

שימוש בהדגמות אינטראקטיביות ליצירת סביבה לימודית פעילה

David R. Sokoloff and Ronald K. Thornton

THE PHYSICS TEACHER, Vol 35, September 1997

תרגום חופשי - אירינה ויסמן

למרות כל ההוכחות שגישות מסורתיות אינן תורמות להוראת מושגי הפיזיקה, רוב תלמידי אמריקה ממשיך לקבל שיעורים כאלה, לפעמים בכיתות המונות יותר ממאה איש. גישות אלטרנטיביות, כגון Workshop Physics, שאינן משתמשות בשיעורים פרונטליים יכולות לעזור, אבל דרוש שינוי מבני רחב באוניברסיטאות הגדולות כדי להכניס תוכניות אלה. כמה ניסיונות להגביר את הבנת הסטודנטים במבנה הקיים הצליחו גם כן. במרכז להוראת המדעים ומתמטיקה באוניברסיטת טופט (Tufts) התמקדנו בפיתוח של תוכנית לימודים אקטיבית, מבוססת על מעבדה ממוחשבת. (MBL) תוכנית לימודים זו אפשרה לשינויים משמעותיים בסביבה הלימודית של בתי ספר רבים ואוניברסיטאות מבלי שיהיה צורך לשנות את המבנה של המערכת. גם תוכניות לימודים אחרות מבוססות MBL נכנסות גם למבנה הקיים, אבל דורשות בכל זאת מחשבים, ממשקים ומעבדה. בבתי ספר רבים מספר המחשבים קטן והם אינם מסוגלים להפעיל תוכניות הדורשות עבודה של קבוצות גדולות של סטודנטים מול מחשב. בשבע השנים האחרונות פיתחנו סביבה לימודית אקטיבית בכיתות גדולות או קטנות. תוצאות עבודות אלה הן הבסיס של אסטרטגית ה-ILD:

Tools for Scientific Thinking
Microcomputer Based Interactive Lecture
Demonstrations

הליך ה-ILD

ב-1989, כתוצאה של הצלחתנו בטיפול הלמידה הקונספטואלית בשיעורי המעבדה, התחלנו לבדוק אסטרטגיות שמאפשרות שימוש בכלים של MBL כדי לפתח סביבה לימודית אקטיבית כתוספת להרצאות הרגילות. אחרי מספר שנים של עבודה, בהן ניסינו אסטרטגיות שונות, ביססנו הליך שמטרתו לחבר את הסטודנטים לתהליך ההוראה יחד עם הפיכת סביבת הלמידה הפסיבית לאקטיבית יותר. שלבי ההליך הם:

1. המורה מתאר את הניסוי ומבצע את הניסוי.
 2. הסטודנטים רושמים את הניבוי שלהם בקשר לתוצאות הניסוי. (יש לאסוף את דפי הסטודנטים)
 3. הסטודנטים מתחלקים לקבוצות קטנות, מגיעים לניבוי משותף.
 4. רושמים את הניבוי על דף.
 5. המורה מציג את הניבוי של הקבוצות השונות לכיתה.
 6. המורה מבצע את הניסוי בעזרת מעבדה ממוחשבת.
 7. הסטודנטים מנתחים את התוצאות ומשווים אותן לניבוי. (אפשרות: הסטודנטים ממלאים דף תוצאות, זהה בצורתו לדף הניבוי).
 8. סיכום הכולל התייחסות להיבטים הפיזיקליים (מורה).
 9. שלבים אלה מבוצעים בכל אחת מההדגמות.
- רוב הסטודנטים מהרהרים לגבי הניבוי האישי שהם שצריכים לעשות בשלב השני והשיחות בקבוצות קטנות (שלב 3) הן בהתחלה די "רשמיות". לאחר זמן קצר מגיעים לניבוי משותף והשיחות מופנות לנושאים אחרים. המורה חייב לשים לב ולעבור ברגע המתאים לשלב הבא. המורה חייב גם להכין תוכנית לשלבים 7 ו-8 והרבה פעמים יש צורך להדריך את השיחות כדי להדגיש את הנקודות הרלוונטיות שמופיעות ב-ILD. חוקרים אחרים השתמשו בהליכים דומים כדי לשתף את הסטודנטים בשיעור. כמה מהם משתמשים בניסוי MBL אמיתי אבל הרוב אינם עושים זאת. מספר אסטרטגיות משתמשות באסטרטגית הוראת עמית שאוספת את תשובות הסטודנטים ומציגה אותם על צג המחשב של

המורה . לדוגמה , מזור דיווח על שיטה כזאת . תלמידיו מגיעים למסקנות יותר כתוצאה של הליך חשיבה ופחות כתוצאה של תצפיות בתופעות אמיתיות . השתמשנו בשני רעיונות בסיסיים כדי לתכנן את הניסויים שמשמשים בקטעים השונים של ה - IDL .

ראשון - הסדר והתוכן של הקטעים מבוססים על מחקרים בהוראת הפיזיקה . הניסיון שלנו בפיתוח מדריכים למעבדות חקר ובהערכת התוצאות איפשר בחירה של הדגמות פשוטות אבל בסיסיות . על מנת להצליח , יש להתחיל כל קטע עם מה שהסטודנטים כבר יודעים ולבנות בסיס להבנה מעמיקה יותר .

שני - ה - IDL חייבים להיות מוצגים כך שהסטודנטים יבינו את הניסוי "ויאמינו" למכשירים ולתוצאות. העובדה שרואים את התוצאות בזמן - אמת נותנת לסטודנטים משוב לרעיונות שלהם. הרבה ניסויים מסורתיים הינם מורכבים מדי , כך שהם אינם יכולים להיות ניסיון לימודי אפקטיבי לסטודנטים בתחילת לימודיהם .

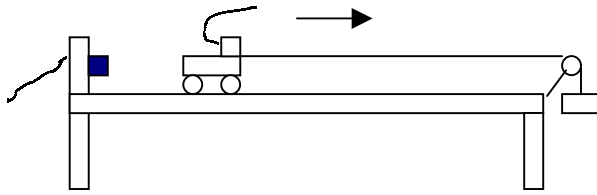
לדוגמה , בקינמטיקה ובדינמיקה , מתחילים עם הניסויים הבסיסיים ביותר כדי לשכנע את הסטודנטים שגלאי התנועה מודד גדלים קינמטיים (מיקום , מהירות , תאוצה) וחיישן הכוחות (force probe) מודד כוחות בדרך כלשהי (לא ידועה , בשלב זה) . הדגמות בסיסיות אלה גם תורמות להבנה הבסיסית של הסטודנטים לפני שמגיעים לניסויים מורכבים ועשירים יותר .

סדרת פעילויות - חוקי ניוטון

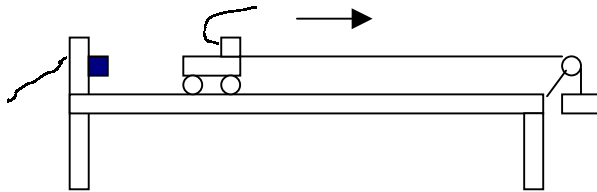
בטבלה הבאה מופיעים פרטים על ארבע סדרות של הפעלה שאנחנו משתמשים בהוראת הקינמטיקה והדינמיקה על קו ישר . מטרתן היא להביא להבנה טובה יותר של חוקי ניוטון . כל פעילות מתוכננת ל - 40 דקות . זמן נוסף דרוש כדי לדבר עם הסטודנטים על תוצאות הניסוי .

תוכן הפעילות	פעילות IDL
מקדים , קינמטיקה של תנועה שוות מהירות , שימוש בגלאי תנועה כדי לחקור הליכה . ייצוג גרפי של הקשר מיקום - זמן , מהירות - זמן	קינמטיקה 1 : תנועת אדם
קינמטיקה של תנועה שוות מהירות ושוות תאוצה שימוש בגלאי תנועה כדי לחקור תנועה של עגלה (חיכוך נמוך מאוד) שנדחפת על מסלול אוויר הקשר מהירות - תאוצה	קינמטיקה 2 : תנועה עם עגלות
מדידת הכוחות שפועלים על עגלות (חיכוך נמוך מאוד וגם חיכוך לא זניח) בעזרת גלאי תנועה וחישן כוחות הקשר בין מהירות , תאוצה וכוח	החוק הראשון והשני של ניוטון
שימוש בשני חישני כוח המאפשר לסטודנטים לחקור את הכוחות ההדדיים שפועלים על שני גופים בזמן התנגשותם (בזמן ששני גופים נמצאים במגע מתמשך) .	החוק השלישי של ניוטון

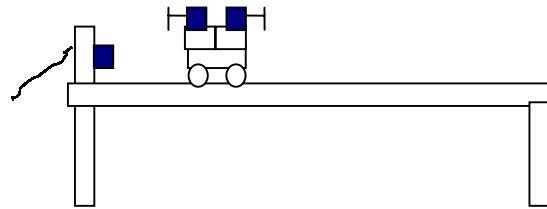
לדוגמה, הפעילות לחוק הראשון והשני של ניוטון מתוארת בסדרת התרשימים הבאה



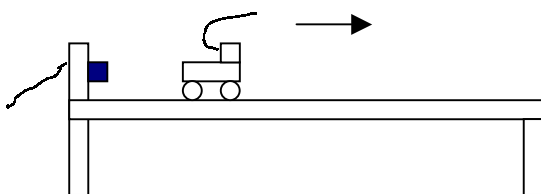
הדגמה 1: העגלה (חיכוך זניח) נדחפת ממצב מנוחה והיא מתרחקת מהגלאי.



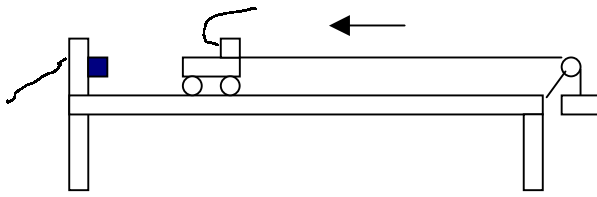
הדגמה 2: העגלה (חיכוך לא זניח) נדחפת ממצב מנוחה והיא מתרחקת מהגלאי. מהירות העגלה גדלה בקצב הריבוע



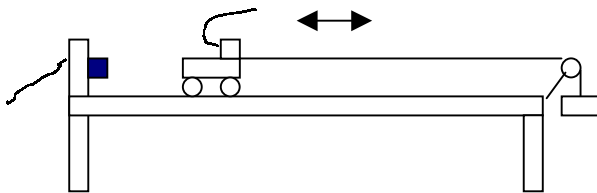
הדגמה 3: מראים קודם שהעגלה עם מאוורר אחד עליה נעה בתנועה מואצת (בשני הכיוונים). עם שני מאווררים עליה, העגלה לא זזה. דוחפים את העגלה עם שני המאווררים ובודקים



הדגמה 4: העגלה (חיכוך זניח) נדחפת לזמן קצר כך שהיא מתרחקת מהגלאי ואחר כך נעצבת.



הדגמה 5 : העגלה (חיכוך זניח) נדחפת לכיוון הגלאי ואחר כך נעצבת. כוח פועל בכיוון מנוגד לכיוון הדחיפה. העגלה נעה בכיוון הגלאי רמהירות ושהנוהה רקער



הדגמה 6 : העגלה (חיכוך זניח) נדחפת לכיוון הגלאי ואחר כך נעצבת. כוח פועל בכיוון מנוגד לכיוון הדחיפה. העגלה נעה בכיוון הגלאי במהירות שקטנה בקצב קבוע, נעצרת רגעית

חלק מטופס הניבוי לסדרה זו נראה כך :

IDL

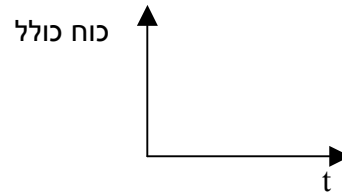
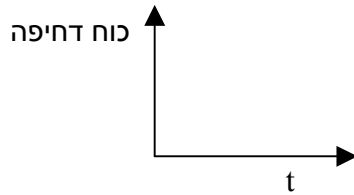
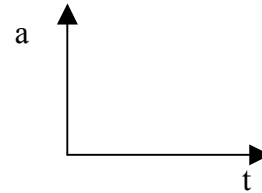
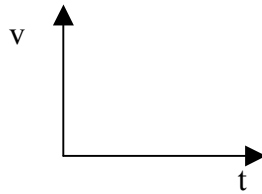
טופס ניבוי - החוק הראשון והחוק השני של ניוטון

הנחיות : יש למסור את הטופס . כתוב את שמך עליו (זו ההוכחה שנוכחת בשיעור) . מלא את הנחיות המורה . תוכל לכתוב כל מה שתמצא על טופס התוצאות הנשאר אצלך .

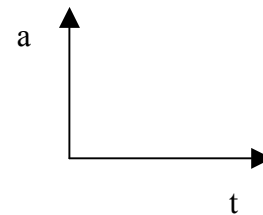
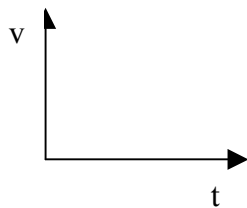
הדגמה 1 : כוח החיכוך שפועל על העגלה קטן מאוד ואפשר להזניח אותו . העגלה נדחפה בכוח קבוע כך שהיא מתרחקת מהגלאי במהירות הולכת וגדלה בקצב קבוע (תאוצה קבועה) . סרטט במערכת הצירים את הניבוי שלך לגבי השינוי בזמן של : מהירות העגלה , תאוצת העגלה , הכוח הדוחף והכוח השקול שפועל על העגלה . (במקרה זה הכוח הדוחף והכוח השקול שפועל על העגלה שווים . מדוע ?)

הדגמה 2 : כוח החיכוך שפועל הוגדל . העגלה נדחפת בכוח קבוע כך שהיא מתרחקת מהגלאי במהירות הולכת וגדלה בקצב קבוע (תאוצה קבועה) . סרטט במערכת הצירים את הניבוי שלך לגבי השינוי בזמן של : מהירות העגלה , תאוצת העגלה , הכוח הדוחף והכוח השקול שפועל על העגלה .

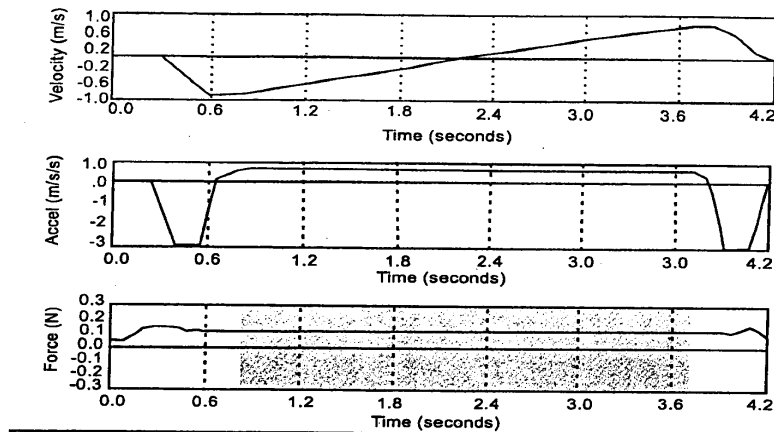
(במקרה זה הכוח הדוחף והכוח השקול שפועל על העגלה אינם שווים . איזה כוח קובע את



התאוצה ?) אנחנו מודדים רק את הכוח הדוחף .
הדגמה 3 : על העגלה פועלים כוחות שווים ומנוגדים . כוח החיכוך שפועל על העגלה קטן מאוד ואפשר להזניח אותו . העגלה מקבלת דחיפה קצרה לכיוון מנוגד לגלאי התנועה ונעזבת . סרטט במערכת הצירים את הניבוי שלך לגבי השינוי בזמן של : מהירות העגלה ושל תאוצת העגלה אחרי שעוזבים אותה .



בתמונה למטה מופיע צילום של צג המחשב בזמן המדידה (הדגמה 6) . הקטעים המוצגים מתארים את תנועת העגלה בהשפעת כוח קבוע .



האם הסטודנטים לומדים מה - IDL ?

אף על פי שבהרבה מקומות השתמשו ב IDL , אנחנו אספנו את התוצאות הרלוונטיות ביותר מהניסיון שלנו . כדי לעריך את הלמידה השתמשנו בשאלות רב בחירתיות מ - Force and Motion Conceptual Evaluation . במאמר זה התמקדנו בארבעה מערכים של שאלות שהנושא שלהן הוא החוק הראשון והחוק השני של ניוטון, ואנחנו מציגים את התוצאות לפני ואחרי ההוראה , כך שניתן לבדוק את התרומה של ה - IDL להבנת המושגים בדינמיקה .

השאלות משני המערכים הראשונים חוקרות את הקשר בין הכוח לתנועה , אבל הן שונות בהיבטים שונים : המערך הראשון מתייחס לתנועה של מזחלת שלג על קרח המתוארת בשפה טבעית, בלי תאור גרפי . תאור זה שונה מאוד מהתצוגה הגרפית שמתקבלת ב - IDL . השתמשנו בתשובות לשאלות אלה כ - " Natural Language Evaluation " . (הערכה של ההבנה בשפה הטבעית)

המערך השני משתמש בגרפים כדי לתת את האינפורמציה לגבי התנועה של מכונית - צעצוע . הסטודנטים צריכים לבחור את הגרף המתאים של הכוח כפונקציה של הזמן , שמתאר את התנועות השונות של מכונית הצעצוע על משטח אופקי . שאלות אלה מתייחסות במפורש למערכת צירים ואינן מסבירות בפירוט את מקור הכוח שפועל . תשובות הסטודנטים לשאלות אלה שימשו כהערכה של ההבנה הגרפית (Graphical Evaluation) .

למרות ההבדלים בין שני סוגי השאלות , תשובות הסטודנטים דומות מאוד כאשר קיימת אנלוגיה בין השאלות . המערך השני של השאלות מעיד גם על חוסר ההבנה בקשר לשני החוקים הראשונים של ניוטון אבל רמת הקושי שלהן גבוהה יותר . במערך זה שאלת המטבע שמתייחסת לכוחות הפועלים על מטבע הנזרק אנכית כלפי מעלה ושאלת המכונית על מדרון שבו התלמיד צריך לבחור את הכוחות הפועלים על המכונית בשלבי תנועתה . השאלות משתמשות בשפה טבעית ולא בתאור גרפי .

שאלת המזחלת

אדם דוחף מזחלת שלג על קרח. הדחיפה יכולה להיות :

- A. ימינה, כאשר הגודל הולך וגדל
- B. ימינה, כאשר הגודל קבוע
- C. ימינה, כאשר הגודל הולך וקטן
- D. אין דחיפה
- E. שמאלה, כאשר הגודל הולך וגדל
- F. שמאלה, כאשר הגודל קבוע
- G. שמאלה, כאשר הגודל הולך וקטן

בכל אחד מהמצבים הבאים סמן את הכוח (רק אחד) שיגרום לתנועה המתוארת. אפשר להשתמש באותו כוח כמה פעמים או לא להשתמש בו כלל. אם אין כוח מתאים יש לסמן J

- 1. המזחלת נעה ימינה, ומגבירה את מהירותה בקצב קבוע
- 2. המזחלת נעה ימינה במהירות קבועה
- 3. המזחלת נעה ימינה ומקטינה את מהירותה בקצב קבוע
- 4. המזחלת נעה שמאלה ומגדילה את מהירותה בקצב קבוע
- 5. המזחלת מתחילה ממנוחה ונדחפת עד שהיא מגיעה למהירות מסוימת ימינה
- 6. למזחלת תאוצה קבועה ימינה; היא מקטינה את מהירותה בקצב קבוע
- 7. המזחלת נעה שמאלה ומקטינה את מהירותה בקצב קבוע

שאלת המטבע

מטבע נזרק אנכית כלפי מעלה. המטבע עולה, מגיע לשיא הגובה ונופל חזרה. בהזנחת התנגדות האוויר, בחר מרשימת הכוחות את הכוח שפועל על המטבע :

- 1. בזמן העלייה
 - 2. ברגע שהמטבע נמצא בשיא הגובה
 - 3. בזמן הירידה
 - A. כוח קבוע כלפי מטה
 - B. כוח כלפי מטה שהולך וגדל
 - C. כוח כלפי מטה שהולך וקטן
 - D. הכוח שווה לאפס
 - E. כוח קבוע כלפי מעלה
 - F. כוח כלפי מעלה שהולך וגדל
 - G. כוח כלפי מעלה שהולך וקטן
- אם אין תשובה מתאימה רשום J.

הערכה באוניברסיטת אורגון

בסתיו של 1991 השתמשו בשיטת ה-ILD בקורס לפיזיקה כללית באוניברסיטת אורגון. הקורס היה קורס די סטנדרטי, עם שני הבדלים :

- 1. כ - 200 סטודנטים נפגשו כל שבוע לארבעה שיעורים (ללא הרצאות)
- 2. המבוא למעבדה היה קורס נפרד שכמעט מחצית מן הסטודנטים השתתפו בו הסדר של ההוראה היה :

מבוא לקינמטיקה בעזרת חלק מהסדרה הראשונה (קינמטיקה 1)

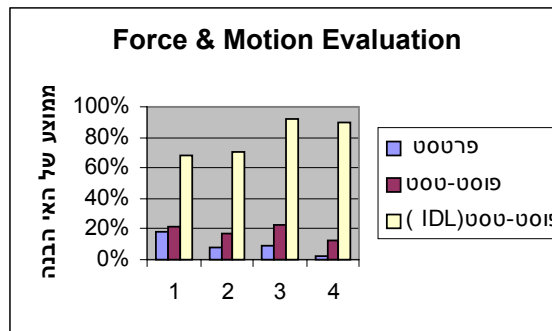
הוראה מסורתית של הקינמטיקה

סדרת הפעילויות : קינמטיקה 2 (כ - 40 דקות בשיעור שנמשך 50 דקות)

הוראה מסורתית של הדינמיקה

סדרת הפעילויות : החוק הראשון והשני של ניוטון (כ - 40 דקות בשיעור שנמשך 50 דקות)

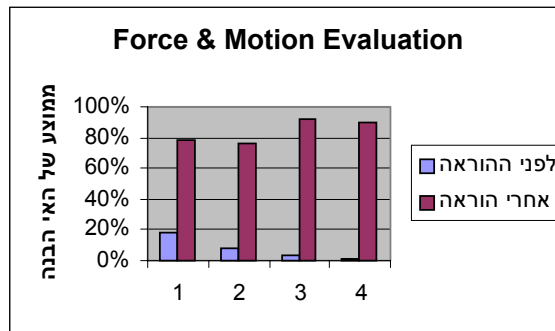
הסטודנטים קיבלו כמה נקודות בציון הסופי אם מילאו את טפסי הניבוי ביום הפעילות (לא היה ציון לתוכן הטפסים) .
 התוצאות בגרף הבא משוות בין התוצאות של סטודנטים ששמעו קורס מסורתי (לפני ואחרי ההוראה) לבין תוצאות הסטודנטים שרק 80 דקות מזמן ההוראה הוקדש לפעילות IDL .



כפי שאפשר לראות, ל - IDL הייתה השפעה גדולה מאוד על התוצאות . יש לציין שההשפעה הייתה משמעותית יותר לגבי הסטודנטים שלא השתתפו בקורס למעבדה .

הערכה באוניברסיטת טופט

שימוש דומה של ה - IDL היה ב - 1994 באוניברסיטת טופט . ההבדל היה בכך שההוראה של הקינמטיקה והדינמיקה בשיטות המסורתיות הושלמה לפני השימוש ב - IDL . הסטודנטים קיבלו את סידרת הפעילויות קינמטיקה 2 (כ - 40 דקות) והחוק הראשון והשני של ניוטון (כ - 40 דקות) . התוצאות מופיעות להלן והן דומות לתוצאות שהתקבלו באורגון :



חזרנו לניסוי ב - 1995 , הפעם עם שילוב יותר גדול של ה - IDL בשיעורים . הפעילויות היו בתחילת ההוראה . התוצאות היו דומות , למרות שהמדריך היה שונה .

התמדה בלמידה

המחקרים שלנו מראים שגם באורגון וגם בטופט ההשפעה של ה - IDL הייתה ממושכת . באורגון המבחן הסופי התקיים כשישה שבועות אחרי ההוראה ותוצאותיו לא הוכיחו ירידה בהבנה . בעצם , היה אפילו שיפור של 6% . בטופט המבחן הסופי התקיים כשבעה שבועות אחרי ההוראה והייה שיפור של 7% בהבנת הסטודנטים .
 ראינו שהבנת הסטודנטים מתרחבת עם הזמן גם בהקשרים נוספים .

מסקנות

המחקרים שלנו עם מספר רב של סטודנטים מראים שסטודנטים בקורסים מקדימים לפיזיקה אינם מבינים בדרך כלל את המושגים בקינמטיקה ודינמיקה אחרי ההוראה המסורתית . בדיקות בעזרת שאלוני הערכה מוכיחים שההבנה משתפרת כאשר משתמשים ב - IDL .

References

1. R.K. Thornton, "Learning physics concepts in the introductory course, Microcomputer-based labs and interactive lecture demonstrations" in *Proc. Conf. on the Intro. Physics Course*, (Wiley, New York, 1996), pp. 69–85.
2. R.K. Thornton, "Using large-scale classroom research to study student conceptual learning in mechanics and to develop new approaches to learning," in *Microcomputer-Based Laboratories: Educational Research and Standards, Series F, Computer and Systems Sciences, Vol. 156*, edited by Robert F. Tinker (Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996), pp. 89–114.
3. R.K. Thornton and D.R. Sokoloff, "RealTime Physics: Active Learning Laboratory," *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education*, July, 1996, to be published by the American Institute of Physics.
4. L.C. McDermott, "Millikan lecture 1990: What we teach and what is learned—closing the gap," *Am. J. Phys.* **59**, 301–315 (1991).
5. L.C. McDermott, "Research on conceptual understanding in mechanics," *Phys. Today* **37**, 24–32 (July, 1984).
6. D. Hestenes, M. Wells, and G. Schwackhammer, "Force Concept Inventory," *Phys. Teach.* **30**, 141–158 (1992).
7. J. A. Halloun and D. Hestenes, "The initial knowledge state of college physics students," *Am. J. Phys.* **53**, 1043–1056 (1985).
8. P. W. Laws, "Calculus-based physics without lectures," *Phys. Today* **44**:12, 24–31 (December, 1991).
9. P.W. Laws, *Workshop Physics Activity Guide: The Core Volume with Module 1: Mechanics* (New York, Wiley, 1997).
10. R.K. Thornton and D.R. Sokoloff, *Tools for Scientific Thinking—Motion and Force Curriculum and Teachers' Guide*, 2nd ed. (Vernier Software, Portland, 1992).
11. D.R. Sokoloff, R.K. Thornton, and P.W. Laws, *RealTime Physics Mechanics V. 1.40* (Vernier Software, Portland, 1994).
12. This work was supported in part by the National Science Foundation under grant number USE-9150589, *Student Oriented Science*, grant number USE-9153725, *The Workshop Physics Laboratory Featuring Tools for Scientific Thinking*, and grant number TPE-8751481, *Tools for Scientific Thinking: MBL for Teaching Science Teachers*, and by the Fund for Improvement of Post-secondary Education (FIPSE) of the U.S. Department of Education under grant number G008642149, *Tools for Scientific Thinking*, and number P116B90692, *Interactive Physics*.
13. The MBL Motion Detector, Force Probe, Universal Laboratory Interface (ULI) and *Tools for Scientific Thinking* software are described in references 1–4, and are available from Vernier Software, 8565 Beaverton-Hillsdale Highway, Portland, OR 97225-2429.
14. E. Sassi, Department of Physics, University of Naples, Mostra D'Oltremare pad. 20, I80125 Naples, Italy, private communication.
15. E. Mazur, *Peer Instruction: A User's Manual* (Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1997).
16. R. Defresne et al., "Classtalk: A classroom communication system for active learning," *J. Comput. Higher Ed.* **7**, 3–47 (1996).
17. Copies of *ILD Mechanics* sequences and teacher's notes are available from Vernier Software, 8565 Beaverton-Hillsdale Highway, Portland, OR 97225-2429. The complete *Force and Motion Conceptual Evaluation* and *ILD's* under development in other areas of physics are available from the Center for Science and Mathematics Teaching, Tufts University, 4 Colby St., Medford, MA 02155.
18. For example, the dynamics cart available from PASCO scientific, P.O. Box 619011, 10101 Foothills Blvd., Roseville, CA 95678-9011. Observation of motion with adjustable amounts of friction is possible using the Adjustable Friction Pad assembly, also available from PASCO.
19. See R. Morse, "Constant acceleration experiments with a fan-driven dynamics cart," *Phys. Teach.* **31**, 336–338 (1993).