

תלמידות/ים יקרים,

בחורף של 2001 חגג פרס נובל מאה שנה להיווסדו. ועדת הפרס הזמינה את כל זוכי פרס הנובל החיים לחגיגות המאה. כל מי שהיה באוניברסיטה שוודית באותן השנים, ובכללם אני כדוקטורנט, יזכור את החוויה הזו זמן רב. במשך שבוע שמענו הרצאות ושוחחנו עם זוכי פרס נובל בזה אחר זה.

אחד המפגשים המעניינים ביותר יועד לדוקטורנטים ועסק בשאלה: "איך בוחרים שאלת חקר?" השאלה שנשאלה בין השורות הייתה "איך בוחרים שאלת חקר שתיקה אותך רחוק?" כל אחד משלושת הזוכים ענה על השאלה בדרכו, בכך שתיאר את השתלשלות המחקר שלו, אך הסיפורים האלו, יפים ככל שהיו, לא באמת ענו על השאלה.

לאחר ששלושת הזוכים סיימו להציג את תשובותיהם נפתח המיקרופון לקהל. ביקשתי וקיבלתי אותו. עמדתי לשאול שאלה שידעתי את התשובה המחקרית לה. לא תיארתי לעצמי שתיקרה בדרכי הזדמנות פז כזאת לברר אותה בשטח. אבל כפי שקורה פעמים רבות, החיים מלאים בהפתעות'. הדלקתי את המיקרופון ושאלתי אותם: "מה הניע אתכם לחקור את מה שחקרתם, שאלה שקיננה בראשכם או המיומנויות שלכם?"

אחד מהם סיפר שהייתה שאלה שריתקה אותו מגיל צעיר ושכל חייו הוא ניסה לענות עליה. זה עולה בקנה אחד עם התרבות היפנית שבה גדל, שהיא מוכוונת מטרה ומסודרת. השניים האחרים אמרו בגילוי לב מרגש, כל אחד בדרכו משהו דומה ל (ציטוט מהזיכרון): "הייתי טוב מאוד ב[שם של שיטת מחקר] ואהבתי לפצח באמצעותה 'אגוזים מדעיים', עד שבטעות נפלתי על האגוז שהביא לי את הפרס. זה לא היה באמת מתוכנן". הכנות שבה הודו שהם הגיעו לאן שהגיעו די במקרה השאירה בקהל כמה פיות פעורים¹, כשם שארגז הכלים של זוכי פרס נובל הוביל אותם להצלחה, כך ארגז הכלים הערכי, היכולות הבין אישיות וכישורי החשיבה שאנחנו מפתחים ורוכשים הם אלו שיקבעו את מסלול התפתחותנו.

כישורי החשיבה הם אומנם אחרונים ברשימה, אבל בלעדיהם האנושות לא הייתה מגיעה להישגיה הגדולים ביותר. ובתוך כלי החשיבה, השיטה המדעית היא ללא ספק היהלום שבכתר.

בשנים קודמות עשיתם את צעדיכם הראשונים בעולם המדע. בספר הזה נעשה יחד צעד גדול ומשמעותי נוסף קדימה ופנימה; נצלול לנבכי השיטה המדעית ונכיר אותה כפי שמעולם לא הכרתם.

1 מוזמנים לקרוא, בעברית, את הפנינה האינטלקטואלית שכתב אהרון קנטרוביץ', יצירתיות עיוורת, על התפקיד המרכזי של אקראיות בהתפתחות הידע האנושי. הנאה צרופה.

אם תמשיכו בקריירה מדעית-מחקרית, היסודות שתלמדו כאן ילוו אתכם עמוק לתוך חייכם המקצועיים וגם מחוץ להם.

הדליקו את הסקרנות וכבו את הטלפון. הציבו לעצמכם יעד ברור להצלחה בלימודי מעבדה, והצטרפו אליי. מחכה לנו דרך מרתקת להכיר את השיטה המדעית.

אלקס, 31

פרק 1

לפני שיוצאים לדרך

בפרק הזה נענה על שתי שאלות פשוטות אבל חשובות, שיעזרו לנו להפיק תועלת מהספר:

איך קוראים את הספר הזה?

איך בנויה בחינת בגרות במעבדה?

גם אם כבר פתרתם איזו בחינה או שתיים, כדאי לקרוא, כנראה תגלו משהו חדש שיאיר את הבחינות הבאות שתקראו באור חדש ושיקל עליכם לפתור את הבחינה.

המדריך למדריך

הניסויים במעבדות אומנם משתנים משנה לשנה, אבל שאלות רבות במבחני הבגרות במעבדה מופיעות בתבנית קבועה בכל שנה. הנה כמה דוגמאות לתבניות כאלו: **"מה המשתנה התלוי של הניסוי?"**, **"מה המשתנה הבלתי תלוי בניסוי?"**, **"מה תפקיד החזרות בניסוי?"**

ובכן, לשאלות תבניות יש תשובות... תבניות. זה לא משהו להתבייש בו. אנחנו חושבים, מבינים וזוכרים בתבניות, והמבחן משקף את כל אלו. אם נלמד לזהות את התבניות של השאלות נוכל להשתמש בתבניות של התשובות.

עד כמה חלק מהתבניות הללו חשובות מחוץ לשיעורי מעבדה? חלק מהתבניות הללו הן כנראה תבניות החשיבה החשובות ביותר שנוסחו מעולם. נראה לכם שאני מגזים? אתם צודקים. אבל בכל זאת, נסו לדמיין את העולם בלי מחשבים, טלפונים, חשמל, מכוניות, תרופות וכו', ותקבלו מושג למידה שבה הן חשובות. חלק אחר של התבניות, אלו של השאלות והתשובות, אולי לא עד כדי כך חשובות לאנושות, אבל הן חשובות לכל מי שניגש לבגרות במעבדה. עוד נדבר עליהן הרבה.

אה, כמעט שכחתי דבר קטן. אנחנו לא לומדים בשביל לקבל יותר נקודות בבחינה, אנחנו לומדים בשביל הכיף. אבל יותר נקודות - יותר כיף. שליטה

טובה בתבניות שתראו בהמשך, עד כדי כך שתוכלו לדבר בשפה של התבניות שתכירו, תעזור לנו להשיג ציון גבוה בבגרות במעבדה. אז בואו נכיר את תבניות החשיבה של המדע ושל הבגרות במעבדה ונראה איך משתמשים בהן.

אבל לפני כן, כדי להפיק מהספר הזה את המרב כדאי להכיר את המבנה שלו ואת ההיגיון שלו.

אז מה יש לנו כאן?

המדריך בנוי מעשרה פרקים:

הפרק הראשון מסביר איך משתמשים בספר הזה. אנחנו קוראים אותו עכשיו.

הפרק השני עוסק בתאוריה של המדע. הוא מציג את תבניות החשיבה של המדע ובכך בונה את המסגרת החשיבתית שתאפשר לנו להבין את מה שנקרא בשאר הספר. בקיאות בחלק הזה היא הכרחית. היא מפשטת ומאפשרת את הקריאה בחלקים היישומיים של המדריך, אלו עם תבניות הפתרון. למעשה, אי אפשר לקרוא את הפרקים הבאים בלי לשלוט היטב בתאוריה של המדע. המושגים שתלמדו בפרק הזה מופיעים לאורך כל הספר אלפי פעמים.

הפרקים השלישי-השביעי הם החלקים היישומיים של המדריך. הפרק השלישי עוסק באנזימים, הפרק הרביעי בנשימה תאית, הפרק החמישי בפרוטוקולות, הפרק השישי בקרום התא והפרק השביעי באוסמוזה. כל אחד מחמשת הפרקים הללו בנוי משני חלקים: החלק ראשון כולל ידע ביולוגי שהוא רלוונטי ללימודי המעבדה של אותו הפרק, גם אם אתם מכירים את הידע הביולוגי שבחלק הראשון של כל אחד מהפרקים האלה, כדאי לקרוא אותו. יש סיכוי טוב שהוא יעזור לכם לארגן את הידע בצורה ברורה. והחלק השני הוא החלק היישומי; יש בו שאלות ותשובות לדוגמה, הסברים איך פותרים את השאלה ותבניות שבעזרתן נפתור שאלות דומות שאינן מופיעות בספר ושכנראה יופיעו במעבדות שלנו.

הפרק השמיני הוא מדריך טכני לשימוש בציוד מעבדה. נמצא בו הנחיות איך להשתמש בציוד מעבדה, איך להימנע מטעויות נפוצות ואיך לתקן תקלות קטנות ונפוצות שעלולות לצוץ בזמן הבחינה.

הפרק התשיעי מרכז אוסף הנחיות כלליות לביצוע המבחן, החל בהצעות טכניות איך לכתוב את המבחן ומה להביא למבחן וכלה בעצות איך לשפר את הלמידה שלכם ואיך לגרום למעריכי הבחינה לתת לכם את כל הנקודות שמגיעות לכם. כדאי לקרוא אותו בעיון, כי יש מצב שהוא יוסיף לכם כמה נקודות יקרות.

הפרק העשירי מסביר איך ללמוד עם ChatGPT לבגרות מעבדה. זהו כלי נפלא, רק חשוב לעבוד איתו נכון. כאן תמצאו הנחיות איך עושים את זה. חזרה לפרקים השלישי-השביעי.

למרות שנשימה תאית ופוטוסינתזה הן תהליכים אנזימטיים, התשובות לאותה שאלה יכולות להיות שונות בין מעבדות אנזימים למעבדות פוטוסינתזה ואנזימים. לכן, בפרקים שבהם התשובות לאותה שאלה הן שונות, השאלה תופיע שוב עם תשובה מותאמת. זה יוצר כפילות מסוימת, אבל היא משפרת מאוד את הקריאות של הספר, בפרט אם אתם משתמשים בו כדי לענות על מעבדות. חלקים דומים מאוד או זהים לא הוכפלו, ובמקומם מופיעה הפניה למקום הרלוונטי בספר, בדרך כלל לתת-הפרק המתאים בפרק "אנזימים".

כל פרק בעצמו בנוי מתתי-פרקים, שכל אחד מהם ממוקד בשאלות בנושא אחד; משתנה תלוי, דרך מדידה של המשתנה התלוי, קבועים וכו'.

רבים מתתי-הפרקים בנויים מיחידות שחוזרות על עצמן ובנויות משאלה-דוגמת תשובה-תבנית-הסבר-דגשים (ראו איור 1). אם אתם קוראים שאלה מסוימת בפעם הראשונה, בדרך כלל יהיה לכם קל יותר לקרוא קודם את התשובה, אחר כך את ההסבר ובסוף את התבנית. אבל אם זאת הפעם השנייה או השלישית שאתם עונים על אותה שאלה במעבדות שונות (כבר אמרנו שחלק מהשאלות חוזרות ממבחן למבחן?), כנראה יהיה לכם נוח יותר להתחיל בתבנית ואז לרענן את זיכרוכם עם תשובה, דוגמה והסבר. בכל מקרה, קראו את כל המרכיבים בסדר שנוח לכם, ורצוי יותר מפעם אחת, אבל בכל רצף שתקראו, השתדלו לקרוא את ההסבר ולראות איך הוא בא לידי ביטוי בשאר החלקים.

תת-הפרק העוסק בהשוואה ובקרה הוא יוצא דופן. השוואות ובקרות הן לב-ליבו של הניסוי המדעי, ולכן החלק התאורטי של תת-הפרק הזה היה צריך להופיע בתחילת הספר, בפרק השני שעוסק בתאוריה של המדע. אך כדי להבין

אותו יש לשלוט היטב במושגים המרכיבים את הניסוי, לכן תת-הפרק המורחב בנושא השוואות ובקורות מופיע בתוך הפרק של אנזימים, אחרי שאתם כבר שולטים במושגים.

שאלות בנושא המשתנה התלוי ודרך המדידה שלו

1. מהו המשתנה התלוי ואיך מזהים אותו?

הסבר: משתנה תלוי הוא מה שאנחנו רוצים לדעת איך הוא ישתנה בין הטיפולים, ולכן **אנחנו מודדים אותו בניסוי**. המשתנה התלוי במעבדות אנזימים בבגרות היה עד היום, וכנראה יהיה גם בעתיד, קצב התגובה האנזימטית של האנזים שבניסוי.

דוגמת תשובה: המשתנה התלוי הוא קצב התגובה האנזימטית של האנזים קטלאז בנבט של שעועית מש.

תבנית: המשתנה התלוי הוא קצב התגובה האנזימטית של [שם האנזים] ב[שם האורגניזם].

דגשים:

- יש תלמידים שכותבים על המשתנה התלוי שהוא המשתנה ה"מושפע", אולי כי הם למדו את המושג הזה בחטיבת ביניים. זאת לא שגיאה,

איור 1: רבות מהשאלות במדריך מגיעות עם הסבר, דוגמה של תשובה, תבנית ודגשים. אתם מוזמנים לקרוא את החלקים השונים ברצפים שונים

הצעה: איך לעבוד עם המדריך? הספר הזה די גדול, והאמת? יכול להפחיד את מי שמסתכל עליו בפעם הראשונה, אבל אל חשש. את הספר הזה קוראים כמו ספר מתכונים, רק את מה שצריכים.

כשאתם פותרים בחינת בגרות, גשו לפרק המתאים דרך תוכן העניינים הראשי, ובתוכן העניינים של הפרק בחרו את תת-הפרק הרלוונטי. והנה אתם באוסף השאלות באותו הנושא.

בדרך כלל הידע הביולוגי הרלוונטי יופיע גם במדריך, אבל לא תמיד ולא כולו. למה? כי הספר הזה ממוקד בחלק המעבדתי של הבחינה. לכן כדאי לשלב את הלימוד באמצעות המדריך עם לימוד של החומר העיוני ממקורות אחרים.

המדריך מבוסס על תבניות חשיבה שאפשר להכניס לתוכן תכנים שונים. תנו מבט בתבנית שבאיור 1 ומייד תבינו על מה מדובר: האנזים ושם האורגניזם מתחלפים בין המעבדות השונות (תכנים שונים). את התכנים הנפוצים הכנסתי למדריך, והשתדלתי לחזור על אותם התכנים לאורך המדריך כולו. לדוגמה, שאלות רבות בנושא אנזימים עוסקות באותם שני אנזימים, קטלאז ועמילאז. זה מקל את הקריאה; אחר שקראתם כמה פעמים שהסובסטרט של קטלאז הוא מי חמצן, יהיה לכם קל יותר לעבור בין התבנית שבה כתוב [שם הסובסטרט] לתשובה שבה כתוב "מי חמצן" ולשייך אותן זו לזו. הנחת היסוד של הספר היא שעד לבחינה תפתרו 8-10 מעבדות בגרות לפחות, ובמהלך הפתרון תיחשפו לדוגמאות נוספות של מרכיבי הניסוי.

מה תרגישו במהלך הלימוד עם הספר? בהתחלה, השימוש בתבניות של שאלה-תשובה ילך לאט. אתם יכולים לצפות שיידרשו לכם שניות ארוכות להתאים את המרכיבים בתבנית לדוגמאות שלהם. אחר כך תזדקקו לעוד קצת זמן כדי ליישם את התבנית על השאלה במעבדה שלכם. אך עם כל מעבדה שתפתרו תגיעו לתשובות נכונות יותר ומהר יותר. אם תעשו את זה מספיק פעמים, תוך שאתם נעזרים בהסברים שבספר, כשתגיעו למבחן תפתרו אותו בצורה טובה.

עליכם להיות זהירים, המדריך עלול להיות מלכודת דבש. קל להתפתות ללמוד את התבניות ואת הדוגמאות של התשובות, מבלי לקרוא ולהבין את ההסבר המלווה, ו"להקיא" את התבניות והתשובות במבחן. לשיטה הזאת יש שני חסרונות משמעותיים: הראשון, אתם עלולים "להקיא" תשובה שמתאימה לשאלה אחרת במקום לשאלה שלכם, ואז סתם הפסדתם נקודות, והשני,

המשמעותי יותר, שינון והקאת תשובות כנראה יעבירו אתכם את הבחינה, ובמזג אוויר טוב אולי אפילו יקנו לכם ציון סביר, אבל כנראה לא הרבה יותר מזה.

הסיבה השנייה שבגללה לא כדאי להסתפק בתבניות ובדוגמאות, אלא גם לקרוא ולהבין את ההסברים, היא שמגוון האפשרויות לכתוב מבחני מעבדה הוא גדול מאוד. אוסף המרכיבים הביולוגיים (אנזימים, חלקי צמח, סוגי צמחים וכו') ושיטות המדידה הפוטנציאליות שכותבי הבחינה יכולים להשתמש בהם, כאלו שעוד לא הופיעו באף בחינה, הוא גדול ורחב מכדי לכסות את כולו במדריך וללמוד אותו בעל פה. אפשר לומר בוודאות שבמבחן יהיו שאלות או מרכיבים, **לדוגמה שיטת מדידה, שלא מופיעים בספר**. גם אם היה אפשר לכסות את כל האפשרויות, זה היה הופך את הלימוד־שינון לקשה מאוד.

איך מתמודדים עם האתגר הזה? הדבר הכי חשוב: התעמקו בהסברים. עוד טיפים איך ללמוד תמצאו בפרק התשיעי.

אבל לפני הטיפים של הפרק התשיעי, הנה טיפ שכדאי לאמץ כבר עכשיו. השוליים הרחבים נועדו לאפשר לכם להוסיף הערות ושאלות. המעורבות שלכם בטקסט משפרת את הלמידה. אפשר לעשות את זה גם בגרסה הדיגיטלית.

בהצלחה!

מבנה של בחינת בגרות במעבדה

השלב הראשון בפתרון של בחינת בגרות הוא להכיר את המבנה שלה. כשמכירים את מבנה הבחינה מרגישים בסביבה מוכרת בזמן הבחינה, נינוחים יותר ומתפקדים טוב יותר. נוסף על כך אפשר לחלק את הזמן נכון.

בחינת בגרות במעבדה בנויה משלושה חלקים:

חלק א': בו תכירו שיטה למדידת המשתנה התלוי שיופיע בחלק ב' ותענו על שאלה, שתיים או אפילו שלוש.

חלק ב': הוא עיקר הבחינה. בו תבצעו ניסוי הבודק את הקשר בין משתנה בלתי תלוי למשתנה תלוי ותענו על 7-8 שאלות הקשורות לניסוי. בסוף חלק ב' תחזירו את ציוד המעבדה.

חלק ג': בו תענו על 2-4 שאלות תאורטיות בנושא המעבדה, ללא עבודת מעבדה.

בסך הכול במבחן יש כ-12 שאלות.¹

לפני שנצלול לשאלות מבחינת הבגרות ולאופן שבו פותרים אותן, חשוב לזכור בשביל מה התכנסנו כאן היום (וגם ביום חמישי, וגם בשבוע הבא וגם... עד לבגרות). אחת המטרות המרכזיות של לימודי המעבדה היא שתלמדו איך מדע עובד ברמה כזאת שתוכלו להשתמש בידע הזה כדי לפתור שאלות מדעיות. לכן הפרק הבא עוסק בתאוריה של המדע. אבל אל תטעו לחשוב שמכיוון שמדובר בתאוריה זהו פרק מיותר. "אין דבר שימושי יותר מתאוריה טובה", אמר קורט לויין (פסיכולוג אמריקאי גרמני). שליטה טובה בפרקים האלו מבדילה בין ציון "בסדר" לציון גבוה. אם אתם מתכננים קריירה של מדענים, שליטה בתאוריה של המדע ברמה של שפת דיבור תיקח את המחקר שלכם למחוזות רחוקים.

1 היו שנים שבהן הופיעו 14 שאלות ויותר. 12 או 14, זה לא משנה. מה שחשוב הוא שתדעו לענות על השאלות.

פרק 2

תאוריה של המדע

כדי לעשות מדע, ומעבדה היא בדיוק זה, צריך לדעת איך מדע עובד. בפרק הזה נלמד מה זה מדע, במה הוא עוסק ובמה לא. נכיר שני סוגי מדע, מדע מגלה ומדע מאשר. אחר כך נלמד איך בנוי ניסוי מבוקר במדע מאשר. בסוף נגלה איך היכרות עם תאוריה של המדע הצילה את הקריירה של אבא של חברה שלי, את הקריירה שלי ואת הקריירה של חברת משפחה, ואולי היא תציל גם את הקריירה שלכם.

אלו הנושאים שהפרק השני עוסק בהם:

- מה זה מדע ואיך הוא עובד?
- מדע מגלה לעומת מדע מאשר
- איך מדע מתפתח?
- מבנה של ניסוי מבוקר במדע מאשר

מה זה מדע ואיך הוא עובד?

אנחנו נהנים מידע מדעי בכל יום. האוכל שאנחנו אוכלים מגודל, מיוצר ונבדק בכלים המבוססים על ידע מדעי. מוצרי חשמל, תרופות, בגדים - כמעט כל דבר שאנחנו פוגשים במשך היום, מוטמע בו ידע מדעי. אבל מה זה מדע ואיך נוצר ידע מדעי?

מדע הוא עשייה שמטרתה לבנות ולארגן ידע על היקום בצורה של הסברים ותחזיות שניתנים לבחינה. למדע ישנם שני מאפיינים ברורים:

מדע עוסק רק בשאלות מכניות-מנגנוניות; לדוגמה, "מה הקשר בין א' ל-ב?", "כמה א' יש בתמיסה ב'?", "מתי א' הופך ל-ב'?" וכן הלאה.

אך לא מספיק שהשאלה תעסוק ב"מכניקה" של משהו. שאלה היא מדעית רק אם כדי לענות עליה נדרשים ניסוי או תצפית, ברמה התאורטית לפחות, ועדיף באופן מעשי (אמפירי).

לצד השאלות שמדע עוסק בהן חשוב לדעת גם באילו נושאים ושאלות מדע אינו עוסק. מדע אינו עוסק בשאלות ערכיות, כאלו שאפשר לענות עליהן רק באמצעות המחשבה, ללא ניסוי או תצפית, למשל "האם משהו הוא טוב או רע? הוגן? לא הוגן?" "מהו צדק?" וכדומה.¹ גם אם השאלות האלו נשמעות לכם כמו "חפירות", אלו שאלות חשובות מאוד; הן הבסיס לנורמות חברתיות ולמערכות משפטיות שעליהן בנויות כל החברות האנושיות. כלומר מדע הוא דבר חשוב, אבל הוא לחלוטין אינו עונה על כל השאלות, כך שלצד לימודי המדעים כדאי להשאיר מקום נרחב ללימודי רוח והגות.

נחזור לידע מדעי.

ידע מדעי, שאמרנו שהוא ידע שהנכונות שלו ניתנת לבחינה, משמש לניסוח תאוריות מדעיות, שמסבירות תופעות מהעבר (מבט אחורה) ושמיצרות תחזיות בנוגע לתוצאות עתידיות של ניסויים מדעיים (מבט קדימה).

1 אם זה הזכיר לכם את פרק ב' בחלק א' של מורה נבוכים של הרמב"ם (מוסי בין מימון): "בשכל יבדיל האדם בין האמת והשקר, אבל הנאה והמגונה (הטוב והרע) הם במפורסמות, לא במושכלות... ואין הכרחי טוב ורע כלל אלא אמת ושקר", זה לא במקרה. גם הפילוסופיה של המדע וגם הרמב"ם, שניהם שואבים השראה מאריסטו בעניין הזה.

תאוריה, כמו ידע, יכולה להיות מדעית רק אם אפשר לחשוב על ניסוי או תצפית שעשויים להפריך אותה.¹ העיקרון הזה נקרא "עקרון ההפרכה", והוא נוסח על ידי קרל פופר, גדול הפילוסופים של המדע.



מדע מגלה לעומת מדע מאשר

מבחינים בין שני סוגי מדע: מדע מגלה, שמגלה מידע חדש על העולם ושמייצר השערות, ומדע מאשר, שבודק את נכונות ההשערות שהמדע המגלה יצר. עוד על ההבדל בין שני סוגי המדע בטבלה 1:

מדע מאשר		מדע מגלה		מרכיב
דוגמה	תכונה	דוגמה	תכונה	
האם ישתחררו בועות כשנוסיף מי חמצן למיצוי מתפוח אדמה? ²	תמיד קיימת, מנוסחת באופן מפורש	מה קורה כשמוסיפים מי חמצן למיצוי מתפוח אדמה?	לא תמיד קיימת, ואם קיימת יכולה להיות מנוסחת באופן כללי	שאלת חקר
ישתחררו בועות (מתייחס לשאלת החקר)	תמיד קיימת השערה. השערה היא תשובה אפשרית לשאלת החקר	לא יודע מה יקרה	לא נדרשת השערה. אם קיימת יכולה להיות מעורפלת	השערה
לבדוק אם ישתחררו בועות כשנוסיף מי חמצן למיצוי תפוח אדמה	לבדוק את נכונות ההשערה	לבדוק מה קורה כשמוסיפים מי חמצן למיצוי תפוח אדמה	לגלות מידע חדש	תפקיד הניסוי/תצפית
התוצאות תומכות בהשערה שכשמוסיפים מי חמצן למיצוי תפוח אדמה משתחררות בועות	יש לה רק שתי צורות: התוצאות תומכות בהשערה [השערת הניסוי] או דוחות אותה	(אאוריקה!) נפלטו בועות	בדרך כלל תיאור של התוצאות	מסקנה
Research		Search		נקרא גם

טבלה 1: השוואה של מאפייני מרכיבים במדע מגלה ומדע מאשר + דוגמה

1 במשפט הזה טמון כלי יקר ערך לריכוך ולשחרור ויכוחים תקועים. אם אתם נמצאים בוויכוח שבו הצד השני (זה תמיד הצד השני) לא מסכים איתכם, אתגרו אותו/ה עם השאלה: "את/ה יכול/ה לחשוב על משהו שישכנע אותך שיש דרך שונה להסתכל על הנושא?" אם אתם וגם בני השיח שלכם מסוגלים לענות על השאלה הזאת, יש טעם בדיון. רוב האנשים רוצים "לצאת בסדר", כך שהשאלה הזאת נותנת דחיפה חיובית כמעט לכל דיון.

2 במעבדות השאלות מורכבות יותר; הן שואלות על מודל שמתאר את הקשר בין המשתנה הבלתי תלוי והתלוי: "מה הקשר בין ריכוז מי חמצן לקצב פעילות האנזים קטלאז בשעועית מש?"

מדוע צריך את שני סוגי המדע? למה לא כדאי להסתפק רק במדע מגלה? יש לכך הרבה סיבות, אולם כאן נזכיר רק אחת: אנחנו לא יודעים עד כמה התוצאות של מדע מגלה נכונות או לא, כי לא בדקנו את הנכונות שלהן. אולי התוצאות התקבלו במקרה? מי שבדק את הנכונות של תוצאות המדע המגלה הוא מדע מאשר. התוצאה של מדע מגלה יכולה להיות ההשערה של מדע מאשר. באמצעות האישוש או ההפרכה של ההשערה, כלומר בזכות מדע מאשר, אפשר לנסח ולשפר תאוריות שמסבירות ממצאים קיימים (מבט אחורה) ושחוזות ממצאים עתידיים (מבט קדימה).

בזמן שיחסית קל לעשות מדע מגלה - בעיקר לתעד היטב את התוצאות ואת התצפיות - הרבה יותר קשה לעשות מדע מאשר. למה? מדע מאשר מפריך (מפורר) או מאשש (מחזק) תאוריות, שמסבירות את מה שכבר קרה אבל גם נותנות תחזיות לתוצאות של ניסויים שעוד לא נעשו. כשמנסים להסביר ולחזות משהו שמעולם לא נעשה, צריך לבחור, או להמציא, הסבר אחד או תחזית אחת מתוך הרבה מאוד הסברים ותחזיות אפשריים. מדענים אומנם עושים את זה באופן מושכל, על סמך ידע קיים, אבל עדיין, בהתחשב במספר ההסברים והתחזיות שיכולים להיות לכל תופעה, סביר מאוד להציע הסבר או תחזית שגויים.

איזה סוג מדע אנחנו עושים בבגרות במעבדה? המעבדות שאנחנו עושים בבגרות כוללות מדע מגלה בחלק א', שבו התלמידים מגלים "מה קורה כש" משתמשים בשיטת המדידה של המעבדה, ומדע מאשר בחלק ב', שבו הם מבצעים ניסוי שבוחן השערה שהיא תשובה לשאלת חקר. לכן טוב להכיר את שני סוגי המדע¹.

1 כדאי להכיר היטב את שני סוגי המדע, מגלה ומאשר, גם כדי שכשתהיו מדעניות/ים, לא תעשו את הטעות של ערבוב לא מודע ביניהם. ערבוב כזה נוצר כשסטודנט/ית לתואר שני או שלישי עושה סדרה של ניסויים מסוג מדע מגלה, ואחר כך, כשיש המון תוצאות, מתחילה/ה לחפור בתוצאות באמצעות כלים של מדע מאשר (שאלות חקר, השערות, מסקנות וכו') עד שמהו נמצא, ותמיד אפשר למצוא משהו. זה כמו לירות חץ ורק אחר כך לסמן את המטרה. מקבלים תוצאות יפות, אבל כאלו שמדענים אחרים לא יצליחו לשחזר ולאשש. אם אתם רוצים לדעת לאן מגיעים המחקרים האלו, קראו על ניוטון בעמוד הבא. אתם לא רוצים שהמחקר שלכם יגיע לשם. חושבים שאני מסתלבט עליכם?

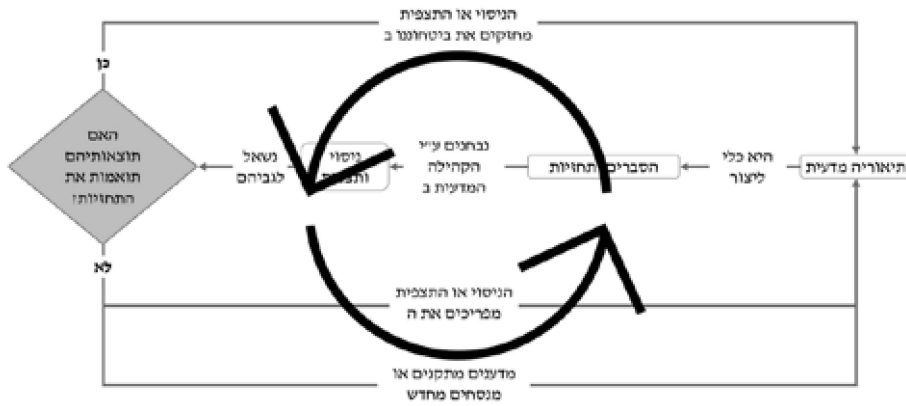


הנה מאמר מהמגזין הכי נחשב בעולם שמדבר על מחקרים שאי אפשר לשחזר או

איך מדע מתפתח?

אם כל כך קשה לעשות מדע מאשר, איך בכל זאת הידע המדעי מתפתח? הידע המדעי מתפתח בסדרה מתמשכת של ניסוי וטעייה. תרשים הזרימה בסרטון 1 מתאר את מהלך ההתפתחות של תאוריה מדעית.

מחזור התפתחות של תאוריה מדעית



לצפייה בסרטון
סרקו את הקוד



סרטון 1: מחזור התפתחות של תאוריה מדעית. תאוריה מדעית מתפתחת בסדרה מתמשכת של ניסויים ותצפיות, שלפחות חלקם מדע מאשר. כאשר תוצאות הניסוי או התצפית תואמות את התחזיות של התאוריה, הביטחון שלנו בנכונות התאוריה עולה, ואפשר להתבסס על התאוריה לצורך פיתוח תאוריה מתקדמת יותר שנותנת הסברים ותחזיות מדויקים יותר ליותר תופעות. כאשר התוצאות אינן תואמות את התחזיות הן מפריכות את התאוריה, והמדענים נדרשים לנסח תאוריה חדשה שונה או לתקן את התאוריה הקיימת.

המסקנה המתבקשת מסרטון 1 וממה שנאמר למעלה בקשר למדע מאשר היא שידע מדעי "צעיר", שזה עתה נוצר ושעוד לא נבחן לעומק על ידי הקהילה המדעית, הוא בעל סיכוי לא מבוטל להיות לפחות לא מדויק, אם לא שגוי. בהמשך הידע הצעיר יעבור תיקונים ושיפורים, אך לעיתים קרובות הוא ייזרק לפח האשפה של המדע (לא לדאוג, ממחזרים את מה שאפשר).

המסקנה הזאת מאירה באור חדש את אמרתו המפורסמת של ניוטון: "הרחקתי לראות כי עמדתי על כתפי נפילים". ניוטון צדק אבל אמר רק חצי מהאמת. ההמשך המתבקש הוא: "...שעמדו על ערמת גופות של תאוריות שגויות, ניסויים

כושלים¹ ומדענים אנונימיים". לכן בפעם הבאה שאתם קוראים על מחקר חדש, פורץ דרך, שמבטיח הרים וגבעות, זכרו שרוב הסיכויים שמה שזה עתה קראתם יתווסף לערמה שהמדע עומד עליה². בניסוח מעודן יותר אפשר לומר שידע מדעי דומה למנגו, עדיף לצרוך אותו בשל 😊.



רגע, יכול להיות שבפסקה הקודמת רמזתי שרוב התוצאות של המחקרים המדעיים המתפרסמים שגויות? ובכן, כן. בכך הצטרפתי לכ 13,000 טקסטים מדעיים שציטטו את המאמר של ג'ון פ"א איונידיס, שטען בדיוק את זה (Ioannidis, 2005). איונידיס טען,

וגם נימק את טענתו בצורה משכנעת מאוד, שרוב תוצאות המחקרים המדעיים אינן ניתנות לשחזור. הטענה הזאת נתמכה אחר כך בסדרה ארוכה של מחקרים שניסו לשחזר מספרים גדולים של מחקרים קודמים - ולא הצליחו. מאמר דוגמה 1 (בקישור) הזה הוא דוגמה ראשונה. הוא צוטט יותר מ-3,000 פעמים, ומאמר דוגמה 2 (בקישור) הוא דוגמה נוספת, והוא צוטט כמעט 2,000 פעמים. שני המאמרים האלו מבית ההוצאה לאור של Nature, אחד משלושת המגזינים הנחשבים בעולם. יש עוד דוגמאות רבות כאלו.

הטענה הזאת מבלבלת מאוד ונראה שהיא סותרת את החוויה היומ-יומית שלנו. רובנו צורכים את פירות המדע, דרך טיפולים רפואיים ותרופות, גידולים חקלאיים, מוצרי חשמל ואינטרנט דברים נוספים, ובדרך כלל המרכיב מבוסס המדע שלהם עובד מצוין. אז איך זה יכול להיות? הסיבה היא שאנחנו צורכים תוצרים של עבודה הנדסית שמבוססת על מדע בשל, שנבדק היטב ונופה משגיאות בתהליך ארוך ומתיש של הפרכה.

רוצים לדעת עוד על האופן שבו מדע מתפתח, וגם על הקשר שלו ליצירתיות? מוזמנים לקרוא את יצירת המופת של אהרון קנטרוביץ', יצירתיות עיוורת, בעברית (בקישור).



לקריאה בהרחבה
סרקו את הקוד

1 כושלים רק במובן שהם לא תמכו בהשערה של החוקרים. מבחינה מדעית ניסוי שלא אישש את ההשערה הוא לא ניסוי כושל.
2 אסייג ואומר שהרבה מחקרים טובים, שאינם מופרכים, אינם מממשים את הפוטנציאל המדעי-מסחרי-כלכלי שלהם מסיבות מגוונות שאינן קשורות לנכונות המדעית שלהם.

סיפור. בין 2000 ל-2004 עשיתי דוקטורט בביוטכנולוגיה בשוודיה. פיתחתי כלים לניתוח נתונים של real-time PCR. זוכרים את בדיקות ה-PCR של הקורונה? זאת אותה טכנולוגיה.

קצת לפני ששלחתי את המאמר המרכזי של הדוקטורט שלי לפרסום, הבנתי פתאום שאפשר לשפר את הכלי שפיתחתי בצורה משמעותית. היה מדובר בעוד כמה חודשי עבודה. נלחצתי מאוד, כבר הייתי עמוק בתוך השנה השלישית (מתוך ארבע) של הלימודים. בשלב הזה כבר הייתי חייב לפרסם מאמר במגזין טוב. מה יהיה אם אשלח עכשיו את המאמר והמבקרים של המאמר יתייחסו לחולשה הזאת של השיטה וידחו אותי? אם אתמהמה עם שליחת המאמר, תקופת המלגה שלי עלולה להיגמר ואישאר בלי דוקטורט. אני חייב לפרסם את המאמר בהקדם!

שוחחתי על זה עם אבא של חברה שלי, שהיה פרופסור לפיזיקה. הפרופסור, שידע איך מדע עובד, סיפר לי שאותו הדבר קרה גם לו במהלך הדוקטורט שלו לפני אי אלו שנים, והמנחה שלו אמר לו בחיוך: "מצוין! אחרי שהמאמר הראשון יתפרסם, תתקן את המודל ותפרסם עוד מאמר". זה מה שהוא עשה, והוא הציע לי לעשות את אותו הדבר.

שלחתי את המאמר לפרסום, הבוחנים לא התייחסו לחולשה שחששתי ממנה והוא התקבל עם מעט תיקונים.

חודשים בודדים אחרי שהמאמר שלי התפרסם התבקשתי לבקר מאמר של קבוצה ששיפרה את המודל שלי באותה הגישה שתכננתי. הם עשו את זה הרבה יותר טוב משתכננתי. מזל שהאבא של החברה היה לידי, לתת לי את העצה היקרה מפז.

כעבור כמה שנים הזדמן לי להחליף כובע, כשחברת משפחה שהייתה באותה סיטואציה עם עבודת המאסטר שלה שיתפה אותי בלבטים ובחששות שלה. גם היא והמנחה שלה הבינו שאפשר לשפר את העבודה שלה בצורה משמעותית, אבל היא הייתה לחוצה לסיים את התואר. סיפרתי לה את הסיפור שקראתם למעלה, והיא עשתה את אותו הדבר.

בין קוראי השורות האלו נמצאים חוקרים וחוקרות לעתיד, אולי אלה אפילו את או אתה. מי יודע, אולי השורות האלה יצילו את המאסטר או את הדוקטורט שלכם.