

תפיסה מרחבית של מופעי הירח: שימוש בעקרונות עיצוב לפיתוח מבנית מתוקשבת לתלמידי חטיבת ביניים

יואב יair	יעל קל	מיטל הנס
yoavya@openu.ac.il	yaelk@tx.technion.ac.il	hmeytal@tx.technion.ac.il
המחלקה למדעי הטבע והחינוך האוניברסיטה הפתוחה	המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים הטכניון, חיפה	המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים הטכניון, חיפה

נושא האסטרונומיה משולב בתוכנית הלימודים הפורמלית בישראל. התופעות האסטרונומיות, הן תופעות דינמיות, המתרחשות במורחב תלת-מדי, במדדים עצומים ובסקלת זמן אורך טווח. הבנת תופעות אלו כרוכה בשימוש ביכולות מרחביות, ומחקרים בתופעות חמורות. בשונה מספרי הלימוד שתלמידים מתקשים בהבנת התופעות ומחזיקים בתופיסות חלופיות. בוגרים מחוץ לssc, הקונבנציונליים, שמכילים מהששות דו-מדדיות להסביר התופעות, קיימים עזריו הוראה ולמידה, שפותחו במטרה להתמודד עם הקשיים הקוגניטיביים של מידות נושא זה מעמידה. עוזרים אלו כוללים עוזרים פיזיים לפעילויות התנסותיות, אטרים באינטראקטיביים המכילים מהששות ויזואליות, סימולציות מחשב דו-מדדיות ותלת-מדדיות, וسبירותויות ממציאות מדומה. ממצאים מחקרים מראים, של שימוש בעזרים אלו קיים פוטנציאלי רב בפיתוח הבנה של תלמידים את הנושאים האלה. מאמר זה מתאר מבנית מתוקשבת, שעצבה על-פי סינטזה של הידע המחקרי שהצטבר עד עתה בנושא, ועל-פי עקרונות עיצוב לסביבות למידה ממוחשבות, המפורטים במאגר לעקרונות עיצוב ([The Design Principles Database](#)). מטרת המבנית לעוזר לתלמידי חטיבת-ביניים לפתח חשיבה מרחבית הנדרשת לצורך הבנת תופעת מופעי הירח.

מבוא

נושא האסטרונומיה משולב בתוכנית הלימודים הפורמלית בבית-ספר יסודי, בחטיבת-ביניים, ובחינוך בחטיבת-העלינה (משרד החינוך, האגף לתוכנון ולפיתוח תוכניות לימודים). מחקרים מראים, כי תלמידים במדינות שונות בעולם מחזקים בתופיסות אלטרנטיביות של תופעות **באסטרונומיה** (לדוגמה: Atwood & Atwood, 1996; Bakas & Mikropoulos, 2003; Callison & Wright, 1993; Nussbaum & Novak, 1976; Stahly, Krockover & Shepardson, 1999; Trumper, 2000; Trumper, 2001a; Trumper 2001b; Trumper, 2001c; Trumper, 2003; Trundle, Atwood & Christopher, 2002; Keating, Barnett, Barab & Hay, 2002), ולכן מושך הוא מפתח תפיסה מרחבית שוגיה שהוא ממוקם במרכז העולם (מוסלמים ונוסבים, 2002). שנית, התופעות האסטרונומיות הן תופעות דינמיות, המתרחשות במרחב תלת-מדי, במדדים מרוחביים עצומים ובסקלת זמן אורך טווח (Gazit et al., 2006). ההצעה מכדור הארץ אינה יכולה לעמוד בכל המערכת הזה בו זמנית ולכן עליה לבנות מודל מנטאלי שלו (Callison & Wright, 1993), ולבצע עליו מניפולציות מנטאליות מורכבות (מוסלמים ונוסבים, 2002). בנוסף, חלק גדול מהמושגים בתחום הינם מופשטים (מוסלמים ונוסבים, 2002). Yair, Mintz & Litvak, (Yair et al., 2003; Keating et al., 2002) מושגים בתחום אלה מעמידים אתגרים לא פשוטים להוראת אסטרונומיה. (2001).

מקורות רבים בספרות, העוסקים במחקר בהוראת אסטרונומיה, מצביעים על אי-ההתאמה של ספרי הלימוד לקשיים הקוגניטיביים בלמידת הנושא (מוסלמים, Bakas & Mikropoulos, 2003; Barab, 2002; Hay, Barnet & Keating, 2000a; Keating et al., 2002; Parker & Heywood, 1998; Stahly et al., 1999; Trundle et al., 2002). لكن ההוראה הקונבנציונלית אינה יכולה לפתח אצל הלומד את החשיבה המרחכית הדורשת להבנת המושגים (מוסלמים ונוסבויים, 2002).

כיום ידוע, כי יכולות מרחכיות מסווגות מתכונות גנטיות, הבדלי מגדר (Linn & Peterson, 1985; McGee, 1979) והבדלים בין תרבותיות וסביבה (Eliot & Fralley, 1976; Waber, 1976) מעריכים שונים, שבחנו את ההשפעה של התנשות על היכולות המרחכיות, הראו שמיומנויות אלו ניתנות לשיפור באמצעות התנסויות למידה (לדוגמה: Barnea & Dori, 1999; Hsi, Linn & Bell, 1997; Kali & Orion, 1996; Kali, Orion & Mazor, 1997; Orion, Ben-Chaim & Kali, 1997; Hansen, Barnett, MaKinster & Keating, 2004).

קיימים חומרי למידה מגוונים, הכוללים עזרים פיזיים וממוחשבים, שמטוסתם לפתח את החשיבה המרחכית הדורשת להבנת הנושא, ונעשו מספר מחקרים לבחינת ההשפעה של חלקים, כמפורט בטבלה 1. כפי שניתן למדו מחקרים אלו, קיים פוטנציאל רב לשימוש בעזרים פיזיים וממוחשבים לפיתוח החשיבה המרחכית הכרוכה בהבנת אסטרונומיה. יחד עם זאת, כל אחד מהמחקרים המתמקד בחינת מרכיב ספציפי. למעט מחקרים של הנSEN וחו' (Hansen et al., 2004a), חומרי הלמידה שפותחו עד כה לא שילבו שימוש בעזרים פיזיים וממוחשבים. בנוסף, מחקרים אלו ממליצים להמשיך ולבחון את ההשפעה של חומרי הלמידה על הבנת התופעות האסטרונומיות הבסיסיות.

מאמר זה מתאר מבנית, שפותחה במטרה לעזור לתלמידים לפתח את התפיסה המרחכית הנדרשת להבנת תופעת מופעי הירח. העיצוב הפגוגי של המבנית מתבסס על סינטזה של הידע המדעי שהצטבר עד כה בנושא הוראת מופעי הירח מחד, ועל עקרונות עיצוב לגבי שימוש מחשב להוראת מדעים, המופיעים במאגר מקוון של עקרונות עיצוב ([The Design Principles Database](#)), מאידך. המבנית שפותחה תבחן במחקר עיצוב, שמטrhoו לבחון את היכולות המרחכיות, שתלמידי חטיבתי-ביניים מפתחים בהקשר של תופעת מופעי הירח כתוצאה מאינטראקציה עם המבנית המתוקשבת, הכוללת מחושות תלת-מדדיות של המערכתشم-כדור הארץ-ירח, ופעילותות מובנות, המזעדות לתמוך בתלמידים לשימוש בהמחושות אלו. שאלות המחקר שהוגדרו הן: כיצד ניתן לאפיין את היכולות המרחכיות של תלמידים בחטיבתי-ביניים בהקשר להבנת תופעת מופעי הירח? האם וכיצד משפיעה אינטראקציה עם ייחdet הלימוד המתוקשבת על היכולות המרחכיות של הלומדים בהקשר של הבנת מופעי הירח? כיצד ניתן לאפיין את תהליכי הלמידה שהתרחשו באמצעות סביבת הלמידה בכלל, ובאמצעות כל אחד ממרכיבי העיצוב בפרט? האם וכיצד משפיעה מידת עמידת על הבנת תופעת מופעי הירח, ועל היכולות המרחכיות הכלולות בהבנה זו?

טבלה 1: סיכום המקרים העיקריים שצוינו לעיל, על-פי השימוש שנעשה בהם בסוגי עוזרים להוראת תופעות בסיסיות באסטרונומיה.

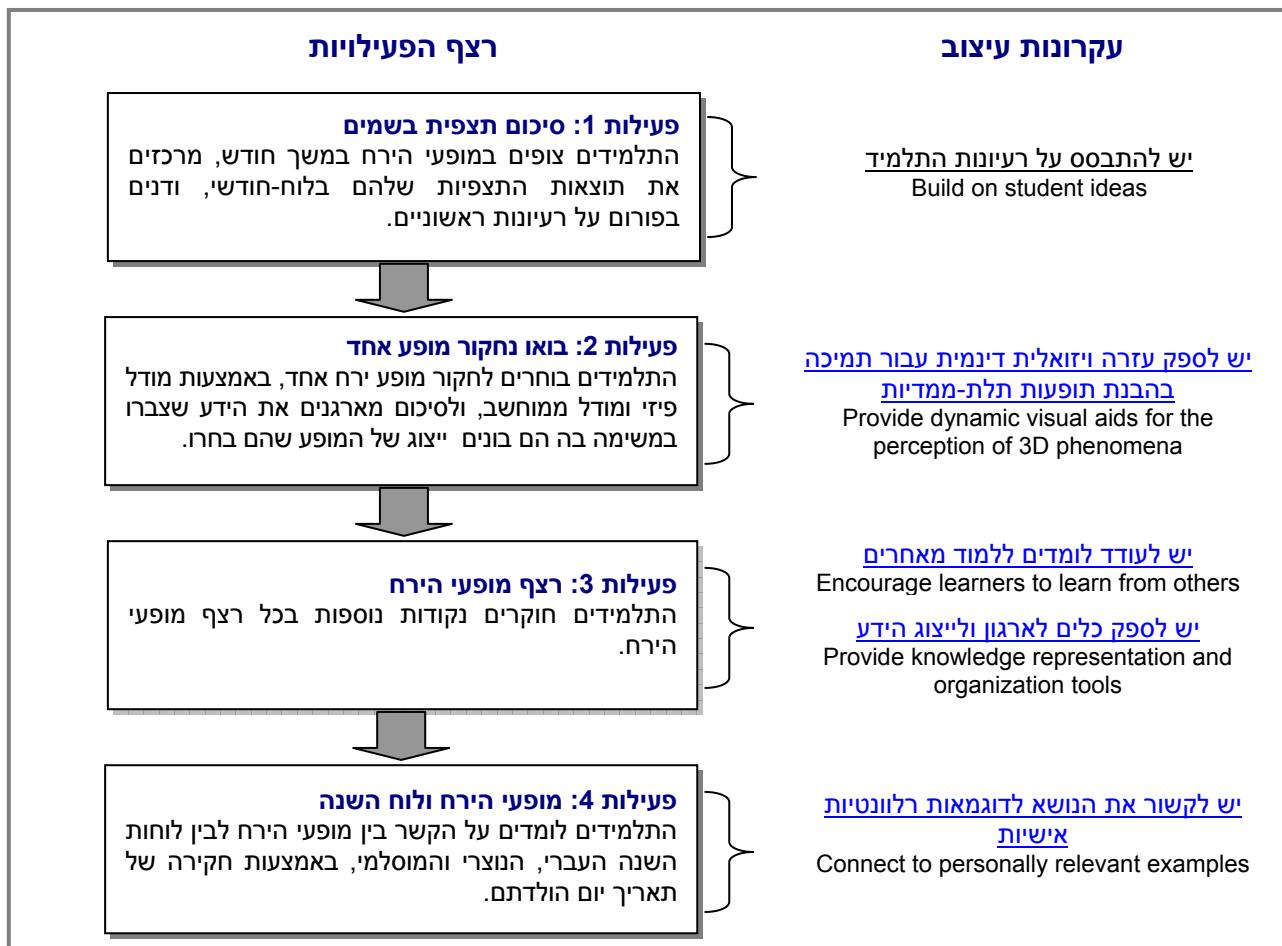
המלצות עיקריות	מיקוד המחקר	מחקרים	סוג העוזרים	ממוחשב/ פייזי
<ul style="list-style-type: none"> כדי שתלמידים יפתחו הבנה משמעותית של התופעות האסטרונומיות, יש למלמדן עם אמצעי הדגמה מרחבים. דיוון עם עמידים לגבי תכיפות מתמשכות על מופעי הירח הוא אפקטיבי מאד להבנת התופעות האסטרונומיות. פעילות עם מודלים פיזיים תורמים יותר מהטברים מילוליים, אך יש להמשיך לבחון את האפקט של פעילות אלה, כי יתרן שכן יוצרות בלבול אצל חלק מהתלמידים. 	<ul style="list-style-type: none"> בחינת הקשר בין היכולת המרחבית של תלמידים לבין הבנת התופעות האסטרונומיות. בחינת הקשר בין השימוש במודלים פיזיים לבין התפתחות הבנה של התופעות האסטרונומיות. 	<ul style="list-style-type: none"> Callison & Wright, 1993; Stahly et al., 1999; Trundle et al., 2002 	עוזרים דו-ממדיים עוזרים תלת-ממדיים כגון כדרים המודדים מכיוונים שוניים	עוזרים פיזיים
<ul style="list-style-type: none"> יש להמשיך ולבדוק את ההשפעה של אינטראקציה עם גרפיקות מחשב על ההבנה של תחומיים הדורשים יכולות מרחביות. חומרלי למידה צריים לעודם תלמידים לביצוע רפלקציה ולדעת עם עמידים על ההבנות והרעיון שלהם. למידה עם ה VSS עירכה להיות מלאה בהדרגה ובפעולות מתאימות על-מנת להפחית צמיחתן של תפיסות אלטרנטיביות כתוצאה מאינטראקציה עם סביבה זו. 	<ul style="list-style-type: none"> השוואת השפעה של לימודי בעזות פלניטריום פיזי לעומת פלניטריום ממוחשב על הבנת התופעות האסטרונומיות. השפעת למידת עמידים (השתפות בדינמיים וביצוע רפלקציה) על הבנת התופעות האסטרונומיות. אפון תחליך הלמידה בזמן אמת של אינטראקציה עם מערכת שימוש וירטואלית ממוחשבת. השפעת אינטראקציה זו על התפתחות ההבנה של התופעות האסטרונומיות. 	<ul style="list-style-type: none"> Baxter & Preece, 1999 Barnet & Moran, 2002 	סימולציה דו-ממדית אינטרاكتיבית	מודל ממוחשב תלת- ממדי אינטראקטיבי
<ul style="list-style-type: none"> יש לשלב טכנולוגיות תלת ממדיות בסביבה למידה, כדי לשפר ולהעמיק את ההבנה של תלמידים, ולבצע זאת באמצעות אפשרים מבחינה פיננסית. 	<ul style="list-style-type: none"> השפעה בניוית הלמידה על הבנה של התופעות האסטרונומיות. אפון תחליך הלמידה והאינטרاكتיות בקורס המבוסט על בנייה משותפת של מודל ממוחשב תלת מימי של מערכת המשמש. 	<ul style="list-style-type: none"> Bakas & Mikropoulos, 2003; Gazit, Chen & Yair, 2006; Barab et al., 2000a; Barab et al., 2000b; Keating et al., 2002; Hansen et al., 2004a; Hansen et al., 2004b; 	סביבה מציאות מדומה (VR)	עוזרים ממוחשבים
			סביבת VR שנייתן לבנות בה מודלים (מיועדת לסטודנטים לתואר ראשון)	

תיאור המבנית ועקרונות העיצוב שהנחו אותו בפיתוחה

סביבת הפיתוח והטיור כללית של המבנית. פיתוח המבנית נעשה באמצעות WISE, Web-based Inquiry Science Environment, שהינה סביבה מבוססת אינטרנט הזמינה לכל. כל מורה יכול להפעיל את הפרויקטים ב-WISE עם מסטר בלתי מוגבל של תלמידים, וכן לעורוך בהם שינויים ללא צורך במידע בתוכנות (Linn, Clark, & Slotta, 2003; <http://wise.berkeley.edu>). הפרויקטים ב-WISE בנויים מפעולות, שבכל אחת מהן מספר צעדים. המבנית המותאמת כאן כוללת 4 פעילויות, כל אחת בת כ-3 שניות.

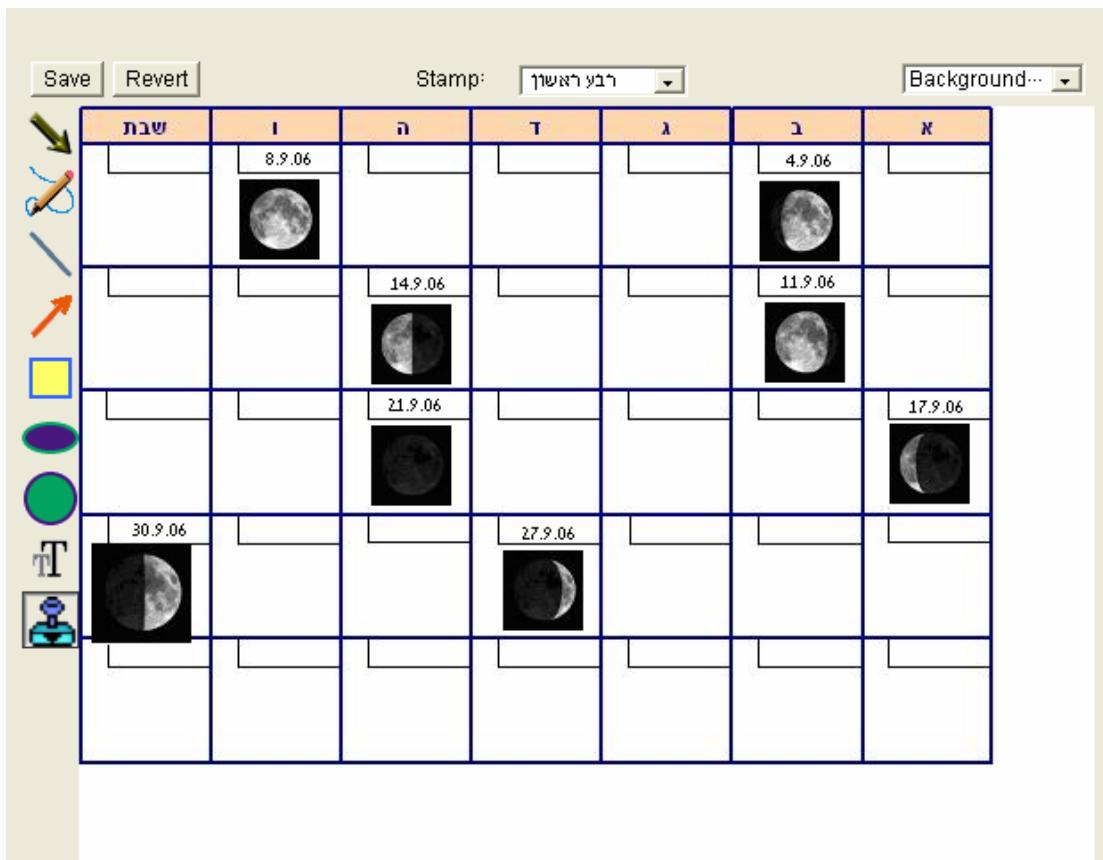
הפעולות כתובות עבורה עבודה בזוגות, מאפשרות עבודה עצמאית ובקצב אישי, כאשר המורה מנחה את הלמידה ועובד בין התלמידים למtan עוזה. כל פעילות מבוססת על מספר עקרונות עיצוב. להלן פירוט הפעולות, והסביר לגבי עקרונות עיקריים שהנחוו אותנו בפיתוח כל אחת מהן. מידע זה מסומן באIOR 1 (בגרסה האלקטרונית של המאמר ניתן לעיין בעקרונות באמצעות הקישורים למאגר המופיעים באIOR 1).

IOR 1: תיאור רצף הפעולות במבנה מופעי הירח ועקרונות עיצוב עיקריים שהנחוו אותנו בפיתוחה



הפעולות הראשונה מנחה את התלמידים לצפות במופעי הירח במשך חודש, ולרכז את תוצאות התצפיות בלוח חודשים WISE (IOR 2). לאחר מכן הם דנים בפorum על שאלות ורעיונות שהתעוררו בעקבות התצפיות. השאלות בפorum מעודדות את התלמידים לחושב על הנושא ולהעלות את הרעיונות הראשונים שלהם טרם הלמידה הפורמלית. עיקנון העיצוב אותו ישמן כאן הוא: יש להתבסס על רעיונות התלמיד. עיקנון זה הוא אחד העקרונות הבסיסיים של הוראה קונסטרוקטיביסטית, המדגישה את החשיבות של מתן אפשרות לתלמידים לקשרו רעיונות חדשים עם ידע קודם, וכן חשוב לתת לתלמידים הזדמנות להביע את רעיונותיהם הראשוניים לגבי הנושא הנלמד (Linn, Davis & Bell, 2004).

איור 2: דוגמא לרכיבת תצלויות בלוח החודשי



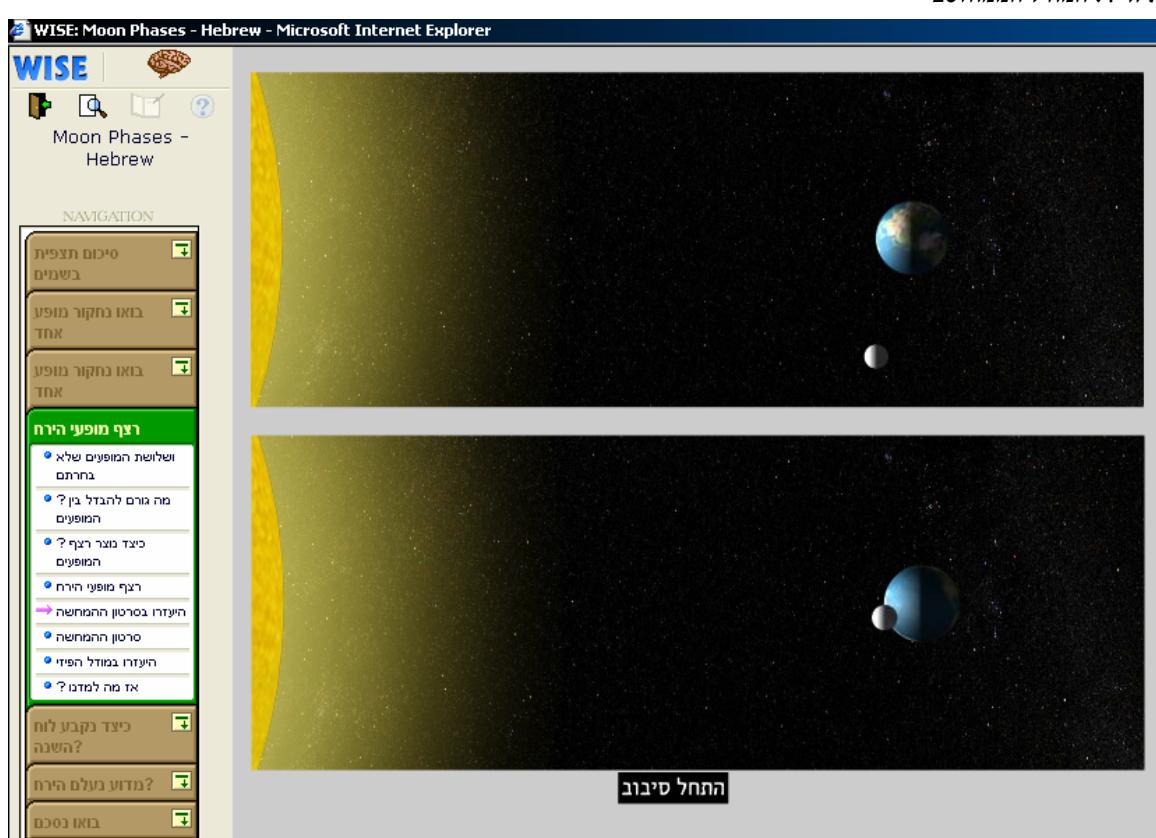
בפעילות השנייה התלמידים בוחרים לחזור מופע אחד מתוך ארבעת המופעים: מולד ירח, רביע ראשון, ירח מלא, רביע אחרון. החקירה נעשית על רקע סיפור מחיה היום יום, שמתאר בעיה שהתלמידים צריכים לפתרו. המטרה של הפעילות היא לעזור לתלמידים להבין את הקשר בין המיקום היחסי של הירח, השימוש וכדור הארץ למופע הירח כפי שהוא נראה מכדור הארץ. התלמידים חורכים באמצעות שימוש במודל פיזי (איור 3) ובמודל ממוחשב (איור 4) עם הנחות תומכות, צעד אחר צעד. המודל הפיזי והמודל הממוחשב מהווים כל אחד ייצוג שונה של המערכת משמש-ירח-כדור הארץ ושל מופעי הירח, וכן מציגים את התופעה מושלשת נקודות מבט: אחת מכדור הארץ, ושתיים מנוקודה חיצונית המערכת: מבט-על ומבט-צד. בסיום הפעילות התלמידים מארגנים את המידע שצברו במשימה בה הם צריכים לגורור ייצוגים של השמש, הירח וכדור הארץ במקומות היחסי המתאים למופע הירח אותו הם חקרו. עיקרונות העיקריים שהשתמשו בו כאן הוא: יש לטפל עוזרת ויזואלית דינמית עבור תמייה בהבנת תופעות תלת-ממדיות. כפי שהוזכר במבוא, מחקרים מראים שנitin לשפר את יכולות המרחביות במידה משמעותית בעזות תרגול. שני המודלים מאפשרים לתלמידים לבצע מניפולציות וברות, אשר יחד עם השאלות המנוחות, עשוות לעזור להם להתמודד עם הקושי לקשר בין היחסים המרחביים של השמש, כדור הארץ והירח, לבין האופן שבו נראה הירח מכדור הארץ.

בפעילות השלישית התלמידים חורכים נקודות בכל רצף מופעי הירח בשלבים: תחילת את שלושת המופעים שלא בחרו בפעילות השנייה, ולאחר מכן שמונה מופעים נוספים. גם פעילות זו כוללת הנחות

איור 3: דוגמא להנחיות במבנה לעובדה עם המודל הפיזי



איור 4: המודל הממוחשב



תומכות לשימוש במודלים. התלמידים מסכימים את מה שlearנו במשימה, בה הם צריכים להתאים בעזרה גיריה את מופע הירח למיקומו המתאים ביחס לכדור הארץ והשימוש. פעילות זו (כמו גם הפעולות האחרות במבנה), כתובה מראש לעובדה בזוגות, ובפרט העובדה עם המודל הפיזי שניתן לביצוע רק בזוגות. בנוספ', השאלות המנוחות מעודדות תלמידים להגיע לפתרון תוך דושיח וחשיבה משותפת. בפעולות זו בא לידי ביטוי עיקרונו העיצוב: יש לספק כלים לארגון וליצוג הידע. כאשר התלמידים נדרשים לארגן את הידע שלהם וכשוו במחול מספר שלבים, הם קושרים פיסות ידע, מבקרים לעצם את הבנה שלהם, בוחנים נקודות שלא הבינו קודם, ומפתחים הבנה טובה יותר של הנושא (Barnet Linn & Hsi, 2000). תחיליך זה כולל רפלקציה, שגם היא נמצאה כחשובה בלימידת אסטרונומיה (and Moran, 2002). עיקרונו עיצוב נוסף שבולט בפעולות זו הוא: יש לעוזד לומדים ללמידה אחרים. כאשר תלמיד מסביר את הידע שלו לעמיתו, הוא מחזין את החשיבה שלו, ועל-ידי כך מבהיר אותה גם לעצמו ומתעמק יותר בנושא. תלמידים משתמשים הרבה באוצר מילימ שעומתיהם מבינים ודוגמאות משותפות, כך הם עשויים להבין טוב יותר האחד את الآخر, וכך להגיע לתובנות חדשות (Linn, Davis & Bell, 2004).

בפעולות הריבית התלמידים לומדים על הקשר בין מופעי הירח לבין לוחות השנה העברי והמוסלמי. הם מבצעים זאת דרך חקרות תאריך יום-הולדתם (איור 5), רעיון המתבסס על עיקרונו העיצוב: יש לקשר את הנושא לדוגמאות רלוונטיות אישיות. תלמידים מוצאים קושי להתחבר לנושאים שאינם רלוונטיים להם, אינם מוכרים להם, או שקשה להם לתפוס אותם כמציאותיים. חשוב לבחור בעיות המבוססות על דוגמאות הרלוונטיות לתלמידים, כך שיוכלו להתחבר אליהם ולהתעמק בהם. קיימות עדויות, המראות כי בחירה של נושאים המקרבים את המדע ללמידה, משפיעה על יכולת ללמידה רעיונות מורכבים (Linn, Davis & Bell, 2004).

איור 5: פעילות לחקר תאריך יום הולדתך לפי לוח השנה העברי והלועזי

בואו נבדוק האם מופיע הירח זהה בכל שנה בתאריך הלועזי של יום הולדתכם

האם מופיע הירח בתאריך הלועזי של יום הולדתכם חוזר על עצמו בכל שנה?

כדי לבדוק זאת היינסו שוב לאטර <http://liftoff.msfc.nasa.gov/Academy/UNIVERSE/MOON.html>.

הפעם בדקנו כיצד נראה הירח בתאריך יום הולדתכם בחמש השנים האחרונות (השנה, השנה שבעלה, ובשלוש השנים שקדמו לה).

פרטו בטבלה למטה (גלוו את העמוד במדינת הצור) את מופע הירח בכל שנה.

השתמשו גם כאן בכינוי המופיעים, אוטם פגשותם בפעולות הראשונה:

ירח חדש	ירח אחרון	ירח מוחשי	ירח מלא	ירח מוגדל	ירח ראשון	ירח מוגדל	ירח ייחודי
---------	-----------	-----------	---------	-----------	-----------	-----------	------------

ה על הכטטור "גלוו את העמוד במדינת הצור" את מופע הירח בכל שנה.

ההו!

Save and Do Calculations (התעלימו)

יכתבו כאן את מסקנתכם ממשי הצעדים האחרונים:

(הקשו במקלדת על המקלדת והסכים על-מנת לישר למן את הטקסט בטבלה.)

בתאריך הלועזי של יום הולדתך בחמש השנה ר'ם
האחרונות מופיע הירח _____.
בתאריך העברי של יום הולדתך בחמש השנה ר'ם

Save note

A	B	C
תאריך הלועזי של יום הולדתך היה	השנה היהת	
לשנה אחרת		
בשנה שיערכה		
לפני שנתיים		
לפני שלוש שנים		

סיכום

מסמך זה התרמקד בהצגת מבנית מתוקשבת, שפותחה כדי לתמוך בהוראה ובלמידה של תופעת מופעי הירח. המבנית מיישמת מסקנות מחקרים קודמים שבוצעו עד עתה בנושא, וכן עקרונות עיצוב לשביבות למידה ממוחשבות המפורסמים במאגר לעקרונות עיצוב [The Design Principles](#) ([Database](#)). עקרונות העיצוב העיקריים עליהם נבנתה המבנית כוללים: בסיס על רעיונות התלמיד, שימוש במודלים ויזואליים דינמיים, מתן כלים לארגון וליצוג הידע, למידת עמיתים ו קישור לנושאים רלוונטיים לומדים. המבנית תבחן במסגרת מחקר עיצוב, וממצאים ראשוניים יוצגו בכנס.

ביבליוגרפיה

אסטרונומיה בפועלה (1999). פרחי מדע, מרכז ארכי ללימוד ומחקר באסטרונומיה, מכללת עמק הירדן. הוצאה רכס.

אסטרונומיה בפועלה (מדריך למורה) (2000). פרחי מדע, מרכז ארכי ללימוד ומחקר באסטרונומיה, מכללת עמק הירדן. הוצאה רכס.

מוועלם, ר. (2002). פיתוח והפעלה של יחידת הלימוד באסטרונומיה "כדור הארץ בחלל", ובדיקה השפעתה על הבנת "עונות השנה". עבודות גמר לקראת התואר "מוסמך במידעים", המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, בהנחיית דר' יוסי נוסבוים ופרופ' בת-שבע איילון.

מוועלם, ר. ונוסבוים, י. (2002 א). **כדור הארץ בחלל: פעילויות ומושגים**, מדריך למורה. מדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים, מטמון. מכון ויצמן למדע.

מוועלם, ר. ונוסבוים, י. (2002 ב). **כדור הארץ בחלל: פעילויות ומושגים**. מדע וטכנולוגיה לחטיבת הביניים, מטמון. מכון ויצמן למדע.

מחר 98 (1992). דוח הועדה העליונה לחינוך מדעי וטכנולוגי. ירושלים, משרד החינוך. <http://cms.education.gov.il>

סלומון ג. (2000). **רצינול לעיצובה של סביבת לימוד עתירת טכנולוגיה**. בתוך: סלומון, ג. (עורך). טכנולוגיה וחינוך בעידן המידע. חיפה: אוניברסיטת חיפה וזמורה ביתן, עמ' 73-51.

פייז'ה, ז. (1966). **תפיסת העולם של הילד**. ספרית פועלים. תרגם לעברית: אליהו פורת.

פתח-אל, י. (1998). **אסטרונומיה-מדריך להכרת השמים**. הוצאה קוסמוס.

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.

Bakas, C., & Mikropoulos, T.A. (2003). Design of Virtual Environments for the Comprehension of Planetary Phenomena Based on Students' Ideas. *International Journal of Science Education*, 25(8), 949-967.

- Barab, A.B., Hay, K.E., Barnett, M., & Keating, T. (2000a). Virtual Solar System Project: Building Understanding through Model Building. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 719-756.
- Barab, S. & Squire, K. (2004). Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14.
- Barab, S.A., Hay, K.E., Squire, K., Barnett, M., Schmidt, R., Karrigan, K., Yamagata-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.
- Baxter, J.H. & Preece, P.F.W. (2000). A comparison of dome and computer planetaria in the teaching of astronomy. *Research in Science and Technological Education*, 18(1), 63-69.
- Bell, P., Hoadley, M.C., Linn, M. Design-based Research in Education. In: Linn, M., Davis, E.A., & Bell, P. (Eds) (2004). *Internet Environments for Science Education*.
- Bennett, M. & Morran, J. (2002). Addressing Children's Alternative Frameworks of the Moon's Phases and Eclipses. *International Journal of Science Education*, 24(8), 859-79.
- Bishop, J.E. (1978). Developing Students' Spatial Ability. *The Science Teacher*, 45(8), 20-23.
- Callison, Priscilla, L., and Wright, Emmett 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.
- Collins, A., Joseph, D. & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 19-32.
- Copolo, C.F., and Hounsell, P.B. (1995). Using three dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 4, 295-305.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23, 5-12.
- Eliot, J.K. & Fralley, S.J. (1976). Sex differences in spatial ability. *Young Children*, 31(6), 487-498.
- Gazit, E. & Chen, D. (2003). Using the Observer to analyze learning in virtual worlds. *Behaviour Research Methods, Instruments and Computers*, 35(3), 400-407.
- Gazit, E., Chen, D. & Yair, Y. (2006, Accepted). Emerging Conceptual Understanding of Complex Astronomical Phenomena by Using a Virtual Solar System (VSS). *The Journal of Science Education and Technology*.
- Hansen, J.A., Barnett, M., MaKinster, J.G. & Keating, T. (2004a) 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.
- Hansen, J.A., Barnett, M., MaKinster, J.G. & Keating, T. (2004b) The Impact of Three-Dimensional Computational Modeling on Students Understanding of Astronomy Concepts: A Qualitative Analysis. *International Journal of Science Education*, 26(13), 1555-1575.

- Hoadly, P.C. (2002). Creating context: Design-based research in creating and understanding CSCL. *Proceedings of Computer Support for Cooperative Learning (CSCL) 2002, Boulder, CO.*
- Hsi, Linn & Bell. (1997). The Role of Spatial Reasoning in Engineering and the Design of Spatial Instruction. *Journal of Engineering Education*, 151-158.
- Integration. *Science Education* 87(4), 517-538.
- Kali, Y & Orion, N. (1997). Software for Assisting High-School Students in the Spatial Perception of Geological Structures. *Journal of Geoscience Education*, 45, 10-21.
- Kali, Y., & Orion, N. (1996). Spatial abilities of high-school students in the perception of geologic structures. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 369-391.
- Kali, Y., Spitalnik, M., & Linn M. (2004). *Building Community using the Design Principles Database*, in Gerjets, P., Kirschner, P. A., Elen, J. & Joiner, R. (Eds.) (2004). Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning. Proceedings of the first joint meeting of the EARLI SIGs Instructional Design and Learning and Instruction with Computers. Tuebingen: Knowledge Media Research Center
- Keating, T., Barnett, M., Barab, S.A. & Hay, K.E. (2002). The Virtual Solar System Project: Developing Conceptual Understanding of Astronomical Concepts Through Building Three-Dimentional Computational Models. *Journal of Science Education and Technology*, 11(3), 261-275.
- Linn, M.C. & Hsi, S. (2000). *Computers, Teachers, Peers: Science Learning Partners*. LEA, Inc.
- Linn, M.C. & Petersen, A.C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Linn, M.C., Clark, D. & Slotta, J.D. (2003). Wise Design for Knowledge
- Linn, M.C., Davis, E.A., & Bell, P. (2004). *Internet Environments for Science Education*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Lynch. L. & Johnson, C. (2000b). Virtual Solar System Project: Learning Through a Technology-Rich, Inquiry-Based, Participatory Learning Environment. *Journal of Science Education and Technology*, (1), 7-25.
- McDermott, L.C. (1996). Physics by Inquiry. New-York: Wiley.
- McFie, J. (1973). Intellectual Imbalance: A perceptual hypothesis. *British Journal of Social Clinical Psychology*, 12, 433-434.
- McGee, M.G. (1979). Human Spatial Abilities: Psychometric Studies and Environmental, Genetic, Hormonal and Neurological Influences. *Psychological Bulletin*, 86, 889-918.
- Nussbaum, J. & Novak, J.D. (1976). An Assessment of Children's concepts of the Earth Utilizing Structured Interviews. *Science Education*, 60(4), 535-550.
- Orion, N., Ben-Chaim, D., & Kali, Y. (1997). Relationship between Earth science education and spatial visualization. *Journal of Geoscience Education*, 45, 129-132.

- Papert, S. (1991). Situating constructionism. In: Harel, I., and Papert, s. (Eds). *Constructionism: Research Reports and Essays*, 1985-1990, Albex, Norwood, New Jersy, pp.1-11.
- Parker, J. and Heywood, D. (1998). The Earth and beyond: Developing primary teachers' understanding of basic astronomical events. *International Journal of Science Education*, 20, 503-520.
- Piaget, J. (1970). *Genetic Epistemology*. New York, Columbia University Press.
- Stahly, L., Krockover, G.H. & Shepardson, D.P. (1999). Third Grade Students' Ideas about the Lunar Phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 159-177.
- Taylor, I.J. (1996). Illuminating Lunar Phases. *The Science Teacher*, 63(8), 39-41.
- The Design Principles Data-base. Available at: <http://www.design-principles.org/dp/index.php>
- Trumper, R (2000). University Students' Conceptions of Basic Astronomy Concepts. *Physics Education*, 35(1), 9-15.
- Trumper, R. (2001a). A cross-college age study of science and nonscience students' conceptions of basic astronomy concepts in Preservice training for high-school teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 10(2), 189-195.
- 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.
- Trumper, R (2001c). A Cross-Age Senior High School Students' Conceptions of Basic Astronomy Concepts. *Research in Science and Technological Education*, 19(1), 97-109.
- Trumper, R (2003). The Need for Change in Elementary School Teacher Training – A Cross-College Age Study of Future Teachers' Conceptions of Basic Astronomy Concepts. *Teaching and Teacher Education*, 19(3), 309-323.
- Trundle, K.C., Ronald, K.A. and John, E.C. (2002). Preservice elementary teachers' conceptions of moon phases before and after instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 633-658.
- Vygotsky, L. (1978). Interaction between learning and development. In M. Cole, J. Steiner, S. Scribner & E. Souberman (Eds.), *Mind in society*. Cambridge: Harvard University Press.
- Waber, S.C. (1976). Sex differences in cognition: A function of maturation rate. *Science*, 192, 572-574.
- WISE available at <http://wise.berkeley.edu>
- Yair, Y., Mintz, r. & Litvak, S. (2001). 3D-virtual reality in science education: An implication for astronomy teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 20(3), 293-305.
- Yair, Y., Schur, Y. & Mintz Rachel. (2003). A "Thinking Journey" to the Planets Using Scientific Visualization Technologies: Implications to Astronomy Education. *Journal of Science Education and technology*, 12(1), 43-49.