

על הבנת טבעו של ידע מדעי*

סוזן קארי וקרול סמית

מכריעים, וידע מדעי מתואר כצבירה מתמשכת של מערכת של השערות שאושרו. כפי שטענו הודסון (Hodson, 1985; 1988), נאדו ודוטלוז (Nadeau & Strike & Posner, 1984) וכן, סטרייק ופוזנר (Desautels, 1984), זו השקפה אינדוקטיביסטית ואמפיריציסטית בעיקרה: מקור הידע המדעי מצוי אך ורק בנתונים על העולם.

אנו טוענות (וכך טוענים גם אחרים) שחשוב לתת לתלמידים אפיסטמולוגיה קונסטרוקטיביסטית יותר של מדע: אפיסטמולוגיה שבה תלמידים ילמדו ויבינו שמדענים מחזיקים בתיאוריות שיכולות להיות הבסיס ליצירה ולפרשנות של השערות ספציפיות ושל ניסויים. אנו רוצות שיגיעו להבנה שהידע שלנו על הסדירות בטבע הוא ידע שנרכש כתוצאה מהשערה מוצלחת, יותר משהוא תוצאה של מה שקדם לה, ושפרספקטיבה תיאורטית הולמת חיונית גם לתצפית וגם לניסוי. כך, בלי לקרוא תגר על אמונת התלמידים שתיאוריות עשויות בסופו של דבר לשקף מציאות, נוכל אולי לעזור להם לראות שתיאוריות הן מבנים אינטלקטואליים רחבי היקף, המהווים את ההבנה של מדענים, ומדריכים את הפעולות היומיומיות שלהם. כך נעזור לתלמידים להבין מדוע מדענים עושים ניסויים, מדוע יש מקום למחלוקות לגיטימיות במדע ואפילו מדוע לימוד מדע הוא דבר קשה.

אפיסטמולוגיה של תלמידים

הודסון (1985) ונאדו ודוטלוז (1984) מניחים שתוכניות הלימודים הקיימות במדע מאששות את השקפות השכל הישר של התלמידים עצמם על טבעו של הידע המדעי – השקפות הרואות ברכישת ידע תהליך המונע אך ורק בעזרת הנתונים המצויים בהישג יד. אך איזו ראייה יש לנו להנחה זו? למרבה הפליאה, רוב הראיות בעניין זה הן עקיפות. בקטע זה נסקור את הראיות על פי שלוש קבוצות שונות של מחקרים, קבוצות שיכולות להאיר שאלה זו.

אפיסטמולוגיה של השכל הישר

הקבוצה הראשונה עוסקת באפיסטמולוגיה של השכל הישר באופן כללי, ולא דווקא בזו של המדע. כמה מחברים השתמשו ב"ריאיונות קליניים" כדי

עדה החשוב של תוכנית הלימודים במדעים הוא לעזור לתלמידים להבין את הטבע של המפעל המדעי עצמו, ויש לכך כמה סיבות: ראשית, תלמידים מסוגלים לרכוש שבריר קטן בלבד של כל הידע המדעי במהלך לימודיהם בבית-הספר, אך כאזרחים עליהם לנקוט עמדות בנושאים כלליים שיש בהם גם מחלוקות. לפיכך, תוכנית לימודים מוצלחת במדעים תבטא את העניין במדע, שהוא בסיס הלמידה לאורך כל החיים; תעריך את סוג הידע הנרכש בתהליך של ניסויים ופיתוח טיעונים, ותקנה גישה ביקורתית לדברים שמומחים משמיעים. העסקת תלמידים בתהליך העשייה המדעית וניהול שיחה גלויה אתם על טבעו של המדע, נחשבים למרכזיים בטיפוח עניין, ערכים ועמדות האלה.

לאחרונה, הופיע נימוק שונה לגמרי להוראת טבעו של המדע. תלמידים מגיעים לשיעורי מדע כשבאמתחתם תיאוריות שונות ומושגים אחרים מאלו של מדענים, ולכן, תוכנית לימודים מוצלחת במדע תניע תלמידים לבצע שינויים מושגיים מרחיקי לכת. השאלה בדבר היחס שבין הבנת התלמיד את טבעו של הידע המדעי לבין הצלחת התלמיד בלימודים על פי תוכניות לימודים שהוכנו במטרה לחולל שינוי מושגי – נותרה פתוחה. כשמעוררים אצל התלמידים מודעות לתהליך של שינוי מושגי, עוזרים להם להצליח בהשגת שינוי זה.

מהי בדיוק אותה השקפה בדבר טבעו של המדע, שאנו מקווים להקנות לתלמידים? בספרי הלימוד המשמשים תלמידים כיום, נהוג לתאר מדענים כאנשים העוסקים בתהליך התלוי בתצפית קפדנית ובניסוי, ומטרתם ללמד את התלמידים כמה מן המיומנויות המשמשות בניסוי מדעי קפדני, בתיאורים אלה אין דנים בתפקיד שממלאות התיאוריות של המדענים בתהליך. במקום זאת מאזכרים רק השערות ספציפיות או אמונות של מדענים על העולם. בכמה מן התיאורים מוצגות ההשערות כתוצאה פשוטה של תצפית וניסוי חסרי פניות, ואילו באחרים מכירים בכך שלמדענים עשויות להיות השערות המניעות אותם לבצע ניסוי כלשהו. בשני המקרים, השערות אלה נבחנות באופן ישיר ונטול בעיות באמצעות נתונים של ניסויים

* Susan Carey & Carol Smith, "On Understanding the Nature of Scientific Knowledge", in D. Perkins, J. Schwartz, M. West, M. Wiske (eds.), *Software Goes to School*, Oxford University Press, 1995.

התשובות חולקו לשישה שלבים. כל תלמידי כיתה ו' ושלשה רבעים מתלמידי כיתה ט' היו בשלושת השלבים הנמוכים. מאפיין מפתח של השלבים הנמוכים מבליט את העובדה שתלמידים אינם מפיגנים מודעות כלשהי ל"פרשנות התיאורטית כגורם הממלא תפקיד ביצירת התיאורים וככלי לפישור ביניהם" (Kuhn et al., 1988, p. 213). במקום זה הם מטפלים במשימה בראש ובראשונה במישור של עובדות אובייקטיביות ולכל היותר הם רואים את ההבדל בין התיאורים כנובע מן השוני בבחירת העובדות. תהליך זה נובע מן העובדה שההיסטוריונים היו במקומות אחרים בזמנים שונים או ממניעים ותכליות שונים של כל אחד מהם (כלומר, יכול להיות שהם שיקרו או הגזימו כדי להציג את הצד שלהם בצורה חיובית). כך או כך, התלמידים בשלב זה עדיין מניחים שיש אמת פשוטה, "האמת של המצב", שמתבונן קפדן ונטול פניות יכול להכירה.

לעומת זאת, תלמידים מבוגרים יותר, סטודנטים מתחילים וסטודנטים לתואר שני, נטו להשתייך לשלושת השלבים הגבוהים יותר. בשלבים אלה הנחקרים מודעים יותר לכך שלכל אחד משני ההיסטוריונים יש נקודות מבט שונות, ושקביעת "האמת של המצב" אינה עניין של החלטה פשוטה – מי שיקר ומי דיבר אמת. יש המאמינים שיתכנו מציאויות אינדיבידואליות רבות ואילו אחרים מכירים בהווייתן של מציאות אובייקטיבית חמקמקה, שאפשר לדעת אותה רק בקירוב.

בזמן שילדים מתקדמים מאפיסטמולוגיה של השכל הישר, הרואה בידע משהו הצומח ללא בעיות מתוך תצפיות, לאפיסטמולוגיה שמקצה למסגרות התייחסות פרשניות תפקיד ברכישת ידע, הם גם מפתחים תפיסות מורכבות יותר בנוגע לדרכי הציודק של האמונות. עניין זה מודגם יפה במחקרים של קיצ'נר וקינג (Kitchener & King, 1981). גם הם, כמו קון ועמיתיו, הציגו בפני התלמידים דילמות, אך הם גם ביררו עם התלמידים כיצד הגיעו להחלטה למי להאמין. החוקרים גילו שהתלמידים הצעירים יותר הצדיקו את האמונות שלהם בראש ובראשונה במונחים של התנסויות תפיסיות, או על סמך מה שאמרו להם מומחים בעלי סמכות. בשלב כלשהו בהתבגרות המאוחרת (במיוחד בקרב סטודנטים צעירים), התלמידים נעשים מודעים להבדלים בפרשנות של אותן עובדות וכפועל יוצא מזה, הם מבינים שיתכנו אפילו חילוקי דעות בין מומחים בעלי סמכות. הכרה זו מובילה למשבר אפיסטמולוגי – תקופה שבה התלמידים הם רלטיביסטים רדיקליים, הטוענים שאין ידע אמיתי וכל אחד חופשי להאמין במה שהוא רוצה. ולבסוף, במהלך שנות הלימוד באוניברסיטה, יש סטודנטים המגיעים לאפיסטמולוגיה בשלה, המכירה בד בבד ביחסיות של אמונה למסגרות התייחסות פרשניות, ובכך שיש קאנונים של צידוק רציונלי של אמונה. אמונות יש להצדיק

לבדוק ולברר מהן השקפותיהם של מתבגרים ובוגרים על טבעו של הידע ועל מקור הצדקתו (למשל, Broughton, 1978; Chandler, 1987; Kitchener & King, 1981; Kuhn, Amsel & O'Loughlin, 1988; Perry, 1970). מחקרי ריאיונות אלה עולה קונצנזוס באשר לשלבים שאנשים רגילים עוברים כשהם מפתחים את השקפותיהם האפיסטמולוגיות, אם כי המספר המדויק של השלבים והעיתוי של המעברים משלב לשלב נתונים לוויכוח במידת מה. בסקירת הספרות הזאת אנחנו מתמקדות בשתי התפתחויות הקשורות זו בזו, הנראות לנו כחשובות: תפיסה תיאורטית או מסגרת התייחסות פרשנית והבנה שידע תיאורטי נרכש מראיות באמצעות טיעונים עקיפים.



אשר לנושא הראשון, היו שטענו שילדים צעירים מתחילים באפיסטמולוגיה של השכל הישר, והם תופסים בה את הידע כעולה בצורה ישירה לא בעייתית מתוך התנסויות חושיות; ידע בעיניהם אינו אלא אוסף של אמונות אמיתיות רבות (למשל, Chandler, 1987; Kitchener & King, 1981; Kuhn et al., 1988). בשלב זה לא קיים הרעיון שהאמונות עצמן מאורגנות בתיאוריות אינטואיטיביות או במסגרות התייחסות פרשניות, או שתיאוריה אינטואיטיבית שיש לאדם יכולה להשפיע על האמונות ועל ההבחנות שלו.

מחקרו של קון ועמיתיו (Kuhn et al., 1988) מאשר טענה זו. החוקרים הציגו לנחקרים שני תיאורים של מלחמה דמיונית שכונתה "המלחמה הלוויאנית החמישית", כפי שדווחו על-ידי שני היסטוריונים. כל היסטוריון ייצג צד במלחמה, ושני ההיסטוריונים טענו שהצד שלהם ניצח במלחמה. לאחר מכן התבקשו הנחקרים לתאר במילים שלהם מה התרחש ב"מלחמה הלוויאנית החמישית", ולהחליט האם התיאורים של שני ההיסטוריונים היו שונים משמעותית זה מזה, והאם ייתכן ששני התיאורים נכונים.

להבין שגירוי הנראה לעין עשוי להתפרש באופן שונה על-ידי אנשים שונים, תלוי בידע הרקע שלהם (אם כי, כך הם סבורים, רק פרשנות אחת נכונה; האחרות מוטעות בגין מידע שגוי או בורות). ולבסוף, פלאוול, פלאוול, גרין ומוזס (Flavell, Flavell, Green & Moses, 1990) הראו שאפילו בני שלוש מודעים לכך שאנשים יכולים להיות חלוקים בדעותיהם, בעיקר כשמדובר בשאלות בעלות חשיבות. אפיון הולם של אפיסטמולוגיה של תלמידים צעירים חייב לשלב ממצאים הנובעים משימוש במתודולוגיות מגוונות אלה. נספח א בסוף המאמר משרטט את הניסיון הראשוני שלנו להציע תיאור עשיר יותר של האפיסטמולוגיה המוקדמת של תלמידים, ולעמת אותה עם אפיסטמולוגיה מאוחרת יותר, העושה שימוש ברור ברעיון של תיאוריה. שתי האפיסטמולוגיות הן קונסטרוקטיביסטיות: הן מכירות בכך שהאמונות שאדם מחזיק בהן יכולות להשפיע על האבחנות שלו ועל הידע הנובע מהן. כמו כן, שתיהן מציאותיות במובן זה שהן מניחות את קיומה של מציאות אובייקטיבית. עם זאת, בראשונה (המכונה ידע לא בעייתי) מניחים שאפשר להשיג ידע של המציאות בעזרת מידה מספקת של תצפית שקדנית, ואילו בשנייה (המכונה ידע בעייתי) מניחים שאפשר לדעת את המציאות רק באמצעות הערכות עוקבות בעזרת תהליך של חקירה ביקורתית. אנו ממליצות על אפיסטמולוגיות אלה כנקודת התחלה וכןקודת סיום מורכבת יחסית, לאפיסטמולוגיות של ילדים בגיל בית-ספר. ללא ספק יש שלבי ביניים בין שני שלבים אלה.

מיומנויות התהליך המדעי

קבוצת המחקרים השנייה, המשליכה בעקיפין על אפיסטמולוגיית המדע של תלמידים, נוגעת לניסיונות לבנות טיעונים מדעיים. אלה מחקרים על מה שמכונה "מיומנויות התהליך המדעי" (למשל Dunbar & Klahr, 1989; Inhelder & Piaget, 1958; Kuhn et al., 1988). מחקרים רבים מראים שטרם-מתבגרים ומתבגרים צעירים אינם מבינים את הלוגיקה של בניית טיעונים על פי תוצאות של ניסויים. ליקויים דרמטיים בתכנון של ניסויים ובהסקת מסקנות על סמך ראיות מניסויים, מתועדים בשפע במחקר הקלסי של אינהלדר ופיאז'ה (1958), הבודק את ההתפתחות של טיעון מדעי, ובמחקרים חדשים יותר של קון ואחרים (1988) ושל דאנבר וקלאר (1989). ייתכן שיש לפחות שני ליקויים מובהקים בבסיס הבעיות שיש לילדים במשימות כאלה. מצד אחד, ייתכן שלתלמידים באמת חסר ידע בהיבטים של הלוגיקה של בחינת השערות. למשל, קאהנמן, סלוביק וטברסקי (Kahneman, Slovic & Tversky, 1982) תיעדו שגיאות בטיעון סטטיסטי שנעשו על-ידי מבוגרים מתוחכמים למדי. מצד שני, קשיים של תלמידים יכולים לשקף, חלקית, את המחויבות

באמצעות דפוסי טיעונים ועל בסיס דפוסי נתונים, ואמונות מסוימות אפשר להצדיק טוב יותר מאשר אחרות.



ללא ספק נתונים אלה מצביעים על הבדלים אפשריים בין האמונות האפיסטמולוגיות של מתבגרים צעירים לבין אלה של מתבגרים בוגרים, אך נתונים אחרים מצביעים על כך שאולי החוקרים לא הקדישו תשומת לב ראויה למורכבות האמונות של מתבגרים צעירים. למשל, אצל קון ועמיתיו (Kuhn et al. 1988), המחקר מאשר שתלמידים בשלב המוקדם ביותר לא מצליחים להבחין בין תיאור של אירוע לבין האירוע עצמו. בדומה לכך, אצל קיצ'נר וקינג (Kitchner & King, 1981), לתלמידים בשלב המוקדם ביותר אין מודעות לכך שהאמונות של אדם יכולות להיות מוטעות או שונות מאלו של מומחה. שני שלבים אלה נחשבים לשלבים המאפיינים מתבגרים צעירים. עם זאת, יש כיום ראיות מבוססות (הנובעות משימוש במתודולוגיה שונה, שאינה דורשת הבנות פורמליות ומילוליות) לכך שאפילו בני שלוש יכולים להבחין בין האמונות שלהם לגבי מציאות לבין המציאות עצמה, ולהבין שלאנשים יכולות להיות אמונות מוטעות (ראו למשל Wellman, 1990).

דוגמא נוספת לפשוט יתר בתיאור שמציעים קיצ'נר וקינג לאפיסטמולוגיה של מתבגרים צעירים נוגעת לטענות שלהם שתלמידים רואים בהתנסות תפיסתית ובעדות מומחה את המקורות היחידים של אמונה, ושתלמידים אינם תופסים שאותן עובדות יכולות להתפרש בדרכים שונות או שיכולים להיות חילוקי דעות לגיטימיים. כאמור, יש כיום ראיות מוצקות לכך שאפילו בני שש מבינים שהיסק, ולא רק התנסות ישירה הוא מקור לידע (Sodian & Wimmer, 1987). כמו כן, החוקרים קארטרייט ובודן (Taylor, Cartwright & Bowden, 1991) הראו שעד הגיעם לגיל שש ילדים מתחילים

פרשנית; התיאוריות שמחקרים אלה מתייחסים אליהן אינן אלא אמונות על יחסים סיבתיים בין משתנים יחידים.

אפיסטמולוגיה של מדע

קבוצת מחקרים שלישית נגזרת ממחקר ישיר יותר של אפיסטמולוגיה של מדע של תלמידים. מחקר המבוסס על התבטאויות של תלמידים. שתיים מן הבחינות התקניות היותר שאפתניות (Test of Understanding Science, Klopfer & Carrier, 1970, and the Nature of Scientific Knowledge Scale, Rubba & Anderson, 1978) בודקות הבנה של מדע כמערכת תיאוריות הנבנית בתהליך של חקירה ביקורתית. תוצאות המחקר מגלות שלמתבגרים צעירים יש הרבה מה ללמוד על מדע מהיבט זה, אך הם הולכים ומתקדמים להבנה כזאת במהלך לימודיהם בבית-ספר תיכון ובמכללה, במיוחד הודות להוראה מסוימת (Rubba & Anderson, 1978). אך יש לזכור שבחינות תקניות אלה לא תוכננו לברר את דבר קיומה של אפיסטמולוגיה חלופית אצל תלמידים. כדי להתגבר על מגבלה זאת, נערכו שני ריאיונות קליניים לגבי אפיסטמולוגיה של מדע בקרב תלמידים מכיתה ז'.

במחקר הראשון נשאלו התלמידים על טבעו ותכליתו של מדע, על תפקיד הניסויים בעבודת המדען ועל הקשר בין רעיונות, ניסויים ותוצאות-נתונים (Carey, Evans, Honda, Jay & Unger, 1989), לפרטים נוספים). שאלות הריאיון נחלקו לשישה חלקים, ותשובות התלמידים בכל חלק חולקו לקטגוריות ששיקפו שלוש רמות כלליות של הבנה. נספח ב מסכם את שלוש רמות ההבנה הכלליות במחקר הזה, החל ברמה הראשונה שבה מטרת המדע נתפסת במונחים של איסוף עובדות ספציפיות על העולם, וכלה ברמה השלישית שבה מטרת המדע נתפסת במונחים של תהליך הצעת הסברים מעמיקים והולכים לעולם הטבע.

עשרים ושבעה מתוך כלל תלמידי כיתה ז' רואיינו לפני שלמדו את יחידת הלימודים שלהם על טבעו של המדע, והרמה הממוצעת הכללית היתה 1.0. רק ארבעה תלמידים השיגו תוצאה ממוצעת כללית של רמה 1.5. המאפיין החשוב ביותר של רמה 1, הוא, ככל הנראה, היעדר הבנה שרעיונות הם ישויות נבדלות, מובנות וניתנות למניפולציות, המניעות את העבודה הניסויית המעשית יותר של המדען. בהבנה ברמה 1, הטבע נמצא "שם" כדי שידעו אותו. בהתאם, מדענים "מגלים" עובדות ותשובות שקיימות, כמעט כמו אובייקטים, "שם בשטח". רעיונות עצמם של מדענים לעולם אינם נתונים לעומת זאת, לבחינה ובדיקה.

במחקר הריאיונות השני (Grosslight, Unger, Jay & Smith, 1991), חוקרים בדקו את תפיסות התלמידים

שלהם לאפיסטמולוגיה נאיבית, שאינה עושה הבחנה ברורה בין תיאוריה, השערה ספציפית וראיות. אפיסטמולוגיה כזאת מובילה אותם לצפות ליחס ישיר יותר מזה שאכן קיים בין השערה לניסוי, להתעלם מהתפקיד של הנחות מסייעות בבחינה של השערות; ולהגיע למסקנות ודאיות יותר על סמך הנתונים שבידיהם, ודאיות יותר ממה שנתונים אלה אכן מאפשרים. בדרך זו, חלק מן המחקר של ליקויים במיומנויות תהליך עשוי לתמוך, בעקיפין, בהימצאות אפיסטמולוגיה של ידע לא בעייתית אצל ילדים צעירים.

קון ועמיתיו (1988) פרסמו סדרה של מחקרים שסקרו יכולת של תלמידים לשנות את התיאוריות הראשוניות שלהם (למשל, על הסיבות להצטננות) בעקבות ראיות פרי ניסויים שהוצגו להם. המשימות היו קשות בעיני נחקרים בכל הגילים, אפילו נחקרים מבוגרים. כלומר, אפילו מבוגרים הדיוטות היו חלשים בהסקת מסקנות הולמות מדפוסים של ראיות סטטיסטיות. עם זאת, קון ועמיתיו טענו שהצורה שבה הגיבו ילדים צעירים הראתה שלא היה להם רעיון ברור בדבר תיאוריה המתקיימת בנפרד מן הראיות. הם ציינו במיוחד שפחות משליש מתלמידי כיתה ו' התייחסו ספונטנית לראיות כשענו על השאלה "האם נתוניו של המדען הראו שמשנתה נתון משפיע על תוצאה מסוימת?". במקום להתייחס לראיות הם ציינו שוב את התיאוריה שלהם או פיתחו אותה בעזרת מנגנון כלשהו. כשהראיות עמדו בסתירה לתיאוריה, רק תלמידי תואר שני היו מסוגלים להבחין בין מה שהם חשבו לבין מה שהראיות של המדענים הראו. אחרים שינו את ההשערות שלהם ורק אחר כך ציינו את הראיות. כשהתיאוריה שלהם התיישבה עם הראיות, קון ועמיתיו (1988) תיארו את הנחקרים כרואים בראיות "שווה ערך של המקרים של התיאוריה המדגימה אותם, כשהתיאוריה משמשת, בתורה, להסבר הראיות... הראיות והתיאוריה מתמזגות לייצוג אחד של 'אלה הם פני הדברים'" (עמ' 221).

אנחנו מאמינות שהממצאים של קון ועמיתיו (1988) תואמים את אפיסטמולוגיית הידע הלא בעייתית של מתבגרים צעירים – שבה הם עדיין אינם מבחינים בין תיאוריה ואמונה, ועדיין אינם רואים את החשיבות של טיעונים עקיפים, מרובי-שלב, לבחינה של השערה ספציפית. בה-בעת, שימו לב לכך שסוגי הממצאים שהוצגו זה עתה, אף על פי שהם מתיישבים עם הנחה זאת, אינם מספקים לה ראיות מוצקות משתי סיבות: ראשית, משום שקשה לקבוע כמה מן הקושי של התלמידים כרוך בהיסקים הסטטיסטיים הספציפיים שהם מתבקשים להסיק, וכמה ממנו נובע מן האפיסטמולוגיה היותר מוגבלת שלהם, המקשה עליהם להעריך מה פירוש הדבר לבחון השערה; שנית, המחקרים אינם מעריכים את המושג "תיאוריה" במובן של מסגרת התייחסות

ברמה 2 להבנות ברמה 3. בדיעבד, זוהי מגרעת משמעותית כי הבנות ברמות 1 ו-2 עשויות להיכלל בתחומי האפיסטמולוגיה של ידע לא בעייתי (המתוארת בנספח א), בשעה שרמה 3 דורשת אפיסטמולוגיה קונסטרוקטיביסטית בשלה יותר, קרובה יותר לאפיסטמולוגיה של ידע בעייתי (המתוארת בנספח א). כעת מוכנסים תיקונים בריאיון ובשיטת הניקוד כדי להתגבר על חסרונות אלה. בשני המחקרים התלמידים אמנם לא הפגינו אפיסטמולוגיה ברמה 3, אך אימות כלשהו לקיומה בא מריאיונות של קבוצת מדענים מומחים, תוך שימוש בריאיון על טבעם של מודלים. כל המדענים הפגינו באופן חד משמעי הבנה ברמה 3.

יש, ללא ספק, צורך במחקר נוסף כדי להבהיר את טבען של רמות אלה וכדי לקבוע עד כמה האפיסטמולוגיה של התלמיד עקובה במקצועות הלימוד ומעבר להם. ייתכן, למשל, שתלמידים יהיו מתקדמים יותר באפיסטמולוגיית השכל הישר שלהם מאשר באפיסטמולוגיית המדע שלהם. אף על פי כן, התוצאות בשלוש קבוצות המחקרים השונות עקיבות בטענה שתלמידי כיתה ז' יש אפיסטמולוגיה חלופית שהם מביאים אתם לשיעורי מדע, שאינה עולה בקנה אחד עם האפיסטמולוגיה הקונסטרוקטיביסטית שאנו שואפים להנחיל.

רמות והתפתחות

נניח שאפינו כיאות את אפיסטמולוגיית השכל הישר של המדע של תלמידי חטיבת הביניים. שתי שאלות בעלות חשיבות ודחיפות ניצבות כעת לפני החינוכאים. ראשית, באיזה מובן רמות אלה הן התפתחותיות? האם יש משהו אחר שאנחנו יודעים על ילדים בני 12 שסייע בידנו להבין את הרמות האלה? שנית, האם רמות אלה מציבות מחסומים לקליטת אפיסטמולוגיה קונסטרוקטיביסטית כאשר היא נקבעת כיעד של תוכנית הלימודים במדע?

איננו סבורות שרמות אלה משקפות שלבים במובן של פיאז'ה (ראה אצל Carey, 1985a). כלומר, לא סביר שהן משקפות כשל קוגניטיבי אחר, מופשט יותר, של הילד. הגישה המועדפת בעינינו היא לאפיין רכישת ידע וארגון מחדש של ידע בתוך תחומים קוגניטיביים. כך, למשל, אפינו שינויים בבולוגיה האינטואיטיבית (Carey, 1985b) ובתיאוריית החומר האינטואיטיבית של הילד (Carey, 1991; Smith, Carey, & Wiser, 1985). אנו רואות באפיסטמולוגיה חלק של תחום אחד כזה – תיאוריה אינטואיטיבית של השכל – שיש לו היסטוריה התפתחותית ספציפית (למשל, Wellman, 1990). כדי להבין מדוע לתלמידי חטיבת הביניים יש השקפות אפיסטמולוגיות מסוימות, צריך להבין איך הם בונים תיאוריה של השכל – תהליך שמתחיל בגיל הרך.

העובדה שהרמות אינן משקפות, ככל הנראה, שלבים במובן של פיאז'ה, אין פירושה שהן אינן

לגבי מדע בצורה שונה למדי, אך התוצאות היו די דומות. התלמידים נשאלו שאלות כגון, "מה עולה בדעתך כשאתה שומע מילים כמו מודל? למה משמשים מודלים? על מה אתה צריך לחשוב כשאתה מכין מודל? איך משתמשים מדענים במודלים?" ו"האם מדען ישנה מודל שהכין?". נוסף לכך הוצגו לתלמידים דברים מוחשיים כגון מטוס צעצוע, מפה של רכבת תחתית ותמונה של בית, והתלמידים נתבקשו להסביר האם אפשר לכוונת דברים אלה "מודלים". כמו בריאיון על טבעו של המדע, זוהו שלוש רמות כלליות של חשיבה על מודלים. הן נבדלות זו מזו בדרך שבה תלמידים מדברים על היחס בין מודלים למציאות ועל התפקיד של רעיונות במודלים. נספח ג מתאר את הרעיונות העיקריים בכל רמה, החל מרמה 1 שבה תופסים מודלים כהעתיקים מדויקים, וכלה ברמה 3 שבה רואים מודלים ככלים המשמשים לבנייה ולבחינה של תיאוריות של מדענים.



במחקר זה (Grosslight et al., 1991), רואיינו תלמידים מכיתה ז' ומכיתה י"א. הרמות נקבעו על סמך שישה ממדים שכל אחד מהם קיבל ניקוד בנפרד (התפקיד של רעיונות, שימוש בסמלים, התפקיד של בוני מודלים, תקשורת, בחינה, וריבוי מודלים). כל תלמיד קיבל שישה ציונים, ציון לכל ממד. תלמיד שקיבל ציון שווה בחמישה או בשישה ממדים שויך לאותה רמה; תלמידים ברמות מעורבות "ישבו" על שתי רמות סמוכות ושויכו לרמות מעורבות (למשל, רמה 1/2). על פי סכמה זו מצאו גרוסלייט ואחרים שרוב התלמידים בכיתה ז' (67%) היו ברמה 1. רק 12% מתלמידי כיתה ז' היו ברמה 2, ול-18% היו ציונים ברמה 1/2. אצל תלמידי כיתה י"א רק 23% השתייכו באופן מובהק לרמה 1. היתר נחלקו שווה בשווה בין רמה 1/2 (36%) לרמה 2 (36%).

כללית, האמינות בניקוד הרמות היתה בינונית במחקר 1 (74%) וגבוהה למדי במחקר 2 (84%). אחת הבעיות במחקר הראשון היתה שהריאיון לא תוכנן במפורש כדי שיוכל לבדוק את ההבדל בין הבנות

טיפוסי, ההשערות האפשריות והמשתנים של בעיה נתונה, ניתנים להם על-ידי תוכנית הלימודים. ואכן, כיוון שתלמידים בוחנים השערות ערטילאיות, תוכנית הלימודים הזאת היתה אמורה לקדם תלמידים להבנה ברמה 2 לפי הריאיון בנושא טבעו של המדע (כלומר לקרב אותם להבנה של תפקיד עריכת ניסויים בבחינה של השערות), אך לא לעבר הבנה ברמה 3 על רעיונותיה בדבר תיאוריה וטיעון עקיף.

מיומנויות תהליך הן, ללא ספק, יסודות חשובים במתודולוגיה מדעית קפדנית. תלמידי חטיבת הביניים אינם מודדים ומבקרים משתנים באופן ספונטני, ואינם רושמים נתונים בצורה שיטתית, בניסיון הראשון שלהם לערוך ניסוי. ועם זאת, תוכנית הלימודים הסטנדרטית אינה מטפלת במניעים או בצידוקים לשימוש במיומנויות אלה בבניית הידע המדעי. אין מעודדים תלמידים לעשות שימוש במיומנויות אלה במהלך המחקר, ובפיתוח ובהערכה של רעיונותיהם על תופעות טבע. במקום זה, הוראה של מיומנויות ושיטות מדעיות מתבצעת מחוץ להקשר של מחקר אמיתי בדבר טבעו של ידע מדעי.

גישה של בניית תיאוריה להוראת המחקר המדעי

אנו משערות, אם כי לפי שעה אין לנו ראיות להשערה זו, שמיומנויות תהליך ילמדו טוב יותר ובקלות רבה יותר כאשר תהיינה מעוגנות בהקשר רחב יותר של מושגים מטא-דיסציפלינריים על טבעו של הידע המדעי. ידע מטאקונצפטואלי כזה חשוב בפני עצמו, ואפשר להגיע אליו רק תוך כדי בנייה פעילה של הבנה מדעית ורפלקסיה על תהליך זה. הנחות אלה ניצבות מאחורי גישה לתוכנית לימודים המדגישה בניית תיאוריה ורפלקסיה על תהליך בניית תיאוריה. משום כך פיתחו קארי ועמיתיה (1989) יחידת הוראה המבקשת לבוא במקום היחידה בנושא השיטה המדעית המצויה בחטיבת הביניים כיום.

יחידת ההוראה פותחת בשאלה, מה גורם לחם לתפוח ומסיימת בהכנת תוכנית מחקר שמטרתה לגלות מדוע הצירוף של שמרים, סוכר ומים יוצר גזים, ובסופו של דבר, עוסקת בטבעם של שמרים. המושגים בתוכנית לימודים זו עוסקים בכמה נושאים: כיצד מחליטים מדענים אילו ניסויים ראויים לביצוע, כיצד התשובה לכל שאלה שאנחנו מעלים מעלה שאלות מעמיקות יותר, כיצד התיאוריות שלנו בכימיה ובביולוגיה מגבילות את הניסויים שאנו עורכים ואת הפירושים של התוצאות שאנו מקבלים, וכיצד תוצאות לא צפויות דורשות שינויים בתיאוריות הללו.

בעקבות יחידת השמרים עלה הציון הממוצע הכללי של תלמידי כיתה ז' בריאיון על טבעו של המדע מ-1.00 בריאיון שלפני ההוראה ל-1.55. בראיון שאחרי ההוראה ($p < .001$ Wilcoxon Signed Ranks Test). אצל כל אחד מן התלמידים חל שיפור והממוצע

מציבות מגבלות חשובות על ההבנה של התלמיד. רכישת ידע תחומי-ספציפי כרוכה לא אחת בארגון מחדש בקנה מידה גדול ובשינוי מושגי אמיתי (Carey, 1985b, 1991). השאלה האם מעבר מאפיסטמולוגיה ברמה 2 לאפיסטמולוגיה ברמה 3 דורש ארגון מחדש שכזה נותרה פתוחה. הרמות עדיין אינן מאופיינות בצורה מספקת המאפשרת הסתכנות בהשערה. מקור רלוונטי אחד של ראיות לעניין הוא ההצלחה של תוכניות לימודים שתוכננו לעודד ולקדם את המעבר הזה. אם הרעיונות בתוכנית הלימודים טובים, אי-היכולת של תלמידים להבין רעיונות ברמה 3 תצביע על כך שהאפיסטמולוגיות של רמות 1 ו-2 מציבות מגבלות על הבנה של עניינים ברמה 3.

השפעות של תוכניות לימודים על האפיסטמולוגיה של התלמיד

ברמה של חטיבת הביניים, התערבויות קוריקולריות שעניינן שיעורים מטא-דיסציפלינריים על מדע, התמקדו בראש ובראשונה במיומנויות התהליך המדעי. הגם שמיומנויות מסוג זה הן מרכיב חשוב במחקרה המדעי, שליטה בהן מהווה רק חלק קטן מן המטרות של הבנת התלמיד במדע, כפי שתוארה זה עתה. בחלק שלהן נשווה קודם כול, שתי גישות להוראת טבע המדע לתלמידי כיתה ז': הגישה המסורתית המדגישה את הוראת מיומנויות התהליך המדעי שלא בהקשר, והגישה שלנו המדגישה את הוראת מיומנויות התהליך המדעי בהקשר של מחקר מדעי אמיתי. אנו טוענות שרק לגישה זו יש סיכוי לקרוא תגר על האפיסטמולוגיה של הידע הלא בעייתי, הנאיבית, שהתלמידים מביאים אתם לשיעורי מדע. לאחר מכן נדון בקצרה בתוצאות השימוש ביחידה היותר חדשנית הזאת בכיתה ז', ונעלה סדרה של שאלות הדורשות התייחסות במחקר עתידי.

הגישה המקובלת להוראת המחקר המדעי

לא מעט מן הפרקטיקה החינוכית העכשווית צומחת מתוך מאמצים להנהיג רפורמה בתוכנית הלימודים. מאמצים אלה מדגישים את הוראת מיומנויות התהליך המדעי המשמשות לבנייה של ידע מדעי, בעזרת מיומנויות מגוונות כמו תצפיות, סיווג ומיון, מדידה, ניהול ניסויים מבוקרים והכנת טבלאות נתונים וגרפים של תוצאות ניסויים. מיומנויות אלה נכללות, בדרך כלל, בתוכנית הלימודים במדע בחטיבת הביניים, החל בהצגת השיטה המדעית בכיתה ז'. יחידת הלימודים הסטנדרטית שנושאה השיטה המדעית, למשל, מכילה תרגילים רבים המלמדים את התלמיד על מבנה של ניסוי מבוקר, כמו זיהוי משתנים לא תלויים ותלויים בניסויים, וזיהוי ניסויים בעלי תכנון לקוי, שהמשתנים בהם בולבלו. בטובות שבתוכניות אלה, התלמידים מצליחים, אמנם, לתכנן ולערוך ניסויים מבוקרים, אך באורח

על נושאים אלה בעקבות הראיון הקדם-הוראתי, כדי שיצליחו לבטא בצורה טובה יותר את ההשקפות שלהם בריאיון שאחרי.

סיכום ושאלות נוספות

סביר להניח שתלמידי חטיבת הביניים לא יוכלו להגיע להבנה ברמה 3 של טבעו של הידע המדעי. ייתכן שהבנה כזאת תצטרך להמתין להתפתחויות באמונות אפיסטמולוגיות כלליות יותר ותדרוש, אולי, עימות ישיר עם הרלטיביזם המאפיין את המעבר בין המובן הראשון למובן השני של קונסטרוקטיביזם במהלך ההתפתחות הנורמלית, ללא קשר להוראה בבית-הספר. עם זאת, איננו רואות בכישלונות שלנו עד כה הצדקה למסקנה זו. אנו חשות כי ייתכן שידע מדעי עשוי להיות תחום שבו יוכלו מתבגרים צעירים לרכוש כמה היבטים של אפיסטמולוגיה קונסטרוקטיביסטית – במובן של ידע בעייתי – בסביבה של תוכנית לימודים אופטימלית. ההתערבויות הקוריקולריות שניסינו עד כה היו רחוקות מלהיות אופטימליות. שתיהן תוכננו לפני שהבנו לעומק את ההבדלים בין האפיסטמולוגיה הראשונית של תלמידים לבין האפיסטמולוגיה שאנו מבקשים להנחיל, ותוכנית הלימודים בנושא המודלים הכילה חומר מטא-קונצפטואלי בהיקף קטן בהרבה מזה שאפשר היה לכלול בה. השאלה האם יכולים תלמידי חטיבת הביניים להבין את הקונסטרוקטיביזם היותר מורכב, המתואר בנספח א, נותרת בעינינו פתוחה במידה רבה. עניין אחר בעל חשיבות רבה מאוד שיש לבדוק הוא היחס בין האמונות האפיסטמולוגיות של התלמידים לבין השינוי הקונצפטואלי בתוכני המדע. רבים שיערו אמנם שהאמונות האפיסטמולוגיות של תלמידים פוגעות בלמידה מוצלחת של מדע ומתמטיקה, אך יש ראיות אמפיריות מעטות לכך בנקודה זו. לא ידוע לנו על מחקרים שמראים, למשל, ששינויים בהשקפות האפיסטמולוגיות של תלמידים משפיעים על הצלחתם בלימוד התוכן. ברור שמחקרים כאלה לא ייתכנו עד שתוכנית המחקר שתוארה זה עתה תגיע לכלל ביצוע. כלומר, נזדקק לתיאורים מדויקים ומפורטים של אפיסטמולוגיה של תלמידים, וכן תוכניות לימודים המקדמות את ההשקפות האפיסטמולוגיות שלהם, לפני שאפשר יהיה לערוך מחקרים כאלה.

נספח א

שתי אפיסטמולוגיות קונסטרוקטיביסטיות מנוגדות

ידע לא בעייתי

ידע מורכב מאוסף של אמונות אמיתיות. מקורות האמונות הן תפיסה ישירה, ראיות והיסק חד-שלבי.

של השיפור היה חצי רמה. לאחר ההוראה, 16 מתוך 27 התלמידים השיגו ניקוד כולל ברמה של 1.5 או יותר (לעומת 4 תלמידים בריאיון שלפני ההוראה), וחמישה הגיעו לרמה 2 או יותר – תוצאה שאף אחד לא השיג בריאיון שלפני ההוראה. ללא ספק תוצאות אלה מעידות על כיוון נכון, אך המגמה היתה בכיוון של התייצבות בתשובות ברמה 2; כמעט לא היו ראיות לכך שתלמידים הבינו את השיעורים המטא-קונצפטואליים ברמה 3, שיעורים שנכללו בתוכנית הלימודים, ועסקו במושגים של תיאוריה וטיעון עקיף.



התוצאות של ההתערבויות קוריקולריות, שנועדו לשנות את התפיסות של תלמידים לגבי מודלים, היו מוגבלות עוד יותר. ב"מרכז הרווארד לטכנולוגיה חינוכית" פיתחו סמית ווייזר (Smith & Wiser) תוכניות לימודים תוך שימוש במודלים אינטראקטיביים המופעלים במחשב, במטרה לטפח שינוי מושגי בשני תחומים: תיאוריית החומר, בעיקר דיפרנציאציה לפי משקל או צפיפות (Smith, Snir, & Grosslight, 1992); ותיאוריה תרמית, בעיקר דיפרנציאציה לפי חום/טמפרטורה (Wiser, Kipman, & Halkiadakis, 1988). ברור ששינוי קונצפטואלי בכל אחד מתחומי הפיזיקה האלה היה התכלית העיקרית של תוכניות לימודים אלה, המבוססות על מודלים, ושתיים מתוך התוכניות היו מוצלחות מאוד מן ההיבט הזה. עם זאת, גם דיון בנקודות מטא-קונצפטואליות שונות על טבעו של המדע ועל השימוש במודלים במדע, נכלל אף הוא בכל אחת מיחידות הלימוד: במיוחד הרעיונות שמודלים יכולים לשמש לפיתוח ולבחינה של רעיונות, שריבוי מודלים הוא אפשרי, ושמודלים מוערכים לפי תועלתם או לפי שימושם ביחס לתכלית נתונה. למרבה הצער, לדיון זה לא היתה השפעה ניכרת לעין על רמת החשיבה הכוללת של תלמידים על מודלים. הציון שהשיגו תלמידים בריאיונות אחרי ההוראה היה ברמה הכוללת שהושגה בריאיונות שלפני ההוראה. תלמידי כיתה י"א שיפרו אמנם את תוצאותיהם במידה ניכרת והגיעו להבנה ברמה 2, אך שיפור זה הושג גם בקבוצת ביקורת שלא למדה לפי תוכנית הלימודים בנושא מודלים. נראה כי די היה שתלמידי כיתה י"א יחשבו

ולא בנייה של רעיונות בדוקים. המטרה של המדע היא לגלות עובדות ותשובות על העולם ולהמציא דברים.

רמה 2

תלמידים אינם מבחינים הבחנה מפורשת בין רעיונות לניסויים. ההנעה לניסוי היא לבחון רעיון כדי לראות אם הוא נכון. יש הבנה שהתוצאות של ניסוי עשויות להוביל לניטישה או לעיבוד מחדש של רעיון. בה בעת, רעיון עדיין אינו אלא ניחוש; הוא אינו ניבוי שאפשר להגיע אליו מתוך תיאוריה כללית (אכן, יכול להיות שהתלמידים עדיין לא תופסים את הרעיון הכללי של תיאוריה). אין הבנה שהרעיון המעובד מחדש חייב להכיל כעת את כל הנתונים, ישנים וחדשים כאחת, ושם ניבוי הוא שגוי, אולי יהיה צורך לעבד שוב את התיאוריה.

רמה 3

גם כאן, תלמידים אינם מבחינים הבחנה מפורשת בין רעיונות לניסויים, והם מבינים שההנעה לניסויים

היא אישוש או חקירה וחיפוש. לאלה נוספת הבנה של היחס בין התוצאות של ניסוי (בעיקר אלה הלא צפויות) לבין התיאוריה המובילה לניבוי. הבנה ברמה 3 מכירה בטבע המחזורי, ההצטברותי, של המדע, ומזהה את המטרה של מדע כבנייה של הסברים מעמיקים והולכים של עולם הטבע.

נספח ג

שלוש רמות של הבנה בריאיון על טבעם של מודלים

רמה 1

מודלים נתפסים כצעצועים או כהעתקים פשוטים של המציאות. מודלים נחשבים למועילים כי הם יכולים לספק העתקים של אובייקטים ממשיים או של פעולות ממשיות. אם תלמידים מכירים בכך שאפשר להשמיט היבטים או חלקים של אובייקטים מן המודל, הם אינם מציעים סיבה להשמטה זו מעבר לעובדה שבעל המודל לא רוצה או אין לו צורך להכלילם.

רמה 2

ברמה זו תלמידים מבינים שתכלית ספציפית, מפורשת, היא שעומדת מאחורי תכנון הדרך שבה נבנה מודל. וכך, הרעיונות של בעל המודל מתחילים

אנשים עשויים להסיק מסקנות שונות מאותה התנסות תפיסתית, זאת בשל הבדלים בידע או במניעים קודמים. לאנשים עשויות להיות דעות שונות רק בשאלות של ערך וטעם אישי. בעלי אפיסטמולוגיה זו מאמינים שיש רק מציאות אחת אובייקטיבית שאפשר לדעת אותה בדרך ישירה, באמצעות תצפית. לפיכך, כשיחידים חלוקים בדעותיהם לגבי המציאות, הצדק יכול להיות רק עם אחד מהם. בסופו של דבר, בורות, מידע שגוי או רמאות הם הסיבות לאמונות שגויות.

ידע בעייתי

ידע מורכב מתיאוריות על העולם, התורמות למשמעות של הבנה ניבוי או הסבר של אירועים.

אנשים מפתחים באורח פעיל את התיאוריות שלהם באמצעות תהליך של חקירה ביקורתית. השערות המועלות מתוך מסגרות התייחסות פרשניות ראויות לבחינה; התוצאות מהוות ראיות בעד או נגד מסגרת

ההתייחסות הפרשנית והאמונות הספציפיות הנקשרות אליה. אנשים שונים עשויים להסיק מן ההתנסויות התייחסויות שלהם מסקנות שונות משום שהם דוגלים בתיאוריות שונות המשפיעות על הפרשנות שלהם לראיות. תיאוריות נחשבות מועילות, פחות או יותר, ולא לנכונות או לא-נכונות באופן חד-משמעי. הליכים של צידוק יחסיים למסגרות ההתייחסות. נוסף על אמונות שגויות בשל בורות ומידע שגוי, אמונות יכולות להיות שגויות בגין סיבות עמוקות הרבה יותר: תיאוריות יכולות להתפתח במסלול שגוי לחלוטין, להציע הסברים לא נכונים לאמונות נכונות, להניח ישויות ומנגנונים סיבתיים שאינם בנמצא.

נספח ב

שלוש רמות של הבנה בריאיון על טבעו של המדע

רמה 1

תלמידים אינם מבחינים הבחנה מפורשת בין רעיונות לבין פעולות המביאות להעלאת רעיונות, במיוחד ניסויים. מדען מנסה "את זה" כדי לראות אם זה עובד. הטבע של "זה" נשאר לא מוגדר או רב-משמעי; "זה" יכול להיות רעיון, דבר, המצאה, או ניסוי. ההנעה לפעולה היא השגת הפעולה עצמה



רמה 3

הבנה ברמה 3 מתאפיינת בשלושה גורמים חשובים. ראשית, המודל נבנה כעת כדי לשרת את הפיתוח והבחינה של רעיונות, ולא כדי לשמש העתק של המציאות עצמה. שנית, בעל המודל ממלא תפקיד פעיל בבניית המודל, והוא עושה שימוש חופשי בסמלים ומעריך איזה מכמה דגמים יוכל לשמש את המטרה שלו. שלישית, אפשר לתמרן מודלים ולהעמיד אותם למבחן כדי להסביר רעיונות.

תרגמה מאנגלית: דפנה עמית

לשחק תפקיד, והתלמיד מודע לכך שבעל המודל עושה בחירות מודעות אשר לאופן השגת התכלית. המודל כבר לא חייב להתאים בדיוק לאובייקט מעולם המציאות. אפשר לשנות או לארגן מחדש אובייקטים או פעולות מעולם המציאות בדרכים מוגבלות כלשהן (למשל, באמצעות הדגשה, פישוט, הצגת היבטים מסוימים, הוספת סמלים מבהירים, או יצירת גרסאות שונות). עם זאת, הדגש העיקרי הוא עדיין על המודל ועל המציאות שהוא מייצג, ולא על הרעיונות שהוא מייצג. מבחנים של המודל נתפסים כמבחנים הבודקים אם המודל עצמו עובד ולא אם הרעיונות שבבסיסו תקפים.

מראי מקום

Hodson, D. 1985. "Philosophy of science, science and science education", *Studies in science Education* 12: 25-57.

_____, 1988. "Toward a Philosophically more valid science curriculum", *Science Education* 72: 19-40.

Inhelder, B., & J. Piaget. 1958. *The growth of thinking from childhood to adolescence*. New York: Basic.

Kahneman, D., P. Slovic, & A. Tversky, eds. 1982. *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. New York: Cambridge University Press.

Kitchner, K. S., & P. M. Kim. 1981. Reflective judgment: Concepts of justification and their relationship to age and education. *Journal of Applied Developmental Psychology* 2: 89-116.

Klopfer, L., & E. D. Carrier. 1970. *TOUS: Test of understanding science (from JW)*. Pittsburgh: Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh.

Kuhn, D., E. Amsel, & M. O'Loughlin. 1988. *The development of scientific thinking skills*. Orlando, FL: Academic.

Rubba, P., & H. Anderson. 1978. "Development of an instrument to assess secondary students' understanding of the nature of scientific knowledge." *Science Education* 62 (4): 58-449.

Smith, C., S. Carey, & M. Wiser. 1985. On differentiation: A case study of the development of size, weight, and density. *Cognition* 21 (3): 177-237.

Carey, S. 1985a. Are children fundamentally different thinkers and learners from adults? in *Thinking and learning skills*, edited by S. F. Chipman, J. W. Segal, & R. Glaser. Vol. 2, pp. 485-571. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

_____, 1985b. *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: Bradford Books/ MIT Press.

_____, 1991. Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? in *Epigenesis of mind: Studies and cognition*, edited by S. Carey & R. Gelman, pp. 91-257. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

_____, R. Evans, M. Honda, E. Jay, & C. M. Unger. 1989. "An experiment is when you try it and see if it works": A study of grade 7 student's understanding of the contraction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education* 11: 29-514.

Chandler, M. 1987. The Othello Effect: Essay on the emergence and eclipse of skeptical doubts. *Human Development* 30: 59-137.

Dunbar, K., & D. Klahr. 1989. Developmental Differences in scientific discovery processing: The impact of Herbert A. Simon, edited by D. Klahr & K. Kotovsky, pp. 43-109. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Flavell, J., E. R. Flavell, F. J. Green, & L. Moses. 1990. Young children's understanding of fact beliefs versus value beliefs. *Child Development* 61: 26-915.

Grosslight, L., C. M. Unger, E. Jay, & C. Smith. 1991. Understanding models and their use in science: Conception of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching* 28: 799-822.

- Strike, K. A., & G. J. Posner. 1985. A conceptual change view of learning and understanding. in *Cognitive structure and conceptual change*, edited by L. West & A. L. Pines, pp. 31-211. New York: Academic.
- Taylor, M., B. Cartwright, & T. Bowden. 1991. Perspective taking and theory of mind: Do children predict interpretive diversity as a function of differences in observer's knowledge? *Child Development* 62: 51-1334.
- Broughton, J. M. 1978. "Development of concepts of self, reality, and knowledge", in *Social cognition: New directions for child development*, edited by W. Damon. Vol. 1, pp. 75-100. San Francisco: Jossey-Bass.
- Wellman, H. 1990. *The child's theory of mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wiser, M., D. Kipman, & L. Halkiadakis. 1988. Can models foster conceptual change? The case of heat and temperature. Tech. Report TR88-7. Cambridge, MA: Harvard Graduate School of Education, Educational Technology Center.
- Smith, C., J. Snir, & L. Grosslight, 1992. Using conceptual models to facilitate conceptual change: The case of weight- density differentiation. *Cognition and Instruction* 9: 83-221.
- Sodian, B., & H. Wimmer. 1987 Children's understanding of inference as a source of knowledge. *Child Development* 58: 33-424.