

ויהי אלף-בית..

1. האלף השמיני לפנה"ס : עדויות ראשונות לשימוש מתוחכם בסימני כתיבה בדידים בשומר העתיקה והם כללו סימון בכתב למספרים שהוא נבדל מן הסימון לעצמים הנספרים.

הכתיבה האלפביתית צמחה, בראש ובראשונה בהקשר הלשוני המנהלי, ולא מהתיאור הציורי של אירועים, קרי, "כתב התמונות". כיצד היינו מציירים שני ספרים? היינו עושים זאת כצירוף של ציור של ספר עם ציור של ספר. ציור של שני ספרים הוא שני ציורים של ספר. עובדה זו מצביעה על תכונה מהותית של המסרים החזותיים ושל המסרים הדומים להם (כלומר, האנלוגיים). הציור הוא מיפוי של מציאות מסוימת, הדיבור והכתיבה אינם מהווים מיפוי של התוכן המדובר או הנכתב (גבעון, 2011 : פרק 2).

בשפות האנושיות המוכרות לנו, שני ספרים אינם מיוצגים בשפה משני ייצוגים של ספרים, אלא משילוב של קוד המייצג את מושג המספר 2 (כמו בעזרת המלה "שני") עם ייצוג של ריבוי בלתי מפורט של ספרים (כמו בעזרת המלה "ספרים"). כך גם בכתיבה, איננו כותבים שני ספרים על-ידי כתיבת "ספר" פעמיים. כאשר אנו רואים שני ספרים, אנו רואים שני מראות של ספר. כאשר אנו מתייחסים בדיבור אל "שני ספרים" אנו מבטאים בנפרד את מספרם ובנפרד את מהותם. כאילו המספר המונה קיים בנפרד מהעצמים הנספרים. גילוי זה יובן כמה אלפי שנים מאוחר יותר כמאפיין לא ליניארי של הישויות הדיגיטליות. זה מחייב כמובן המשגה שאינה ניתנת לביטוי באמצעות ציורי אירועים.

2. 3000 לפנה"ס : ניצני המצאת הא"ב העיצורי הכנעני-עברי משורשים בבליים ומצריים (יפרח, 1990).

למרות שהכתיבה צמחה מהדיבור ובתרבות המערב במשך מאות שנים נחשבה כייצוג של תוכן המתואר באמצעות דיבור, או כייצוג של סיפור שניתן לספרו, הכתיבה האלפביתית הקדומה (הכתיבה השורשית חסרת סימני התנועות) היתה למעשה תוצאה של רדוקציה (צמצום) חריפה של צלילי הדיבור, עד כדי ביטול הסימון של התנועות ולכן, ניתוק מן הדיבור. היוונים שקיבלו את האלפבית הכנעני-עברי הוסיפו לו סימנים לתנועות ובכך חיברו, או החזירו, את הכתיבה אל הקשר ההדוק עם הדיבור.

הקשר של הכתיבה עם הדיבור תלוי בשפת הדיבור, יותר מאשר בצלילי הדיבור בפועל, שהרי מספר הצלילים המופקים בדיבור הוא בלתי מוגבל. אם שפת הדיבור מורכבת מיסודות צליליים מופשטים ("פונמות") במספר סופי, ואם היתה קיימת מודעות לכך (גם ללא מודעות לתיאוריה הבלשנית שעומדת מאחורי מושג הפונמה) אזי קל להבין את המצאת האלפבית כמבוסס על כתב הברות. עובדת קיומו של כתב הברות (שקדם להמצאת האלפבית) מוכיחה שהיתה קיימת מודעות, במידה מסוימת, לפונמות של שפת הדיבור. המצאת האלפבית היתה שלב נוסף בניתוח ההברות ובפירוקן ליסודות מופשטים יותר (גבעון, 2011 : פרקים 1 ו-2). העיצורים, בדרך כלל, לא ניתנים אפילו להשמעה כעיצורים בדיבור.

3. המאה ה-17 לפנה"ס : פתרון בעיות ("מצאתי אבן אבל לא שקלתי אותה. כשהוספתי אבן אחרת...") בכתב יתדות על לוחות חמר בבבל (סטיארט, 2012 : עמ' 65-64).

4. המאה ה-15 לפנה"ס : שימוש באצבעות למנייה מתואר בציור קיר בקבר בתבי, ומיוחס לתקופת תחותמס הרביעי, הממלכה החדשה במצרים (יפרח, 1990).

המונח "דיגיטלי" הורכב מהמילה digit שפירושה החדש זהה לפירוש של המונח "ספרה" (ולכן, בהקשרים רבים, המונח "ספרתי" שקול למונח "דיגיטלי"), אלא שמשמעותה המקורית היא אצבע. השימוש באצבעות למנייה, או לייצוג מספרים מונים קטנים, הוא חלק מתרבותנו, מאז ועד עצם היום הזה.

5. 1300 לפנה"ס : לטענת חוקרי ההיסטוריה של מכוונות החישוב : שימוש באבקוס לביצוע חישובים בסין.

האומנם נבנתה מכוונה מהסוג של האבקוס לפני שהתגלתה שיטת הכתיבה הספרתית של המספרים? אם בשפת הדיבור ההתייחסות אל מספרים מפורקת ומאורגנת לפי עשרות (כמו בעברית ובשפות אחרות) או גם בשילוב עם חלוקה לעשרים (כמו בצרפתית ובשפת המאיה), אין מניעה שכך יוצגו הכמויות באמצעות חרוזים על תיל באבקוס. כלומר, לפי סברה זו, בדבר המצאת האבקוס, הייצוג המכאני של המספרים קדם לייצוג הטקסטואלי שלהם. ייתכן אף שהייצוג המכאני העשרוני של מספרים, כמו הדיבור העשרוני, קדם להמצאת הכתיב העשרוני (שם : עמ' 121-132). כפי שבדיבור העשרוני אין צורך בהמצאת הספרה "0" (אנו אומרים "מאה ושלוש") כך גם באבקוס אין צורך בסימון מיוחד לספרת האפס המופיעה בכתיב העשרוני "103". במילים אחרות, הייצוג המכאני העשרוני הוא פשוט יותר מהייצוג העשרוני שבכתב, ולכן טבעי שהוא הקדים אותו. יש הסוברים כי מכוונת חישובים דיגיטלית ראשונה בתרבות המערבית - "אבקוס סלאמיס" - התגלתה באי סלאמיס ביוון בשנת 1846 (שם : עמ' 123).

6. המאה העשירית לפנה"ס : עדויות לשימוש בכתב העברי-כנעני בטקסטים בשפה העברית : הלוח החקלאי בגזר (Naveh, 1998: p. 22).

7. 700-800 לפנה"ס : ראשית תרבות הספר העברית העתיקה : תרבות אוראלית כובלת עצמה אל טקסט כאמצעי דתי ותרבותי.

כמובן שזו לא הפעם הראשונה בתרבות האנושית שבה תרבות נצמדת אל טקסטים מקודשים בדרך מסוימת. כאן אנו סוקרים את האירועים של התפתחות הטקסט בתרבות המערבית. נוסף על-כך, מדובר בתרבות ששמה לה את הקשר עם הטקסט ועם לימוד הטקסט כחלק מהותי של התרבות הציבורית. זהו מקרה ראשון של החזון של "תרבות הספר".

הצעדים הראשונים של הטקסט באירופה : הטקסט בתרבות הקלאסית

8. 600 לפנה"ס : המצאת הא"ב הפונטי היווני, כא"ב שורשי המורחב בתוספת סימנים לתנועות. בניגוד לכתב הכנעני-עברי, הכתב הפונטי הוא כתב שמייצג צלילי דיבור.

חוקרי אוריינות רבים מייחסים להמצאת הא"ב הפונטי היווני חשיבות רבה יותר מהמצאת הא"ב השורשי הכנעני. אין ספק שקל יותר לקרוא טקסטים הכתובים עם סימון הפירוש הצלילי שלהם. האם העובדה, שהקריאה היתה קלה יותר, עזרה להפצת הכתיבה בתרבות? בתרבות היהודית, האוריינות היתה חלק בלתי נפרד מהתפתחות הלמדנות העממית וזאת, למרות השימוש באלפבית עיצורי, לפחות מאז המאה העשירית לפנה"ס. גם ביוון וברומא היה מאמץ מכוון להפיץ את ידיעת הכתיבה והקריאה לכלל האזרחים.

מכל מקום, בתרבות המערבית האירופאית, תפיסת הטקסט כרישום של דיבור היתה שכיחה באירופה הנוצרית עד למאה ה-12. הפצת הכתיבה והקריאה לכלל האזרחים התפתחה בתהליך מורכב וממושך. תהליך זה החל במאה ה-8, בתקופת הרנסנס הקארולינגי, קיבל דחיפה משמעותית נוספת סביב המאה ה-12 ומאוחר

יותר בעקבות המצאת הדפוס ואח"כ הרפורמציה, המשיך להתפתח. המצאת הכתב הפונטי במאה ה-6 לפני הספירה לא הספיקה כדי להקל על הרחבת הפצת ידיעת הכתיבה והקריאה באירופה, אלא כאלפיים וחמש-מאות שנים ויותר, מאוחר יותר (Graff, 1987).

9. במאה ה-5 לפנה"ס: ליציפוס (Licippus) מנסח השערה אטומיסטית על-סמך עיון בשינויי מצבי הצבירה של המים. הוא הסביר אותם כשינוי סדר והרכבה של חלקיקים יסודיים שאינם ניתנים לשינוי (איינשטיין, 2005: עמ' 207).

10. 400-600 לפנה"ס: באתונה נהגו להציב בציבור הודעות כתובות וחוקים. בעקבות הרפורמות של סולון במאה ה-6 לפנה"ס, נקבע כחוק שתקנות וחוקים חייבים להציבם בחוצות אתונה, מה שמעיד גם על רמת האותיות של ציבור אזרחי אתונה (Graff, 1987: p. 23).

11. 500 לפנה"ס: גילוי היחסים ההרמוניים במיתרים ע"י פיתגורס: ראשיתו של חיבור המוסיקה אל יסודות דיגיטליים (אל המספרים הטבעיים).

לא ברור לנו האם פיתגורס היה אדם אחד או דמות קיבוצית של למדנים שפעלו כצוות של חוקרים במדע, במתמטיקה ובפילוסופיה. הפיתגוראים האמינו שהמציאות בנויה ממספרים שלמים וחיוביים (הנקראים היום "טבעיים", גם ללא האפס) וכל מה שנגזר מהם. גילוי היחסים ההרמוניים במיתרים, קישר את הטכנולוגיה של יצירת צלילים (פריטה על מיתרים) עם חוויית השמיעה של הצליל בתיווך המספרים. היתה זו תמיכה אמפירית בתפיסה הפילוסופית שלהם.

12. 500 לפנה"ס: תאלס, בהצהרתו על המים כיסוד החומר, מתחיל במסורת של חיפוש אחר יסודות החומרים ושל העמדת הריבוי על המעט.

פורמאלית, עקרונות הפירוק לרכיבים וההרכבה מאותם רכיבים באים לידי סיפוקם ברגע שמגלים שמיסוד אחד ניתן להרכיב מציאות שלמה. הניסיון מלמד, שבדרך כלל, מציאות עשירה ומעניינת אינה מורכבת מרכיב יחיד. הרכבת המספרים מהמספר 1, על-ידי פעולת חיבור חוזרת, איננה מעניינת כמו הרכבת המספרים על-ידי פעולת הכפל, מהמספרים הראשוניים. לכן, הוגי הדעות היוונים לא הסתפקו בתפיסת המוניסטית של תאלס, וחיפשו יסודות נוספים להעמיד עליהם את המציאות הפיסיקלית. המתח שבין הרצון להגיע לרדוקציה מכסימלית (לרכיב יחיד) ובין הרצון לבטא עושר של ישים באופן ההולם את מורכבותם, מלווה אותנו עד עצם היום הזה.

13. 400-500 לפנה"ס: הגיאומטריה הדדוקטיבית של תאלס ושל אויקליד: ראשית תחילתה של הטקסטואליזציה השיטתית של הידע הגרפי ושל הדדוקציה המתמטית.

תאלס מוכר בשל הוכחותיו הגיאומטריות. אויקליד ניסה לממש רדוקציה לוגית של הידע המתמטי למספר מצומצם של טענות בסיסיות, שמהן ניתן להוכיח את כל הידע המתמטי שהיה ידוע בימיו (אטקינס, 2008: עמ' 349; Suppes, 1999: p. 246).

קביעת מספר קבוע ונתון של טענות בסיסיות ("אקסיומות"), שמהן נגזר ידע שלם על ידי מסקנות לוגיות, היתה המצאה ייחודית של היוונים. גילוי היחסים הלוגיים שבין פריט ידע אחד ופריט ידע אחר (כלומר, מושג ההוכחה) נזקף לזכותו של תאלס, למרות שיש הסוברים שגם הבבלים הכירו את מושג ההוכחה, אבל לא את האפשרות לבסס את הידע שלהם על מספר מועט של אקסיומות (פיינמן, 1995: עמ' 46). הרעיון לבנות את מערכת היחסים הזו, כמתחילה בקבוצה מפורשת של טענות ראשוניות היתה, כנראה, המצאה של אויקליד. הוא טעה קצת במספר האקסיומות, מכיון שהוא לא הבחין בכמה "עובדות מובנות מאליהן" שהשתמש בהן בהוכחותיו

מבלי לשים לב לכך. אבל הרעיון הבסיסי ויישומו במידה רבה, הם הישגיו. רק בשנת 1899 נוסח לראשונה בסיס אקסיומטי שלם של הגיאומטריה של אויכליד, וזאת, על בסיס של 21 אקסיומות, על ידי דויד הילברט. מאוחר יותר, ב-1902 הוכיח רוברט לי מור (שהיה מורה מעולה למתמטיקה, אך ידוע לשמצה בשל נטיותיו הגזעניות שהיו חריגות אפילו בימיו) שאקסיומה אחת היתה מיותרת, בכך שהראה שניתן להוכיח אותה באמצעות שאר האקסיומות.

עבודתו של אויכליד מסמנת מעבר מן המתמטיקה הבבלית, שלא היתה ממוקדת כל כך בהוכחות, אל מערך המבוסס על אקסיומות והוכחות, כלומר, אל המתמטיקה הדדוקטיבית הנהוגה בימינו. המתמטיקה הבבלית היתה אוסף של פריטי ידע, לאו דווקא מאורגן, ואילו המתמטיקה של אויכליד היתה חיבור מייצג ידע בעל מבנה מסודר למופת. עבודתו של אויכליד צריכה להיחשב כפריצת הדרך הראשונה בתחום "ניהול ידע". היא שימשה מופת לניהול של ידע אינטלקטואלי במשך מאות שנים בתרבות המערב.

14. 400 לפנה"ס : באתונה, כל נער, שאיננו עבד, היה חייב בלימודים במוסד הוראה, שם למד, בין היתר גם לקרוא ולכתוב, אם כי לא ברור אם נושאים אלה היו נושאי בחירה או נושאי חובה.

למרות שמדי פעם שמענו על עבדים משכילים ביוון, התפיסה הפתוחה והרחבה של ידיעת הכתיבה והקריאה לא השתרשה בתרבות המערב אלא רק באמצע המאה ה-20 (Graff, 1987).

15. המאה ה-4 לפנה"ס : "ה'יוֹדֵעִים לִקְרֹא אֶם יִיטִיבוּ כִפְלִיט לִרְאוֹת". כך כתב מננדרוס איש אטיקה, כמצוטט ע"י מנגל (מנגל, 1996 : עמ' 198).

16. 400 לפנה"ס : סוקרטס (באמצעות אפלטון) בדרישה להגדיר מושגים, פותח את השער למגמת הפירוק של הלוגיקה של המושגים, בהעמדת המושגים על הגדרות ועל מושגים בסיסיים, בדומה לדדוקציה ולאקסיומטיזציה המעמידות טענות על הוכחות ועל טענות בסיסיות.

אונג מצביע על השימוש בהגדרות מילוליות כתופעה האופיינית לתרבויות הכתב (Ong, 1982: pp. 46-47). במקום לקשר מילים עם התכנים הספציפיים שהמילים מצביעות עליהם ("זה עץ!"), ההגדרות של סוקרטס מקשרות מילים עם מילים. שימוש קיצוני בתהליך שכזה, מדרדר אותנו לתפיסה שהמשמעות של המלה טמונה במלה ולא בהגדרה, שיכולה להיות שרירותית ביותר, כפי שחוקרים והוגי דעות רבים במהלך ההיסטוריה הבינו. תפיסה זו באה לידי ביטוי בימינו בעמדה שהמילים המיוצגות בקודים של מאגרי הנתונים בימינו מהוות מידע.

17. 400 לפנה"ס : אפלטון, בדיאלוג "פאידרוס", מבטא את לבטי סוקרטס וחששותיו מפני השפעת הכתיבה על החשיבה ועל התרבות.

אין ספק שאפלטון חי בתקופת המעבר של התרבות היוונית מאוראלית לכותבת (Ong, 1982: p. 24). קשה לדעת האם בביקורת המבוטאת בסיפור שמספר סוקרטס, מדובר בחשש אמיתי או במס שפתיים בלבד, שהרי הדיאלוגים של אפלטון נשמרו כטקסטים כתובים. ב"ברית החדשה", באגרת השנייה של פאולוס אל הקורינתיים, נמצא "כי האות תמית והרוח תחייה" (פרק ג' פסוק 6). גם בתרבות היהודית בוטא החשש מפני המעבר מתרבות אוראלית לתרבות כתב. כאשר חז"ל דנו בחתימת המשנה (במאה השלישית לספירה) היו כאלה שסברו שכתביה תפגע בה. לדוגמה : "דברים שבעל-פה אי אתה רשאי לאומרם בכתב" (בבלי, גיטין ס ע"ב). אל ביקורות אלה מצטרפת חנה ארדנט, בטענתה שמשמעות

אינה יכולה להיווצר ואף לא להתבטא בתקשורת כתובה (Arendt, 1958: p. 4). לבלי ספק, יש בטענות כאלו התעלמות מן האפשרות שמחשבות, תכנים ורעיונות נוצרים על-ידי האדם גם בדרכים שאינן סלולות בדיבור.

עיון מעמיק יותר בדבריו של סוקרטס, בייחוד על רקע המתרחש בימינו, מגלה שמדובר במה שברטרנד ראסל קרא "הבעיה של אפלטון": "כיצד ייתכן שבני אדם, אשר חשיפתם לעולם הנה כה קצרה, אישית ומוגבלת, יכולים לדעת כל כך הרבה?" (חומסקי, 2003: עמ' 11). הבעיה חזרה וצצה עם העניין ב"בינה מלאכותית". סוקרטס, בדיאלוג "פאידרוס" אינו מתנגד לכתיבה, אלא מתריע מפני הסכנה שבשימוש בטקסטים כתובים, בני האדם יתפתו להאמין בזהות שבין הטקסטים לבין ידע. זהות זו הפכה היום ללחם חוקם של אנשי חינוך המזהים מונחים עם מושגים וקודים ממוחשבים עם ידע.

18. בין 400 לפנה"ס ו-200 לפנה"ס: היוונים משתמשים בתרשימים גיאומטריים לתמיכה בהוכחות גיאומטריות המשורטטות בדרך מיוחדת. התרשימים בהם השתמשו מפתחי הגיאומטריה, כארכימדס ואחרים, היו ייצוג סמלי וויזואלי של הטקסט של ההוכחה, ולא שיקוף חזותי של תוכן המשפט או, חלילה, מקור לאישור הטענות שבהוכחה. בעיקר, התרשים ממחיש ויזואלית את התוכן של הטיעון הגיאומטרי, מבלי לספק אסמכתא חזותית לתקפות המסקנה של הטיעון. לכן, הוא מייצג את הטיעון בדרך מופשטת, פורמאלית וסמלית ולא על-ידי שיקוף של מציאות גיאומטרית, כלומר, לא בדרך וידיאו-גרפית (נץ ונואל, 2007: עמ' 114-106).

19. 529–387 לפנה"ס: תנאי הקבלה לאקדמיה של אפלטון: ידיעת הגיאומטריה.

אין לפרש דרישה זו כהתמקדות בחזותיות. ההשערה של רויאל נץ, (Netz, 1999) בדבר האופי הסכימטי של התרשימים בגיאומטריה, מעלה ספק בדבר דייקנות הפירוש הזה של תנאי הקבלה לאקדמיה. הדרישה של ידיעת הגיאומטריה אינה מבטאת התמקדות בחזותיות, כי אם התמקדות בידיעה המבוססת על לוגיקה. הדרישה של אפלטון היא דוגמה דרמטית להתייחסות אל הדגם הדדוקטיבי כאל מופת לדיונים בפילוסופיה.

20. 335 לפנה"ס: הסילוגיזמים של אריסטו - פתיחת השער לטקסטואליזציה של עקרונות ההגיון עצמם: אפיון תבניות של טיעונים לוגיים מסוימים בהקשר של טענות על סוגים או תכונות של דברים, באמצעות טענות תבניות כתובות. אריסטו בחר בקבוצה סופית של תבניות כבסיס למה שהוא סבר, הוא כל הלוגיקה. אריסטו, מיון קבוצה של תבניות של טיעונים לוגיים וזיהה בהן את התבניות התקפות. משום-מה הוא האמין שתבניות אלה מספיקות לכל הטיעונים הלוגיים בידיעת הטבע. הוא לא טרח להוכיח את עמדתו. התבניות הלוגיות של אריסטו תואמות היטב את גישתו של אפלטון בניתוח המשמעות של המושגים (האידיאות), בשיטה הנקראת "דיאלקטיקה" (האזרחי, 1964: עמ' 98, 108, 115 ועוד).

יש הטוענים שאריסטו השתמש בסימנים מיוחדים כסימני-משתנים לייצוג התכונות המופיעות בסילוגיזמים (Widdows, 2004: p. 7, 255, 281, 302). רויאל נץ חולק על כך במפורש (נץ ונואל, 2007: עמ' 120-116).

21. 300 לפנה"ס: ייסוד האסכולה הסטואית, על-ידי זנון מסיטיום ואחריו, קליאנטוס וחריסיפוס, שהגדירו את הידע הרצוי כמורכב משלוש חטיבות: לוגיקה (הכוללת גם את יסודות הבלשנות), פיסיקה ואתיקה. האסכולה הסטואית התקיימה, התפתחה ופעלה ביוון ואח"כ גם ברומא במשך כ-500 שנים.

22. 300 לפנה"ס : הסטואיקנים מגלים את **המשולש הסמיוטי** המבוסס על ההבחנה בין סימן (טקסט) למסומן (לתוכן) ועל אפיון תהליכי הסימון כתהליכים שרירותיים החורגים מהמציאות הפיסיקלית של הסימנים.

היום אנו נוטים להתעלם מהפער שקיים בין הסימן למסומן, בייחוד בהקשר השימוש בטכנולוגיה הדיגיטלית החדשה להפקת מידע, במערכות המידע הממוחשבות. אם אכן "המדיום הוא המסר" (מקלוהן, 2003) והטקסט הוא התוכן של עצמו, או למצער, התוכן של הטקסט נמצא בתוך הטקסט, אז מערכות המידע הן מערכות המכילות מידע. והנה, כאשר פג החידוש בזה, אזי מתייחסים אל תכולתן כאל ידע וניהולן הוא ניהול ידע. הבלבול בין קודים, מידע וידע הוא כה גדול, עד אשר אפשר להיתקל במקרים שבהם המלה "Knowledge" מתורגמת לעברית כ"מידע" (פראנסיס בייקון, אצל שחם, 1997 : עמ' 169) ולהיפך, המלה "Information" מתורגמת לעברית כ"ידע" (מיודוסר וחוברין, 2010).

היעדר ההבחנה בין טקסט לתוכנו מתבטא בתחום החינוך בהזדמנויות שונות. לדוגמה, דורות של תלמידים צמחו על הרעיון של מיזוג טקסטים, במקום מיזוג **תכנים**, כדרך לכתיבת טקסטים על סמך מספר מקורות. הוא בא לידי ביטוי גם בחלק מהתוצאות המאכזבות של השימושים הלימודיים בתוכנות (Bereiter, 2008).

23. 300 לפנה"ס : הסטואיקנים מגדירים את מושג "**הפסוק**" כמתייחס אל היגד בעל ערך-אמת ומאפיינים את הלוגיקה של קשרי האמת להרכבת פסוקים מורכבים מפסוקים פשוטים. זו ראשית פיתוח **תחשיב הפסוקים** (Devlin, 1997: pp. 29-37).

תחשיב הפסוקים הוא התורה הלוגית המתארת את כל התבניות הפסוקיות האמתיות בהכרח, שאמתותן נובעת מתכונות של אופן ההרכבה של פסוקים מורכבים, מפסוקים פשוטים יותר, אופן הנוגע לערכי-אמת בלבד. תבנית פסוקית מן הסוג הנדון בתורת הפסוקים תהיה, לדוגמה, "אם, אם פסוק-1 אז פסוק-2 וגם אם פסוק-2 אז פסוק-3, אז, אם פסוק-1 אז פסוק-3", כאשר פסוק-1, פסוק-2 ו-פסוק-3 הם שלושה פסוקים כלשהם, כאשר כל אחד מהם הוא או אמיתי או שקרי. התבנית הזו מורכבת משלושת הפסוקים האלה באמצעות הקשרים "אם... אז..." והקשר "וגם". הסטואיקנים ידעו להגדיר קשרים אלה כקובעים, בסך הכול, את אמיתות הפסוקים המורכבים בעזרתם, מאמיתות הפסוקים המרכיבים ולא מתוכם. כך, הפסוק "פסוק-1 וגם פסוק-2" הוא אמיתי רק אם גם פסוק-1 וגם פסוק-2 אמיתיים. הקשר שבין ערך האמת (היות פסוק אמיתי או שקרי) של "אם פסוק-1 אז פסוק-2" וערכי האמת של פסוק-1 ופסוק-2 אינו מובן מאליו. הסטואיקנים התמודדו עם בעיות אלה בהצלחה רבה. אלא, שהם לא ידעו להשתמש בסמלים מיוחדים עבור "משתנים" והתבניות שלהם נכתבו באופן מחריד, עוד יותר ממה שנאמר לעיל על פסוק-1, פסוק-2 וכולי. למשל, הם כתבו כך את התבנית, המתוארת לעיל, שהם גילו : "אם, אם הראשון אז השני ואם השני אז השלישי, אז, אם הראשון אז השלישי". בשימוש במשתנים ובסימנים שהונהגו בתחשיב הפסוקים בסוף המאה ה-19, התבנית שבדוגמה האחרונה היתה נכתבת כך :

$$((P \rightarrow Q) \& (Q \rightarrow R)) \rightarrow (P \rightarrow R)$$

השימוש בסמלים מבליט את התבנית שמעניינת אותנו - בתנאי שלא נחרדים מאותיות בודדות כמסמני ישויות כלשהן והפעם, ישויות מקטגוריות טקסטואליות מסוימות (פסוקים).

24. 270 לפנה"ס : דיופאנטוס מפרסם את עבודתו "**האריתמטיקה**" שבה פירט את ממצאיו בחקר פתרון משוואות. היום אנו קוראים על-שמו "**משוואה דיופאנטית**" כל

משוואה המוגדרת מביטוי אלגברי עם מקדמים שלמים ושעבורה אנו מחפשים פתרונות שהם מספרים שלמים. יש הטוענים שדיופאנטוס השתמש בתווים לסימון משתנים (ארבל, 2005 : עמ' 156) ויש החולקים על כך (נץ ונואל, 2007 : עמ' 116).

בשנת 1900, במסגרת רשימת המשימות לפתרון במתמטיקה, עליהן הצהיר הילברט בקונגרס העולמי השני למתמטיקה, פלל הילברט את המשימה הבאה : למצוא שיטה טכנית כללית להכרעה בדבר קיומם או אי-קיומם של פתרונות (חיוביים ושלמים) למשוואה דיופאנטית נתונה כלשהי. רק בשנת 1970, יורי מתיסהביץ' הוכיח ששיטה כללית כזו לא יכולה להיות קיימת (Petzold, 2008: pp. 357-359).

המשוואה הדיופאנטית המפורסמת ביותר היא בעצם משפחה אינסופית של משוואות בנות הצורה : $x^n + y^n = z^n$, כאשר n הוא מספר שלם וחיובי נתון כלשהו.

כאשר $n=1$ מדובר במשוואה

הפשוטה (כמשוואה דיופאנטית)

$x+y=z$. כאשר $n=2$ אנו מקבלים את

המשוואה $x^2 + y^2 = z^2$ שפתרונותיה

הם "השלשות הפיתגוריות" (בגלל

הקשר אל משפט פיתגורס) ויש

כאלה לאינסוף. לדוגמה, השלשה

(5,12,13), או גם השלשה

(1771,2700,3229) שהיתה ידועה

לבבלים עוד לפני 3,800 שנים (ראה

טבלת פלימפטון מס' 322, בציר

הסמוך). לשני סוגי המשוואות האלה

ידועים כל הפתרונות האפשריים.

עבור $n>2$, כלומר, מהמשוואה עבור

$n=3$ ואילך, המתמטיקאי הצרפתי פייר דה פרמה טען, באמצע המאה ה-17, כי יש לו הוכחה פשוטה מאד לכך שאין למשוואה פתרונות עם מספרים חיוביים ושלמים. ההוכחה הזו מעולם לא נמצאה. רק אחרי 350 שנה הצליח אנדרו ויילס,

מאוניברסיטת פרינסטון, להוכיח את אמיתות טענתו של פרמה בעזרת הוכחה מורכבת ביותר, שניסוחה בכתב משתרע על-פני 200 עמודים. ראה גם (סטיארט, 2012 : עמ' 239-236).

ההוכחה של ויילס היא דוגמה לתוכן שלא ניתן להצגה בעזרת תוכנות להצגת שקופיות (מצגות). היא גם מרמזת על האפשרות של קיומן של טענות מתמטיות שלא ניתנות להוכחה בפחות מאלפי עמודים. מספר הטענות שניתנות להוכחה בפחות מאלף עמודים הוא סופי.

25. 220 לפנה"ס - 400 לספירה : הספרייה באלכסנדריה : מרכז מחקר רב-לאומי ובו מאות אלפי טקסטים שונים.

26. במאה ה-3 לפנה"ס : קלימכוס, שעבד בספרייה באלכסנדריה, מסדר את הספרים במדפים לפי נושאים, לפי סדר אותיות האלפבית (מנגל, 1996 : עמ' 201). הוא ערך גם רשימות של המצאי בספרייה בכתב.

לרשימות אלו קראו ביוונית Πίνακες שמשמעותה המילולית היא "טבלאות" והיא מקור המלה "פנקס" בעברית. זה היה כנראה קטלוג הספרים הראשון בעולם. הקטלוג היה מורכב מ-120 מגילות (נץ ונואל, 2007 : עמ' 80). הקטלוג חולק לפי קטגוריות של תוכן (כ-11 במספר) ובכל קטגוריה תוארו הספרים לפי הפרטים המקובלים עלינו גם היום, בסדר אלפביתי לפי שמות המחברים.



נתונים על שלשות פיתגוראיות

טבלת פלימפטון מס' 322

בבל, משנת 1900-1600 לפנה"ס

- לו היה הקטלוג הזה ממומש במגילה אחת, אי אפשר היה להשתמש בו כבקטלוג. מקור השימוש בכרטיסים ובתיבות כרטיסים לקטלוגים אינו ידוע. יש המייחסים אותו לקארל לינאוס (Carl Linnaeus), ממציא הטקסונומיה הבוטנית, בן המאה ה-18. השימוש בכרטיסים למימוש קטלוגים, כגון קטלוגים לספריות, הוא למעשה דוגמה לטכנולוגיה הקשורה בטקסטים, ובו-בעת גם דוגמה למושג "סוג הטקסט" שהוגדר במקביל למושג טיפוס הנתונים של מדעי המחשב (גבעון, 2011: פרק 3). קטלוג במגילה אחת, קטלוג בעשרות מגילות וקטלוג בכרטיס, הם שלושה סוגי טקסטים שונים, גם אם תכולתם היא תיאור מצאי הספרים של אותה ספרייה.
27. 200 לפנה"ס: בתי ספר לנערים ברומא, בהם בני העשירים למדו בין היתר גם כתיבה וקריאה (ראה פריט 47).
28. 200 לפנה"ס: ראשית המדידות הגיאוגרפיות הגלובליות: יישום הגיאומטריה בחישוב רדיוס כדור הארץ ובשרטוט מפות ע"י ארטוסטנס, הספרן הראשי של ספריית אלכסנדריה.
29. 200 (בערך) לפנה"ס: יסודות המתמטיקה השימושית (כמבוססת על המתמטיקה הטהורה): חישובי שטחים ונפחים של גופים גיאומטריים, ראשית הבנת מושג השטח והנפח, שימושים בשיטות קירובים, (היפארכוס, ארכימדס וחוקרים רבים אחרים באלכסנדריה ומחוצה לה).
30. 200 (בערך) לפנה"ס: יסודות ההידרוסטטיקה והנדסת מכונות: גילוי חוק הציפה, חוק המאזניים והמנוף, המצאת משאבת הבורג ובניית מכונות שונות על-ידי ארכימדס.
31. 200 (בערך) לפנה"ס: ארכימדס ממציא את הפיסיקה המתמטית בפיתוח החישובים של מרכזי כובד של גופים, את ראשית החשבון האינפיניטסימלי בחישוב שטחים ונפחים, את ראשית הקומבינטוריקה בחקירת משחק ההרכבה ה"סטומכיון" (כאב בטן ביוונית) ואת ראשית תורת הקבוצות בהגדרת מושג "שווה העוצמה" ביחס לקבוצות אינסופיות (נץ ונואל, 2007).
- הפיסיקה המתמטית היא יצור כלאיים בין המתמטיקה העיונית והפיסיקה האמפירית. לפעמים תוצאותיה נראות כנכונות בהכרח לוגי, למרות שהן טענות על המציאות הפיסיקלית. בעניין זה מומלץ לקרוא בספרו של דייוויד וולס "חדוות המתמטיקה" (2004) בפרק 9 (ראה גם פריט 105).
32. 150 לפנה"ס: תחילת תהליך תרגום החישובים הגיאומטריים לחישובים טקסטואליים שיטתיים: הגדרת הפונקציות הטריגונומטריות, כתיבת לוחות טריגונומטריים ויישום הפונקציות האלה בחישובים אסטרונומיים (חישוב המרחק מן הארץ לירח, חישוב רדיוס הירח, ועוד) ע"י היפארכוס באלכסנדריה (ארבל, 2005: עמ' 8-147).
33. 125 לפנה"ס: הרון מאלכסנדריה, בספרו "קטאופטריקוס", על חקר הבבואות המוחזרות, ניסח לראשונה את "עקרון המסלול בזמן המזערי" כעקרון שבאמצעותו ניתן לחשב את מסלול האור בהשתקפות הבבואות במראות (אטקינס, 2008: עמ' 265).
- עקרון זה פותח, במשך השנים, והפך ל"עקרון הפעולה היציבה" (The principle of stationary action) ששימש חוקרים רבים בפיסיקה בכלל, ובמאה ה-20, גם בפיתוח מכאניקת הקוואנטים בפרט (שם: עמ' 267).
34. 59 לפנה"ס: כנראה עיתון החדשות הראשון בתולדות המערב: יוליוס קיסר מנהיג ברומא את נוהל פרסום המידע על "הנעשה היום", Acta Diurna, בדפי מידע שהוצבו בפינות שונות ברחבי העיר רומא לעיונם של אזרחי רומא (Davis, 1963: p. 285; Sarton, 1993: p. 233). ראה פריט 10 ברשימה זו.

35. המאה ה-1 לפנה"ס: ראשית השימוש בספרות הרומיות (ליתר דיוק, בשיטת כתיבת שמות המספרים הרומית) משורשים יווניים (יפרח, 1990).

הפרידה מהתרבות הקלאסית וראשית ימי הביניים

36. בערך 100 לספירה: שיקום ההרס הרומאי של התרבות היהודית בארץ ישראל על-ידי הקמת רשת של בתי הספר ציבוריים בקרב כל הקהילות היהודיות בארץ ישראל על-ידי רבי יהושע בן גמלא.

37. המאה ה-2 לספירה: קלאודיוס תלמאי בן אלכסנדריה (100-165) בספרו "אוסף מתמטי" (שנקרא בערבית "אלמג'סט"), שהיה מבוסס במידה רבה על עבודתו של היפארכוס בן המאה ה-3 לפנה"ס, מופיעות כמה וכמה טבלאות של נתונים גיאומטריים מחושבים (כגון אורכי מיתרים) שבחלקם עוד חושבו על-ידי היפארכוס - ראה פריט 29, כאן (ארבל, 2005: עמ' 148-150).

בספר זה מופיע תיאור מערכת השמש הגיאוצנטרית באמצעות מעגלים. "תלמאי הוכיח באלמג'סט שניתן לבטא תופעות ביקום באמצעות תיאורים מתמטיים כמותיים" (שם, עמ' 155). כמובן שהפיתגוראים קדמו לתלמאי בעניין זה (ראה פריט 11).

בספרו "גיאוגרפיה" תלמי משתמש בעבודותיו של היפארכוס בשרטוט של מפות עם מערכת של קווי אורך ורוחב (Mlodinow, 2002: p. 58). למרות שהספר הזה היה בשימוש מעשי במשך מאות שנים, עקרון קווי האורך והרוחב לא נתפס כשיטה לקישור הגיאומטריה (תכנים חזותיים) עם האלגברה (ביטויים טקסטואליים) מכיון שהאלגברה עדיין לא פותחה.

38. בין המאה ה-2 למאה ה-4: המצאת הקודקס: המגילה הרציפה מוחלפת באוסף סדור ובדיד של דפים כרוכים - הצעד הראשון לקראת הפיכתם של המצעים הטקסטואליים לדיגיטליים - ראה (גבעון, 2011: פרק 3).

39. המאה ה-3: דונאטוס מחבר ספר ללימוד הדקדוק הלטיני שהיה פופולרי במשך מאות בשנים - אפילו עד למאה ה-12 (אליאב-פלדון, 2000: עמ' 23).

40. 387 (בערך): אוגוסטינוס מגלה לתדהמתו שהבישוף אמברוזיוס (מילאנו, איטליה) קורא ללא השמעת קול, והוא מסביר את קריאתו כשיחה דמומה ולא כחשיבה (אוגוסטינוס, 2001: עמ' 134).

אוגוסטינוס התחיל לפתח שיטה לאיתור מקורות בטקסט נתון, באמצעות מעין "אינדקס תוכני". למשל, כדי לעזור לקוראי יצירתו רבת הספרים "עיר האלוהים", הוא הכין, לכל ספר, תקציר (Illich & Sanders, 1988: p. 49).

41. המאה ה-4: המשורר הגאלי דְּצימוס מאגנוס כתב את הדברים הבאים כדי להתריע מפני זיהוי הטקסטים עם ידע:

"קניית ספריים ומילאת בהם מדפיים, הן, אלוהי המולות.
האם תאמר צתה כי מילאך אתה?
אם תקנה היום כלי מיתר, מפרט ונבל:
האם תחשוב כי אחר תהיה ממלכת המוליקה fennaf תק?"

מצוטט אצל (מנגל, 2001: עמ' 200).

42. 415: נזירים נוצריים מאשימים את המתמטיקאית היפאטיה באלכסנדריה בכישוף, רוצחים אותה, קורעים את גופה לגזרים, הורסים את הספרייה באלכסנדריה, וכך

שמים קץ לשרידי תרבות המדע והחקירה הרציונלית היוונית באירופה של ראשית ימי הביניים.

43. 475-525 : בואתיוס הרומאי מתרגם חלק מכתבי אריסטו ללטינית ומוסיף לדברי אריסטו הערות – כמקובל באותם ימים לגבי תפקיד הכותב – בין היתר, כתב פירוש על תורת הסילוגיזמים של אריסטו.

44. 529 : הקיסר יוסטיניאנוס מורה על סגירת האקדמיה באתונה.

45. 529 : לפי החלטת המועצה השניה (או השלישית) של וייסון, על כל הכמרים של הקהילות בדרום צרפת לרכז קבוצות ילדים ללמידת הקריאה בטקסטים הנוצריים כדי להקים דורות המשך לכמורה (Graff, 1987: p. 30).

46. 529 : בנדיקטוס מנורסיה מייסד את המנזר הראשון שממנו התפשטה רשת המנזרים הבנדיקטינים. רשת זו "עתידה להיות גורם ראשון במעלה בהתפתחות האינטלקטואלית של אירופה בימי הביניים... בעלת חשיבות מכרעת בכל הקשור לשימור הידע ולהנחלתו." (שורץ, 1999: עמ' 23).

47. המאה ה-6 ואילך : למרות התמוטטותה של האימפריה הרומית, מוסדות ההוראה והחינוך שהיו נפוצים בימי גדולתה לא בטלו מן העולם. כתוצאה מכך, הציבור החילוני, גברים כנשים, לא היה מנותק מהאוריינות לאורך כל "חשכת" ימי הביניים (Graff, 1987: pp. 35, 39).

48. המאה ה-6 : קאסיודורוס, סנטור ומחבר ספרים בתחומי עניין שונים (דת, היסטוריה, האמנויות היפות, נושאי ממשל ועוד). בכתביו הוא ניסה לקשר את תרבות המזרח (הקרב) עם תרבות המערב. משתמש במילות מפתח וכותב אותן בשולי הספרים, כדי לזהות תכנים של ספרים (Illich & Sanders, 1988: p. 49).

49. המאה ה-7 : הבישוף איסידור מסביליה, הביא את אריסטו לידיעת הנוצרים. כתב, על-ידי ליקוט ממקורות שונים, אנציקלופדיה של הידע האנושי, שנקראה "*Etymologiae*" כלומר, המקורות. היא כללה 20 כרכים בנושאים שונים (אנציקלופדיה זו הודפסה בערך כעשר מהדורות במאה ה-15 וה-16). הוא כלל באוסף זה, בין היתר, כרך בהיסטוריה וכן כרך באסטרונומיה ובידיעת הטבע. את האנציקלופדיה שלו הוא חילק לפרקים בעלי כותרות (שם).

איסידור ניסה להבחין בין החלק הטבעי של האסטרונומיה, הניתן לחקירה, לבין החלק האמוני שלה הנוגע להורוסקופים, אך לא הצליח להשתחרר כליל מהאמונה בכוחם של גרמי השמים להשפיע על מהלך חייהם של הצמחים ובעלי החיים בדרכים מסתוריות (Crombie, 1959: Vol. I, p. 17).

הרנסנס הקרולינגי ותרבות הטקסט והמדע הערבית

50. אי-אז, בין המאה ה-8 (כניסת האלפבית לאנגליה) והמאה ה-14, חזר והופיע, או בא לידי ביטוי ברור, מושג העצמיות, האינדיבידואליות, כתכונה מהותית וחשובה של האדם.

כמו שאר המושגים המובנים מאליהם, מושג העצמי אינו מותחם בזמן מדויק. המלה "אני" קיימת בכל השפות, ואין זה מוכיח על קיומו של מושג העצמי, כמאפיין את מהות האדם, אלא כמצביע על זה שמדבר. מצד שני, קיומו של מושג העצמי או אי-קיומו אינו תלוי בביטוי שלו, לא בשפה ולא בכתובה. איבן איליץ' טוען במפורש שמושג העצמי הוא תולדה של הבנייה אלפביתית, כי בתרבות האוראלית, "אני" פירושו "המדבר". כאשר הטקסט ביטא דיבור, "אני" היה תמיד

- המדבר שקולו נרשם, או מדומה, בטקסט. כאשר הטקסט נותק מן הדיבור, המלה "אני" נותקה ממחבר הטקסט והחלה להצביע על עצמיות של משהו. אם כך, מחבר טקסט שכתב "אני", יכול היה להצביע על הכותב, אבל בהדרגה ההצבעה הופנתה אל העצמי, אל האינדיבידואל. במאה ה-20 ה"אני" הפך להיות לתרכובת רב-תחומית, כ"עוגת שכבות של טקסטים" (Illich & Sanders, 1988).
51. מהמאה ה-8: בהשפעת מנהיגותו של הקיסר קארל הגדול, מתחילה "מסורת רצופה וממוסדת של עיון ולימוד" (שורץ, 1999: עמ' 21). מוקם "בית הספר של החצר המלכותית" שייעודו היה "לערער את המונופולין של הכנסייה על עולם הידע ולמסד את מקומו של המלומד, הרוכש את ידיעותיו ומנחילן הלאה, אל מחוץ לכותלי הכנסייה" (שם, עמ' 46).
52. המאה ה-8: קארל הגדול כופה על הכמרים הנוצריים ללמוד לקרוא ולכתוב. בהשפעת היועץ שלו, אלקוין, הארכיבישוף מיורק, הוא עורך רפורמה בדקדוק ובכתיב הלטיני (Graff, 1987: p. 47). הוא מנהיג את הכתיבה באותיות קטנות וגדולות, את השימוש בסימני פיסוק ואת ההפרדה הברורה למילים כתקן לכתבי-היד בלטינית (Cunningham & Reich, 2005; p. 301).
- הופעת ההפרדה בין מילים בכתיבה מתגלה כהליך רציף אם בוחנים את הטקסטים השונים שנכתבו במהלך ימי הביניים. במאות הראשונות קשה להפריד בין המילים, ובהדרגה, המילים נכתבו עם רווח ברור ביניהן (Marcos, 2008).
53. 800: גילוי הספרות העשרונית והייצוג הספרתי בהודו משורשים סיניים, לרבות השימוש בסימן נפרד עבור ספרת האפס. מהודו עברו הספרות והגיעו לבגדד.
- הניסיונות לייצג מספרים ע"י סימנים בדרך שיטתית, קדומים יותר משורשי הא"ב (יפרח, 1990) (ראה פריט 1).
- כדאי לציין כאן כי אין קשר בין המצאת הכתיב הספרתי להמצאת הרעיון של בסיס 10 לארגון המציניים של המספרים. למשל, בשפה העברית, שמות המספרים הוגדרו ואורגנו לפי בסיס עשר, כאלף שנה לפני המצאת הספרות ההודיות.
54. בערך במאה ה-9: הוקמה מכללה לרפואה בסלֶרְנו שבאיטליה (ראה פריט 73). לפי הסברה המקובלת, מכללה זו הוקמה כנראה ע"י רופאים יהודים, נוצרים ומוסלמים.
55. בערך 813: הכליף העבאסי השביעי, אל-מאמון, ייסד בבגדד מכללה למתרגמים, שהתרחבה לספרייה עשירה והפכה חיש מהרה למרכז אקדמי פעיל למדעים בשם "בית החוכמה" ("באית-אל-חיכמה"). כך הפכה בגדד למרכז תרבותי באימפריה המוסלמית.
56. 824; מוחמד איבן מוסה אלחואריזמי שהיה מתמטיקאי מוסלמי בן אזור חווארזם שבצפון פרס וחוקר בצוות מכללת בית החכמה בבגדד, מפרסם חיבור על סוד העיבור של הלוח היהודי.
57. 830: פרסום הספר "אל-כיתאב אל-מוחתאסר פי חיסאב אל-ג'בר ו-אל-מוקבלה" ("הספר המקיף אודות החישוב באמצעות הצירוף וההקבלה") של אלחואריזמי: ביסוס הייצוג הספרתי של מספרים וראשית גילוייה של הטקסטואליות של החישובים הנומריים.
- ספרו היה ספר להוראת האלגברה - אך השתמש בהוכחות גיאומטריות כדי לבסס את הנוסחאות והשיטות האלגבריות. אלחואריזמי תרם, בהמשך לעבודתו של דיופאנטוס, לפיתוח מושג המשוואה כשיטה לפתרון בעיות.

מלבד החישובים הנומריים עצמם, אלחואריזמי פיתח, בהדרגה, את שיטת פתרון המשוואות כתהליך של עיבוד טקסטים. כלומר, נושא הספר היה פתרון משוואות על-ידי צירוף ביטויים והשוואתם זה לזה. בניגוד לתהליך החישוב, שבו אנו מרכיבים מספר לא ידוע (תוצאת החישוב) ממספרים ידועים באמצעות פעולות החשבון, בפתרון משוואות אנו, כעצתו של אלחואריזמי, נותנים שם למספר הלא ידוע ומנסחים את האופן שבו מורכב, מהמספר הלא ידוע וממספרים ידועים אחרים, מספר ידוע. כך מתקבלת המשוואה, ופתרונה, כלומר חשיפת זהותו של המספר הלא ידוע, מתקבלת על-ידי פעולות טקסטואליות של "צירוף והקבלה" (גדג', 2006 : עמ' 278-280). היום קוראים לתהליך שכזה, "הנדסה לאחור".

אלחואריזמי כתב גם טבלאות של ערכים של פונקציות טריגונומטריות לצורכי חישובים אסטרונומיים. (Crombie, 1959: Vol. I, p. 39)

58. 876 : סימן הספרה אפס מופיע לראשונה בכתובת על אבן בעיר גווליאור בהודו (ארבל, 2005 : עמ' 7 ; 2009 : עמ' 23). מן הראוי לציין כי המספר אפס היה ידוע כבר בראשית המאה ה-7 למתמטיקאי ברההמגופטה (שם, עמ' 158).

ההכרה בקיומו של המספר אפס אינה זהה ואינה קשורה להמצאת שיטת הכתיבה העשרונית, או לשימוש בספרה אפס בשיטת כתיבת שמות המספרים באמצעות סדרות של ספרות. המספר אפס הוא מספר אשר מהווה פתרון לכל המשוואות מהצורה $a+x=a$. הספרה "0" היא סימן שמשמש בכתיבת שמות של מספרים בשיטה העשרונית (למשל). הספרה "0" היא חלק של שם של מספרים מסוימים, בדיוק כפי שהאות אל"ף יכולה להיות חלק משם של בעל-חיים. זה לא הופך את האות אל"ף לבעל-חיים או לחלק של בעל-חיים.

בהבנת תפקודה של הספרה "0" עלינו להתייחס שוב אל התופעה של שיקופי תהליכים האופיינית למיפויים. בזמן שציור של שני ספרים מתקבל משני ציורים של ספר אחד, כתיבת ביטוי לשני ספרים אינה מתקבלת משתי כתיבות של ביטוי לספר אחד. חלק של שם של דבר-מה אינו חייב להיות קשור לשם של חלק של אותו דבר. בכתיבה המייצגת צלילים (כמו בתוים של מוסיקה או בכתב הברות), בדרך כלל, חלק של ייצוג של דבר-מה הוא ייצוג ברור של חלק של אותו דבר. הספרה "0" בייצוג "101" של המספר 101, אינה ייצוג ברור של חלק של המספר 101, אלא אם נפרק אותו, כמובן, לסכום של חזקות של 10.

59. 810-877 : יוהנס סקוטוס אֶרִיגֶנָה (Ioannes Scotus Eriugena), מלומד אירי, שהוזמן על-ידי קארל השני לנהל את בית הספר הקיסרי בפריז ובליז, כותב ספרי הגות בפילוסופיה ובתיאולוגיה. ספריו כוללים, מלבד ביטוי של ידע קודם, גם רעיונות מקוריים שלו. ספריו השפיעו רבות על הוגים רבים במאות ה-12 וה-13 שנרדפו עקב כך על-ידי הכנסייה באשמת מינות, בגלל הגישה התבונית החופשית שלו (שורץ, 1999 : עמ' 45-48).

בניגוד לתפיסה המקובלת אודות "חשכת ימי הביניים", צריך להבין שהתיאולוגיה במקורה, בימי הביניים, היתה ניסיון להעמיד את האמונה, באופן מירבי, על יסודות תבוניים (שם).

60. 867 : לקראת סוף המאה ה-9 : התלמוד הבבלי מגיע אל יהדות איטליה (פרישמן, 2008 : עמ' 385).

61. סוף המאה ה-9 : מילון ארמי נכתב בבבל על-ידי צמח בן פלטהאוי גאון (גייגר, 2011).

62. המאה ה-9 : תעשיית הנייר מתפתחת בבגדד ועוברת גם אל אירופה המזרחית (אברמסקי ואחרים, 1964 : עמ' 514-515).

63. תחילת המאה ה-10 : רב סעדיה גאון פרסם בבבל מילון עברי "אגרון" וחוקרים יהודים רבים אחרים לומדים את הבלשנות הערבית ומיישמים אותה בחקר השפה העברית (גייגר, 2011).

64. 940-998 : המתמטיקאי אבול-וואפה : תרגם את ספרו של דיופאנטס "האריתמטיקה" מיוונית לערבית. הגדיר את פונקציית הטנגנס (בטריגונומטריה) כישות מתמטית נבדלת, וכן "חישב טבלה של סינוסים וטנגנסים (לזוויות - י.ג.) בהפרשים של 15 דקות." (ארבל, 2005 : עמ' 7). ראה פריט 32.

65. 975 : התחלת הפעילות העיונית במסגד אל-אזהר בקהיר.

66. 975 : עדות ראשונה למקור ולסיבת השימוש בסמלים כחלק מהותי של הטקסטים המתמטיים והמדעיים : העצלנות של מעתיקי כתבי היד (נץ ונואל, 2007 : עמ' 116-120).

רויאל נץ טוען כי הסיבה לשימוש בסמלים היתה בעיקר נטייתם של המתרגמים והמעתיקים שקיצרו, בשלבים ובהדרגה, את הביטויים שחזרו על-עצמם בטקסטים אותם העתיקו (שם). זו הפעם השנייה שלגורמים מנהליים יש השפעה משמעותית ביותר על השימוש בטקסטים. הראשונה היתה בהמצאת יסודות הכתיבה האלפביתית על-ידי לבלרי המחסנים בעיר בבל הקדומה (Goody, 1997). ייתכן אפילו שזו הפעם השלישית, כי יש הסוברים שעצם המצאת הכתיבה בסימנים נבעה מהצורך המינהלי לסמן מספרים עוד בשומר העתיקה.

67. במאה ה-10 : ספריית החליף מקורדובה הכילה בשנת שלטונו של החליף אל-חכאם השני (961-976) 400 אלף כרכים (מנגל, 1996 : עמ' 206).

68. בסוף המאה ה-10 : איבן אל-הית'אם, אחד מגדולי הפיסיקאים מכל הדורות, הביא למהפכה בתפיסת קרני האור כתוצאה ממחקריו על מבנה העין ותפקוד חלקיה. מחקריו הובילו לביטול ההשערה של קודמיו ביוון, בדבר תופעת הראיה כנגרמת על-ידי קרן חיישנית היוצאת מהעין. הוא גלה את חוק השבירה והמציא את התא האפל שהיה הבסיס להמצאת המצלמה במאה ה-19 (Crombie, 1959: Vol. I, pp. 110-113). ראה פריטים 132 ו-212 וכן, (גבעון, 2011 : פרק 5).

הרנסנס השני באירופה

69. במאה ה-10 : התלמוד הבבלי מגיע יחד עם ההגירה של יהודי איטליה אל קהילות אשכנז וצפון צרפת ותוך מאתיים שנה הוא תופס את תשומת הלב של הנוצרים ומעורר את שנאתם, או את קנאתם (פרישמן, 2008 : עמ' 385).

70. במאה ה-10 : ארון הספרים היהודי של חכמי אשכנז הכיל : התלמוד הבבלי והירושלמי, ספרי מדרש ומיסטיקה יהודית, ספרי פיוט יהודיים ממקורות ארץ ישראלים ואיטלקים, חיבורים בלשניים של בלשנים יהודים ספרדיים, "ספר הערוך" של ר' נתן מרומא (מילון עשיר למונחי הספרות התלמודית והמדרשים), פסקי ההלכה של הרי"ף ממרוקו (ר' יצחק אלפסי) אך לא ספרים הכתובים בערבית (שם : עמ' 376).

71. 1000 : הנזיר ז'רבר מאוריאק, שהוכתר כאפיפיור סילבסטר השני, ניסה להטמיע את השימוש בספרות העשרונות הערביות באירופה ללא הצלחה (אטקינס, 2008 : עמ' 398).

72. במאה ה-11 : "הידע על שיטות ייצור הנייר הגיע לאירופה באמצעות המוסלמים" (אליאב-פלדון, 2000 : עמ' 13).

73. במאה ה-11 : עשרות רבות של בתי ספר גבוהים הוקמו ברחבי אירופה. למשל, בערים ריימס, שרטור, טור, פריז, בק, ליון, ומונטפליה בצרפת, בערים בולוניה, מודנה, מונטה קסינו, פארמה וסלרנו באיטליה, ואילו בערים ברמן, ארפורט וקלן בגרמניה, לינקולן ואוקספורד באנגליה, סנט גלן בשווייץ ווינה באוסטריה. "אלה הם רק מהמפורסמים מבין עשרות בתי הספר שפורחים עתה בכל רחבי אירופה", (שורץ, 1999 : עמ' 49).
74. במאה ה-11 : המשורר והמתמטיקאי עומר כיאם, מוכיח שניתן לפתור כל משוואה מן המעלה השלישית באמצעים גיאומטריים. רק בימי הרנסאנס התגלו נוסחאות (טקסטים) לפתרון המשוואות מן המעלה השלישית והרביעית. (סטיוארט, 2012 : עמ' 209).
- משולש המספרים הנקרא 'משולש פסקל' היה ידוע לעומר כיאם ולמתמטיקאים הודים בימי קדם. באיראן, המשולש נקרא 'משולש כיאם'. (שם : עמ' 301). ראה פריט 178.
75. במאה ה-11 : תחייה של לימודי הרפואה באירופה, הודות לפעילות של בית הספר לרפואה בסלרנו (שהוקם כ-200 שנה לפני כן) שכנראה נתרמה על-ידי יוונים ויהודים ועל-ידי מגיעיהם עם הערבים בסיציליה. תחייה זו לוותה בפעילות רבה של תרגום של מקורות יווניים, לטיניים, יהודיים וערבים העוסקים ברפואה. כמו-כן, רופאים בפועל לימדו רפואה על-ידי הצגת ניתוחים של בעלי-חיים (Crombie, 1959: Vol. I, p. 223-224).
76. 1037 : שנת לידתו של אבו עלי אבן סינא, "אחד מאנשי האשכולות החשובים בימי הביניים. חיבוריו עסקו כמעט בכל תחום מדעי בזמנו והוא נודע בספרי הרפואה שכתב, שנחשבו למוסמכים ביותר גם באירופה." (לואיס, 2004 : עמ' 53 ; הערת העורך).
- ספרי הרפואה של אבן סינא נחשבו על-ידי המוסלמים כמושלמים ואסור להוסיף עליהם. כך המחקר הרפואי בתרבות הערבית נבלם למעשה. רק בתחילת המאה ה-16 נכתב, במסגרת התרבות המוסלמית, חיבור רפואי (פרסי) שכלל ידע מעודכן יותר (על מחלת העגבת שהגיעה מהעולם החדש). (שם).
77. אמצע המאה ה-11 : מלומדים נוצריים למדו עברית וגם נעזרו במלומדים יהודיים כדי לבדוק את מהימנות התרגום של התנ"ך ללטינית (פרישמן, 2008 : עמ' 416-417).
78. 1085 : המלך הספרדי אלפונסו השישי כבש את טולדו מידי המורים, יזם מפעל לתרגומים שהפך את טולדו למרכז התרגומים מערבית ללטינית במאה ה-12. בעזרת המלומדים היהודים, מלומדים מכל רחבי אירופה הנוצרית נחשפו לתרבות המידע והמדע הערבית. (Crombie, 1959: Vol. I, p. 34).
79. 1088 : ייסוד אוניברסיטת בולוניה, בית הספר הגבוה המערבי **העצמאי** הראשון מאז האקדמיה של אפלטון.
- לבתי ספר עצמאיים שאורגנו על-ידי מרצים וסטודנטים קראו אז "**אוניברסיטאות**". ראה פריטים 73, 75 ו-110.
80. תחילת המאה ה-12 : עלייתה של האימפריה העות'מאנית וראשית דעיכת התרבות המדעית בעולם הערבי.
81. תחילת המאה ה-12 : פייר אבלר (1142-1079) חלוץ ההגות הסכולסטית מציע את העיון הביקורתי כעיקרון הראשי של התיאולוגיה. "השאלה חשובה יותר מן התשובה, שהרי היא שדוחפת את השואל לחקירה ולעיון, והחקירה היא שמובילה אותו

- לגילוייה של האמת. אמת זו – מוסיף אבלר ואומר – אינה דבר קבוע, נחלת העבר, אלא עליה להוסיף ולהיחשף בפעילות האנושית התבונית. (שורץ, 1999: עמ' 61).
82. 1115 : נוסדה האוניברסיטה באוקספורד.
83. 1065?-1145: רבי אברהם בר חייא הנשיא, שחי בברצלונה, כתב, בין היתר, שני ספרים במתמטיקה: "**חיבור המשיחה והתשבורת**" ו"**הנדסה מעשית**" שתורגמו מעברית ללטינית (בשנת 1145) והיו מקור חשוב לנוצרים לידיעת הגיאומטריה (ארבל, 2005: עמ' 8, 190).
84. 1120 : הכומר ה'יו, מכנסיית ויקטור הקדוש, מציע שיטת קטלוג חדשה, הכוללת גם תקצירים של הספרים (מנגל, 1996: עמ' 203). ראה פריט 40 ברשימה זו.
85. 1126 : אדלהארד מבאת', מתרגם את הלוחות הטריגונומטריים שכתב אלחואריזמי מערבית ללטינית. הוא גם תרגם את "**היסודות**" של אויקליד מערבית ללטינית. (ארבל, 2005: עמ' 181; ; Crombie, 1959: Vol. I, pp. 39, 44; ; ראה פריטים 55 ו-56 ברשימה זו.
86. 1128 : הכומר ה'יו, מכנסיית ויקטור הקדוש בפריז, מפרסם את הספר "**דידאסקאליקון**", שהוא ספר ללימוד הלמידה על-ידי קריאה מטקסטים, הפותח בהצהרה: "מכל הדברים שיש לשאוף אליהם, הראשון הוא החוכמה", ובו נמצא ביטוי ראשון לקריאה הדמומה כשיטה ללמידה ע"י חשיבה (Illich, 1993). בהדרגה, הטקסט חדל מלהיות רשם-קול.
87. 1132 : לראשונה מאז אפלטון, הסטואיים ואריסטו היווניים, בואטיוס וציצרו הרומאיים, יוצא לאור ספר מקורי בלוגיקה. אדם מבאלשאם (אנגליה) מפרסם ספר המלמד את הלוגיקה הכתובה ככלי לחיסון מפני כשלים סופיסטים (Devlin, 1997: p. 55).
88. 1142 : יצא לאור הספר הראשון שבו מפורש פתרון שלם למשוואה הריבועית. מחבר הספר היה אברהם בר חייא הנשיא (ארבל, 2009: עמ' 164). ראה פריט מס' 57.
89. 1150 : ייסוד בית-הספר למתרגמים בטולדו (Russell, 1959: p. 440).
90. 1159 : ג'והן מסאליסבורי כתב את ה"**מטהלוגיקון**" כספר בלוגיקה המבוסס על הלוגיקה של אריסטו (Devlin, 1997: p. 37).
91. 1170 : בערך : כתיבת ספר המסעות של בנימין מטודלה ע"י רבי בנימין עם שובו ממסעו בשלוש היבשות של העולם הישן.
92. 1180 : בערך : אס מנזר, Herrad von Landsberg, שמוגדרת גם כפילוסופית, כאסטרונומית וכהרבליסטית, כותבת אנציקלופדיה דתית בתמונות מוערות (או בטקסטים מאוירים) כספר לימוד של המדעים, התיאולוגיה והפילוסופיה, לתלמידות נזורה, בשם "**גן ההנאות**" (Turner, 1910).
93. במאה ה-12 : מלומד איטלקי, ג'רארד בן העיר קרמונה, נסע אל טולדו כדי ללמוד ערבית ולתרגם ספרי מדע מערבית ללטינית. בין הספרים שהוא תרגם היה ספרו של אלחואריזמי באלגברה (ארבל, 2005: עמ' 194). כך המונח "אלגוריתם", כעיוות שמו של אלחואריזמי, וכינוי לכל שיטת חישוב בסגנון השיטות שגילה אלחואריזמי, עומד להיכנס לתרבות המערבית (ראה פריט 57).
94. המאה ה-12 : מלומדים נוצרים לומדים עברית וקוראים את התנ"ך במקורו ואת מפרשיו היהודים (כמו רש"י ואבן עזרא) מתוך כבוד והערכה (שורץ, 1999: עמ' 123). ראה פריט 77 ברשימה זו.

95. 1200 : הרנסנס השני - של המאה ה-12 באירופה המרכזית : מהפך של מושג הטקסט, מרשם קול של דיבור, לרשם של רעיונות מן המחשבה, מאמצעי לפתרון בעיה פסיקלית (שמירת קול לאורך זמן, שליחת דיבור למרחק) לכלי עזר לקוגניציה, והשבת התרבות העיונית הקלאסית לאירופה. הטקסט הפך למערכת של מיקום מילים וביטויים כתובים המייצגת רעיונות וחשיבה.
96. בסוף המאה ה-12 : הטקסט התגלה ככלי המאפשר אֶזְכוּרִים של טקסטים אחרים : נבנה אינדקס אלפביתי לכלל כתבי הקודש (Illich & Sanders, 1998: p. 49).
97. בסוף המאה ה-12 (סמוך ל-1175) : ספריית הפאטימים בקהיר מונה יותר מ-1.1 מיליון כרכים המקוטלגים במדפים לפי נושאים (מנגל, 1996 : עמ' 205).
98. המאה ה-12 : מסוכמת על-ידי הארווי גראף, מנקודת המבט של תולדות האוריינות במערב, כך : "שימושים מינהליים ואחרים באוריינות ובעיקר בכתובה הורחבו על-ידי "מהפכות" עיון ומסחר, פיתוח החינוך של הציבור החילוני, עלייתן של השפות המקומיות, וכפירה פרוטסטנטית" (Graff, 1987: p. 9).
99. סוף המאה ה-12 : יואכים מפיוורה (1135-1202) מבסס תפיסת עולם היסטורית-מיסטית המבוססת על השילוש הקדוש : "עידנו של האב, שהוא עידן הברית הישנה, התנ"ך העברי. אחריו בא עידן הבן, שהוא עידן הברית החדשה. העידן השלישי, המשיחי, עידן העתיד, הוא עידן רוח הקודש..." (דן, 2009 : עמ' 27-28).
- לתפיסתו של יואכים היתה השפעה רבה, על הפרנציסקאנים, על היהודים המקובלים, וייתכן אף על כל אלה המקבלים את החלוקה : העת העתיקה, ימי הביניים, והעת החדשה. ואם נקרא את דבריו של פוסטמן ושל מקלוהן (2003) על מכבש הדפוס (ראה : גבעון, 2011 : פרק 6), קשה להימנע מלזהות בהם הדים לתפיסה משיחית אליילית-מטריאליסטית : מכונה שמופיעה ומצילה את אירופה הנוצרית מחשכת ימי הביניים - התגלות כוחה של הטכנולוגיה בכל התגלמויותיה והופעותיה.
100. 1202 : ניסיונות נוספים להטמעת הייצוג הספרתי העשרוני באירופה (על-ידי פיבונאצ'י).
101. 1204 : הצלבנים מעלים באש את קונסטנטינופול ויחד אתה עולים באש עיקר שרידי הטקסטים של העולם העתיק שנשמרו בתרבות המערב (נץ ונואל, 2007).
102. 1205 : החלוקה של ספרי התנ"ך לפרקים נעשתה בעיקר בידי הנוצרים, החל מזמן תרגום השבעים ליוונית והושלמה, על-ידי הבישוף מקנטרברי סטיבן לגטון (Steven Langton) בשנת 1205 (Fuller, 2000: p. 102; Dawes, 2007: p. 33).
103. 1210 : הניסיון הראשון של הכנסייה להגביל בפריז את הפצת תורתו של אריסטו ושל תלמידיו בהחלטה ש"אין להקריא בפריז, לא בפומבי ולא בפורום פרטי, את כתבי אריסטו או פרשניו אודות המטפיזיקה או ספרי הטבע" (שורץ, 1990 : עמ' 68). ניסיון זה, והצהרות דומות שאחריו, בשנים 1215, 1231, 1245, חושפים את המתח ששרר בין הכנסייה ובין האוניברסיטאות במאה ה-13. כללית, טוען שורץ, "ניסיונות הבלימה הכושלים בחצי הראשון של המאה השלוש עשרה מצביעים על מושג חדש של ידע, שאינו ניתן לעצירה וכמעט שאינו ניתן לבקרה" (שם).
104. 1224 : הקיסר פרידריך השני מייסד את האוניברסיטה של נפולי כמוסד קיסרי שמשך אל נפולי מלומדים מכל הדתות (Crombie, 1959: Vol. I, p. 142) שפעלו במפעל תרגום אינטנסיבי של כתבים מדעיים ופילוסופיים, גם מערבית ומעברית ללטינית וגם מלטינית ומעברית לעברית (שורץ, 1990 : עמ' 170-172). "ייחודיים למקום, בין היתר, פעילות תרגום אינטנסיבית מהשפה הערבית אל הלטינית ושיתוף פעולה של מלומדים בני דתות שונות סביב התרגום." (שם : עמ' 172).

105. 1225 (לערך): תלמיד אנונימי של המתמטיקאי ג'ורדאנוס, פותר בעיה במכאניקה שרבים ניסו ללא הצלחה לפתור אותה מזה 900 שנים (מאז פאפוס, בן המאה ה-4, באלכסנדריה), באמצעות שיקולים לוגיים ומתמטיים טהורים, כדוגמת "השיטה" של ארכימדס (וולס, 2004: עמ' 258). הבעיה היתה לחשב את הכוח הנדרש למשוך גוף בעל משקל נתון במעלה שיפוע שזוויתו נתונה.
- ג'ורדאנוס, שנפטר בשנת 1237, ייסד קהילה של חוקרים שחקרו כמה תופעות פיסיקליות, על ידי שיקולים לוגיים, והגיעו למסקנות הנוגעות לשיווי משקל, לחיבור מהירויות ותנועות (חוק המקבילית), ואחרות. מחקרים אלה קבלו פרסום רב במאה ה-13 ובמאה ה-14. מאוחר יותר הם הגיעו לידיעתו של ליאונרדו דה-וינצ'י שהשתמש בהם במידה רבה (הם הפכו לנקודת הפתיחה להתפתחויות המדהימות של המכאניקה של שנות המאה ה-16 המאוחרות ושל המאה ה-17" (Crombie, 1959: Vol. I, p. 115-120).
106. 1229: ביום 14 באפריל, יום אחד לפני הראשון של חג הפסחא, סיים הכומר יואנס מירונאס את העתקת ספר התפילות הנוצריות אל קודקס של גווילים משוחזרים, מגירוד של עותק של מאמרים של ארכימדס שהועתקו 777 שנה לפני-כן. יואנס מירונאס תיעד את סיום המשימה הזו, בחגיגות רבה, בקולופון של הקודקס, ששוחזר, יחד עם שרידי הרישומים של המאמרים של ארכימדס, כמעט 800 שנה מאוחר יותר (נץ ונואל, 2007: עמ' 268-270).
107. 1244: תעשיית הנייר מגיעה מספרד אל אירופה הנוצרית והאיטלקים משפרים את תהליך הייצור הספרדי של הנייר (Crombie, 1959: Vol. I, p. 193). כמו-כן, ראה (אליאב-פלדון, 2000: עמ' 13). האין זו תחילת מהפכת הדפוס?
108. 1244: שריפת התלמוד הראשונה במאה ה-13 (בפריז) - הכנסייה הנוצרית נלחמת בטקסטים מתוך מודעות לכוחם ופחד מהשפעתם (בס"ה 4 פעמים במאה ה-13 ושלוש פעמים במאה ה-14; שורץ, 1999).
109. 1255: ברשומה של אוניברסיטת פריז מיום 19 במרץ 1255 נכתב כי כל תלמיד מדעים יחויב - על מנת לסיים את לימודיו - להוכיח את בקיאותו בכל כתביו של אריסטו (שורץ, 1999: עמ' 70).
110. במאה ה-13: גל של אוניברסיטאות חדשות באירופה: סלמנקה, 1218; פדובה, 1220; פאריז, 1220; מונטפליה, 1220; קיימברידג', 1209; ליסבון, 1290. יש הטוענים כי עד סוף המאה ה-13 הוקמו באירופה כ-23 אוניברסיטאות (ראה פריטים 73 ו-79).
111. במאה ה-13: תומאס אקווינאס (1225-1274), חבר המסדר הדומיניקאני, מגדולי התיאולוגים של הרנסנס השני, מציע ניתוח כללי של המדעים, כולל התיאולוגיה, באמצעות מבנה דדוקטיבי, "היות שכל מדע מתחיל מתוך מערכת של עקרונות והנחות יסוד שאינן דורשות הוכחה, ועל גבן בונים שרשרות של טיעונים ומסקנות...". הוא הציע, לא פחות ולא יותר, לארגן את כל הידע המדעי במסגרות דדוקטיביות כדוגמת ה"יסודות" של אויקליד (שורץ, 1999: עמ' 108).
112. במחצית המאה ה-13: המלך אלפונסו העשירי, שליטה של קסטיליה, מזמין אצל שני יהודים בני קסטיליה לחבר לוחות אסטרונומיים (של זוויות צפייה בכוכבים) ששימשו את הנוטים הנוצרים במשך מאתיים שנה.
113. 1260: יקובוס מוואראצה חיבר את "הגדת הזהב" - קובץ של סיפורי קדושים שהיה ליצירה הנפוצה ביותר שידעה אירופה בימי הביניים ותורגמה לכל השפות המערב אירופאיות (קליינברג, 2000).

114. 1238 : חובר הטקסט המפורסם "כארמינה בוראנה" שבו נאספו שירי סטודנטים שכללו, שירי אהבה, שירי זימה ושירים סאטיריים שביטאו גם ביקורת כנגד הכנסייה הנוצרית (Saymonds, 1884).
115. 1270 : הגיוני הסוחף הראשון של "המינות האריסטוטלית" ע"י הכנסייה הנוצרית בפריז - אחד הביטויים לשידוד המערכות במאה ה-13 בין האוניברסיטאות והכנסייה. מצד אחד, כל אנשי המפתח בכנסייה רכשו השכלה אקדמית. מצד שני, התפתחות האוניברסיטאות איימה על שלטונה של הכנסייה ושליטתה בידיעה. ובנוסף לכל זה, כל חקירה של מינות התבצעה בסמכות מדעית. "החקירה יכלה לקבל את הגושפנקה הכנסייתית בדיעבד, רק לאחר שעמדה בסטנדרטים מסוימים של ניתוח מדעי." (שורץ, 1999 : עמ' 156).
116. 1274 : החיבור הראשון בין טקסט למכונת חישוב : הלוגיקן הספרדי ריימון לול (Raimondus Lullus) ממציא מכונה ליצירת ביטויים ופסוקים במטרה להוכיח טענות באופן לוגי. על חשיבות המצאתו כניצן של פיתוח הטכנולוגיה הדיגיטלית, ראה (Burks & Burks, 1988: p. 327).
117. 1277 : בהתנגדות לעמדתה של האוניברסיטה של פריז, הגיוני הסוחף השני של "המינות האריסטוטלית" הוכרז ע"י הממסד הכנסייתי בפריז' אליו חָבַר הממסד הפרנציסקאני במלחמתו בממסד הדומיניקאני (שורץ, 1999 : עמ' 157).
118. מהמאה ה-13 : לעומת "הרצף הבלתי פוסק של הלימוד המדעי לגיוני השונים במערב", תחילת "הקיפאון היחסי אליו מתדרדר המדע המפואר בעולם המחשבה הערבית והיהודית במרחב האסלאמי." (שם : עמ' 67-68).
119. המאה ה-13 : הנזירים משתמשים בטכניקות חדשות לייצוג חזותי של הטקסט עצמו (גם באותיות עצמן ולא רק באמצעות ציורים), בהשפעת התרגומים הרבים מערבית שהוכנו בעיקר על-ידי יהודי טולדו ומונטפלייה. בהשפעת האסלאם, האיורים והטקסט האלפביתי הופרדו זה מזה אבל נשארו מאוחדים ומתואמים כמו במארג של שטיח (Illich & Sanders, 1998: p. 50). דפי כתבי היד בלטינית נראים כמעט כמו דפי התלמוד של המאה ה-12 בתוספת של קישוטים.
120. המאה ה-13 : הדיונים בתחומי המטפיזיקה, התיאולוגיה והמדעים, שעסקו בהם הוגי הדעות הנוצריים, באוניברסיטאות וגם במכללות של מסדרי היחפנים, בסביבות המאה ה-13, בגרמניה ובצרפת, ואח"כ, גם באיטליה, בספרד ובאנגליה, התייחסו, פירשו, חלקו על, השתמשו בשפתם או תמכו בדעותיהם של כמה דמויות פילוסופיות מרכזיות : אפלטון, אריסטו, אבן רושד והרמב"ם. ראה (שורץ, 1999 : עמ' 116-66).
121. המאה ה-13 : ההוראה האקדמית עוברת תמורה מהוראה (שהיא רק) אוראלית להוראה אוראלית המשולבת קריאה ודיונים בטקסטים לצורך למידה (שורץ, 1999 : עמ' 74-75).
122. באמצע המאה ה-13 : השפה האנגלית עברה מהפך, מהאנגלית העתיקה שהיתה נורמנדית (צרפתית ביסודה) לאנגלית הביניים שהיתה פשוטה יותר (למשל, בציון הרבים, על-ידי הוספת s ובציון זמן עבר, בהוספת ed) (Tartakovsky, 2007).
123. סוף המאה ה-13 : סטודנטים בפריס יכולים לשאול כתבי יד מספריות כדי לקרוא בהם יחד עם מוריהם בכתה. בו בעת, הספריות הפכו למקומות שקטים. מה שכתב הכומר היו ממנזר ויקטור הקדוש ב-1128 : "אני יכול לקרוא לך, אתה יכול לקרוא לי ואני יכול לקרוא לעצמי לחשיבתני" הוטמע בתרבות האירופית הלמדנית – התפשטה הקריאה הלמדנית הדמומה (Illich & Sanders, 1998: p. 51).

המאה ה-14

124. 1303 : נוסדה האוניברסיטה של רומא.

125. ראשית המאה ה-14 : סימנים ראשונים למודעות לחוקי הפרספקטיבה בציורים שונים, כמו למשל בציור של לאורנטיוס מוולטולינה (גבעון, 2011 : פרק 7). חוקים אלה הובילו, מאוחר יותר (במאה ה-17) לפיתוח הגיאומטריה הלא אויקלידית הראשונה, הגיאומטריה הפרויקטיבית (ראה פריט 147).



הנריקוס הגרמני מרצה באוניברסיטת בולוניה
ציור בידי לאורנטיוס מוולטולינה במאה ה-14

126. בין ראשית המאה ה-14 עד בערך 1320 :

דנטה אליגיירי מחבר את **"הקומדיה האלוהית"** בשפה איטלקית טוסקנית.

127. **"ההומניסטים הפלורנטינים במאה**

הארבע-עשרה הם שנתנו את

הלגיטימציה לכתיבה בשפת העם.."

(אליאב-פלדון, 2000 : עמ' 54).

ב**"קומדיה האלוהית"** מציג דנטה **"פרדיגמה של חסידות ושל גאולה**

פרטית חילונית" המבטאת את

רעיון **"הדבקות החילונית"** כרעיון

מקדים לרפורמציה (שורץ, 1999 :

עמ' 166). הכתיבה בשפת העם,

בניגוד ללטינית, היתה פופולארית כבר במאות הקודמות, למשל, ראה פריט 113,

וכן (Marcos, 2008).

128. ראשית המאה ה-14 : חקירת בעיות בקומבינטוריקה (תורת מניית הצירופים - ענף חשוב של המתמטיקה הבדידה) מתפרסמת בספר **"מעשה חושב"** של הרלב"ג (נץ ונואל, 2007).

129. המאה ה-14 : מגיפות שונות פרצו באיטליה, בצרפת ובאנגליה, בגלים עד למאה ה-17. (ארבל, 2005 : עמ' 197-198).

130. 1310 : מרגריט פורט, מיסטיקאית בלגית ומחברת הספר **"ראי הנשמות הפשוטות"** (בצרפתית), הועלתה על המוקד בפריז באשמת כפירה (שורץ, 1999 : עמ' 166).

131. המאה ה-14 : מאה שנה לפני המצאת מכש הדפוס של גוטנברג, הופיעו המוציאים לאור ומוכרי הספרים העצמאיים הראשונים (Graff, 1987: p. 88).

הוצאת הספרים הופכת ליוזמה מסחרית פרטית. מוקמת תעשייה של העתקת ספרים לפי הזמנות בתשלום. נוצרה גילדה של מעתיקים מקצועיים. תהליך ההעתקה הורכב משלבי ייצור נפרדים וחלוקת עבודה מוגדרת לתפקידים שונים : כותבי הטקסט הבסיסי, מקשטי האותיות והמאיירים. בסוף המאה ה-14 רבים מאלה העוסקים בהעתקת כתבי יד היו נשים (Marcos, 2008: p. 52). ראה פריט 9292.

132. 1311 : תיאודוריק מפרייברג (Theodoric, or Dietrich, of Freiberg) מפרסם עבודה יסודית על מחקר ניסויי בדבר טבעה של הקשת, באמצעות ניסויים בטיפות מים ובזכוכית גביש, וכן על טבע השתברות האור. בניסויו הוא מגלה הבנה לשיטה הניסויית ולשימוש בטכניקות המדעיות במחקר על-ידי פירוק תופעה לגורמים.

כמו-כן, תיאודוריק חקר את השפעת צורת האישון וגודלו על הדמות המתקבלת בתא האפל. מחקריו של תיאודוריק בדבר טבעם של הקשת ושל צבעי הקשת נערכו במקביל אל, בדמיון רב עם, ובאופן בלתי תלוי במחקריהם של החוקרים הערביים, קותב אל-דין אל-שיראזי (1236-1311) וקאמאל אל-דין אל-פאריזי (נפטר בערך בשנת 1320). מחקריו אודות האישון של התא האפל, הקבילו למחקריו של לוי בן גרשון (Crombie, 1959: Vol. I, pp., 110-113). ראה פריט 68.

133. 1313-1375 : ג'יאבני בוקאצ'יו כתב את "סיפורי דקמרון" באיטלקית.

134. 1317 : מתאוס סילבאטיקוס (Matthaeus Sylvaticus) מפרסם מילון של מונחים רפואיים מתחום צמחי הרפואה, על סמך תצפיות שערך בגן הבוטני של מכללת סלרנו. גן בוטני זה, הוא המקרה הראשון של גן בוטני שאינו סמוך למנזר (Crombie, 1959: Vol. I, p. 158).

135. 1325-1359 : ניקול ד'אוראסם (Nicole d'Oresme) מתמטיקאי באוניברסיטת פאריז ולימים הבישוף של ליז'ו, מגלה את הקשר שבין האלגברה לגיאומטריה באמצעות השימוש בקואורדינאטות. אוראסם פותח את השער שבין הגיאומטריה לאלגברה בהמצאת הגרפים של פונקציות מתמטיות כצעד ראשון לקראת המיזוג שבין המתמטיקה של הצורות הגיאומטריות והמתמטיקה של המספרים (Mlodinow, 2001: pp. 72-73).

בעקבות תגליותיו, חוקרים במכללת מרטון באוניברסיטת אוקספורד, באותה תקופה, מייצגים תנועה על-ידי גרפים ובמקביל אליו, מגלים ומוכיחים את חוקי התנועה הראשונים הקשורים במהירות ובתאוצה. ראה (Mlodinow, 2001: pp. 69-92).

למענתו של מלודינוב (שם), אוראסם גילה למעשה ואף הדגים במפורש את עקרון היחסות של מערכות ההתמד הנקרא בימינו "עקרון היחסות של גליליאו". כדי להסביר כיצד ייתכן שכדור הארץ מסתובב סביב צירו ובכל זאת מה שנזרק אנכית לגובה חוזר ונופל ומגיע לקרקע אל נקודת הזריקה, אוראסם הביא כדוגמה את העובדה ששני צופים משתי מערכות ייחוס יכולים לראות באופנים שונים "אותה תנועה": תנועה אנכית של יד של אדם העומד בספינה, שמפליגה בנהר ומניע את ידו לאורך התורן, תיראה אלכסונית בעיני צופה העומד בחוף (Mlodinow, 2001: pp. 77).

עקרון היחסות של גליליאו מתפקד כאקסיומה ראשונה בתורת היחסות הפרטית של איינשטיין (שם, עמ' 182).

ניקול ד'אוראסם התפרסם גם בשל בקורתו על האסטרולוגיה וטען כי השפעת גרמי השמים אינה חורגת מחום, אור ופעולה מכאנית (Crombie, 1959: Vol. I, p. 17).

136. 1336 : לימודי המתמטיקה הוגדרו כלימודי חובה באוניברסיטה של פריז (ארבל, 2005 : עמ' 9).

137. 1350 : רבי עמנואל בן יעקב בוניפילס פרסם למעלה מ-15 חיבורים בעברית בנושאים מתמטיים שונים, ללא שימוש בסמלים "למשתנים", לרבות לוחות של נתונים אסטרונומיים, לקביעת לוח השנה העברי, שתורגמו ב-1406 וזכו לפופולאריות רבה בקרב האסטרונומים בצרפת (שם : עמ' 9, 198).

138. 1346 : הכנסייה הנוצרית מאמצת את הפילוסופיה האריסטוטלית כדוגמה של הכנסייה.

139. 1362 : רשומה ראשונה של הפרלמנט האנגלי באנגלית. באותה שנה נחקק חוק שמחייב את כל בתי המשפט ברחבי אנגליה להתנהל בשפה האנגלית, כי הקהל כבר לא שלט בשפה שהיתה נהוגה קודם לכן שהיא הצרפתית (Tartakovsky, 2007).
140. המאה ה-14 : באנגליה, מחקרים של וויליאם אוקהם ושל מחבר בלתי ידוע המכונה "הסקוטי המדומה", בניסוח כללי יסוד (אקסיומות) לחוקי ההיגיון. עבודותיו של אריסטו, ובמרכזן ה"אורגאנון", תופסות מקום מרכזי בתוכניות הלימודים של אוניברסיטת אוקספורד.
- בתקנון, שנקבע לתלמידי אוניברסיטת אוקספורד אז, נאמר כי "בעלי תואר ראשון ושני שלא יקיימו את הפילוסופיה של אריסטו, צפויים לשלם קנס של חמישה שילינגים לכל נקודה של סטייה, או של עבירה על חוקי האורגאנון" (Devlin, 1997: p. 21).
141. המאה ה-14 : "במהלך המאה הארבע-עשרה אנו פוגשים תרגומים של כתבים פילוסופיים וכתובה פילוסופית מקורית בכל השפות האירופאיות" (שורץ, 1999 : עמ' 204).
142. המאה ה-14 : "במאה הארבע-עשרה היא (העמדה הפילוסופית הפרנציסקאנית - י.ג.) זוכה לסדרת דוברים מוכשרים. תופעה זו אירעה גם לביקורת המדעית על תורות אריסטו - ביקורות מעין אלה ימיהן כימי חדירתו של אריסטו אל השיח המדעי המערבי." (שם : עמ' 160).
143. המאה ה-14 : ג'פרי צ'אוסר, אבי השירה האנגלית ושותף פעיל ביצירת השפה האנגלית המתחדשת (Tartakovsky, 2007).
144. סוף המאה ה-14 : עדות משמיעה בבתי המשפט באנגליה דורשת אסמכתא בעדות כתובה (Illich & Sanders, 1988: p. 90).
- במהלך המאות ה-13 וה-14 במקומות שונים באירופה, התחולל תהליך של עליית חשיבות העדות הכתובה, בעסקים כמו בבתי המשפט (שם : עמ' 44-42).

המאה ה-15

145. 1400 : הייצוג הספרתי הערבי העשרוני נפוץ באירופה, אם כי בכמה תחומים (במסחר עד 1550, ובמנזרים ובמכללות הנוצריות עד 1650) עדיין גם שומרים על השימוש בשיטה הרומאית. אחד הנימוקים שניתנו לשמרנות של הסוחרים הוא שקשה יותר לזייף נתונים שנכתבו בשיטה הרומאית מאשר בשיטה העשרונית.
146. 1424 : הקמת מדרשה ללימודים גבוהים בסמרקנד על-ידי השליט והמדען המונגולי אולוג בָּג (ארבל, 2005 : עמ' 199).
147. 1437 : ליאון בטיסטה אלברטי (1404-1472) בעבודתו על הציור "Della Pictura", מדווח על מחקריו בגיאומטריה מרחבית (תלת-ממדית) ומנסח לראשונה במפורש את חוקי הפרספקטיבה (ארבל, 2005 : עמ' 9). ראה פריט 125. ספרו הודפס בשנת 1511 (סטיוארט, 2012 : עמ' 193).
148. 1452-1519 : ליאונרדו דה-וינצ'י. בין שאר הישגיו : גילוי מחדש של חוק הנפילה החופשית (ראה פריט 135) ; גילוי חוקי היסוד של התנועה של גופים צפידים ושל זרימת נוזלים ; גילוי הטבע הגלי ותופעת ההתאבכות של האור, הקול ורעידות האדמה (קפרה, 2010 : פרקים 7,8).
149. 1453 : קריסת האימפריה הביזנטית. קושטא נופלת בידי הטורקים ומלומדים נוצרים ברחו ממנה לאיטליה, כשהם מביאים איתם אוצרות של כתבי-יד יווניים ולטיניים.

150. 1454 : הרעב לספרים מוביל לחיפוש אחרי דרכים יעילות להפקתם : אחרי מספר רב של נסיונות כושלים, הומצא מכבש דפוס התווים הניידים על-ידי גוטנברג - הטקסט הבדיד מופק בתהליך ייצור בדיד.
151. 1485 : הודפס הספר העברי המנוקד הראשון : מחזור מנהג רומא (אליאב-פלדון, 2000 : עמ' 69).
152. 1486 : האינקוויזיטור טורקמנדה מעלה על המוקד את ואלמס, מתמטיקאי ספרדי שהעז לטעון שמצא פתרון למשוואות מן המעלה הרביעית, כאשר טורקמנדה ידע שהעיסוק במשוואות כאלה הוא בניגוד לרצון האל (ארבל, 2005 : עמ' 213).
153. המאה ה-15 : אחת ההשלכות של המצאת מכונת הדפוס של גוטנברג היתה בביטול החרדה מזה אלפיים שנה לשימור הטקסטים. תהליך ההעתקה הידנית לשימור הטקסטים, פג צורכו עם המצאת הדפוס. מפעלי ההעתקה האינטנסיבית של כתבי היד במנזרים פסו אט אט מן העולם.
154. המאה ה-15 ואילך : עוד ניצול חשוב של המצאת מכונת הדפוס : "התוצאה הבולטת ביותר הייתה גיבושו של קורפוס קנוני אחיד לכל הפזורה" (היהודית) (אליאב-פלדון, 2000 : עמ' 71). התרבות היהודית קבלה את הדפוס בזרועות פתוחות.

המאה ה-16

155. 1509 : הקיסר מקסימיליאן הראשון, לבית האבסבורג, מדפיס ומפרסם את "הספר הלבן" להצדקת מדיניותו התוקפנית כלפי ונציה. דוגמה ראשונה לניצול הדפוס למטרות תעמולה פוליטית (שם : עמ' 125).
156. 1538 : כומר אנגליקני מצהיר : "עלינו לעקור את הדפוס משורש, אחרת הוא יעקור אותנו." אחד הביטויים הראשונים לאמונה שדפוס הוא בעל יכולת גרימה פעילה. (שם : עמ' 98).
157. 1542 : הכנסייה הנוצרית מקימה את האינקוויזיציה הרומית לשיפוט בני-אדם ולצנזורה על ספרים. בשנת 1571 הופרדה הצנזורה על ספרים מהאינקוויזיציה והופעלה כיחידה נפרדת (שם : עמ' 94).
- קשה שלא לתמוה על אלה שמאמינים ב"מהפכת הדפוס", מדוע אינם כוללים את האינקוויזיציה בין שאר הדברים שנבראו על-ידי הדפוס.
158. 1515-1572 : פטרוס ראמוס, פילוסוף, לוגיקן ודידקטיקן, מפרסם ביקורת על הלוגיקה של אריסטו ומציע לוגיקה שימושית יותר, הנוטה יותר ללוגיקה של הטיעונים של הסטואה. הוא פרסם ספרי לימוד בתחומי אמנות שונים, שתוכניהם היו מאורגנים על-ידי הגדרות וחלוקות של תוכני משנה, וכך הלאה, ובצורה זו היא פירק כל נושא לימודי ליחידות קטנות ופשוטות (Ong, 1982: p. 134).
159. 1550 : ביטוי מפורש ראשון לרעיון הכתיבה הרפלקסיבית - מהכותב אל עצמו - ככתיבה מלמדת : המהרש"א על כתיבת היד כדרך האפקטיבית ביותר ללמידה, בפירוש שלו לתלמוד, בבא בתרא דף י (ב) : "וכי עיקר הלימוד ושעשע בו הרושם הוא הלימוד הבא מכתיבת יד".
- למעלה מ-450 שנה אחרי-כן, אפשר למצוא את הציטוט הזה, כמות שהוא, כמוטו בעבודת דוקטורט שהוגשה בתחום הנדסת החלל, לאוניברסיטת פרינסטון בארה"ב (Give'on, 2006: p. viii).

160. 1590 : גליליאו מגלה מחדש את חוק ההתמדה ועורך ניסויים בנפילה חופשית וכך מגלה את חוק הנפילה החופשית והוא מצהיר כי "חוקי המתמטיקה הם האלפבית שבו האלוהים כתב את העולם".

161. 1591 : המתמטיקאי הצרפתי פרנסוא ויאט (הידוע בשמו הלטיני : וִיֵאטָה) מפרסם ספר "מבוא לאמנות האנליטית" שבו הוא : (1) מציע מעין שיטה כללית לפתרון כל בעיה מתמטית ; (2) משתמש בצורה סדורה באותיות כסמלים, סימני התנועות לנעלמים ועיצורים לקבועים (ארבל, 2005 : עמ' 219-218). "הוא הסביר כי האלגברה היא שיטה לתפעול של צורות כלליות, בעוד האריתמטיקה היא שיטה לתפעול של מספרים מסוימים. ... כך קיבלה האלגברה חיים משלה כמתמטיקה של ביטויים סימבוליים. זה היה הצעד הראשון לשיחורורה מכבלי הפרשנות האריתמטית." (סטיוארט, 2012 : עמ' 79-80). האלגברה מגדירה את המתמטיקה כתורה של טקסטים דינמיים (גבעון, 2011 : פרק 3 ופרק 9).

המאה ה-17 : ראשיתו של המדע המודרני

162. במאה ה-17 : מאתיים שנה אחרי המצאת הדפוס, הומצאו העיתונים וכתבי העת כגרסה מתקדמת של "ספרי החדשות" שהוציא נתניאל באטר בשנות ה-20 של המאה ה-17, ושל "מכתבי החדשות" ודיווחים מעת לעת שהיו רווחים במאה ה-16 (אליאב-פלדון, 2000 : עמ' 123-122).

163. 1609 : קפלר מפרסם בספר "אודות תנועותיו של מאדים" את שני החוקים הראשונים שלו, בהם הוא החל את המתמטיקה על האסטרונומיה בביטוי חוקי טבע כלליים.

164. 1614 : ג'ון נאפייר מפרסם את חוקי הלוגריתמים כשיטה להמיר חישובים (מכפלות וחזקות) מורכבים בחישובים פשוטים (סכומים והכפלות) שמשקפים אותם - תרומה מפורשת למושג המיפוי ויישומו במעבר שבין "עולמות טקסטואליים" שונים (ארבל, 2009 : עמ' 81-61).

"למן המאה ה-17 עד אמצע המאה ה-20, כל החישובים המדעיים (וגם ההנדסיים – יג') במיוחד חישובים אסטרונומיים, נעשו בעזרת לוגריתמים." (סטיוארט, 2012 : עמ' 89). למרות שהמחשבוניים האלקטרוניים והמחשבים ביטלו את ההזדקקות ללוגריתמים, מושג הלוגריתם נשאר משמעותי בתחומים מתמטיים ומדעיים רבים (שם).

165. 1616 : קופרניקוס הוכנס לרשימה השחורה של הכנסייה. הוא הוצא מרשימה זו רק במחצית השנייה של המאה ה-18, כאשר הכנסייה הנוצרית השלימה עם התפיסה ההליוצנטרית (אליאב-פלדון, 2000 : עמ' 95). בימינו ערכו לעצמותיו קבורה נכונה.

166. 1617 : ג'ון נאפייר מפרסם ספר ובו הוא מתאר כיצד פעולות כפל במספרים עשרוניים ניתנות לביצוע על ידי פעולות חיבור באמצעות מערכת של בדידים פסיקליים, שהיתה למעשה מנגנון חישוב ידני (ארבל, 2009 : עמ' 82-81).

167. 1548-1620 : המתמטיקאי הבלגי סימון סטווין (Simon Stevin) מפרסם, בשנת 1582 ובשנת 1585, שני ספרים בשבח השיטה העשרונית ככלי שימושי. כאשר ספרו השני "אמנות העשר", שתורגם ב-1608 לאנגלית ולצרפתית, השפיע מאד על חדירת השיטה העשרונית לאירופה, הרחיב את שיטת הכתיבה העשרונית לשברים והתייחס בספרו אל הפרקטיקה של החשבון כדי להפיץ את השיטה העשרונית בקרב "האסטרונומים, המודדים, הבנקאים והסוחרים" (ארבל, 2005 : עמ' 220).

הוא גם גילה כמה מהתכונות האלגבריות של החשבון בפולינומים במשתנה אחד (שם). האריתמטיקה של הפולינומים היא דוגמה לטקסטים שמקבלים מעמד ותפקוד כמספרים. **הפולינומים** הם תבניות כלאיים, המורכבות ממספרים ומסימנים, ואנו מתייחסים אליהם כיום כאל מספרים מסוג מיוחד.

168. 1623 : ווילהלם שיקארד ממציא את מכונת החישוב המכאנית הראשונה לביצוע פעולות החיבור והחיסור - **"השעון המחשב"**.

169. 1629 : שלבים נוספים בטקסטואליזציה של המתמטיקה : ב-1629 ממציא חובב המתמטיקה פרמה (1601-1665) את הגיאומטריה האנליטית, אך עבודתו פורסמה רק אחרי מותו.

170. 1637 : מפרסם רנה דקארט, בנספח לספרו על המתודה המדעית, אנאליזה אלגברית של הגיאומטריה ומאז הוא נחשב לאבי הגיאומטריה האנליטית (ארבל, 2009 : עמ' 331-336). ראה פריטים 135 ו-169.

הגיאומטריה האנליטית היא מערכת מתמטית המאפשרת תרגום של כל בעיה גיאומטרית לבעיה אלגברית (לפתרון של משוואות או, להגדרה של פונקציות ושל משוואות). אבל גם להיפך, כל משוואה אלגברית ניתנת לתרגום לסיטואציה גיאומטרית. בדרך כלל, בעיות קשות בגיאומטריה נהפכות בגיאומטריה האנליטית לבעיות אלגבריות שהן פשוטות יחסית. ארבל מצטט את דקארט, "כל הבעיות הגיאומטריות מצטמצמות לטיפוס אחד, דהיינו לבעיית מציאת השורשים של משוואה" (שם : עמ' 336). דקארט, שהציע את הגיאומטריה האנליטית כפתרון לבעיות גיאומטריות פשוטות, לא שיער כיצד הגיאומטריה האנליטית תיהפך לתורה מתמטית פורייה, כלומר לשדה של בעיות חדשות שלא ניתנו אפילו לניסוח במסגרת הגיאומטריה הלא אנליטית (**"הסינתטית"**).

הקשר הדו-סתרי שבין הגיאומטריה לאלגברה אינו מיותר אחת מהן, כי החשיבה הגיאומטרית איננה חופפת לחשיבה האלגברית. "...לכל אחד מן התחומים הללו יש נקודת ראות אופיינית משלו, ובמקרים מסוימים היא יכולה להיות מועילה ובעלת עוצמה. לפעמים טוב יותר לחשוב באופן גיאומטרי ולפעמים עדיפה חשיבה אלגברית" (סטיוארט, 2013 : עמ' 98).

171. 1637 : שיטת הסימון של דקארט, באמצעות האותיות הראשונות והאחרונות של הא"ב לסימון קבועים ומשתנים, משמשת במתמטיקה עד עצם היום הזה (ארבל, 2009 : עמ' 334).

172. 1637 : דקארט, בספרו **"דיון על המתודה המנחה כראוי את התבונה בחיפוש אחר האמת במדעים"** מציע את השיטה הבאה לפתרון כל בעיה שהיא : (1) לקבל רק מה שברור ללא כל צל של ספק לתבונה ; (2) לפרק בעיות גדולות לבעיות קטנות ; (3) לבסס את הטיעון מן הפשוט אל המסובך ; (4) בסיום יש לבדוק אם הכול הגיוני.

יתירה מזו, הוא טען כי "שרשרת הטיעונים הלוגיים הפשוטים והקלים אשר הגיאומטריקנים משתמשים בהם בהשגת ההוכחות הקשות ביותר, זימנו לי לדמיין שכל העניינים שבהם עוסק השכל האנושי קשורים אלו באלו באותו האופן." (Devlin, 1997: p. 275). ראה פריט 111 ברשימה זו.

173. 1638 : ייסוד הטקסטואליזציה של מדעי הטבע : גלילאו מפרסם את **"הוכחות מתמטיות ביחס לשני מדעים חדשים"** ובו פיתוח מתמטי ראשון של כללי המכאניקה וניסוח עקרונות למדע : 1. הימנעות מהסברים והתמקדות בתיאורים ; 2. ביסוס תצפיות על מדידות כמותיות ; 3. ניסוח חוקי טבע באמצעות נוסחאות מתמטיות. עקרונות אלה מקובלים עד עצם היום הזה במדעי הטבע. ראה (גבעון, 2011 : פרק 8).

174. 1640 : בלייז פסקל מתחיל לבנות מכונת חישוב, שנקראה על-שמו, "**פסקלינה**", לביצוע פעולות חיבור וחיסור ובשנת 1652 ייצר עשרות מימושים שלה ואף מכר חלק מהם. החיסור ב"**פסקלינה**" מתבצע באמצעות מספרים משלימים בדיוק באותה שיטה הנהוגה עד היום במחשבים האלקטרוניים. בספרו "**מחשבות**" טוען פסקל על הקרבה שבין המכונה שלו למחשבה האנושית (גדג', 2006 : עמ' 432).
175. באמצע המאה ה-17 : כ-70% מאוכלוסיית שבדיה יודעי קרוא. (אליאב-פלדון, 2000 : עמ' 103).
176. באמצע המאה ה-17 : התבסס הנוהג, שמו"לים חייבים לשלוח עותקים מכל ספר חדש שיצא לאור אל הספרייה הלאומית או אל הספריות האוניברסיטאיות שבארצם. (שם : עמ' 120).
177. 1655 : ג'ון וואליס, מתמטיקאי אנגלי, הידוע בחוגי המתמטיקאים כאחד החוקרים הראשונים שניסו להתמודד בביקורת על הגיאומטריה האוקלידית, תרם לעולם תו חדש המוכר לכל : " ∞ " - הסימן לאינסוף בכוח, כלומר לתהליכים הנמשכים ללא סוף (Mlodinow, 2002: p. 104).
178. 1655 : פסקל מגלה את המשולש שנקרא על שמו "**משולש פסקל**". מסתבר שהמתמטיקאים ההודיים, ידעו על משולש זה מאות שנים קודם (סטיוארט, 2012 : עמ' 301).
- "המצאות חופפות" של ידע מתמטי תומכות בתפיסה שמדובר בעובדות אובייקטיביות למרות שאינן מהוות ידע פסיקלי. מצד שני, הן יכולות לגרום למחלוקות חריפות ולהאשמות של גניבה ספרותית, כמו המחלוקת בין לייבניץ וניוטון בדבר המצאת החשבון האינפיניטסימלי (שם : עמ' 128, 142).
179. 1666 : תחילת האלגבראיזציה של הלוגיקה : לייבניץ מפרסם את הספר "**אמנות הצירופים**" ובו הוא מנסח תורה לוגית כאלגברה של רעיונות כתובים באמצעות סימנים. בעבודה זו הוא העמיד "כל היקש לצירוף של אלמנטים בסיסיים כמו מספרים, אותיות, צלילים וצבעים." (ארבל, 2009 : עמ' 349).
180. 1670 : ניסיונותיו של לייבניץ באלגבראיזציה של מושג השינוי בפילוסופיה הביאו אותו להמצאת הקלקולוס, כתחשיב (עיבוד טקסטים בדרך חישובית) אודות תהליכי שינוי כמותיים.
181. 1670 : פיתוח האלגבראיזציה של המדע : החשבון האינפיניטסימלי (החופף מאד לקלקולוס של לייבניץ) והמכניקה האנאליטית, שניהם של ניוטון – וכך פותח עיקרו של המדע בשימוש במתמטיקה, להסקת חוקים מחוקים בסיסיים.
- החשבון האינפיניטסימלי הוא איחוד של החשבון הדיפרנציאלי עם החשבון האינטגרלי. הוא נוצר אחרי זיהוי פעולות חישוב של כיוון המשיק וחישוב של השטח של עקומות, כפעולות הופכיות זו לזו. הנגזרת של אינטגרל של פונקציה נתונה, היא הפונקציה הנתונה. אינטגרל של הנגזרת של פונקציה נתונה כלשהי, הוא פונקציה הנבדלת מהפונקציה הנתונה רק במספר קבוע כלשהו.
- החשבון האינפיניטסימלי הופך לכלי השימושי הטוטאלי של החישובים המתמטיים השימושיים. אל ארבע פעולות החשבון הבסיסיות הנוגעות למספרים (החיבור, החיסור, הכפל והחילוק) ושתי משפחות הפעולות האלגבריות הנוגעות אף הן למספרים (העלאה בחזקה והוצאת שורש) נוספו שתי פעולות הנוגעות לפונקציות מתמטיות : פעולת הנגזרת ופעולת האינטגרל. המתמטיקה החישובית, השימושית,

- מבוססת על זוגות של פעולות של פירוק והרכבה : חיסור מול חיבור, חילוק מול כפל, הוצאת שורש מול חזקה וגזירה מול אינטגרציה (גדג', 2006 : עמ' 445).
182. 1673 : לייבניץ בונה מכונת חישוב מכנית לחישוב פעולות חשבון שונות (ארבל, 2005 : עמ' 251).
183. 1675 : לייבניץ מפתח שיטות סימון לחשבון הדיפרנציאלי והאינטגרלי (ארבל, 2005 : עמ' 253) וביטא במאמציו המחקריים את מודעותו לרעיון שסימונים מוצלחים הם כלי עזר לחשיבה, וכן, את מודעותו לחשיבותם בהתפתחות המתמטיקה (ארבל, 2005 : עמ' 19 ; ארבל, 2009 : עמ' 347). הסימונים שפיתח לייבניץ עבור החשבון הדיפרנציאלי והאינטגרלי, משמשים עד היום את המתמטיקאים, המדענים והמהנדסים (ארבל, 2009 : עמ' 355).
- סימונים מוצלחים קשורים במושג המיפוי שמופיע בכמה התייחסויות בספר הזה. סימון הוא מוצלח אם במבנה הצורני שלו יש ביטוי לתוכן שלו. כאשר, במתמטיקה, תוכן מתבטא בעיקר על-ידי פעולות. ביטוי של פעולות, במבנה של סימון מוצלח של תהליך, שמייצג כראוי את מבנה התהליך, הופך, בדרך כלל, את הייצוג שבאמצעות הביטוי למעין מיפוי.
184. 1687 : ניוטון מפרסם את **"עקרונות מתמטיים של הפילוסופיה של הטבע"**, מה שנחשב כאחד המחקרים המדעיים החשובים ביותר שפורסמו אי-פעם, במטרה "להעמיד את תופעות הטבע תחת חוקי המתמטיקה" (ארבל, 2009 : עמ' 369).
185. המאה ה-17 : שימוש בשיטות החשבון הדיפרנציאלי והאינטגרלי לחישוב שטחים המוגדרים על-ידי עקומות שונות ולחישוב פתרונות מקורבים של משוואות (פיתוח האנליזה הנומריית על-ידי ניוטון, לרבות שימוש בשיטות חשבון ההפרשים הסופיים שהוא פיתח). המתמטיקה הועשרה בשיטות פתרון חישוביות מעשיות למכלולים אינסופיים של בעיות, עיוניות ושימושיות.
- לימים, צ'רלס באבאג' בונה מכונת חישוב, לה הוא קרא **"מנוע ההפרשים"** כדי לחשב טבלאות שונות של פונקציות מתמטיות, כמו הלוגריתמים (סטיוארט, 2012 : עמ' 309). מכונה זו היתה, כנראה, מבוססת על חשבון ההפרשים של ניוטון, המאפשר חישובי קירובים של פונקציות באמצעות פולינומים. ראה פריט 164 ופריט 192.

המאה ה-18

186. 1701 : לייבניץ מפרסם את האריתמטיקה הבינארית, כלומר, שיטות החשבון בשימוש בקודים ספרתיים של המספרים לפי בסיס 2, שפיתח עוד בשנת 1679 (ארבל, 2005 : עמ' 19).
- יחסית, קל מאד לבנות התקנים שמממשים את האריתמטיקה הזו, כלומר שמסוגלים לבצע בעצמם את הפעולות שלה. לדוגמה, הסיבית היא התקן שמייצג בפעולותיו ספרה אחת בחשבון לפי בסיס 2. עובדות אלו פתחו את הדרך לבניית מנגנונים דיגיטליים ולמימוש הרעיון של החישוב על ידי מכונה, רעיון שיתגלה רק מאתיים שנה מאוחר יותר.
187. 1722 : מתפרסמת הנובלה הראשונה : **"יומן שנת המגיפה"** מאת דניאל דידו.
188. 1729 : למעלה מ-250 שנה אחרי המצאת הדפוס והתנגדות נחרצת של מנהיגי האסלאם לשימוש בו, מוקם בית הדפוס הראשון בעולם האסלאם, להדפסה באותיות

- ערביות, באיסטנבול. הוא נסגר בשנת 1742. הודפסו בו, במשך שלוש שנים, 17 כותרים (לואיס, 2004 : עמ' 171, 174).
189. 1733 : הכומר הישועי ג'ירולמו סאקרי פרסם עבודה בגיאומטריה שבה הוא מנסה להוכיח את אקסיומת המקבילים ומגלה בעקיפין את שתי האפשרויות הנובעות מסתירתה (מה שלימים נקראו הגיאומטריות האליפטית וההיפרבולית). הוא סבר שהצליח להוכיח את האקסיומה, אבל, כמובן שנפלו שגיאות בטיעונו. הוא היה כנראה ראשון בין חוקרים רבים שניסו לתקוף את האקסיומה לה קרא ד'לאמבר בשנת 1759 : "השערורייה של יסודות הגיאומטריה" (סטיוארט, 2012 : עמ' 196-205).
190. 1761 : ליאונרד אוילר מפרסם שיטה חזותית-גיאומטרית לניתוח של טיעונים לוגיים אשר מבוססים על הסילוגיזמים של אריסטו. מאוחר יותר, במאה ה-19, שיטה זו שופרה על-ידי הלוגיקן האנגלי ון (John Venn) והיא מוכרת כיום גם כ"מעגלי ון" וגם כ"מעגלי אוילר" (Suppes, 1999: p. 195).
191. 1780 : ג'ימס וואט, משפר מנוע הקיטור, המציא גם מכונה לשכפול מכתבים, רשם אותה כפטנט, ייצר אותה ומכר אותה יחד עם הוראות מפורטות לשימוש מוצלח בה. (Proudfoot, 1972: p. 21)
192. 1786 : ג'. ה. מולר ממציא את רעיון מכונת החישוב באמצעות הפרשים (יישום חשבון ההפרשים הסופיים של ניוטון) לחישוב ערכים מקורבים של פונקציות מתמטיות על-ידי פולינומים (ראה פריט 167).
- חשבון ההפרשים הסופיים של ניוטון (ראה פריט 185) הוא תורה מתמטית שלמה הדומה במידה מסוימת לחשבון הדיפרנציאלי, אלא שהיא עוסקת בהפרשים של איברים סמוכים של סדרות נתונות של מספרים. היא מאפשרת חישוב של ביטויים מקורבים ופשוטים לפונקציות נתונות ויש לה יישומים במדעים שונים, לרבות מדעי החברה (Goldberg, 1986).
193. 1788 : לגראנז' מפרסם את המכניקה האנליטית שהוא פיתח בארבעה כרכים (**פואמה מדעית** - כפי שכינה אותה המתמטיקאי המילטון) ובהקדמה הוא מצהיר שהוא נמנע בכוונה משימוש בכל רעיון גיאומטרי שהוא ושאין בעבודתו ולו גם תרשים גיאומטרי אחד. כך הושגה טקסטואליזציה מוחלטת של פרק מרכזי של הפיסיקה העוסק בתנועות של גופים (ארבל, 2005 : 2009). "לא ניתן למצוא בעבודה זו שרטוטים. שיטתי אינה דורשת בניית, ולא נימוקים גיאומטריים או מכאניים, אלא רק פעולות אלגבריות, הכפופות למהלכים אחידים ורגילים." (סטיוארט, 2012 : עמ' 157).
194. 1798 : פרידריך גאוס (1777-1855), מגדולי המתמטיקאים בכל הדורות, משלים את כתיבתו של הספר "**מחקרים אריתמטיים**" (בן 800 עמודים, שפורסם רק ב-1801) ובו, בין היתר הוא מציג פיתוח של תורת השאריות ואת משפט הפירוק של המספרים הטבעיים לגורמים ראשוניים. (ארבל, 2009 : עמ' 107-95)
- תורת השאריות ותכונות המספרים שגילה גאוס היו לבסיס של תורת המספרים. תורת המספרים נחשבה במשך שנים כתורה המתמטית חסרת השימושים לחלוטין. ואולם, התגלו לה במאה האחרונה שימושים נרחבים בתורת הקודים (בהצפנת מסרים בתקשורת בימינו) ובמערכות חישה מרחוק (מפיתוח מערכות הראדאר במלחמת העולם השנייה ועד למערכות ה-GPS של ימינו). לא ניתן להבין את המתרחש בימינו לאור הפריחה בשימוש במערכות טכנולוגיות שונות, ללא ציון השימוש בתגליות המתמטיות האלה.

בראשית שנת 1801 התגלה כוכב לכת קטן ע"י האסטרונום גיוספפה פיאצי, מהאקדמיה של פלרמו, אותו כינה "צ'רס". כמה חדשים לאחר מכן, הוא אבד, וגאוס, על-ידי חישובים מתוחכמים על-סמך נתוני הצפייה של פיאצי, תוך שימוש בשיטות קירוב שהוא המציא, יכול היה להנחות את האסטרונומים אל המקום שבו כוכב הלכת צ'רס הגיע ולאתר אותו מחדש. (ארבל, 2005 : עמ' 28).

המאה ה-19

195. 1801 : ז'וזף ז'אקארד ממציא את המכונה הראשונה המנוהלת באופן אוטומטי על-ידי טקסטים : נול האריגה שפעולתו נשלטת על-ידי כרטיס מנוקב בתבניות בדידות.

בתולדות המחשוב מופיע ז'אקארד כממציא הנול האוטומטי, בשעה שהמצאתו העיקרית היתה בגילוי האפשרות שטקסט יכול להפעיל מכונה. הכרטיס המנוקב (ליתר דיוק, מערך תבניות הניקובים שבכרטיס) הוא טקסט המסוגל להשפיע על מנגנון ללא תיווכו של קורא אנושי.

196. 1803 : ג'ון דאלטון מרצה על ההשערה האטומית כהסבר עבור חוק המנות השלמות (בתרכובות כימיות) בפני המכון המלכותי הבריטי בלונדון, ובכך גילה את היסודות של "התיאוריה היפה והפשוטה של הפירוק וההרכבה הכימיים" לדבריו. ראה (גבעון, 2011 : פרק 11).

עוד מקרה של גילוי של מיפוי : מתכונות של האטומים המרכיבים את המולקולה לתכונות החומר המורכב מהמולקולה. מיפוי זה ייחשף ויובהר, יותר ויותר, באמצעות מכאניקת הקוואנטים.

197. 1807 : ז'וזף פורייה (Fourier) מוכיח כי כל פונקציה מחזורית (ולמעשה כל פונקציה המוגדרת על קטע סגור של ציר המספרים) ניתנת לפירוק כסכום (לפעמים אינסופי) של פונקציות מחזוריות פשוטות - פונקציות הגלים של הסינוס והקוסינוס (ארבל, 2005 : עמ' 28).

עבודתו של פורייה פותחה במקורה ביחס להתפשטות החום במוליכי חום, אבל נמצאה שימושית ביותר להבנת תופעות גליות, בעיקר בראשית המאה ה-20. כיום, בכל תחומי המדע וההנדסה, העוסקים בתופעות גליות, או בתופעות מחזוריות, מהאופטיקה ועד לסיסמולוגיה, וממטאורולוגיה ועד לתקשורת, האנאליזה של פורייה מתפקדת ככלי שימושי מרכזי. בהקשר של הטכנולוגיה הדיגיטלית, חשיבותה של אנאליזה זו, כפירוק של מסרים בתקשורת פסיקלית לרכיביהם, נובעת גם מעבודתו של קלוד שאנון על היסודות ההסתברותיים של התקשורת ("תורת האינפורמציה") שאיפשרה את פיתוח הטכנולוגיה המשולבת הנקראת "תקשוב" (Ernst et al, 1993: pp. 142-145).

198. 1814 : אוגוסטן-לואי קושי מפרסם מאמר שבו הוא ייסד למעשה את האנליזה המרוכבת שהיא פיתוח של החשבון האינפיניטסימלי בתחום המספרים המרוכבים. (סטיוארט, 2000 : עמ' 172).

קושי פרסם בימי חייו 789 מאמרים במתמטיקה (שם : עמ' 173).

האנליזה המרוכבת משמשת בתחומים מעשיים שונים. למשל בקרת מערכות דינמיות ויצבותן מתבססת על שיטות באנליזה המרוכבת (שם : עמ' 174).

199. 1821 : לואי ברייל ממציא את כתב ברייל ובו האלפבית אינו חזותי, אלא נגיש לחוש המישוש.

המצאת כתב ברייל ממחישה שרעיון האלפבית ומושג הטקסט, אינם תלויים בחוש הראייה, ולכן במהותם אינם חזותיים.

200. 1830 : אָנְרִיסט גְלוּאָה חוקר ומגלה תנאים לקיום טכניקות מסוימות לפתרון משוואות אלגבריות באמצעות פעולות אלגבריות מסוגים המוגדרים מראש. דוגמה ראשונה לחקירת טכניקות פתרון של בעיות, כמושגים מתמטיים.

בעבודתו, גלואה יישם במשולב, את התגליות של סטווין, אודות האריתמטיקה של הפולינומים (ראה פריט 167), את תורת השאריות של גאוס באריתמטיקה של המספרים (ראה פריט 194) ואת הידע המתמטי באלגברה מופשטת (תורת השדות והחוגים שפותחה על ידי מתמטיקאים רבים שקדמו לו, כגון אוילר ואחרים). השילוב הגאוני של גלואה לא התקבל בקלות על-ידי מנהיגי עולם המתמטיקה בזמנו. (ארבל, 2009 : עמ' 137-149).

משוואה אלגברית היא השוואה של ביטוי לאפס, כאשר הביטוי מוגדר מנעלם וממספרים ידועים על-ידי פעולות כפל וחיבור בלבד (פולינום). פתרון של משוואה כזו הוא מספר שאם נבצע עליו את כל הפעולות המתוארות בביטוי כפעולות על הנעלם, נקבל את 0. לכאורה, כל מה שצריך לעשות הוא להפוך את הפעולות המוצגות בביטוי כשהן מיושמות על שני האגפים של השוויון, עד אשר בצד אחד יימצא הנעלם, ובצד השני מספר. זה עובד בקלות במשוואות שהפעולות היחידות בהן הן חיבור, חיסור, כפל במספר ידוע או חילוק במספר ידוע. אם הביטוי הוא מורכב יותר, כלומר, אם הוא מכיל חזקות של הנעלם, קשה למצוא דרך "להפוך" את התהליך המיוצג בביטוי. כל תלמיד תיכון לומד פתרון של משוואה אלגברית ממעלה שנייה, באמצעות נוסחה המורכבת, אך ורק, מפעולות של כפל, חילוק, העלאה בחזקה, הוצאת שורש, חבור וחסור, החלות על המקדמים הנתונים של המשוואה. גלואה הוכיח שלא קיימת נוסחה כזו לפתרון משוואות ממעלה גדולה מ-4. מהתיאוריה שהוא פיתח, לאפיון הטכניקות האלגבריות האפשריות לפתרון משוואות, ניתן להוכיח גם שחלוקת זווית לשלושה חלקים שווים איננה אפשרית באמצעות סרגל ומחוגה. חשוב לציין שמסיבות טרגיות שונות, גלואה לא זכה לפרסם את עבודתו זו בעודו בחיים.

מחקריו של גלואה מספקים היום בסיס לאינספור מערכות ההצפנה של יישומים וקודים של תקשורת ומדיה (סטיוארט, 2012 : עמ' 240 ; Flannery with Flannery, 2002).

201. 1834 : ג'ורג' פיקוק מעלה לראשונה את הרעיון של בניית אלגברות בדרך אקסיומטית נטולת תלות בפירושים (כלומר, הוא מצא כיצד ניתן לייצג את המשמעות של הטקסטים האלגבריים באמצעות פעולות הטקסטואליות המתבצעות עליהם) (ארבל, 2005 : עמ' 32).

202. 1837 : פייר לוראנט וואנצל מפרסם הוכחה שבעיית הכפלת נפח הקוביה ובעיית חלוקת זווית לשלושה חלקים שווים, במקרים מסוימים, אינן ניתנות לפתרון באמצעות טכניקה של בניית בסרגל ובמחוגה (שם).

203. 1838 : ד. ג'. גרגורי מפרסם מאמר "**על הטבע האמיתי של האלגברה הסימבולית**" ובו הוא מעיר על המגמה של האלגבראיזציה של המהויות הלא מספריות (Devlin, 1997: p. 71).

204. 1840 : סמואל מורס ואלפרד ווייל פיתחו בראשית שנות ה-40 של המאה את קוד המורס שבו האלפבית מיוצג על-ידי נקודות וקווים וכתוצאה מכך גם על-ידי צלילים ועל ידי זרמים חשמליים. האלפבית מתנתק לחלוטין מהיצמדות למצע פיסיקלי אחד.

כתב ברייל (ראה פריט 199 לעיל), קוד המורס, והשימוש בזרמים חשמליים להעברת טקסטים אלפביתיים, מהווים בסיס רחב להוכחה ממשית לכך שמושג האלפבית אינו חזותי, ואינו תלוי בטבע הפיסיקלי של המצע של הטקסט. ההגדרה של האלפבית חייבת להתבסס אפוא על מספר תכונות המאפיינות את תפקוד האלפבית כאלפבית לכתיבה ולקריאה של טקסטים תוויים מבלי לכלול בהגדרה את המראה של התווים.

205. 1843 : עדה לאבלייס (בתו של הלורד ביירון) מנתחת את רעיונותיו של צ'ארלס באבג', שבמקורם היו יישום של הרעיון של מולר (ראה פריט 192), ומתרגמת אותם לרעיון של פיתוח מכונת חישוב דיגיטלית במונחים של עיבוד נתונים דיגיטלי : פעולות מוגדרות על-ידי טקסט, המיושמות על נתונים סמליים, כלומר על טקסטים.

206. 1841-6 : גילוי כוכב לכת (נפטון) באמצעות חישובים על גבי נייר, מתוך נתונים על תנועות כוכבי לכת ידועים, בידי אדמס באנגליה ולבריר בצרפת (Hull, 1959: pp. 181-183).

207. 1844 : גראסמן מפתח את האלגברה הווקטורית : פיתוח טקסטואלי נוסף של מושג הכוח (ובעקבותיו, של מושגי התאוצה והמהירות) בפיסיקה (סטיוארט, 2012 : עמ' 264).

גם את האלגברה של הווקטורים, כמו האריתמטיקה של הפולינומים, ניתן לאפיין כפשר מתמטי יצירתי של טקסטים, כאשר הווקטורים נחשבים לטקסטים המורכבים ממספרים. ווקטור הוא סדרה של מספרים והאלגברה של ווקטורים מוגדרת לפי פעולות החשבון של המספרים בשילוב תכונות המבנה של הסדרה. לדוגמה, סכום של ווקטורים (סדרות מספרים בעלות אותו אורך - בעלות אותו "ממד") הוא הסדרה של הסכומים של איברי הווקטורים הנתונים. כדאי לשים לב למושג המיפוי המיושם בהגדרה : סכום של סדרות הוא סדרה של סכומים. היום לא ניתן לעסוק במכאניקה כלשהי ללא שימוש באלגברה של הווקטורים.

208. 1846 : מוריס ז'ולי מסיים לכתוב יצירה בדיונית "דיאלוגים בגיהנום" ששמשה מאוחר יותר כהשראה לכתיבת הזיוף הנודע ביותר בהיסטוריה ולרצף בלתי פוסק של עלילות דם נגד היהודים ונגד הציונות (בן-עתו, 1998 : עמ' 180). ראה פריט 220 להלן.

209. 1847 : האלגבראיזציה של הלוגיקה - על-ידי ההפרדה בין נכונות לוגית של טקסטים לבין התוכן של הטקסטים וביסוס ניתוח של נכונות של טיעונים על חישובים סימבוליים : צעדים ראשונים של הלוגיקה המתמטית פורסמו על-ידי ג'ורג' בול, ברמת תחשיב הפסוקים (ראה פריט 23) בחוברת "האנליסה המתמטית של הלוגיקה".

הסילוגיזמים של אריסטו (ראה פריט 20) והלוגיקה של הסטואה (ראה פריט 23), היו מבוססים על ההפרדה שבין הנכונות הלוגית של היסקים ושל טענות, לבין תוכניהם. בשני המקרים לא נדונו קשרים לוגיים בין היסקים (אריסטו) או בין טענות (הסטואה) במידה ובהיקף שנדונו על-ידי בול.

בחוברת שלו, מציין בול במפורש את חופש הפרשנות של תיאוריות אלגבריות : "התקפות של תהליכי הניתוח אינה תלויה בפרשנות של הסמלים" (צעד נוסף בייצוג תוכן באמצעים פורמליים). לימים, ברטראנד ראסל יגדיר מאורע זה כראשיתה של המתמטיקה המודרנית. מה שבול הציע בחוברת זו, ניתן לפירוש כתורה לוגית העוסקת בהיגדים (תחשיב הפסוקים) וכאלגברה של מחלקות ("האלגברה הבוליאנית") ולכן, ניתן לפירוש גם כצעד ראשון לקראת תורת הקבוצות. ראה גם (סטיוארט, 2012 : עמ' 238).

210. 1855 : תגלית מדעית מהפכנית באמצעות נייר ועפרון : ג'יימס מקסוול מאחד את האופטיקה, החשמל והמגנטיות לתיאוריה אחת ומגלה, בדרך זו, את הגלים האלקטרומגנטיים (Fleisch, 2008).

"למשוואות הגלים יש חשיבות רבה... אוילר מצא משוואה של גלים תלת-ממדיים שאותה יישם לגלי קול. בערך מאה שנה מאוחר יותר, ג'יימס קלארק מקסוול (Maxwell) מצא את אותו ביטוי מתמטי עצמו מתוך משוואות האלקטרומגנטיות שלו, וחזה את קיומם של גלי רדיו." (סטיוארט, 2012 : עמ' 153). עיון בצורה של טקסט מביא לתגלית מהדהדת עד ימינו : הגלים האלקטרומגנטיים.

המהפכה שמקסוול יצר בפיסיקה מתבטאת במעבר מתפיסה מכנית של הטבע (חלקיקים וכוחות) לתפיסה יותר טקסטואלית של הטבע (משוואות). מעיר על כך ברוח זו מוריס קליין : "כפי שחוקי ניוטון של התנועה ספקו למדענים את הכלים לעבוד עם מאסות וכוחות מבלי להסביר את מהותם של אף אחד מהם, כך משוואות מקסוול אפשרו למדענים להשיג נפלאות ביחס לתופעות אלקטריות למרות ההיעדר המחפיר של הבנת הטבע הפיסיקלי שלהן." (Kline, 1980: p. 319). הטקסט (משוואות מקסוול) הפך ממתאר את הטבע למייצג את מהות הטבע. האידיאל של גלילאו מוגשם במלואו : הטבע נתפס כטקסט והטקסט כטבע.

משוואות מקסוול נחשבות כ"משוואות החשובות ביותר בכל הזמנים" וזאת בשל חשיבותן התיאורטית והיישומית שלא פגה עד עצם היום הזה. "הסתכל מסביבך – הרדיו, הטלביזיה, הראדאר, הנגישות האלחוטית לאינטרנט, וטכנולוגיית הבלוטוס הם כמה דוגמאות לטכנולוגיה בת-זמננו ששורשיה בתורת השדה האלקטרומגנטי." (Fleisch, 2008: p. vii). ניוט ווירט טילים, בקרת מטוסים ללא טייס ומכשירי ראיית לילה, אף הם דוגמאות ליישומים ששורשיהם במשוואות מקסוול.

על חשיבותן התיאורטית של משוואות מקסוול תעיד תפקידן כשלב מעבר לקראת פיתוח תורת היחסות הפרטית של איינשטיין. איינשטיין עצמו מצהיר על כך כמה פעמים בספרו על היחסות, אותו ייעד לבעלי השכלה אקדמית בסיסית, כלומר, לאו דווקא לפיסיקאים (Einstein, 1961). בעניין זה, ראה גם (איינשטיין ואינפלד, 1947).

$$\begin{aligned}\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} &= q \\ \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} &= 0 \\ \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} &= \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i \\ \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} &= -\frac{d\Phi_B}{dt}\end{aligned}$$

משוואות מקסוול (בניסוח באמצעות אינטגרלים)

תורת היחסות הפרטית של איינשטיין תהיה מבוססת על שתי אקסיומות, האחת עקרון היחסות של גלילאו, שהתגלה כבר במאה ה-14, על-ידי ניקול ד'אוראסם

- ועמיתיו במכללת מרטון באוניברסיטת אוקספורד (ראה פריט 135). האקסיומה השנייה נוגעת במשוואות מקסוול, שמהן נובע כי מהירות האור היא גודל סופי קבוע. האקסיומה של איינשטיין טוענת שמהירות האור (בחלל הריק) היא גודל קבוע באופן מוחלט, שאינו תלוי במהירות היחסית של מקור האור, או במהירות היחסית של נקודות התצפית שבהן היא נמדדת. הגאונות של איינשטיין, בין היתר, היתה בכך שהצליח להראות שאין סתירה בין שתי האקסיומות האלה, ושדברא, שילובן מאפשר כיסוי טוב יותר של תופעות הטבע מכל האלטרנטיבות שקדמו לתורת היחסות.
211. 1858 : ארתור קאיילי מפרסם את עבודתו על תורת המטריצות, שהיא תורה העוסקת בייצוגים טקסטואליים מיוחדים של טרנספורמציות ליניאריות, שאינם אלא טבלאות של מספרים. טבלאות של מספרים מתפקדים "כמו" מספרים, באלגברה מיוחדת ומייצגות תהליכים שאינם בדידים. ראה (גבעון, 2011 : פרק 10 ; סטיוארט, 2012 : עמ' 267).
212. 1858 : המצאת המצלמה והמצאת הטלגרף (פוסטמן, 2000 : עמ' 47).
- כמו התקופות בחקר ההיסטוריה, גם המצאות מתחילות בנקודות שרירותיות יחסית. מתי הומצאה המצלמה? כאשר הומצא נייר הצילום? או כאשר הומצא התא האפל, שאמנים השתמשו בו לצורכי "צילום ידני" מזה מאות שנים, או מאז שהבין אותו איבן אל-הית'אם בסוף המאה ה-10? (ראה פריט 68). ומתי הומצא הטלגרף? האם ללא המצאת קוד מורס ניתן היה להמציא את הטלגרף? (ראה פריט 204).
213. 1865 : גילוי המודל הדיגיטלי של התורשה : גרגור מנדל (1822-1884) מציג ב-8 בפברואר וב-8 במרץ בפגישות האגודה לחקר הטבע של ברין (ברנו) את ממצאיו "ניסויים בצמחי מכלוא", שחשיבותם לתובנה הדיגיטלית של התורשה הגנטית הוכרה רק במאה ה-20. בניגוד לתורת הערבוב של תכונות שהיתה מקובלת מאז אריסטו, הוא גילה כי ההסבר היחידי לממצאיו הוא : "המידע התורשתי נישא ביחידות בדידות" (אטקינס, 2008).
214. 1875 : גיימס ג'אול מגלה את הרדוקציה התיאורטית והמעשית של החום לעבודה מכנית.
215. 1880 : הלוגיקן והפילוסוף צ'ארלס פירס (1839-1914) ממציא את השימוש בטבלאות אמת לבדיקת היסקים לוגיים (Burks & Burks, 1988: p. 339; Suppes, 1999: p. 151). הוא גם העלה את הרעיון שלוגיקה מתמטית ניתנת למימוש על-ידי רשתות מיתוג של ממסרים חשמליים (Burks & Burks, 1988: p. 340). ראה פריט 265.
216. 1881 : ג'והן ון, משפר את הרעיון של אוילר לניתוח חזותי של טיעונים באמצעות עיגולים במישור, ומציע את מה שנקרא היום "מעגלי ון" לניתוח חזותי של טיעונים על מחלקות בשלושה משתנים (אך לא יותר, אלא אם כן נצא למרחבים רבי-ממדים) - בניסיון לפשט את העבודה האלגברית הנדרשת בלוגיקה לפי בול (Devlin, 1997: p. 66).
217. 1882 : וולטר פלמינג מרחיב את הממשות של המודל התיאורטי של מנדל, בגילוי הכרומוזומים (אטקינס, 2008).
218. 1883 : המונח "אותיות" (literacy) הוטבע על-ידי The New England Journal of Education.
219. 1884 : נקבעה רשת קואורדינאטות כדורית (קוי אורך וקוי רוחב) ואחידה לפני כדור הארץ : קו אורך 0° בגרינוויץ, באנגליה (Mlodinow, 2002: p. 58). כל מקום על-פני כדור הארץ מוגדר על-ידי טקסט : זוג מספרים.

220. 1886 : אדוארד רימון מפרסם ספר רב-מכר "**צרפת היהודית**" שהודפס ב-200 מהדורות ובו היהודי מתואר "כהתגלמות הכיעור, בעל אף מעוקם, אזניים מזדקרות, ציפורניים מרובעות, רגליים שטוחות, כפות רגליו פונות באורח מוזר כלפי חוץ, ידיו רכרוכיות ונירפות, האחת ארוכה מן השנייה. היהודי מדיף ריח רע... ועל מצחו אות קלון. הוא צורח במקום לדבר, הוא נובח, הוא שורט בציפורניו. היהודי תואר כקמצן, מלווה בריבית, צבוע, מתרפס, חמקמק." (בן-עתו, 1998 : עמ' 187).
221. 1887 : הרמן הולרית', בארה"ב, מיישם את רעיון השימוש בכרטיסים המנוקבים של ז'אקארד (1801) להפעלת מכונות שונות לביצוע תהליכי עיבוד נתונים.
- הכרטיס המנוקב של ז'אקארד הופך מטקסט המפעיל מכונות, המעבדות חומרים, לטקסט המפעיל תהליכי עיבוד של טקסטים. המחשב הדיגיטלי נמצא על קצה לשונה של תרבות המערב.
222. 1895 : המתמטיקאי פליקס קליין אמר על וירשטראס ש"עשה אריתמטיזציה של האנליזה", כלומר, הוא ביסס את החשבון הדיפרנציאלי והאינטגרלי על טיעונים נטולי גיאומטריה לחלוטין (ארבל, 2005 : עמ' 285 ; אטקינס, 2008).
223. 1895 : ה' ג' ולס מפרסם את ספרו "**מכונת הזמן**" שבו נוסע דמיוני נע לאורך ממד הזמן כאילו היה ממד רגיל של המרחב הפיסיקלי. (סטיוארט, 2012 : עמ' 260). בספר זה מבטא ולס את העובדה שממדי המרחב הפיסיקלי העסיקו את המדענים בימיו (שם : עמ' 265-260).
224. 1895 : שנה אחרי משפט דרייפוס, מסמך ראשון המעיד על קיומו של כתב היד של "**הפרוטוקולים של זקני ציון**" שהגיע לרוסיה מפריז, שנתיים לפי הקונגרס הציוני הראשון (בן-עתו, 1998 : עמ' 191-190). במסמך זה, שכנראה היה פיתוח פרשני ליצירתו הבדיונית של מוריס ז'ולי (ראה פריט 208), פותחה האגדה על קיומו של קשר יהודי-ציוני עולמי, אגדה שהטיף לה, אדוארד רימון. הרעיון שהציונות איננה תנועה לאומית יהודית, אלא קשירת קשר של תככנים באירופה עם מנהיגי היהודים ועם הבונים החופשיים להשתלט על העולם, הפך לרעיון גלובלי וויראלי.
- מאז, פרסומו והפצתו בידי סוכני התרבות של הצאר הרוסי, התגלגלה היצירה הזו, שתורגמה לעשרות שפות והודפסה במאות מהדורות, לכל ארצות תבל. היטלר התבסס עליה, בספרו שבו הציע פתרון סופי לבעיה היהודית. הנרי פורד היה משוכנע באמתותה. בימינו, "מרבית ההוצאות באות מערב הסעודית, ... איראן מדפיסה מספיק עותקים לצורכי השוק המקומי, ודואגת גם לתרגומים לסיפוק צרכיו של השוק בארצות המערב." (שם : עמ' 337). בביקורת שיש לאויבי מדינת ישראל כנגד "**הישות הציונית**" והציונים, בעשרות השנים האחרונות, אפשר לזהות ביטויים מפורשים ורעיונות שמקורם המילולי בטקסט הזה. זהו הטקסט הוויראלי הארסי המדבק ביותר שנכתב אי-פעם.
225. 1870 : הלוגיקן האנגלי ו. ס. ג'בונס (W. S. Jevons) בונה מכונה לביצוע מכני של חישובים לוגיים ברוח עבודתו של בול.
- חשוב לשים לב לכך שמכונות דיגיטליות אינן חייבות להיות אלקטרוניות. מכונה היא דיגיטלית ברגע שפעולתה מוגדרת לפי מספר סופי וקבוע של תנאים ומתבצעת בצעדים מוגדרים ונבדלים. לכן, שעון הנקרא 'אנאלוגי' הוא למעשה דיגיטלי, כי מספר מצבי גלגלי השיניים שלו הוא סופי. מה שחשוב היא התבנית ולא האבן (היליס, 2000).
226. 1880 : תהליך ידני של סיכום הנתונים ממרשם התושבים של ארה"ב נמשך 10 שנים.

227. 1881 : יישום שיטות החשבון האינפיניטסימלי על האלגברה של הווקטורים בספר "יסודות האנליזה הווקטורית" מאת וילארד גיבס. (סטיוארט, 2012 : עמ' 265).
228. 1889 : ג'וספפה פיאנו מנסח את חמש האקסיומות של האריתמטיקה ומשתמש בלוגיקה שהיא למעשה תחשיב הפרדיקטים (ההרחבה המודרנית של תחשיב הפסוקים שהוא ניסוח פורמלי של תורת הלוגיקה של הסטואה, ראה פריט 23) להגדרה דדוקטיבית שלמה של האריתמטיקה. (Petzold, 2008: p. 223).
229. 1890 : הולרית' משתמש במכונות עיבוד נתונים בכרטיסים מנוקבים לסיכום מרשם התושבים 1890 של ארה"ב בתהליך שנמשך 6 שבועות בלבד (ראה פריט 226). המרוץ אחרי המחשבים בשרות הממשל בארה"ב מתחיל.
230. 1891 : הפיזיולוג הצרפתי אטיין-ז'ול מאריי ממציא את מכונת "צילום הזמן" (chronophotographie) באמצעות "רובה מצלמה" כדי לחקור את התנועה של בעלי חיים ושל בני אדם : הצעד הראשון בצילום ראינוע, כדיגיטציה של תנועה ביחידות זמן נבדלות, נעשה לצרכים מדעיים.
- המצאת הצילום, כדיגיטציה של הזמן למטרות מחקר, קבלה תפנית בשימוש ברובה המצלמה של מאריי למטרות אמנותיות תוך מספר שנים - והפכה למצלמת קולנוע. הרי לנו עוד דוגמה למספר תופעות ידועות בהתפתחות הטכנולוגיות : גילוי שימושים חדשים לטכנולוגיה אחרי המצאתה, והעברת השימושים מתחום אחד לתחום אחר.
231. 1894 : ג'וספפה פיאנו, מי שניסח את האקסיומות לאריתמטיקה, הציע, לראשונה מאז אויקליד, מערכת אקסיומות מתוקנת לגיאומטריה האויקלידית (Mlodinow, 2002: p. 146).
232. 1895 : אדווין סקוט ווטאי ממציא את הפסנתר המכאני, שהופעל, בדומה לנו של ז'אקארד, באמצעות גליונות נייר מחוררים ותבניות של נקבים.
- הפסנתר המכאני הוא דוגמה למכונה דיגיטלית שאיננה אלקטרונית. ראה פריט 221.
233. 1896 : צ'רלס לוטוויג' דודג'סון (לואיס קרול) מפרסם ספר בלוגיקה סימבולית. ניסוח טקסטואלי של תורת ההיגיון.
- דוגמה אופיינית מתוך ספרו, החידה הבאה :
- כל מי שבאמת מעריך את בטהובן אינו יכול אלא לשבת בשקט כשמנגנים את סונטת ליל ירח.
 - חזירי-ים הם בורים גמורים במוזיקה.
 - כל בור גמור במוזיקה אינו יכול לשבת בשקט כשמנגנים את סונטת ליל ירח.
- האם יכול להיות קיים חזיר-ים שבאמת מעריך את בטהובן? (לפי, סטיוארט, 2012 : עמ' 291)
234. 1899 : דויד הילברט מפרסם את ספרו "יסודות הגיאומטריה" ובו הוא מציג מערכת אקסיומות שלמה לגיאומטריה האויקלידית ומוכיח את עקביותה. "הוא גילה פגמים לוגיים רבים במערכת האכסיומו של אויקלידס, והבין כי הפגמים האלה קרו מפני שאויקלידס הוטעה על-ידי הדימויים הוויזואליים שהיו לו." (סטיוארט, 2012 : עמ' 290).
- "נהוג לומר שהילברט צידד ברעיון שהמתמטיקה היא משחק חסר משמעות בסמלים, אבל זו אמירה מוגזמת. הטענה שלו היתה שעל מנת להניח את הנושא על

יסודות לוגיים איתנים, צריך לחשוב עליו כאילו הוא משחק חסר משמעות בסמלים. כל דבר אחר אינו רלוונטי למבנה הלוגי. אבל מי שמתעמק בתגליותיו המתמטיות של הילברט ובמחויבותו העמוקה לתחום, אינו יכול לחשוב ברצינות שהילברט סבר כי הוא משחק חסר משמעות." (סטיוארט, 2012: שם).

ספרו מהווה מופת לגישה האקסיומטית המודרנית במתמטיקה. מסתבר שהילברט לא היה מודע לעבודתו של פיאנו בנושא זה (שם). ראה פריט 231 וכן (גבעון, 2011: פרק 11).

235. לקראת 1900: "חל שינוי: הנוסחאות והטרנספורמציות החלו להיתפס כעצמים, ולא כתהליכים, ויעדיה של האלגברה נעשו מופשטים והרבה יותר כלליים." (סטיוארט, 2012: עמ' 208).

המאה ה-20: הדגם האלפביתי בשיאו: פיתוח הטכנולוגיה הספרתית (הדיגיטלית)

236. 1900: דויד הילברט, בקונגרס הבינלאומי ה-2 למתמטיקה, מציג בפני המתמטיקאים את משימות המחקר המתמטי המרכזיות, שנשמרו בתודעת המתמטיקאים כ"בעיות של הילברט". בחלקן הגדול, בעיות אלה נגעו בדיגיטציה של המתמטיקה ושל תחומי הדעת מבוססי המתמטיקה, כמו משימת האקסיומטיזציה של הפיסיקה, גילוי שיטות הכרעה מכאניות (אלגוריתמיות) לפתרון בעיות, ועוד.

237. מ-1900 בערך: התיאוריות המתמטיות נדונות כמערכות של נוסחאות בתווים ללא פשר ונחקרות בעצמן כאובייקטים מתמטיים: הוגדרו מושג השפה הפורמלית והמטה-מתמטיקה. בהשפעת הילברט, הפורמליזציה של המתמטיקה מתקבלת כמודל אידיאלי במתמטיקה.

לפי מודל זה, המתמטיקה היא אוסף של טקסטים, הכולל גם טקסטים החלים או מתייחסים על עצמם. אחרי המצאת המחשב, שפות התיכנות תוגדרנה מלכתחילה כשפות פורמליות.

238. מ-1900 בערך: המתמטיזציה המקיפה של מדעי הטבע והטכנולוגיה.

239. 1902: ברטראנד ראסל מגלה את הפרדוקס שלו. בעקבותיו, נפרץ בקע בניסיון לעשות רדוקציה מלאה של המתמטיקה על הלוגיקה: המתמטיקה איננה יכולה להיות ענף של הלוגיקה.

ראסל ניסח את הפרדוקס שלו במונחים של קבוצות. אפשר לנסח זאת במונחים של תכונות. תכונה מסוימת חלה על עצמה, אם היא בעלת התכונה האמורה. מופשטות היא תכונה מופשטת ולכן היא חלה על עצמה. להיות ניתנת לתיאור מילולי היא תכונה הניתנת לתיאור מילולי ולכן התכונה להיות ניתנת לתיאור מילולי חלה על עצמה. התכונה קולנית איננה קולנית ולכן אינה חלה על עצמה. כך גם התכונה להיות אדומה איננה אדומה. לכאורה, להיות תכונה שחלה על עצמה, זהו מצב מוזר. לכן, להיות תכונה שאיננה חלה על עצמה, היא מצב סביר של תכונות. זאת תכונה של תכונות שנראית מובנת יותר. מצד אחד יש התכונה ומצד שני יש הדברים בעלי התכונה. נקרא לתכונה שאינה חלה על עצמה, "תכונה סבירה". תכונה סבירה לא תיכלל בין הדברים שהתכונה חלה עליהם. אבל, אז מתבקש לבדוק, מהו המצב הסביר הזה. מה עם התכונה "להיות תכונה שאיננה חלה על עצמה"? האם היא תכונה סבירה, כלומר, איננה חלה על עצמה? או שמא היא מוזרה כי היא חלה על עצמה? השאלה הזו גורמת לכאב ראש אמיתי.

נבדוק את השאלה צעד אחר צעד. הביטוי "להיות תכונה סבירה", מגדיר תכונה של תכונות. אם התכונה הזאת (להיות תכונה סבירה) חלה על עצמה, אז היא צריכה להיות סבירה, אבל תכונה סבירה אינה חלה על עצמה. כלומר, אם היא חלה על עצמה אז איננה חלה על עצמה. אבל, אם התכונה הזו (להיות תכונה סבירה) לא חלה על עצמה, אז היא סבירה ולכן היא נכללת בין התכונות הסבירות שהיא חלה עליהן, ולכן התכונה להיות תכונה סבירה חלה על עצמה. כלומר, אם היא לא חלה על עצמה אז היא חלה על עצמה. לסיכום, אם היא לא סבירה, אז היא סבירה, ואם היא סבירה, אז היא לא סבירה.

התגלתה כאן סתירה שחשפה סדק עקרוני ברעיון של לוגיקנים רבים (בעקבות פרגה וכולל ראסל עצמו) שתכננו לבסס את המתמטיקה כמוגדרת באמצעות מושג הקבוצה (או התכונות). הסדק הזה, בין הלוגיקה למתמטיקה, לא אוחה בשלמותו, במידה משביעה רצון, עד עצם היום הזה. כלומר, לא הצליחו להגדיר, בדרך ברורה ופשוטה, מושג של קבוצה (או של תכונות) שיתאים לאופן שבו המתמטיקאים משתמשים בקבוצות ושלא יגרור אחריו את הפרדוקס הזה. היות ומושג הקבוצה נחשב כמושג לוגי, השאיפה לרדוקציה השלמה של המתמטיקה ללוגיקה עלתה על שרטון.

240. 1905 : איינשטיין חושף את הטבע החלקיקי של האור באופן מכריע (גילוי **הפוטונים**) ובכך פתח את השער בפני תורת הקוואנטים, בה הוא לא האמין עד סוף ימיו.

ניוטון סבר שהאור מהווה קרינה של חלקיקים. אחרי שהתגלו תופעות ההתאבכות, בהן שתי קרינות של אור יכולות לבטל, אחת את השנייה, גם אם הכיוונים שלהן חופפים, התפיסה החלקיקית של האור פינתה את מקומה לתפיסה הגלית. גלים יכולים לבטל אלו את אלו. מאוחר יותר, בראשית המאה ה-20, ניסויים שונים תמכו, אלו בתפיסה הגלית של האור ואלו בתפיסה החלקיקית של האור. תורת הקוואנטים מהווה פתרון למחלוקת בדבר התנהגות האור, כאשר האור נתפס כתופעה, שאיננה גלית ואיננה חלקיקית, אלא כמתגלה, לעיתים כגלים ולעיתים כחלקיקים, לפי מערכות המדידה וכלי התצפית (פיינמן, 1988; Feynman, 1995: pp. 127-148).

241. 1905-1910 : מהפכות מדעיות נוספות באמצעות נייר ועפרון : גילוי תורת היחסות הפרטית ותורת היחסות הכללית על-ידי איינשטיין (שטיינץ, 1985; סינג, 2007). התגלתה **"המשוואה המפורסמת ביותר בעולם"**: $E=mc^2$ (בודאניס, 2002).

242. 1911 : דיגיטציה של העבודה : פרדריק ווינסלאו טיילור, מפרסם בספרו **"עקרונות המינהל המדעי"** את שיטת הניתוח של משימות העבודה המפרקת אותן ליחידות פעולה בסיסיות.

243. 1913 : בגרמניה יוצאים לאור, במשך אותה שנה, למעלה מ-31,000 כותרים חדשים (אילון, 2005; עמ' 272). שנה אחרי כן, גרמניה מכריזה מלחמה על רוסיה, פולשת לבלגיה במטרה "לשחרר" את צרפת, וכך פורצת מלחמת העולם הראשונה.

244. 1914-1915 : **"מלחמת האינטלקטואלים"** הגרמנים : עשרות הוגי דעות, סופרים, משוררים, ציירים, מוזיקאים ועיתונאים, כותבים ומפרסמים בדפוס, אינספור טקסטים בשבח **"האביב הקדוש"**, קרי, מלחמתה של גרמניה בעמי אירופה במלחמת העולם הראשונה (שם, עמ' 291-325). גם מדענים, ובראשם מקבל פרס נובל הראשון בפיסיקה, וילהלם רנטגן, הצטרפו אל הגל הסוחף וחתמו על מנשר להבעת סולידריות עם תרועות המלחמה של גרמניה המיליטריסטית (סרגה, 1986: עמ' 33, 95-96). רבים מהם (ביניהם רנטגן) התחרטו קשות על כך מאוחר יותר. חשוב לציין כי איינשטיין סרב לחתום על מנשר המדענים מלכתחילה (שם: עמ' 96).

245. 1914 : קארל קראוס, פולמסן, בלשן, משורר ומבקר תקשורת אוסטרי, יוצא בביקורת גלויה ונוקבת נגד המלחמה ובעיקר נגד מחרחרי המלחמה האינטלקטואליים. הוא הזהיר "מפני התמוטטות העולם באשמת "הקסם השחור" של הדפוס." (אילון, 2005 : עמ' 327). זו איננה הפעם הראשונה שבה מיוחסים לדפוס כוחות השפעה אוטונומיים (פריט 156).
246. 1918 : הנרי אדמס מפרסם את האוטוביוגרפיה שלו "**החינוך של הנרי אדמס**" כטקסט ראשון מסוגו, כטקסט על כותב הטקסט עצמו, ומבחינה זו, כאוטוביוגרפיה הראשונה שנכתבה **בגוף שלישי**. "העט פועל מאליו, ונוהג כמו יד, מעצב את החומרים הפלסטיים, מחדש, עוד ועוד, אל הצורה המתאימה לו ביותר" (אדמס, מצוטט על-ידי איליץ' וסאנדרס (1988 : עמ' 83-82)).
- למרות שאפשר למצוא בספרו של אדמס ביטויים מפורשים לתפיסה שכלי פועל מאליו, תפיסה זו לא תוכלל עדיין לתפיסת הטכנולוגיה בכללותה כישות אוטונומית פועלת, כפי שהיום תופסים אותה רבים.
247. 1918 : ארתור שְׁרֵביוס, מהנדס חשמל גרמני, ממציא את **האניגמה**, כמכונה אוטומטית להצפנת טקסטים באמצעות טקסטים המיוצגים בחלקי מכונה.
248. 1919 : אקלס וג'ורדן מפרסמים מאמר על תכנון יחידות זיכרון דיגיטליות אלקטרוניות ("**דלגלים**") ובכך מאפשרים את פיתוח הטכנולוגיה הדיגיטלית האלקטרונית.
- הדלגלג** הוא מערכת, בת שני מצבים אפשריים, הניתנת למימוש אלקטרוני, המגדירה את רעיון הסיבית ("1-0") כטקסט דינמי וכמנגנון באחת.
249. 1915-1920 : הוכח **משפט לוונהיים-סקולם**, לפיו כל תורה אקסיומטית טקסטואלית ניתנת לייצוג מלא כתורה אריתמטית : כל ידע דדוקטיבי, שניתן לניסוח באמצעות שפה טקסטואלית, ניתן לרדוקציה שלמה אל פרק של האריתמטיקה.
250. 1920 : כאלפיים שנה אחרי הסטואיקנים, שהבחינו בין מילה למשמעותה, ההפרדה בין הטקסט למשמעותו מתבססת כתורה לוגית מתמטית כללית על-ידי אלפרד טארסקי. ראה פריט 22.
251. 1910-1920 : הטקסטואליזציה של המכונות האוטומטיות : שימוש פרקטי במכונות טקסטים לבקרה ולהעברת מידע – פיתוח טכנולוגיות הבקרה והתקשורת האלקטרוניות כטכנולוגיות דיגיטליות.
252. 1921 : היינריך בֵּייֶהֶמן, שהיה אחד האסיסטנטים של דויד הילברט, בהרצאה לפני החברה המתמטית של גטינגן, מכנה את תהליכי ההכרעה שנדרשו על-ידי הילברט, "**תהליכים מכאניים**" ומעיר עליהם שהם באופן עקרוני ניתנים לביצוע על-ידי מכונה (Petzold, 2008: pp. 47-48).
253. 1922 : המתמטיקאי הרוסי אלכסנדר פרידמן מפרסם מאמר שבו הוא מוכיח מתמטית שמנוסחת הכבידה המקורית של איינשטיין (של תורת היחסות הכללית) ניתן להסיק שהיקום חייב להיות יקום מתפשט.
254. 1927 : הכומר והקוסמולוג הבלגי ז'ורז' לֶמֶטר, מבלי לדעת על עבודתו של פרידמן, גילה אף הוא את המסקנה של היקום המתפשט, כתוצאה מעיבוד משוואות איינשטיין של תורת היחסות הכללית.
255. 1929 : קורט גוֹדל מוכיח את **שלמות תחשיב הפסוקים**. כלומר, כל פסוק אמתי שניתן לניסוח בו, ניתן להוכחה, וכל פסוק שקרי ניתן להפרכה. (סטיוארט, 2012 : עמ' 292).

256. 1930 : הנחת יסודות פסיכולוגיים ראשוניים לתפיסת תפקיד הטכנולוגיה הדיגיטלית
בחינוך : לב ויגוצקי מפרסם את תורת "**פעולת הסימן**" שלו כפתרון למחלוקת שבין
הגישה הנטורליסטית-פיסיקליסטית והגישה הרוחנית-אידיאליסטית ביחס להבנת
התפתחות המודעות של הילד. לפי תפיסתו, הוראת השימוש בסמלים פיסיקליים,
החיצוניים לילד, היא הדרך לפיתוח יכולות חשיבה עילית והיא מתרחשת אך ורק
במסגרת חברתית-תרבותית (ויגוצקי, 2003).
257. 1930 : **משפט שלמות** נוסף של גו'דל : הוכחת השלמות הלוגית של תורת הפרדיקטים
הכללית מסדר ראשון (Suppes, 1999: p. 70).
258. 1931 : אלונצו צ'רץ' (Alonzo Church) מפרסם את תוצאות עבודתו שהתפרסה על-פני
1927-1929 בפיתוח "**תחשיב למבדה**" (The Lambda Calculus). הפרסום הראשון
של צ'רץ' בנושא זה היה ב-1931, כמערכת אקסיומטית ליסודות הלוגיקה. במאמר
שני, באותו נושא, שפורסם ב-1933, מגדיר צ'רץ' את עבודתו כמוכיחה שניתן לבצע
את כל ההוכחות בלוגיקה "כמו משחק שמתבצע באמצעות סימנים על-גבי נייר לפי
קבוצה שרירותית של כללי משחק" (Petzold, 2008: pp. 281-298).
259. 1931 : **משפטי אי-השלמות** של גו'דל : הוכחת מגבלות הטקסטואליזציה הפורמלית של
המתמטיקה באמצעות ניצול הרדוקציה של כל התורות הפורמליות אל תורת
המספרים הטקסטואלית, לפי משפט לוונהיים-סקולם (ראה פריט 249 לעיל)
(Gödel, 1931; Hofstadter, 1981).
260. 1934 : פאול ברנייס, בספר שכתב עם דויד הילברט, "**יסודות המתמטיקה**", כרך ראשון,
ברנייס מגדיר את המספרים הטבעיים כמחרוזות של סמלים, כטקסטים, (האפס
כסימן 0, ואח"כ המחרוזת 0' היא המספר 1, המחרוזת 00 היא המספר 2, וכך
הלאה). אני לא השתמשתי כאן במנהג המקובל לסמן סימנים באמצעות מירכאות,
כדי למנוע בלבול. (הסימן "0" הוא עדיין ברור, אבל הסימן "0'" והסימן "00"
מתחילים להיות בלתי ברורים). מכל מקום, לפי גישתו של ברנייס, המספרים
יכולים להיות מוגדרים כטקסטים מסוימים. (Petzold, 2008: p. 224).
- משפט אי-השלמות של גו'דל עדיין לא עוכל. מה שברנייס והילברט ניסו לעשות הוא
להסתכל על המספרים כעל טקסטים, כלומר, להתעלם מההבחנה שבין שם של
מספר למספר עצמו. בטקסטואליזציה כזו, מובעת האמונה שכל מה שניתן לדעת על
המספרים ניתן להסקה מתכונות הטקסטים שמייצגים אותם. גו'דל הוכיח את
המגבלה העקרונית של הגישה הזו כאשר היא מיושמת בשפת לוגית מקובלת
המקיימת תנאים מוגדרים.
261. 1934 : אדמונד לנדאו (1877-1938), מגדולי החוקרים של תורת המספרים ומגדולי
המתמטיקאים היהודים במאה ה-20, מפרסם ספר לימוד שלם ומושלם בחשבון
דיפרנציאלי ואינטגרלי, אשר במופגן אינו מכיל ולו גם שרטוט אחד להדגמה או
להמחשה של התוכן. ספרו מהווה ביטוי שיא לטקסטואליזציה של המתמטיקה
הטהורה ולאי-אמון בוויזואליזציה (Landau, 1951b).
- החשבון הדיפרנציאלי והאינטגרלי (שנקרא גם "חשבון אינפיניטסימאלי") מבסס
את מושגי הכיוון של קוים (לאו דווקא ישרים) במרחב ואת מושג השטח שמוקף
על-ידי קוים (לאו דווקא ישרים) ומושגים גיאומטריים נוספים, המוגדרים על-ידי
פונקציות מתמטיות (ראה פריטים 180, 181). לכן, הימנעות משימוש בשרטוטים
מפגינה את עוצמת הייצוג הטקסטואלי של המושגים האלה ושל הטיעונים הלוגיים
המוכיחים את תכונותיהם.

262. 1936 צ'רץ' מפרסם מאמר ובו הוא מציג את **תחשיב למבדה** כמערכת טקסטואלית להגדרה שלמה של **תהליכי החישוב**, כלומר כהגדרה של **מושג האלגוריתם**. במאמר הזה הוא מוכיח גם שקיימות בעיות שלא ניתנות לפתרון באמצעות אלגוריתמים (Church, 1936; Petzold, 2008: pp. 281-298).

תחשיב למבדה השפיע, מאוחר יותר, על פיתוח שפות תכנות כגון LISP (בשנות ה-60; ראה פריט 263 להלן) וגרסותיה היותר חדישות Racket ו-Scheme, המשמשות עד היום, כשפות תכנות ללימוד יסודות מדעי המחשב. שפת LOGO פותחה בשנות ה-70 אף היא, באותו סגנון, כדי ללמד את מושגי התיכנות ומדעי המחשב המגולמים בשפת LISP לצעירים.

היום קיימות גרסאות שונות ופעילות של שפת LOGO, כגון GRacket ו-NetLogo.

263. 1936-37 : אלאן טיורינג (Alan M. Turing), שהיה תלמיד מחקר של אלונצו צ'רץ' (ראה פריט 258 ברשימה זו) מגדיר מושג של מנגנון חישוב ואת מושג המחשב האוניברסלי ומוכיח את מגבלותיו.

"**מכונת טיורינג**" היא מנגנון לשימוש בטקסטים ובתהליכי כתיבה מוגדרים לביצוע תהליכים של עיבוד נתונים מפורשים על טקסטים, לביצוע חישובים ולהפקת תשובות לשאלות ("**תהליכים אלגוריתמיים**", על שמו של אלחורוזמי, ראה פריט 56).

טיורינג, שפרסם את מאמריו כמה שבועות אחרי צ'רץ', הוכיח את שקילות תחשיב למבדה עם תורת המכונות של טיורינג (Church, 1936; Turing, 1936).

בשעה שגוידל הוכיח את אי-האפשרות של קיום הוכחות לתכונות של מערכות לוגיות מסוימות, טיורינג וצ'רץ' מוכיחים לראשונה, את אי-אפשרות קיומן של שיטות מכאניות לקבלת תשובות לשאלות מוגדרות ביחס לאובייקטים מסוימים. עלינו לזכור שמכונות טיורינג מוגדרות על-ידי טקסטים, ולכן שאלות לגביהן ניתנות להגדרה כשאלות לגבי הטקסטים שמגדירים אותן.

טיורינג הוכיח שלא יכולה להיות קיימת שיטה הניתנת לביצוע על-ידי מכונת טיורינג כלשהי, כדי לספק תשובה לשאלה האם מכונה נתונה כלשהי (לפי הטקסט המגדיר אותה) תדפיס אי-פעם תוצאה ספציפית, למשל, את הספרה "0".

כמו-כן, טיורינג הוכיח שלא יכולה להיות קיימת שיטה הניתנת לביצוע על-ידי מכונת טיורינג כלשהי, כדי לקבל תשובה לשאלה האם מכונת טיורינג נתונה כלשהי לא תיכנס ללולאה אינסופית בפעולתה. מכאן נובע שלא ניתן לבדוק באמצעות תוכנה האם תוכנה נתונה כלשהי מכילה שגיאה או לא.

מן הראוי לציין שהתגלית של גוידל בדבר מגבלות השיטה הטקסטואלית ביחס לקיומן של הוכחות לטענות מתמטיות (דהיינו משפטי אי השלמות שהוא הוכיח) עוררה הדים רבים אצל הוגי דעות שראו בתגליתו הוכחה למגבלות המתמטיקה ואפילו למגבלות התבונה האנושית. תגליותיהם של טיורינג וצ'רץ' שהן תגליות בדבר מגבלות הטכנולוגיה הדיגיטלית, אשר יכולות להיחשב כעדות למגבלות התבונה האנושית, תחת ההנחה שחשיבת האדם אינה שונה עקרונית מפעולת המחשב, כמעט ולא מוזכרת בספרות הכללית אודות מגבלות התבונה האנושית.

צ'רץ' הוכיח שלא ייתכן קיומה של שיטת הכרעה מכאנית (הניתנת לביצוע, למשל על-ידי מכונת טיורינג, או על-ידי תהליך המוגדר בתחשיב למבדה) לגבי נוסחאות בתחשיב לוגי מסוים (תחשיב הפרדיקטים מסדר ראשון) האם הן נכונות או לא (Suppes, 1999: p. 69).

תוצאתו של צ'רץ' אינה סותרת אפשרויות של קיומן של הוכחות של טענות או שלילתן בתחשיב הפרדיקטים מסדר ראשון (ראה פריט 255 ופריט 257).

צריך להבין כי המחשבים הם מימושים פסיקליים מתוכננים של מכונות טיורינג. מחשבים לא נבנים באופן אקראי, אלא לפי עיצוב מסוים. וכולם מעוצבים לפעול כמכונות טיורינג למעשה. לכן, כל מגבלה של מכונות טיורינג היא מגבלה **מוחלטת** של המחשבים. כל עוד המחשבים נבנים לפי המודל של מכונות טיורינג (או שאר המודלים השקולים לו), כל התוצאות הלוגיות או המתמטיות הנוגעות למכונות טיורינג הן תוצאות בעלות משמעות הכרחית לגבי המחשבים.

כאן אנו נוגעים בקושי קונספטואלי שעלול להיות לכמה קוראים, בדבר מגבלות עקרוניות ולוגיות של נושאים ותהליכים. לא פעם אני נתקל בתגובה, "אבל, אולי פעם, בכל זאת יצליחו למצוא פתרון לבעיה..." כאילו העובדה, שלא ניתן למצוא מספר שמתחלק ב-6 שיהיה גם ראשוני, או שלא ניתן למצוא לשני הצדדים במשחק השח-מט אסטרטגיות שתוכלנה להבטיח ניצחון במשחק למי שמשתמש בהן, או שלא ניתן למצוא שני מספרים שלמים שהיחס, או אפילו ההפרש, בין הריבועים שלהם, הוא 2, היא רק תוצאה של היקף המאמצים שלנו.

משום-מה, קשה לקבל שהוכחה לוגית מחייבת משהו לגבי המציאות. אם לא ייתכן לוגית שהפרש של שני ריבועים של מספרים שלמים יהיה שווה ל-2, פירושו של דבר, שאף פעם, לא יימצא אדם, שיוכל להביא דוגמה לשני מספרים שלמים שהפרש ריבועיהם הוא 2. אף פעם, לא יימצא אדם שיוכל ליצור תוכנה שתוכל לבדוק באופן שלם, שגיאות תוכנה, או מתי שתי תוכנות מגיעות לאותן תוצאות, ועוד כהנה בעיות בעלות חשיבות מעשית ומציאותית.

264. 1938 : קונארד צוסה (Zuse) בונה על-סמך האלגברה הבוליאנית, מכונת חישוב הפועלת על ייצוגים בינאריים של מספרים.

265. 1938 : קלוד שאנון בעבודת המאסטר שלו, שהוכרה גם כעבודת דוקטוראט, מוכיח את האיזומורפיזם המלא (מיפוי דו-סתרי וחד-ערכי שלם) שבין האלגברה הבוליאנית לבין המערכות הדיגיטליות שפועלות ללא אמצעי זיכרון (רשתות מיתוג, כלומר, ללא לולאות). (Davis, 2001: p. 178).

266. ינואר 1939 : נילס בוהר מפליג מקופנהגן לניו-יורק. בתאו הותקן לבקשתו, לוח גדול. "הדיון נסב על ביקוע גרעיני" (באגוט, 2012 : עמ' 28).

267. 1939 : חוזה אורטגה אי גאסֶט (Jose Ortega y Gasset) מפרסם אסופת מאמרים, "אי-שינוי ושינוי: הגיגים על הטכניקה", ובה, במאמר השני, "האדם כטכנאי", הוא מתאר את הטכנולוגיה (אז המונח המקובל להתייחסות אל הטכנולוגיה היה "טכניקה") כמגמה תרבותית וכתכונה מהותית של האדם שהתפתחה בשלושה שלבים (ההמצאה כמקרה, ההמצאה כאומנות וההמצאה כשיטה). מדי פעם הוא מתייחס אל הטכניקה כאל גורם תרבותי אוטונומי - "הטכניקה עשתה כך וכך" – אלו הם ניצנים ראשונים של התפיסה הדטרמיניסטית של הטכנולוגיה (Ortega y Gasset, 1939).

268. 1939 : אוטו פריש התבקש על-ידי החברה הכימית הבריטית לכתוב סקירה לכימאים על ההתקדמות במדעי הגרעין. תוך כדי כתיבה, התעורר בליבו ספק ביחס לעמדה המקובלת אז, בדבר תגובות שרשרת של ביקוע גרעיני אטום האורניום, על היותן חלשות מכדי יצירת התפוצצות. בבדיקת חישובים שערך עם ג'ון וילר, הם גילו שהמסה הקריטית ליצירת התפוצצות רבת עוצמה, יכולה להיות "בגודל של כדור

- גולף בערך". כך התגלתה האפשרות המעשית ליצירת פצצה גרעינית (באגוט, 2012 : עמ' 84-87).
269. 1938-1940 : ג'ורג' סטיביץ, בונה מחשב אלקטרוני, שהיה בשימוש עד לשנת 1949, שיועד אך ורק לחישובים במספרים מרוכבים, הנחוצים לניתוח רשתות חשמליות ומיתוג טלפונים (ארבל, 2009 : עמ' 59).
270. 1940 : קונרד צוסה (Zuse) מציע מודל טקסטואלי של טבלה להגדרת התנהגותה של אוכלוסייה של פרטים הממוקמים (במשבצות הטבלה) וגורלם נקבע לפי חוקיות קבועה הקובעת את מצבם לפי מצבם ומצב שכניהם. למערכת כזו קוראים "אוטומט תאי" (סטיוארט, 2012 : עמ' 328).
271. 1943 : מיטב הפיסיקאים בארה"ב מתגייסים לפרויקט הנדסי (בניית פצצת האטום הראשונה) ובכך שוברים גם את המחיצות שבין הפיסיקה התיאורטית לפיסיקה השימושית.
272. 1948 : **תורת הבקרה והקיברנטיקה** : הגדרת מושג **ההיזון החוזר** (המשוב המערכתי) וביסוס תיאורטי טקסטואלי מקיף של הנדסת מכונות עם בקרה מובנית ומעגלי היזון חוזר ע"י נורברט וינר בספר "קיברנטיקה" (Wiener, 1948).
273. 1948 : הוכחת בעיית ההכרעה של האלגברה הבסיסית של המספרים הממשיים על-ידי הלוגיקן טארסקי. כלומר, הוא הוכיח שקיימת שיטה אלגוריתמית לבחינת נכונותה של טענה כלשהי הנוגעת למספרים הממשיים, ליחס הסדר "<" ולפעולות החיבור והכפל וזהויות, המנוסחת בשפת הלוגיקה (תחשיב הפרדיקטים) מסדר ראשון. במילים אחרות, ניתן לחבר תוכנה שבאמצעותה פעולת הבדיקה של נכונות של טענות מתמטיות, במסגרת האלגברה הנ"ל, מתבצעת על-ידי מכונה ללא שגיאה.
274. 1940-1950 : ברחבי העולם מנסים לבנות מכונות חישוב אלקטרוניות אוטומטיות לביצוע חישובים הנדסיים ומאוחר יותר גם לביצוע עיבוד נתונים כללי.
- "עוד בסביבות 1950, חשבונייה יפאנית הביסה בתחרות מחשבון-יד מכאני." (סטיוארט, 2012 : עמ' 308).
275. 1944-53 : ביסוס הטבע הדיגיטלי של מנגנון התורשה של מנדל : גילוי מולקולת ה-DNA, הרכבה והמבנה שלה, על סמך נתוני המדידות הקריסטלוגרפיות של רוזלינד פרנקלין (1920-1958). פירסום המאמר על מבנה הסלילי של מולקולת ה-DNA ביום 25 באפריל 1953 נחשב ל"יום ההולדת של הביולוגיה המודרנית" (אטקינס, 2008 : עמ' 82).
276. 1948 : ב-21 ביוני, תוכנית מחשב מורצת לראשונה במחשב אלקטרוני באוניברסיטת מנצ'סטר בצפון אנגליה. המחשב נקרא "The Baby", המתכנת היה טום קילברן והתוכנית היתה מיועדת לגילוי גורמים (מחלקים) של מספרים (Devlin, 1997: p. 91).
277. 1949 : קלוד שאנון וויליאם וויבר מפרסמים את התיאוריה המתמטית של האינפורמציה שהיא תורה הסתברותית להעברה וקליטה של אותות. בעבודה זו התגלה הקשר הפורמלי בין נוסחת האנטרופיה של התרמודינמיקה ובין ההגדרה שלהם עבור מדד של "כמות אינפורמציה" במערכת תקשורת נתונה (Shannon & Weaver, 1949).
278. 1950 : טיורינג מפרסם את מאמרו "מכונות חישוב ותבונה" ובו הוא מעלה את השאלה "האם מכונה יכולה לחשוב?" ותומך בתשובה חיובית לה מבלי לקשר זאת במפורש עם סוגיית הטקסטואליזציה של התבונה. בכל אופן, במאמר זה הוא מגדיר את

"מבחן טיורינג", המבוסס על שעשוע חברתי נפוץ באנגליה, **משחק החיקוי**, כמבחן המבוסס על שיח המתנהל באמצעות טקסט כתוב (Turing, 1950).

279. 1952 : המתמטיקאים משנים, באין רואה, את מושג ההוכחה, מתהליך שחייב לעבור בקרה לוגית אנושית מדוקדקת, לתהליך שאינו מבוקר לוגית, אבל מבוצע על ידי מכונה : בדיקת הראשונות של מספרים המתבצעת באמצעות מחשב מספקת את התוצאה (שלא נבדקה לגמרי בידי בני אדם) שהמספר 2 בחזקת 2281, חסר 1, שהוא בן 687 ספרות בייצוגו העשרוני, הוא מספר ראשוני (Steinhaus, 1999: pp. 23-24).

תוצאה זו נסמכת על ההנחות שמערכת ההפעלה של המחשב היתה תקינה וכי התוכנית שבוצעה באמצעותה, כדי לבדוק את ראשונות המספר, אכן עושה זאת במדויק. כל הסיכויים הם שביצוע התוכנית היה נקי משגיאות. כלומר, מושג ההוכחה הפך, במקרה הטוב ביותר, למושג אמפירי. מאז, השימוש במחשב לביצוע הוכחות באמצעות מערכות הפעלה לא בדקות לוגית, הפך לשגרה.

שינוי גישה זה מבטל גם את היחס כלפי הוכחות כמספקות תוכן מתמטי. הוכחה שניתנת לבדיקה על-ידי אדם, ניתנת לקריאה, ואפשר להפיק ממנה תובנות לגבי הנושא הנדון בהוכחה. הוכחות ממוחשבות מספקות רק מידע על אפשרות ההוכחה ותו לא, כי בני אדם אינם קוראים אותן. חלק ניכר מהיופי המיוחס לתכנים המתמטיים, מיוחס להוכחות. הוכחות המבוצעות בעזרת מחשב, הן לכל היותר נכונות, אלא אם כן, תהליך ביצוען יפורט באופן מפורש, כטקסט לעיון על-ידי מתמטיקאים. בדרך כלל, ההוכחות הממוחשבות מבוססות על אלפי בדיקות של מקרי בוחן, ולכן הן פשוט משעממות.

תופעה זו היא, למעשה, תוצאה של משפטי אי-השלמות של ג'ודל, מהטעם הבא. למשפטים קצרים יחסית יכולות להיות הוכחות ארוכות מאד שיקשה לאדם לבדוק את תקינותן או להרכיב אותן (ולכן, המשימה מועברת למחשב). אחרת, ניתן היה לקבוע, עבור היגד נתון, קבוצה סופית של סדרות של היגדים אשר תכלול הוכחה להיגד הנתון, אם יש כזו, ואם אין, אז נדע שההיגד אינו ניתן להוכחה. כלומר, אחרת היה ניתן לקבוע לכל היגד מתמטי נתון האם הוא ניתן להוכחה או לא, מה שסותר למעשה את משפטי אי-השלמות של ג'ודל (Ruelle, 2007: pp. 66-67, 74). ראה פריט 259.

280. 1951-1959 : המחשבים האלקטרוניים הראשונים יוצאים לשווקים. בשנת 1959 יש 100 מחשבים אלקטרוניים בעולם.

למרות שרוב בוני המחשבים הראשונים לא היו מודעים כל כך לעבודתם של טיורינג, צ'רץ' ולוגיקנים אחרים, שפיתחו את מושג החישוביות, כל הפיתוחים ההנדסיים האלה, של המחשבים, נבנו מבלי לחרוג ממסגרת המודל הלוגי של טיורינג וצ'רץ'. עובדה זו, כמו כל ההתפתחות של הטכנולוגיה הדיגיטלית בימינו, מוסיפה משקל לאמונה במשמעות של "**התזה של טיורינג וצ'רץ'**" הטוענת שמושג החישוביות, כפי שהוגדר על-ידיהם, הוא מושג הכרחי. כלומר, **כל** תהליך טקסטואלי שנסבור עליו שהוא שיטתי, מכני, בלתי תלוי בחשיבה, בפרשנות או בהקשר, יתברר שהוא חישובי לפי טיורינג וצ'רץ'.

281. 1956 : פיתוח ה**בלשנות החישובית** : הגדרת מושג הדקדוק על סמך שימוש במודלים של מכונות דיגיטליות מחוללות טקסטים, להגדרת מודלים שונים לדקדוקים מסוגים שונים (חומסקי, 1956).

282. 1960 : ג'ון מקארתי (John McCarthy) מציג את שפת התיכנות LISP כשפת תיכנות המבוססת על רעיונותיו של צ'רץ' בפיתוח תחשיב למבדה (McCarthy, 1960). ראה פריטים 258 ו-262 ברשימה זו.

283. 1964 : מארשל מקלוהן, בספרו **"להבין את המדיה"** חוזה שבורות ביחס לטכנולוגיית התקשורת האלקטרונית תביא את קיצה של תרבות הספר האלפביתית. הבורות



מונה ליסה הספרתית של פטרסון המקור: ויקיפדיה

הפופולרית ביחס למקלוהן מפרשת את דבריו כתפיסה דטרמיניסטית וכהיעדר אוטונומיה למשתמש בטכנולוגיה, בניגוד גמור לדבריו (מקלוהן, 2003 : הקדמה, פרקים 1 ו-25 ; המקור באנגלית, 1964).

284. 1965 : פיליפ פטרסון, מתאגיד קונטרול דאטא, מייצר את הגרפיקה הממוחשבת הראשונה : **"מונה ליסה הספרתית"**, בתהליך ממוחשב שנמשך 14 שעות של הדפסה של ספרות בלבד (Ernst et al, 1993: p. 113).

285. 1975 : אלן ניואל והרברט סיימון, בקבלת פרס טיורינג על הישגיהם בתחום הבינה המלאכותית, מרצים על

"השערת מערכת הסמלים"

הפיסיקלית" כתנאי הכרחי ומספיק

לתבונה : "למערכת סמלים פיסיקלית יש האמצעים ההכרחיים והמספיקים לצורך פעולה תבונית", שאיננה אלא ההשערה שטקסט פיסיקלי, במבנה מתאים עם פעולות מתאימות, יכול להיות מספיק "לצורך פעולה תבונית" (Newal & Simon, 1976).

מושג סוג הטקסט, או מושג צרור המידע, מראים שסוג המצע הפיסיקלי אינו רלבנטי לפעולה התבונית. הרעיון של התבנית לעומת האבן, יכול להסיר חלק מההתנגדות לכך שתאים אלקטרוניים ממתכת או סיליקון יוכלו להתחרות בתאי המוח שלנו. מה שיקבע הוא לא הפיסיקליות של המערכת, אלא ההרכב הלוגי שלה כצורר מידע. ראה (גבעון, 2011 : פרק 3).

286. 1976 : ניקולאוס ווירט' מפרסם את הספר : **"אלגוריתמים + מבני נתונים = תוכניות"** ובו מתואר בפעם הראשונה העיקרון של הקשר שבין מבנים של טקסטים ובין הפעולות המיושמות על אותם טקסטים (Wirth, 1976). היה זה ביטוי ראשון למושג טיפוס הנתונים של מדעי המחשב – ולתפיסת הטקסט כמערכת דינמית לארגון נתונים ולשימוש בהם (גבעון עם בן-זקן, 2001). מושג זה עומד מאחורי מושג סוג הטקסטים שהוגדר בפרק 3 בספר (גבעון, 2011).

287. 1945-1977 : מיזוג הטכנולוגיות של התקשורת ושל המיחשוב ברמת החומרה עם תפקודה ל**"טכנולוגיית התקשוב"** (communication). הגישה הדיגיטלית מביאה למיזוגים מפתיעים (Ernst et al, 1993: pp. 85-109).

288. 1980 : תפיסת המיחשוב כטקסטואליזציה של העבודה - אחד מממצאי המחקר של שושנה זובוף על התמחשבותם של תעשיות ועסקים ביבשת אמריקה (Zuboff, 1988).

289. 1981 : מערכת ההפעלה DOS משקפת ללא סייג וללא כיסוי את הטקסטואליות של פעולת המחשב.
290. 1982 : ניל פוסטמן, בספר "אובדן הילדות" וכמו-כן בספריו האחרים, מקונן על ביטול מעמדה של תרבות הספר מפני תרבות הוידאו ומוכיח את טיעונו על סמך טענות בדבר השפעת הדפוס כיוצר שינויים תרבותיים (פוסטמן, 1990) ראה פרקים 5 ו-6.
291. 1988 : ארתור ברקס בספרו על המחשב האלקטרוני הראשון, מתייחס אל הכללה של מושג הטקסט ושל השאיפה לטקסטואליזציה של כל דבר ("הדגם האלפביתי", ראה פרק 12) כ"תיאוריה אטומית" של כל דבר : "תיאוריה אטומית של נושא או של תחום דעת מתקיימת כאשר המושאים הנחקרים באותו תחום דעת נתפסים כתרכובות של אטומים המקושרים ביניהם על-ידי חוקים או כללים מסוימים.... גרסאות שונות של תיאוריה זו טוענות כי עצמים, מערכות, שפות, תחומי דעת, היקום כולו – ואפילו הידע כולו – הם תרכובות או שלמויות המורכבות מחלקים אטומיים, קונקרטיים או מופשטים." (Burks & Burks, 1988: p. 327).
292. 1993 : איבן איליץ' מפרסם סקירה על הספר "דידאסקאליקון" של הֶיוֹ (שנכתב בשנת 1128) כדי לקונן על שקיעתה של הקריאה הלמדנית, זו שהחלה במאה ה-12. בסקירה זו הוא חושף ומגלה כי במאה ה-12 התגלו כמה מהישגי מהפכת הדפוס (Illich, 1993). ראה פרקים 4, 5 ו-6 בספר (גבעון, 2011).
293. 1995 : הופיעו ה"חלונות" שהסתירו מהציבור את הטקסטואליות של המחשב וכך נדמה לכל, שלטקסט האלפביתי אין עתיד.
294. 1995 : ניקולס גרופונטי, המנהל המייסד של מעבדת המדיה ב-MIT, מפרסם את ספרו "להיות דיגיטלי" בו הוא מציג את החזון של המעבר ממוצרים של אטומים חומריים למוצרים של סיביות, כלומר, לסוגים של טקסטים (גרופונטי, 1995).

המאה ה-21

295. בערך 2000 : מורים בבתי-הספר והוגי דעות במדעי החברה סוברים שגם ציורים הם טקסטים בעלי תחביר ושאלין הבדל בין מונחים למושגים.
296. תחילת המאה ה-21 : ההבחנה בין סימן למסומן, שהגיעה אלינו מתלמידי הסטואה, בני המאה ה-3 לפנה"ס, נעלמת בעקבות הופעת "עידן המידע". הבלבול בין נתונים למידע מוביל להתייחסות אל בסיסי נתונים כמכילים מידע ואחר-כך, לזיהוי ידע עם מידע. האינטרנט נחשב למקור של ידע ומנועי החיפוש כתחליף למורים.
297. ינואר 2001 : נוסדה הוויקיפדיה, הטקסט הגדול ביותר בעולם : האנציקלופדיה המשותפת החופשית.
298. 2001 : מיפוי הגנום האנושי (הרכב מולקולת הדנ"א של האדם) עלה על דרך המלך (בשני פרויקטים מקבילים ומתחרים).
299. 2006 : פרימן דייסון מפרסם את ספרו "המדען כמורד" ובו הוא מבקר את שמרנותם של אותם מדענים המבקשים לחפש קבוצה סופית של משוואות כדי לסכם באמצעותן את כל הידע בפיסיקה. דייסון טוען ש"הפילוסופיה של הרדוקציוניזם", של צמצום חד-צדדי של המדע לאוסף של תווים לא רק שנכשלה, אלא גם גרמה לכך שמדענים גדולים, כמו אופנהיימר ואיינשטיין, איבדו את כושר היצירה המדעית שלהם ברגע שהאמינו בדבקות בפילוסופיה זו (Dyson, 2008).
300. 2007 : מספר המחשבים בעולם מוערך כיותר מ-360 מיליון מחשבים.

301. 2008 : מספר המחשבים האישיים בעולם מוערך כיותר מ-800 מיליון מחשבים ומתקרב לביליון (אלף מיליון).
302. 2009 : מספר המחשבים האישיים בעולם מוערך באמצע 2009, כיותר מביליון מחשבים.
303. 2010 : אנשי חינוך והוגי דעות אחרים כבר יודעים מה הן "מיומנויות המאה ה-21", מבלי לשים לב לכך שעוד לא עברה עשירית המאה, בתקופה רבת שינויים כמו תקופתנו. הביטוי "מיומנויות המאה ה-21" הוצע על-ידי צוות שכלל נציגים מחברות יצרני חומרה ותוכנה גדולות (Brinkley, et al, 2010) ומערכות החינוך הלכו שבי אחריהם.

<< תם ולא נשלם >>