

הערך המוסף של שילוב מודל ממוחשב עם מודל פיזי לפיתוח יכולות מרחביות של לומדים בהקשר של מופעי הירח

יואב יאיר
האוניברסיטה הפתוחה
yoavya@openu.ac.il

יעל קלי
הטכניון
yaelk@technion.ac.il

מיטל הנס
הטכניון
hmeital@technion.ac.il

Added Value of Integrating Computerized and Physical Models for the Development of Learners' Spatial Abilities with regards to the Moon Phases

Meytal Hans
Department of Education in
Technology and Science
Technion, Israel

Yael Kali
Department of Education in
Technology and Science
Technion, Israel

Yoav Yair
Department of Life and
Natural Sciences
The Open university of Israel

Abstract

Understanding of astronomical phenomena requires spatial abilities. As part of this research we developed a web-based module intended to assist middle-school students to acquire the spatial perception required for understanding the moon-phases phenomenon. Students learn through inquiry, using a physical model representing the moon from an internal (geocentric) view, and a computerized model illustrating the Sun-Earth-Moon system from an external view (view from space). We implemented the module with three 7th and 8th grade classes and volunteer students. Using qualitative and quantitative tools we explored the learning processes in which students develop their general spatial abilities and the specific spatial perception of the moon-phases as a result of interacting with the module. T-Tests show that students significantly improved their understanding of the connection between internal and external views with regards to the moon-phases as well as their general spatial abilities, required in many domains such as engineering or architecture. Qualitative analysis indicates that working with the computerized model was not sufficient for students to understand the connections between the two perspectives. Only when they combined the use of the physical model were they able to develop this understanding. Other critical factors were negotiating ideas with peers and instructor and the scaffolds in the module.

Key words: Astronomy education, computerized model, spatial abilities, frames of reference.

תקציר

הבנת התופעות האסטרונומיות כרוכה ביישום יכולות מרחביות. במסגרת מחקר זה פיתחנו מבנית מתוקשבת שמטרתה לעזור לתלמידי חטיבת-ביניים לרכוש את התפיסה המרחבית הדרושה להבנת תופעת מופעי-הירח. הלמידה עם המבנית מתבצעת בדרך החקר, בה התלמידים נעזרים בשימוש במודל פיזי המציג את מופעי-הירח מנקודת מבט פנימית (גיאוצנטרית) ובמודל ממוחשב הממחיש את המערכת שמש-כד"ה-ירח מנקודת מבט חיצונית (מבט מהחלל). הפעלנו את המבנית עם שלוש כיתות ז'-ח' ועם זוגות בודדים של תלמידים מתנדבים. בעזרת כלים כמותיים ואיכותניים בחנו את התהליך בו התלמידים מפתחים את היכולות המרחביות הכלליות ואת התפיסה המרחבית הספציפית של מופעי-הירח כתוצאה

מאינטראקציה עם המבנית שפיתחנו. מבחני T מראים שהתלמידים שיפרו את ההבנה שלהם את הקשר בין מבט פנימי למבט חיצוני ואת היכולת המרחבית הכללית שלהם של מעבר בין מערכות ייחוס. ניתוח איכותני של תהליך הלמידה מראה שבשלב ראשון התלמידים רוכשים הבנה של המבט הגיאוצנטרי בלבד בעזרת השימוש במודל הפיזי. לאחר-מכן הם רוכשים הבנה של הקשר בין שני המבטים בעזרת שילוב העבודה עם המודל הממוחשב והמודל הפיזי, כאשר הדיאלוג עם לומדים אחרים ועם המורה וההנחיות התומכות הם קריטיים לתמיכה בתהליך זה. תהליך הלמידה שמתואר בעבודה זו מאפשר ללמוד על היתרונות והמגבלות של למידה בעזרת מודל ממוחשב ועל האופן שבו ניתן לעזור לתלמידים לפתח יכולות מרחביות שדרושות בתחומים רבים.

מילות מפתח: הוראת אסטרונומיה, מודל ממוחשב, יכולות מרחביות, מערכות ייחוס.

רציונל ומטרות המחקר

האסטרונומיה היא תחום דעת הקיים בסילבוס של תכנית הלימודים הפורמאלית בישראל בבית-הספר היסודי ובחטיבת-הביניים. מחקרים רבים שנעשו בעשרות השנים האחרונות מראים, שתלמידים מתקשים בהבנת תופעות אסטרונומיות ומחזיקים במסגרות חלופיות (לדוגמא: Fanetti, 2001; Trumper, 2001). אחת הסיבות היא שהבנת התופעות האסטרונומיות כרוכה ביישום יכולות מרחביות. קיימות גישות אחדות לגבי האופן שבו יש לסווג יכולות מרחביות. פיאיזה ואינהלדר (Piaget & Inhelder, 1956) התייחסו למעבר בין מערכות ייחוס כאחד המרכיבים של יכולות מרחביות מבחינת היכולת לצאת מנקודת המבט האגוצנטרית (decentration) ולהתבונן בעצמים ממערכות ייחוס שונות. בעבר הייתה נטייה לחשוב, שלא ניתן לפתח מיומנויות מרחביות, ושיכולת זו היא מולדת בלבד (לדוגמא: McFie, 1973). אולם מחקרים מראים שניתן לשפר יכולות מרחביות באמצעות התנסויות למידה. (לדוגמא: Barnea & Dori, 1999; Hsi, Linn & Bell, 1997; Kali & Orion, 1996).

במהלך השנים האחרונות פותחו חומרי למידה מגוונים, הכוללים שימוש בעזרים פיזיים וממוחשבים. למרות שיש מחקרים המראים שלעזרים אלו יתרונות בתמיכה בלמידה ובהוראה של אסטרונומיה (לדוגמא: Barab et al., 2000; Bell & Trundle, 2008; Gazit, Yair & Chen, 2005), רק מחקרים בודדים חקרו את האופן בו תלמידים מפתחים באמצעות שימוש בכלים כאלה את התפיסה המרחבית של התופעות האסטרונומיות ואת הקשר שלה ליכולות המרחביות הכלליות (מועלם, 2002; Callison & Wright, 1993; Hansen, Barnett, MaKinster, & Keating, 2004). במחקר זה פיתחנו מבנית מתוקשבת לתלמידי חטיבת-ביניים שמטרתה לעזור לתלמידים לרכוש את היכולות המרחביות הדרושות להבנת תופעת מופעי-הירח. פיתוח המבנית נעשה באמצעות סביבת WISE (Web-based Inquiry Science Environment). המשימות במבנית כוללות בעיות הלקוחות מחיי היומיום של התלמידים, אשר על מנת לפתור אותם התלמידים משתמשים במודל ממוחשב, הממחיש את נקודת המבט החיצונית למערכת שמש-כד"ה-ירח ומודל פיזי בעזרתו הם רואים את מופעי-הירח כפי שנראים מנקודת מבט פנימית – גיאוצנטרית.

במחקר קודם חקרנו את האופן שבו מרכיבי העיצוב במבנית (גורמים במבנית שנועדו לקידום הלמידה, כגון שילוב מודל פיזי ומודל ממוחשב, הנחיות תומכות לפיתוח תפיסה מרחבית) השפיעו על תהליך הלמידה של התלמידים ועל ההבנה שלהם את תופעת מופעי-הירח. מחקר זה מהווה מחקר המשך של המחקר הקודם, ובו אנחנו מתמקדים באפיון תהליך הלמידה של התלמידים בהיבט של פיתוח היכולות המרחביות שלהם. מטרת המחקר היא לבחון את היכולות המרחביות הכלליות ואת התפיסה המרחבית הספציפית שתלמידי חטיבת-ביניים מפתחים בהקשר של תופעת מופעי-הירח כתוצאה מאינטראקציה עם המבנית שפיתחנו, ולאפיין את התהליך בו התלמידים מפתחים יכולות אלו.

שיטות

ניתוח הנתונים נעשה בשימוש בפרדיגמה של השיטה המערבת, שמשלבת ניתוח איכותני וניתוח כמותי (Morgan, 2007).

המשתתפים במחקר

מחקר זה כולל הפעלות של המבנית בכיתות ז'-ח' בהן התלמידים לומדים את המבנית בכיתה עם המורה, וכן הפעלות עם תלמידי כיתות וי-ח' שמתנדבים ללמוד את המבנית בטכניון או בביתם. טבלה 1 מתארת את ההפעלות שבוצעו במחקר עד כה.

טבלה 1: הפעלות המבנית שבוצעו במחקר עד כה (בשנים תשס"ז-תשס"ח)

הפעלות	תלמידי כיתה	משתתפים תלמידים מתנדבים
1	27 תלמידים (כיתה ז')	
2	31 תלמידים (כיתה ז')	
3	12 תלמידים (כיתה ח')	
8 זוגות (כיתות ז'-ח')		

כלי המחקר

כלי המחקר כוללים כלים כמותיים וכלים איכותניים, כמתואר בטבלה 2. תלמידי הכיתה היוו את המקור העיקרי לאיסוף הנתונים שמנותחים באופן כמותי, והם מאפשרים לנו ללמוד על השפעת המבנית כולה על הלמידה. קלטות הוידאו המתעדות את האינטראקציה של התלמידים המתנדבים עם המבנית נותחו באופן איכותני מעמיק בעזרת התוכנה Transana, ומאפשרים לנו ללמוד על התהליך שבו התלמידים מפתחים תפיסה זו.

טבלה 2: כלי המחקר, מועד שימוש במהלך המחקר והמשתתפים במחקר

כלי מחקר	משתתפים		שימוש בכלי במהלך המחקר
	תלמידי כיתה	תלמידים מתנדבים	
כמותי שאלון תפיסה מרחבית של תופעת מופעי-הירח	✓	✓	כמבחן מקדים: מעט לפני הלימוד כמבחן מסכם: מעט לאחר הלימוד
כמותי שאלון יכולת מרחבית (Frames of reference)	✓ (למעט כיתה 1)	✓ (חלק)	כמבחן מקדים: מעט לפני הלימוד כמבחן מסכם: מעט לאחר הלימוד
איכותי שאלון משוב רפלקטיבי	✓	✓	מעט לאחר סיום הלימוד עם המבנית
איכותי תשובות התלמידים למשימות במבנית	✓	✓	נשמרות באופן אוטומטי על השרתים של WISE
איכותי תצפיות	✓	✓	בזמן הלמידה
איכותי ראיונות רפלקטיביים	✓ (חלק)	✓	מעט לאחר סיום הלמידה עם המבנית
איכותי הקלטות וידאו בזמן הלמידה	✓		בזמן הלמידה

ממצאים**ניתוח כמותי של הממצאים**

שאלון תפיסה מרחבית של מופעי-הירח כולל שני סוגים של שאלות: (א)שאלות ידע בסיסי; (ב)שאלות הבוחנות תפיסה מרחבית של התופעה (איור 1); (ג)שאלון יכולת מרחבית כללית הכולל שאלות שדורשות הסתכלות על מבנה מנקודות ייחוס שונות (איור 2).

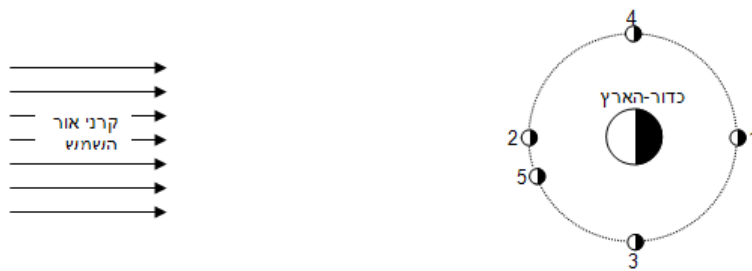
מבחינת T (טבלה 3) מראים שבכל הכיתות חל שיפור מובהק בשאלות הבוחנות ידע בסיסי (א) ובשאלות הבוחנות הבנת הקשר בין מבט פנימי לבין מבט חיצוני של התופעה (ב). השיפור בשאלות הבוחנות ידע בסיסי מראה שהתלמידים צברו ידע בסיסי הדרוש כצעד ראשון בהבנה של מופעי-הירח. השיפור בשאלות הבוחנות הבנה של הקשר בין מבט חיצוני למבט פנימי מראה שהתלמידים שיפרו את היכולת שלהם לבצע את המניפולציות המנטאליות הדרושות כדי להבין את הקשר בין מופע-הירח כפי שנראה מכדור-הארץ לבין המיקום היחסי שמש-כד"ה-ירח, שהיא מרכזית בתפיסה המרחבית הדרושה כדי להבין את תופעת מופעי-הירח. הממצאים מראים שבהפעלה 2 חל שיפור מובהק אף בשאלות הבוחנות יכולת מרחבית כללית. ניתן לראות שההבדל המשמעותי בין כיתה 2 לכיתה 3 הוא בציון הממוצע של הכיתה בתת-השאלון המסכם שבוחן הבנה של הקשר בין המבט הפנימי למבט החיצוני. אנו משערים, שכדי לפתח יכולת כללית של מעבר בין מערכות ייחוס, יש צורך להגיע להבנה של הקשר בין מבט חיצוני למבט פנימי ברמה גבוהה יותר מזו שהגיעה אליה כיתה 3.

טבלה 3: השוואה בין שאלון מקדים למסכם על-פי סוג השאלות עבור כל כיתה

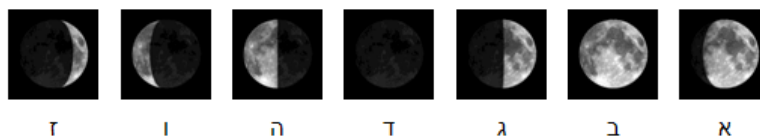
שאלות ידע בסיסי	קשר בין מבט חיצוני למבט פנימי	יכולת מרחבית כללית – מעבר בין מערכות ייחוס		
37%	16%		מקדים	כיתה 1
55%	43%	לא נערך המבחן	מסכם	(N=20)
P<0.05	P<0.001		מובהקות T-test	
58%	22%	43%	מקדים	כיתה 2
78%	68%	66%	מסכם	(N=27)
P<0.05	P<0.001	P<0.05	מובהקות T-test	
54%	33%	58%	מקדים	כיתה 3
72%	54%	65%	מסכם	(N=12)
P<0.05	P<0.05	Non Significant	מובהקות T-test	

N = מספר התלמידים בכיתה שמילאו גם שאלון מקדים וגם שאלון מסכם

נתון מבט מהחלל על המערכת של שלושת הגופים: שמש, כדור-הארץ, ירח.
 הירח באיור מתואר בחמישה מקומות שונים המסומנים בספרות 1, 2, 3, 4, 5.



נתונות שבע תמונות המתארות מופעים שונים של הירח, כפי שנראים מכדור-הארץ.
 המופעים מסומנים באותיות א, ב, ג, ד, ה, ו, ז.

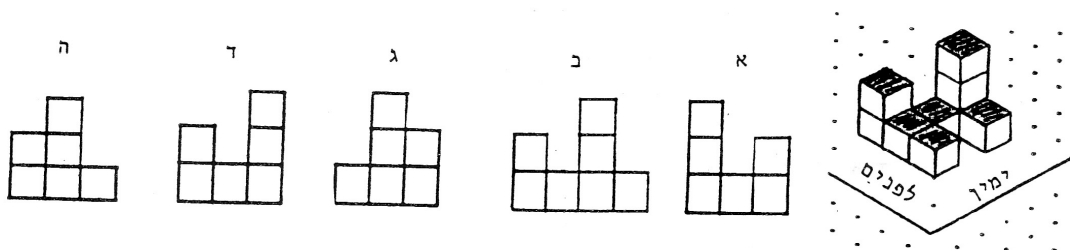


התאימו לכל אחד מהמיקומים של הירח (1 עד 5) מופע ירח מבין שבעת המופעים א' עד ז'.
 בצעו זאת בעזרת השלמת המשפטים (עבור כל אחד מהמיקומים של הירח, דמיינו שאתם עומדים על כדור-הארץ בדיוק "מתחת" לירח):

- כאשר הירח נמצא במיקום 1, מופע הירח יהיה ____ . (כתבו את האות המתאימה)
- כאשר הירח נמצא במיקום 2, מופע הירח יהיה ____ .
- כאשר הירח נמצא במיקום 3, מופע הירח יהיה ____ .
- כאשר הירח נמצא במיקום 4, מופע הירח יהיה ____ .
- כאשר הירח נמצא במיקום 5, מופע הירח יהיה ____ .

איור 1: דוגמא לשאלה משאלון מקדים-מסכם שדורשת תפיסה מרחבית של מופעי הירח

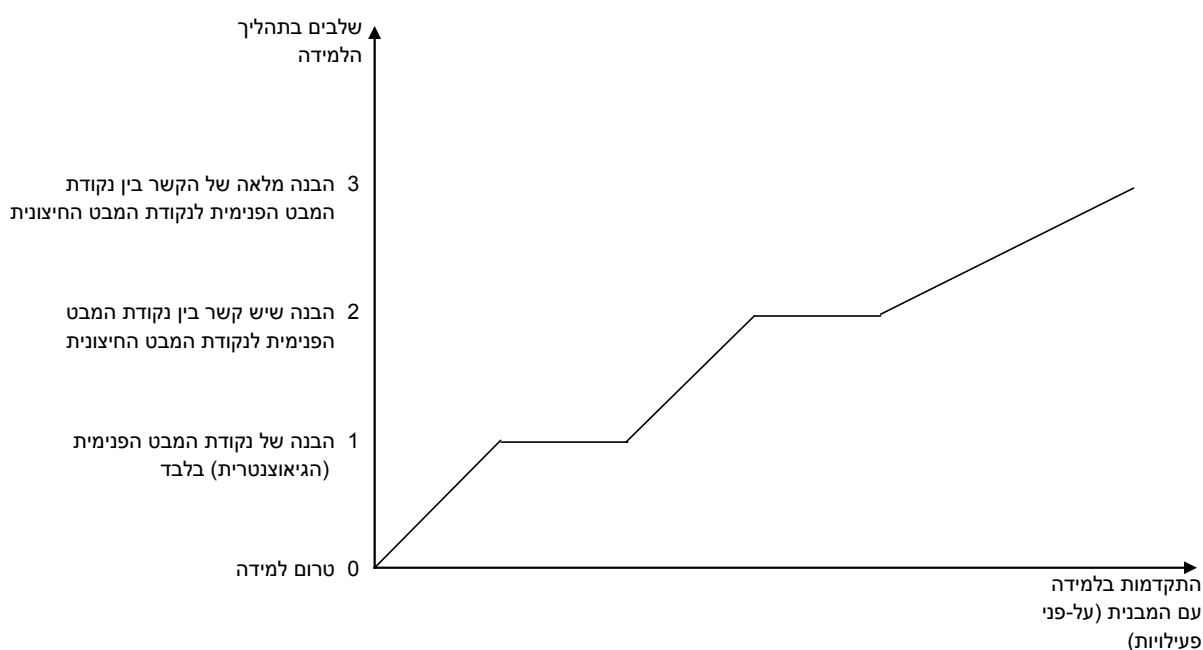
לפניך ציור של מבנה קוביות שסורטט מהפינה קדמית-ימנית.
 יש למצוא את המבט מאחור.



איור 2: דוגמא לשאלה משאלון מקדים-מסכם ליכולת מרחבית כללית הדורשת הסתכלות על מבנה מנקודות ייחוס שונות (Ben-Chaim, Lappan, & Houang, 1986)

ניתוח איכותני: התפתחות היכולת המרחבית של התלמידים

הניתוח האיכותני אפשר לנו לזהות שלושה שלבים בתהליך הלמידה שהתרחשו אצל מרבית זוגות התלמידים שבחנו: השלב הראשון (רמה 1) הוא היכולת להבין את נקודת המבט הפנימית; השלב השני (רמה 2) הוא היכולת להבין שיש קשר בין נקודת המבט הפנימית לנקודת המבט החיצונית, אולם עדיין ללא יכולת לפתור בעיות. ישנם תלמידים שמדלגים על שלב זה; השלב השלישי (רמה 3) הוא יכולת לעבור בין מערכות ייחוס, כלומר הבנה מלאה של הקשר בין נקודת המבט הפנימית לנקודת המבט החיצונית – נקודת המבט מהחלל. הממצאים מראים כי ניתן לתאר באופן סכמטי את התהליך בו מתפתחת ההבנה כמתואר באיור 3: ההבנה של נקודת המבט הגיאוצנטרית מתרחשת יחסית מהר. מיד כאשר תלמידים עובדים עם המודל הפיזי, הם מבינים כיצד רואים מכדור-הארץ את מופעי-הירח כאשר הירח שחציו מואר מסתובב סביב כדור-הארץ. הבנה זו נשארת בדרך-כלל יציבה. לעומת זאת, הבנה מלאה של הקשר בין נקודות המבט מתרחשת בתהליך איטי יותר, היא מתפתחת כאשר תלמידים עובדים עם המודל הממוחשב, ורק כאשר הם משתמשים בו תוך שילוב עם המודל הפיזי.



איור 3: תיאור סכמטי של התהליך בו התלמידים מפתחים את התפיסה המרחבית שלהם את תופעת מופעי הירח

להלן נציג דוגמא למחקר מקרה אחד, שמתארת כיצד המאפיינים האלו באים לידי ביטוי בתהליך הלמידה וכיצד הם תורמים לפיתוח ההבנה של תופעת מופעי-הירח של התלמידים תוך אינטראקציה עם המבנית שפיתחנו.

ר' ו-נ' בחרו לחקור מופע של מולד ירח. הם החלו את החקירה תוך שימוש במודל הפיזי (איור 4), הצליחו להבין כיצד נוצרים מופעי-הירח, ומה המיקום היחסי שמש-כד"ה-ירח במולד ירח.

WISE

Moon Phases - Hebrew

NAVIGATION

קטגוריות

בואו נחקור מופעי

אזור

- גורם מופעי אזור לחקירה
- מייל ונטק שארבעת
- מסיבה
- הקודם במודל הפיזי כדי
- לסיפור את המופעים
- באם כפיך את הירח
- הנחשד לשיפוט העולם
- האסם
- המודל הממוחשב
- נקודת למחשבה
- חזרה למחשבה
- בדיקת את עצמם
- גורם מופעי אזור לחקירה

רצף מופעי הירח

כיצד נקבעו לחזונו?

השיבה

מדוע נעלם אירוע?

Teacher's Portal

© 1998-2008 WISE

הנחיות לעבודה עם המודל הפיזי

כדי לעזור למיטל ונטע למצוא מתי הירח מלא, נשתמש תחילה במודל פיזי שיעזור לנו להבין מדוע אנו רואים מופעים שונים לירח בהיבטנו מכדור-הארץ. המודל הפיזי כולל כדור-הארץ המייצג את הירח ובו נעוץ קיסם.

חציו צבוע שחור - והוא מייצג את הצד החשוך של הירח, וחציו צבוע לבן - והוא מייצג את הצד המואר של הירח.

חלוקת תפקידים

תלמיד אחד או תלמידה אחת יתפקדו ככדור-הארץ. התלמיד או התלמידה האחרים יחזיקו בדגם הירח.

המטרה שלכם:

למצוא היכן צריכים לעמוד התלמיד או התלמידה המחזיקים בירח, על-מנת שהתלמיד הצופה מכדור-הארץ יוכל לראות רק את הצד המואר של הירח (הצד הלבן של הקלקר).

הסתדרו כפי שמתואר באיור:



שימו לב לנקודות הבאות:

- **התלמיד או התלמידה שמחזיקים את דגם הירח** יסתובבו סביב מי שמייצג את הצופה מכדור-הארץ (הם יסתובבו נגד כיוון השעון. במציאות זהו גם הכיוון ממערב למזרח).

איור 4: הנחיות לעבודה עם המודל הפיזי

לאחר מכן הם עברו לעבוד עם המודל הממוחשב (איור 5). הם קיבלו משימה לעצור את המודל הממוחשב בנקודה המתאימה למולד ירח, ועצרו אותו במצב המתאים לירח מלא. בהמשך, הם עברו לענות על נקודות למחשבה (איור 5) שמטרתן לעזור להם לבצע תצפית נכונה על המערכת שמש-כד"ה-ירח מנקודת מבט חיצונית. בדוגמא כאן, נ' ו-ר' מנסים לענות על השאלה השלישית "האם כל הירח מואר במשך תנועתו?" "שאלה זו באה למקד את הלומדים בתצפית שהירח מואר בחציו לאורך כל מסלולו.

ר': ... חצי. אותו דבר (מתכוונת אותו דבר כמו כדור-הארץ). ...

נ': אבל את טועה... הנה, חכי שניה (מסתכל על המודל הממוחשב, ועוצר אותו בנקודה שמתאימה לירח מלא). 'סתכלי למעלה (מצביע על התמונה העליונה של המודל הממוחשב שמתארת את מבט-העל) הוא מואר? זה מה שעשינו שם (מצביע לחדר בו הם עבדו עם המודל הפיזי). כשהירח חשוך לגמרי. כשלא רואים אותו, החלק הזה לפחות (מסמן עם הסמן של העכבר על החלק החשוך של כד"ה)

ר': (חושבת) נכון...

http://wise.berkeley.edu - WIS...

לפניכם מספר נקודות למחשבה שיעזרו לכם להסתכל על פרטים חשובים, להבין את התמונה המוצגת במודל הממוחשב, ולבדוק גם בעזרתו ניצוד נראית המערכת שמש- כדור הארץ- ירח בלילה וטעם החפשות.

כתבו תשובותיכם בחלון הריק (בתחתית עמוד זה).

(הקישו במקלות על המקשים הימניים Ctrl+Shift על-מנת ליישר לימין את הטקסט בחלון בו אתם כותבים את התשובה).

1. זהו את שלושת הגופים במודל הממוחשב (שמש, ירח, כדור-הארץ).
2. אילו תנועות סיבוביות רואים במודל הממוחשב? אילו תנועות לא רואים?
3. אילו מבין שלושת הגופים מאירים בעצמם, ואילו מוארים על-ידי גוף אחר?
4. האם כל כדור-הארץ מואר במשך תנועתו? אם לא, איזה חלק של כדור-הארץ מואר במשך תנועתו?
5. האם כל כדור הירח מואר במשך תנועתו? אם לא, איזה חלק של הירח מואר במשך תנועתו?
6. מאיפה, לדעתכם, כדור-הארץ והירח נראים כפי ש"מצולם" בכל אחד מחלקי המודל הממוחשב (בחלון העליון ובחלון התחתון)? במילים אחרות: היכן היה צריך להציב את ה"מצלמה" כדי שיראו את התמונות המוצגות?

5. נקודות למחשבה לעבודה עם המודל הממוחשב הממוחשב מציג שתי נקודות מבט חיצוניות למערכת (מבט מהחלל): במקביל למישור סיבוב כדור-הארץ סביב השמש ומישור הניצב למישור זה.

התחל סיבוב

איור 5: נקודות למחשבה לעבודה עם המודל הממוחשב הממוחשב מציג שתי נקודות מבט חיצוניות למערכת (מבט מהחלל): במקביל למישור סיבוב כדור-הארץ סביב השמש ומישור הניצב למישור זה.

נ' מבין שמנקודות מבט שונות הירח נראה אחרת, הוא מנסה מיד לקשור בין המבט החיצוני למבט הפנימי אולם הוא אינו מבצע את הקשר בצורה נכונה (הוא עוצר את המודל הממוחשב במצב של ירח מלא ואומר שלא רואים את הירח מכדור-הארץ). יתכן שחלק מהקושי בקישור בין נקודות הייחוס הוא שהתופעה מורכבת, ודורשת תשומת לב של הרבה פרטים: הצד המואר והחשוך של כדור-הארץ; הצד המואר והחשוך של הירח; הצד על כדור-הארץ ש"רואה את הירח"; איזה חלק של הצד המואר של הירח רואים מכדור-הארץ. נראה שכרגע נ' מתמקד בעיקר בשאלה איפה על כדור-הארץ רואים את הירח ולא איזה חלק של הירח מואר.

על-מנת לעזור להם, החוקרת מנחה אותם להתמקד בשלב זה רק במראה הירח המוצג במודל הממוחשב. זה מוביל את נ' לנסות ולקשר בין שני החלקים של הבעיה: איזה חלק של כדור-הארץ רואה את הירח, איך הירח ייראה ממיקום זה. כלומר, נ' מבין שהוא צריך לעשות קישור בין שתי מערכות הייחוס וטוען ש"זה מסובך".

חוקרת: תסתכלו עכשיו רק על המודל הממוחשב...כמה מהירח מואר?
 נ' ו-ר': (מסתכלים במודל הממוחשב וחושבים) תמיד חצי.

חוקרת: ועכשיו תחזרו למודל הפיזי. גם שם תמיד חצי ירח מואר?

נ': תלוי מאיפה...הנה למשל ככה (עצר את המודל הממוחשב במצב שמתאים למופע שבין רבע ראשון לירח מלא) אלה שפה (מצביע על הצד החשוך של כד"ה) לא רואים את כל הירח נכון? ... אוי, אז בעצם... (חושב) אוי זה מסובך.... אבל זה לא נראה לי הגיוני שתמיד חצי מואר.

נ' ו-ר' ממשיכים לבצע את התצפית במודל הממוחשב, ומתחילים להבין שבמבט החיצוני הירח מואר בחציו לאורך כל מסלולו, בעוד שבמבט הפנימי הירח ייראה כל פעם אחרת:

- ר': אה! הבנתי, תמיד דרך החלל... נ', תקשיב, בחלל זה יהיה תמיד חצי מואר, אבל דרך כד"ה אנחנו נראה כאילו
- נ': ברור, זה מה שאמרתי, שתמיד רואים חלק שונה אבל תמיד מואר חצי
- ר': אצלנו (מתכוונת למבט מכדור-הארץ)
- נ': (מהנהן) אצלנו, אמרתי, אצלנו תמיד רואים חלק אחר אבל תמיד מואר חצי
- ר': אז עכשיו תקשיב, במודל (מתכוונת למודל הפיזי) אנחנו עשינו איך רואים מכד"ה ולא איך זה נראה מהחלל.

ניתן לראות, שההבנה של נ' ו-ר' מתפתחת בשלבים, ושהם מגיעים לתובנה לאחר ההתערבות של החוקרת והתצפית הממוקדת במודל הממוחשב. בסיום הדיאלוג הזה גם ל-ר' וגם ל-נ' קיימת התובנה שהירח יכול להיות מואר בחציו לאורך כל מסלולו, ועם זאת להיראות אחרת במבט פנימי. התובנה הזו מתבססת על הפעילות עם המודל הפיזי שהם כל הזמן מזכירים "כמו שעשינו שם".

למרות שהשאלה שהייתה אמורה להוביל את התלמידים לעשות תצפית במודל הממוחשב היא מאד פשוטה (תצפית לגבי כך שלאורך כל מסלולו הירח כל הזמן מואר בחציו), לתלמידים היה קשה לעשות את התצפית. נראה שהקושי נובע מכך שהתלמידים (נראה שבמיוחד נ') אינם מתרכזים בתצפית הפשוטה, אלא מנסים כבר לעשות קישור בין שני המבטים – המבט הפנימי אותו הם ראו עם המודל הפיזי, והמבט החיצוני המומחש במודל הממוחשב.

כלומר, **המעבר בין המודלים הינו קריטי להבנה**, הוא יוצר באופן טבעי צורך להבין את הקשר ביניהם, ואת הקשר בין המבט הפנימי לחיצוני. מצד שני הקישור הזה הוא מורכב מאד, ומפריע לתלמידים להתרכז בשאלות שמובילות אותם להבין מה הם רואים. **למורה יש תפקיד חשוב** מאד לעזור לתלמידים להתרכז **בשאלות שמנחות** אותם לעשות תצפיות במבט החיצוני במודל הממוחשב, **ולעודד דיאלוג ביניהם**. ברגע שהתלמידים התרכזו בשאלה לגבי איזה חלק של הירח מואר, היה להם קל יותר לעשות את התצפית. עבור נ' זה עזר לקבל תמונה מלאה יותר של המערכת: לא רק איזה צד של כדור-הארץ "רואה את הירח", אלא גם איזה חלק של הירח מואר. התובנה הזו איננה מייצגת יכולת מלאה לעבור בין שני המבטים (רמה 2 באיור 3), אבל היא שלב חשוב בהבנה. מקרה חקר זה ומקרי חקר אחרים, הראו שבהמשך העבודה עם שני המודלים, ותוך דיאלוג בינם לבין עצמם ולעיתים עם החוקרת, רב התלמידים הגיעו לאט-לאט ליציבות בהבנה שלהם ברמה 2.

דיון ומסקנות

ניתוח השאלון המקדים והמסכם לבחינת התפיסה המרחבית של מופעי-הירח מראה שהתלמידים שיפרו את היכולת שלהם לבצע את המניפולציות המנטאליות הדרושות כדי להבין את הקשר בין מופעי-הירח במבט פנים-מערכתי למבט-על מהחלל. הניתוח האיכותני מראה שניתן לזהות שני שלבים המאפיינים את תהליך הלמידה בו תלמידים פיתחו את היכולת שלהם לעבור בין מערכות ייחוס: שלב ראשון הבנת התופעה מהמבט הפנימי בלבד, ושלב שני הבנה של הקשר בין המבט הפנימי למבט החיצוני.

אנו מניחים שהשיפור המובהק שנמצא בשלוש הכיתות בין השאלון המקדים והמסכם נבע מכך שהתלמידים התנסו במשימות שדרשו מהם מעבר בין מערכות ייחוס. התנסות זו, תוך שימוש במודל הממוחשב ובשילוב עם יתר הגורמים שתמכו בלמידה (הנחיות תומכות, שימוש במודל הפיזי, ודיאלוג עם לומדים אחרים ועם המורה), עזרה לתלמידים לפתח לא רק את היכולות המרחביות הנדרשות לצורך הבנת מופעי-הירח, אלא גם את היכולת הכללית שלהם לעבור בין מערכות ייחוס, יכולת שנדרשת כדי להבין את תופעת מופעי-הירח, וחשובה לתחומים רבים נוספים כגון הנדסה, ארכיטקטורה, גיאומטריית-מרחב ועוד.

לסיום, מחקר זה הציג שימוש במודל העושה שימוש בטכנולוגיה, והראה שמודל ממוחשב, כאשר הוא עומד בפני עצמו, תומך בלמידת תלמידים באופן חלקי בלבד. המחקר הנוכחי הראה את החשיבות בשילוב מודל ממוחשב עם מודל פיזי, את התפקיד של ההנחיות התומכות, את התפקיד הקריטי שיש לדיאלוג בין לומדים לבין עצמם, ואת תפקידו של המורה כמוביל דיאלוגים מעין אלו. מחקר נוסף נדרש על-מנת לבחון אם המגבלות של המודל הממוחשב, כפי שבאו לידי ביטוי במחקר זה, הינן ספציפיות להקשר בו הן נחקרו, או שהן מאפיינות גם הקשרים רחבים יותר.

מקורות

מועלם, ר' (2002). **פיתוח והפעלה של יחידת הלימוד באסטרונומיה "כדור הארץ בחלל", ובדיקת השפעתה על הבנת "עונות השנה"**. עבודת גמר לקראת התואר "מוסמך במדעים", המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

- Atwood, R. K., & Atwood, V. A. (1996). Preservice elementary teachers' conceptions of the causes of seasons. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 553-563.
- Barab, S. A., Hay, K. E., Squire, K., Barnett, M., Schmidt, R., Karrigan, K., Yamagata-Lynch, L., & Johnson, C. (2000). Virtual solar system project: Learning through a technology-rich, inquiry-based, participatory learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 9(1), 7-25.
- Barnea, N., & Dori, Y. J. (1999). High-school chemistry students' performance and gender differences in a Computerized Molecular Modeling learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 8(4), 257-271.
- Bell, R. L., & Trundle, K. C. (2008). The use of a computer simulation to promote scientific conceptions of moon phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 346-372.
- Ben-Chaim, D., Lappan, G., & Houang, R. T. (1986). Development and analysis of a spatial visualization test for middle school boys and girls. *Perceptual & Motor Skills*, 63, 659-669.
- Callison, P. L., & Wright, E. L. (1993) The effect of teaching strategies using models on Preservice elementary teachers' conceptions about earth-sun-moon relations. Paper presented at the *Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Atlanta.
- Fanetti, T. M. (2001). *The relationships of scale concepts on college age students' misconceptions about the cause of the lunar phases*. Unpublished Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa.
- Gazit, E., Yair, Y., & Chen, D. (2005). Emerging conceptual understanding of complex astronomical phenomena by using a virtual solar system. *The Journal of Science Education and Technology*, 14(5-6), 459-470.
- Hansen, J. A., Barnett, M., MaKinster, J. G., & Keating, T. (2004) The impact of three-dimensional computational modeling on students understanding of astronomy concepts: A quantitative analysis. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1365-1378.
- Hsi, Linn, & Bell, (1997). The role of spatial reasoning in engineering and the design of spatial instruction. *Journal of Engineering Education*, 86(2), 151-158.
- Kali, Y., & Orion, N. (1996). Spatial abilities of high school students in the perception of geologic structures. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(4), 369-391.
- McFie, J. (1973). Intellectual imbalance: A perceptual hypothesis. *British Journal of Social Clinical Psychology*, 12, 433-434.
- Morgan, D. L. (2007). Paradigms lost and pragmatism regained – Methodological implications of combining qualitative and quantitative methods. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(1), 48-76.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). *The child's conception of space*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Trumper, R. (2001b). A Cross-age study of junior high school students' conceptions of basic astronomy concepts. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1111-1123.