים שעולים ויורדים בסולם האינסופי הזה. פעולה זו מלווה במעשי גישור נוספים על פני אוקיינוסים - בין תאוריה לניסוי, בין ייצוגים מתמטיים לבין ייצוגים אחרים (מתמטיים ולא מתמטיים), בין מדע לבין יישום, בין מדע לבין חברה, בין מדע לבין הומניסטיקה, בין מדע לבין נפש האדם. זו הסיבה שאנו מאמינים כי לימודי פיזיקה הם בעלי חשיבות עליונה לכל צעיר שיש בו שאר רוח, בלי קשר לשאלה אם יצטרף בהמשך לצבא ההי-טק הכה חיוני. כל בחור וטוב ראוי לו שיתנסה במסע המופלא עם המלאכים על הסולמות האלה, שמגשרים על המרחקים הגדולים ביותר, גם אם יעסוק בהמשך דרכו בכלכלה, בחברה, במשפטים וכיו"ב.

רגעי התעלות בכיתה

הוראת פיזיקה מזמנת רגעי התעלות. אלה הם הרגעים שבהם דומה עלינו שכרגע חלף כאן מלאך. כידוע, המלאכים הם חמקמקים, אך זה מועיל להם חלקית בלבד - ראינו אותם. כאשר מזדמן לי לראות את הדבר מתרחש בין מורים לבין תלמידיהם, אני אומד את המרחק אל דלת הכיתה במטרה לבחון אם אוכל לעזוב חרישית את המקום, שהרי בהיותי מודד חיצוני, אני עלול להשפיע על המערכת הנמדדת ולהרוס את האותנטיות שלה, שהיא תנאי הכרחי לזיהוי מלאכים. ויש גם מלאך אחד שאותו אני רואה מדי פעם בכיורו, עומד לפני הכיתה ומסביר, עובר בינות התלמידים ומעמיק שיח, פורט על מיתר בלב תלמידיו, בדיוק בתדירות העצמית, אך גם מביא אותם להיכרות עם תדירויות אחרות. סולמות אינסופיים שמוחזקים בתנאי אי-ודאות, זקוקים לתחזוקה של מלאכים.

הצורך בעידוד

מדוע אני מטריח אתכם בדיבורים על מה שאתם כבר יודעים וכבר עושים כדרך חיים (אולי בניסוח קצת שונה)? אני עושה זאת כדי

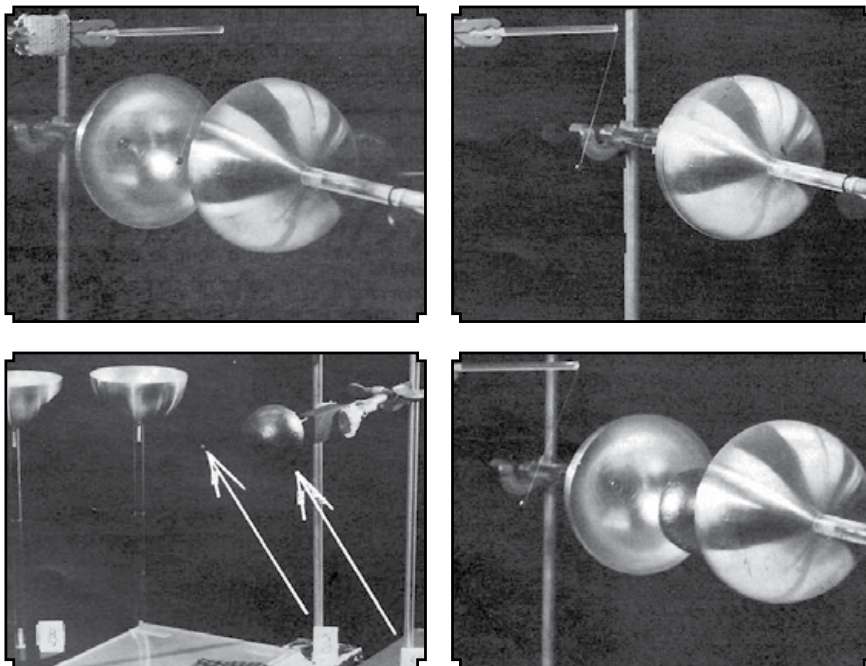
5 כיוון שמלאכים מלווים אותנו לאורך כל הדיון הזה, ניזקק להם כדי ללמוד מהו התנאי ההכרחי לפעולה בתנאי אי-ודאות. בספרות ההיכלות הקדומה יש רשימה של דברי שבח שאומרים המלאכים. לרשימת השבחים יש אופי של המנון, והם ערוכים בסדר האלף-בית. בגרסה המקובלת כיום של ההמנון הזה (שמכונה לפי מילותיו הראשונות "האדרת והאמונה"), מילות השבח מסודרות בזוגות - שתיים לכל אות. בדרך כלל אלה הן מילות של האדרה (לדוגמה: ההוד וההדה, החייל והחוסן, התהילה והתפארת...). בתוך הרשימה הזאת מושכות את לבנו זוג מילות השבח שמתחילות באות עין: "העוז והענווה לחי העולמים". בעוד העוז מעיד על כוח, הענווה מעידה על איפוק. זה אינו מפתיע, שהרי מצאנו במסכת אבות "איזהו גיבור - הכובש את יצרו". ובכל זאת דומה שמדובר בתכונות הפוכות. העוז מעיד על התנהגות מוחצנת יותר. הענווה מיוחסת להתנהגות מופנמת יותר. החלום קרא ליעקב לצרף להתנהגותו המופנמת גם צד גלוי, של התמודדות חזיתית. מכאן ואילך יעקב תמרן בין שתי ההתנהגויות. זהו התנהגות מורכבת. זה כרוך במאבק, אך זה הכרחי. ייתכן ש"חי העולמים" יכול להכיל את שני הדברים כמובן מאליה. אצל בני תמותה ההתמודדות עם הדואליות ההכרחית הזאת כרוכה במאמץ. לפעולה במתח הגבוה שבין עוז לבין ענווה יש פרות חשובים, שהרי היא מחייבת אותנו להתאמץ לא לזיף, ולעסוק בהיבטים של חסד ואמת, שהם סם החיים של החינוך. במתח הזה שבין העוז לבין הענווה, מתעצבת המשמעות. פעולה בתנאי אי-ודאות מחייבת שילוב של עוז וענווה. אם נפעל רק בעוז, בלי שתהיה בנו הענווה להבין את המורכבות והקושי, יתקבל כישלון מפואר. אם נפעל רק בענווה ונפנים לעומק את הקושי, בלי שנהיה מסוגלים להעז, לא נתרומם. אם יש סיכוי לדברים, הוא מותנה בשילוב של עוז וענווה. השילוב הזה מכל מערכת של איזונים שסייע ליציבותו של הסולם המטפורי שלנו. הדברים האלה הם קריאה לבחון את ההזדמנויות שבפנינו בעוז ובענווה - להעז באופן מושכל.

לעודד אתכם להמשיך לעשות את מה שאתם עושים. העידוד הזה אינו מיותר, שהרי כל דבר שנעשה בתנאי אי-ודאות מעורר מידה של ספקנות. יש כאלה שישדלו אתכם להתרחק מאי-הוודאות ולעסוק במה שהוא קרוב לוודאי, כלומר: להתרחק מן הקשה אל הקל, מן המשמעותי אל מה שפחות משמעותי. ייתכן שההתרחקות הזאת תסייע לכם להימנע ממצבים של הצלחה חלקית ואפילו תסכול, שהיא מנת חלקם של מתקני עולם. אין לנו אשליה. אנו יודעים שעבודה בתנאי אי-ודאות מזמנת גם אכזבות, אך בריחה ממנה מקצרת סולמות ומקצצת כנפי מלאכים.⁶ זו הסיבה שאני מסיים את דבריי לציבור המיוחד הזה, שבגדי החורף שלו מכסים את כנפיו, בדברי עידוד: המשיכו לחלום חלומות ולהעמיד סולמות, שהרי כאשר אתם מעמידים סולם שכזה - מְלַאֲכֵי אֱלֹהִים עֲלֵיִם יִרְדּוּ בָּו.

6 אי-ודאות אינה רק רע הכרחי. אי-ודאות היא הזדמנות לביור עניינים. תלמידים שמקבלים את הכול סדור מרביתו עשוי להחמיץ עניינים ועמוקים, שנולדים כאשר מתרחשת התמודדות אמיתית. אין הכוונה שעלינו להטיל את התלמידים למערבולת ולהניח להם לטבוע, כדי לזהות מי מצליח לצוף. התמהיל בין למידה סדורה ו"בטוחה" לבין למידה קונסטרוקטיביסטית, שבה הלומדים רוכשים את הדברים מתוך מידה של ביור עצמי, הוא עניין עדין ואינדיווידואלי, שלא יוכל להבינו מי שתמיד לימד בצורה בטוחה, מחשש שהתלמידים ירכשו תפישות שגויות כאשר הם מבררים עניינים לעצמם ללא השגחה צמודה. החששות האלה, ומבנה בחינת הבגרות, עלולים לעודד גורמים שלוחצים על המורים להסתלק לגמרי מהפעלת למידה קונסטרוקטיביסטית בכיתתם, אפילו בחלק קטן מתהליך ההוראה שלהם. מורים שמותירים חלק מתהליך ההוראה בסגנון שיש בו מידה של אי-ודאות, מסייעים לתלמידים להבנות דברים לעומק, זה מתרחש, בין היתר, במקומות שבהם התלמידים גם חוקרים בהיקף מסוים (תחת השמות פרויקטים, עבודות חקר...).

למידה כזאת מעמידה את מושג הטעות באור חיובי - משגיאות לומדים. מי שחוקרים טועים, לומדים, מתקנים ויודעים טוב יותר. למידה בדרך זו מגדילה את הביטחון של התלמידים ואת רצונם להיות לומדים עצמאיים ומעמיקים. דומה שלעתים המצב הוא הפוך - אנו נמצאים בתרבות שבה השגיאה היא עדות לכישלון. על שגיאה קונסטיטוטיונית ומעניינת, ובעקבות זה חוצצים את העתיד של התלמידים בהמשך לימודיהם בהשכלה הגבוהה. תלמידים מפנימים שאין מקום להסתכן כדי להבין יותר, מפני שמערכת ההערכה אינה מאפשרת מנגנון של למידה ותיוקון (אי אפשר לעשות זאת בחמש דקות). מתבקשת, אפוא, הכללת סגנון אחר של למידה והערכה, בחלק ממסלול הלמידה.

ברכות לאלה שתקוהו על כתיבת הפרס השנתי למורה המצטיין לפיזיקה
צ"ש צמוס דה-סלס לשת תשצ"ה



"האם סיכור אלקטרוסטטי פועל בשני הכיוונים?", א. בגנו וצ. גלר - תהודה 20-1