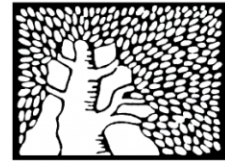


מכון ויצמן למדע

WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE



"תויטנגמורטקלאב םיגשומ ןוגרא"

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Citation for published version:

Bagno, E & Eylon, BS 1989, "תויטנגמורטקלאב םיגשומ ןוגרא": 'הרזח תרבוה : הדוהת, ןולע : הקיסיפה הרומל ןולע, vol. 13, no. 1, pp. 19-28. <<https://ptc.weizmann.ac.il/?pg=Editions&Page=1&EditionID=43>>

Total number of authors:

2

Published In:

הקיסיפה הרומל ןולע : הדוהת

License:

Other

General rights

@ 2020 This manuscript version is made available under the above license via The Weizmann Institute of Science Open Access Collection is retained by the author(s) and / or other copyright owners and it is a condition of accessing these publications that users recognize and abide by the legal requirements associated with these rights.

How does open access to this work benefit you?

Let us know @ library@weizmann.ac.il

Take down policy

The Weizmann Institute of Science has made every reasonable effort to ensure that Weizmann Institute of Science content complies with copyright restrictions. If you believe that the public display of this file breaches copyright please contact library@weizmann.ac.il providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

"ארגון מושגים באלקטרומגנטיות" - חוברת חזרה

אסתר בגנו ובת-שבע אלון, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

בשנת 1988 יצאה לאור מהדורה מתוקנת של החוברת "ארגון מושגים באלקטרומגנטיות", המיועדת לתלמידים הלומדים פיסיקה ברמה של 4-5 י"ל. החוברת משמשת חזרה מבהירה ומסכמת של חומר הלימוד בחשמל, מגנטיות והשראה אלקטרומגנטית.

1. מטרת החוברת

"המטרה העיקרית של כל מדע היא להגיע לכדי צמצומו למספר קטן ככל האפשר של עקרונות" המשפט המצוטט מיוחס למקסוול ומעיד על הסתכלותו של אדם שמשוואותיו המפורסמות (משוואות מקסוול) מסכמות באופן תמציתי את תחום האלקטרומגנטיות. תחום זה כולל את תורות החשמל והמגנטיות שנחשבו לפני תקופתו של מקסוול לתחומים נפרדים. מקסוול הצליח לנסח את הקשר ביניהם באופן מתמטי ולהעניק לתחום האלקטרומגנטיות את המבנה הקוהרנטי היפה שלו.

כידוע, מהווה נושא האלקטרומגנטיות נדבך חשוב ומרכזי בלימודי הפיסיקה בכיתות הגבוהות של ביה"ס התיכון, ומן הראוי היה שהמסר המנוסח במשוואות מקסוול אכן יגיע גם לתודעתם של התלמידים. בבדיקות שערכנו (ראה להלן), מצאנו שקליטתו של נושא האלקטרומגנטיות דורשת מאמץ רב מהתלמידים, והוראת הנושא גורמת לתיסכול לא מבוטל למורים.

נראה לנו, שהקושי נובע משתי סיבות עיקריות:

1. המושגים הנלמדים אינם אינטואיטיביים והם מנותקים מעולם המושגים וההתנסויות היום יומיות של התלמיד. מבחינה זו שונה קורס האלקטרומגנטיות מקורס המכניקה בו יכול התלמיד לקשור מושגים כמו כוח ומהירות להתנסויותיו היום יומיות. גם אם הבנת המושגים הנלמדים במכניקה איננה שלמה, ולעיתים אף מעוותת, הרי שהקישור עם עולם המושגים של התלמיד מקל על יצירת תמונה ברורה של החומר הנלמד.
2. כמות המידע הנלמד במסגרת קורס האלקטרומגנטיות רבה, והחומר הוא בעל גיוון רב.

כדי לחקור ביתר פירוט את הסיבות לקשיים בלימוד האלקטרומגנטיות, נוח לחלק תחום זה למרכיבים הבאים:

- א. אוסף המושגים המרכיבים את התחום. לדוגמא: "מטען", "שדה".
- ב. אוסף הקשרים בין המושגים הנ"ל. לדוגמא: "מטען יוצר שדה חשמלי".
- ג. אוסף הפרוצדורות המיישמות את המושגים והקשרים ביניהם בפתרון בעיות. בדקנו מיומנותם של תלמידים בכל אחד מהמרכיבים הנ"ל, ומצאנו קשיים בשלושתם:
1. כאשר תלמידים מתבקשים לסכם את הרעיונות החשובים אשר נלמדו בקורס האלקטרומגנטיות הם כותבים סיכומים מקוטעים המדגישים נושאים שאינם מרכזיים, ואילו תאור כלשהו של רעיונות הקשורים במשוואות מקסוול, מופיעים בתדירות נמוכה (מרכיב א').
2. הבנתם של המושגים שהשימוש בהם רב, לוקה בחסר. לדוגמא, תלמידים רבים אינם מבחינים בין המושגים פוטנציאל והפרש פוטנציאליים (מרכיב ב').
3. תלמידים נתקלים בקשיים כאשר הם ניצבים בפני תירגול המחייב בחירה סלקטיבית של דרכי פתרון ולא חיקוי של פתרונות סטנדרטיים שהודגמו בכיתה (מרכיב ג').

לדעתנו, כדאי לעזור לתלמידים שסיימו את הקורס באלקטרומגנטיות לגבש לעצמם תמונה קוהרנטית ונכונה של החומר הנלמד. יש לשער, שכתוצאה מכך, יוכלו לבצע טוב יותר מטלות הנדרשות מהם במסגרת בית הספר וגם יזכרו לטווח ארוך אספקטים חשובים של החומר הנלמד, אם לצורך השכלה כללית או ככסיס ללימודי המשך.

כדי להשיג את המטרה הזאת פותחה חוברת עבודה אשר באמצעותה בונה התלמיד מפת מושגים הירארכית המסכמת את המסר של משוואות מקסוול. מפה זו נעזרת בתיאורים מילוליים, שכן מצאנו שלתלמידים בבית הספר התיכון קשה לגבש תמונה איכותית ישירות מלימוד משוואות מתמטיות. הם אינם רואים את המשמעות האיכותית של ביטוי מתמטי או חוק פיסיקלי, וזקוקים לייצוג יותר אינטואיטיבי (חזותי ומילולי) הקושר הבנה איכותית להבנה מתמטית.

החוברת שתואר להלן, מנסה לשפר, במסגרת חזרה על החומר, את הבנת המושגים והחוקים שנלמדו וכן להמריץ את התלמיד לגבש לעצמו תמונה ברורה של החומר הנלמד.

II. מבנה החוברת

כל תוספת לתוכנית הלימודים בכיתה י"ב חייבת לקחת בחשבון את העובדה שהתלמידים נמצאים בשלב זה בעיצומו של המרוץ לקראת בחינות הבגרות. יש לשער על-כן שתלמידים ילמדו חומר נוסף רק אם ישתכנעו שהוא יועיל להם לפחות בטווח הקצר. גם המורים זקוקים בכיתה י"ב לכל שעה על מנת להשלים את החומר הנדרש לבחינות הבגרות ולא יוכלו להקציב שעות לחומר נוסף. לכן, חוברת החזרה באלקטרומגנטיות ניתנת לתלמידים לאחר סיום לימוד החומר בכיתה כעבודה עצמית בבית, ומשמשת לתירגול המסכם את הנושא. היא מכילה בעיות שהתלמיד פותר ממילא במסגרת החזרה הכללית, ואינה דורשת ממנו יותר מ-4 שעות בממוצע. החוברת מנסה להביא את התלמיד ליצור בכוחות עצמו תאור קומפקטי של החומר אשר כולל "מושגי מפתח" באלקטרומגנטיות (B, i, V, E, q) והקשרים שביניהם. קשרים אלה מיצגים את משוואות מקסוול.

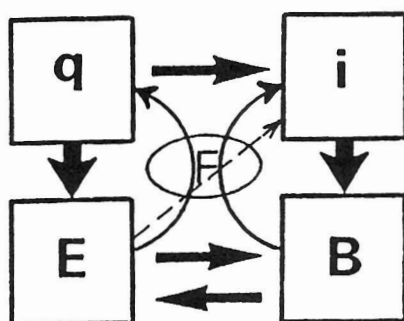
הכלי הדידקטי שבו נעשה שימוש נקרא "מפת מושגים" המורכבת ממושגי המפתח הנ"ל הקשורים ביניהם בעזרת משוואות מקסוול. מפת המושגים מתוארת חזותית ולכן קלה לזיכרון. היא נבנתה ושופרה תוך כדי התייעצות עם פיסיקאים ומורים לפיסיקה. מפת המושגים מורכבת משני רבדים המאפשרים לתלמיד לתאר את המידע במידת הפירוט הנחוצה לו. זאת משום שלצרכים מסוימים מספיק לדעת, לדוגמא, שקיים קשר כלשהו בין שדה חשמלי לבין מטען, ואילו לצרכים אחרים יש צורך בידע מדויק של הנוסחה המתארת קשר זה. הרובד הראשון כולל את השלד של הנושא ברמה הכללית ביותר. הרובד השני מספק אינפורמציה נוספת אודות המושגים הפיסיקליים שבמפה ואודות הקשרים ביניהם.

הרובד הראשון

ארבעה "מושגי מפתח" והקשרים הפיסיקליים ביניהם, מרכיבים את מפת המושגים.

1. q מטען חשמלי
2. i זרם חשמלי
3. E שדה (שטף) חשמלי הקשור בהגדרה למוטבציאל חשמלי
4. B שדה (שטף) מגנטי

הקשרים הפיסיקליים בין המושגים הנ"ל מיוצגים בתרשים 1.



תרשים 1

חץ בכיוון האנכי במפת המושגים מייצג "יצירה", כלומר,

1. q מטען חשמלי יוצר שדה חשמלי (חוק גאוס).



2. i זרם חשמלי יוצר שדה מגנטי (חוק ביו-סבר).



שני החיצים המעוגלים מייצגים קשרים נוספים בין המושגים הנ"ל.

3. שדה חשמלי מפעיל כוח על מטען חשמלי.



4. שדה מגנטי מפעיל כוח על זרם חשמלי.



קשרים 3. ו-4. הם שני המרכיבים של כוח לורנץ:

$$F = qE + qv \times B$$

הכיוון האופקי של מפת המושגים מייצג "תלות בזמן". כלומר,
 5. $i \rightarrow q$ מטען בתנועה מהווה זרם.

6. $B \leftarrow E$ שינוי (בזמן) בשטף המגנטי יוצר שדה חשמלי (חוק פרדיי).

7. $B \rightarrow E$ שינוי (בזמן) בשטף החשמלי יוצר שדה מגנטי (זרם העתק).

הצרוף של קשרים 6 ו-7 מייצג יצירה של גלים אלקטרומגנטיים.

החץ המרוסק הקושר בין השדה החשמלי והזרם החשמלי מייצג את חוק אום. חוק אום הוא למעשה הצרוף של קשרים 3 ו-5. כלומר, כוח חשמלי הפועל על מטענים במוליך יגרום לתנועתם. כללנו את חוק אום במפת המושגים משום החשיבות הגדולה שמיחסים לו התלמידים. באמצעות המפה, אנו מקוים, יהיה להם ברור יותר מעמדו של חוק זה.

הרובד השני

ברובד זה נכללים תאורים מפורטים יותר והקשרים של המושגים השונים תוך כדי הדגשת אספקטים חשובים כגון: הבחנה בין מושגים קרובים כמו פוטנציאל והפרש פוטנציאלים, אינטרפרטציה נכונה של נוסחאות, דוגמאות לשימושים בקשרים השונים ועוד. לדוגמא, הקשר בין השטף המגנטי והשדה החשמלי מוצג ברובד הראשון (במפת המושגים) בצורה סימלית בלבד:

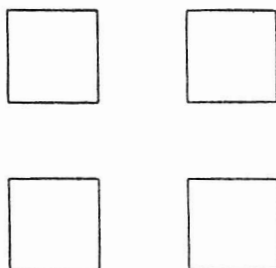
$$E \leftarrow B$$

ברובד השני, לעומת זאת, מופיע דיון איכותי על הדרכים האפשריות לשינוי השטף המגנטי, כיצד ניתן לקבוע את כיוון השדה המגנטי המושרה והסבר לכך על-ידי חוק שימור האנרגיה, הנוסחה המתאימה (חוק לנץ), דוגמאות קונקרטיות ולבסוף בעיות לבדיקה עצמית.

כפי שבאמר כבר מטרת חוברת החזרה היא יצירת תמונה קוהרנטית של הנושא והבנה מעמיקה יותר של המושגים הקשים. לכן שזורות לכל אורך החוברת פעילויות המכוונות להשגת מטרות אלה.

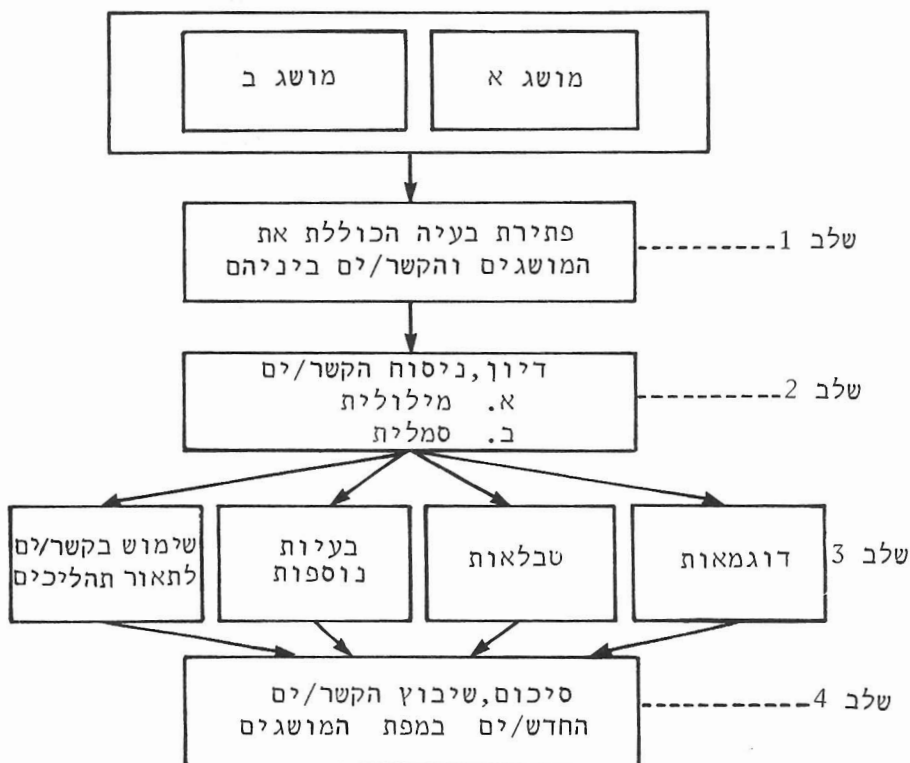
III. הגישה הדידקטית

בתחילת החוברת מוצגות בפני התלמיד 4 משבצות ריקות:



מאמר לו שבמהלך העבודה עליו למלא את המשבצות הריקות ולקשור ביניהן. כל משבצת תכיל "מושג פיסיקלי", ובין המשבצות יופיעו חיצים המסמלים חוקים או עקרונות פיסיקליים. המפה שיוצר התלמיד במהלך עבודתו תיקרא "מפת מושגים".

החוברת מחולקת לפרקים. בראש כל פרק שני מושגים שלהבהרתם ולהבנת הקשר(ים) ביניהם, מוקדש הפרק. בתרשים 2 מתואר המבנה של פרק אופייני בחוברת החזרה.



תרשים 2: המבנה של פרק אופייני בחוברת החזרה.

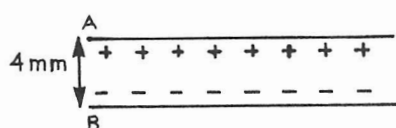
נתאר לדוגמא את מבנה הפרק "שדה חשמלי - הפרש פוטנציאלים".
הפרק בנוי מ-4 שלבים.

שלב 1

התלמיד מתבקש לפתור בעיה/ות), שמציגה/ות) את הקשר הפיסיקלי שבין המושגים.

לדוגמא:

נתון קבל לוחות AB טעון. שטחו של כל לוח 1m^2 , וגודל המטען שעליו $1.3 \times 10^{-6}\text{C}$. המרחק בין לוחות הקבל 4mm .



1. חשב את עוצמת השדה החשמלי בין הלוחות.

2. חשב את המתח (הפרש הפוטנציאלים) בין הלוחות.

3. אם C ו-D הם משטחים כדוריים טעונים

בעלי מרכז משותף שרדיוסיהם

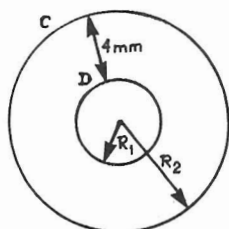
$$R_1 = 3\text{mm}$$

$$R_2 = 7\text{mm}$$

וצפיפות המטען עליהם כמו במקרה

הקודם, האם אפשר לחשב את המתח

ביניהם בדרך שחישבת בסעיף הקודם?



שלב 2

דיון איכותי בבעיה שנפתרה ע"י התלמיד בשלב הראשון. התיחסות למושגים ולמשמעות הקשר ביניהם. זהו השלב, בו דנים בטעויות נפוצות בהבנת המושגים. לדוגמא: הבחנה בין פוטנציאל לבין הפרש פוטנציאלים. לבסוף, ניסוח מילולי וסימלי של הקשר הפיסיקלי בין שדה חשמלי והפרש פוטנציאלים.

שלב 3

על מנת להטמיע בתודעתם של התלמידים את האינטרמציה שהוצגה בשני השלבים הקודמים, אנו נוקטים באמצעים הבאים:

1. מובאות דוגמאות מאוירות המדגימות את הקשר בין שדה חשמלי והפרש פוטנציאלים.

2. התלמידים מתבקשים ליישם את הידע שרכשו בפתרון בעיות לא סטנדרטיות. לדוגמא:

מתוך הגרף המתאר את השתנות הפוטנציאל החשמלי כפונקציה של המרחק ממוליך טעון, יש לחשב את השתנות השדה החשמלי כפונקציה של מרחק זה.

3. התלמידים מתבקשים לתאר תהליך פיסיקלי מסוים, לשלב בתאור את הקשרים הפיסיקליים שנוסחו כבר ולסמנם במפת המושגים.

שלב 4

הקשר החדש שנוסח בפרק (שדה חשמלי \longleftrightarrow הפרש פוטנציאלים) נרשם במפת המושגים הנבנית.

IV. תוצאות

מחקר שהקיף כ-250 תלמידי כיתות י"ב הלומדים פיסיקה ברמה של 4-5 י"ל, נועד לבדוק את יעילות חוברת החזרה. השאלות המחקריות שנשאלו והאמצעים שננקטו כדי לענות עליהן היו רבים ומגוונים. נדווח על חלק קטן מהתוצאות. (דיווח מלא נמצא בבגנו, 1986).¹

כדי לבדוק את יעילותה של חוברת החזרה נבדקו ההיבטים המודגשים בחוברת באמצעות מטלות שנועדו לבדוק אם אכן גורמת החוברת לשיפור בתחומים הבאים:

- א. ארגון הידע באלקטרומגנטיות.
- ב. הבנת מושגים נבחרים באלקטרומגנטיות.
- ג. שילוב הבנת המושגים והקשרים ביניהם, בפתרון בעיות לא סטנדרטיות.

ארגון הידע באלקטרומגנטיות

תלמידים המתבקשים לסכם בקצרה את הרעיונות המרכזיים באלקטרומגנטיות בלי להזדקק לנוסחאות, מציינים מספר קטן מאוד של קשרים פיסיקליים מרכזיים. כמו כן, לא ברור להם מעמדו של כל אחד מעקרונות האלקטרומגנטיות. לדוגמא, חוק אום שאינו נמנה עם החוקים המרכזיים, נחשב לאחד הרעיונות החשובים ביותר הנלמדים באלקטרומגנטיות, ואילו הקשר שבין שטף חשמלי משתנה ושדה מגנטי כמעט ואינו מוזכר בסיכומים. הממצאים של הניסוי שערכנו מעידים שהטיפול שמציעה חוברת החזרה משפר מצב זה. תלמידי קבוצת הביקורת שלא קבלו את הטיפול סיכמו את הרעיונות המרכזיים בעיקר בעזרת נוסחאות ורשימת הנושאים הנלמדים ואילו הסיכומים של החומר כפי שגמסרו על-ידי התלמידים שטופלו במסגרת חוברת החזרה, היו טובים יותר הן מבחינת התוכן והן מבחינת המבנה. הם הכילו יותר רעיונות מרכזיים והמשפטים שהשתמשו בהם היו מדויקים יותר. גם אופן הניסוח השתפר, וחל מעבר משימוש יתר בנוסחאות, לניסוח איכותי של קשרים פיסיקליים.

¹ Bagno, E. Organisation and Understanding of Concepts in Electromagnetism. Design, Implementation and Evaluation of an Instructional Unit for High School. עבודה לשם קבלת התואר מוסמך למדעים שבוצעה במכון ויצמן למדע, 2-1988.

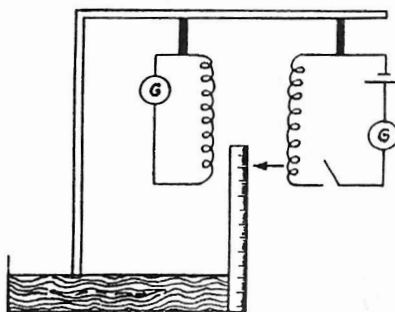
הבנת מושגים נבחרים

לצורך המחקר, בדקה הבנתם של מספר מושגים מרכזיים בנושא האלקטרומגנטיות. לדוגמא, "השדה החשמלי" הינו מושג קשה ולא אינטואיטיבי. בשאלון שהועבר לתלמידים הם התבקשו לציין האם המשפט הבא נכון: "בין שני לוחותיו של קבל שורר שדה חשמלי כלשהו. הכנסת מטען חיובי בין הלוחות תגרום לשינוי בעוצמת השדה החשמלי" ולהסביר את קביעתם. כ-82% מהם טענו שהשדה החשמלי הקיים בין הלוחות הוא תכונה של המקום ולכן הכנסת מטען נוסף אינה משנה שדה זה; לאחר הטיפול רק כ-35% מהם המשיכו להחזיק בדיעה זו.

חוברת החזרה מציעה טיפול באופי הדינמי של השדה החשמלי על-ידי דיון, דוגמאות ובעיות לא סטנדרטיות.

שילוב של הבנת המושגים וראיית הקשרים ביניהם, בפתרון בעיות לא סטנדרטיות
שיאה של למידה טובה היא היכולת ליישם ידע ומיומנויות חדשות, גם בתחומים אחרים שלא נלמדו ישירות.

המטלה הבאה נועדה לבדוק היבט זה. הוצגה בפני התלמידים מערכת פיסיקלית מורכבת ולא מוכרת המתוארת בתרשים 3. במערכת היה מתג שנסגר ברגע מסוים. התלמידים נתבקשו לספק רשימה של אירועים שיתרחשו במערכת עקב סגירת המתג.

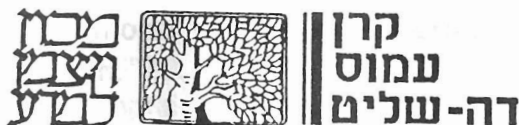


תרשים 3

היות שהמערכת היתה מורכבת מאוד, לא ציפינו שהתלמידים יספקו ניתוח שלם ומדויק. שיערנו שתלמידים אשר מבינים טוב יותר את המושגים השונים, ואשר מארגנים טוב יותר את החומר, יצליחו לתת סיכומים "עשירים" הן בסוגי הקשרים והן בשיקולים הפיסיקליים שנקטו בהם. (לדוגמא, שיקולי אנרגיה). ואכן, כ-60% מהתלמידים שלמדו באמצעות חוברת החזרה השתמשו בשיקולי אנרגיה לעומת כ-25% מהתלמידים בקבוצת הביקורת.

מצאנו שתלמידים הלומדים פיסיקה ברמה של 5 י"ל תופסים את נושא האלקטרומגנטיות כאוסף של חוקים ונוסחאות שהקשר ביניהם רופף ולא ברור, ואינם רואים את המבנה היפה והסגור אשר מסוכם בעזרת משוואות מקסוול. כמו כן, יש להם קשיים בהבנת המושגים וביישומם בפתרון בעיות.

במאמר זה תיארונו חוברת חזרה ללימוד עצמי שמטרתה לטפל בקשיים אלה ודיווחנו בקצרה על מחקר שמצביע על יעילותה של חוברת זו.



הננו מתכבדים להזמין

לסדרת הרצאות ע"ש עמוס דה-שליט

תשמ"ט



הרצאה שלישית:

יום א', י"ט באדר ב', תשמ"ט (26.3.89),
בשעה 4:15 אחה"צ

זיהוי ממוחשב - בעיות ופתרונות

פרופ' עדי שמיר

המחלקה למתמטיקה שימושית,
הפקולטה למתמטיקה,
מכון ויצמן למדע



הרצאה רביעית:

יום ד', כ"ט באדר ב', תשמ"ט (5.4.89),
בשעה 4:15 אחה"צ

תהודה מגנטית גרעינית
בחקר חומרים ומערכות ביולוגיות

פרופ' שמעון ווגה

המחלקה לחקר איזוטופים, הפקולטה לכימיה,
מכון ויצמן למדע



הרצאה ראשונה:

יום ה', י"ח באדר א', תשמ"ט (23.2.89),
בשעה 4:15 אחה"צ

הנזיטרינו החמקמק - אורח מוכבב אחר

פרופ' חיים הררי

נשיא מכון ויצמן למדע, הפקולטה לפיסיקה



הרצאה שניה:

יום ד', א' באדר ב', תשמ"ט (8.3.89),
בשעה 4:15 אחה"צ

סוד חושי הטעם והריח -
ממולקולות עד תחושות

פרופ' דורון לנצט

המחלקה לחקר ממברנות,
הפקולטה לביופיסיקה וביכימיה,
מכון ויצמן למדע

● אולם ויקס, מכון ויצמן למדע, רחובות

● אין כניסת רכב לשטח המכון - פרט לרכב עובדי המכון