

תוכן העניינים

1	תודות
5	פתח דבר: כוחם של רעיונות
11	פרק ראשון: ששת העידנים
14	ההשקפה הלינארית האינטואיטיבית לעומת ההשקפה המעריכית ההיסטורית
18	ששת העידנים
	העידן הראשון: פיזיקה וכימיה. העידן השני: ביולוגיה ודנ"א. העידן השלישי: מוחות. העידן הרביעי: טכנולוגיה. העידן החמישי: התמזגות הטכנולוגיה האנושית עם הבינה האנושית. העידן השישי: היקום מתעורר.
25	הסינגולריות מתקרבת
38	פרק שני: תאוריה של אבולוציה טכנולוגית: חוק התשואות המואצות
	טיבו של סדר. מחזור החיים של פרדיגמה. עיצובים פרקטליים. אבולוציה מרחיקת ראות.
52	עקומת S של טכנולוגיה כפי שהיא מבוטאת במחזור החיים שלה
	מחזור החיים של טכנולוגיה. מעור של עז לתזרים נתונים
57	מחוק מור ואילך
	חוק מור: נבואה המגשימה את עצמה? הפרדיגמה החמישית. ממדים פרקטליים והמוח.
70	ריצוף דנ"א, זיכרון, תקשורת, האינטרנט ומזעור

- 79 מידע, סדר ואבולוציה: תוכנות מן האוטומטונים התאיים של וולפרם
ושל פרדקין.
האם אפשר לפתח בינה מלאכותית מתוך כללים פשוטים?
- 90 הסינגולריות כציווי כלכלי
קחו שמונים ביליון דולר – הצעה לזמן מוגבל בלבד. דפלציה... זה
רע?
- 104 **פרק שלישי: הדבקת יכולת החישוב של מוח האדם**
הפרדיגמה השישית של טכנולוגיית החישוב: חישוב מולקולרי
- 104 תלת-ממדי וטכנולוגיות חישוב נובעות
הגשר אל חישוב מולקולרי תלת-ממדי. בכל זאת כדאי יותר להמר על
ננו-צינוריות. חישוב במולקולות. איסוף עצמי. חיקוי הביולוגיה. חישוב
בדנ"א. חישוב עם ספין. חישוב באור. חישוב קוונטי.
- 114 קיבולת החישוב של מוח האדם
האצת זמינותו של מחשוב אישי ברמה אנושית. קיבולת הזיכרון
האנושית.
- 119 גבולות החישוב
חישוב הפיך. כמה שכל יש לאבן? גבולות הננו-חישוב. קביעת תאריך
לסינגולריות. יעילות זיכרון וחישוב: אבן לעומת מוח אנושי. אל מעבר
לעילאי: פיקוטכנולוגיה, פמטוטכנולוגיה וכיפוף מהירות האור. אחורה
בזמן.
- 134 **פרק רביעי: תוכנת הבינה האנושית:**
- 134 ההנדסה ההפוכה של מוח האדם
- 135 הנדסה הפוכה של המוח: סקירה כללית של המשימה
כלים חדשים להדמיית המוח ולבניית מודלים שלו. תוכנת המוח. מודלים
אנליטיים ונירומוורפיים של המוח. עד כמה מורכב המוח? בניית מודלים
של המוח. קילוף הבצל.
- 140 כמה שונה מוח האדם ממחשב?
מעגלי המוח אטיים מאוד. אבל הם מקבילים ברמה גבוהה. המוח משלב
תופעות אנלוגיות וספרתיות. המוח משנה את חיווטו בכוחות עצמו. רוב

פרטי המוח הם אקראיים. המוח משתמש בתכונות נובעות. המוח אינו מושלם. אנו סותרים את עצמנו. המוח מנצל את האבולוציה. לתבניות יש חשיבות רבה. המוח הוא הולוגרפי. יש במוח קישוריות עמוקה. יש למוח אדריכלות של אזורים. עיצובו של אזור מוחי פשוט יותר מעיצובו של תא עצב יחיד.

144 ניסיונות להבין את חשיבתנו: הקצב המואץ של המחקר

148 הצצה לתוך המוח

כלים חדשים לסריקת המוח. שיפור ההפרדה. סריקה באמצעות ננובוטים.

156 בניית מודלים של המוח

מודלים תת-נוירליים: סינפסות וקוצים. מודלים של תאי עצב. תאי עצב אלקטרוניים. גמישות מוחית.

166 בניית מודלים של אזורי מוח

במודל נירומורי: המוחון. דוגמה נוספת: מודל אזורי השמע של ווטס. מערכת הראייה. עבודות אחרות בביצוע: היפוקמפוס מלאכותי ואזור זיתי-מוחוני מלאכותי. הבנת תפקודים ברמה גבוהה: חיקוי, חיזוי ורגש.

181 ממשק מוח ומכונה

183 הקצב המואץ של ההנדסה ההפוכה של המוח

יכולת ההתאמה וההסתגלות של הבינה האנושית.

185 טעינת מוח אנושי

191 פרק חמישי: גנטיקה, ננוטכנולוגיה, רובוטיקה שלוש מהפכות חופפות

192 גנטיקה: מפגש המידע והביולוגיה

193 מחשב החיים

עיצוב דור בריא ושלם. האומנם יכולים אנו לחיות לעד? שיבוש רנ"א. ריפוי תאים. שבבי גנים. ריפוי גנים גופיים. בלימת מחלות ניווניות. המאבק במחלת הלב. התגברות על סרטן. בלימת הזדקנות. מוטציות דנ"א. תאים רעילים. מוטציות מיטוכונדריות. הצברים פנים-תאיים. הצברים חוץ-תאיים. אובדן תאים ורלדולם. שיבוט בני אדם: היישום הכי פחות מעניין של טכנולוגיית השיבוט. למה חשוב לשכט? שימור

מינים בסיכון ושיקום מינים שנכחדו. שיבוט לצורכי ריפוי. הנדסת תאי גוף אנושיים. פתרון לרעב העולמי. בחזרה לשיבוט בני-אדם.

211 ננוטכנולוגיה: מפגש המידע עם העולם הפיזי

המאסף הביולוגי. שדרוג גרעין התא באמצעות ננומחשבים וננובוטים. אצבעות עבות ודביקות. הוויכוח מתחמם. ראשית האימוץ. חשמול הסינגולריות. יישומיה הסביבתיים של הננוטכנולוגיה. ננובוטים במחזור הדם.

241 רובוטיקה: בינה מלאכותית חזקה

בינה מלאכותית מואצת. חורף הבינה המלאכותית. ערכת הכלים של הבינה המלאכותית. מערכות מומחה. רשתות בייסיות. מודלים מקובלים. רשתות עצביות. אלגוריתמים גנטיים. חיפוש רקורסיבי.

התיקו של פריץ העמוק: האם האדם נעשה פיקח יותר, או שמא המחשב נעשה טיפש יותר? יתרון החומרה הייעודית. כחול עמוק מול פריץ העמוק. התקדמויות משמעותיות בתוכנה. האם עבר זמנם של שחמטאים אנושיים?

257

שילוב שיטות. מבחר של יישומי בינה מלאכותית צרה. צבא ומודיעין. חקר החלל. רפואה. מדע ומתמטיקה. עסקים, פיננסים ותעשייה. תעשייה ורובוטיקה. דיבור ולשון. בידור וספורט. בינה מלאכותית חזקה.

281 **פרק שישי: ההשלכות...**

שפע של השלכות.

282 ... על גוף האדם

דרכי אכילה חדשות. עיצוב מערכת העיכול מחדש. תכנות הדם. יהיה או לא לב? אז מה נשאר לנו? שינוי עיצובו של מוח האדם. אנחנו נעשים קיבורגים. גוף האדם גרסה 3.0.

293 ... על מוח האדם

תרחיש ל-2010. תרחיש ל-2030. להיות מישהו אחר. מקריני התנסות. הרחבת אופקים.

301 ... על תוחלת חייו של האדם

המעבר לקיום לא-ביולוגי. משך קיומו של מידע.

311 ... על הלוחמה: פרדיגמת שלט-רחוק, רובוטי, עמיד, ממוזער, מציאות וירטואלית

אבק חכם. ננר-נשק. נשק חכם. מציאות וירטואלית.

316 ... על הלימוד

318 ... על העבודה

קניין רוחני. ביזור.

321 ... על המשחק

322 ... על ייעודו התבוני של הקוסמוס: מדוע כנראה אנו לבדנו ביקום

משוואת דרייך. בחזרה אל גבולות החישוב. קטן הוא גדול. התפשטות אל מחוץ למערכת השמש. בחזרה אל מהירות האור. חורי תולעת. מהירות אור משתנה. בחזרה אל פרדוקס פרמי. בחזרה לעיקרון האנתרופי. הרב יקום. יקומים ואבולוציה. הבינה כייעוד היקום. פונקציית התועלת העליונה. קרינת הוקינג. מדוע הבינה חזקה יותר מהפיזיקה. מחשב בגודל היקום. היקום ההולוגרפי.

348 **פרק שביעי: אני סינגולראי**

עדיין בני-אדם?

354 השאלה הקשה מכול: תודעה

360 מי אני? מה אני?

365 הסינגולריות כטרנסצנדנטיות

פרק שמיני: גנטיקה, ננוטכנולוגיה, רובוטיקה: שילוב הדוק

370 **של הבטחות וסכנות**

374 שילוב של תועלת...

376 ... וסכנות

379 המוני סיכונים קיומיים

עקרון הזהירות. ככל שפעילות הגומלין קטנה יותר, כן סכנת הפיצוץ חמורה יותר. מישוהו יכבה את ההדמיה שלנו. אורחים לא-קרואים. גנ"ר: המוקד האמיתי של הבטחה לעומת סיכון. אי-נמנעותו של עתיד שונה. נטישה טוטליטרית.

386	הכנת אמצעי מגן
	בינה מלאכותית חזקה. בחזרה לעבר?
388	רעיון הנטישה
	נטישה רחבה. נטישה פרטנית. ההתמודדות עם ניצול לרעה. סכנת הפונדמנטליזם. הומניזם פונדמנטליסטי.
394	פיתוח טכנולוגיות התגוננות וחשיבותו של פיקוח
	הגנה מפני בינה מלאכותית חזקה "לא־ידידותית". ביזור. אנרגיה ביזורית. חירויות האזרח בעידן של לוחמה אסימטרית.
399	תכנית להתגוננות מפני סכנות גנ"ר
405	אחרית דבר
	עד כמה סינגולרית היא הסינגולריות? מרכזיות האדם.
408	משאבים ופרטי קשר
410	נספח: בחזרה אל חוק התשואות המואצות
416	רשימת הקיצורים השכיחים
417	הערות
525	מפתח

כּוּחַם שֶׁל רַעִיוֹנוֹת

איני חושב שיש ריגוש, מהריגושים העשויים להתעורר בלבבו של אדם, הדומה לתחושת הממציא בראותו את פרי רוחו הופך להצלחה.

ניקולה טסלה, ממציא זרם החילופין, 1896

כשהייתי בן חמש עלה בדעתי רעיון שאהיה ממציא. חשבתי אז שלהמצאות יכולות לשנות את העולם. כשילדים אחרים תהו בקול על מה שירצו להיות, אני כבר ידעתי בשחצנותי מה אני אהיה בעתיד. החלליות הרקטיות אל הירח שבנתי אצ (כמעט עשור לפני שהנשיא קנדי הציג אתגר בפני האומה) לא פעלו. אבל בערך כשמלאו לי שמונה שנים נעשו המצאותי קצת יותר מציאותיות – למשל, תאטרון רובוטי עם חיבורים מכניים שיכלו להזיז את התפאורה ואת הדמויות, להציגן לעיני הצופים ולהעלימן שוב, וכן משחקי וידיאו וירטואליים.

הורי, שנמלטו מן השואה, שניהם אמנים, ביקשו לתת לי חינוך דתי יותר מעשי ופחות פרובינציאלי.¹ כיוון שכך, קיבלתי את חינוכי הרוחני בכנסייה אוניטריאנית. הקדשנו שישה חודשים ללימוד דת אחת – השתתפנו בתפילותיה, קראנו את ספריה ושוחחנו עם מנהיגיה – ואז עברנו לדת הבאה. הנושא היה "דרכים רבות אל האמת". הבחנתי, אין צורך לומר, בהקבלות מרובות בקרב המסורות הדתיות של העולם, אבל אפילו הסתירות היו מאלפות. התברר לי כי כל האמיתות הבסיסיות הן עמוקות די הצורך להתעלות על סתירות למראית עין.

בגיל שמונה גיליתי את סדרת הספרים שגיבורה הוא טום סוויפט הבן. עלילותיהם של כל שלושים ושמונה הספרים (רק תשעה מהם ראו אור בעת שהתחלתי לקרוא אותם ב־1956) היו זהות: טום היה מסתבך בצרה צרורה, כזו שגורלם של טום וחבריו, ובמקרים רבים גורל המין האנושי כולו, היה נתון בגללה בכף המאזניים. טום פרש למעבדה שבמרתף ביתו כדי לחשוב על פיתרון לבעיה. ובכן, זה היה המתח הדרמתי שבכל ספר מספרי הסדרה: איזה רעיון רב תועייה ימצאו טום וחבריו כדי להציל את המצב?² מוסר ההשכל של המעשיות האלה היה פשוט: לרעיון הנכון הכוח הדרוש כדי להתגבר על אתגרים כבירים לכאורה.

עד עצם היום הזה אני מאמין באמונה שלמה בעיקרון הבסיסי הזה: יהיו הקשיים הניצבים בפנינו אשר יהיו – תקלות עסקיות, בעיות בריאות, תסבוכת ביחסים אישיים, שלא לדבר על האתגרים המדעיים, החברתיים והתרבותיים הגדולים של דורנו – תמיד יהיה רעיון שיאפשר לנו לגבור עליהם. זאת ועוד, יש ביכולתנו למצוא את הרעיון הזה. ולכשנמצא אותו, נצטרך להוציאו לפועל. הציווי הזה עיצב את חיי. כוחו של רעיון – הוא רעיון בפני עצמו.

זכור לי כי בערך בזמן שקראתי את טום סוויפט סבי – שגם הוא נמלט מאירופה עם אמי – חזר מביקורו הראשון באירופה עם שני זיכרונות חשובים. האחד היה היחס הנאה שזכה לו מצד אוסטרים וגרמנים, אותם אנשים עצמם שמפניהם נמלט על נפשו ב-1938. האחר היה ההזדמנות הנדירה שניתנה לו לגעת במו ידיו בכמה כתבי-יד מקוריים של לאונרדו דה וינצ'י. שני הזיכרונות הללו השפיעו עלי, אבל השני מביניהם היה זה ששב ועלה בדעתי פעמים רבות. הוא תיאר את החוויה ביראת קודש, כאילו נגע במעשה ידיו של אלוהים בכבודו ובעצמו. כלומר, זו הייתה הדת שעל ברכיה גדלתי: סגידה ליצירתיות האנושית ולכוחם של רעיונות. ב-1960, בגיל שתים עשרה, גיליתי את המחשב והוקסמתי מיכולתו ליצור מודלים של העולם ולשנות את פניו. הסתובבתי בין חנויות הציוד האלקטרוני המשומש ברחוב קנאל במנהטן (הן קיימות עדיין!) ואספתי חלקים לכניית התקני חישוב משלי. בשנות השישים הייתי שקוע לא פחות משאר בני גילי בתנועות המוזיקליות, התרבותיות והפוליטיות של התקופה, אבל באותה המידה שיקעתי את עצמי במגמה שהייתה אז הרבה יותר סמויה: הסדרה המופלאה של מכונות שהוציאה יבמ לשוק באותו עשור, החל בסדרת "7000" שלה (7070, 7074, 7090, 7094) וכלה ב-1620 הקטן, שהיה למעשה ה"מיני-מחשב" הראשון. המכונות הוצגו בשוק במרווחי זמן של שנה אחת, וכל אחת מהן הייתה זולה וחזקה מקודמתה, תופעה מוכרת היטב כיום. זכיתי בגישה ליבמ 1620 והתחלתי לכתוב תכניות לעיבוד סטטיסטי, ובהמשך, לכתיבת מוזיקה.

זכור לי אותו יום בשנת 1968 שבו הורשיתי להיכנס לחדר העצום, המאובטח, ששיכן את מה שהיה אז המחשב הכי חזק בניו אינגלנד, יבמ 360 מדגם 91 החדיש ביותר, בעל זיכרון "ליבה" מופלא של מיליון בתים (1 מגה-ביט) ומהירות מרשימה של מיליון הוראות בשנייה (1 מה"ש). המחשב הוצע בדמי שכירות של אלף דולר לשעה בלבד. לאחר שפיתחתי תוכנת מחשב להתאמת תלמידי תיכון למכללות, צפיתי מוקדם בנורות המרצדות על הלוח הקדמי של המחשב בתכנית גלויה לעין, שעה שהמכונה עיבדה את בקשותיהם של התלמידים.³ הגם שהכרתי כל שורת קוד על בוריה, היה לי בכל זאת הרושם כאילו המחשב שוקע במחשבה עמוקה כאשר התעמעמו הנורות לכמה שניות בסיום כל מחזור. ואכן, הוא היה מסוגל לעשות בעשר שניות, ובלי דופי, עבודה שנדרשו לנו עשר שעות לעשותה בעבודה ידנית וברמת דיוק הרבה יותר נמוכה.

כמציא בשנות השבעים התברר לי כי המצאותי חייבות להיות סבירות ביחס לטכנולוגיות התומכות בהן ולכוחות השוק שיתקיימו בעת שהמצאות יוצגו בפני

הציבור, שכן העולם כבר יהיה שונה מאוד מזה שבו הן עלו על דעתי מלכתחילה. התחלתי לפתח מודלים לאופן התפתחותן של טכנולוגיות נפרדות – אלקטרוניקה, תקשורת, מעבדי מחשב, זיכרון, אחסון מגנטי ועוד – ולאופן התפשטות השינויים הללו בשווקים, ובסופו של דבר במסודות החברתיים שלנו. התברר לי כי רוב ההמצאות נכשלות לא משום שמחלקת המו"פ לא הצליחה להביאן למצב פעולה, אלא משום שהתזמון לא היה מוצלח. תהליך ההמצאה דומה מאוד לגלישה על גלים: עליך לחזות את מהלך הגל ולתפוס אותו ברגע הנכון בדיוק.

התעניינותי במגמות הטכנולוגיה ובהשלכותיהן לכשה חיים משל עצמה בשנות השמונים, והתחלתי להשתמש במודלים שלי לחיזוי ולהטרמה של טכנולוגיות עתידיות – חידושים שיופיעו ב־2000, ב־2010, ב־2020 ומעבר לה. בדרך זו עלה בידי להמציא המצאות סבירות ביחס ליכולות העתיד, משום שהגייתי ועיצבתי אותן מתוך שימוש ביכולות העתידיות הללו. במחצית השנייה של עשור השמונים כתבתי את ספרי הראשון, **עידן המכונות הנבונות**.⁴ נכללו בו תחזיות נרחבות (ומדויקות במידה סבירה) לשנות התשעים ולעשור הראשון של המאה החדשה, והוא הסתיים בחזון הגעתה של בינת המכונה למצב שבו לא יהיה אפשר עוד להבדיל בינה לבין קודמתה האנושית – עדיין במחצית הראשונה של המאה העשרים ואחת. הייתה זו מסקנה כאובה בעליל, ואני, מכל מקום, מצאתי כי קשה לי להשקיף אל מעבר לתמורה הזאת, הקיצונית כליכך.

בעשרים השנים האחרונות למדתי להבין מטה־רעיון חשוב: כוחם של רעיונות לשנות את העולם הולך ומואץ בעצמו. הגם שרבים יקבלו בנקל את ההבחנה הזאת כשהיא מוצגת בניסוח פשוט, רק מספר מועט יחסית של משקיפים יעריכו נכונה את השלכותיה העמוקות. בתוך עשרות השנים הבאות תהיה לנו ההזדמנות להוציא לפועל רעיונות שיש בכוחם לגבור על בעיות עתידיות יומין – ולעורר תוך כדי כך כמה בעיות חדשות.

במהלך שנות התשעים עסקתי באיסוף נתונים אמפיריים על ההאצה הגלויה לעין של כל הטכנולוגיות הקשורות למידע, ושאתי לשכלל את המודלים המתמטיים שביסוד התצפיות הללו. פיתחתי תאוריה שנתתי לה את השם "חוק התשואות המואצות", כדי להסביר מדוע תהליכים טכנולוגיים, ותהליכים אבולוציוניים בכלל, מתקדמים בשיעור מעריכי.⁵ ב־1998 פרסמתי את ספרי **עידן המכונות החשובות**, שבו ביקשתי לתאר את טיבם של חיי האדם כפי שיתקיימו מעבר לנקודה אשר בה יטושטש הקו המפריד בין הקוגניציות של המכונה ושל האדם. ואכן, ראיתי את העידן הזה כשיתוף פעולה הולך ומתהדרק בין מורשתנו הביולוגית לבין עתיד המתעלה אל מעבר לביולוגיה.

אחרי שפרסמתי את **עידן המכונות החשובות**, התחלתי להרהר בעתיד הציוויליזציה שלנו וכיחס בינה לבין מקומנו ביקום. לכאורה, קשה לחזות בדמיון את יכולותיה של ציוויליזציה עתידית, שרמת תבונה עולה בהרבה על שלנו; אבל יכולתנו ליצור מודלים של המציאות כמוחננו מאפשרת לנו לנסח תוכנות משמעותיות בדבר המיזוג הממשמש ובא של חשיבתנו הביולוגית עם הבינה הלא

ביולוגיה שאנו יוצרים. ובכן, זהו הסיפור שאני מבקש לספר כאן. הסיפור מבוסס על תנאי יסוד אחד, והוא הרעיון שיש לנו היכולת הדרושה כדי להבין את בינתנו שלנו – אם תרצו, יש לנו גישה אל קוד המקור שלנו – ומכאן נוכל לשכלל אותה ולהרחיבה.

כמה משקיפים תוהים אם אמנם אנו מסוגלים ליישם את חשיבתנו להבנת חשיבתנו. חוקר הבינה המלאכותית (ב"מ) דאגלס הופשטטר שאל שמא "רצה הגורל ומוחנו חלש מכדי שיוכל להבין את עצמו. ראו למשל את הג'ירף הצנוע, שמוחו נחות בעליל מהרמה הדרושה להבנה עצמית – ובכל זאת הוא דומה להפליא למוחנו שלנו".⁶ אבל כבר הצלחנו ליצור מודלים של חלקים של מוחנו – של תאי עצב ושל אזורים נוירוניים נרחבים למדי – ומורכבות המודלים האלה הולכת ועולה במהירות. התקדמותנו בהנדסה ההפוכה (reverse engineering) של מוח האדם (סוגיה מרכזית שאני עומד להרחיב עליה את הדיבור בספר זה) מוכיחה כי אכן יש לנו היכולת להבין את בינתנו שלנו, לבנות מודלים שלה ולהרחיבה. זהו אחד ההיבטים של ייחודו של המין האנושי: בינתנו גבוהה די הצורך מעל הסף הקריטי הנחוץ לנו, על מנת שנוכל להגדיל את יכולתנו ולהעלותה לרמות בלתי מוגבלות של כוח יצירה – ויש לנו הציוד (אגודלים מנוגדים) הנחוץ לעשיית מניפולציות ביקום כאוות נפשנו.

מילה אחת על כישוף: בימים שקראתי את ספרי טום סוויפט הייתי גם קוסם נלהב. אהבתי לגרום הנאה לצופים בטרנספורמציות בלתי אפשריות למראית עין של המציאות. בגיל הנעורים החלפתי את תעלולי הקוסמים שלי במיזמים טכנולוגיים. גיליתי שהטכנולוגיה, בניגוד למעשי תעתועים סתם, אינה מאבדת מכוחה הנשגב כאשר סודותיה נחשפים. לעתים קרובות אני נזכר בחוק השלישי של ארתור צ' קלרק, הקובע כי "כל טכנולוגיה מתקדמת די הצורך, אי-אפשר להבדיל בינה לבין כישוף".

השקיפו מנקודת ראות זו על סיפורי הארי פוטר של ג'ק רולינג. אולי הסיפורים הם פרי הדמיון, אבל אפשר לראותם גם כחזיונות – שאינם בלתי-סבירים לחלוטין – של העולם כפי שיהיה בעוד כמה עשרות שנים בלבד. כמעט כל "מעשי הכישוף" של פוטר יתגשמו באמצעות הטכנולוגיות שאני עומד לסקור בספר זה. משחקי קווידיץ' ומתן צורות שונות לאנשים ולחפצים יהיו אפשריים בסביבות של מציאות וירטואלית בהטמעה מלאה, ואף במציאות הממשית, באמצעות התקנים ננומטריים. היפוך כיוון הזמן (כמתואר בספר הארי פוטר והאסיר מאזקבאן) הוא עניין מסופק יותר, אם כי כבר הועלו הצעות רציניות להשגת משהו ברוח זו (כלי לחולל פרוקסים של סיבתיות), לפחות לגבי סיבות של מידע, שמהן אנו עשויים ביסודו של דבר (ראו את הדיון בפרק השלישי בגבולותיו העליונים של החישוב). כידוע, הארי מחולל את כשפיו באמצעות ההשבעות הנכונות. אין צורך לומר שגילוי ההשבעות הללו והשימוש בהן אינם דברים של מה בכך. הארי ועמיתיו צריכים להקפיד יתרה על הרצף, על הנוהל ועל ההטמעה – וזהו תיאור מדויק של התנסותנו עם הטכנולוגיה. השבעותינו הן הנוסחאות והאלגוריתמים

שביסוד הכישוף המודרני שלנו. הודות לרצף הנכון בדיוק, אנו יכולים להניע מחשב להקריא ספר בקול רם, להבין דיבור אנושי, לחזות (ולמנוע) התקף לב או לנבא את תנודותיו של תיק מניות. אם ההשבעה מחטיאה את המטרה בכהוא זה, הכישוף נחלש מאוד או אינו פועל כלל.

אפשר לערער על המטפורה הזו ולציין כי ההשבעות נוסח הוגארת הן קצרות, ומשום כך אינן מכילות מידע רב בהשוואה לקוד של תוכנה מודרנית, לדוגמה. אבל שיטותיה הבסיסיות של הטכנולוגיה המודרנית נוטות גם הן לקיצור. את עקרונות הפעולה של תוכנה מתקדמת, כגון זיהוי דיבור, אפשר לכתוב בעמודים ספורים של נוסחאות. פעמים רבות, הצעד החיוני קדימה הוא עניין של שינוי פעוט בנוסחה יחידה.

את אותם הדברים אפשר לומר על "המצאות" האבולוציה הביולוגית: ראו למשל את ההבדל הגנטי בין שימפנזים ובני אדם – רק כמה מאות אלפי בתים של מידע. אכן, השימפנזים מגלים הבהובים אינטלקטואליים ברמה מסוימת, אבל ההבדל הפעוט הזה בגנים שלנו הוא המפתח ליכולתם של בני מיננו ליצור את כישוף הטכנולוגיה.

מיוריאל רוקייזר אמרה ש"היקום עשוי מסיפורים, לא מאטומים". בפרק השביעי אני מתאר את עצמי כמי שרואה את תבניות המידע כמציאות הבסיסית. לדוגמה, החלקיקים שמהם עשויים מוחי וגופי מתחלפים באחרים בתוך כמה שבועות, אבל יש המשכיות בתבניות שיוצרים החלקיקים הללו. את הסיפור אפשר לראות כתבנית משמעותית של מידע, ולכן יכולים אנו לפרש את האמירה של מיוריאל רוקייזר מנקודת ראות זו. ואם כך, הספר הזה הוא סיפור ייעודה הגורלי של ציוויליזציית אדם־מכונה, ייעוד שהתחלנו לכנותו בשם הסינגולריות.