

לשבור את
האקסיומה החמישית
וסיפורי מדע אחרים

רן לוי



אודות המתר

רן לוי הוא סופר מדע ותיק אשר כותב למגוון אתרים וירחונים כגון Ynet, כלכליסט, אודיאסה, גלילאו הצעיר ועוד. מהנדס חשמל בהשכלתו. ערך וכתב את 'דמיקולי', מדור ההומור והסאטירה של מגזין הסטודנטים בטכניון.

ספרו הראשון, 'פרפטום מובילה: על פיזיקה, מכונות נצח ושרלטנים', יצא לאור בהוצאת 'ספריית מעריב' בשנת 2007 וזכה לשבחים רבים מהביקורת. ספרו השני, 'האוניברסיטה הקטנה של המדעים', יצא לאור ב-2009 בהוצאת 'מדריכי גורדון' ונתקבל באופן דומה.

ב-2007 הקים את הפודקאסט 'עושים היסטוריה', תוכנית רדיו אינטרנטית העוסקת במדע, טכנולוגיה והיסטוריה. 'עושים היסטוריה' היא כיום הפודקאסט הישראלי העצמאי המואזן ביותר, עם קרוב ל-750 אלף האזנות נכון ליוני, 2012.

נשוי ואב לשניים.

פרטים נוספים על רן תמצאו ב-www.ranlevi.com

הקדמה

ספר זה נולד מסקרנות.

אחת התשוקות שליוו אותי מאז הייתי ילד הייתה הרצון להבין איך דברים עובדים. כיצד ממריאים מטוסים אל השחקים? כיצד פועל מחשב? כיצד פועל מוחנו? סקרנות זו לא נטשה אותי גם כשהתבגרתי, והיא הסיבה שבעטייה התחלתי לכתוב על מדע וטכנולוגיה: אני נהנה מהתחקיר לא פחות משאני נהנה מהכתיבה עצמה.

אחד האתגרים הגדולים שבכתיבה על מדע וטכנולוגיה הוא להתגבר על פחדם של הקוראים. הניסיון המצטבר לימד אותי כי סקרנות הטבעית שהייתה לנו כילדים אף פעם לא נעלמת, אבל רבים מאיתנו מחניקים אותה בגלל שאנחנו חוששים שנושאים כמו פיזיקה, חשמל ורפואה הם מסובכים מדי. רופאים מבלים שנים ארוכות על ספסל הלימודים כדי להתמחות באיבר יחיד של הגוף האנושי. מתמטיקאים ממלאים דפים שלמים באותיות יווניות. אלברט איינשטיין היה גאון- איזה סיכוי יש

לנו, האנשים הרגילים, לרדת לעומקה של תורת היחסות?

טעות לחשוב כך. ככל שהתבגרתי גיליתי שלמרות שתחומי עשייה אנושית רבים נראים על פני השטח מורכבים ומסובכים- אם מפשיטים מהפיסיקה, הרפואה והאלקטרוניקה את הז'רגון הייחודי שמאפיין כל אחד מהם ומקלפים את הפרטים הקטנים מגלים שעקרונותיהם הבסיסיים לרוב פשוטים הרבה יותר מכפי שהם נראים. לא צריך לדעת איך לבנות טלפון סלולארי כדי להבין איך הטלפון עובד, ואפשר להבין את תורת היחסות גם אם לא נצליח לבנות חללית במו ידינו. ניתן להנות מטעמה של עוגה, גם אם לא אנחנו אלו שאפינו אותה. אם מתגברים על החשש, מגלים לפתע עד כמה מדהים ומרתק הוא העולם שסביבנו. מטרתו של ספר זה היא, אם כן, לחשוף את היופי הכמוס במדע, בטכנולוגיה ובאמנות.

המאמרים המופיעים בספר הופיעו, במקור, כפרקים בפודקאסט (תוכנית רדיו) שהקמתי: "עושים היסטוריה". מגוון הנושאים ותחומי הידע האנושי עליהם מתפרס הספר גדול למדי: מאנתרופולוגיה ועד אסטרונומיה, מפיסיקה ועד פסיכולוגיה, ממדע בדיוני ועד פיסול. בכל תחום בחרתי להתמקד בתעלומה מסקרנת כלשהי, ודרכה לפתוח חלון אל

הרעיונות הבסיסיים והמהותיים שלו. כמעט תמיד
בחרתי להיעזר בסיפורה האישי של דמות אנושית
מרתקת הקשורה לתעלומה המדוברת.

אני חב תודה לאנשים שסייעו לי להפיק ולהוציא את
הספר האלקטרוני הזה לאור. תודה לדינה בר-מנחם,
שערכה את הספר וליטשה אותו. תודה לויקטור בן-
עזרא שסייע אף הוא בעריכת כמה מהפרקים
המוקדמים של 'עושים היסטוריה!' המופיעים בספר.
וכמובן, לכל מאזיני 'עושים היסטוריה' אשר מלווים
את התוכנית מאז הקמתה.

קריאה מהנה,

רן לוי

חיפה, 2012

לתגובות, הצעות ותיקונים: ran@ranlevi.com

1. הקוף שידע לאהוב, או - מדוע התחלנו ללכת על שתיים?

תחשבו על זה בפעם הבאה שתשבו מול המחשב, על הכיסא הנוח, במשרד הממוזג שלכם. אי שם בסוונות הלוהטות של אפריקה, יש קרוב לוודאי כמה מדענים שהיו שמחים מאד להתחלף אתכם. הם שוכבים פרקדן על האדמה, מאובקים ומזיעים כהוגן, בעודם מחלצים בעדינות אין קץ פיסות עצם זערוריות מתוך הקרקע.

אין פלא, אם כן, שכשמגיעה השעה להפסקה, הפלאואנתרופולוגים - חוקרי מוצא האדם - מחפשים משהו שיסיח את דעתם מהעבודה הקשה. בשנת 1976, באתר לטולי (Laetoli) הנידח באתיופיה אפשרויות הבידור היו מוגבלות למדי. זו הסיבה לכך שהחוקר הצעיר אנדרו היל (Hill) מצא את עצמו מנסה נואשות להתחמק מ... צואה של פילים. את

הצואה השליכו עליו חבריו למשלחת. הוא שאמרנו, אפשרויות בידור מוגבלות.

לאחרי שהתחמק מהמטח הריחני, זינק היל לתוך שוחה צדדית כדי לחפש צו... זאת אומרת, תחמושת לעצמו. בזווית העין הבחין בשקעים קטנים שבקרקע. במבט מבקורב זיהה שמדובר בעקבות בעלי חיים - עקבות שהוטבעו באפר וולקני אי שם בעבר הרחוק, האפר התקשה מאז והפך לסלע מוצק. לצד עקבות בעלי החיים נתגלו מספר עקבות שנראו דומות להפליא ל... כפות רגליים אנושיות.

כעבור שנתיים התייצבה בלטולי משלחת בראשותה של אחת המדעניות המפורסמות בהיסטוריה של חקר מוצא האדם - מארי ליקי (Leakey). החוקרים עבדו במרץ וסרקו מאות טביעות שנשתמרו בסלעים: כפות רגליים של חזירים, אנטילופות, ציפורים ועוד אינספור בעלי חיים. יום רדף יום, אך טרם נתגלו עקבות שניתן לומר עליהן במידה גבוהה של ודאות שהן של רגליים אנושיות. מארי ליקי החליטה להרים ידיים ולזנוח את האתר, אך אחד החברים במשלחת הפציר בה לעשות מאמץ אחרון: "יש כמה טביעות רגליים", הוא אמר, "שנראות מבטיחות ביותר." מארי הסכימה להקצות לעקבות הללו משאבים מינימליים

ושלחה את איש התחזוקה של המשלחת, מקומי בשם נדיבו, לבדוק אותן.

נדיבו לא אכזב. הוא חזר למחנה וסיפר כי מדובר למעשה בשני זוגות של טביעות רגליים - והן אנושיות לחלוטין.

אי-שם בעבר הרחוק, לפני כשלוש וחצי מיליוני שנים, הלכו שני ייצורים אנושיים לנהר. הם הלכו בקצב מתון, ללא חיפזון. אחד מהם היה כנראה גבר, והשנייה אישה. האישה הלכה בכבודות מסוימת - אולי הייתה בהיריון, או אולי אחזה בזרועותיה תינוק קטן. קשה להיות בטוחים בכך, אבל ייתכן מאוד שמאחוריהם, מדשדש בעקבות הגבר הגדול, הלך זאטוט - אולי ילדם הבכור של הזוג. תאור זה של משפחה בת מיליוני שנים, הסעיר את דמיונם של רבים מרחבי העולם. זהו ממצא ייחודי בתולדות המדע: פיסת אנושיות ברורה מתקופה שכל מה שנותר ממנה הוא רק שלדים, השערות וניחושים.

שימו לב לפרט אחד קטן בסיפור המופלא הזה, פרט שקל לפספס כיוון שהוא נדמה כמובן מאליו: הם הלכו.

לעובדה פשוטה זו יש חשיבות אדירה בסיפור, כיוון שהיא זו שמחברת אותנו אל בני אותה משפחה

אלמונית. אם העקבות היו של בעל חיים הולך על ארבע, אף אחד לא היה מתרגש מהתגלית : נו, טוב! עוד קוף אפריקני... אבל הייצורים הללו הלכו על שתיים, ולכן אנו מסוגלים לתפוס אותם כאנושיים, להזדהות עם האם שאוחזת בתינוקה, או עם האב שמגונן על משפחתו בדרכה אל הנהר. אחרי הכול, אם נתעלם מציפורים ומבעלי חיים פשוטים יותר, הליכה על שתיים היא תכונה ייחודית לבני האדם. כפי שנראה בהמשך, ייתכן שההליכה על שתיים היא גם אולי המפתח להיווצרות תכונות אנושיות אחרות.

בשנת 1994 חשפה משלחת אחרת שפעלה באתיופיה, הפעם בראשותו של הפלאואנתרופולוג טים וויט (White), שלד של הומינין - ייצור אנושי קדום - בן 4.4 מיליוני שנים. ברוב המקרים כל מה שנשאר משלדים כה עתיקים הם רק כמה שיניים בודדות ואולי עצם אחת או שתיים, אך שלד זה היה יוצא דופן: כמעט מחצית מעצמות הגוף נשתמרו. זהו ממצא מדהים כיוון שאם לוקחים בחשבון שהגוף הוא סימטרי, ניתן לשחזר מהממצאים כמעט את השלד כולו.

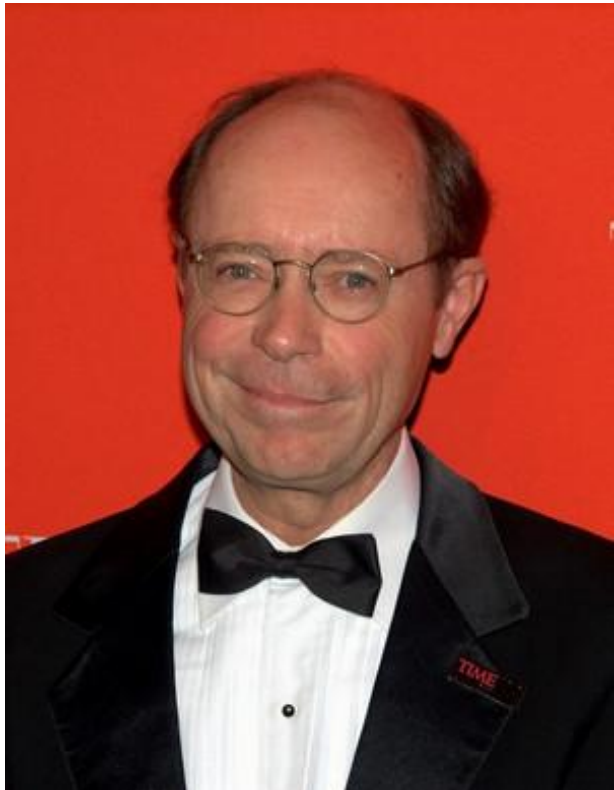
התגלית של וויט סיקרנה את הקהילה המדעית כיוון שהיה מדובר בשלד האנושי הקדום ביותר שנתגלה עד אז. אף על פי כן, ההתרגשות מהממצא לא

הרקיעה שחקים: ההנחה הראשונית של החוקרים הייתה שמדובר בהומינין השייך למין שכמה וכמה שלדים אחרים שלו כבר נתגלו בעבר. אך כשהחל טים וויט לנתח את האנטומיה של השלד שגילה, הוא לפתע הבין שמדובר בסוג חדש לגמרי של הומינין. הסוג החדש, שטרם היה מוכר למדע, ניחן באנטומיה ייחודית מאד... וויט אמר עליו שאופן תנועתו כמו לקוח מתוך סצנת החייזרים המפורסמת בקנטינה של 'מלחמת הכוכבים'. השם שניתן להומינין החדש היא 'ארדי-פיתקוס רמידוס' (Ar. Ramidus), השלד הספציפי שנחשף על ידי וויט זכה לכינוי החיבה 'ארדי'.

כמעט בבת אחת ירד מסך כבד של חשאיות על המחקר כולו.

עשרות מדענים משש עשרה מדינות עבדו על הפרוייקט, חמישים מהם בדרגת דוקטור ומעלה, אבל שום פרט לא דלף החוצה במשך חמש עשרה שנים תמימות. היו מי שכינו את המחקר של וויט 'פרוייקט מנהטן של הפלאואנתרופולוגיה', על שם הפרוייקט הסודי מימיי מלחמת העולם השנייה. כל שאר הפלאואנתרופולוגים עקבו אחריו בסקרנות גלויה: מה, לכל הרוחות, גילה טים וויט בשלד של 'ארדי' שמצדיק רמת חשאיות כזו? אנשים ניתחו כל

מאמר של וויט וכל פליטת פה שלו כמו שמנתחי
המודיעין של ה-CIA התעמקו במאמרי המערכת של
'פרבדה' בימי המלחמה הקרה.



איור 1: טים וויט

ואז, באחד באוקטובר 2009, יצא לאור גיליון מיוחד של המגזין 'סיינס'. היו בו לא אחד, לא שניים אלא אחד-עשר מאמרים שהוקדשו כולם ל"ארדי-פיתקוס רמידוס". גיליון מיוחד שכזה נדיר בפני עצמו, ועל אחת כמה וכמה שבתחום הפלאואנתרופולוגיה מעולם לא אירע משהו דומה. כדי להבין טוב יותר את משמעות הממצאים המפתיעים שתוארו במאמרים האלה, כדאי לחזור אחורה מעט, אל הימים הראשונים של חקר מוצא האדם.

הקשר בין האדם המודרני והקופים הגדולים - השימפנזה, הגורילה והאורנג אוטנג - היה ברור לעין שנים רבות לפני שהגה צ'רלס דרווין את תורת האבולוציה. אנחנו והקופים הגדולים חולקים מספר תכונות משותפות ייחודיות למדי בממלכת הטבע: חמש אצבעות, עיניים שפונות קדימה, ראיית צבע טובה וחוש ריח מזופת למדי. פה ושם אמנם נתגלו בקרקע שלדים מאובנים של יצורים 'כמעט אנושיים' - אבל רוב המדענים בחרו להתעלם מהרמזים המסקרנים הללו כיוון שלא נוצרה עדיין המסגרת המחשבתית הנכונה שתרשה לחקור את הדימיון בין הקוף לאדם. רק כשהבינו שכדור הארץ עתיק בהרבה משחשבו בתחילה ושאבולוציית בעלי חיים

היא עובדה קיימת - החלו להפנים את האפשרות שגם בני האדם התפתחו מייצורים קדומים יותר.

מובן שהעובדה שלנו ולקופים הגדולים יש תכונות משותפות אינה מעידה בהכרח על קרבה משפחתית. אם תשאלו את הנוצרים האדוקים בארצות הברית, אלה שמאמינים בתכנון תבוני ושוללים את האבולוציה, הם יאמרו לכם שגם במכוניות של טיוטה ומכוניות של פורד יש חלקים דומים מאוד - אבל כל אחת מהמכוניות תוכננה בידי מישהו אחר.

גילוי הדנ"א באמצע המאה העשרים היה נקודת מפנה בחקר מוצא האדם. ההשוואה בין הקוד הגנטי שלנו לזה של הקופים סיפקה הוכחות אמינות ביותר לקרבה המשפחתית שלנו אל קופי אדם, הוכחות מרשימות אפילו יותר מהדמיון הגופני בינינו. בגנום שלנו ושל הקופים הגדולים יש פגמים, מוטציות גנטיות. אם מוטציה גנטית אינה מזיקה לפרט שנושא אותה, היא לא תימחק מהקוד הגנטי: הגן הפגום לא יכול לייצר חלבון יותר, אבל הוא יישאר שם וימשיך להשתכפל מדור לדור על אף שהוא מיותר לגמרי. כיום אנחנו יכולים לזהות גנים פגומים שכאלה, או 'פסאודו-גנים', וניתן לראות בברור שלנו ולקופים יש מספר גדול מאוד של פסאודו-גנים משותפים. את העובדה הזו לא ניתן להסביר לפי האנלוגיה של

החלקים הדומים במכוניות טויוטה ופורד. המתכננים אולי יעתיקו זה מזה חלקים שעובדים, כמו הגה וגלגלים - אבל הם לא יעתיקו טעויות זעירות ומיותרות לחלוטין.

אחת הדוגמות המוכרות לגן פגום, שמשותף לבני אדם, לשימפנזה, לגורילה ולאורנג אוטנג הוא מוטציה גנטית שמונעת מאתנו לייצר ויטמין C בכוחות עצמנו. זו שגיאה גנטית ממוקדת מאוד, שהסיכוי שהתרחשה באופן בלתי תלוי אצל כל אחד מהמינים בנפרד הוא אפסי בכל קנה מידה. ההסבר הסביר היחיד לקיום השגיאה המשותפת הוא שהמוטציה הזו התרחשה בגופו של אב קדמון משותף והועברה אל צאצאיו.

נוסף על כך, ההשוואה בין הרצפים הגנטיים מספקת לנו מעין 'שעון ביולוגי'. אם מניחים שמוטציות גנטיות מופיעות בקצב קבוע למדי לאורך זמן, ניתן להסיק מתוך מספר המוטציות בכל אחד מהגנומים מתי הייתה הפעם האחרונה שבני אדם וקופי השימפנזה היו מסוגלים להתרבות זה עם זה ולהחליף גנים. במילים אחרות, ניתן למדוד כמה זמן חלף מאז שאנו והקופים התפצלנו מאותו אב קדמון משותף. השעון הגנטי הזה מראה שאנחנו והפרימטים חלקנו אב קדמון משותף לפני ארבעה עד שישה מיליוני שנים.

'ארדי', המאובן שחשף וויט באתיופיה, הוא כזכור בן 4.4 מיליוני שנים - עובדה שהופכת אותו לייצור הקרוב ביותר, מבחינה כרונולוגית, לאותה נקודת התפצלות.

ההנחה העקרונית בקרב המדענים הייתה שאותו אב קדמון של הקופים ובני האדם נע פחות או יותר כמו שימפנזה. הוא נתלה על העץ מהענפים ודילג מאחד לאחר באמצעות הנפת זרועותיו החסונות והלך על ארבע על הקרקע, כשפלג גופו העליון נשען על פרקי כף היד, במה שמכונה 'הליכת פרקים'. הליכת פרקים אינה הליכה על ארבע 'אמתית', כמו שכלבים וחתולים למשל, הולכים על ארבע. היא יעילה פחות ונוחה פחות - אבל היא מספיקה לצרכי הקופים.

מדוע חשבו כך החוקרים? מסיבה הגיונית לחלוטין: אם הגורילה והשימפנזה הולכים כך, סביר להניח שגם הם וגם אנחנו ירשנו את אופני התנועה האלה מהאב הקדמון המשותף - אבל זנחנו אותן כשעברנו ללכת על שתיים.

פרט להליכה על שתיים, מאפיין נוסף שמבדיל בינינו לקופים הוא נפח המוח שלנו: לקופים מוח קטן בהרבה, כמובן. השאלה שסקרנה את כולם לאורך חלק נכבד מהמאה העשרים הייתה, אם כן, 'מי קדם

למי': האם המוח התפתח לפני ההליכה על שתיים, או שמא ההליכה על שתיים הקדימה את התפתחות המוח?

התשובה לחידה נחשפה, בדומה לתגלית בלטולי, במקרה. בשנת 1974 חיפשו הפלאואנתרופולוגים דונלד ג'ונסון (Johnson) ועמיתו טום גריי (Gray) מאובנים מעניינים באתיופיה. באחד הימים עשו את דרכם חזרה מאתר החפירות אל המאהל שלהם כדי לאכול ארוחת צהריים. ג'ונסון החליט, ללא כל סיבה מיוחדת, שלא לחזור בדרך הרגילה אל המחנה אלא ללכת בשביל עוקף. כשהיה ממש לקראת סוף אותו השביל, צדה את עיניו עצם קטנה שבלטה מן הקרקע. בדיקה מהירה הראתה שמדובר בשלד בן 3.5 מיליוני שנים שנשתמר במצב מעולה. ג'ונסון וגריי היו מאושרים כל כך עד שהחלו לקפוץ במקום מרוב שמחה כמו שני ילדים בבית ספר. לאחר מספר שניות הם הבינו שאם ימשיכו לקפץ הם עלולים לרמוס את השלד, והפסיקו. באותו הלילה נערכה במאהל מסיבה סוערת לכבוד התגלית הנפלאה, ואחד השירים שהתנגנו ברקע היה ' Lucy in the Sky with Diamonds' של הביטלס. מישהו הציע לקרוא לשלד החדש 'לוסי', והשם תפס.

לוסי שייכת למין בשם 'אוסטרלופיתקוס' (Australopithecus), אותו מין אנושי קדום שאליו גם השתייכו, ככל הנראה, בני המשפחה שהטביעו את העקבות באתר לטולי. גובהם היה כמטר עד מטר וחצי, ופניהם היו דומים מאוד לפני קוף.

האם האוסטרלופיתקוס היו אבות האדם המודרני, ההומו-ספיאנס? קשה לומר. אנו יודעים שהיו לפחות חמישה עשר מינים שונים של הומינינים לאורך ההיסטוריה, וחלקם חיו זה לצד זה באותו הזמן ואולי אפילו התרבו זה עם זה. אף על פי כן, מכלול הממצאים שנתגלו לאורך השנים הביא לכך שאוסטרלופיתקוס נחשב בעיני רבים למועמד המוביל לתפקיד 'אבינו הקדמון'. מכאן גם ניתן להבין את חשיבותה של לוסי, השלד השלם ביותר של אוסטרלופיתקוס שנתגלה עד אז. החלק החשוב ביותר של לוסי, מבחינתם של החוקרים, היה האגן שלה.



איור 2: דונלד ג'ונסון לצד 'לוסי', השלד שגילה

בזמן הליכה, רגל אחת נמצאת באוויר והשנייה נוגעת בקרקע. בהעדר תמיכה משני הכיוונים, פלג הגוף העליון נוטה ליפול הצדה, לכיוון הרגל שבאוויר - אבל שרירי הגב, הבטן והירכיים מחזיקים אותו במקומו. נקודת העגינה של השרירים הללו היא אגן הירכיים.

קופים אינם מסוגלים ללכת זקוף, ולכן אינם זקוקים לשרירי גב ובטן חזקים. באגן שלהם אין נקודות עגינה איתנות לשרירים, ולכן צורתו של האגן שטוחה למדי. אגן הירכיים של לוסי, לעומת זאת, הוא קעור מאוד - בדומה לאגן הירכיים שלנו, ואפילו יותר. זו הוכחה ברורה לכך שהאוסטרלופיתקוס הלכו על שתיים: אין סיבה סבירה אחרת לצורתו הקעורה של האגן. בנוסף, ללוסי היה מוח קטן שנפחו כ-300 עד 350 מיליליטר בלבד, כחמישית בלבד מנפח מוח אדם מודרני. עובדה זו אישרה את הערכותיהם של מרבית החוקרים בתחום: ההליכה על שתיים התפתחה לפני המוח והאינטליגנציה.

כמו תמיד, תשובה זו העלתה שאלה חדשה ומסקרנת לא פחות: מדוע התחלנו ללכת על שתיים מלכתחילה? מה היה "רע", בלהמשיך וללכת על ארבע, כמו שאר בעלי החיים? הרי הליכה על שתיים יכולה להוות חיסרון של ממש מבחינה אבולוציונית. למשל, אחת ההתאמות האנטומיות להליכה זקופה

היא שינוי באצבעות כף הרגל, ובמיוחד בבוהן. אצל הקופים, הרגליים הן בסך הכל עוד זוג ידיים: יש להם אצבעות ארוכות ובהונות בניצב לכף הרגל, כמו האגודל שלנו. זו הסיבה שהם מסוגלים לאחוז בענפים גם בעזרת רגליהם ולטפס על עצים ביעילות רבה. אצל בני האדם, לבוהן יש תפקיד חשוב במכניקת ההליכה: היא ה'עוגן' שמתחפר בקרקע בזמן הצעידה ומאפשר לנו לדחוף את הגוף קדימה. כדי לאפשר את הדחיפה הזו, הבוהן שלנו קצרה, עבה ופונה קדימה. זה מצוין להליכה, אבל לא כל כך טוב לשם טיפוס. גם בני אדם מסוגלים לטפס על עצים, כמובן, אבל בואו נהיה כנים - אנחנו די גרועים בזה. אם אתה מנסה לברוח מטיגריס ביער, תחרות ריצה היא כנראה לא אסטרטגיית ההישרדות המוצלחת בעולם, בלשון המעטה - אלא אם כן מדובר, כמובן, בשני אנשים שמנסים לברוח מהטיגריס, ובמקרה שכזה כל מה שצריך זה רק לנצח את האדם השני.

לאורך השנים הועלו כמה וכמה תאוריות אפשריות לסיבה שאבותינו עברו להליכה על שתיים למרות החסרונות הכרוכים בכך.

אחת התאוריות גרסה, למשל, שהזדקפות הייתה חיונית לשם תפעול כלים בעזרת הידיים. הפגם

העיקרי בתאוריה הזו היא שמוחנו לא היה מפותח באותו השלב ולכן נראה שלא יכולנו לתפעל כלים מתוחכמים בכל מקרה. תאוריה נוספת טענה שבני האדם נאלצו לעזוב את העצים ולעבור אל הסוונות המישוריות בעקבות שינויים אקלימיים שחיסלו את בית הגידול הטבעי שלהם. זה רעיון לא רע, אבל אין עדויות בפועל לשינויים אקלימיים שכאלה.

בחזרה אל 'ארדי', ואל המחקר החשאי של טים וויט שנסתיים, כזכור, אחרי חמש עשרה שנה בסדרה חסרת תקדים של מאמרים במגזין 'סיינס'. מדוע ארך המחקר זמן רב כל כך? היו לכך מספר סיבות. הראשונה היא שארדי היה במצב עדין מאוד וכל נגיעה קלה איימה לפורר אותו לאבק. נדרשו שנים של עבודה כדי לחשוף אותו באופן שיישמר את העצמות ללא פגע. השנייה היא רצון החוקרים לנצל את כל מגוון הכלים המתקדמים והטכנולוגיות החדשניות שעמדו לרשותם כדי לבחון את השלד: סקירות מיקרוסקופיות, אנליזות רדיואקטיביות, סריקות CT, מודלים ממוחשבים תלת-ממדיים ועוד ועוד. הסיבה השלישית היא טים וויט עצמו: כל מי שמכיר את הפלאואנתרופולוג מספר עליו שהיה פרפקציוניסט חסר פשרות, אדם פדנטי שהשקיע כמויות אדירות של אנרגיה ומאמץ בכל משימה

שלקח על עצמו. וויט, מוביל הפרוייקט, רצה שהתוצאה הסופית של המחקר תהיה אוסף מלא ומושלם של מסקנות ועובדות. הוא היה מוכן להשקיע כמה זמן שיידרש לשם כך.

לארדי, גילו החוקרים, היה אגן קעור ומכאן שהיה מסוגל ללכת זקוף. בנוסף, כף רגלו הייתה בעלת בוהן ניצבת, כמו לקופים, ולכן היה מסוגל לטפס על עצים בקלות יחסית. בדומה לקופים, זרועותיו ארוכות מאוד אבל אין בהן הסימנים האנטומיים שמעידים על 'הליכת מפרקים'. מבנה עמוד השדרה שלו הראה שלמרות ש'ארדי' בילה את רוב זמנו בין הענפים, הוא לא נתלה עליהם כמו שימפנזה אלא עמד על ארבע מעל הענף, כמו קוף מקוק למשל. במילים אחרות, אופי התנועה של ארדיפיתקוס רמידוס - כזכור, הוא האב הקדמון הקרוב ביותר לנקודת הפיצול בין האדם לשימפנזה - אינו דומה כלל לאופן תנועת שימפנזה. הנחת היסוד של המדענים לפיה ההליכה על שתיים התפתחה באופן כלשהו מ'הליכת פרקים' - שגויה לחלוטין! למעשה, 'הליכת פרקים' התפתחה אצל השימפנזות והגורילות באופן עצמאי, רק לאחר הפיצול בעץ האבולוציוני האנושי. גילוי זה לכשעצמו הוא רעידת אדמה בעולם הפלאואנתרופולוגיה, הנחת עבודה שעמדה בעינה

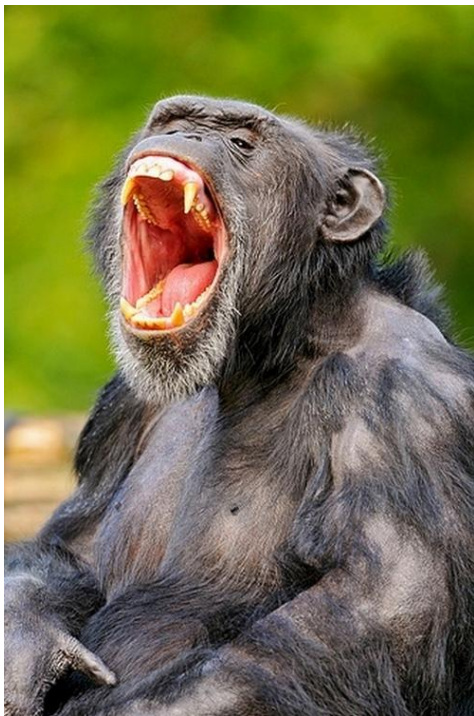
במשך יותר ממאה שנים התהפכה על ראשה לחלוטין.

וזה לא הכול. העובדה ש'ארדי' היה מסוגל ללכת על ארבע בנוחות ולאורך זמן, מעוררת שאלה לא פשוטה: אם הוא היה יכול ללכת על ארבע, מדוע בחר ללכת על שתיים כשהיה על הקרקע? ממצאים נוספים שחשפו מחקריו של וויט ועמיתיו נתנו מענה אפשרי גם לשאלה הזו, ועד כמה שזה נשמע מוזר - התשובה לא נמצאה ברגליו או בזרועותיו של 'ארדי', אלא... בפיו!

אם יצא לכם לראות שימפנזה זכר מאיים על זכר אחר בשבט, ודאי הבחנתם בניביו הענקיים: קשה לפספס את השיניים המפחידות האלה. הביולוגים מזהים קשר ברור בין הניבים ובין ההתנהגות המינית של הקוף: דרך זכר השימפנזה לזכות בלבה של הנקבה היא באמצעות הפגנת עליונותו על פני זכרים אחרים. הוא נוהם בפראות, מכה בחזהו, מתנפח באיום וחושף את ניביו האימתניים.

אצל הארדיפיתקוס רמידוס, ניבי הזכרים קטנים באופן משמעותי מניבי השימפנזה, בנוסף, ההבדלים בינם לניבי הנקבות קטנים בהרבה. עובדה זו עשויה לרמז על כך שאצל הארדיפיתקוס, חיזור באמצעות

עליונות אגרסיבית פינה את מקומו לחיזור מסוג
אחר.



איור 3: ניבי שימפנזה

איזה סוג של חיזור? התשובה לשאלה זו היא הממצא המרתק והשנוי ביותר במחלוקת במחקר כולו. אחד מהחוקרים הבכירים של הפרוייקט, פרופ' אוון לבג'וי (Lovejoy), טען במאמרו שהארדיפיתקוס החליפו את האגרסיביות בשיטת החיזור האנושית המוכרת לנו כיום: ההבטחה למונוגמיה.

מונוגמיה, כפי שיודעים הביולוגים זה מכבר, קשורה בטבע בקשר הדוק להתנהגות אבהית כלפי הצאצאים: אם יש לך צאצאים מנקבה אחת בלבד, כדאי לך לדאוג להם - ואם אתה דואג להם, כדאי לך להישאר בסביבה ולוודא שהם באמת שלך. הזכרים השתדלו להפגין את רצינותם ומסירותם בפני הנקבות, ולהראות להן שאינם מתכוונים פשוט 'לעשות את המעשה' ולהתחפף מהשטח - אלא שכוונתם להשקיע את כל מרצם בהגנה על הצאצאים ובסיפוק צרכיהם. דרך אפשרית לעשות זאת היא לסייע באיסוף המזון ולהביאו אל הנקבה ששומרת על התינוקות. כדי לאסוף מזון ולשאת אותו, הזכרים היו זקוקים לידיים פנויות. ידיים פנויות פירושו הליכה על שתיים.

יש משהו קוסם בתאוריה הזו, סוג של הגיון פנימי מסוים. אם הזכרים החלו לשתף פעולה עם הנקבות בגידול הצאצאים, פירוש הדבר שהצאצאים לא היו

חייבים לדאוג לעצמם החל מהשנייה הראשונה שלהם מחוץ לרחם אימם. אצל הקופים, תינוק בן יומו כבר מסוגל להיאחז בפרוות אימו גם בעזרת כפות הרגליים, ולהתלות עליה לאן שתלך. לתינוקות אנושיים, בעלי בוהן קצרה, אין יכולת אחיזה כה מוצלחת. עובדה זו מדרבנת את האם האנושית להישאר במקום אחד ולגדל את הילד, בהנחה שהאב ידאג למזון. אם האם מקדישה את כל זמנה לגידול הצאצא, התינוק יכול ל'הרשות לעצמו', כביכול, להמשיך ולהתפתח זמן רב יותר לאחר הלידה - ולפתח מוח גדול יותר. המוח הגדול יאפשר לו לעשות שימוש טוב יותר בידיים הפנויות, ולהשתמש בכלים מתוחכמים - שבתורם יאיצו את ההתפתחות המוחית, שיאפשרו כלים מתוחכמים יותר וכן הלאה וכן הלאה.

חשוב להבהיר שמדובר בסך הכל בתאוריה, ולא כל החוקרים מסכימים לה. יש רבים שטוענים שפרופ' לבג'וי הלך רחוק מדי בפרשנותו לניבים המוקטנים של 'ארדי', ושהוא משליך על הארדיפיתקוס התנהגות וערכי מוסר של האדם המודרני. יש הסברים אפשריים אחרים למעבר להליכה על שתיים, והם אינם מוצלחים פחות מתאוריית המונוגמיה של לבג'וי. למשל, היזקפות על שתי

רגליים מרחיקה את הגוף מהקרקע החמה, ומאפשרת לבעל החיים להתקרר ולווסת את חום גופו ביעילות גבוהה יותר. גם כאן אין צורך במוח גדול כדי לדרבן את האב הקדמון להזדקף ולהתחיל ללכת. למעשה, אין כל ודאות שארדיפיתקוס הוא אב קדמון של האדם המודרני. ברור שהוא חלק ממשפחת האדם, אבל איננו יודעים היכן בדיוק הוא ממוקם על העץ האבולוציוני. מי יודע, אולי הוא היה בסך הכל מבוי סתום: הוא וצאצאיו נכחדו, ואילו אנו התפתחנו מקוף קדום אחר.

אלו סימני שאלה שאי אפשר להתעלם מהם, אבל תאוריית המונוגמיה של לבג'וי מעניקה בכל זאת תשובה אפשרית סבירה, במידה זו אחרת, לשאלה האם וכיצד הביאה ההליכה על שתיים להתפתחותו של המוח האנושי המתוחכם כל כך.

קל לראות, עם זאת, מדוע מרתקת תאוריית המונוגמיה חוקרים רבים. היא טווה מעין חוט רציף שעובר לכל אורך ההתפתחות האנושית: החל מזכר הארדיפיתקוס רמידוס שמדדה על שתי רגליים לא יציבות כל כך כשהוא אוחז בידיו פירות ושורשים כדי להביא לבת זוגו; דרך זכר האוסטרלופיתקוס שמוביל את משפחתו אל הנהר בלטולי כדי לשתות או להתרחץ; וכלה בזכר ההומו-ספיאנס המודרני שהולך

עם בת זוגו יד ביד, על שפת המים, בשעת שקיעה.
כולם הלכו על שתיים... וכולם אהבו. בני אדם...
פחות או יותר.

2. בן דודו הלא-מוכר של ביגפוט: על דמויי-אדם מיתולוגיים

בשנת 1938 קיבלו עורכי המגזין 'דיסקברי' מכתב לא שגרתי. הכותב היה קצין בריטי אשר שירת על ספינה מול חופי מזרח אפריקה. במכתבו סיפר הקצין כי באחד הימים הוא הביט על החוף באמצעות משקפת על קבוצה של כמה עשרות בבונים אשר צדו סרטנים על החוף. לפתע הבחין בשני אנשים קטנים וחומים שיצאו מתוך השיחים שליד החוף, והתקרבו אל הקופים.

אלה לא היו בני אדם רגילים, כתב הקצין. גובהם היה כמטר והיה משהו 'קופי' בתווי פניהם ובאופן שבו זזו. הבבונים כלל לא היו מוטרדים מנוכחותם בתוך הלהקה. הקצין היה נרגש מאוד שכן הוא מעולם לא שמע על חיה שכזו באפריקה. זה לא מפתיע: גם המדענים אינם מכירים בעל חיים שכזה.

היצורים הקטנים והאנושיים-למחצה שתיאר הקצין הבריטי הם, ככל הנראה, 'אגוגוה' (Agogwe). מדובר בייצורים אגדתיים שסיפורים אודותם עוברים מפה לאוזן במדינות מזרח אפריקה. על פי התאור המקובל, האגוגוה הוא סוג של קוף אנושי: גובהו כמטר עד מטר וחצי, הוא שעיר מאוד, יש לו בהונות מנוגדות כמונו והוא הולך על שתיים. על פי סיפורי הציידים האפריקנים, האגוגוה מסוגלים לחמוק ממלכודות בקלות, מפגינים תחכום גבוה באופן יחסי ואף יכולת שימוש בכלים. יש להם מוניטין של 'עושי צרות': הם גונבים מזון, מפרקים מלכודות וכולי.

האוגוגוואה הוא קריפטיד: יצור מיתולוגי שדבר קיומו מתבסס על אנקדוטות וסיפורים בלבד - אין שום שלד, דגימת דנ"א או הוכחה מוצקה אחרת לגביו. 'קריפטוזאולוגיה' - ובתרגום מילולי: חקר בעלי חיים חבויים - היא התחום במדע העוסק בחקר היצורים המיתולוגיים והנסתרים. כאן, המילה 'מדע' בעייתית מעט: קשה לבנות דיסיפלינה מדעית רצינית שמתבססת על אגדות עם וסיפורים שעוברים מפה לאוזן.

סיפורו של האגוגוה נועד להמחיש את העובדה כי סיפורים על ייצורים דמויי אדם שמסתתרים בכל מיני חבלי ארץ ויערות נידחים נפוצים מאוד ברחבי העולם

ומלווים אותנו עוד משחר ההיסטוריה. יש עשרות מפלצות מיתולוגיות שכאלה, כמו ה'יטי' מטיבט, ה'אורנג-פנדק' בסומטרה, ה'היבגון' היפני, ה'אלמס' הקווקזי, ה'יואי' האוסטרלי ואביגדור ליברמן.

מאמר זה ינסה לנתח את תופעת דמויי-האדם המיתולוגיים ולענות על השאלה מדוע אנו, בני האדם, נמשכים אליהם כל כך? מדוע הייצורים הללו מרתקים אותנו וממשיכים להופיע בסיפורים ובתרבותנו גם בעידן המודרני? לצורך הדיון אעזר באחד מדמויי-האדם המיתולוגיים המפורסמים ביותר.

בשנת 1958 נכנס נהג בולדוזר בשם ג'רי קרו (Crew) למשרדיו של עיתון מקומי בקליפורניה. בידיו אחז יציקת גבס של טביעת כף רגל ענקית. ג'רי סיפר לעיתונאים שהוא וחבריו גילו כמה וכמה טביעות רגל ענקיות שכאלה ליד אתר בניה שבו עבדו, במקום המכונה 'בלוף קריק'. כשהתפרסמה למחרת הכתבה בעיתון, לייצור שהטביע אותן כבר היה שם חצי-רשמי: 'ביגפוט' (BigFoot).



איור 4: ג'רי קרו אווז בטביעת כף הרגל שמצא

למי ששכח במה מדובר או שאינו מכיר - הנה תיאור קצר של 'ביגפוט', או בשמו השני ססקווצ' (Sasquatch). מדובר במעין קוף גדול, שניים וחצי עד שלושה מטרים גובהו, הולך על שתי רגליים. גופו מכוסה שיער שחור או אדום-כהה ומבנה פניו דומה לזה של גורילה. הוא יוצא ממחבואו בעיקר בלילות ונראה שניחן בראיית לילה טובה. אזור מחייתו הוא צפון מערב ארצות הברית ומערב קנדה.

בשנת 2002 הלך לעולמו אדם בשם ריי וולאס (Wallace). וולאס היה אחיו של מנהל אתר הבניה שבו עבד ג'רי קרו, נהג הבולדוזר שגילה את 'ביגפוט'. לאחר שנפטר, חשפו בני משפחתו של ריי את הסוד ששמר, לטענתם, כל חייו: הוא זה שזייף את טביעות הרגליים הענקיות. הוא יצר לוח עץ בצורת כף רגל גדולה, ומתח את שאר העובדים באתר. בני המשפחה אפילו חשפו בפני התקשורת את כף הרגל המזוייפת עצמה, שנשמרה מאז במחסן כלשהו. לא כולם מאמינים להם. יש חוקרים שציינו שלוח העץ המדובר אינו דומה מספיק ליציקת הגבס שיצר ג'רי קרו, ושריי וולאס עצמו כנראה לא היה באתר הבנייה באותו היום. כיוון שחלפו עשרות שנים מאז, איש אינו יכול לשפוט לטובת צד זה או אחר בוויכוח.

תשע שנים מאוחר יותר, באותו המקום ממש, צולם סרטון הוידאו המפורסם ביותר בכיכובו של 'ביגפוט'. רוג'ר פטרסון (Patterson) היה אמריקני ש"התמחה" בחקר 'ביגפוט' וססקווצ', ואף כתב את אחד הספרים הראשונים שעסקו בנושא. בעשרים באוקטובר, 1967, יצאו פטרסון וחבר טוב שלו, אינדיאני בשם רוברט גימלין (Gimlin), לבלוף קריק. מטרתם המוצהרת הייתה לנסות ולתפוס את 'ביגפוט' בעדשת המצלמה לשם סרט דוקומנטרי שתכנן פטרסון.

בצירוף מקרים מוצלח - ויש מי שיאמרו, צירוף מקרים מוצלח מדי - בדיוק בשעה שפטרסון ורוברט גימלין נכנסו לבלוף קריק, הם נתקלו ב'ביגפוט'. המפגש הבלתי צפוי הבהיל את הסוסים שעליהם רכבו. נדרשו לפטרסון כעשרים שניות בערך להוציא את המצלמה ולרדת מהסוס, ואז החל לרדוף אחרי ה'ביגפוט' - או כפי שנסתבר מאוחר יותר, 'ביגפוטי' נקבה. במשך מספר שניות המצלמה רעדה כל כך עד שלא ניתן היה לראות שום דבר. כשהיה במרחק של כעשרים וחמישה מטרים ממנה הוא הצליח לייצב את עדשת המצלמה ולתעד את נקבת ה'ביגפוט' שהתרחקה ממנו בצעדים גדולים. רוברט גימלין שלף את רובהו, ונקבת ה'ביגפוט' הפנתה את ראשה כדי

להציץ בו. לאחר מכן המשיכה ללכת עד שנעלמה בין העצים.

בשנים שחלפו מאז, הסרטון של פטרסון-גימלי הפך ל"אייקון" החיפוש אחר 'ביגפוט' ולעדות המוכרת והחזקה ביותר לקיומו של הקוף הגדול. פטרסון הוזמן לעשרות תכניות אירוח וזכה לפרסום רב. מומחים לצילום, לאנטומיה, לזואולוגיה ולכל תחום אפשרי אחר ניתחו את הסרט מכל זווית אפשרית. כל פרט קטן נבדק לעומקו: החל מצורת הרגל, דרך מבנה השרירים והשיער ואפילו החזה שלה.



איור 5: תמונה מתוך הסרט של פרטרסון-גימלי

אבל גם במקרה הזה, הזמן שחלף חשף עדויות חדשות. בשנת 2002 החליט אדם בשם בוב הירונימוס (Heironimus) לשבור שתיקה בת שלושים שנה. הירונימוס, מכר של פטרסון בשנות השישים, סיפר שרוג'ר פטרסון הציע לו אלף דולר כדי שישים על עצמו חליפת קוף וישתתף בצילומים.

עדותו של בוב הירונימוס חוללה רעידת אדמה של ממש בקרב חוקרי 'ביגפוט', ורעידת אדמה נוספת התרגשה עליהם כשגיבור נוסף של הפרשה החליט לשבור שתיקה ארוכה - האמן שייצר את חליפת הגורילה. פיליפ מוריס (Morris) הוא יצרן תחפושות מוכר בהוליווד, ובראיון רדיופוני גילה שהוא זה שהכין את התחפושת עבור רוג'ר פטרסון - אבל לא ידע לאיזה צורך הוא זקוק לה. מוריס גם ייעץ לפטרסון כשזה שאל אותו איך ניתן לשוות לתחפושת מראה 'שרירי' יותר: הוא הציע לשים לאדם שבתוך החליפה פדים עבים לכתפיים, כמו אלו של חליפת פוטבול. כשפטרסון התלונן שעניי השחקן נראות מבעד לחליפה, מוריס הסביר לו שעליו לצבוע את פניו בשחור.

מדוע שמרו בוב הירונימוס ופיליפ מוריס על שתיקתם לאורך השנים? לכל אחד מהם היה תירוץ מתקבל על הדעת. הירונימוס טען שבתחילה קיווה שרוג'ר

פטרסון ישלם לו את אלף הדולר שהובטחו לו תמורת השתתפותו בסרט. כשהבין שלא יראה את הכסף, הסרט כבר היה מפורסם מדי והירונימוס חשש שמישהו אולי יחליט לתבוע אותו באופן אישי על השתתפותו בתרמית. פיליפ מוריס טען שלמרות שידע שמדובר בחליפה שלו מהרגע שבו ראה את הסרטון לראשונה, החליט לשמור על שתיקה מטעמים אתיים: מבחינתו, תחפושת היא כמו קסם - וקוסם אינו מגלה את קסמיו.

גם כאן יש חלוקה ברורה בין אלו שמאמינים להירונימוס ולמוריס, לאלו שחושבים שהם שקרנים. כמו במקרה של ג'רי קרו, שום עדות מוצקה התומכת בצד זה או אחר של הוויכוח לא שרדה את שיני הזמן. אף על פי כן, יש פרט קטן ומרתק שלקוח מתוך הסרטון עצמו, פרט שניתן להבחין בו רק במידה ובוחנים את הסרטון של פטרסון בדקדקנות, פריים אחר פריים. באותו הרגע ש'ביגפוט' הנקבה מפנה את מבטה אל המצלמה, מופיע נצנוץ זעיר של אור בעינה הימנית. יש משהו מוזר בהבזק האור הזה. אם מדובר בהחזרה של אור השמש אזי אותו הנצנוץ צריך היה להופיע, עקרונית, גם בעין שמאל. עדותו של הירונימוס פתרה את החידה הזו: עינו הימנית של הירונימוס היא עין מלאכותית, ועשויה מזכוכית.

רוג'ר פטרסון, בכל אופן, כבר אינו צריך לחשוש מפגיעה במוניטין שלו: הוא נפטר עוד בשנת 1972. רוברט גימלין ממשיך לטעון עד עצם היום הזה שהסרטון שצילמו הוא ופטרסון אותנטי ואמיתי לחלוטין.

החשיפה שהסרטון המפורסם הוא ככל הנראה זיוף, לא שינתה דבר וחצי דבר ממידת הפופולריות של 'ביגפוט'. גם בימינו יש אינספור חוקרים ומומחים לענייני 'ביגפוט', ספרים שנכתבים עליו, אתרי אינטרנט המוקדשים לו, יש לו חשבון טוויטר משלו ואפילו פרופיל פייסבוק עם יותר חברים מלכולנו יחד. נחזור אם כן, לשאלה שהועלתה בפתיחת המאמר: מה מקור המשיכה שלנו לייצורים המיתולוגיים האלה?

לאנשים שרודפים ומחפשים אחרי 'ביגפוט' ביערות של צפון מערב ארצות הברית יש מניעים שונים ומגוונים, אבל את רובם ניתן לזקק לשתי מוטיבציות בסיסיות. הראשונה היא השאיפה לכבוד ולתהילה: יש משהו מסעיר ורומנטי מאוד במרדף אחר המפלצת המסתורית הזו. מי שיצליח ללכוד את הייצור המסתורי הזה ולהוכיח את דבר קיומו ירשם בספרי ההיסטוריה. הספר שהוא יכתוב על התגלית יהיה רב-מכר בטוח. אם 'ביגפוט' יילכד חי או מת, זה

לא ממש משנה: חי זה נחמד, אבל גם מגופה אפשר להוציא דגימות דנ"א שיעשו את העבודה.

יש כאן, עם זאת, שאלה מוסרית מרתקת: האם זה בסדר להרוג 'ביגפוט'? מצד אחד, ברור שעוד סרטון ועוד תמונה של 'ביגפוט' הם חסרי תועלת. יש לנו מספיק מאלה, ושום דבר פרט לגופה אותנטית (לכל הפחות) לא ייחשב כהוכחה אותנטית לקיומו. אם תלחץ על ההדק, תוכל להיפטר כאן חידה מדעית בת מאות שנים. מצד שני... למה להרוג אותו? הרי ברור שמדובר בבעל חיים נדיר ובסכנת הכחדה. היית יורה בגורילה, או באורנג-גוטנג?

ויש, כמובן, גם שיקול נוסף. אתה עלול לגלות, אחרי שכבר לחצת על ההדק שה'ביגפוט' שהרגת הוא בסך הכל אידיוט בתוך חליפה של קוף. לא נעים.

המניע השני הוא סקרנות מדעית. מרבית המדענים שוללים לחלוטין את אפשרות קיומו של 'ביגפוט'. אם מניחים ש'ביגפוט' אינו יכול לחיות במשך מאות שנים, אזי כדי להסביר את נוכחותו ארוכת השנים צריכה להיות אוכלוסייה של 'ביגפוטים' - כמה מאות או אלפי פריטים, לכל הפחות. קשה להאמין שקבוצה כה גדולה של ייצורים כאלה מתקיימת לצדנו באחד האזורים המפותחים ביותר בכדור הארץ, ועדיין אין

לנו הוכחה חותכת לקיומם. זאת ועוד, עד כמה שידוע לנו היום, קופים גדולים מעולם לא חיו באמריקה הצפונית: שום מאובנים שלהם לא נתגלו עד כה.

גם העובדה שמדובר בקוף-אדם מרמזת על כך שמדובר, אולי, בתעתוע פסיכולוגי ותו לא. בריאן ריגל, היסטוריון של המדע, העלה נקודה מעניינת במאמר שכתב לפני מספר שנים. פעם, כותב ריגל, אנשי זאב היו ייצורים מיתולוגיים פופולריים מאד. החל מסוף המאה ה-19, הם נעלמו ופינו את מקומם לקופי-האדם המיתולוגיים כמו 'ביגפוט' ו'ייטי'. מדוע? בגלל עלייתה לגדולה של תורת האבולוציה. הקשר ההדוק שנוצר בין האדם והקוף הופך מיתוסים כאלה לסבירים, לפחות על הנייר, ובאותו הזמן הופך את השילוב של כלב ואדם ללא-קביל בהקשר הזה.

פה ושם אפשר גם למצוא מדענים שתומכים באפשרות ש'ביגפוט' אולי קיים, או לכל הפחות אינם שוללים אותה על הסף. אם רוצים, אפשר למצוא הסברים הגיוניים לעובדה שאף 'ביגפוט' אחד לא ניצוד עד היום. הרי הציידים, ובמיוחד בצפון אמריקה, חייבים לעמוד בדרישות החוק המחמירות: הם נדרשים ללבוש בגדים זוהרים, להשתמש רק בכלי נשק מסוימים ולירות רק על בעלי החיים שהוגדרו להם במפורש וגם אז - אך ורק בעונת הצייד. אם

'ביגפוט' הוא ייצור אינטליגנטי כפי שטוענים המאמינים בו, לא תהיה לו שום בעיה לחמוק מצייד שומר חוק.

כל הטענות הללו אולי נכונות, אבל הטענה הבסיסית של כל תומכי 'ביגפוט' היא שאנחנו פשוט לא יודעים הכול. והם צודקים. אנחנו באמת לא יודעים הכול. הנה דוגמה להפתעה שמאיימת לשנות את האופן שבו מבינים המדענים את ההתפתחות האנושית.

בשנת 2003 חפרו חוקרים אוסטרליים חפירה ארכאולוגית במערה באי 'פלורס', שבאינדונזיה. מטרתם הייתה לחשוף עדויות מאובנים שיאפשרו להם לתארך את הגעתם של בני האדם בפעם הראשונה מאסיה לאוסטרליה, דרך אינדונזיה. הממצא הראשון שנחשף היה גולגולת קטנה, כמו זו של ילד. שכבת הקרקע שבה נתגלתה הגולגולת התאימה לתקופה שבין שניים-עשר לתשעה-עשר אלף שנים לפני הספירה. עקרונית, זה לא צריך להפתיע אף אחד: האדם המודרני, ההומו ספיאנס, הגיע לאי פלורס כבר לפני כחמישים אלף שנה פחות או יותר.

אבל להפתעת החוקרים, סימני השחיקה שעל השיניים העידו על כך שמדובר למעשה בגולגולת של

מבוגר ולא של ילד. הם המשיכו וחשפו את השלד השלם: זו הייתה אישה כבת 30 אשר גובהה היה מטר אחד בלבד. לצורך ההשוואה, אפילו הפיגמים באפריקה גבוהים ממנה בכחצי מטר לערך. מאוחר יותר נתגלו עוד שמונה שלדים נוספים, זהים במבנה גופם הזעיר.



איור 6: פסל של הומו פלוריסיאנסיס במוזיאון הסמית'סוניאן, וושינגטון

השם המדעי שניתן ליצורים אלה הוא 'הומו פלוריסיאנסיס', אבל עד מהרה הם זכו לכינוי

'הוביטים'. היו להם כפות רגליים גדולות והם הלכו על שתיים. נפח מוחם היה קטן מאוד - קטן אפילו מזה של שימפנזה ממוצעת - אבל על רצפת המערה נתגלו כלי עבודה פשוטים שהתאימו בגודלם לכפות הידיים הקטנות. לצדם נתגלו שלדים של חיות גדולות מהם, שעצמותיהן היו מחורצות ושבורות באופן שהעיד על כך שההוביטים, ככל הנראה, צדו ואכלו אותם. בהתחשב בגודלם של הציידים ביחס לטרפם, סביר להניח שההוביטים צדו בחבורות - כך שאולי אפילו הייתה להם שפה פרימיטיבית כלשהי.

מי הם ה'הוביטים', ומה מקורם? זו אחת התעלומות הגדולות ביותר של המדע בעשור האחרון. הפיתרון לתעלומה הזו קשור בקשר הדוק לתשובה לשאלה מסקרנת נוספת: מדוע היו ה'הוביטים' נמוכים כל כך?

הממסד המדעי נחלק לשניים לגבי שאלה זו. יש לא מעט מדענים שטוענים שההוביטים שייכים בכל זאת להומו-ספיאנס, ושמדובר בסך הכול בפרטים שלקו במחלה או בתסמונת כלשהי שהביאה לעיוות גופני חריג. הרפואה מכירה מקרים פתולוגיים נדירים שכאלה.

הדעה הרווחת בקרב החוקרים, היא שה'הוֹבִיטִים' הם אכן סוג חדש ונפרד של בני אדם. אחרי הכול, ה'הוֹבִיטִים' הקטנים אינם הייצורים היחידים על האי פלורס שגודלם הפיזי היה בלתי שגרתי. אחד ממני בעלי החיים שההוֹבִיטִים צדו היה פיל ננסי שגובהו לא עלה על מטר וחצי. יחד אתם על האי חיו גם עכברושים, צבים ולטאות שצמחו לממדי ענק ביחס למינים המוכרים לנו כיום.

מדובר בתופעות מוכרות היטב המכונות 'ננסות איים' ו'ענקות איים'. עכברושים, למשל, נוטים להיות קטנים יחסית כדי להתחמק טוב יותר מאוייביהם הטבעיים. אבל על אי קטן ומבודד, כמו האי פלורס, אין מרחב מחייה מספיק כדי לכלכל אוכלוסיית טורפים גדולים - ולכן העכברושים יכולים לגדול במרוצת הדורות באין מפריע. תהליך דומה אבל הפוך מתרחש אצל בעלי החיים הגדולים. שטח המחייה המצומצם והשפע הדל, באופן יחסי, של מזון הכריח את הפילים לצמצם היקפים כדי לשרוד, וכך מתקבלים פילים ננסיים.

זהו הסבר אפשרי גם לגודלם הזעיר של ה'הוֹבִיטִים'. ייתכן והם צאצאי הומיניד קדום יותר אשר מצאו את דרכם אל האי פלורס, ואותם הלחצים הסביבתיים והאבולוציוניים שפעלו על שאר ייצורי האי פעלו גם עליהם. בסופו של דבר הם נכחדו, אולי כתוצאה

מהתפרצות הר געש שחיסלה מינים רבים של בעלי חיים אחרים על האי או אולי כתוצאה מהתמודדות לא-מוצלחת נגד ההומו-ספיאנס הגדול והחזק יותר.

עצם העובדה שלא ידענו ושלא הכרנו את קרובי המשפחה האלה עד לפני שנים ספורות מפתיעה לכשעצמה, אבל אולי מרמזת על כך שיש עוד ענפים בלתי מוכרים בעץ האבולוציוני של האנושות. גיגאנטופיטיקוס (*Gigantopithecus*), למשל, הוא קרוב לוודאי קוף-האדם הגדול ביותר שחי אי פעם: גובהו היה כשלושה מטרים, והוא כנראה התהלך זקוף או זקוף-למחצה. מאובנים מעטים של הגיגאנטיפיקוס נתגלו עד היום, ולכן איננו יודעים עליו הרבה: הוא חי באזור דרום מזרח אסיה לפני כחצי מיליון שנים - וזהו בערך.

רוב החוקרים מאמינים שכל הגיגאנטיפיקוס נכחדו, אם בסיוע אבותינו אם מסיבות אחרות. בכל זאת, בואו נשחק לרגע ב'מה אם': מה אם חלק מהקופים הענקיים הללו לא נכחדו לפני חצי מיליון שנה, אלא המשיכו לשרוד עד לא מכבר, כמו ה'הוביטים', או אולי אפילו עד ימינו? מה אם חלקם הצליח לשרוד, עבר להתגורר באזורי אקלים קרירים יותר ופיתח מנגנוני הישרדות שסייעו לו להתמודד עם הטורף הגדול ביותר שלו: אנחנו? למשל, העדפה לשטחי

מחייה מיוערים בכבדות, פעילות לילית ונטייה לביישנות ולהסתלקות מהירה ברגע שהוא רואה דמות אנושית. מזכיר לכם מישהו?

סיבה אפשרית נוספת לעובדה ש'ביגפוט' ממשיך להוות מעין 'אייקון תרבותי', היא העובדה שהוא שווה כסף רב מאוד לאנשים רבים מאוד. במקומות רבים שבהם נצפה 'ביגפוט' לאורך השנים התפתחה 'תיירות ביגפוט': חנויות מזכרות שמוכרות חולצות ופוסטרים, מדריכים שלוקחים את התיירים לסיבוב באתרים השונים, ערים שמארחות את הכנסים השנתיים של חוקרי 'ביגפוט' ועוד ועוד. התיירות הזו מכניסה מספיק כסף לכיס התושבים המקומיים, עד שבחלק מהמקומות הרשויות המקומיות משתפות פעולה באופן אקטיבי עם ההצגה הזו. מחוז ווטקום שבוושינגטון, למשל, הכריז על שטח השיפוט שלו כ'שמורת טבע לססקווצ'ים', לרבות כל הגבלות הציד והנהלים שמתלווים להגדרה הזו.

גם במגזר העסקי מנצלים היטב את העובדה ש'ביגפוט' הוא דמות מפורסמת. יש פיצה 'ביגפוט', רכב שטח 'ביגפוט', תחנות דלק, בירה ועוד מוצרים רבים ומגוונים שנושאים את השם הזה. 'ביגפוט' מופיע בפרסומות רבות, וגם עשה הופעות אורח בלא מעט סדרות טלוויזיה. סטיב אוסטין, 'האיש ששווה

שישה מיליון דולר', נלחם בו יותר מפעם אחת - ואפילו מק'גיוור, גיבור ילדותנו, נאבק בו באחד הפרקים של הסדרה. הציבור נחשף שוב ושוב למותג הזה, 'ביגפוט', והוא נצרב לנו בתודעה.

ראינו, אם כן, שלוש סיבות אפשריות לכך שהמיתולוגיה המודרנית של קוף-האדם המסתורי עדיין מלווה אותנו: המרדף אחר הכסף והתהילה, הסקרנות מדעית ואינטרסים עסקיים. כל השלוש הן סיבות מצוינות ללא ספק - אבל חסר כאן הסבר נוסף, הסבר שהוא אולי החשוב והמשמעותי מכולם: 'ביגפוט' הוא סיפור טוב.

המוח האנושי, כפי שיעידו כל הפסיכולוגים והסוציולוגים, מפגין רגישות מיוחדת לסיפורים. כולנו אוהבים לשמוע סיפור טוב, בכל גיל. אחד מהטריקים המקובלים של אמני זיכרון הוא להפוך רשימה אקראית של חפצים לסיפור: המוח זוכר טוב יותר עובדות כשהן בצורת סיפור. סיפורים 'נדבקים' לתאים האפורים שלנו בצורה יעילה. בסיפורים אודות 'ביגפוט' יש כל המרכיבים הנדרשים לסיפור טוב: דמות חזקה ודומיננטית, מסתורין אפוף ערפל, סכנה... קשה לנו, כבני אדם, להתנתק ולשכוח סיפור מוצלח כל כך. לכן הוא ממשיך להופיע בכותרות העיתונים, בתכניות טלוויזיה ובמאמרים כמו זה

שאתם קוראים בזה הרגע. הנה דוגמה שתדגיש את הנקודה הזו.

ב-1966 נסעו שני זוגות צעירים בכביש צדדי וחשוך לא רחוק מהעיירה 'פוינט פלזנט' שבמדינת וירג'יניה שבארצות הברית. הם חלפו ליד בית חרושת ישן, כשלפתע הבחינו בזוג נקודות אדומות ובוהקות לא הרחק משער הכניסה. כיוון שידעו שהמפעל היה נטוש עוד מימי מלחמת העולם השנייה, הם החליטו לעצור ולבדוק את פשר האורות האדומים. כשהתקרבו אל השער, הבינו שמה שהם רואים הוא למעשה זוג עיניים אדומות וגדולות שהציצו עליהם מתוך האפלה. לנגד עיניהם התרוממה דמות אנושית גבוהה מאחורי השיחים, פרשה זוג כנפיים ענקיות ונסקה לאוויר. כמובן שכל הארבעה נכנסו מיד לרכב וברחו משם כל עוד נפשם בם. הם טענו שהייצור המסתורי, או אולי אחד אחר זהה לו, המשיך לעוף לידם עוד כמה מאות מטרים עד שנעלם. כשחזרו שני הזוגות לפוינט פלזנט הם דיווחו על המקרה למשטרה המקומית, ומשם הגיע הדיווח גם אל העיתונאים. השם שניתן לייצור נלקח מאחת הדמויות בקומיקס 'בט-מן': 'איש העש', Moth Man.

במשך השנה וחצי הבאות נתקבלו עוד כמה עשרות דיווחים ממגוון אנשים אודות 'איש העש'.

גברים שעבדו בשדה סמוך למפעל סיפרו על דמות מכונפת שחלפה מעל ראשיהם. אישה שהלכה עם ילדיה סיפרה שראתה אותו מתרומם מאחורי מכונית. העדויות השונות תארו ייצור בעל חזות אנושית כללית, אבל עם פרצוץ משונה ומעוות, פרווה אפורה-כחלחלה שמכסה את גופו וזוג כנפיים ענקיות. לקראת סוף שנת 1967 התמעטו הדיווחים עד שהפסיקו כליל.



איור 7: פסל של 'איש העש' בעיירה פוינט פלזנט

כיום, 'איש העש' פופולרי פחות מ'ביגפוט'. הוא אינו מושך אליו ציידים רבים כל כך שתרים אחריו ביערות. הוא אינו מעורר שום סקרנות מדעית כיוון שהכלאה בין אדם ועש היא באמת רעיון שאפילו המדענים התמהוניים ביותר מתקשים לקבל. גם המותג 'איש-העש' אינו מוכר כל כך: פרט לאזור הקטן של פוינט פלזנט, קשה למצוא פיצות ורכבי שטח ובירות על שמו. ובכל זאת, האגדה על 'איש-העש' ממשיכה לחיות. בעיירה פוינט פלזט יש מוזאון קטן ופסל שמוקדשים לו, יש פסטיבל שנתי שמושך אליו תיירים, נכתבו עליו ספרים ובשנת 2002 אפילו עשו עליו סרט בכיכובו של ריצ'רד גיר ('נבואות איש העש'). הסיבה להצלחה הזו היא, אם כן, העובדה שהסיפור על 'איש-העש' הוא סיפור טוב.

אנחנו יכולים לנצל את העובדה ש'ביגפוט' ושאר חבריו המיתולוגיים הם סיפורים חזקים ורבי עצמה - גם אם בסופו של דבר כנראה מדובר בלא יותר משורת תרמיות וטעויות בזיהוי. היוונים הקדמונים השתמשו במיתולוגיה שלהם כדי להעביר לדורות הבאים את עקרונות המוסר שלהם: כך מותר להתנהג, וכך אסור. אנחנו יכולים לנצל את המיתולוגיה המודרנית שלנו כדי להעביר לציבור

הרחב ידע מדעי ותאורטי שקשה מאוד להעבירו בכל דרך אחרת.

במאמר זה, למשל, קראתם על ה'הוביטים' מפלורס ועל קופי-הענק שחיו בדרום מזרח אסיה. כמה אנשים היו קוראים את המאמר לו הייתי בוחר לקרוא לו: 'על ההומו פלוריסיאנאסיס והגיגאנטויפיתקוס?' אני חושב שהנקודה ברורה.

3. "הטיפול הברברי ביותר בתולדות הרפואה": על הלובוטומיה ואיברי פנטום

פיניאס גייג' (Gage) היה אדם שגרתי ככל הבריות. השנה הייתה 1848, וגייג' היה מנהל עבודה בפרוייקט הקמת מסילת ברזל חדשה ליד העיירה האמריקנית קוונדיש. גייג' בן העשרים וחמש היה טיפוס מוכשר במידה סבירה, עצמאי ומקובל בקרב חבריו לעבודה. הוא לא היה גאון הדור, אבל בהחלט היה לו די שכל בקודקודו כדי להסתדר בעסקי הבנייה. כל זה - ובמיוחד עניין ה'שכל שבקודקוד' - עמד להשתנות.

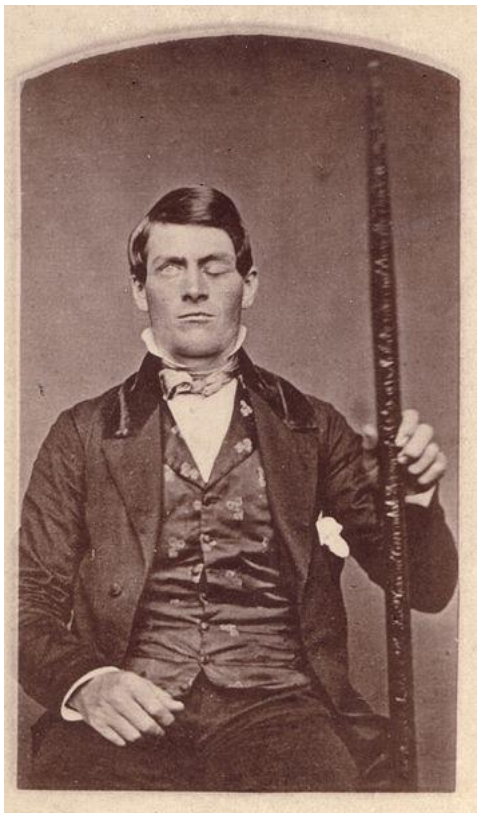
במהלך העבודה על מסילת הרכבת, נתקל הצוות של גייג' בסלע עיקש שחסם את הדרך. בהתאם לנוהל העבודה המקובל, קדחו הפועלים חור עמוק בסלע כדי להכניס לתוכו חומר נפץ. גייג' ניגש אל החור, העבודה עם אבקת השריפה המסוכנת הייתה

באחריותו. הוא היה אמור לשפוך את אבקת השריפה אל החור, להוסיף את הנפץ שיצית את הבעירה ואז לאטום את החור בחול ולהדק אותו בעזרת מוט ברזל ארוך.

גייג' עשה זאת - אבל שגה שגיאה חמורה: הוא שכח למלא את החור בחול. הוא החדיר את מוט הברזל לחור והפעיל לחץ ישיר על הנפץ. התוצאה הייתה התלקחות פתאומית של אבק השריפה בתור הסלע ולאחר מכן נורה מוט הברזל מתוכו כאילו היה פגז מתוך תותח - דבר שלא היה רחוק מהאמת.

גייג' לא הספיק להתחמק. מוט הברזל ננעץ בפניו, מתחת לעצם הלחי השמאלית, חדר אל המוח ואז שבר את הגולגולת בדרכו החוצה. המוט, שאורכו כמטר וחצי, חלף דרך מוחו של גייג' וננעץ בקרקע, עשרים וחמישה מטרים משם.

בתשעים ותשע פסיק תשע אחוזים מהמקרים, פציעה שכזו היא גזר דין מוות מידי כתוצאה מדימום מסיבי. אבל פיניאס גייג' לא מת. הוא אפילו לא איבד את הכרתו. הוא היה המום מעט, ונתן לחבריו לעבודה להוליך אותו - על רגליו, שימו לב - אל הכרכרה שלקחה אותו אל העיירה.



איור 8: פיניאס ג'ייג עם המוט שחלף דרך מוחו

הרופא המקומי, דוק' אדוארד וויליאמס, הוזעק אל הפצוע. הוא מצא את גייג' יושב על המדרגות בפתח בית מלון מקומי, ראשו בין ידיו, יורק דם מפיו. "מה קרה?" שאל הרופא את גייג'. הלה הרים את כובעו מעל ראשו, חושף את החור שנפער בקצה ראשו, והשיב: "יש כאן עבודה בשבילך, דוקטור."

דוק' וויליאמס הבין מיד שחיוו של גייג' ניצלו בנס: מוט הברזל החטיא את כלי הדם החשובים של המוח במילימטרים. העובדה שלמוט הברזל היה קצה מחודד מנעה, כנראה, נזקים חמורים יותר. אף על פי כן, לאיש לא היו אשליות לגבי עתיד מנהל העבודה הצעיר. הפצע שנפער בגולגולת היה עצום: כתשעה סנטימטרים אורכו וחמישה סנטימטרים רוחבו. דוק' וויליאמס עשה כמיטב יכולתו, ניקה את הפצע והחזיר חלק מהעצמות למקומן.

כעבור זמן קצר הצטרף אל וויליאמס רופא אחר, דוק' ג'ון הרלו. הרלו היה הרופא הבכיר מבין השניים, ולקח את גייג' תחת חסותו. הוא לקח אותו אל מרפאתו להמשך הטיפול. החמרה במצבו הבריאותי של גייג' התחוללה עשרה ימים לאחר הפציעה, כאשר זיהום פטרייתי התפשט בפצע הענק ואיים על חייו. במשך מספר ימים היה גייג' בהכרה מעורפלת בלבד וכמעט ולא תקשר עם הסובבים אותו. אבל גם

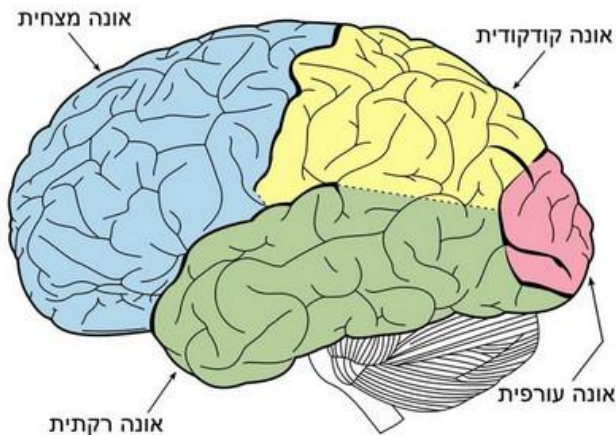
כאן שיחק המזל לגייג' הצעיר והזיהום חוסל בהצלחה. כנגד כל הסיכויים, נראה היה שפיניאס גייג' נמצא בדרכו להחלמה מלאה - אבל האם הייתה זו אכן החלמה מלאה?

מיד נשוב אל גייג', אבל לפני כן כדאי להבין טוב יותר את מהות פציעתו.

מוט הברזל ששיפד את גייג' חלף דרך אזור במוחו המכונה 'האונות המצחיות'. האונות המצחיות הן החלק במוחנו שנמצא בקדמת הגולגולת, ממש מאחורי העיניים והמצח. המוח מחולק לשכבות: השכבות הפנימיות הן הקדומות ביותר, שרידים לתקופות העתיקות באבולוציה. הן מטפלות בתפקודים הבסיסיים של החיים כמו נשימה, דופק וכולי. השכבה החיצונית מכונה 'המוח הגדול', והוא אחראי על התפקודים המתוחכמים יותר שהופכים אותנו ליצורים תבוניים - מחשבה, תכנון קדימה, תפיסה וכדומה.

בחלקו הקדמי של המוח הגדול נמצאות 'האונות המצחיות'. הן בוחנות פעולות מזיקות או מועילות, התנהגות אמפולסיבית ולא חברתית, ומנסות להבין את משמעות הדברים שאנו עושים היום ביחס לעתידנו. האונות המצחיות ממשיכות להתפתח גם

מעבר לגיל ההתבגרות, אל שנות העשרים לחיינו, וסביר להניח שלחוסר הבשלות של האונות המצחיות יש קשר להתנהגות הפרועה והאמפולסיבית של בני הטיפפ-עשרה... לא שזה עוזר להורים להתמודד אתם: מישהו כבר אמר פעם שרק אימהות לילדים בגיל ההתבגרות מבינות באמת מדוע יש חיות בטבע שאוכלות את צאצאיהן.



איור 9: חלוקת המוח לאונות

לאונות המצחיות יש מגוון תפקידים במוח, ועל חלקן נרחיב בהמשך. הדעה הרווחת היא שבאונות המצחיות נמצאת האישיות שלנו - אותו ניצוץ חמקמק וקשה להגדרה של מה שהופך אותנו למי שאנו ומפריד אותנו משאר בני האדם שסביבנו. מוט הברזל שחלף דרך רקמת המוח של גייג' אולי פספס את כלי הדם שלו - אבל פגע פגיעה ישירה באישיותו. הרופא האחראי על גייג', דוק' הרלו, היה הראשון שהבחין בשינוי בהתנהגותו. הוא כתב בגיליון החולה שגייג' מתנהג בצורה ילדותית מאוד ושקשה לשלוט עליו. כשהחלים גייג' וחזר לביתו, גילו גם בני משפחתו ומכריו עד כמה עמוקה הייתה השפעת הפציעה. מאדם מאוזן, שקול ואחראי, הפך גייג' לחסר מנוחה, נתון למצבי רוח משתנים וחסר התחשבות בחבריו. הוא לא היה מסוגל לתכנן קדימה ולדבוק בתכניות מוגדרות מראש. הוא אף החל לקלל בגסות, דבר שמעולם לא העז לעשות קודם לכן. חבריו סיכמו את העניין במשפט עצוב אחד - 'הוא כבר אינו פיניאס גייג'.'

אין מידע רב על קורות גייג' לאחר שהחלים מפציעתו. חברת הרכבות שהעסיקה אותו סירבה לקבלו בחזרה לעבודה בעקבות השינוי באופיו. גייג' נאלץ למצוא תעסוקה חלופית בתור נהג כרכרה. הוא נדד

לדרום אמריקה למספר שנים, ולבסוף הלך לעולמו כשתיים עשרה שנה לאחר התאונה, בשנת 1861.

מעניין לציין שחוקרים אחרים הצמידו לגייג', שלא בצדק, בעיות נוספות שכביכול נוצרו לאחר הפציעה: אלכוהוליזם, בזבזנות יתר, התנהגות אלימה ועוד. אין עדויות לכל אלה, וכנראה שלא יהיה זה הוגן להעמיס על גייג' המסכן בעיות נוספות מעבר לאלו שכבר היו לו.

סיפורו של פיניאס גייג' הפך לאחד המקרים הרפואיים המפורסמים ביותר בתולדות חקר המוח. גולגולתו המיוחדת ומוט הברזל שפילח אותה מוצגים לראווה עד היום בבית הספר לרפואה של אוניברסיטת הרוורד. אך עם זאת, הנס של גייג' לא תרם תרומה משמעותית להבנת אופן פעולת המוח. אף לא רופא אחד בחן את התנהגות גייג' בדיקה מעמיקה. בעיקר הייתה חסרה השוואה מדויקת בין אופיו לפני הפציעה ולאחריה, שכן עד רגע הפציעה גייג' היה אדם אנונימי לחלוטין. הנירוביולוגים המשיכו לגשש באפלה בניסיונותיהם לפענח את תפקיד האונות המצחיות. לאחר שישים שנה, הם קיבלו הזדמנות אמתית לבחון את כל מגוון ההשפעות הקשות של נזק לאונות המצחיות עם המצאת ניתוח ה'לובוטומיה' - ההליך הרפואי שזכה

לתאור הלא מחמיא: 'אחת הטעויות הברבריות ביותר בתולדות הרפואה המודרנית'.

בשנת 1890 החליט רופא שוויצרי בבית חולים לחולי נפש לנסות טיפול מהפכני במטופליו. הוא ניתח שישה מטופלים והסיר חלקים מהאונות המצחיות שלהם. אחד מהמנותחים נפטר במקום, אחר התאבד כעבור עשרה ימים, אבל אצל ארבעת האחרים חלו שינויי אופי מהותיים. הניסוי הראשוני עודד חוקרים אחרים לבחון את האפשרויות הגלומות בניתוח כריתת האונה לשם טיפול בפציינטים בעלי נכות מנטלית קשה: משוגעים, מפגרים המפגינים התנהגות אלימה, סוטי מין קיצוניים וכדומה. התקווה הייתה שהשינוי באופי שייגרם כתוצאה מהנזק לאונות המצחיות ישפיע עליהם לחיוב, שהרי הרבה יותר רע כבר לא יכול להיות.

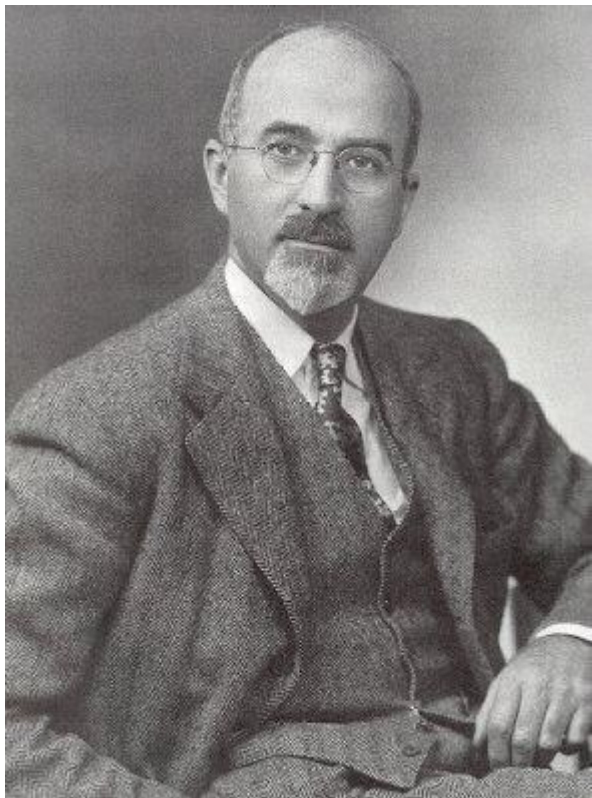
מי ששכלל את הטיפול היה הפורטוגזי אנטוניו מוניז (Muniz). הוא פיתח שיטה כירורגית מדויקת שאפשרה למנתח להגיע לאזורים ספציפיים בתוך האונות המצחיות ואז להשמיד אותם באמצעות הזרקת אלכוהול, או לנתקם משאר המוח באמצעות לולאת חוט מתהדקת שקרעה את הרקמה. הליך רפואי זה, שקיבל את הכינוי 'לובוטמיה' (מיוונית -

'לובוס' = מוח, 'טומוס' = לחתוך) זיכה אותו בפרס נובל לרפואה בשנת 1949.

אבל הרופא ששמו נקשר לעולמים עם ניתוח הלובוטומיה היה האמריקני דוק' וולטר פרימן (Freeman). פרימן החל לבצע ניתוחי לובוטומיה עוד כשהעניין היה בחיתוליו, בשנות השלושים של המאה העשרים. הוא לא היה מרוצה משיטות הניתוח המקובלות שרק מנתחים מומחים היו יכולים לבצען בבתי חולים בעלי ציוד רפואי מתקדם. פרימן ביקש להביא את ה'לובוטומיה' אל המקומות שנזקקו לו ביותר - בתי החולים לחולי נפש. שם נמצאו האנשים שהטיפול הזה עשוי היה להועיל להם, אבל דווקא שם לא היו רופאים מומחים או ציוד רפואי מתאים. דוק' פרימן קיווה למצוא דרך לבצע את הניתוח ב'תנאי שדה', אפשר לומר.

פתרוננו לבעייה הזו היה מדהים בפשטותו. כל המנתחים האחרים ניסו להגיע אל האונות המצחיות בדרך הקצרה ביותר - דהיינו, דרך המצח. פרימן החליט להגיע אל המטרה מכיוון אחר לגמרי, מהעיניים. התיאור הבא יישמע לרובכם מצמרר למדי, אבל מבחינה כירורגית הוא היה הברקה של ממש. העצם שבחלקה העליון של ארובת העין היא עצם דקה שניתן לדקור אותה ללא קושי, וזה מה

שעשה פרימן. הוא נטל מחט ארוכה וחדה, החדיר אותה מעל העין ודרך העצמות הדקות, ואז חדר מלמטה אל האונות המצחיות. כשהייתה המחט במקום הנכון, כל מה שנותר לפרימן לעשות הוא לנענע אותה מצד לצד, בסגנון מגב על שמשות מכונית ולחתוך את הרקמות.



איור 10: דוק' וולטר פרימן

ההשפעה של ה'לובוטומיה' הייתה דרמטית ביותר. בחלק מן המקרים השינוי היה לטובה, וההתנהגויות הקיצוניות נעלמו כלא היו נוסף על השינוי הרדיקלי באופיו של המנותח. בחלק אחר של המקרים, עם זאת, ל'לובוטומיה' הייתה השפעה הרסנית מעין כמוה. מנותחים רבים הפכו למפגרים החסרים יכולת דיבור, בוהים אוויר. קליפות ריקות.

עבור דוק' וולטר פרימן, הניתוח הזה היה כל מה שאי פעם קיווה להשיג. ההליך שהמציא לא דרש לפתוח את הגולגולת, ההתאוששות ממנו הייתה מהירה למדי, וההרדמה הייתה מקומית בלבד. בבתי המשוגעים, שם אפילו חומרי הרדמה היו נדירים יחסית, אפשר היה להמם את המנותח באמצעות שוק חשמלי למוח שגרם למנותח לאבד את ההכרה לכמה דקות.

כמה דקות, זה כל הזמן שהיה דרוש כדי לבצע את הניתוח. פרימן היה מאוהב ממש בהליך הרפואי שהמציא, והחל משווק את הייתרונות שבו באופן אגרסיבי. לא רק למשוגעים ייעד פרימן את ה'לובוטומיה': הוא המליץ עליו במגוון 'מצבים רפואיים' כגון ביישנות, מצבי רוח דיכאוניים ואפילו שובבות יתר. פרימן היה יותר מרופא - הוא היה 'שוואו מן'. הוא ביקש מהעוזרים שלו למדוד כמה מהר

הוא מסוגל להיכנס, לחתוך ולצאת מהמוח. הוא החדיר שתי מחטים לתוך שתי העיניים באותו הרגע או אצל שני חולים בבת אחת, וביצע מרתונים של ניתוחים - עד עשרים וחמישה ניתוחים ביום.

אחת המנותחות המפורסמות ביותר של דוק' פרימן הייתה רוזמרי קנדי - אחותו הצעירה של נשיא ארצות הברית, ג'ון פ' קנדי. רוזמרי הייתה הכבשה השחורה של משפחת קנדי המפוארת, בניה הכירו היטב את מסדרונות השלטון בוויינגטון. היא סבלה מקשיי למידה, הייתה ביישנית ועצורה מאוד והוריה חשדו שהיא סובלת מפיגור שכלי קל. כשהייתה רוזמרי בשנות העשרים המוקדמות לחייה החלה מפתחת התנהגות פרועה למדי: היא הייתה בורחת מהבית לעתים קרובות, נתקפת במצבי רוח פרועים ובהתקפי זעם.

אביה החליט לעשות סוף לעניין שהביך מאוד את משפחת קנדי האריסטוקרטית. הוא לקח את רוזמרי אל דוק' פרימן והלה המליץ לו - איך אפשר שלא - על ניתוח לובוטומיה. רוזמרי עלתה על שולחן הניתוחים ועזבה אותו עם פיגור שכלי קשה. היא לא דיברה יותר, הייתה יושבת ובוהה בקירות במשך שעות וכמובן, לא הייתה יכולה לנהל חיים עצמאיים. הוריה נאלצו לאשפז אותה במוסד טיפולי למשך כל חייה עד

שהלכה לעולמה בגיל שמונים ושש. באופן פרדוקסלי, רוז קנדי הייתה הראשונה מבין האחים לבית קנדי שמתה מוות טבעי - על אף שאימה השבורה טענה שגם רוז היא חלק מהקללה שרובצת על בני המשפחה.

אבל המדהים בכל הסיפור הזה הוא שרוז לא הייתה זקוקה ללובוטומיה כלל וכלל! נכון, היא הייתה ביישנית ומדוכדכת, אבל מחברותיה מגלות תמונה שונה לגמרי מזו שציירו הוריה. היא ידעה לבצע היטב חישובי כפל וחילוק - סימן בדוק לכך שלא סבלה משום פיגור שכלי. היא ניהלה יומן שבו תארה את מחשבותיה ורגשותיה, וכל מי שקורא בו מבין שמדובר בנערה רגילה לכל דבר - שמחה, עצובה, נרגשת, אוהבת, מתאכזבת... החטא היחיד של רוזמרי קנדי היה שהיא הייתה נערה ממוצעת, לכל היותר מעט מתחת לממוצע, שנולדה למשפחה שמנת המשכל הממוצעת של בניה היה על סף הגאונות. על רקע המוצלחות הכללית של בני קנדי, הפכה רוז מנערה ממוצעת לנערה נכשלת. היחס שקיבלה מהמשפחה, תרם רבות, ללא ספק, למצבי רוחה, לדיכאונותיה ולהתקפי הזעם. לימים, ייסדה אחת מאחיותיה את ה - Special Olympics

המשחקים האולמפיים לבעלי נכות מנטלית, לזכרה של הכבשה השחורה והאומללה של משפחת קנדי.

מאז ועד היום צצים מדי פעם בפעם סיפורים אנושיים קורעי לב סביב ה'לובוטומיה', כמו סיפורו של האוורד דולי (Dully), נהג משאית אמריקני בגיל העמידה. דולי עבר ניתוח לובוטומיה בגיל 12 וסיפר שמאז חש שהוא אינו עצמו - חסר נשמה, חצי בן אדם. הוא החליט לחקור את עברו, וגילה שמי שיזמה את הניתוח הייתה אימו החורגת. במעין גרסה מזעזעת ואיומה של סיפורי האחים גרים, החליטה האם החורגת - שלא סבלה את בנה המאומץ והשובב - לקחת אותו אל דוק' פרימן, מיודענו. הרופא המליץ על לובוטומיה כדי להרגיע את נפשו הפרועה של הנער. כשהתבגר, התעמת האוורד עם אביו הזקן ושאל אותו איך יכול היה להרשות שינתחו את בנו בצורה קשה כל כך. האב טען שאשתו ודוק' פרימן הערימו עליו כדי שיאשר את הניתוח. הסיפור כולו מופיע בספר שכתב האוורד דולי בשם 'הלובוטומיה שלי', ספר שהפך לרב מכר.

התמונה שציירתי באוזניכם עד כה שחורה, אולי אפילו שחורה מדי. הרופאים שביצעו את ניתוחי הלובוטומיה, עשרות אלפי ניתוחים בתקופה של כשלושים שנה, לא ניתחו מטופלים מרוע לב. ההפך

הוא הנכון: בתקופה שבה לא היו תרופה ומזור למחלות נפש קשות ואכזריות, הלובוטומיה היה הדרך היחידה להקל על סבלו של החולה ושל הסובבים אותו. החסרונות של הלובוטומיה היו מוכרים לכולם, וההליך הרפואי הזה היה שנוי במחלוקת מהרגע שהופיע על במת הרפואה - אבל במצב שבו האלטרנטיבה ללובוטומיה היא לנעול את חולה הנפש בתא מרופד, כפות בכותונת משוגעים למשך כל ימי חייו, היו מי שראו את ההיגיון שבביצועו.

הניתוח הראשון של דוק' וולטר פרימן, למשל, מתואר כהצלחה גדולה. החולה הראשונה שלו הייתה עקרת בית בשם אלן איונסקו. היא לקתה במחלת נפש שהפכה אותה לאישה אלימה בעלת נטיות אבדניות. הלובוטומיה שינה כל זאת באחת ובני משפחתה של אלן היו אסירי תודה לדוק' פרידמן. על אף הצלחות אלה ואחרות, המחלוקת סביב הלובוטומיה לא שככה לרגע בתוך ארצות הברית ומחוצה לה. בברית המועצות אסרו הגופים הרפואיים על ביצוע הניתוח בטענה שהוא בלתי אנושי והופך אדם לוקה בנפשו לאידיוט. הזמר והבדרן טום וויטס הטיב לסכם את העניין כשאמר: "I'd rather have a bottle in front of me than a frontal lobotomy".

עם הופעת טיפולים תרופתיים יעילים למחלות נפש רבות במחצית השנייה של המאה העשרים חלה ירידה הדרגתית במספר ניתוחי הלובוטומיה. הרופאים הפסיקו להמליץ על הניתוח אלא במקרים קיצוניים בלבד. לבסוף הוצא הלובוטומיה אל מחוץ לחוק בארצות הברית ובמדינות רבות בעולם כולו. דוק' וולטר פרימן נאלץ אף הוא להפסיק לנתח בעקבות מות מטופלת על שולחן הניתוחים.

לאונות המצחיות יש תפקיד חשוב נוסף במוח, מעבר לקביעת האישיות. ביירכתי האונות המצחיות יש אזור בשם 'הקליפה המוטורית', מקום משכנו של 'האיש הקטן'. האיש הקטן, בלטינית 'הומונקולוס', הוא השם שניתן לרצועה צרה של תאי מוח המקושרים לאיברי הגוף השונים: הם שולטים עליהם ומקבלים מהם את נתוני החושים. לכל חלק וחלק בגוף יש ייצוג על רצועת הקליפה המוטורית: שרירי הפנים בקצה הרצועה, לידם שרירי הצוואר, הידיים וכן הלאה עד לקצה האחר של הרצועה, שם נמצאים התאים שאחראיים על השליטה בכפות הרגליים. אם עוקבים אחרי הרצועה מקצה לקצה ובכל נקודה 'מציירים' בדימוננו את האיבר הרלוונטי - מקבלים תמונה מוקטנת של הגוף, מעין 'איש קטן'.

לא כל האיברים בגוף חשובים ורגישים באותה המידה. מהתבוננות ב'איש הקטן' ברור לאלו חלקים שבגוף המוח מקדיש תשומת לב רבה יותר. למשל, ייצוג כפות הידיים או השפתיים בקליפה המוטורית גדול מעבר לכל פרופורציה ביחס לרגליים, הן בקושי מקבלות כמה תאי מוח משלהן. עניין הנוירולוגים בקליפה המוטורית התעורר בעקבות תופעה משונה ומטרידה שאיש לא הצליח למצוא לה הסבר מתקבל על הדעת: 'איברי פנטום'.

בתקופת ימי מלחמת האזרחים האמריקנית, חיילים רבים סבלו פציעות שחייבו את הרופאים לכרות את איבריהם הפגועים. עשרות אלפי חיילים חזרו לבתיהם בשוך הקרבות קטועי יד או רגל, והחלו להתלונן שהם מרגישים את איבריהם הקטועים. הם לא דמיינו, או התגעגעו או פנטזו, הם ממש חשו את הידיים שאינן או את הרגליים שאבדו, באותו האופן שאנו מרגישים את קיומם של הידיים והרגליים שלנו. היה להם ברור שהאיבר הקטוע איננו עוד, אבל משהו בתוך מוחם סירב לקבל את האמת המרה. את האיברים האמיתיים שנקטעו החליפו, מסיבה מוזרה ובלתי מובנת, איברי פנטום בלתי נראים אבל מוחשיים מאוד, לדידם של החולים.

הסיפורים שסיפרו החולים נחשבו למצוצים מן האצבע, אלמלא מספר רב כל כך של אנשים שדיווחו על אותן התופעות בדיוק. אישה אחת סיפרה שכשהיא ניגשת לדלת, זרוע הפנטום שלה מנסה ללחוץ על הידית. שחקן טניס מקצועי לשעבר תיאר כיצד במכת הפתיחה, יד הפנטום שלו מנסה לזרוק את הכדור באוויר, או לבלום אותו אם נפל על הרצפה. חולים רבים חשו כאבים אמיתיים לגמרי באיברי הרפאים שלהם.

תופעת איברי הפנטום לא הייתה חדשה, כמובן, אבל ההתקדמות ההדרגתית בחקר המוח הביאה את החוקרים להתעמק בעניין ביתר שאת. עשרות שנים חלפו מאז מלחמת האזרחים האמריקנית, והרופאים אפילו לא התקרבו לפתרון הבעיה. היו כאלה ששיערו שכל העניין נבע ממשאלת לב החולה, מרצונו העז לקבל את האיבר החסר בחזרה. אחרים האמינו שקצות העצבים בקצה הגדם מודלקים או מגורים, ומשדרים אל המוח מסרים מטעים. כששום טיפול תרופתי לא העלים את הבעיה, הרופאים כרתו חלקים נוספים מהגדם, בניסיון להיפטר מאיבר הפנטום העיקש - אך ללא הועיל.

התובנה האמתית הראשונה בעניין תופעת איברי פנטום הופיעה רק בשנות התשעים, כתוצאה ממחקר

שנערך על ידי דוק' ו' ס' רמצ'אנדראן (Ramachandran). הסיפורים על איברי הפנטום שהובאו בפרק זה נלקחו מספרו המעולה והמומלץ 'תעתועי מוח' ('Phantoms in the Brain'), שכתב בשיתוף עם סנדרה בלייקסלי (Blakeslee).

רמצ'אנדראן גילה שאצל אנשים שעברו כריתת איבר בגוף, האזור בקליפה המוטורית שהיה אחראי על אותו האיבר הלך והתנוון. אבל המוח אינו איבר סטטי: הוא לומד ומסתגל, ואת המקום הפנוי ממהרים לתפוס האזורים בקליפה המוטורית שגובלים באזור המנוון. כך, למשל, אזור הייצוג של הפנים מתפשט לתוך האזור שהיה בעבר אחראי על היד שאיננה, ואזור ייצוג איברי המין כובש לעצמו חלקים מאזור הרגל. באופן זה, כשהחולה חש בגירוי מיני, לדוגמה, המוח מבין בטעות שיש מסרים שמגיעים מהרגל - או ליתר דיוק, מהאזור בקליפה המוטורית ששאר המוח רגיל לזהות בתור אזור הרגל. כך גם כשחולה מזיז את שרירי הפנים, התנועה מתפרשת בטעות כתזוזה של היד, והמוח מנסה לשלוט עליה כמיטב יכולתו.



איור 11: דוק' ויליאמס' ס' ראמאצ'אנדראן

הרעיונות הללו סיפקו תשובות הגיוניות גם למקרים שבהם איברי פנטום הופיעו בכל שאר הגוף, ולא רק בגפיים. נשים שעברו כריתת שד דיווחו על שדי רפאים. חולה אחד התעקש שהוא מרגיש את התוספתן שלו ממשיך לכאוב ולהציק - גם לאחר ניתוח כריתת התוספתן. יש אפילו פין רפאים, בעל זקפת פנטום. פציינט בר מזל אחד דיווח על רגל רפאים שמתעוררת לחיים דווקא בעת קיום יחסי מין. הוא חש ברגל הפנטום שלו גירוי מיני לזה לזה של איבר המינו וכתוצאה מכך חווה אורגזמות חזקות מעל ומעבר לכל מה שידע לפני הפציעה... אני בטוח שהוא לא באמת רצה טיפול רפואי. הוא סתם ניסה להשוויץ.

4. אדם נחש: על ההיסטוריה של רעלים ומרעילים

מאה השנים שקדמו להולדת ישו הנוצרי היו שנים טובות לרפובליקה הרומית. למעשה, בתקופה זו הפכה הרפובליקה הרומית ל"אימפריה הרומית", תחת הנהגתם של הקיסרים יוליוס ואוגוסטוס. מאה השנים הללו היו, מאידך, שנים קשות למי שהיו שכניהם ויריביהם של הרומים.

אחד מאותם יריבים, מיתרידטס השישי, הידוע גם כמיתרידסטס הגדול - הטביע את חותמו בדברי ימי ההיסטוריה כמי כשהתמודד בגבורה נגד הגנרלים הגדולים של האימפריה והליגיונות הרומים האימתניים שלהם. מיתרידטס שלט בממלכת פונטוס, צפון תורכיה של ימינו, וניהל קרבות מרים נגד הרומים - חלקם מוצלחים למדי. בשלב מסוים

הצליח מיתרידטס הגדול לכבוש חלקים גדולים מיוון, בהם את העיר אתונה.

למרות הצלחותיו, מיתרידטס חי בחשש גדול לחייו ואולי בצדק. אפילו אימו של מיתרידטס, בניסיונה להשתלט על הממלכה בעקבות מותו של אביו, חיסלה בעצמה חלק מבניה שהיו מועמדים לרשת את השלטון. האגדות מספרות שמיתרידטס ישן כשבחדו סוס, שור וצבי - כדי שאלו יזהירו אותו בקולות רמים אם מישהו נכנס לחדר כדי לחסל אותו בשנתו.

הרעלה הייתה כבר אז, לפני למעלה מאלפיים שנה, שיטה מקובלת לרצח ולהוצאה להורג: סוקרטס, הפילוסוף היווני המפורסם, הוצא להורג באמצעות שתיית כוס תרעלה. יש הוכחות ברורות לכך שאפילו הציידים הפרה-היסטוריים הכירו והשתמשו ברעלים במהלך צייד. רעל, או ארס, הוא כלי נשק טבעי שפיתחו לעצמם אין ספור בעלי חיים וצמחים סביבנו, והציידים הראשונים ודאי לא היו יכולים להתעלם מעילותו: מנחשים ועכבישים ארסיים ועד עקיצות הדבורה והסרפד, רעלים היו תמיד חלק טבעי מהעולם שסביבנו. בני האדם למדו מהר מאוד לפחד מרעל ומבעלי חיים ארסיים, לא פחות ואולי יותר מאשר מטורפים גדולים. אחד מהפחדים האנושיים

הבסיסיים ביותר הוא הפחד מהכשת נחש. אפשר להעלות כמה סיבות אפשריות לפחד העמוק מפני ארס ורעל: אולי זו העובדה שמוות בעקבות נשיכת נחש ארסי הוא מוות ארוך ומייסר, או אולי העובדה שהרעל מעניק יתרון מפתיע לבעלי חיים קטנים, חרקים למשל, שהאדם ראה את עצמו מאז ומתמיד כעליון להם.

ככלי רצח, לרעל יש יתרונות ברורים על פני השיטות האחרות. הרעלה היא רצח שקט ופעולתה נמשכת זמן רב: כשהקרוב מתחיל לחוש בהשפעת הרעל, הרוצח עשוי להיות קילומטרים רבים מהמקום. בניגוד להתנקשות באמצעות סכינים, חרבות, אקדחים וכלי נשק אחרים, כל איש - וכל אישה - יכולים לטפסף כמה טיפות לתוך כוס משקה או סיר הבישול.

מיתרידטס מלך פונטוס ידע היטב שהרעלה היא הסכנה הגדולה ביותר שמציבים בפניו יריביו הפוליטיים. הוא החליט לעשות מעשה: לחקור את הרעלים השונים ולמצוא להם נוגדים. בכך הפך מיתרידטס לראשון שביצע מחקר אמתי בתחום הטוקסיקולוגיה, תורת הרעלים. מתוקף מעמדו בתור שליט, היה יכול מיתרידטס להורות על הוצאות להורג של פושעים באמצעות רעלים, וכך בחן השפעה של מאות רעלים שונים ואת הנוגדים להם. שיטתו להגן

על עצמו מפני הרעלה הייתה לחשוף את עצמו לרעלים במינונים נמוכים לאורך זמן: הוא הרעיל את עצמו בכמויות זעירות בכל יום, ובכך פיתח גופו עמידות אגדתית למגוון רחב של רעלים. מיתרידסט הצליח, כך מספרים המיתוסים, למצוא תרופה שהייתה מסוגלת לסתור את השפעת כל הרעלים המוכרים לאדם. התרופה הזו כונתה 'מיתרידט', על שמו, והייתה תערובת מסובכת של עשרות מרכיבים בכמויות שונות - החל משום, דרך קינמון ועוד חומרים ותמציות טבעיות אקזוטיות רבות.

כשנוצח לבסוף מיתרידסט בשדה הקרב על ידי הגנרל הרומאי פומפיוס הגדול, הוא ניסה להתאבד כדי שלא ליפול בשבי. הוא ושני בנותיו בלעו רעל קטלני. קטלני לבנות, כך מסתבר, אבל לא עבור מיתרידסט: העמידות שפיתח לרעלים הוכיחה את עצמה והוא לא הצליח למות. לבסוף נאלץ לבקש מאחד מקציניו שיהרוג אותו בדקירת חרב.

הגנרל פומפיוס לקח עמו את הנוסחה למיתרידט הפלאי בחזרה לרומא. הנוסחה תורגמה ללטינית והועברה מדור לדור במשך אלף ותשע מאות שנים, בשינויים ובתוספות לאורך השנים. אין לדעת אם המיתרידט המקורי של מיתרידסט היה באמת יעיל כפי שמספרות האגדות, אבל גרסות הנוסחה ששרדו

את שיני הזמן הן כנראה לא יותר מאשר אוסף שאיפות ותקוות שיעילותן כתרופה אמתית מפוקפקת למדי.

אפשר בהחלט להבין מהיכן נבעה הכמיהה לתרופה המיתולוגית הזו. הרעלה הייתה איום תמידי ומוחשי לבני האצולה ולמעמד השליט לכל אורך ההיסטוריה, ושליטים רבים העסיקו טועמים - 'קנריות אנושיות' - שהיו אמורים לוודא שהמזון אינו מורעל. הרומאים עשו שימוש נרחב בהרעלות במלחמות הירושה שלהם. אחד הסיפורים המפורסמים ביותר הוא זה של הקיסר קלאודיוס, קרוב לוודאי שהורעל על ידי אגריפינה אישתו. העובדות בסיפור על קלאודיוס מטושטשות מאוד כשמביטים בהן דרך חלונות הזכוכית השרוטים של ההיסטוריה, אבל הדעה הרווחת היא שהקיסר בלע את הרעל בארוחת ערב, או שמא באמצעות נוצה מורעלת שהוחדרה לגרונו כדי 'לעזור לו', כביכול, להקיא מנה קודמת של רעל שספג.

כאן המקום להזכיר תאוריה מעניינת ביותר, תאוריה שיש עליה חילוקי דיעות רבים בין ההיסטוריונים, ולפיה אחת מהסיבות לנפילת האימפריה הרומית הייתה הרעלת עופרת. רבים מצינורות המים ששימשו את הרומים היו עשויים עופרת: לפיכך,

ייתכן שהרומים צרכו כמויות גדולות של עופרת דרך מי השתייה שלהם. תסמיני הרעלת עופרת קוגניטיביים בעיקרם: מירידה בכישורים המנטליים ועד היפראקטיביות ודעיכת החשק המיני. התומכים בהשערה זו מציינים את ההתנהגותם המוטרפת של חלק מהקיסרים הרומים כעדות תומכת בהרעלת העופרת, וכן את הירידה בשיעור הפוריות של תושבי רומא. המתנגדים להשערה מעלים את הטענה שהסידן במים הצטבר על דפנות הצינורות ומנע מגע ישיר של הנוזל עם העופרת, ושאת התנהגותם של קיסרי רומא אפשר להסביר באלכוהוליזם ובשיכרון כוח מהסוג המקובל...

במאה השמינית לספירה חלה התפתחות דרמטית בעולם הרעלים, כשנתגלה שיטה המאפשרת להפוך את היסוד ארסן לתרכובת נוזלית שקופה, חסרת טעם ונטולת ריח. ארסן הוא אחד מהרעלים החזקים ביותר שידועים לאדם, ועיקר הנזק שהוא גורם נובע מפגיעה במולקולה חיונית בשם ATP (Adenosine Triphosphate). ה-ATP הוא הדרך שבה אנרגיה מועברת ממקום למקום בתוך התא, מעין 'מטבע אנרגיה' שעובר מיד ליד בתוך התא החי. אנזימים מיוחדים שבתא הופכים את האנרגיה המתקבלת מהמזון ל-ATP, ואז המולקולה הגדולה הזו נעה

בתוך התא עד שגופים אחרים מפרקים אותה לחלקים קטנים ומשחררים את האנרגיה האצורה בה. ארסן מפריע לתהליך הזה: הוא משתק את האנזימים שיוצרים את ה-ATP וכך ממית את התא הרעב לאנרגיה. ה-ATP הוא תהליך שמתרחש בכל הגוף כל הזמן, ולכן הארסן הוא רעל קטלני כל כך: מספר גדול מאוד של תאים נפגעים בבת אחת, דבר הגורם לכשל רב-מערכתי בכל הגוף.

מי שתמיסת ארסן עורבבה בתוך המשקה שלו חש בדרך כלל כאבי ראש קלים שהולכים ומתגברים, ואז כאבי בטן חזקים, הקאה ותסמינים נוספים נוראיים יותר עד שבסופו של דבר, הקרבן מת כתוצאה מכשל רב-מערכתי. השילוב של רעל בלתי ניתן לגילוי, עם העובדה שהרעלת ארסן יצרה תסמינים שדומים למחלת הכולירה הנפוצה - הפכו את הארסן לכלי רצח מושלם. השימוש בו היה נפוץ כל כך עד שהפך למיני-מגיפה בפני עצמו, ותרבות הארסן זכתה לשם 'אבקת הירוושה'. הציבור היה מפוחד עד אימה מהרעלה, ואנשי עסקים זריזים ניצלו את החשש הזה כדי למכור 'קמיעות נגד הרעלות'.

מי שהפכו את ההרעלה לכלי פוליטי בעל עצמה אדירה היו בני משפחת בורג'ה (Borgia) האיטלקית במאות החמש עשרה והשש עשרה. השימוש של

הבורג'ים ברעל היה מסיבי ויעיל כל כך עד שהביטוי 'לשתות מהכוס של בורג'ה' משמעו עד היום 'מוות מהיר ופתאומי'. פתגם אחר, קרוב לוודאי מוגזם אבל ללא ספק משקף את מוניטין המשפחה הזו, אומר ש'איש באיטליה לא יכול לומר 'אתמול סעדתי עם הבורג'ים'. ההיסטוריונים רואים במשפחת בורג'ה את 'משפחת הפשע הראשונה בהיסטוריה', ושתי הדמויות שבלטו במיוחד במשפחה היו רודריגו בורג'ה - הוא האפיפיור אלכסנדר השישי - ובנו צ'זארה.

אלכסנדר השישי היה אולי האפיפיור המושחת ביותר בכל דברי ימי הכנסיה הקתולית, הישג לא מבוטל למי שמכיר במקצת את ההיסטוריה הפוליטית של הוותיקן. הוא היה ידוע באורגיות הגדולות שארגן, בהימורי הקלפים, בשוחד שנתן לקרדינלים אחרים כדי להתיישב על כיסא האפיפיורות ובנפוטזם חסר בושה... בנו צ'זארה מונה לכומר בגיל שש, לבישוף בגיל חמש עשרה, לארכיבישוף בגיל שש עשרה ולקרדינל - המשרה הרמה ביותר בכנסייה פרט לאפיפיור - בגיל הבשל והבוגר: שבע עשרה שנים.



איור 12: האפיפיור אלכסנדר השישי

לאלכסנדר השישי ולבנו צ'זארה - דרך אגב, הוא התפטר מתפקיד הקרדינל כדי לגייס צבא שנועד לכבוש את כל איטליה - הייתה שיטה מעניינת לנכס לעצמם עושר אנשים אחרים. הם פיתחו רעל רב עצמה שכונה 'קנטרלה'. הקנטרלה היה תוצאה של מספר שנות ניסויים שביצעו האב ובנו על בעלי חיים ועל אסירים אנושיים שגופותיהם הושלכו לאחר מעשה לנהר הטיבר דרך מחילות סודיות באחוזותיו של אלכסנדר. הנוסחה ליצירת הקנטרלה אבדה לנו, אבל מתיאורי מותם של הקרבנות עולה שקרוב לוודאי שארסן היה מרכיב חשוב ברעל שתוצאותיו היו הקאות, עור בעל גוון כהה, קצף מהפה ועוד.



איור 13: צ'זארה בורג'ה

אלכסנדר ובנו נהגו להרעיל את בני האצולה העשירים ברומא, ואז להחרים לעצמם את האוצרות מתוקף צו האפיפיור. אחד הסיפורים המעניינים ביותר הוא על הקרדינל אורסיני, אשר החביא את אוצרותיו כיוון שניחש את כוונות האפיפיור. אלכסנדר הרעיל אותו במנת קנטרלה קטנה מתוך תקווה שמישהו מקרוביו של הקרדינל החולה יבקש מהאפיפיור לחוס על חייו ובתמורה יגלה לו איפה מוטמן הכסף. אפילו קרוב משפחה אחד לא הגיע, ולבסוף שלח האפיפיור כוס מלאה ביין מורעל לקרדינל אורסיני בצרוף הנחייה ברורה לשתות את תוכנה בתוך שעותיים. שעותיים חלפו, אבל הקרדינל סירב לשתות את הרעל. האפיפיור הזועם שלח אליו את אחד מאנשיו, טיפוס מפוקפק שהיה ידוע כחונק מוכשר ביותר. אורסיני הבין את הרמז ושתה את הרעל.

באוגוסט 1503 תיכננו אלכסנדר השישי וצ'זארה להרעיל את הקרדינל אדריאנו דה קורנטו בשיטה הרגילה של 'השבחת היין' המוגש לשולחן בכמה טיפות מהקנטרלה שלהם. אבל משהו השתבש. מיד בתום הארוחה התמוטטו האפיפיור ובנו: נשק יום הדין שלהם הופנה נגדם. צ'זארה הצעיר הצליח לשרוד את ההרעלה בקושי, אבל האפיפיור כבר היה

קשיש וחלש. התיאורים על מותו של אלכסנדר השישי קשים מנשוא, ועדים שתיארו את גופתו לאחר שנפח את נשמתו המיוסרת סיפרו שמעולם לא חזו במראה מבחיל כל כך. פני האפיפיור היו שחורים לגמרי, עורו התקלף ובשרו הדיף צחנת גפרית איומה. אף לא אחד ברומא הצטער על מותו של אחד מהגרועים שבמושחתים.

לארסן היו גם שימושים אחרים, מוסריים קצת יותר, למשל בתעשיית הצבע והפיגמנטים. גם אז הוא לא איבד מאומה מרעילותו - ההיסטוריונים יודעים היום שהיכן שיש טירוף או תופעות מנטליות חריגות כדאי גם לבדוק אם ארסן נמצא באזור. יש מי שמשערים שהשיגעון המפורסם של ון-גוך, בדומה לעיוורון של מונה, הוא תוצאה של חשיפה לארסן בצבע ירוק-איזמרגד שבו השתמשו בציוריהם. ייתכן ומותו של נפוליאון בונפרטה בבית הכלא באי סנט הלנה נגרם כתוצאה מארסן שהשתחרר מהצבע שעל קירות הכלא. הדרך היחידה כמעט לאמת חשדות של הרעלת ארסן היא באמצעות בדיקות כימיות של שערות הקרבן, שכן הארסן מתחבר לזיקי השיער הצומח. שיערו של נפוליאון, למשל, הכיל ארסן בכמות גדולה פי שלוש עשרה מהמקובל, אם כי יש מי שטוענים שעשרים השנים שבהם נחה גופתו

בקבר באי הפכו את הבדיקה הזו ללא-אמינה, כיוון שגם האדמה הייתה עשירה בארסן.

עם ההתקדמות הטכנולוגית בפיתוח רעלים חדשים ותרבות יעילות יותר, החלו מדענים ורופאים לנסות ולמצוא נוגדים לרעלים ולפתח שיטות לגילוי שרידי רעל בגוף גם לאחר המוות. זו לא הייתה משימה פשוטה. פרצסלוס, אלכימאי ורופא בן המאה השש עשרה ומי שנחשב לאבי הטוקסיקולוגיה המודרנית, אמר ש"כל הדברים הם רעל, ואין שום דבר שאין בו רעל. רק המינון הוא זה שהופך דבר מה לרעל". אפילו מים, אם שותים אותם בכמויות גדולות, עלולים להיות רעילים.

הצורך בשיטות לזיהוי הרעלה הפך לדחוף ביותר בתקופה הוויקטוריאנית, במאה התשע עשרה, עם עליית הפופולריות של ביטוח החיים. ביטוח חיים הוא מניע כלכלי נפלא לרצח - הוא שם פרס על ראשו של כל אדם כמעט... כל מה שנדרש מהיורש הפוטנציאלי של כספי הביטוח הוא מוות פתאומי ובלתי מוסבר של המבוטח. הרעלה באמצעות ארסן קסמה במיוחד לנשים שרצו להיפטר מבעליהן, שכן ארסן שימש גם כסוג של איפור: במינון נמוך, הארסן גורם לחיוורון בפנים אשר מעיד על השתייכותה של הגברת למעמד האצולה- שכן נשים ממעמד זה לא עבדו

עבודת כפיים ולא נחשפו לשמש. אישה יכלה לרכוש ארסן בבית מרקחת לצורך איפור, כביכול, ולעשות בו שימוש קטלני מבלי להתגלות.

מדלין סמית' בת העשרים ושתיים נולדה למשפחה אמידה ומכובדת בגלזגו שבסקוטלנד. בשנת 1855 פגשה את אמיל ל'אנג'ליאר, בן מהגרים עני, והשניים התאהבו. הם ניהלו רומן חשאי ביודעם שמשפחתה של מדלין לעולם לא תקבל את בן המעמד הנחות לשורותיהם. שני הנאהבים החליפו ביניהם מכתבי אהבה סוערים ואפילו תכננו להתחתן בחשאי ולברוח. אבל בחלוף הזמן התקררה האהבה בין שני הצעירים, והחתונה כבר לא הייתה באופק. הוריה של מדלין שידכו אותה לגבר אחר ממשפחה סקוטית עשירה, ומדלין החליטה לנתק את קשריה עם אמיל. היא ביקשה ממנו שיחזיר לה את כל מכתבי האהבה ששלחה אליו כדי שהרומן האסור ביניהם לא יתגלה. אמיל, בקנאותו, סירב לתת לה את המכתבים ואפילו איים לשלוח אותם בעצמו אל אביה אם לא תבטל את נישואיה. מדלין הסכימה בלית ברירה לחזור לחיקו של אמיל, אבל באותה השעה החלה לרכוש מבית המרקחת המקומי כמויות גדולות של ארסן באמתלה של הדברת עכברושים בביתה. אמיל החל סובל

מכאבי בטן עזים, הקאות וייסורים נוספים. שבועיים מאוחר יותר, הלך לעולמו.

המכתבים שכתבה מדליין לאמיל נתגלו, ולגופת המאהב נערכו בדיקות שגילו שהוא אכן הורעל בכמויות גדולות של ארסן. מדליין הועמדה למשפט באשמת רצח, והעיתונות חגגה על חשבון הסיפור השערורייתי של בת העשירים המרעילה. מרבית הציבור היה משוכנע באשמתה של מדליין - אבל עורכי הדין שלה עשו עבודה טובה: הם הצליחו להוכיח שמדליין השתמשה בארסן גם לצרכים קוסמטיים, והעלו את הסברה המרתקת שאמיל התאבד בבליעת רעל כדי שיוכל להפליל את אהובתו לשעבר ברצח. פסק הדין במשפט היה 'אשמתה לא הוכחה': זהו פסק דין ייחודי למערכת המשפט הסקוטית שאפשר לנאשם לצאת חופשי אך לשאת עמו אות קין. נישואיה של מדליין לבעל העשיר בוטלו כמובן, והיא ברחה מבריטניה לארצות הברית.

מי שהמציא את הבדיקה המדויקת הראשונה לאיתור ארסן בגוף היה ג'יימס מארש (Marsh) בשנת 1832. מארש היה כימאי שנקרא להעיד במשפט רצח של אדם שהואשם בהרעלת סבו על ידי ערבוב ארסן בקפה. מארש ניסה להשתמש בשיטות הקיימות לאיתור ארסן בגופת הנרצח, והגיע למסקנה

שהגופה אכן הכילה ארסן. למרות זאת, הצליחו פרקליטי ההגנה לזרוע ספק בממצאים כיוון שהבדיקות הקיימות לא היו מדויקות ואמינות מספיק, והנאשם יצא לחופשי. מארש היה מתוסכל וכועס, במיוחד כיוון שמאוחר יותר אכן הודה הרוצח ברצח. הוא החליט לפתח בדיקת ארסן חדשה, ולאחר זמן מה הצליח לפתח ניסוי לגילוי ארסן ברקמות הגוף שהיה מדויק מעל ומעבר לכל קודמיו. גילוי הוביל לירידה במספר הרעלות הארסן, כיוון שיותר ויותר מרעילים פוטנציאליים חששו שהם עשויים להתגלות.

השימוש ברעל כנשק לא פסק, ואת הארסן החליפו רעלים מתוחכמים ויעילים עוד יותר. הציאניד זכה לפרסום כשבכירי המשטר הנאצי התאבדו בעזרתו עם נפילת הרייך השלישי: היטלר ואווה בראון בלעו גלולות ציאניד בבונקר בברלין והרמן גרינג התחמק מהתליין של משפט נירנברג באופן דומה.

הרעלה היא כלי הנשק נפוץ ביותר כיום בהתנקשויות על רקע פוליטי, ובהקשר זה אזכיר שלוש פרשיות מפורסמות מהשנים האחרונות.

ויקטור יושנקו (Yushchenko), מנהיג האופוזיציה באוקראינה ומתנגד גלוי לרוסיה, הורעל בנסיבות מסתוריות והצליח לשרוד רק בקושי כשפניו נותרו

מצולקות מאד. הרעל שהוחדר למזונו היה דיוקסין, והרופאים שבחנו אותו נדהמו לגלות שכמות הדיוקסין שנמדדה בגופו הייתה הכמות השנייה הגבוהה ביותר שנמדדה אי פעם באדם חי. אלכסנדר ליטביננקו (Litvinenko) היה סוכן קג"ב לשעבר ומתנגד למשטר הרוסי. הוא נפטר לאחר שהורעל בכמות גדולה של פולוניום-210, חומר רדיואקטיבי קטלני שהוחדר למזונו במסעדת סושי בלונדון. מחלתו ומותו זכו לכיסוי נרחב בעיתונות הבריטית והעולמית. וכמובן, חאלד משעל מהחמאס הורעל על ידי המוסד בירדן וזכה לקבל את חייו במתנה בזכות התעקשות השלטונות הירדניים לקבל את תרופת הנגד, ובאומנם שבידיהם היו עצורים שניים ממבצעי הפעולה. המקרים הללו הם רק קצה הקרחון, וללא ספק היו התנקשויות פוליטיות רבות נוספות שמבצעהן הצליחו להסוותן היטב כמוות טבעי. ייתכן וההיסטוריונים של העתיד, אם יצוידו בבדיקות משוכללות ובפרספקטיבה מתאימה, יראו את מאורעות ימינו באור אחר לגמרי מזה שאנחנו רואים אותם היום...

5. רונלד רייגן והמלכה האדומה: על 'מלחמת הכוכבים', יזמת ההגנה האסטרטגית

הקומדיה 'מרגלים שכאלה' יצאה לאקרנים בשנת 1985, בकिובם של צ'בי צ'ייס ודן אקרוייד. הם גילמו שני טמבלים שמתנדבים להיות סוכני CIA: אקרוייד הוא חנון טיפוס, וצ'ייס הוא קשקשן בלתי נלאה. אחד האתגרים הראשונים שלהם במהלך ההכשרה הוא צניחת לילה שבעקבותיה הם מותקפים על ידי חבורת נינג'ות קטלניות.

בתום האימונים הם נשלחים למשימה סודית בעורף האויב: לחדור אל ברית המועצות דרך אפגניסטן. השניים מתחזים לרופאים ומצטרפים למשלחת של האו"ם אצל המוג'הדין. הם מצליחים להסתנן לברית המועצות, אבל אז נתפס צ'בי צ'ייס על ידי סוכני קג"ב

שעקבו אחריהם. אחרי בריחה נועזת הם מצליחים לבצע את משימתם שמתבררת כטעות נוראית: מישהו עבד עליהם. הם משגרים טיל גרעיני מברית המועצות לארצות הברית ועומדים לפתוח במלחמת עולם שלישית.

לא אגלה לכם את הסוף - כדאי לכם לראות את הסרט המלא, אחת הקומדיות המצחיקות שראיתי. הסיבה שפתחתי את המאמר עם הסרט היא שמתחת להומור, 'מרגלים שכאלה' נוגע בבעיה אמתית לחלוטין שאתה נאלצו אזרחי ארצות הברית וברית המועצות - וגם כל שאר העולם, בעצם - להתמודד במשך כמעט חמישים שנה. החל משנות החמישים והשישים של המאה העשרים, לכל אחת ממעצמות-העל היו מספיק פצצות גרעיניות כדי להפוך זו את זו לאבק רדיואקטיבי. טעות אחת, או מזימה צינית כמו זו שמתוארת בסרט, עלולה הייתה להביא לחורבן הציוויליזציה.

בשנת 1983 יצא הנשיא רונלד רייגן (Reagan) בהכרזה שהדהימה את העולם. הוא הצהיר על כוונתה של ארצות הברית לפתח מערכת הגנה כנגד טילים בליסטיים בין-יבשתיים, שתהיה מסוגלת לעצור מתקפת פתע גרעינית של ברית המועצות. המערכת המתוכננת כונתה 'יזמת ההגנה

האסטרטגית' (SDI - Strategic Defence Initiative). היא הייתה אמורה להיות מתוכננת כל כך ומתקדמת מבחינה טכנולוגית, עד שזכתה עד מהרה לכינוי 'מלחמת הכוכבים' - Star Wars, על שמה של סדרת סרטי המדע הבדיוני המפורסמת.

מאות מיליארדי דולרים הושקעו בפיתוח המערכת. אבל אז, ב-1991, קרסה ברית המועצות והתפרקה, ועמה התפוררה גם יזמת 'מלחמת הכוכבים'. בפרק זה יסופר על התכנית הגרנדיוזית של רייגן, וננסה גם לענות על שאלה שמסקרנות את ההיסטוריונים כבר עשרים שנה.

בספר 'עליזה בארץ הפלאות', עליזה והמלכה האדומה רצות יד ביד בשיא המהירות - אבל אינן זזות ממקומן. המלכה מסבירה לעליזה שבארצה חייבים לרוץ הכי מהר שאפשר רק כדי להישאר במקום. ישנם האומרים שמה שגרם לנפילת ברית המועצות הוא אותו 'סינדרום המלכה האדומה': ברית המועצות ניסתה להתמודד מול ארצות הברית במגרש המשחקים הטכנולוגי, וגילתה שהיא חייבת להשקיע כסף ומאמצים רבים - רק כדי שלא לפגור מאחור. זו השאלה המסקרנת: האם הצליחו 'מלחמת הכוכבים' ו'סינדרום המלכה האדומה' לעשות בכמה שנים ספורות את מה שלא עשו ארבעים שנות

מלחמה קרה בין המעצמות? האם העלות הגבוהה של מירוץ החימוש בחלל היוותה זרז משמעותי לקריסת המעצמה הענקית מהמזרח?
כשנבחר רונלד רייגן לנשיא ארצות הברית בשנת 1981, קיבל לידי ירושה ביטחונית בעייתית מאד. אחד מיועציו תיאר זאת כך:

"אם הסובייטים היו פותחים
במתקפת טילים גרעינית, לנשיא
רייגן היו שתי אפשרויות. האחת
הייתה פשוט לתת לזה לקרות. זו
אפשרות שאינה מתקבלת על הדעת.
השנייה היא לשגר תקיפה גרעינית
נגדית. זו אפשרות שאינה מתקבלת
על הדעת. האפשרות השלישית
הייתה לבנות מערכת הגנה כנגד
טילים - וזו הייתה האפשרות
המתקבלת על הדעת."



איור 14: רונלד רייגן, הנשיא ה-40 של ארצות
הברית

יזמת 'מלחמת הכוכבים' לא הייתה רעיון מקורי של רייגן, אבל היא בהחלט הייתה ה'בייבי' שלו. לרייגן היה חזון: הוא רצה להסיר את טירוף האיום הגרעיני. הוא רצה להיות זה שימנע את הארמגדון, את יום הדין. היו צינקנים שאמרו שהוא עדיין מושפע מהימים שבהם היה גיבור בסרטים הוליוודים, אבל הסיבה ל'טירופו', במקרה זה, אינה חשובה. רייגן לא רצה להפיל את ברית המועצות - אם כי בוודאי לא היה מתנגד לכך - הוא באמת רצה להציל את העולם... או לפחות את ארצות הברית. את הטילים הסובייטיים הוא לא היה יכול להעלים בשרביט קסמים, אבל כסף כדי להקים מערכת הגנה כנגדם היה לו, והרבה.

במהלך חייו הקצרים של טיל בליסטי בין-יבשתי יש שלושה שלבים אופייניים: שלב השיגור וההמראה, שלב השהייה מחוץ לאטמוספירה ושלב החזרה לכדור הארץ. הכיוון והדחף הראשוניים ניתנים בשלב השיגור בלבד ומאותו הרגע הטיל עף במסלול אליפטי, פחות או יותר כמו אבן, עד ליעדו. זו הסיבה לשם 'טיל בליסטי': 'בליסטיקה' היא תנועה של גוף חסר הנעה עצמית.

אין ספק שמבחינה טכנית, השמדת טיל כזה בשלב השיגור היא הקלה ביותר. הוא אטי באופן יחסי והמנוע שדוחף אותו מפיץ חום אדיר שמקל על גילוי

השיגור. מטוס בעל כלי נשק מתאים יוכל להפיל את הטיל בקלות. הבעיה, כמובן, היא להביא מטוס לאזור השיגור. האפשרות הזו קיימת רק לעתים נדירות, ובמקרה של ברית המועצות - לא הייתה קיימת כלל. לסובייטים, וגם לאמריקנים, היו צוללות שמסוגלות לשגר טילים בליסטיים מכל נקודה על פני כדור הארץ לכל נקודה אחרת, בהפתעה גמורה.

אפשרות נוספת היא להשמיד את הטיל במהלך כניסתו לאטמוספירה, כשהוא כבר מעל המטרה. היתרון שבבחירה זו הוא שאין צורך לרדוף אחר צוללות באוקיינוס: מערכת ההגנה יושבת במקום, והטיל כבר יגיע אליה. אבל ירוט טיל בליסטי בשלב הכניסה לאטמוספירה הוא אתגר מורכב במיוחד. הטיל צולל לקרקע במהירות אדירה וחלון הזמן שבו ניתן להפיל אותו הוא בן כמה עשרות שניות בלבד: לא תהיה הזדמנות לניסיון נוסף. נוסף על כך, ההשמדה צריכה להיעשות באופן שלא יגרום לנזק למטרה שעל הקרקע. זאת אומרת, אם יתרחש פיצוץ גרעיני כתוצאה מהיירוט, או שחומר רדיואקטיבי יתפזר באוויר - כדאי שזהיקרה בגובה רב, ולא מאה מטרים מעל העיר ניו-יורק...

לארצות הברית כבר היו, החל משנות השישים, שני טילים-נגד-טילים לטווח קצר: ה'ספרינט' וה-'HiBex'.

כדי לעמוד באתגרים שציינתי קודם, שני הטילים הללו מתחו את הטכנולוגיה של תקופתם עד הקצה ממש.

למשל, כדי לשגר את הספרינט במהירות המירבית האפשרית, פיצוץ מבוקר של חומר נפץ היה מעיף את כיסוי המשגר ופיצוץ נוסף דחף בוכנה שזרקה את הטיל החוצה בעצמה כה אדירה, עד שהספרינט שבר את מהירות הקול עוד לפני שעזב את המשגר. רקטות חזקות האיצו את הטיל למאך 5 (זאת אומרת, פי חמש ממהירות הקול) בתוך פחות מחמש שניות, כך שהמפגש עם הטיל המיורט התרחש בגובה של כמה קילומטרים מעל הקרקע. ראש הקרב של הספרינט הכיל 'פצצת ניוטרון': סוג פצצה גרעינית המותאם לפליטת קרינת חום עזה במיוחד.



איור 15: שני טילי ספרינט משוגרים בזה אחר זה
במהלך ניסוי של הצבא האמריקני

אם הספרינט נכשל, משום מה, במילוי תפקידו, ה-
HiBex (High-G Boost Experiment) היה אמור

לגבות אותו כמוצא אחרון. במקרה כזה היירוט התבצע בגובה של שישה קילומטרים בסך הכול, מרחק שטיל בליסטי ממוצע עובר בשתי שניות, פחות או יותר. ה-HiBex, על כן, היה אמור לעזוב את כן השיגור בתוך פחות מרבע שניה ולהאיץ בהתאם.

כפי שאתם יכולים לדמיין לעצמכם, תכנון של טיל כזה הוא עניין לא פשוט - בלשון המעטה. האלקטרוניקה והמכניקה שלו צריכות לעמוד בתאוצות של מאות כוחות ג', ואפילו פעולות פשוטות כמו שינוי כיוון טיסת הטיל תוך כדי מעוף הופכות לבלתי אפשריות כמעט. כל מערכת בטיל עצמו, החל מהג'ירואים המבקרים את מסלול הטיסה וכלה במערכת הקשר עם הקרקע, תוכננה מחדש כדי לעמוד בתנאים הקשים - ועל זה יש להוסיף את העובדה שמדובר בטיל בעל ראש נפץ גרעיני, על כל המשתמע מכך בעניין רמת הבטיחות והתחזוקה הנדרשות. בסופו של דבר, הספרינט וה-HiBex היו יקרים ומסורבלים מאד לתפעול ואחזקה, ולכן בוטל השימוש בהם בתוך שנים ספורות.

אם כן, יירוט בשלב השיגור אינו מעשי, ויירוט בשלב הכניסה לאטמוספירה גם הוא עסק לא פשוט. האפשרות השלישית היא ליירט את הטיל התוקף מחוץ לאטמוספירה - שם הוא מבלה חלק ניכר מזמן

המעוף שלו. גם זו אינה משימה פשוטה, מן הסתם, אבל ביחס לשתיים האחרות היא נראית לכל הפחות מתקבלת על הדעת. למערכת כזו בעלת חיישנים וכלי נשק מתוחכמים המוצבים במסלול סביב כדור-הארץ או משוגרים לחלל בהתראה קצרה יהיו, לפחות על הנייר, דקות ארוכות כדי להתמודד עם הטיילים המתקרבים - בניגוד לשניות ספורות שהיו לטיילי הספרינט וה-HiBex.

ואף על פי כן, תכניתו של רייגן זכתה לביקורת חריפה מאוד מהרגע שיצאה לאוויר העולם. עיקר הביקורת הייתה, כמובן, סביב שאלת המימון: לאיש לא היה ספק ש'מלחמת הכוכבים' תעלה למשלם המיסים האמריקני טריליוני דולרים. המצדדים בתכנית טענו, עם זאת, שאחרי שואה גרעינית לא יישארו משלמי מיסים אמריקנים...

גם אם נשים לרגע בצד את שאלת המימון לתכנית, היה עדיין ספק גדול לגבי עצם היתכנותה. בין המומחים התנהל ויכוח סוער סביב השאלה האם בכלל ניתן, ברמת הטכנולוגיה הקיימת, להציב בחלל מערכת מורכבת כל כך של חיישנים וכלי נשק? למעשה, הכינוי 'מלחמת הכוכבים' שדבק ביזמת ההגנה האסטרטגית לא היה מחמאה - כי אם סוג של עלבון. מקורו במאמר פרשנות באחד העיתונים שבו

נטען שהיזמה כולה אינה יותר מאשר פנטזיה בדיונית, כמו ה-Light Sabers והרובוטים האנושיים בסרטיו של ג'ורג' לוקאס.

כדי להבין עד כמה שאפתנית הייתה יזמת ההגנה האסטרטגית, כדאי להכיר כמה מן הפרוייקטים שפותחו במסגרתה. למשל, אחד מהרעיונות המוקדמים ביותר היה להשתמש בקרני לייזר ובמיוחד בקרני לייזר בתחום תדרי הרנטגן כדי להשמיד את הטילים המתקרבים. לייזרים, כפי שיודע כל חובב מדע-בדיוני, הם כלי נשק אידיאלי בתנאי החלל: הקרן נעה אל מטרתה במהירות האור ואין אטמוספירה שתפזר את האלומה ותפחית מעצמת הקרן. אבל אידיאל הוא אידיאל והשטן, כידוע, נמצא בפרטים הקטנים: כדי לייצר קרן לייזר חזקה מספיק שתשמיד טיל, צריך מקור אנרגיה רב-עצמה, וגם אז ניתן לירות את הלייזר רק מספר מוגבל של פעמים בכל דקה, כדי למנוע מהמערכת להתחמם יתר על המידה. במקרה של מתקפה גרעינית רחבת הקף, סביר להניח שהסובייטים ישגרו עשרות אלפי טילים לעבר ארצות הברית - ותותח לייזר לא יצליח להפיל יותר מכמה עשרות מהם, במקרה הטוב.

מדענים בכירים כמו אדוארד טלר, אבי פצצת המימן האמריקנית, הציעו פיתרון מקורי לבעיה זו. תגובת

השרשרת שמתרחשת בזמן פיצוץ גרעיני יוצרת כמויות אדירות של קרינה: מכאן שכל מה שצריך לעשות הוא להרכיב התקנים רבים לייצור לייזר סביב פצצת אטום. ההתקנים יאספו את הקרינה הנפלטת מהפיצוץ ויתעלו אותה ליצירת עשרות או אפילו מאות קרני לייזר רבות-עצמה שיבקעו לכל הכיוונים בזמנית וישמידו את הטילים שסביבם. מובן שיחלפו רק כמה ננו-שניות ספורות מרגע התחלת הביקוע הגרעיני ועד שכל העסק נהפך לכדור אש רדיואקטיבי והתקני הלייזר יהפכו לאבק - אבל קרני האור נעות מהר מספיק ביחס להדף הפיצוץ כדי שהרעיון הזה יהיה אפשרי, לפחות על הנייר. בפועל, גילו לצערם החוקרים שקשה מאוד להפיק ניסויים מבוקרים במערכת שכזו. בכל הניסויים המעשיים שכללו פיצוצים גרעיניים מתחת לפני האדמה, לא נותר בדל שריד שאפשר להסיק ממנו האם המערכת פעלה כמצופה שמא נכשלה לחלוטין.

רעיון נוסף, גם הוא ודאי מוכר לחובבי המדע הבדיוני ומשחקי המחשב, הוא 'רובה מסילה' - או בשמו הלועזי - Rail Gun. העיקרון שמאחורי רובה מסילה הוא פשוט למדי: קליע שנורה במהירות אדירה של עד כמה עשרות קילומטרים בשניה. לקליע שנע במהירות כזו יש אנרגיה קינטית רבה כל כך, עד

שאין שום סיבה לצייד אותו בראש נפיץ: פיסת מתכת במשקל קילוגרם בודד הנעה במהירות של עשרה קילומטרים בשניה, תיפגע במטרה בעצמה השווה לפיצוץ של עשרה קילוגרמים של TNT. אחד היתרונות הגדולים של רובה המסילה הוא שהקליעים שלו קלים בהרבה מפגזים קונבציונליים, כיוון שאינם מכילים חומר נפץ - עובדה שהופכת אותם לבטיחותיים לחלוטין בזמן אחסונם.



איור 16: קליע הנורה מרובה מסילה בעת ניסוי של הצי האמריקני. הקליע נע במהירות של כ-2.5 ק"מ בשניה ומותיר אחריו שובל פלסמה לוחטת

אפשר להאיץ את הקליעים באמצעות חומרי נפץ הודפים: יש פגזים בטנקים שפועלים על אותו העיקרון. אבל כדי להתמודד עם מטרות מהירות כמו טילים בין-יבשתיים, צריך קליעים מהירים במיוחד - מעל ומעבר לכוח הדחף שחומר נפץ כימי מסוגל לספק. נכון להיום נדמה שהדרך הטובה ביותר להאיץ את הקליעים היא להציבם על מסילה ארוכה העשויה מחומרים מוליכים, ולדחוף אותם באמצעות שדה מגנטי רב עצמה. באופן תאורטי, ניתן לשגר באופן זה קליע אחר קליע בקצב מהיר ולהשמיד עשרות טילים ממרחק רב.

ושוב, תאוריה לחוד ומציאות לחוד. זרמי החשמל שנעים בתוך מסילות הרובה עשויים להגיע עד לכחצי מיליון אמפר. החום שנוצר עקב כך מתיך את המסילות ומעוותן. הוא מחייב להחליף אותן לאחר כל ירי. בשיא תנופת הפיתוח הצליחו המהנדסים לירות בסך הכל שני קליעים ביום - ועוד לא הזכרנו את הקושי שבכיוון הרובה כך שיפגע במטרה קטנה ומהירה כל כך. על אף הקשיים, רובה המסילה הוא מבין הטכנולוגיות הבודדות של תכנית 'מלחמת הכוכבים' שעדיין נמצאות בפיתוח גם בימינו, ככלי נשק שעשוי להחליף יום אחד את התותחים שעל ספינות הצי האמריקני.

שתי הדוגמות האחרונות מראות עד כמה קשים ומסובכים היו האתגרים הטכנולוגיים שמולם ניצבה ארצות הברית במימוש חלומו של רייגן - וכל זאת בימים של מחשבי הקומודור, הווידאו והטייפ דאבל-קאסט. לכל זה יש להוסיף את העובדה שגם הסובייטים בוודאי לא ישבו בחיבוק ידיים. המדענים שלהם היו מבריקים לא פחות מעמיתיהם האמריקנים וודאי היו מוצאים דרכים להטעות את מערכת ההגנה ולשטות בה באמצעות טילי-דמה, למשל.

למעשה, יכול להיות שאולי לא היו חייבים לאמץ את מוחותיהם יותר מדי. נקודת התורפה הבסיסית של כל מערכת הגנה כנגד טילים היא העובדה שכמעט תמיד מחירה של מערכת ההגנה יהיה גבוה יותר ממחירו של טיל תוקף. כל מה שברית המועצות צריכה לעשות הוא להכפיל, לשלש או לרבע את מספר הטיילים הבליסטיים שברשותה! הרי בסופו של דבר, מערכת ההגנה האמריקנית תגיע לקצה גבול יכולתה - ולפחות כמה עשרות טילים יצליחו להסתכן. אם ניקח בחשבון שכל טיל בליסטי בין-יבשתי מכיל בדרך כלל כמה ראשי קרב גרעיניים המתפצלים מעל המטרה... אזי כל ההשקעה במלחמת הכוכבים לא השיגה דבר. אין פלא, אם כן, שרוב המבקרים

הקולניים של התכנית האמריקנית טענו שמדובר בבזבז מוחלט של כסף ורדיפה אחר הבלתי אפשרי. בעיות טכנולוגיות לא היו המכשול היחיד בפני רייגן. גם בחזית הדיפלומטית נתקלו האמריקנים בהתנגדות קשה ועיקשת ביותר לתוכנית מלחמת הכוכבים. כששמעו הפוליטיקאים המערב-אירופאים על 'מלחמת הכוכבים' בפעם הראשונה, הם היו משוכנעים שזו הצהרה לא רצינית, תעמולת בחירות ותו לא. כשהבינו שהנשיא רייגן מתכוון ברצינות גמורה למה שאמר בנאומיו, הם נכנסו להיסטריה: הצרפתים, המערב-גרמנים והבריטים הפעילו לחץ אדיר על ארצות הברית לוותר, או לכל הפחות למתן מאוד, את יזמת ההגנה האסטרטגית. על פניו, זו התנהגות משונה מאד מצדן: הרי מדינות מערב-אירופה היו בעלות בריתה של ארצות הברית, והאיום הקומוניסטי עמד על סף דלתן ממש. איזה אינטרס היה להם לחבל במכוון במאמצייה של ארצות הברית? התשובה לכך נעוצה באסטרטגיית ההגנה שהייתה נהוגה עד אז בשני הצדדים, האמריקני והסובייטי. היה לה שם קליט מאוד: MAD, ראשי תיבות באנגלית של Mutual Assured Destruction, 'השמדה הדדית מובטחת'. במילים פשוטות, לכל אחת משתי המעצמות היו מספיק טילים בליסטיים,

מטוסים וצוללות כדי להשמיד את הצד השני לחלוטין, בוודאות גמורה. זאת אומרת, אם בוקר אחד תחליט ארצות הברית, מסיבה כלשהי, לתקוף את ברית המועצות, ברית המועצות תשגר את הטיילים שלה ושתי המדינות יהפכו לשממה רדיואקטיבית. אבל גם אם בדרך נס יצליח צד אחד לתפוס את הצד השני עם המכנסיים למטה ולהכות בו בהפתעה גמורה, עדיין יישארו לצד המותקף מספיק כלי טייס וצוללות שלא נפגעו כדי לשגר תגובה הולמת ולסגור את החשבון.

קל להבין מדוע האסטרטגיה הזו קיבלה את השם MAD: היא באמת הייתה מטורפת. שתי המעצמות החזיקו אקדחים טעונים מכוונים זו לרקתה זו, ובמקרה של מלחמה גרעינית כוללת לא רק האזרחים האמריקנים והסובייטים יסבלו: העולם כולו יסבול. היה גם היגיון בטירוף הזה, הגיון שאי אפשר להתעלם ממנו. אסטרטגיית MAD יצרה שיווי משקל בין המעצמות: ההבנה ההדדית שבשום פנים ואופן אף צד אינו יכול לחלום אפילו על ניצחון במלחמה, הביאה לכך שלאף אחד לא היה אינטרס להילחם. אמנם המשפט 'טוב למות בעד ארצנו' הוא אידיאל מעורר הערכה אבל בפועל, כפי שגורסת אמרה מפורסמת - "המטרה האמתית של מלחמה היא

לגרום לממזר השני למות בשביל המדינה שלו".
ובמילותיו של הגנרל ג'ורג פאטון - "אל תצא לקרב
אם הניצחון חסר תועלת".

נוסף על כך, שיווי המשקל שנוצר היה שיווי משקל
יציב. דוגמה טובה לשיווי משקל יציב הוא כדור
שנמצא בין שתי גבעות: גם אם ננסה לדחוף את
הכדור הצדה, שיפוע המדרון יגרום לכך שהכדור
יחזור חזרה לנקודת האמצע, לשיווי משקל. זאת
אומרת, יש כוחות הפועלים על המערכת שדוחפים
אותה באופן אקטיבי להישאר בשיווי משקל.

אסטרטגיית MAD יצרה אצל שתי המעצמות נטייה
ברורה מאוד לשמור על שיווי המשקל ביניהם. זו
הסיבה, למשל, שברית המועצות וארצות הברית
חתמו ב-1972 על הסכם שאסר על כל אחת מהן
לפתח מערכות הגנה כנגד טילים בין-יבשתיים. עד
כמה שזה ישמע משונה, שיווי המשקל הזה אף הביא
לכך שהמעצמות עודדו זו את זו לרגל אחת אחרי
השנייה - או לכל הפחות, נמנעו מלהפריע לפעילותם
התקינה של לוחמי הריגול. בעזרת הלוחים, כל צד
היה יכול לוודא שהצד השני אינו מתארגן לתקיפה
ושכל ההסכמים נשמרים כלשונם.

מדינות מערב אירופה היו מרוצות - עד כמה שאפשר, כמובן - מהמצב הקיים: הן ידעו שברית המועצות לא תעז לתקוף אותן כל עוד אסטרטגיית MAD עדיין בתוקף. והנה, לפתע פתאום, מגיע 'הקאובי הגיבור' רונלד רייגן, ומחליט להציב בחלל מערכת הגנה שעלולה לערער לחלוטין את שיווי המשקל הזה. אם ארצות הברית תהיה מוגנת מפני התקפה סובייטית - אין לה אינטרס עקרוני לשמור על יציבות. מי יודע מה יכול לקרות... אולי יום אחד יעלה לשלטון נשיא אמריקני שיחליט שהגיע הזמן למחוק את הקומוניזם מהעולם? מה אכפת לו, הרי האזרחים שלו מוגנים ובטוחים... או אולי ברית המועצות תילחץ מהמצב החדש שנוצר, ותחליט להכות בארצות הברית כל עוד היא יכולה, רגע לפני שמערכת 'מלחמת הכוכבים' תהפוך למבצעית? והאירופאים יהיו בצד המפסיד - בעיקר כיוון שלא יהיה שום צד אחר.

רייגן השקיע מאמצים ניכרים בשכנוע בעלות בריתו לקבל את תכניתו. הוא לא אהב את ההישענות על MAD כפיתרון ארוך-טווח למניעת מלחמה, ובצדק. אסטרטגיית MAD מניחה, כעיקרון, ששני הצדדים נוהגים באופן רציונלי ומתוך אינטרס שימור עצמי. אבל מה יקרה אם, כמו בסרט 'מרגלים שכאלה',

טרוריסטים יחליטו לשגר טיל גרעיני? או אם מדינת צד-שלישי קיצונית ובלתי צפויה, כמו צפון קוריאה או אירן, תחליט לפתוח במלחמה גרעינית משיקולים שאינם ממש רציונליים? אפילו זיהוי מוטעה של שיגור או תקלה סתמית במערכת התרעה מוקדמת, עלולה להביא את העולם אל סף התהום - והיו מקרים כאלה בהיסטוריית המלחמה הקרה. מבחינתו של רייגן, אסטרטגיית MAD הייתה פיתרון של חוסר ברירה - ועכשיו הייתה לו ברירה.

היה לו גם תמריץ כספי משמעותי. פיתוח תכנית שאפתנית כל כך דורש מעורבות של כמעט כל החברות הביטחוניות בעולם. ברשימת קבלני המשנה של הצבא האמריקני שעסקו בפרוייקט 'מלחמת הכוכבים' אפשר למצוא את כל השמות הגדולים - החל מלוקהיד מרטין דרך מוטורולה וכלה בתעשיות הביטחוניות שלנו. פרוייקט טיל ה'חץ', למשל, מומן ברובו המוחלט מכספי תכנית 'מלחמת הכוכבים' וצה"ל הרוויח מערכות גילוי כמו מכ"ם 'אורן ירוק', שנחשב לאחד המתקדמים מסוגו בעולם. גם האירופאים רצו, כמובן, שתעשיות הנשק שלהן תיזכנה בפיסה מהעוגה השמנה הזו... וכשכסף מדבר, ובכן - אתם מכירים את ההמשך.

בתחילת המאמר העלתי את השאלה הבאה: האם יכול להיות שהמאמצים הכלכליים והטכנולוגיים שהושקעו בניסיון לבלום את האמריקנים, הם שגרמו להתמוטטות האימפריה הסובייטית?, עד שגרמו להתרסקותה?

אין ספק שהסובייטים כלל לא אהבו את יזמת ההגנה האסטרטגית. מיכאיל גורבצ'וב לא הפסיק לרגע לנסות ולשכנע את רייגן לוותר עליה. בכל פגישה ובכל דיון עלה הנושא הזה שוב ושוב. גורבצ'וב היה מוכן לעשות מעל ומעבר כדי שהתכנית תבוטל. למשל, כשנפגש עם רייגן ב-1986 בריקיווק שבאיסלנד, הסכים גורבצ'וב לקיצוצים מפליגים בארסנל הגרעיני של המעצמות, הויתורים הגדולים ביותר של ברית המועצות בעשרים וחמש השנים הקודמות, בתנאי ש'מלחמת הכוכבים' תבוטל. הוא אפילו הסכים להשמיד את כל הטיילים הבליסטיים של שתי המעצמות - כולם! עד האחרון שבהם! - בתנאי שרייגן יכריז, לכל הפחות, על הקפאת כל הניסויים בחלל במסגרת 'מלחמת הכוכבים'.

רייגן לא הסכים.



איור 17: רייגן וגורבצ'וב בפסגת ריקיוויק, 1986

פרוייקט מלחמת הכוכבים עלה לארצות הברית מאות מיליארדי דולרים בכל שנה. רונלד רייגן ידע שאין שום סיכוי שהקונגרס יאשר לו תקציב שכזה אם יזמת ההגנה האסטרטגית תישאר אך ורק בגבולות המעבדה, ולא תעזוב את גבולות האטמוספירה והוא סירב להצעתו המהפכנית של גורבצ'וב. רייגן היה מוכן לעשות הכול כדי לראות את תכניתו קורמת עור וגידים, ובשלב מסוים הוא אפילו הציע לגורבצ'וב שארצות הברית, עד כמה שזה נשמע מופרך ואבסורדי, תתן לברית המועצות, במתנה, מערכת

הגנה שכזו לאחר שתושלם. ההצעה הזו נשמעה מופרכת ואבסורדית גם למיכאל גורבצ'וב, והוא דחה אותה על הסף.

בכירי המדענים של ברית המועצות היו תמימי דעים, כמו רבים מעמיתיהם במערב, שאין שום סיכוי שהתכנית תשיג את מטרותיה בעתיד הנראה לעין. ברית המועצות לא הכריזה על יזמה נגדית משלה, ולא הקצתה תקציבי ענק לצורך העניין. חלק מהגנרלים והפוליטיקאים האמריקנים, כמו ראש ה-CIA רוברט גייטס, רצו מאוד להאמין של"מלחמת הכוכבים" הייתה השפעה כלכלית דרמטית על ברית המועצות - אבל מרבית ההיסטוריונים אינם מסכימים איתם. ההתנגדות הסובייטית לתכנית מלחמת הכוכבים לא נבעה מהקושי להתמודד עם הטכנולוגיה האמריקנית, כי אם מאילוצים פוליטיים פנימיים. הכלכלה הסובייטית הייתה אכן בצרות צרורות, אבל הצרות החלו עוד בשנות השבעים, זמן רב לפני שרייגן עלה לשלטון.

אפשר להצביע על מספר סיבות ברורות לכך שברית המועצות עמדה על סף פשיטת רגל. התעשייה הסובייטית הייתה תקועה בבוץ והטכנולוגיה שלה לא התקדמה אל עידן המחשב. המלחמה באפגניסטן בשנות השמונים עלתה הון תועפות. הכלכלה הייתה

מבוססת כמעט לחלוטין על ייצוא נפט, אבל מחירי הנפט בשנות השמונים היו נמוכים מאוד. בנוסף, חלק ניכר ממתבע החוץ הוקדש לקניית חיטה ולמוצרי יסוד ממדינות אחרות. במילים אחרות, המכונה התעשייתית הסובייטית אולי נראתה מפחידה ורבת עצמה מבחוץ, אבל למעשה הייתה חלולה מבפנים.

גורבצ'וב ועמיתיו הליברליים בהנהגה הסובייטית היו מודעים למצבה החמור של הכלכלה הסובייטית. הם ניסו לדרבן את הכוחות השמרנים של הצבא והמפלגה לשנות גישה ולנטוש את מרוץ החימוש היקר והבזבזני. הרי אין צורך בעשרים אלף טילים בליסטיים בין-יבשתיים, אם אלפיים יעשו אותה העבודה בדיוק.

אבל 'מלחמת הכוכבים' שמטה לחלוטין את כל הבסיס לטיעונם: אם המערכת תוקם בהצלחה, אלפיים טילים כבר לא יספיקו לעשות את העבודה, ואולי אפילו עשרים אלף! יזמת ההגנה האסטרטגית מנעה מהם לשכנע את הגנרלים השמרנים בכורח לקצץ בתקציבי ההגנה, במיוחד לאחר שרייגן כינה את ברית המועצות 'אימפריית הרשע' באחד מנאומיו. אנשים רבים בברית המועצות, וגורב'צוב ביניהם, חששו שהאמריקנים מסוגלים בהחלט לפתוח

במתקפת פתע כנגד ברית המועצות. במילים אחרות, ההתנגדות הסובייטית ליזמת ההגנה האסטרטגית נבעה משיקולים פוליטיים פנימיים בלבד. התמוטטותה של ברית המועצות הייתה תוצאה של התדרדרות כלכלית ארוכת שנים - ולא בגלל סינדרום 'המלכה האדומה'.

כשנפלה ברית המועצות והמלחמה הקרה הגיעה לקצה, סיימה גם יזמת ההגנה האסטרטגית את חייה. לאט לאט ובהתמדה חיסלו הממשלים הבאים, מג'ורג' בוש האב ועד ביל קלינטון, את תכניתו הגרנדיוזית של רייגן. היא הומרה לתוכניות קטנות יותר של הגנה כנגד טילים לטווחים קצרים ובינוניים.

פה ושם הפיקה 'מלחמת הכוכבים' פיתוחים טכנולוגיים שמצאו את דרכם גם אל השוק האזרחי ואל מעבדות המחקר. האסטרונומים, למשל, הרוויחו בגדול. לטלסקופים שמוצבים על כדור הארץ יש מגבלה קשה: האור שמגיע מהכוכבים מוסט ללא הרף על ידי תזוזת האוויר באטמוספירה ולכן התמונה המתקבלת על מראת הטלסקופ תמיד מטושטשת מעט. זו בעיה שפוגעת גם בביצועי קרני לייזר, ולכן הצבא האמריקני השקיע כסף רב במציאת שיטות למזער את ההשפעת מערבולות האוויר. תוצאת המחקרים הללו היא טכנולוגיה המכונה

'אופטיקה סתגלנית', Adaptive Optics: לפני כל חשיפה של הטלסקופ, יורים קרן לייזר חלשה אל הנקודה בחלל שאותה מעוניינים לצלם ומודדים את אור הלייזר שמוחזר אחורנית. תוצאות המדידה מושוות אל מול המאפיינים הידועים של קרן הלייזר, ומכאן ניתן לחשב את ההפרעה הצפויה לאור הכוכבים שעושה בדיוק אותה הדרך. כעת ניתן לשנות את צורת העדשה בהתאם, ולבטל את ההפרעות. התוצאה היא תמונות חדות וברורות באופן יוצא מן הכלל שפעם ניתן היה להשיג רק על ידי טלסקופים בחלל.

למרות פיתוחים כאלה ואחרים, קשה להעריך עד כמה באמת הייתה מוצדקת ההשקעה הכספית האדירה בתכנית 'מלחמת הכוכבים'. מי יודע - אילו רייגן היה מפנה את התקציבים למחקר בתחום הרפואה, למשל, אולי הייתה היום ברשותנו תרופה למחלת הסרטן.

לכל הפחות, אם יש משהו שניתן ללמוד מכשלון יזמת ההגנה האסטרטגית הוא שגם מעצמות-על כמו ארצות הברית אינן כל-יכולות. תכנית 'מלחמת הכוכבים' לא התרוממה מהקרקע למרות שמאחוריה עמדו כל עצמתה הכלכלית, המדינית והתרבותית של ארצות הברית. ברית המועצות התמוטטה בגלל

תהליכים היסטוריים ארוכי שנים, ולא בגלל חזון כזה
או אחר של רייגן. במילים אחרות, קצת צניעות אף
פעם לא תזיק.

6. אסטרונואוט, החלל הוא ביתך! על זבל מסוכן בחלל

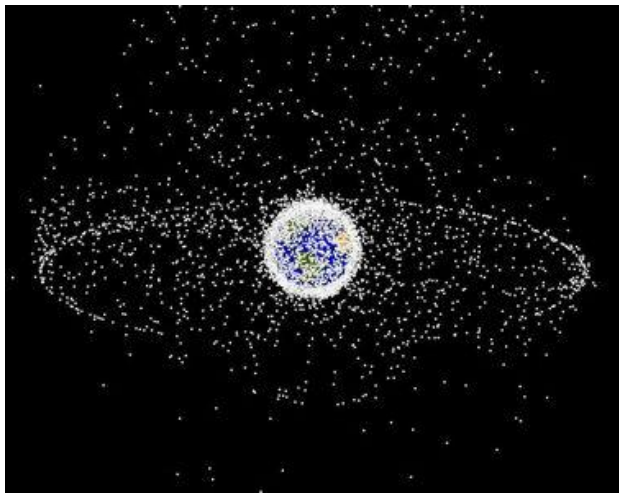
כולנו שמענו על האתגרים והסכנות שכרוכים בטיסה לחלל. גם כשחללית מצוידת במיטב הטכנולוגיה וצוותה מורכב מהמובחרים שבמובחרים - אף לא אחד יכול להבטיח שאסונות בחלל לא יתרחשו. לישראל יש ניסיון אישי מר בתחום זה: התרסקות מעבורת החלל 'קולומביה' ובתוכה האסטרונואוט אילן רמון ז"ל. אבל בשנים האחרונות הולך ומתגבר איום חדש על מי שמעזים לצאת את גבולות האטמוספירה.

בשנת 1996 שייט לו לוויין הריגול הצרפתי 'סרי' (Cerise) בגובה של כמה מאות קילומטרים מעל פני האדמה. לפתע הגיח מתוך החשכה עצם כבד בגודל של מזוודה ממוצעת, והתנגש במהירות מסחררת בלוויין. נזק כבד נגרם לסרי: אנטנה באורך מספר מטרים נשברה כמו גבעול של פרח. העצם שפגע בלוויין הייתה חתיכת מתכת שנשברה מטיל צרפתי

אחר בשם 'אריאן' לפני כעשר שנים, ומאז ריחפה בחלל ללא הפרעה. באופן עקרוני, אפשר היה לפטור את כל הסיפור כסכסוך צרפתי פנימי - שאריות מטיל צרפתי פוגעות בלויין צרפתי... יש בזה אפילו צדק פואטי. אבל השלכות ההתנגשות הזו ברורות: לו הייתה חתיכת המתכת הזו מתנגשת בחללית מאוישת כמו מעבורת חלל או תחנת החלל הבין-לאומית, היה מתרחש אסון כבד ביותר.

הנה הבעיה: נכון לרגע זה דוהרות למעלה מחצי מיליון חתיכות אשפת חלל במסלולים שונים מעל כדור הארץ. אני משתמש במילה 'דוהרות' במכוון. מהירויותיהן של פיסות האשפה האלו הן בתחום שבין עשרים אלף ק"מ לשעה ועד לשלושים אלף קמ"ש ויותר, וכל אחת יכולה להיות בגודל אפונה ומעלה. אל תתנו לאשליית ה'אפונה' להטעות אתכם: הכול עניין של מהירות. כשפיסת מתכת בקוטר ס"מ בודד מתרסקת לתוך חללית שנעה בעצמה במהירות של כמה אלפי קילומטרים לשעה, האנרגיה שמשתחררת בהתנגשות היא עצומה. מהירות ממוצעת של עצם במסלול נמוך סביב כדור הארץ היא בסביבות שבעה קילומטרים בשניה אחת - בהערכה גסה, פי עשר מקליע של אקדח. האנרגיה הקינטית, אנרגיית התנועה של העצם, עולה לפי

ריבוע המהירות שלו. המשמעות היא שאם עצם זעיר בגודל של כדור אקדח פוגע בחללית במהירות כזו, הפגיעה תהיה קשה פי מאה מפגיעת כדור רגיל. אם נסתכל על זה מזווית אחרת, מספיק עצם קטן פי מאה מקליע, כדי לגרום לחללית לנזק כאילו ירו עליה מטווח קרוב.



איור 18: הדמייה הממחישה את צפיפות אשפת החלל במסלול סביב כדור הארץ (נאס"א)

איך הגענו למצב שבו מאות אלפי אסונות פוטנציאליים מרחפים מעל כדור הארץ? הסיבה היא הזנחה שנמשכת כבר שנים רבות.

למשל, לווני הריגול הסובייטים מסדרת 'רורסט' (RORSAT), ששוגרו בזה אחרי זה משנת 1967 ועד 1988. מטרתם הייתה מעקב אחר כלי רכב של מדינות ברית נאט"ו באמצעות גלי מכ"ם. החזרי המכ"ם בגבהים שבהם משייטים לווני ריגול נמוכים מאוד ולכן לווני רורסט הוצבו במסלול קרוב מאוד לכדור הארץ, בגובה כמה מאות קילומטרים בלבד. המסלול הנמוך מנע מהמהנדסים להשתמש בפאנלים סולריים לצורך אספקת האנרגיה של מערכות הריגול: הקרבה לאטמוספירה הביאה לכך שלוחות סולריים יתפקדו כמו מפרש שיבלום את הלווין ויגרום לו לאבד מהירות וליפול. על כן נבנו כורים גרעיניים קטנים שסיפקו את החשמל ללווין.

הבעיה עם כורים גרעיניים היא שאי אפשר לתת להם להישרף באטמוספירה כשהלווין מסיים את חייו - החומר הרדיואקטיבי עלול להתפזר ולזהם את האוויר למשך שנים, ממש כמו באסון צ'רנוביל. הדרך להיפטר מהכורים הייתה להשליך אותם הרחק מכדור הארץ, להעלות אותם למסלול גבוה יותר: זה פיתרון מקובל גם היום, ומיד נרחיב עליו. אבל צריך

להשקיע אנרגיה כדי לדחוף את הכורים אל המסלול הגבוה, ולכן כדאי לדאוג שהמאסה שאנחנו רוצים להזיז תהיה קטנה ככל האפשר. לפני ששיגרו את הכורים למסלול רחוק מכדור הארץ, פתחו המהנדסים את הברזים בלווין ונתנו לכל נוזל הקירור של הכור הגרעיני לברוח החוצה. זה היה הגיוני מבחינה הנדסית, אבל מעשה מטופש בראייה ארוכת טווח: מאות קילוגרמים של נוזל קירור מעורב בחלקיקי מתכת קטנים וגדולים הסתובבו להם במשך שנים ארוכות סביב כדור הארץ, וחלקם מהווים סכנה עד היום.

גם לאמריקנים יש חלק משלהם בהתנהלות המטופשת בחלל, וגם כאן הדרך לגהנום הייתה רצופה בשטיח מקיר לקיר של כוונות טובות. בשנות החמישים של המאה העשרים, לפני עידן הלווניים, מרבית התקשורת הצבאית הסודית התנהלה באמצעות כבלים תת-מימיים באוקיינוסים. הגנרלים האמריקנים חששו שבזמן מלחמה הרוסים פשוט יחתכו את הכבלים הללו, וחיפשו אמצעי תקשורת בלתי ניתן לעצירה.

מישהו העלה את הרעיון המחוכם הבא: נשלח אל החלל מיליוני מחטים קטנטנות, שינועו במסלול מעגלי בגובה של כשלושת אלפים ושבע מאות

קילומטר. הכוונה הייתה שהמחטים הקטנות, כל אחת באורך של כסנטימטר וחצי, יצרו מעין 'חגורת מתכת' מסביב לכדור הארץ ('חגורת ווסט פורד' (West Ford), היה שמה). אם משדרים גלי רדיו בתדר שמתאים לאורך המחטים (שמונה ג'יגהרץ, במקרה הזה) גלי הרדיו ינתזו מחגורת ווסט פורד ויחזרו אל כדור הארץ וכך תתאפשר תקשורת בגלי רדיו מסביב לעולם ללא הפרעה.

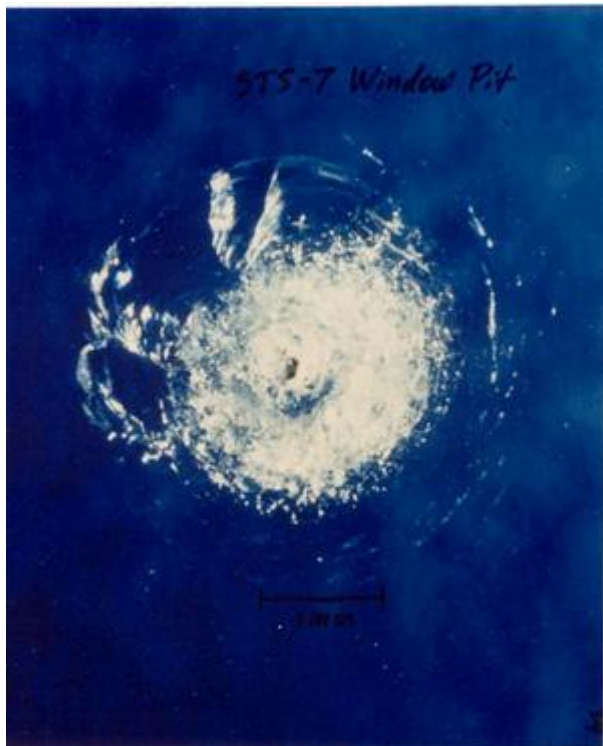
רעיון נהדר, ללא ספק, ואפילו הוכיח את עצמו במציאות: המחטים פוזרו במסלול הרצוי, והאמריקנים הצליחו לבצע כמה תשדורות רדיו ארוכות טווח מוצלחות. אך באותה התקופה ממש החלה הפריחה בעולם לוויני התקשורת, ולווין תקשורת הוא תחליף נהדר לחגורת המתכת: הם עושים אותה הפעולה, ברמה העקרונית, אבל יעילים הרבה יותר. לווין הוא מתקן אקטיבי: הוא מקבל את גלי הרדיו מכדור הארץ, הוא יכול להגביר אותם או לשנות את תדרם, לקבוע את עצמת השידור ולהחזיר חזרה תשדורת אכותית. 'חגורת ווסט פורד', לעומת זאת, היא סתם גוש של מחטים פסיביות לחלוטין. ברור לגמרי, אם כן, מדוע ננטש הרעיון הזה במהירות, ונותרנו עם ארבע מאות ושמונים מיליון מחטים שצריך להתחמק מהן. חלק ניכר מהמחטים

כבר הספיקו ליפול אל כדור הארץ מאז, אבל רבות מהן עדיין בשמיים.

במרוצת השנים שוגרו כמה אלפי חלליות ולווינים אל מחוץ לכדור הארץ. חלק קטן מהם נחת בחזרה או נשרף באטמוספירה, וחלק קטן עוד יותר עזב את גבולות כוח המשיכה של הכדור שלנו ויצא לחלל הפתוח. רוב הלוינים, הרקטות והמכשירים עדיין מקיפים את כדור הארץ. במרוצת השנים החיכוך עם האטמוספירה הדלילה והלחץ שמפעילים חלקיקים שנפלטים מהשמש יביא לכך שרוב העצמים הללו יפלו בחזרה לכדור הארץ - אבל זה עניין של זמן, זמן רב. במסלולי הקפה קרובים יחסית, עד אלף או אלפיים קילומטרים מעל פני האדמה, עשויים לחלוף מאות שנים עד שהאשפה תמצא את דרכה חזרה אלינו. לוינים במסלולי ההקפה הרחוקים יותר יכולים להמשיך ולרחף בחלל אלפי שנים.

המספר שציינתי קודם, חצי מיליון פיסות אשפה בחלל, מתייחס רק לחתיכות בגודל של ס"מ ומעלה, אבל יש עוד מיליוני חלקיקים קטנים יותר ומסוכנים לא פחות. במרוצת השנים הוחלפו כשישים חלונות במעבורת החלל השונות בעקבות שריטות וחריצים עמוקים שנוצרו עקב פגיעת חלקיקים קטנים בהם. באחד המקרים החמורים יותר שזכורים בנאס"א

(סוכנות החלל האמריקנית), התנגשות עם חלקיק צבע באורך מילימטר אחד כמעט ריסקה את חלון המעבורת לגמרי, והשאירה מכתש בהיקף כמה סנטימטרים על השמשה. אם החלקיק הזה היה פוגע באסטרונאוט בזמן הליכת חלל, חליפתו הייתה נקרעת וסביר להניח שגם הוא עצמו היה נפצע ישירות.



איור 19: מכתש פגיעה באחד מחלונות המעבורת
'צ'לנג'ר' (Challenger), בעקבות התנגשות עם
חלקיק צבע

לא תמיד עשויה הפסולת מחלקי לווינים או מחלליות. האשפה בחלל מגוונת מאוד: האסטרונאוטים של תחנת החלל 'מיר' השליכו ממנה למעלה ממאתיים שקיות זבל כבדות. אסטרונאוטים בהליכות חלל מאבדים מדי פעם מצלמות, מברגים, ואפילו כפפות. אבל אלו היוצאים מהכלל: מרבית העצמים שמרחפים בחלל הם תוצאת התנגשויות והתפוצצויות שמפזרות בבת אחת עשרות אלפי רסיסים ושברים לכל עבר.

אז מה נותר לעשות? לא הרבה. מזה כמה שנים הצבא האמריקני עוקב בעזרת טלסקופים ומערכות מכ"ם אחר כשלושה עשר אלף עצמים שגודלם מעל לכדור טניס בערך, בעיקר כדי לא להתבלבל ולחשוב שעצם כזה הוא טיל גרעיני בין-יבשתי, טעות שעלולה לעלות לכולנו ביוקר. כשעצם גדול שכזה מתקרב למעבורת או לתחנת החלל, האסטרונאוטים נוקטים בתרגילי התחמקות ומשנים את מסלולם. זה פיתרון בעייתי, בלשון המעטה - יש גבול למספר החלקיקים שניתן לעקוב אחריהם, והסטטיסטיקה לרעתנו תמיד.

אחת הדרכים להתמודד עם בעיית האשפה בחלל היא להתרחק ולעלות למסלול הקפה גבוה יותר. יש לפיתרון הזה אפילו כמה יתרונות מצוינים נוספים: חיכוך מופחת עם אטמוספירת כדור הארץ פירושו פחות דלק מבוזבז. מסלול הקפה גבוה יותר גם

מאפשר להישאר זמן רב יותר מעל אותה הנקודה על כדור הארץ, והדבר הופך את המעקב והתקשורת עם החללית לפשוט יותר. אבל גם בחלל, אין מתנות חינם: כדי לטפס כנגד כוח הכבידה של כדור הארץ צריך להשקיע אנרגיה רבה בצורת רקטות גדולות וחזקות יותר, ומשקל הדלק בא - כמו תמיד - על חשבון משקל הציוד המדעי והמחקרי שמכביד על החללית.

פיתרון נוסף הוא מיגון פסיבי לחלליות. 'מגן וויפל' (Whipple) הוא אחד מאותם מיגונים פסיביים: העיקרון פשוט אבל מחוכם. במקום שדופן החללית תהיה עשויה שכבה מוצקה אחת של חומר אטום, בונים את הדופן מכמה שכבות צמודות זו לזו ורווח זעיר ביניהן. כשחלקיק קטן מתנגש עם הדופן, כמו חלקיק הצבע שכמעט ניפץ את שמשית מעבורת החלל - המפגש יוצר חום עז שממיס את החלקיק באופן חלקי. כשהחלקיק עובר את הדופן החיצונית ופוגש את השכבה הפנימית אחריה, הוא כבר נוזלי ומתפרס על פני שטח גדול יותר. השטח הגדול (לא לשכוח, עדיין מדובר בכמה סנטימטרים מרובעים בלבד) פירושו שהלחץ שההתנגשות מפעילה על הדופן מתפזר אף הוא, והקיר מחזיק מעמד. יעילותו של 'מגן וויפל' מוגבלת לעצמים קטנים בלבד, כמובן,

וגוש מתכת בגודל של כדור גולף יעבור דרכו כאילו היה מרגרינה ונראה שייצא אפילו מהצד השני של החללית. לא הייתי רוצה להיות אסטרונאוט על תחנת החלל כשזה יקרה.

המדענים ערים, כמובן, לבעיה החמורה של זבל בחלל. הועלו הצעות שונות ומשונות כיצד לנקות את החלל מהאשפה הזו. למשל, לייזרים שישמידו את החתיכות הגדולות או שיסיטו אותן אל מסלול השמדה עצמית בהתרסקות אל כדור הארץ, או יאדו את החלקיקים הקטנים יותר. או אולי מפרשי ג'לי גדולים שישייטו בחלל ויאספו את האשפה אליהם, ועוד הצעות שונות ומשונות בעלות מכנה משותף אחד - אף אחד לא ישקיע את מיליארדי הדולרים שנדרשים כדי לממש אותן. פתגם ידוע אומר שההבדל בין גאונות לטיפשות הוא שלגאונות יש גבולות - ובכל הקשור לזיהום החלל, טיפשות הייתה ועודנה.

לשמחתנו, הרשויות בימינו תפסו את הסכנה המדוברת וכל סוכנויות החלל מנסות למזער את התרחבות הבעיה. אחת השיטות המקובלות היא 'מסלול בית הקברות': כל חברה מסחרית שמבקשת לקבל רשיון לשיגור לוויין מממשלת ארצות הברית, למשל, חייבת על פי חוק לתכנן אותו כך שבסוף

תקופת פעילותו היא מרחיקה אותו למסלול רחוק מאוד מכדור הארץ, שלא יסכן חללית או לוויין אחרים. השיטה הזו יעילה למדי, אבל רק ללווינים שנמצאים בלאו הכי במרחק רב מכדור הארץ (כמו לוויני GPS או לוויני תקשורת) כך שלא צריך להשקיע מאמץ רב כדי להביא אותם למסלול בית הקברות. ללווינים במסלולים קרובים יותר אין עדיין פיתרון קל, והם עשויים להישאר במסלול עשרות שנים עד שיפלו בחזרה לכדור הארץ.

בכל זאת, יש התקדמות בכיוון הנכון. בעבר, אף אחד לא הקדיש מאמץ להיפטר מלווינים לאחר תום שירותם. דאגת המהנדסים העיקרית הייתה לוודא שאם הלוויין חוזר אל כדור הארץ, הוא לא יפול לאף אחד על הראש. זו אינה משימה פשוטה, והאסטרונאוטים בחלליות הראשונות לא ידעו (או שידעו במידה גסה מאוד) לאן יפלו כשיחזרו חזרה. ג'ון גלן (Glenn), האמריקני הראשון בחלל, לקח אתו בחללית פתק ועליו היה כתוב בכמה שפות - "אני זר מהכוכבים ופני לשלום. קחו אותי אל מנהיגכם ותזכו לפרס עצום בחיי הנצח." מאוחר יותר הסביר גלן שחשש שמא יפול בידי שבט פרימיטיבי באוקיינוס השקט, ובכל הסרטים שראה הגיבור תמיד אומר לפראים "Take me to your leader".

כיום, משתדלים המהנדסים להפיל את הלווינים באזורים נידחים במיוחד על כדור הארץ, כדי למזער את הסיכון לפגיעה באזרחים. אחד מהמקומות המפורסמים יותר הוא 'בית הקברות לחלליות', אזור בדרום האוקיינוס השקט אי שם ליד ניו זילנד, לא מעט לווינים וחלליות התרסקו במימיו.

לא כולם מודאגים מבעיית האשפה בחלל באותה המידה. באחד עשר בינואר, 2007, שיגרו הסינים טיל ניסיוני נגד לווינים. הטיל עזב את כדור הארץ ואז התביית על מטרתו: לוויין מזג אוויר סיני חסר מזל. הטיל והלוויין נעו זה מול זה במהירות יחסית של כשמונה עשרה קילומטרים בשניה, והפגיעה הייתה מדויקת: כל מה שנותר מהלוויין והטיל היו אלפי שברים זעירים שהתפזרו לכל עבר, ובתוך שבועות ספורים נוצרה חגורת רסיסים שהקיפה את כדור הארץ כולו, ממש כמו החגורות הצבעוניות והנהדרות של כוכב הלכת שבתאי. שאר המעצמות היו לא מרוצות, כצפוי, מהניסוי הסיני. הדיפלומטים עיקמו את אפם לנוכח 'עליית המדרגה' במירוץ החימוש בחלל והתחזקות האיום הסיני, אבל לכולם היה ברור שיש כאן לא מעט צביעות. האמריקנים מתנגדים בעקביות לאמנה שאוסרת על ניסוי נשק בחלל, ובעצמם ניסו לא פעם טילים דומים נגד לווינים.

השלכות הניסוי על מצב הזבל בחלל, לעומת זאת, היו רציניות יותר. הניסוי הסיני הוא האירוע המזהם ביותר בחלל מאז ומעולם, והיה צורך להזיז לפחות לוויין אחד ממסלולו המתוכנן כדי להימנע מהסכנה של פגיעה ברסיסי ההתנגשות.

ב-1978 העלה המדען דונלד קסלר (Kessler) את התאוריה המכונה על שמו, 'סינדרום קסלר'. על פי חישוביו של קסלר גם אם נפסיק היום את כל שיגורי החלליות בבת אחת, כמות הזבל שהצטבר בחלל כבר הגיעה למאסה קריטית. המכניזם שאחראי יותר מכל לזיהום החלל הוא התנגשויות והתפוצצויות, וכל התנגשות בין שני גופים יוצרת רסיסים קטנים רבים שמתפזרים בחלל, מתנגשים בעצמם בגופים אחרים וכן הלאה. בתוך כמה עשרות שנים, שיער קסלר, יתמלא המרחב באינספור חלקיקים מסוכנים כתוצאה מההתנגשויות הבלתי נמנעות בין פיסות האשפה שכבר נמצאות היום בשמיים. החלקיקים ייצרו מעטפת קטלנית סביב כדור הארץ, מעטפת שתמנע דה-פקטו כל אפשרות לצאת לחלל. אם יתממש החזון האיום הזה, אנו עלולים למצוא את עצמנו במצב שבו דורות שלמים של בני כדור הארץ לא יוכלו לפתח טכנולוגיית חלל מתקדמת: לא נוכל לשגר לווייני תקשורת, טלסקופים מתוחכמים וכמובן

אסטרונאוטים למאדים או למשימות אחרות. למגבלות כאלה עלולות להיות השפעות חמורות על הטכנולוגיה בכלל: שידורי הטלוויזיה, תחזיות מזג האוויר וניווט באמצעות GPS, למשל, הן דוגמות לטכנולוגיות יומיומיות אשר תלויות במידה רבה ביכולתנו לשגר לווינים לחלל.

האם איחרנו את המועד? האם יהיה זה המצב בשנים הבאות? ימים יגידו. זבל החלל הוא רק פן אחד של התנהלות אנושית מטופשת: נכון להיום אנו מתייחסים לאוויר שאנחנו נושמים, למי-שתייה בקרקע ולמי-המלח של האוקיינוסים באותה קלות ראש שבה התייחסו המדענים לחלל ה'אינסופי' שמחוץ לכדור הארץ. לכל הפחות, אנו למדים לקח אחד ברור מכל העניין: אף פעם לא מוקדם מדי לחשוב על העתיד.

7. הלאה, אל המרחק: על מסעות ארוכים אל הכוכבים

כששירתתי בחיל הים, יצאתי מספר פעמים להפלגות ארוכות בים התיכון. כשאתה מפליג בספינה יום אחר יום, שעה אחר שעה, המסע הופך להיות שגרת. סדר היום שלך קבוע, משמרות מתחילות ונגמרות. ארוחת בוקר, להקיא את ארוחת הבוקר, ארוחת צהרים, להקיא את ארוחת הצהרים... הפלגה שגרתית.

אבל באחת ההפלגות, כשהיינו כבר ממש בלב ים, התקלקל לפתע מתפיל המים של הספינה, המכונה שהופכת מי-ים למים מתוקים ראויים לשתייה. בבת אחת, ללא שום אזהרה מוקדמת, ההפלגה השגרתית והמשעממת הפכה להיות עניין מסוכן מאוד. היינו כמה עשרות אנשים בספינה, מזג האוויר היה חם ומיכל המים של הספינה לא היה גדול במיוחד. מפקד האנייה הכריז על משמעת מים חמורה. כל אחד קיבל הקצאת מים יומית ונאסר

עלינו להתקלח או אפילו לשטוף פנים. פתאום נחתה עליי ההבנה עד כמה מסוכן מסע ארוך בלב ים, כשהספינה רחוקה מכל נמל ומכל עזרה אפשרית. כל תקלה, כל בעיה פשוטה שביבשה הייתה גורמת לאי נוחות זמנית בלבד, עלולה בים להפוך לעניין של חיים ומוות. פשוטו כמשמעו.

בפרק הזה נדבר על מסעות מסובכים בהרבה מהפלגה ארוכה בים: מסעות אל הכוכבים הרחוקים, אל מעבר לגבולות מערכת השמש שלנו.

אבל לפני שנעבור לדבר על האתגרים שעומדים בפני האנושות בבואה להפוך את המסעות הללו למציאות, כדאי להתעכב על שאלה חשובה: למה לעשות את המסע הזה בכלל? מה הטעם? מה יש לנו לחפש בנקודות האור הקטנות האלה שאנו רואים בשמיים כל לילה?

הסיבה אחת היא גיבוי. כדור הארץ הוא סביבה נעימה לבני אדם: הטפרטורות בדרך כלל נוחות, לחץ האוויר מתאים לריאותינו וכוח המשיכה סביר. אבל לפעמים יש תקופות שבהן כדור הארץ מפסיק להיות כל כך נעים, ואז... אין לאיפה לברוח. כדור הארץ הפסיק להיות נחמד לדינוזאורים לפני כשישים

וחמישה מיליוני שנים, ולדינוזאורים לא היה לאן לברוח. הם נכחדו.

אם אתם חושבים שמאורע קטסטרופלי נדיר כל כך, אולי אפילו חד פעמי - תחשבו שוב. בחמש מאות וחמישים מיליוני השנים האחרונות התרחשו לפחות חמש הכחדות המוניות על כדור הארץ. המדענים מגדירים 'הכחדה המונית' כהשמדה של למעלה מחמישים אחוזים ממיני בעלי החיים על כדור הארץ, אבל כבר היו הכחדות שבהן נעלמו כתשעים אחוזים מכל בעלי החיים שעל כוכב הלכת שלנו. הסיבות לאסונות הללו אינן חשובות ממש. פעם היה זה מטאור ענק שפגע בכדור הארץ, ופעם אחרת התפרצויות הרי געש שהרעילו את האטמוספירה. הנקודה החשובה כאן היא שאם אין לאן לברוח, אם אין גיבוי של האנושות במקום אחר ביקום, המין האנושי בצרות. במערכת השמש שלנו אין אף כוכב לכת אחד או ירח שמתאים לבני אדם, ויידרשו מאמצים אדירים ובלתי נתפסים כדי להפוך אחד מהם למקום שבני אדם יכולים להתקיים בו באותה רמת נוחות שאנחנו רגילים לה על כוכב האם שלנו.

הסיבה אפשרית נוספת שבגללה כדאי לצאת למסע אל הכוכבים הרחוקים היא עצם המסע עצמו. הסקרנות האנושית הבלתי פוסקת השתלמה לנו

תמיד בטווח הארוך. מסעות המחקר אל ארצות חדשות הניבו שטחים גדולים לחקלאות וקשרי מסחר לתבלינים, למתכות וכיו"ב. הספרדים שהגיעו אל אמריקה הדרומית קיבלו מהמקומיים מתנות נפלאות ולא צפויות שאנחנו נהנים מהן עד היום, כגון שוקולד וקפה. דרך אגב, גם הספרדים הביאו אתם מתנה מאירופה - אבעבועות רוח, מחלה שחיסלה חלק ניכר מהאוכלוסיה המקומית.

גם ברמה האישית, אנחנו מפארים ומהללים את האנשים שהיה להם את האומץ ללכת אל הלא הנודע - מגלי עולם כמו קולומבוס, מרקו פולו ומגלן. נדמה שהתרבות שלנו, אולי אפילו הגנים שלנו, מכריחים אותנו לחקור את סביבתנו ללא הרף.

המסע אל כוכב אחר הוא אתגר פוטנציאלי בקנה מידה שהאנושות לא התמודדה עמו מעולם. מסעות ארוכים היו שכיחים למדי בתקופות מוקדמות - במיוחד בימי הזוהר של האימפריה הספרדית והאימפריה הפורטוגלית במאות ה-15 וה-16 אבל גם ההפלגות הממושכות והנועזות ביותר של מגלי הארצות הן טיול למכולת בהשוואה לטיסה בחללית אל מעבר לגבולות מערכת השמש.

פרדיננד מגלן (Magellan), לדוגמה, הפליג מסביב לעולם במאה ה-16 עם מאתיים וארבעים מלחים על שלוש ספינות: רק חמישים מהם שרדו את הקשיים שבדרך. רעב, מחלות איומות, מרד על הספינה, סופות וסערות חיסלו את הפורטוגזים בזה אחר זה. מגלן עצמו נהרג במהלך המסע בקרב בפיליפינים, עם כמה מעשרות אנשיו. ועדיין, על אף הקשיים הנוראיים של מסע שכזה, למגלן היו הפריבילגיות שלאסטרונואטים העתידיים לא יהיו: אין איום בדרך אל הכוכבים שבהם ניתן לעצור ולהצטייד באספקה, ומי שיצא אל המסע לא יוכל לעולם לחזור אל כדור הארץ. המסע של מגלן ארך כשלוש שנים, בעוד שהתחזיות האופטימיות ביותר מדברות על עשרות שנות מסע לכוכבים.

החללית המהירה ביותר מעשי ידי אדם, וויאג'ר אחת (Voyager 1), דוהרת החוצה ממערכת השמש במהירות של כשמונים אלף קילומטרים בשעה: ידרשו לה אלפי שנים כדי לחצות את המרחק אל פרוקסימה קנטאורי, הכוכב הקרוב ביותר אלינו. אלו קשיים, אם כן, מצפים למי שמתכנן לקחת על עצמו את המסע הארוך?

הבעיה הראשונה היא מימון. פרוייקט בסדר גודל כזה עשוי לעלות מאות מיליארדי דולרים. גם בשער

הדולר הנוכחי, זו הוצאה אדירה, כמעט כמו מחירה של דירת חדר וחצי בתל אביב. נכון להיום, לאף ממשלה אחת בעולם אין אינטרס כלכלי להשקיע במסע לכוכבים. נוסף על כך, הטכנולוגיה מתקדמת משנה לשנה בקצב מסחרר: אם נשגר מחר חללית, יש סיכוי סביר שהחללית שישגרו בני הדור הבא תהיה מהירה ממנה, תעקוף אותה ותגיע אל היעד לפניה. במצב עניינים שכזה, לאף אחד אין סיבה לקחת על עצמו פרויקט שאפתני כל כך - פרט אולי לגנבי מתכות שירצו לחכות לוויאג'ר בפרוקסימה קנטאורי, לפרק אותה ולמכור אותה לסינים. אבל גם גנבי מתכות בעלי מוטיבציה גבוהה במיוחד ייתקלו באתגרים לא פשוטים.

אם נצליח לבנות חללית שמסוגלת לטוס במהירות הקרובה למהירות האור, הטיסה עשויה להתקצר מאלפי שנים לעשרות שנים בלבד. על אף שיש כוכבים שמרחקם מאתנו שנות אור בודדות, אציין את הגבול התחתון ב'עשרות שנים' כיוון שההאצה למהירות האור דורשת שנים. גם ההאטה והבלימה ממהירות האור היא סיפור ממושך. בנוסף, חללית שנעה במהירות האור עיוורת כמעט לחלוטין: למשל, אי אפשר להשתמש במכ"ם, כדי לגלות אסטרואידים, שכן הקרניים האלקטרומגנטיות של המכ"ם נעות אף

הן במהירות האור. החללית וקרני המכ"ם יפגשו את האסטרואיד פחות או יותר באותו הזמן. מחשב מתוחכם של טייס אוטומטי לא יעזור כאן: האותות החשמליים בתוך המחשב נעים בעצמם לכל היותר במהירות האור, וגם הוא לא יספיק אפילו למצמץ לפני ההתנגשות. וגם אם נצליח, במזל, לגלות עצם מסוכן בדרך - בחללית מהירה כל כך אי אפשר לשנות כיוון: האינרציה שצובר גוף כה מהיר, אדירה. תחשבו על רכבת שדוהרת על הפסים במהירות של מאה ועשרים קילומטרים לשעה, ותתחילו לקבל מושג על גודל הבעיה.

גם טיסה אטית ומבוקרת יותר מציבה בפנינו בעיות משלה. לבני אדם יש דרישות קיום מינימליות: אטמוספירה סבירה, מזון ושתייה לדרך. אין אפשרות מעשית לאחסן בחללית מזון שיספיק למאות שנים, ועל כן יהיה צורך לנקוט בשיטות מיחזור שונות. מכונות המיחזור יהיו חייבות להיות אמינות מעל ומעבר לכל מכונה או מתקן מכני שהמציא האדם עד כה, כולל מכונות יפניות. כל מולקולת חמצן שתברח לחלל וכל טיפת מים שתתנדף יקרות מפז ונטולות תחליף. על כדור הארץ יש מכונות שפועלות במשך עשרות ומאות שנים: ה'ביג בן', למשל, השעון שבראש מגדל הפרלמנט הבריטי, מתקתק כבר

למעלה ממאה וחמישים שנה. אבל גם ה'ביג בן'
דורש תחזוקה מתמדת, חלקי חילוף ושימון קבוע -
מותרות שלא יהיו לנוסעים בחללית אל הכוכבים.

בעיה נוספת הן הקרניים הקוסמיות המהוות איום
רציני על חיי הנוסעים שבספינה. קרניים קוסמיות הן
חלקיקים שנעים במהירות גבוהה, כגון פרוטונים
שנפלטו מסופר נובה מרוחקת. השדה המגנטי של
כדור הארץ מגן עלינו מפני חלק ניכר מהקרניים
הללו, אבל חללית תהיה חשופה לחלוטין אם לא
יוצבו בה אמצעי הגנה יקרים ומסובכים. הקרניים
הקוסמיות פוגעות במולקולות הדנ"א שלנו ויוצרות
תאים סרטניים ומוטציות מסוכנות.

גם הבריאות הנפשית נמצאת בסכנה כשמדובר
במסע של עשרות שנים. עובדה ידועה היא שבני
אדם אינם מסתדרים טוב זה עם זה בתנאי לחץ
ובצפיפות לאורך זמן רב. בתחילת שנות התשעים
נערך בארצות הברית ניסוי בשם 'ביוספירה 2'. מטרת
הניסוי הייתה לבחון את האפשרות ליצירת סביבה
סגורה ואוטונומית לחלוטין, כמו זו שצפויה להיות
במסע ארוך לכוכבים. שבעה אנשי צוות נכנסו לתוך
מבנה אטום וחיו בו לאורך מספר חודשים ללא תלות
בעולם החיצוני: הם גידלו את המזון שלהם בעצמם,
מיחזרו את המים והאוויר וכדומה. לאורך הזמן היו

תקלות בציד ובעיות במיחזור, אבל הבעיה הגדולה ביותר הייתה דווקא הבעיה החברתית. במספר חודשים צצו מחלוקות לגבי אופן ניהול הניסוי, אנשי הצוות נחלקו לשני מחנות מסוכסכים וגם אנשים שהיו פעם חברים טובים הפסיקו לדבר זה עם זה. בסופו של דבר, אחת מהקבוצות פתחה את דלתות המבנה, אוויר מבחוץ חדר אל הביוספירה והניסוי הסתיים.



איור 20: מבט מבחוץ על מבנה הניסוי 'ביוספירה 2'

על ספינות סוחר אזרחיות יש מדרג היררכי ברור בצוותים: קפטן, קצינים, סמלים בכירים וכולי - ולא במקרה. ההיררכיה תורמת להפחתת החיכוכים ולשקט התעשייתי, אבל במסעות ארוכים במיוחד גם מבנה חברתי נוקשה עשוי שלא להספיק. הסופר רוברט היינלין מתאר בספרו 'Orphans of the sky' ("יתומים בשמיים", בתרגום חופשי) ספינת חלל שנמצאת במהלך מסע בין מאות שנים אל כוכב שכן. הלחצים החברתיים האדירים בתוך הספינה הובילו למרד שבמהלכו נרצחו כל הקצינים. בניהם ובני בניהם של הנוסעים שכחו לגמרי את מטרת המסע והחברה בחללית התדרדרה לתרבות חקלאית קדם-טכנולוגית, וכולם משוכנעים שספינתם היא היקום כולו.

כדי לנעול את רשימת הבעיות והקשיים, אוסיף את המיקרומטאוריטים - חלקיקי אבק ואבנים קטנות שמרחפים בחלל הבין-כוכבי. המיקרומטאוריטים כשלעצמם אינם מהווים סכנה קיומית לחללית, אבל לאורך עשרות ומאות שנים השפעת מיליוני הפגיעות הקטנות בגוף היא כמו זו של נייר שיוף, והמתכת בחרטום הספינה תעלם בהתמדה. הסופר ארתור ס' קלארק הציע שיטה מעניינת להילחם בבעיה הזו. בספרו 'שירי ארץ הרחוקה' (The Songs of)

(Distant Earth) הוא מתאר איך בקדמת החללית מוצבת שכבה עבה מאוד של קרח. הקרח סופג את פגיעות המיקרומטאוריטים ומתפורר לאטו וצוות החללית מחליף אותו בקרח חדש מדי כמה עשרות שנים.

לאחר שסקרנו את כל הבעיות, הבה נתאר חלק מהפתרונות האפשריים למסע ארוך אל הכוכבים.

ספינות רובוטיות הן אחד הרעיונות הראשונים והברורים מאליהם בכל הנוגע לטיסות חלל למרחקים. למעשה, אנו נוקטים בשיטה זו מזה זמן רב: כל החלליות שנשלחו מכדור הארץ אל כוכבי לכת אחרים היו בלתי מאויישות, ועל מאדים מטיילים הרובוטים 'ספיריט' ו'אופרטיוניטי'. השימוש בספינות רובוטיות הוא פיתרון מעשי אך מוגבל. הוא מאפשר לנו לחקור את הכוכבים הרחוקים (עד לגבולות האינטליגנציה המלאכותית של הרובוטים) אבל אינו מאפשר לנו להגיע אל הכוכבים בעצמנו ובכך אינו פותר את בעיית גיבוי עתיד האנושות במקרה של אסון גלובלי.

הקפאה היא פיתרון נוסף בעל פוטנציאל חיובי. על פי שיטה זו החללית הנשלחת מאוכלסת במאות ואלפי נוסעים מורדמים ומוקפאים עד להגעתם לכוכב היעד,

שם יופשרו ויוחזרו לחיים. מדענים רבים מנסים היום למצוא דרכים להקפיא בעלי חיים לתקופות ארוכות. הם לוקחים דוגמה מחיות ששנת חורף ארוכה היא דבר שבשגרה אצלם, כמו דובים. הקפאה, עם זאת, אינה דבר פשוט: כשהנוזל בתאים קופא, הוא מתרחב ומפוצץ את דפנות התא. הטכניקות שנבחנו היום לביצוע הקפאה כוללות אי נעימויות קלות כמו ריקון כל הדם מהגוף. נכון להיום המדענים הצליחו להקפיא ולהחזיר לחיים רק חיות קטנות כמו כלבים, חולדות ועכברים לתקופות קצרות בלבד, אבל המחקרים בתחום נמצאים רק בראשיתם וממצאים חדשים עלולים להרחיב את האפשרויות למסע ארוך. הקפאה (בשם אחר, 'קריוניקה') היא אחת מהשיטות האהובות על סופרי המדע הבדיוני בנסיונם לפתור את בעיית המסעות הארוכים, אבל הם מודעים לחסרונות האפשריים שלה. גם כאן, לאמינות הציד יש חשיבות מכרעת. בסרט 'אודיסאה בחלל 2001' של הבמאי סטנלי קובריק, (גם הוא מבוסס על סיפור של ארתור ס' קלארק), נשלחים לכוכב הלכת צדק חמישה אסטרונאוטים, שלושה מהם מוקפאים. מחשב החללית, האל 9000, משתגע. הוא מתמרן את שני האסטרונאוטים האחרים, דייב באומן ופרנק פול, לצאת מהחללית להליכה בחלל, ואז רוצח את

שלושת חברי הצוות הישנים. התרחיש הזה קיצוני מעט, כמובן, אבל כשמדובר בציד אלקטרוני רגיש שאמור לפעול מאות שנים ברציפות, אין מקום לטעויות.

מעניין לציין שגם וודי אלן עשה שימוש בהקפאה באחד מסרטיו, אבל שלא לצורך מסע לכוכבים. בסרט 'ישנוני' (Sleeper) נכנס מיילס מונרו לניתוח אולקוס פשוט ויוצא ממנו מאתיים שנה מאוחר יותר. העתיד, על פי וודי אלן, צופן בתוכו המצאות מדהימות כמו ה'אורגזמטרון' ובננות שגדלות לממדי סירת קאנו. מצד שני, יש דברים שלא משתנים - מכוניות חיפושית בנות מאתיים שנה עדיין מניעות על המכה הראשונה.

אלטרנטיבה להקפאה עשויה להיות 'ספינת דורות'. בספינת דורות יחיו כמה מאות נוסעים שיעסקו בפעולות היום-יומיות של מחקר ותחזוקת החללית. במהלך השנים יוולדו להם ילדים, וילדים אלה יגדלו ויחונכו בחללית. הידע הנדרש לניהול החללית ובסופו של דבר גם להתנחלות בעולם החדש יועבר מדור לדור עד לסוף המסע. ספינת הדורות היא השיטה ה'טבעית' ביותר, שכן גם כדור הארץ הוא בסופו של דבר סוג של ספינת דורות בקנה מידה גדול.

לפיתרון הזה יש חסרונות ברורים שהוזכרו עוד קודם, כמו אי היציבות החברתית והאתגר שביצירת המעטפת הטכנולוגית שתשמור על חייהם של אנשים רבים כל כך לאורך שנים רבות. קושי נוסף ופחות ברור לעין הוא שמירה על יציבות הקוד הגנטי של נוסעי הספינה. מטבע הדברים, החיים בקהילה מצומצמת יובילו כעבור מספר דורות לילדים שיוולדו להורים קרובי משפחה. ילדים שיוולדו לזוגות שקוד הדנ"א שלהם דומה, יימצאו בסיכון גבוה לפגעים כמו פיגור שכלי, עיוורון, חירשות ועוד. כדי ליצור גיוון גנטי גדול מספיק בקהילת נוסעי החללית יהיה צורך במספר רב של נוסעים - בין מאתיים לחמש מאות איש - שיהוו מינימום גנטי לתחילת המסע.

במקום לשלוח כמות כה גדולה של חלוצים, דבר שייקר וייסבך מאוד את הפרוייקט, אולי כדאי לנסות פיתרון אפשרי אחר: הארכת חיים. אם יהיה אפשר בעתיד לעכב את ההזדקנות ולהאריך את תוחלת החיים של האדם, נוכל לשלוח קבוצה קטנה של אסטרונאוטים ולקוות שהניסיון הרב שירכשו במהלך ימי חייהם יסייע להם לעמוד באתגרים שבכיבוש עולם חדש. עד כה לא הצליחו המדענים לגלות את סוד אריכות החיים. אולי טוב שכך: אף אחד לא יכול לנחש אילו תופעות ובעיות פסיכולוגיות יצוצו אצל

אדם בן שלוש מאות שנים. כל בעיה פסיכולוגית שלא תהיה, אין ספק שהבדידות והניתוק שמסע לכוכבים יכול ליצור רק יחמירו אותה.

כדאי אולי לשקול את הפיתרון האחרון שיוזכר: 'ספינת עוברים'. בספינת עוברים מי שנשלחים למסע הם תאים עובריים שזה עתה נוצרו ושניצוץ החיים כבר קיים בתוכם. תאים עובריים ניתן להקפיא לתקופות ממושכות, תהליך שמבוצע כיום כדבר שבשגרה, וחללית יכולה להכיל בתוכה עשרות אלפי עוברים זעירים ועדיין להיות קטנה מכל חללית מאוישת באמת. האתגרים הטכניים למימוש ספינת עוברים ברורים: יש לתכנן רחם מלאכותי כדי לגדל בו את התינוקות בבוא הזמן, והרובוטים של החללית יצטרכו להיות בעלי אינטליגנציה מלאכותית טובה מספיק כדי לגדל ילד אנושי, לספק את צרכיו, לשמור על ביטחונו ולחנך אותו בהתאם. מצד שני, יש אנשים לא מעטים כאן על כדור הארץ שהם הורים גרועים כל כך וכל מחשבון כיס של קסיו יעשה עבודה טובה יותר.

לפני שנסיים, נקודה אחרונה למחשבה. מה יקרה אם לאחר שהנוסעים בחללית יתגברו על כל המכשולים, יעברו מאות שנים של בידוד וסבל, יתמודדו עם בעיות מכניות ורפואיות בלתי אפשריות כמעט ויעשו

את הבלתי ייאמן... הם יגלו שכוכב הלכת המיועד
אינו פנוי להתיישבות?...

8. האדמירל שהלך לאיבוד: על מפות עולם וניווט ימי

מוחמד אל-אידריסי (Al Idrisi) היה מלומד בר מזל. אל-אדריסי נולד בצפון אפריקה בשנת 1099 וגדל בספרד המוסלמית. משם יצא אל-אדריסי למסעות ארוכים שהובילו אותו מליסבון שבפורטוגל ועד דמשק שבסוריה. במהלך מסעותיו התפתחה אצלו אהבה גדולה לגאוגרפיה, או במילים אחרות: חקר כדור הארץ.

נדודיו הביאו אותו אל העיר פלרמו שבאי סיציליה והפגישו אותו עם אדם שחלק עמו את האהבה הגדולה לגאוגרפיה. אדם זה היה רוג'ר השני, מלך סיציליה. כפי שכבר אמרנו, אל-אדריסי היה מלומד בר מזל. רוג'ר השני היה השליט הנכון ובמקום הנכון. סיציליה הדרומית הייתה במגע רצוף עם העולם המוסלמי והנצרות בשטחה הייתה אדוקה פחות מבאזורים אחרים באירופה, ומכאן גם ליברלית וקוסמופוליטית יותר. רוג'ר השני, אדם נאור וסקרן,

אסף סביבו רופאים, פילוסופים, מתמטיקאים ומלומדים מכל תחום.

המלך ביקש מאל-אדריסי לאסוף את כל המידע על העולם שסביבם (או לפחות העולם הידוע באותה תקופה) ולאגד אותו במפה אחת, מקיפה וברורה. מקומות, מדינות, תרבויות, אקלים, צמחים, בעלי חיים - הכול. בעידן שלפני וויקיפדיה, זו הייתה משימה לא פשוטה. אל-אדריסי לקח על עצמו ברצון את השליחות הכבירה. רוג'ר השני יצר את כל התנאים האפשריים כדי להצליח בה. זמן? אין בעיה, כמה שיידרש. כסף? כמה שצריך. עוזרים? אל-אדריסי הקים בפלרמו אקדמיה שהוקדשה אך ורק לגאוגרפיה. קשה לדמיין נקודת פתיחה טובה יותר למחקר במאה ה-11. נוסף על כך, מיקומה של סיציליה במרכז אגן הים התיכון הפך אותה לתחנת מעבר חשובה לסוחרים מכל רחבי ארופה, המזרח הרחוק ואפריקה. אל-אדריסי אירח בלשכתו סוחרים שעגנו בנמל פלרמו וחקר אותם ביסודיות לגבי הארצות שביקרו בהן.

חמש עשרה שנים עברו - חמש עשרה שנים של מחקר מקיף וממצה, אינספור ראיונות ותחקירים, הצלבות והצלבות-חוזרות של מחקרים ושל ספרים ישנים. אל-אדריסי צייר את הטיוטה הראשונה של

המפה האולטמטיבית שלו. לכבוד המלך שמימן אותו, הוא כינה אותה "מפת רוג'ר".



איור 21: 'מפת רוג'ר' של מוחמד אל-אידריסי

'מפת רוג'ר' הייתה הטובה ביותר והמדויקת ביותר מכל אלו שבאו לפניה. היא הייתה הסמכות הגאוגרפית, בה"א הידיעה, במשך שלוש מאות השנים הבאות. אך למי שמתבונן בעיניים מודרניות ב'מפת רוג'ר' נכונה אכזבה מסוימת. נכון, אפשר לזהות בה את המבנה הכללי של אסיה, אפריקה ואירופה. גם מסלולו של הנילוס ומקורותיו משורטטים שם בדיוק לא-מבוטל אבל... זה לא זה. צורת היבשות אינה נכונה, גם המרחקים אינם נכונים. לא כך נראה העולם. עצם העובדה שהמפה לא הייתה

מדויקת, למרות שלא-אדריסי היו כל המשאבים הזמינים לתקופתו, מראה לנו עד כמה היה קשה לגאוגרפים בימיו של אל-אדריסי, ולמעשה גם מאות שנים לאחר מכן, לקבל מושג אמתי על העולם שבו חיו.

נושא ה'מפות' גדול וענף ולכן במאמר זה בחרתי להתמקד רק בסוג מסוים של מפות: מפות של העולם כולו. למפות עולם יש חשיבות מיוחדת, הנובעת דווקא מעצם העובדה שמפות כאלה אינן מפות שימושיות בחיי היום יום. בעידן שלפני הרכב הממונע, רובם המוחלט של בני האדם לא יצא את גבולות המדינות שבהן חיו. חלקם אפילו לא עזבו את המחוז. מפות העולם משקפות את האופן שבו ראו התרבויות השונות שייצרו אותן, את מקומן ביחס לעולם שסביבן. למשל, היכן נמצא 'מרכז העולם', דהיינו האזור החשוב ביותר לאותה התרבות? מה דעתם על העמים שסביבן? עד כמה הכירו תרבויות אחרות? האם המפה מתארת את המציאות הגיאוגרפית האובייקטיבית, או את האוטופיה הדתית והמוסרית?

בשנים מאוחרות יותר הייתה למפות עולם גם חשיבות מעשית והן השפיעו על חקר העולם. מגלי עולם ומי שיצאו למסעות ימיים ארוכי טווח נזקקו

למפות בקנה מידה גדול. לדיוק המפות הייתה השפעה דרמטית על הצלחת מסעות הגילוי, כפי שעוד נראה.

הדחף לצייר מפות גאוגרפיות של סביבתו היה טמון באדם עוד משחר ימי האנושות. יש עדויות לכך שהאדם הקדמון צייר מפות גסות על קירות המערות הפרה-היסטוריות. ללא ספק, רובן המוחלט של המפות הקדמוניות, אם היו כאלה, אבדו לנו לנצח בערפלי הזמן.

מפת העולם הראשונה המוכרת לנו נוצרה בבבל, במאה התשיעית לפני הספירה. רואים בה את בבל, את הערים השכנות לה ונהרות מרכזיים למשל נהר החידקל. בקצוות המפה - למעשה, בקצה העולם כפי שהיה מוכר לבבלים - מצוירים שבעה איים, מסודרים לאורך היקף המפה בצורת כוכב. האיים הללו סימנו את המקומות שהבבלים לא הכירו. את מקומו של המידע הוודאי החליפה המיתולוגיה. על אי אחד, נכתב במפה, יש חושך תמידי. על אי אחר יש מפלצת זועמת התוקפת כל מי שמעז להניח על האי רגל.



איור 22: מפה בבלית מוקדמת, מהמאה השישית לפנה"ס

הפילוסופים היוונים שכללו מאוד את מפות העולם. המוקדמים שבהם עוד התלבטו לגבי צורתו המדויקת של העולם: היו כאלה שחשבו שהעולם בצורת עמוד גלילי מאונך, ושנחנו נמצאים על הפאה העליונה של העמוד הזה - דהיינו, העולם עגול אבל שטוח. החל מימי אריסטו, סביב המאה הרביעית לפני הספירה, היוונים כבר ידעו שהעולם הוא כדור. העדויות היו נסיבתיות אבל רבות עצמה: למשל, הצל העגול שמטיל כדור הארץ על הירח בזמן ליקוי ירח; והעובדה שספינות שמגיעות לאופק נראות כאילו הן שוקעות באיטיות, כך שכעבור זמן רק התורן שלהם בולט מעל המים. הפילוסוף היווני ארטוסתנס אף חישב את היקף כדור הארץ בדיוק יוצא דופן, עד כדי אחוז סטייה אחד מהערך שידוע לנו כיום.

מי שללא ספק נחשב לגדול הגאוגרפים של העולם העתיק הוא קלאודיוס תלמי (Ptolemy), בן המאה הראשונה לספירה. המפות שלו היו שגויות ולא מדויקות בדומה לקודמיו, אבל זה אינו העיקר. תרומת תלמי לקרטוגרפיה (תורת המפות הגאוגרפיות) הייתה רעיון פשוט אבל גאוני: קואורדינטות. תלמי הגה רעיון – שילוב קווי האורך וקווי הרוחב על המפה הקיימת כדי לציין במדויק

מיקום עצמים ומקומות. העובדה שאנחנו משתמשים באותה השיטה - פלוס מינוס שינויים הכרחיים, כמובן גם היום, כמעט אלפיים שנים מאוחר יותר, היא עדות לחשיבות הרעיון הזה.



איור 23: מפת העולם ועליה קווי אורך (אנכיים) ורוחב (אופקיים)

קווי רוחב הם קווים מקבילים המחלקים את כדור הארץ לפרוסות במקביל לקו המשווה. קו המשווה הוא קו רוחב אפס. ישראל נמצאת בסביבות קו רוחב שלושים מצפון לקו המשווה ונורבגיה, בסביבות קו רוחב שישים צפון.

קווי אורך, המכונים גם 'מרידיאנים', מחלקים את כדור הארץ לפרוסות שוות מקוטב עד קוטב - כמו

פלחים של תפוז. כשהשמש נמצאת מעל קו האורך, השעה היא שעת צהריים, בדיוק באמצע מסלול תנועתה מזריחה ועד שקיעה. במדינות מסוימות נהוג לציין את השעה לפי מיקום השמש ביחס לקו האורך: השעה am11 היא שעה אחת ante-meridium, דהיינו שעה לפני הצהריים, והשעה pm3 מציינת שלוש שעות post-meridium, אחרי הצהריים.

כמו תחומי ידע אחרים, גם הרעיונות הגאוגרפיים של תלמי אבדו באירופה של ימי הביניים. המפות שאנשי ימי הביניים שרטטו היו מפות דתיות ולא גיאוגרפיות. מטרתן הייתה להציג תפיסת עולם דתית יותר מאשר לתאר את העולם כפי שהוא מבחינה גאוגרפית. זו הסיבה שירושלים מוקמה במרכז המפה כמעט בכל מפה, כך סומנה חשיבותה כ'מרכז של העולם'. גם גן העדן סומן במפות רבות, בדרך כלל במזרח, אזור אסיה, שכן סביר להניח שהשמש זורחת מכיוון גן העדן. מפות מודרניות משורטטות כך שהצפון הוא החלק העליון של המפה, דהיינו המפה מיושרת-Oriented באנגלית - לצפון. בימי הביניים מפות היו מיושרות כך שהמזרח היה החלק העליון, וזו הסיבה שאנחנו מכנים את המזרח "האוריינט".

אם מפות העולם האירופיות לא היו מדוייקות והמפות המוסלמיות היו מוצלחות מהן רק במעט, אין פלא

שבימיי הביניים ימאים לא ששו להתרחק מהחוף. הדרך הכמעט יחידה לדעת היכן נמצאו הייתה, במידה גבוהה של ביטחון, על ידי זיהוי ערים מוכרות, מפרצים, גבעות וכדומה. לעתים, עם זאת, לא הייתה להם בררה: מזג האוויר או זרמים חזקים אילצו את הימאים להתרחק מהחוף. במקרה כזה הסתמכו הימאים על שיטות ניווט בסיסיות ועתיקות יומין.

שיטת הניווט הפשוטה ביותר הייתה 'ניווט עיוור' (Dead Reckoning). בניווט עיוור מפנים את חרטום הספינה לכיוון הרצוי, מודדים את מהירות ההפלגה וכך יודעים שבעוד כך וכך ימים הספינה אמורה להגיע ליעדה. כל אחד יכול לנווט ניווט עיוור, אפילו ביבשה: אם אנחנו יודעים, למשל, שהמקרה נמצא במרחק עשרה צעדים מהסלון - אנו יכולים לפנות לכיוון המטבח, לעצום עיניים, לספור עשרה צעדים ולהיות בטוחים שהגענו למקרה - או לכל הפחות לסביבה הקרובה. זו גם בדיוק הבעיה שבניווט עיוור - הדיוק. ניווט עיוור מדויק רק עבור מרחקים קצרים. לאורך זמן, השגיאות הקטנות לאורך המסלול מצטברות והימאי עלול למצוא את עצמו רחוק מאוד מהנקודה שאליה רצה להגיע.

היו לא מעט מקורות לשגיאות שכאלה. כיוון ההפלגה, למשל, נקבע בעזרת מצפן. אבל הצפון

המגנטי - הנקודה שבה בוקע השדה המגנטי מתוך הקרקע - מרוחק כאלף וחמש מאות ק"מ מהצפון ה'אמתי' של כדור הארץ, הקוטב הצפוני. ההבדל הזה אינו משמעותי כשמפליגים באזור קו המשווה, אבל השפעתו גדלה ככל שעולים צפונה. נוסף על כך, מחט המצפן מושפעת מגורמים כמו מתכות שאולי מאוחסנות בספינה, ממרבצי סלעים מגנטיים בקרום כדור הארץ ועוד. הימאים הקדמונים לא ידעו מה משפיע על המצפן ומה לא, ורבים מהם האמינו שאפילו שום מסוגל לשגע את מחט המצפן. חוסר הוודאות הביא לכך שהמצפן נחשב עזר ניווט לא-אמין במיוחד.

גם את מהירות ההפלגה לא היה קל לדעת, בהיעדר שיטה אמינה למדידת זמן. דרך מקובלת הייתה לזרוק חתיכת עץ אל המים. ברגע שחרטום הספינה עבר את העץ, הנווט היה מתחיל לדקלם שיר או טקסט קבוע, בעודו עוקב אחרי תנועת העץ הצף לאורך הדופן. ברגע שהעץ היה חולף את ירכתי הספינה הוא היה מפסיק לשיר - ולפי הנקודה בשיר שאליה הגיע הוא היה יכול לדעת כמה זמן חלף. כיוון שאורך הספינה ידוע, ניתן היה לחשב בצורה גסה את מהירות הספינה. את המהירות ביחס לעץ, LOG באנגלית, היו רושמים בספר מיוחד המכונה log-

book, ביטוי נוסף שנשמר עד ימינו. לשיטה זו היו, כמובן, מגבלות. היא לא יעילה במקומות שבהם זרמים חזקים השפיעו על מהלך ההפלגה: הזרם היה יכול לסחוף את הספינה מהר או לאט יותר ביחס לבול העץ, ולכן המהירות המחושבת כבר לא הייתה המהירות האמתית כי אם המהירות ביחס לזרם המים.

במאה ה-16 שוכללה שיטת מדידת המהירות. את בול העץ קשרו לחבל והשליכו אותו מירכתי הספינה. על החבל היו קשרים במרחקים קבועים. נער הסיפון היה מחזיק בידו שעון חול ומודד כחצי דקה. בפרק הזמן הזה מדד הנווט את אורך החבל שהשתחרר למים לפי מספר הקשרים שספר, ומכאן חישב את מהירות הספינה. כיום אנחנו מודדים את מהירותן של ספינות ב'קשרים', שריד לאותה שיטת מדידה.

ניווט עיוור יעיל, אם כן, בהפלגות למרחקים קצרים יחסית. כדי לחצות גופי מים גדולים כמו האוקיינוס האטלנטי, שיטה זו אינה מדויקת מספיק ויש צורך בטכניקות אחרות כדי לדעת את מיקומה המדויק של הספינה.

לימאים הייתה שיטה לדעת באיזה קו רוחב הם נמצאים, דהיינו - עד כמה צפונית או דרומית לנקודת

היעד הם נמצאים. זה לא נשמע הרבה, אבל זה עדיף מכלום. אם, למשל, רצית להפליג מיפו לקפריסין, יכולת להפליג צפונה עד שהגעת לאותו קו רוחב שעליו נמצאת קפריסין, ואז לפנות מערבה ולהפליג ישר על אותו קו הרוחב עד שהגעת לאי. זה מאריך מאוד את ההפלגה ומערים קשיים לוגיסטיים רבים, אבל לכל הפחות ידעת שתגיע ליעד, וגם זה משהו.

מציאת קו הרוחב הוא עניין פשוט יחסית. באופן עקרוני, כל מה שצריך לעשות, הוא לאתר את כוכב הצפון - משהו שכל ילד יכול לעשות ברגע שהוא יודע היכן לחפש. כוכב הצפון נמצא מעל הקוטב הצפוני, ולכן זווית כוכב הצפון מעל האופק היא קו הרוחב שעליו נמצאת הספינה. למשל, כשעומדים בקוטב הצפוני עצמו כוכב הצפון נמצא מעל הראש בזווית של תשעים מעלות. מכאן שאנחנו נמצאים בקו רוחב תשעים צפון. כשכוכב הצפון נמצא 45 מעלות מעל האופק, הספינה על קו רוחב 45 צפון. כשהספינה קרובה לקו המשווה כוכב הצפון נושק ממש אל האופק: זווית של אפס מעלות, ומכאן קו רוחב אפס. מדידת זווית כוכב הצפון וכוכבים אחרים נעשתה באמצעות מכשירי ניווט אסטרונומיים כגון אצטרולב

וסקסטנט שהיו בעיקרון לא יותר מאשר מדי-זווית מתוחכמים.



איור 24: קצין נעזר בסקסטנט לשם ניווט, איור מסוף המאה ה-19

על אף פשטותה, לשיטת הניווט על פי קווי רוחב היו חסרונות בולטים. שיטה זו הייתה יעילה - מבחינת הנווטים האירופים - רק בחצי הכדור הצפוני של כדור הארץ. כוכב הצפון נעלם מתחת לאופק כבר באזור קו המשווה, וככל שיורדים דרומה כל שאר הכוכבים המוכרים של חצי הכדור הצפוני הולכים ונעלמים אף הם.

בנוסף, ניווט אסטרונומי תלוי בחסדי מזג האוויר ובמצב הים. אם עננים מסתירים את השמיים, אי אפשר לנווט. אם הגלים גבוהים, המדידות הופכות להיות חסרות ערך. אם גשם מסתיר את האופק, כל החישובים הופכים להיות לא מדויקים. אני חושב שאני ובני מחזורי היינו הקצינים האחרונים בחיל הים שלמדו ניווט אסטרונומי. ברוב המדידות שביצעתי, התוצאה הראתה שאנחנו אי שם ליד איי סיישל. כיוון שיכולתי לראות לנגד עיניי את הארובות של חדרה, נאלצתי להסיק שאני סובל מסוג חמור במיוחד של ורטיגו, שהרי גבר ישראלי אף פעם אינו טועה בניווט.

עם תחילת הרנסנס נחשפו האירופים מחדש למורשת תלמי. עד מהרה, דיעותיו של תלמי בתחומי האסטרונומיה והגיאוגרפיה הפכו להיות הדוגמה השלטת. למרות שהיה מדובר בשיפור ביחס למצב הקודם, הדוגמה החדשה לא הייתה צודקת תמיד.

למשל, תלמי חישב מחדש את היקף כדור הארץ, אבל החישוב שלו היה מוטעה: ההיקף שקבע היה קטן בערך במחצית מההיקף הנכון שחישב ארתוסנטס כ-400 שנים לפניו. הספנים האירופים של המאה ה-15 בחרו להסתמך על החישוב השגוי שלו - ואולי טוב שכך: בהסתמך על ההיקף שחישב תלמי, קולומבוס האמין שהודו נמצאת ממש מעבר לאוקיינוס האטלנטי. אם היה יודע את המרחק האמיתי לאסיה, אולי לא היה יוצא למסע מלכתחילה.

קולומבוס ושאר החוקרים הנועזים הצליחו להקיף את כדור הארץ ולגלות את העולם החדש למרות שלא היו להם שיטות ניווט מתוחכמות. אף על פי כן, הצורך בשיטה אמינה ובדוקה כדי לדעת היכן בדיוק נמצאת הספינה שבים הלך והחמיר. ככל שהמסחר הגלובלי פרח והתפתח, כך היה ברור לכולם שמגבלות הניווט בים בלתי נסבלות. הקש ששבר את גב הגמל היה טרגדיה שאירעה דווקא לאומה שנחשבה מאז ומתמיד למלכת הימים - בריטניה.

בשנת 1707 היו הבריטים במלחמה נגד צרפת וספרד. כוח גדול של הצי הבריטי, בפיקודו של האדרימל קלאודיסאלי שובל (Shovel) נשלח לתקוף את העיר טולון שבצרפת. זו הייתה מתוכננת להיות התקיפה האחרונה לאותה שנה שכן החורף עמד

בפתח. הקרבות נסתיימו בתוצאות מעורבות: הצי הבריטי הצליח להעלות באש כמה ספינות צרפתיות, אבל הובס בקרב ימי כנגד צי צרפתי וספרדי משולב. בסוף חודש ספטמבר שנת 1707, הורה הפיקוד הבריטי לאדמירל שובל להחזיר את הצי חזרה הביתה.



איור 25: אדמירל קלאודיסלי שובל

עשרים ואחת ספינות תותחים יצאו מנמל גיברלטר שבפאתי הים התיכון בדרך אל האיים הבריטים. כמעט מייד נקלע הצי למזג אוויר סוער. ככל שהתקדמו הספינות אל האוקיינוס האטלנטי, כך התחזקו הרוחות, הגשמים והגלים. בעשרים ואחת באוקטובר זימן האדמירל שובל את כל הנוטים של שאר הספינות אל ספינת הדגל שלו, ה- HMS Association. בפיו הייתה שאלה אחת פשוטה: איפה אנחנו נמצאים?

כל הנוטים הסכימו שהצי נמצא על קו הרוחב של דרום האיים הבריטיים, באיזור פתח התעלה שבין אנגליה וצרפת, פחות או יותר. כמה מערבית או מזרחית בתוך הפתח - במילים אחרות, על איזה קו אורך - זו כבר הייתה שאלה אחרת. הרוח והגלים דחפו את הספינות ללא הרף והיה קשה לשמור על מסלול ועל מהירות קבועים, כנדרש בשיטת הניווט העיוור. עשרים מתוך עשרים ואחד הנוטים קבעו שהצי נמצא קרוב לגדה המזרחית של התעלה, לא הרחק מחופי צרפת. נווט אחד לא הסכים אתם: הוא חשב שהם קרובים מאוד לאיי סילי (Scilly), קבוצת איים קטנה בדרום בריטניה - דהיינו, קרובים לגדה המערבית של התעלה.



איור 26: איי סילי (מוקפים בעיגול) בקצה הדרומי של האיים הבריטיים

אדמירל שובל קיבל את דעת הרוב. זו הייתה החלטה הגיונית למדי, כזו שכל מפקד היה מקבל במקומו. שובל היה קצין מוערך בממלכה וכמה שבועות לאחר מכן, כאשר הובאה גופתו ללונדון, הוא אפילו נקבר בכנסיית ווסטמינסטר, שם טמונים גדולי האומה הבריטית. לפעמים, גם החלטות הגיוניות מאוד עשויות להיות שגויות מאוד.

שובל הורה לארבע ספינות קלות לעזוב את הקבוצה ולנוע קדימה כדי ללוות שיירת אוניות סוחר שהיו אמורות להיות באזור. ארבע הספינות יצאו לדרך במסלול צפון-מזרחי, מתוך אמונה שהם נמצאים לא הרחק מצרפת. כמעט מייד נתגלתה הטעות: הספינות הפליגו היישר אל השרטונים הבוגדניים והגלים האיומים של איי סילי. רק במזל הצליחו רבי החובלים שלהן להעלות אותן על החוף ולהימנע מהיטרפות על הסלעים. לרוע המזל, לא הייתה להם שום דרך לעדכן את אדמירל שובל בדבר הטעות. שאר הצי החל מפליג צפונה כשהוא עיוור לחלוטין לסכנה שבפניה הוא ניצב. התוצאות לא איחרו לבוא. בדרך כלל מפליגות כמה ספינות קלות לפני הצי המרכזי כדי להתריע מפני סכנות. אבל במקרה הזה שובל כבר שלח את הספינות הקלות קדימה. לכן

נותרה ספינת הדגל של הצי ועליה האדמירל עצמו, להוביל את הדרך.

יש אגדה שלפיה אחד המלחים שעל סיפונה של ספינת הדגל ניסה להתריע בפני האדמירל שהם קרובים לאי סילי. המלח היה בן האיים וזיהה את ריח האיים שהיה מוכר לו היטב. על פי האגדה האדמירל זעם על המלח שהוא מפיץ מידע מתסיס בין אנשי הצוות ותלה אותו בו במקום על הסתה למרד. אם נכון הסיפור הזה או לא, לעולם לא נדע.

ב-22 באוקטובר, בשעה שמונה בערב, הבחינו הצופים שעל סיפון האנייה בגלים המתנפצים על שרטונים איי סילי - ממש בקרבת הספינה. הם הפעילו את אותות האזהרה, אבל זה היה מאוחר מדי. הספינה הגדולה התרסקה על הסלעים בעצמה רבה, ובתוך פחות מארבע דקות לא נותר ממנה זכר. כל שמונה מאות אנשי הצוות שהיו על סיפונה, נהרגו. עוד שתי ספינות שהיו מאחורי ספינת הדגל הבחינו במתרחש אבל לא הספיקו לשנות את מסלולן. זו אחרי זו התנפצו על השרטונים. בכל אחת מהן היו כמה מאות אנשי צוות.

ספינה רביעית, ה-HMS Firebrand, התרסקה על אותו השרטון שהטביע את ה-Association רק

דקות ספורות קודם לכן. גורלה כבר כמעט נחרץ, אבל גל גדול שהגיע בשנייה האחרונה ממש, שיחרר את הספינה מהסלעים ואפשר לרב החובל שלה להרחיק אותה מעט מהאיים לפני שטבעה. עשרים ושמונה מתוך ארבעים המלחים שהיו על סיפונה ניצלו. שאר ספינות הצי הצליחו לחמוק מגורלן של הספינות המובילות. בין 1500 ל-2000 ימאים נהרגו באותו הלילה. זה היה אחד האסונות הימיים הנוראיים ביותר בהיסטוריה הבריטית. אבל כבד ירד על הממלכה. גופות הנספים נשטפו לחוף במשך ימים ארוכים, עדות מצמררת לטעות איומה בניווט.

גם גופתו של של אדמירל שובל נסחפה אל החוף, כמה קילומטרים מהמקום שבו טבעה ספינתו. יש אי ודאות לגבי גורלו של שובל. אחת הגרסות טוענת שהאדמירל היה עדיין חי, אם כי בקושי, כשהגיע לחוף. שתי נשים שראו אותו הבחינו בטבעת אמרלד גדולה על אצבעו, דקרו את הקצין בחזהו וגנבו את הטבעת. רק שלושים שנים לאחר מכן, על ערש דווי, התוודתה אחת הרוצחות בפני כומר מקומי ונתנה לו את הטבעת. "יתכן והסיפור הזה מגמתי, שכן לאי סילי היה כבר אז מוניטין של מקום פרוע וחסר חוק. סביר להניח שהאדמירל כבר לא היה בין החיים כשנשטף אל החוף.

האירוע הטרגי בא"י סילי דחף את הבריטים לנסות ולמצוא פיתרון לבעיית הניווט בים, ובאופן פרטני - לחפש שיטה לקבוע בדיוקנות את קו האורך. הפיתרון העקרוני כבר היה, למעשה, לנגד עיניהם. שיטה פשוטה ואלגנטית למציאת קו האורך הייתה ידועה כבר למעלה מאלפיים שנה, פרי מוחו של היפרכוס (Hipparchus) מרודוס, פילוסוף יווני בן המאה השניה לספירה.

יממה אורכת 24 שעות שבהן כדור הארץ עושה סיבוב שלם - כלומר 360 מעלות. זה אומר שכדור הארץ מסתובב 15 מעלות בכל שעה. אם השעה בנמל הבית היא 12 בצהרים, ואצלי בספינה השעה היא אחת אחרי הצהריים - המשמעות היא שמפרידות בינינו 15 מעלות אורך. אם השעה היא שתיים בצהריים, מפרידות בינינו 30 מעלות אורך. מכאן שכל מה שצריך לדעת כדי לחשב במדויק באיזה קו אורך נמצאת הספינה, הוא לדעת מה השעה בספינה, ומה השעה בנמל הבית.

אבל תאוריה לחוד ומציאות לחוד. מאז תקופתו של היפרכוס ועד תחילת המאה ה-18 לא היה שעון מדויק מספיק כדי שאפשר יהיה לסמוך עליו. די בכך שהשעון יפגר או ימהר בארבע דקות בלבד, כדי שחישוב קו האורך יהיה שגוי במעלת אורך אחת

שלמה - דהיינו, 110 ק"מ! על פני מסע של שבועות וחודשים, השגיאה הזו תהפוך כל חישוב לבעייתי.

בתקופת הרנסנס הומצאו שעוני מטוטלת שהיו מדויקים למדי, אבל רק ביבשה. התנאים בים היו קשים מדי עבור המנגנונים העדינים: הטלטולים היו מפריים את התנועה המחזורית של המטוטלת, שמני הסיכה היו קופאים בלילות הקרים וקפיצי המתכת העדינים היו מתארכים תחת השמש הקופחת. כל הפרעה שכזו הביאה לסטיות שהלכו והצטברו לאורך זמן.

ב-1717, עשר שנים לאחר האסון באיי סילי, הציעה ממשלת בריטניה פרס בסך 20,000 פאונד - שווה ערך לכמה מיליוני דולרים של ימינו - למי שימצא שיטה לקביעת קו האורך שבו נמצאת הספינה. הוקמה 'ועדת קו האורך', שמטרתה הייתה לבחון את ההצעות השונות. בראשה עמד לא אחר מאשר אייזיק ניוטון הגדול. הצעות רבות זרמו אל שולחן הוועדה. חלקן היו משונות, חלקן היו אבסורדיות. אחת ההצעות, למשל, הייתה לעגון כמה אלפי ספינות מסביב לעולם שכל אחת מהן תירה בדיוק בשעה 12 בלילה רקטה לשמים שתראה למרחוק וכך יוכל לדעת כל מלח בימים מתי שעה 12 בקו גריניץ'.

הצעה אחרת נגעה לאמונה עממית בשם 'אבקת סימפטיה'. לפי אמונה זו, ניתן לרפא פצעים על ידי פיזור אבקה מיוחדת על העצם שגרם לפצע, להב חרב למשל. מה שישפיע על החרב, ישפיע גם הפצע. לפי ההצעה - ואולי הייתה זו רק סאטירה מחוכמת, קשה לדעת - יש לפצוע כלב באמצעות חרב, ולהעלות אותו על ספינה. בשעה 12 בצהריים, כשהספינה כבר בים, יש לפזר את אבקת הסימפטיה על החרב בחוף. כיוון שהאבקה תגרום לפצע של הכלב לשרוף - הוא ילל, וכך ידעו המלחים שהשעה היא 12 בצהריים בלונדון. עכשיו רק צריך לוודא שהכלב נשאר פצוע במשך כל המסע...

גרמני בשם טוביאס מאייר (Meijer) העלה רעיון מעשי יותר. תנועת הירח לאורך השמים מהירה ביחס לרקע הבלתי משתנה של הכוכבים הרחוקים. אם ניתן יהיה למדוד במדויק את הזווית בכל רגע נתון בין הירח לבין כוכב ידוע כלשהו, ניתן יהיה להסיק מכך את השעה - אפילו בדיוק של דקות בודדות - באמצעות טבלות מוכנות מראש. זה היה רעיון חכם והגיוני, אבל הכנת הטבלות המפורטות והמדויקות הייתה תהליך ארוך, מתיש ומייגע. אסטרונומים רבים החלו לבצע את המדידות כדי ליישם את הצעתו של מאייר במציאות.

באותו הזמן בערך החל שען אלמוני בשם ג'ון הריסון (Harrison) להרהר בבעיית קו האורך. להריסון היה ניסיון מעשי בבניית שעונים יבשתיים מדוייקים מאוד, בעיקר בזכות העובדה שהיה לו גם רקע נרחב בנגרות. למעשה, אפשר גם לומר שהוא היה נגר עם רקע נרחב בשענות. שעוניו היו מדוייקים בעיקר כיוון שידע לבחור סוג מסוים של עץ שאפשר למנגנון השעון לפעול ללא שמן סיכה, שכן אכות שמני הסיכה באותה התקופה הייתה נמוכה מאוד.



איור 27: ג'ון האריסון

הריסון הגה פיתרונות יצירתיים גם לשאר האתגרים שמולם ניצב השעון בים. במקום מטוטלת, למשל, הוא החליט להשתמש בקפיץ שלא יהיה מושפע מטלטולי הגלים. את המנגנונים העדינים שבשעון הוא תכנן מחומרים המגיבים באופן שונה לשינויי טמפרטורה: הוא הצמיד שני חומרים כאלה זה לזה, וההתארכות השונה שלהם קיזזה וביטלה את השפעת הטמפרטורה. הריסון הציג את התכנון שלו לאדמונד האלי, האסטרונום המלכותי. האלי התרשם מאוד וסייע להריסון להשיג מימון ראשוני לבניית השעון.

לאחר שלוש שנות עבודה, בשנת 1736, הציג הריסון את השעון שבנה ל"וועדת קו האורך". ניוטון היה ספקן: הוא האמין שמדידות אסטרונומיות הן הפיתרון האפשרי היחיד לבעיית מציאת קו האורך, והשעון של הריסון אינו יותר מאשר גדג'ט חביב.

כדי להוכיח את צדקתו, לקח הריסון את השעון שבנה להפלגת ניסיון לפורטוגל ובחזרה. המסע היה סיוט בשביל הריסון, כיוון שחלה במחלת ים במשך כל המסע, אך היה רגע אחד במסע ששינה את יחסה של הוועדה אל השען החובב. כשהגיעו קרוב לחופי בריטניה, נווטי הספינה חישבו את מיקומה כדי לא להתרסק אל הסלעים. הריסון הסתכל בשעון, מצא

את קו האורך והבחין מייד בסטייה של כמה עשרות ק"מ בין החישוב שלו לחישוב הנווטים. על פי החישוב שלו הספינה הייתה הרבה יותר קרובה לחוף משהאמינו הנווטים. הוא ציין זאת באזני הקברניט ואכן, זמן לא רב לאחר מכן הגיעו אל החוף.

הדיוק המרשים שהפגין שעונו של הריסון עדיין לא עמד בדרישות המחמירות לקבלת הפרס הגדול. אף על פי כן, הוועדה התרשמה שהוא יודע מה הוא עושה. הוחלט להעניק לו מימון לבניית שעון נוסף, מדויק יותר. במשך שנתיים נאבק הריסון עם התכנון המקורי שלו, ולבסוף הגיע למסקנה שזו אינה הדרך: הוא יהיה חייב לשנות את המנגנון באופן דרסטי כדי להשיג את הדיוק הנכסף. הריסון תכנן שעון נוסף וזנח אותו, שעון שני- ואז זנח גם אותו. חלפו עוד 23 שנים.

לבסוף הבזיק במוחו רעיון שאפשר בהחלט להגדירו כ'מהפכני'. במקום שעון גדול, כבד ונייח, הריסון החליט לתכנן שעון קטן שיוכל להיכנס אפילו לתוך כיס מכנסיים. במבט ראשון זה נשמע כמו רעיון אווילי לחלוטין: אם שעון גדול וכבד לא יצליח לשמור על דיוק מספיק, איך יוכל לעשות זאת שעון קטן ועדין? נוסף על כך, אף אחד לא האמין באותה התקופה שאפשר בכלל לבנות שעון קטן כל כך ושעדיין יהיה

מדויק. אבל הריסון הבין מה שרבים לפניו פספסו: שעון קטן שיהיה עמיד מספיק בכדי להמשיך ולעבוד גם בטלטולים בתוך כיס מכנסיים, יהיה עמיד גם בטלטולי ספינה.

לאחר מאמצים רבים הצליח הריסון להפיק תחת ידיו שעון כיס נייד, שעמד בתנאי הדיוק שהציבה ועדת הפרס: להציג את השעה בגריניץ' בסטייה של שתיים עד שלוש שניות בכל שבוע, לכל היותר. הריסון התרשם כל כך מעבודתו עד שציין ביומנו:

"אני חושב שאני יכול להעז ולומר
שאין בכל העולם דבר מכני או
מתמטי יפה יותר משעוני זה ואני
מודה לאלוהים שזכיתי לחיות מספיק
זמן כדי להשלים אותו".

הריסון היה בשנות השבעים לחייו כאשר שלח את בנו כדי להעמיד את השעון במבחן האולטימטיבי. הבן הפליג עם השעון לג'מייקה ושם נמדדה הסטייה: פחות מחצי דקה על פני שישה שבועות, או דיוק של עשרה מייל על פני המסע כולו - דיוק שהיה חסר תקדים בכל ההיסטוריה הארוכה של הניווט בים.

למרות שהוכיח את ביצועי השעון שלו, הריסון נאלץ להמתין זמן רב עד שזכה בפרס המיוחל. היו מדענים, בעיקר אסטרונומים, שהיו 'מושקעים' מאוד בשיטת הניווט על פי הירח ולא רצו לוותר עליה. רק לאחר בדיקה נוספת, ודין ודברים ממושך מול חברי ועדה סקפטיים, הסכים לבסוף הריסון למסור לוועדה את השרטוטים הנדרשים לבניית השעון - וקיבל את הכסף, יותר מארבעים שנה לאחר שהחל בעבודה הסיזיפית.



איור 28: אחד הדגמים הראשונים של השעון הכיס של האריסון

השעון של הריסון הוכיח את עצמו גם בתנאים הקשים ביותר. קפטין ג'יימס קוק (Cook) לקח עמו שעון אחד והקיף בעזרתו את העולם. קוק התלהב כל כך מהדיוק הנפלא של השעון, עד שהתייחס אליו כ'חברי הנאמן' ו'המדריך שלעולם אינו מכזיב'.

הייתה רק בעיה אחת: השעון של הריסון היה יקר. למעשה, ייצור חמישים שעונים שכאלה עלה לצי בערך כמו עלות ספינת מלחמה מצויידת במלואה. בלית בררה המשיכו נווטי הצי להשתמש בשיטת הניווט על פי הירח במשך עשרות שנים, למרות שזו הייתה מסובכת יותר ואמינה פחות - במיוחד בלילות מעוננים או תנאי ים קשים, כאשר קשה לבצע מדידות אסטרונומיות מדויקות. רק בשנת 1815 נמצאה השיטה לייצור המוני של שעונים כאלה והשימוש בהם הפך לסטנדרטי בצי הבריטי. כל תשומת הלב הופנתה לשענים כמו ג'ון ארנולד ותומס ארנשו. אלו הצליחו להוזיל מאוד את עלות הייצור של שעון בודד והפכו אותו למוצר מעשי. בזמן שחלף נשכח שמו של ג'ון הריסון. שעוניו המקוריים הושארו במרתפי המצפה המלכותי בגריניץ' והעלו שם חלודה.

בשנת 1920 מצא במקרה קצין צי בדימוס בשם רופרט גולד (Gould) את השעונים במעמקי המרתף.

גולד, שען חובב, הצליח לשכנע את הצי לתת לו לעבוד בהתנדבות ולחדש את השעונים לצורך תצוגה במוזאון. הוא הקדיש שנים מזמנו החופשי כדי להחזיר את כל הדגמים של הריסון לחיים, וגם פרסם ספר הסוקר את ההיסטוריה של השעון הימי ואת מקומו החשוב של ג'ון הריסון בהיסטוריה הזו.

בזכות מאמצי גולד זכה הריסון מחדש בכבוד שנגזל ממנו. הוא נחשב לאחד מהממציאים החשובים בהיסטוריה הבריטית, ובווסטמינסטר אבי - אותה הכנסייה שבה נטמן אדמירל שובל - הוצבה אבן מיוחדת לזכרו ועליה סימון של קו האורך החוצה את הכנסייה. עכשיו, לפחות, האדמירל יכול לדעת בוודאות היכן הוא נמצא.

9. גלי פרא: מפלצות הים

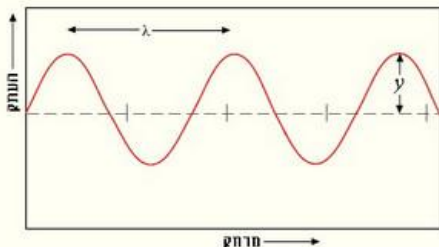
שהמדע לא הכיר

במשך שנים רבות, המדענים וחוקרי האוקיינוסים האמינו שהם מבינים היטב את גלי הים. המודלים המתמטיים שפותחו עבור גלים אחרים, כמו גלי קול או גלים אלקטרומגנטיים, השתלבו בצורה חלקה גם במודלים שהסבירו את תופעת הגלים בים. גל, בסופו של דבר, הוא בסך הכול הפרעה מתפשטת במרחב - אנרגיה שמועברת ממקום למקום. הנוסחות המתמטיות שהסבירו את תופעת הגלים התאימו למגוון רחב מאוד של תופעות ואפשרו לחוקרים ולחזאים לפתח מודלים לניבוי גובה הגלים בים, כיוונם ומהירותם. אבל דווקא כשנדמה היה שהכול ברור, מובן וידוע - דווקא אז הגיע גל בודד, שהתנפץ על עמודיה הגבוהים של אסדת קידוח נפט בים הצפוני לפני קצת פחות מעשרים שנה, וטרף את כל הקלפים.

לפני שנגיע אל סיפור אסדת הקידוח, הבה ונבחן את מה שיודעים המדענים על גלי הים כיום. הרוח היא זו שיוצרת את רוב רובם של גלי הים שאנחנו מכירים. הרוח מכה במים, נושבת על פני אלפי קילומטרים מרובעים של ים פתוח ומעבירה אליו את האנרגיה שלה. הגלים מעבירים את האנרגיה הזו ונושאים אותה למרחקים עצומים, עד שהם פוגשים ביבשה.

לגל בים, כמו לכל הגלים באשר הם, יש שתי תכונות בסיסיות: גובה הגל ותדירות. גובה הגל מודד את המרחק בין תחתיתו לפסגתו, והתדר קובע את המרחק בין שתי פסגות גלים צמודים. גובה הגלים ותדירותם נקבעים בהתאם לעצמת הרוח, הזמן שהיא נושבת והמרחב שעל פניו היא נושבת. אם עוקבים אחרי סערה במרכז הים התיכון, למשל, ניתן לחזות לפי משטר הרוחות שלה שבתוך כך וכך שעות יגיעו הגלים שנוצרו בעקבות הסערה אל החוף בישראל. הבנת מקור הגלים מאפשרת לחזאים לנבא ניבויים מדויקים למדי של גובה הגלים, ואכן המודלים לחיזוי גובה הגלים נבדקו ונמצאו מדויקים פעם אחר פעם ושנה אחרי שנה.

גל



אורך גל = λ

חשיפות = γ

איור 29: אורך גל ומשרעת הגל. ככל שאורך הגל קצר יותר, תדר הגל גבוה יותר

אבל לאורך השנים התקבלו דיווחים רבים מימאים סיפרו על גלי ענק, גלי פרא מפלצתיים שהופיעו משום מקום בלב ים והיכו בעצמה אדירה בספינותיהם. הגלים שתוארו התנשאו לגבהים של שלושים מטרים ויותר, כמו בניינים בני עשר קומות. הסיפורים הללו, שעברו מפה לאוזן בפאבים של ימאים ובמשמרות ארוכות על גשר הפיקוד, תיארו 'בור' ענק שנפער לפתע בלב ים, עשרות מטרים עומקו, ומיד בעקבותיו קיר עצום של מים, קיר אנכי כמעט ששום ספינה אינה יכולה לטפס עליו. ספינה שנפגעה מגל פרא שכזה התפרקה, בדרך כלל,

וטבעה מיד בפתאומיות שלא השאירה די זמן לימאים לרוץ אל סירות ההצלה שלהם והם שקעו עמה במצולות.

המדענים נטו לזלזל בסיפורים הללו. הם ראו בהם צ'יזבטים, סיפורי אגדות שימאים מספרים אחד לשני כדי להעביר את הזמן. היו להם כל הסיבות שבעולם כדי שלא להאמין לסיפורים אודות הגלים המפלצתיים. המודלים המתמטיים המדעיים קבעו במפורש שגובה הגלים המרבי שעשוי להיווצר כתוצאה מפעילות רוח על פני המים, הוא שניים עשר עד חמישה עשר מטרים לכל היותר, וכל העדויות וההוכחות הראו בוודאות שהתאוריה הזו נכונה. גל בגובה שלושים מטרים אפשרי, על פי הנוסחות, אבל ההסתברות לקיומו נמוכה מאוד - אולי אחת לשלושים אלף שנים. נוסף על כך, הימאים ידועים לשמצה בתור מי שאוהבים לספר סיפורים חסרי שחר, להגזים הגזמות פרועות ובאופן עקרוני להשתכר ולעשות שטויות. בתקופות מוקדמות יותר, למשל, המלחים סיפרו על דרקונים ענקיים ומפלצות ים, על תופעות משונות במשולש ברמודה, בנות ים שחציין אישה וחציין דג ועוד כהנה וכהנה אגדות וגזמות.

בשנת 1978 יצאה הספינה 'מינכן' להפלגה שגרתית מברמן שבגרמניה לארצות הברית. ה'מינכן' הייתה פאר צי הסוחר הגרמני: ספינה ענקית, מאתים ושישים מטרים אורכה, מצוידת ומאובזרת במיטב הטכנולוגיה העדכנית. שום סערה שגרתית באוקיינוס האטלנטי לא הייתה יכולה אפילו לדגדג ל'מינכן', והרדרים המתוחכמים שלה סרקו את האופק למרחקים אדירים כנגד סכנות כמו קרחונים או התנגשות עם ספינות אחרות.

בשלוש לפנות בוקר, בשניים עשר בדצמבר, נתקבלה הודעת אס-או-אס מה'מינכן'. את ההודעה קלטה ספינת סוחר יוונית שהפליגה באזור והיא העבירה אותה לספינות אחרות ולגורמי ההצלה שבחוף. בשעות ספורות התארגן כוח חילוץ וסריקה שכלל עשרות ספינות וכלי טיס, אבל ה'מינכן' לא נמצאה. הספינה הגדולה וצוות שמנה עשרים ושמונה מלחים, שקעו במצולות.

מסתורין רב אפף את נסיבות היעלמותה של ה'מינכן'. מזג האוויר היה סוער למדי אבל לא מסוכן באופן חריג, והטביעה הפתאומית העידה על כך שהאירוע כולו היה אלים והתרחש במהירות רבה. התעלומה רק גברה כשהמחפשים גילו את אחת מסירות ההצלה של ה'מינכן' צפה, ריקה, על פני

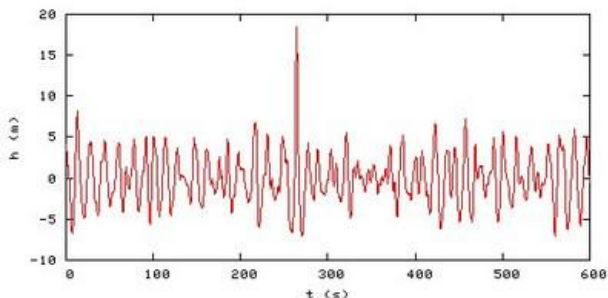
האוקיינוס. בדיקה של רפסודת ההצלה העלתה שהיא לא הורדה למים באופן מסודר על ידי הצוות, אלא הושלכה לים בעקבות מכה שספגה. הפינים שחיברו את הרפסודה לספינה היו עקומים ושבורים כאילו ספגו חבטה אדירה. אבל בזמן שגרה, סירת ההצלה הייתה תלויה באוויר בגובה של עשרים מטר מעל המים. איזה כוח אדיר הצליח להתרומם לגובה כזה ואז להכות ב'מינכן' בעצמה שהעיפה את הרפסודה מהמקום, וכנראה הטביעה את ספינת הסוחר כולה?

ועדת החקירה שהוקמה כדי לבחון את האסון לא הצליחה להגיע למסקנות החלטיות. הסיבה הרשמית שניתנה לטביעה הייתה 'אירוע חריג שנגרם כתוצאה ממזג אוויר קשה', אבל ימאים רבים העלו את הסברה שה'מינכן' נפגעה מגל ענק, כמו זה שתיארו האגדות. הרשויות לא מיהרו לאמץ את הסברה הזו, כמובן: גם בגלל שהמדענים שללו אפשרות לקיום גלי ענק, גם כיוון שכל ספינות הסוחר בעולם מתוכננות לעמוד בגלים של חמישה עשר מטרים, המגבלה התאורטית לגובה הגלים: להודאה באפשרות קיומם של גלים גבוהים יותר, יש השלכות לא ברורות לגבי נושאים כמו תוקף הביטוח על הספינות ושינויים אפשריים בנהלי בטיחות של הפלגה בים. אף אחד

לא רצה להתחיל מהפכות בעניינים שכאלה, ועוד על סמך כמה פינים עקומים ברפסודת הצלה. אבל כל זה התהפך באחד בינואר, 1995.

הים הצפוני, מול חופיה של נורווגיה, היה כועס מאוד באותו היום, ידידי. רוחות בעצמת הוריקן נשבו על המים והרימו גלים שגובהם הגיע עד לשניים עשר מטרים. על אסדת קידוח הנפט דראופנר (Draupner), העובדים לא היו מודאגים במיוחד - האסדה תוכננה ונבנתה כך שגלים כאלה לא יסכנו אותה. בשעה שלוש בצהרים ניתנה הוראה לכל העובדים שהסתובבו על סיפון האסדה להיכנס למבנה כדי שלא להיפגע מהרוח החזקה, ואף אחד לא התנדב להישאר כדי לצפות בים הסוער. זו גם הסיבה שלא היה מי שהבחין בגל המפלצתי שפגע באסדה בשעה שלוש ועשרים דקות, גל בגובה של כמעט עשרים מטרים. האסדה עומדת על סדרת עמודים, כך שהגל לא גרם לנזקים משמעותיים, פרט לכמה קורות מתכת דקות שהתעקמו. למעשה, ייתכן ולא היינו יודעים עליו כלל - אלמלא מד לייזר מיוחד שהוצב על האסדה כדי למדוד את גובה הגלים שמתחתיו. מד הלייזר הזה עשה את עבודתו נאמנה, וכשבחנו מהנדסי האסדה את רישום הגלים הם נדהמו כשראו את הקפיצה האדירה בגרף גובה

הגלים. על פי כל מודל הנדסי מקובל, הגל שנמדד באותו היום היה כמעט בלתי אפשרי: הוא אמור להופיע לא יותר מפעם בעשרת אלפים שנה.



איור 30: גרף המדידה שנלקח ממד הלייזר באסדת דראופנר. גל הפרא בולט בגובהו

אבל מד הלייזר דייק בכל שאר המדידות לפני פגיעת הגל ואחריו, והיה תקין לחלוטין לכל אורך היום. המדענים שבחנו את המדידה לא היו יכולים, פשוט לא הצליחו, להתעלם מהנתונים שהחזיקו בידם. אחרי עשרות ומאות שנים של סיפורי אגדות וצי'זבטים של ימאים, עובדת קיומם של הגלים המפלצתיים הללו הייתה עכשיו בלתי ניתנת להכחשה. מאין, אם כן, הגיע גל הפרא שפגע

באסדת דארופנר? האוקיינוגרפים, חוקרי האוקיינוסים והימים, מכירים מספר תופעות טבע שעשויות לגרום להיווצרות גלי ענק, והחלו בוחנים ושוללים אותן אחת אחת.

צונאמי, למשל, הוא תופעה מוכרת מאוד. אני מניח שעל ממדי ההרס שיכול הצונאמי לגרום אין צריך להרחיב, במיוחד בעקבות הצונאמי הגדול של 2004 שהרג כמאתיים ושמונים אלף איש סביב האוקיינוס ההודי. גלי צונאמי מגיעים בשכיחות גבוהה, עד כדי אחת לכמה שנים באזורים כמו האיים היפנים, והם נחקרו באופן אינטנסטיבי למדי בעשרות השנים האחרונות. גל צונאמי נגרם כתוצאה מתזוזה פתאומית של כמויות עצומות של מים באוקיינוס. הסיבה המוכרת והשכיחה ביותר היא רעידת אדמה, אבל היא איננה היחידה: פגיעת מטאוריט במים, ניסויים גרעיניים תת מימיים, מפולות בוץ וגם התפרצויות געשיות יכולות לגרום לגלי צונאמי, כשכמויות אדירות של חומר נשפכות לים בבת אחת.

כפי שראינו באינספור סרטוני וידאו בשנים האחרונות, גלי צונאמי יכולים להסתער על היבשה כשהם מתנשאים לגבהים של שלושים, ארבעים וחמישים מטרים לעתים, ואין דבר כמעט שיכול לעצור אותם. 'כמעט', כי באסון האחרון בדרום מזרח

אסיה נתגלתה – בטעות - שיטה לא מוכרת לבלימת המים: עצים. תושבי הכפר ההודי נליוודאפטי (Naluvadapathy) שתלו שמונים אלף עצים סביב הכפר שלהם בניסיון להיכנס לספר השיאים של גינס. היער שלהם היה הצלחה מעל ומעבר למצופה: הוא הצליח לבלום את הצונאמי של שנת 2004. שמונת אלפים איש קיפדו את חייהם בערים מסביב לכפר, ואילו הוא נשאר שלם.

אבל האפשרות שהגל שפגע באסדת דארופנר הוא גל צונאמי, נשללה מיד. הגלים האדירים שאנו רגילים לקשר עם תופעת הצונאמי מופיעים אך ורק בקרבת החוף. בלב ים, כמו במקרה של אסדת הנפט, גלי צונאמי אינם נראים כמו גלי צונאמי. רחוק מהחוף אלו גלים נמוכים מאוד, בקושי מטר או שניים, ואורך הגל שלהם - המרחק בין פסגת הגל לתחתיתו - יכול להגיע לכמה מאות קילומטרים. זאת אומרת, על ספינה בלב ים בכלל לא הייתם מרגישים שפגע בכם צונאמי. רק כשהגל מגיע לקרבת החוף, הוא משתנה: ראשית מגיע תחתית הגל, ואז הים כאילו נסוג לאחור ונעלם. כמה דקות מאוחר יותר, מגיעה פסגת הגל - וכשהגל מגיע, הוא אינו מפסיק להגיע! כיוון שהגל ארוך כל כך, זה נראה כאילו הים פשוט עולה על

גדותיו והגל ממשיך וממשיך. צונאמי, אם כן, אינו הגל שפגע באסדת דארופנר.

אפשרות נוספת, אם כן, היא גל גאות (Tidal Bore), אחת מתופעות הטבע המרתקות בעולם.

גאות ושפל מתרחשים בכל גוף מים על כדור הארץ - אפילו בכנרת, למרות ששם השינוי בגובה פני המים קטן ולרוב בלתי מורגש. גאות ושפל מתרחשים באטיות, והמים עולים ויורדים לאורך שעות. אבל בכמה מקומות על פני כדור הארץ, תנאים גאוגרפיים מיוחדים יכולים לגרום לכך שהגאות תופיע בבת אחת. למשל, אם פני החוף יוצרים מעין תעלה צרה וארוכה שמתעלת דרכה את הגאות, אז הגאות יכולה להופיע כחזית גל בגובה של כמה מטרים - גל חזק מאוד, שיכול לטפס למרחקים ארוכים מאוד במעלה נהרות. במקרים מסוימים הוא יכול להיות סכנה ממשית לספינות ששטות בנהר.

גלי גאות מעניינים מאוד את המדענים, אבל הם מעניינים עוד יותר את אוכלוסיית גולשי הגלים. מבחינת הגולשים, גלי גאות כמעט אידיאליים: הם מגיעים בכל יום בשעות ידועות מראש, ויש גלי גאות שאפשר לגלוש עליהם למרחק של עשרה קילומטרים. גם כאן אני משתמש במילה 'כמעט', כיוון

שיש לגלי גאות חסרונות מסוימים. גל גאות גבוה במיוחד באחד מיובלי האמזונס שבברזיל מכונה "פורורוקה", והוא מושך אליו גולשי גלים רבים. הוא גם מושך אליו - הפעם שלא מרצון - גם כל מיני יצורים מהג'ונגלים של האמזונס שנסחפים לנהר כמו תנינים, אנקונדות, יגוארים ועכבישים, ועוד כל מיני חיות שיש להן נטייה להפוך את הגלישה לחוויה דארוויניסטית משהו. בנהרות אחרים, גלי הגאות מסוכנים מספיק גם ללא עזרים חיצוניים. נהר 'הדרקון הכסוף' בסין מתהדר בגל הגאות הגבוה בעולם, תשעה מטרים, ונאמר עליו שאיש לא הצליח להישאר זקוף על הגלשן שלו ליותר מאחת עשרה שניות.

אבל בלב האוקיינוס לא נמצא גלי גאות, ועל כן גם אפשרות זו נפסלה על הסף. המדענים הבינו פתאום שהפיתרון יהיה מודל חדש לגמרי, תאוריה חדשה. השלב הראשון בפיתוח המודל החדש היה, כמובן, איסוף מידע. החוקרים חזרו אחורה ובחנו שוב את המידע שהתקבל לאורך השנים ממצופי מדידת גלים והחזרים מרדרים על החוף, הפעם ללא דעות קדומות וספקנות. התוצאות הדהימו אותם ממש: במקום גל אחד כל שלושים אלף שנה, גלי פרא הופיעו במאות ובאלפים. במקרה אחד, נספרו

למעלה מארבע מאות גלי פרא בגבהים של עשרים מטרים ויותר על פני שנים עשר שנים רצופות של מדידה. הסיבה לכך שאיננו רואים את הגלים הגבוהים הללו יותר מדי, היא כיוון שבדרך כלל נעלמים מהר מאוד - מספר דקות מהרגע שהופיעו.

כעת ניתן היה גם לפתוח את ספרי ההיסטוריה ולהבין טוב יותר אסונות ימיים שנותרו עד כה ללא הסבר, למשל האירוע שכונה 'המסתורין של איי פלנן' (Flannan)

בשנת 1899 נחנך מגדלור חדש על קבוצת האיים הנידחת הזו בצפונה של סקוטלנד, כעשרים מיילים ימיים מהחוף. במגדלור הוצבו שלושה אנשים שתפקידם היה לתפעל את המגדלור ולתחזק אותו. כשנה לאחר שהוקם המגדלור, כמו בכל שבוע, הגיעה ספינת אספקה אל האיים כדי לצייד את השומרים - אבל האי היה ריק. כל שלושת השומרים נעלמו ללא עקבות, והשאירו מאחוריהם סימני חיפזון: חליפות סערה שלא נלבשו, כסא שנפל על צדו במטבח.

בדיקת המגדלור גילתה נזקים מפתיעים: קופסה שעמדה בגובה של כשלושים ושלושה מטרים נשברה, מעקה בטיחות ממתכת היה עקום לגמרי

וסלע ששקל קרוב לטונה הוזז ממקומו. חוקר שבחן את האסון העלה את הסברה שגל גדול, או סדרת גלים עצומים שטפו את האי ואת השומרים - אך כיוון שגל בגובה שכזה נחשב כבלתי אפשרי, הועלו סברות רבות ותאוריות לאורך השנים: החל מריב שפרץ בין השומרים ונסתיים ברצח ובהתאבדות, דרך חטיפה בידי מרגלים זרים ועד למפלצות ים מסתוריות שטרפו את השלושה. בעקבות הגילויים אודות גלי הפרא, הסברה המקובלת היום היא ששניים מהשומרים עבדו בקרבת החוף, והשומר השלישי הבחין בגל ענק שמתקרב אליהם. הוא מיהר לרוץ אליהם כדי להזהירם, לא עצר כדי לקחת את המעיל או להרים את הכסא שהפיל - אבל הגל שטף גם אותו, והטביע את שלושתם.

מקרה מפורסם אחר הוא זה של האוניה 'קווין מרי' (Queen Mary), ספינת נוסעים מפוארת וגדולת ממדים. במלחמת העולם השנייה ה'קווין מרי' גויסה כדי להעביר חיילים אמריקנים לחזית באירופה. בדצמבר 1942, כשעל סיפונה כשישה עשר אלף חיילים, פגע גל פרא בספינה. הגל האיום הזה, שלושים מטר של מים זועמים, התנפץ בדופן הספינה וגרם לה להגיע להטייה של חמישים ושתיים מעלות. הספינה התיישרה אט אט ואז צלעה חזרה לנמל,

אבל מהנדסים שבדקו את ה'קווין מרי' ציינו שאם הספינה הייתה נוטה בעוד שלוש מעלות בלבד - היא הייתה מתהפכת וטובעת עם כל שישה עשר אלף החיילים שעליה, אסון שהיה מגמד את אסון הטיטניק. הסיפור על ה'קווין מרי' היווה את ההשראה, מאוחר יותר, לספר 'הרפתקאה בפוסידון', שהפך גם הוא לסרט מפורסם.

סקירת נתוני העבר, תצלומי לוויין ומידע נוסף, גילו עד מהרה שיש אזורים מועדים לפורענות על הגלובוס בעלי ריכוז גבוה במיוחד של גלי פרא. מסוכנים במיוחד הם האזורים שבהם גלים שנעים לכיוון מסוים פוגשים זרם ימי שנע היישר לקראתם, כפי שמתרחש למשל לא הרחק מחופה של דרום אפריקה. הגילוי הזה הביא לכך שהאזורים הבעייתיים הוצאו מרשימת נתיבי השייט והימאים תודרכו לשמור מהם מרחק.

אבל הבעיה הייתה שגלי פרא הופיעו בכל מקום, ולא רק באזורי מפגש בין זרמים וגלים. עדיין היה צורך להסביר מאין הגיעו ואיך, אולי, ניתן לחזות אותם. נכון להיום, אין תאוריה אחת שמוסכמת על כל המדענים. בחלוקה גסה, התאוריות לגבי היווצרות גלי הפרא נחלקות לשתיים: ליניאריות מול א-ליניאריות.

התאוריות הליניאריות גורסות שגל פרא הוא תוצאת סכום גלים. זאת אומרת, יש מצבים מסוימים שבהם הגלים שנעים בדרך כלל בנפרד אחד מהשני, מתחברים זה לזה ויוצרים גלים גבוהים יותר. זו המשמעות העקרונית של המילה 'ליניארי'. אם ניקח גל בגובה עשרה מטרים, ונוסיף אותו לגל אחר בגובה עשרה מטרים נקבל גל חדש בגובה עשרים מטרים. ניקח, לדוגמה, סדרת גלים בתדירות גבוהה וסדרת גלים שנייה בתדירות נמוכה. חוקרי האוקיינוסים יודעים מזה זמן רב שגלים בתדירות נמוכה - דהיינו, גלים ארוכים ומסודרים - נעים במים מהר יותר מגלים בתדירות גבוהה. ייתכן מצב שבו סדרת גלים בתדירות נמוכה רודפת אחרי גלים בתדר גבוה ומשיגה אותם ואז הגלים מתווספים זה לזה או מבטלים זה את זה: זו תופעה פיזיקלית ידועה המכונה 'התאבכות'. הגלים שמתווספים זה לזה יכולים להגיע לגובה רב. התאוריות הליניאריות אינן מושלמות כיוון שהן דורשות מצבים מסוימים מאוד כדי ליצור גלי פרא, מצבים שייתכן ונדירים למדי בים הפתוח.

התאוריות הא-ליניאריות, לעומתן, נוקטות בגישה אחרת לגמרי. הן מסתמכות על משוואות שנלקחו מעולם מכניקת הקוונטים ומנסות להכילן גם על

הכאוס של הים הפתוח. משוואת שרדינגר, למשל, היא משוואה חשובה מאוד במכניקת הקוונטים ומתארת את האלקטרונים באטום כגלים שנעים סביב הגרעין. גרסה של המשוואה הזו, שמכונה משוואת שרדינגר הלא-ליניארית, יעילה במיוחד ליישומים באופטיקה וגם, כך מסתבר, לניתוח תנועת גלי הים. על פי המשוואה הזו יש מצבים שבהם גלים רגילים לחלוטין עלולים להתחיל 'לינוק' אנרגיה מהגלים שסביבם. הם מתחילים לגדול ולהתעצם על חשבון גלים אחרים, שנעשים נמוכים יותר ויותר. התוצאה היא אותו 'בור מים' שמתקבל לפני גל פרא כזה.

כאמור, כל המחקרים על גלי פרא נמצאים עדיין בראשיתם, ואיש אינו יודע בוודאות איך, מתי והיכן הם נוצרים. ההפלגה על שבעת הימים הייתה מאז ומעולם עיסוק מסוכן. התקדמות הטכנולוגיה נתנה לנו, אולי, את התחושה המוטעית שהצלחנו להשתלט על הים, לרסן אותו ולרתום אותו לצרכינו: חשבנו שהספינות הענקיות שאנחנו בונים והידע הרב שנצבר אודות סופות וחיזוי מזג האוויר הפך את המסע בים לעניין שגרתי ומשעמם.

אבל כמו במקרה של ה'טיטניק', הטבע מוכיח לנו שוב שאיננו גדולים, חזקים וחכמים כמו שאנחנו

נוטים לפעמים לחשוב את עצמנו. לפחות בזמן הנראה לעין, המרחבים העצומים של האוקיינוסים ימשיכו להיות עויינים וקשים עבורנו, ממש כפי שהיו מאז ימי קדם. הימאים בספינותיהם לא יכולים להרשות לעצמם, עדיין, להניח את המשקפות. הם חייבים להמשיך לסרוק את האופק ולחפש את גלי הפרא, ואולי עוד מפלצות-ים שהמדע אינו מכיר.

10. לשבור את האקסיומה

החמישית, או - האם

המתמטיקה היא תגלית או
המצאה?

לבית שלי, כשהייתה בת שנתיים וקצת, הייתה שיטה בדוקה להתמודדות עם מצבים מלחיצים. זו שיטה נפוצה אצל ילדים, אולי נתקלתם בה: אם היינו נכנסים לחדר ובו אנשים רבים שלא הכירה, היא הייתה עוצמת את עיניה חזק חזק. מבחינתה, כולם נעלמו. הבעיה נפתרה.

אבל עצימת עיניים אינה מעלימה את המציאות, כמובן. יש עולם אמיתי שם בחוץ. אם עץ נופל ביער, הוא ישמיע רעש גם אם אין אף אחד שישמע אותו. כל מדען יגיד לך שזה נכון. או, ליתר דיוק, כמעט כל המדענים. יש תחום מדעי אחד שבו ההבחנה בין המציאות לדמיון האנושי, אינה כה ברורה. כבר

שלושת אלפי שנה שהמתמטיקאים שואלים את עצמם אם המתמטיקה היא תגלית או המצאה. כמעט בכל תחום אחר של התרבות האנושית התשובה ברורה מאליה, עד שהשאלה כלל אינה עולה לדיון. הנה דוגמה שאולי תבהיר את מהות הבעיה.

כשאסטרונום רואה כוכב חדש דרך עדשת הטלסקופ, ברור לו שהוא "גילה" כוכב חדש - אבל הכוכב היה שם קודם, בדיוק כמו שיבשת אמריקה הייתה שם גם לפני שקולומבוס יצא להפלגת הגילוי הגורלית שלו. מצד שני, כשאסף אמדורסקי כותב שיר על כוכב, ברור שהוא "המציא" את השיר הזה. השיר לא היה קיים עד שאסף אמדורסקי החליט לכתוב אותו. אבל מה לגבי המתמטיקה?

כשמתמטיקאי משרבט נוסחה או תרגיל על דף, הוא מבצע פעולה שנמצאת באזור הדמדומים שבין 'תגלית' ל'המצאה'. לעתים ברור שהסימנים על הדף מייצגים חפצים שקיימים גם בעולם האמיתי, למשל $2=1+1$. תפוח אחד ועוד תפוח אחד, שני תפוחים. אבל במקרים אחרים, הקשר שבין הסימנים שעל הדף והעולם המציאותי אינו כה חד וברור.

כשהיינו ילדים למדנו בכיתה על משולשים, מרובעים ועיגולים. אחרי השיעור יצאנו לחצר ובעטנו בכדור

עגול, שיחקנו בקוביות או (במקרה שלי) אכלנו משולשים של פיצה. הצורות הגאומטריות קיימות גם במציאות. זאת אומרת, הגאומטריה - חלק מהמתמטיקה - הייתה קיימת במציאות עוד לפני שהאדם הראשון חשב על 'משולש'. אבל האם אי פעם ראיתם משולש אמיתי? אני מתכוון למשולש גאומטרי אידאלי: שלוש פינות נקודתיות וצלעות ישרות לחלוטין. לא, לא ראיתם אחד כזה כיוון שמשולשים במציאות הם תמיד משולשים 'פגומים'. לא משנה כמה נתאמץ ובאילו כלים נשתמש, בכל משולש שנבנה או נשרטט הצלעות יהיו תמיד עקומות במקצת והפינות לא בדיוק נקודתיות. אין מה לעשות: זהו העולם האמיתי שבו אין דבר מושלם. אז אולי בכל זאת הגאומטריה אינה באמת קיימת בעולם האמיתי?

את השאלה הזו שואלים את עצמם מדענים ופילוסופים מזה אלפי שנים. פיתגורס, למשל, האמין שהמתמטיקה אינה המצאה אנושית. הוא ותלמידיו ראו בחוקים ובהוכחות הגיאומטריות משהו נשגב, אמת נעלה יותר מכל מה שעשוי להיווצר במוח אדם בר תמותה ועלוב.

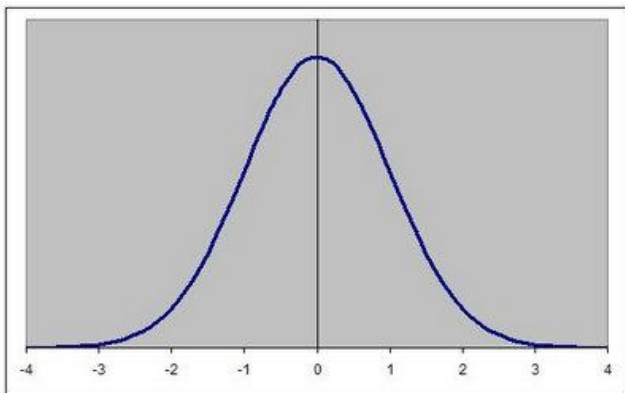
הייתי רוצה להגיד לכם שאין צורך להיות דוקטור במתמטיקה כדי להבין מדוע חשב כך פיתגורס אבל

לרוע המזל, היופי האמתי של המתמטיקה חושף את עצמו אך ורק למי שמתעמק ושוקע בתוכה עד הצוואר. עבור רובנו, האנשים שמכירים את המספרים והמשוואות רק משיעורים משעממים בבית הספר, המתמטיקה היא מקצוע טכני משעמם ומייגע, אבל כל מתמטיקאי יגיד לכם שהמתמטיקה יפה. לא 'יפה' כתיאור סתמי, אלא 'יפה' כמו ציור מדהים שאינך מסוגל להפסיק להתבונן בו, כמו ספר שאתה חייב להמשיך לקרוא אותו על אף שהשעה כבר אחת אחרי חצות וכמו שיר שמעביר בך צמרמורת כשאתה שומע אותו בפעם הראשונה. יש בה אלגנטיות מדהימה שנחשפת בעיקר כשאתה מגלה עד כמה היא מסוגלת לקשור יחדיו תופעות טבע שנראות, על פניו, לא קשורות לחלוטין זו לזו. הסיפור הבא ידגים את האלגנטיות הזו.

אדולף ז'ק קטלה (Quetelet) נולד בעיר הבלגית גנט בשנת 1796. הוא היה איש אשכולות של ממש: כתב שירה, חיבר מחזות, תרגם ספרים וגם לימד מתמטיקה, פיסיקה ואסטרונומיה. הוא היה מדען מוצלח, והראשון שקיבל את התואר 'דוקטור למדעים' מאוניברסיטת גנט. בשנת 1823 נשלח קטלה לפריז לשם התמחות באסטרונומיה. בצרפת פגש קטלה את אחד מהמתמטיקאים הגדולים של דורו - פייר

סימון לפלס (Laplace). זו הייתה פגישה גורלית עבור קטלה, שכן לפלס הצית אצלו אהבה גדולה לסטטיסטיקה. הסטטיסטיקה הייתה תחום צעיר ולא מפותח באותם הימים, אבל המתמטיקאים שעסקו בנושא זה כבר הספיקו לגלות כמה עובדות מסקרנות.

נניח, למשל, שאנו מודדים טמפרטורה של מים רותחים בדלי באמצעות מד חום. מד החום איננו מושלם ולכן בכל פעם שנכניס אותו לתוך הדלי, נקבל תוצאה שונה. השינויים יהיו זעירים - שברירי מעלה לכאן או לכאן: במדידה אחת נקרא 100.5 מעלות, במדידה הבאה אולי 99.5 מעלות. כדי להיות בטוחים בתוצאת המדידה שלנו, נבצע אלף מדידות שונות ונרשום את התוצאות בגרף: הציר האופקי בגרף יהיה הטמפרטורה הנמדדת והציר האנכי - כמה פעמים קיבלנו אותה המדידה. הגרף שנקבל יראה בצורת פעמון: אזור מרכזי גבוה ושוליים שהולכים וקטנים בהדרגה. יהיו מדידות רבות שנעות סביב נקודת מאה המעלות, ומעט מדידות שהולכות ומתרחקות ממנה, למשל, עשר מדידות של 101 מעלות, 5 מדידות של 102 מעלות ורק 3 מדידות של 104 מעלות.



איור 31: עקומת הפעמון

המתמטיקאים נתקלו בגרף הפעמון הזה בניסויים שונים בפיסיקה. כמעט בכל פעם שמדידה חזרה על עצמה שוב ושוב, למשל מדידת מהירות, זרם חשמלי, אורך, רוחב ומה לא - התוצאה הייתה עקומת פעמון. למעשה, ניסויים ומדידות רבים כל כך הפיקו אותה צורת פעמון עד שהיא קיבלה את השם 'התפלגות נורמלית': כך מתנהג הטבע באופן נורמלי.



איור 32: אדולף קטלה

אבל פיסיקה היא דבר אחד, ובני אדם הם משהו אחר. איננו דלי מים בעל טמפרטורה אחת - אנו שונים זה מזה. כל אחד מאתנו נראה אחרת: גבוה, נמוך, רזה, שמן, קירח, שער ועוד ועוד. ההבדלים בין בני האדם, כך נדמה, אקראיים לחלוטין. אך אדולף קטלה האמין שהוא מסוגל להכניס את בני האדם לאותה מסגרת נוקשה שהציבה הסטטיסטיקה. "המקריות", טען קטלה, "היא רק צעיף המכסה על בערותינו."

כדי להוכיח את דבריו, מדד קטלה את גובהם של מאה אלף טירונים בצבא הצרפתי, וצייר את התוצאות על גרף. גובהם של רוב החיילים נע סביב ערך מסוים - למשל, מטר ושבעים ס"מ - וככל שמתרחקים מאותו ערך מספר החיילים יורד. רק חלק קטן מהם מתנשא לגובה של מטר ותשעים או יורד למטר וחמישים. אם התיאור הזה מוכר לכם, אתם צודקים: לגרף שקיבל קטלה היה צורה של... פעמון.

מכאן, שגם הגובה האנושי מציית לאותה התפלגות סטטיסטית 'נורמלית' של מדידות טמפרטורה. קטלה מצא סדר מסוים בתכונה אנושית שעל פניו היא אקראית לחלוטין. קטלה מדד גם את הקף החזה של

ששת אלפים חיילים סקוטיים, ושוב קיבל אותה
ההתפלגות הנורמלית.

מניין הקשר שבין התנהגות מד חום בתוך דלי מים
רותחים, לגובה של חיילים צרפתיים? על פניו, אלו
תופעות שונות לחלוטין. קטלה ניסה לפתור את
הדילמה הזו באמצעות הסבר מקורי: הוא טען
שהטבע מנסה ליצור בן אנוש (במקרה הזה, חייל
צרפתי) בעל גובה 'אידיאלי'. אבל הטבע מפספס.
במקום חייל בגובה האידיאלי, הוא מייצר חייל 'שגוי',
בגובה שונה מהרצוי. הצטברות השגיאות הללו יוצרת
את עקומת הפעמון, אותה עקומת פעמון שיוצרות גם
שגיאות מדידת הטמפרטורה בדלי. בעיניים
מודרניות, קל לראות שקטלה טעה לחלוטין. הטבע
אינו מנסה 'ליצור' שום דבר, ואם כבר היה מנסה
ליצור משהו מושלם - זה בטח לא יכול להיות חייל
צרפתי.

כדי לסבך את העניינים עוד יותר, החליט קטלה
למדוד דברים שונים לחלוטין למשל, שיעור
ההתאבדויות בעיר מסוימת, חומרת הפשיעה לפי
שנה, או התפלגות גיל הנישואים. גם שם הוא גילה
שהגרף נראה בדיוק אותו הדבר: התפלגות נורמלית.
משמעות הממצא הזה מדהימה ביותר. אותו חוק
מתמטי, אותה 'משוואה' אם תרצו, שמתארת

תופעות בעולם הפיסיקה והאסטרונומיה - מתארת גם תופעות שאינן פיסיקליות, כמו גיל הנישואים בבלגיה ובצרפת. יש קשר עמוק וחבוי בין שני תחומים שנראים על פניו שונים לחלוטין, והקשר הזה הוא קשר מתמטי.

האם יכול להיות שהמתמטיקה היא המצאה אנושית, פרי מוחנו כמו שיר של אסף אמדורסקי או מחזה של שייקספיר, אם היא אוניברסלית כל כך? ברור שהקשר הזה היה קיים שם קודם, עוד לפני שקטלה החליט לחקור אותו. קשרים מתמטיים כמו אלה שגילה קטלה מתגלים לנו בכל עת ובכל מקום. אפילו במקרים שבהם המתמטיקה נראית מנותקת לחלוטין מן המציאות.

המתמטיקאי הבריטי הרולד הרדי (Hardy) עסק, בתחילת המאה העשרים, בתורת המספרים. הוא בחר בתחום הזה בין היתר כיוון שהאמין שלענף המתמטיקה הספציפי הזה לא יכול להיות ולו יישום מעשי אחד, אי פעם. מה כבר אפשר לעשות עם מספרים ראשוניים, מספרים לא-רציונליים ועוד כל מיני יצורים משונים שכאלה? הרדי אהב את הידיעה שמהמחקרים שלו לא ייצאו טנקים, נשקים ועוד כלי מלחמה דומים. הוא אמר:

"שום תגלית מתגליותי אין בה וקרוב לוודאי שלעולם לא תהיה בה, במישרין או בעקיפין, לטוב או לרע, שמץ של תועלת לטובת העולם."

כמה עשרות שנים לאחר מכן נתגלה שאבולוציה של אוכלוסיות מסויימות בטבע מתנהגת בדיוק לפי אחת המשוואות שגילה הרדי. וכאילו כדי להוסיף על גבי עלבון, עבודות נוספות שלו נתגלו כבעלות חשיבות עצומה בתורת ההצפנה, ובעלות משמעויות צבאיות ברורות.

שוב אנו רואים שהמתמטיקה קשורה בעולם המציאות בקשרים עבوتים והדוקים. קטלה עצמו אמר ש"כל שתחום מסוים במדע מתקדם יותר, כך הוא נוטה להיות מתמטי יותר." אפילו איינשטיין שאל: "איך יכול להיות שהמתמטיקה, תוצאת המחשבה האנושית שאינה תלויה בניסיון החיים שלנו, מתאימה באורח הדוק כל כך לתיאור המציאות?" האין זו הוכחה ברורה לכך שהמתמטיקה היא תגלית, ולא המצאה? רגע, לא כל כך מהר.

הגאומטריה האוקלידית היא ענף אחד מהמקצועות המתמטיים הראשונים שאנחנו לומדים בבית הספר, משולשים ישרי זווית, הקף המעגל, שטח מרובע וכיו"ב. הגאומטריה היא גם אחד מהתחומים

הבסיסיים והחשובים של המתמטיקה כולה. בכל מקום ובכל מדע נמצא תמיד קווים ישרים, רדיוסים, שטחים וכיו"ב. האקסיומות הן הבסיס לגאומטריה; הן סדרת משפטים קצרים ופשוטים - אבל בעלי עצמה אדירה. למשל: 'בין כל שתי נקודות ניתן למתוח קו ישר', או 'כל שתי זוויות ישרות שוות זו לזו'. המורים למתמטיקה בבית הספר מדגישים תמיד איך ניתן לפתור מגוון גדול מאוד של בעיות בגאומטריה על ידי יישום מחוכם של כמה אקסיומות בסיסיות שכאלה.

אוקלידס (Euclid) האלכסנדרוני, בן המאה הרביעית לפנה"ס, נחשב לאבי הגאומטריה והוא זה שניסח את עשרת האקסיומות הבסיסיות שמהן צמח כל המדע. מתוך אותן עשר אקסיומות, הייתה אחת – החמישית - שאוקלידס כנראה לא אהב במיוחד. הוא רשם אותה, אבל מעולם לא השתמש בה כדי להוכיח משפטים אחרים או כדי לפתור בעיות. נדמה כי היא הייתה 'מנודה' בעיניו מסיבה כלשהי. האקסיומה החמישית גרסה, בניסוח פשוט, שאם יש קו נתון ולידו נקודה, אפשר למתוח דרך הנקודה רק קו אחד שיהיה מקביל לקו הנתון. במילים אחרות, אי אפשר להעביר שני קווים שונים דרך אותה הנקודה, ולצפות ששניהם יהיו מקבילים לקו שלישי נתון: רק אחד מהם יכול להיות מקביל לו!

הבעיה עם האקסיומה החמישית היא שאינה פשוטה ומצומצמת כמו שאר האקסיומות. היא אינה אלגנטית מספיק כדי להתחרות עם עצמת אקסיומות כמו 'כל שתי זוויות ישרות שוות זו לזו'. היא שונה מכולן, משהו בה... לא בסדר. לאורך מאות ואלפי השנים מאז ימי אוקלידס ניסו המתמטיקאים להיפטר מהאקסיומה החמישית. הם ניסו לשנות את ניסוחה או להוכיח אותה כנובעת מתשע האקסיומות האחרות - אבל ללא הועיל. האקסיומה החמישית הייתה תקועה כמו בנייני הולילנד באמצע הנוף הירושלמי. מספר מתמטיקאים במאה ה-19 החלו משתעשעים ברעיונות 'מה יקרה אם' - רעיונות כמעט על סף הכפירה. ולפיכך, מה יקרה אם נחליף את האקסיומה החמישית, באקסיומה חדשה?

אחד מאותם מתמטיקאים היה הונגרי בשם יאנוש בויאי (Bolyai). הוא החליף את הטענה שדרך הנקודה יכול לעבור רק קו מקביל אחד לקו הנתון, באקסיומה שלפיה יש לפחות שני (!) קווים מקבילים לקו הנתון. הטענה הזו יכולה להיות נכונה רק אם המרחב בצורת אוקף: דהיינו, מרחב עקמומי ולא ישר. איננו יכולים לדמיין לעצמנו איך זה מרגיש לחיות בתוך מרחב בצורת אוקף, אבל זה לא אומר שהמתמטיקה אינה נכונה. החוקים והמשוואות

שניסח יאנוש עבור המרחב הזה נכונים, הגיוניים ותקפים ממש כמו הגאומטריה הרגילה. כל ההבדל הוא שזו גאומטריה שיאנוש "המציא", ולא גילה.

אביו של יאנוש שלח עותק ממחקריו של בנו לפרידריך גאוס (Gauss), 'נסיך המתמטיקאים' ומי שנחשב לאחד המתמטיקאים החשובים ביותר בהיסטוריה. גאוס כתב ליאנוש שהוא מעריך מאוד את העבודה שלו, אבל הוא כבר חשב עליה קודם. וזה נכון - יש הוכחות בכתב שגאוס באמת חשב עליה קודם, הוא פשוט לא פרסם אותה כי חשש שיחשבו שהוא מטורף. יאנוש לא היה מוכן לקבל זאת, והיה משוכנע שגאוס גנב ממנו את רעיונותיו. הוא ידע שלא יוכל להתמודד מול המוניטין האדיר של גאוס ושקע בדיכאון ובמרה שחורה.



איור 33: פורטרט של יאנוש בויאי, מתוך בול המנצח את פועלו

האפשרות שישנה גאומטריה 'לא-אוקלידית', דהיינו גאומטריה שבה יכולות להתקיים אקסיומות שונות מעשרת האקסיומות של אוקלידס, הכתה את המתמטיקאים בתדהמה. האקסיומות הללו נראו יציבות כל כך ותיארו בצורה טובה כל כך את העולם האמתי: איך יכול להיות שאפשר להחליף אותן באקסיומות אחרות, ועדיין לקבל מתמטיקה הגיונית ותקפה? מה זה אומר לגבי העולם שלנו?

לאורך השנים צצו גאומטריות נוספות דומות שהתבססו על מרחבים בעלי ארבעה, חמישה ואפילו אינסוף ממדים. רובן מתארות מרחבים שאיננו מסוגלים לקלוט, אבל חלקן דווקא מתארות את המציאות כפי שאנו מכירים אותה כיום. אלברט איינשטיין, למשל, הוכיח, בתורת היחסות שלו, שהמרחב אינו ישר. בקרבת גופים בעלי כוח משיכה חזק, המרחב מתעקם. אנו יכולים לראות זאת אם אנחנו עוקבים אחר מהלך קרני אור ליד כוכבי שבת מסיביים: קרני האור שאמורות לנוע בקו ישר, מתעקמות. הן לא שינו כיוון אלא שהמרחב עצמו התעקם - כמו שביל שעולה ויורד בהרים ובגבעות מתחת לאיש שצועד בקו ישר. במצבים כאלה, הגאומטריה האוקלידית – הנראית כה מושלמת, חלק מהעולם המציאותי, מתפרקת לגמרי.

אם המתמטיקה היא חלק בלתי נפרד מהמציאות, הרי שהיא צריכה להיות עקבית. זאת אומרת, לא יכול להיות שטענות מסוימות הן גם נכונות גם לא נכונות: אם מתחילים סדרה של הקשים לוגיים מאקסיומה מסוימת ושומרים על כל הכללים הלוגיים הנכונים, מגיעים לתוצאה הגיונית ועקבית. זו הייתה הטענה שהעלה מתמטיקאי גרמני בשם דיוויד הילברט (Hilbert), וזו גם הייתה הטענה שקורט גדל (Gödel) בן ה-24 ביקש לחקור ולאתגר בתחילת המאה העשרים. התוצאה הייתה מכה אנושה לרעיון שלפיו המתמטיקה היא חלק מהמציאות.



איור 34: קורט גדל בתקופת לימודיו

קורט גדל היה... טיפוס. הנה אנקדוטה שתדגים את אופיו המיוחד. בזמן מלחמת העולם השנייה נמלט עם אשתו מאוסטריה לארצות הברית, והפך לחברם הטוב של אלברט איינשטיין ואוסקר מורגנשטרן (Morgenstern), כלכלן מאוניברסיטת פרינסטון. בשנת 1946 עמד גדל בפני בחינות ההתאזרחות שלו. התהליך עצמו די פשוט: הנבחן יושב מול שופט ונשאל כמה שאלות בסיסיות לגבי ארצות הברית. למשל, איזה סוג ממשל יש במדינה, איך נקרא בית הדין הגבוה וכולי. גדל החל להתכונן למבחן באופן יסודי. הוא למד על תולדות ההתיישבות בצפון אמריקה, על האינדיאנים, על חוקת ארצות הברית ואפילו על מועצת העיר פרינסטון. הוא השקיע זמן ומאמץ רבים בהתכוננות למבחן, ואיינשטיין ומורגנשטרן ניסו להרגיע אותו. הם הסבירו לו שהשאלות קלות ופשוטות - רק כדי לצאת ידי חובה, פחות או יותר. ובכל אופן, גדל היה מתמטיקאי מפורסם, ואיינשטיין יישב לצדו בתור עד זמן הבחינה. מי כבר יעשה צרות לשניהם?

אבל גדל לא הרפה, וחקר את חוקת ארצות הברית לעומקה ולרוחבה. יום אחד הוא ניגש למורגנשטרן וסיפר לו שהוא גילה בחוקה סתירות לוגיות פנימיות ושהוא יכול להוכיח, באופן מתמטי, שאדם יכול

להכריז על עצמו כדיקטטור בארצות הברית ועדיין לעמוד בתנאי החוקה. איינשטיין ומורגנשטרן נחרדו מכוונותיו של גדל. הוא עמד להפוך בחינה קטנה ומטופשת לדיון חוקתי. הם הזהירו אותו שלא יעלה את העניין מול השופט.

יום הבחינה הגיע, וגדל ישב מול הבוחן ושני המדענים הבכירים לצדו. השופט - שכנראה היה הנרגש ביותר מבין כל הארבעה - שאל את גדל מהיכן הגיע. 'מאוסטריה', השיב המתמטיקאי. 'איזו מין ממשלה הייתה לכם באוסטריה?' שאל השופט. 'זו הייתה רפובליקה', ענה גדל, 'אבל החוקה הייתה כזו שנהפכה בסופו של דבר לדיקטטורה'. השופט אמר - 'באמת? זה איום ונורא. זה לא יכול לקרות בארץ הזאת.' וגדל אמר - 'דווקא כן, ואני יכול להוכיח את זה.'

בשלב זה איינשטיין ומורגנשטרן היו על סף פניקה, אבל השופט החליט בחכמה שלא לפתוח את הדיון וסיים את הבחינה. גדל קיבל אזרחות, וכולם חזרו לשגרה.

כפי שניתן להבין מהסיפור, גדל לא היה אדם שנרתע ממציאת חולשות במערכות פורמליות. בשנת 1931, הוא מצא חולשה שכזו במתמטיקה. במאמר היסטורי

שפרסם, הוכיח גדל שהמתמטיקה אינה יכולה להיות גם שלמה וגם עקבית. במקרה הטוב, יש טענות מתמטיות שאי אפשר להוכיח אותן. הן אמנם טענות נכונות, אבל כאלה שאינן נובעות מתוך האקסיומות וההסקים שלנו. במקרה הגרוע, המתמטיקה יכולה להיות בעלת סתירות פנימיות!

ואם המתמטיקה היא מערכת פורמלית לא מושלמת, ואולי אפילו בעלת סתירות פנימיות, איך יכול להיות שהיא חלק מהמציאות, חלק מהיקום? האם גם היקום שלנו פגום בצורה כלשהי? ואולי לא ניתן לצפות שנתאר את עולם הטבע במלואו בעזרת המתמטיקה?

יש חוקרים שטוענים שהמתמטיקה היא תוצר אנושי ותו לא. המוח שלנו נוצר והתפתח באמצעות האבולוציה, בסביבה שבה תפיסה זריזה עדיפה על תיאורים מדוייקים לפרטי פרטים: זאת אומרת, אם אנחנו רואים ממותה, בעלת רגליים, חדק, חיתים וכולי - כדאי שנתפוס אותה כחיה אחת שלמה ולא כאוסף רכיבים. בצורה כזו קל יותר להבין שעומדים מולנו עדר של שלוש, ארבע, חמש או יותר ממותות - ולפתח אסטרטגיה המתאימה לצוד אותן.

אם הגישה הזו נכונה, אזי המתמטיקה היא כמו השפה: יכולת מובנת, אינסטינקט אנושי טהור. רעיונות כמו 'אחד', 'שתיים', 'חיבור' ו'חיסור' יצוצו במוחנו גם אם לא נשב בשיעור בתיכון וננקר מול לוח עמוס משוואות, אך ורק כיוון שאבותינו התרגלו לחשוב על 'ממותה אחת' ו'שתי ממותות'.

המתמטיקאי הבריטי סר מייקל עטיה (Atiyah) נתן דוגמה מעניינת בהקשר הזה. נניח שיש מדוזה חייזרית שחיה לבדה בעולם שכולו נוזלי. כל מה שהמדוזה מכירה הם זרמים, לחצים, הפרשי טמפרטורות וכולי. בעולם הדימיוני הזה אין שום דבר 'בדיד': הכל זורם ורציף, ואין מה לספור במובן שבו אנחנו רגילים לספור. האם גם היא תפתח את תורת המספרים? אולי לא. הדוגמה הזו מראה לנו שאולי הסיבה לכך שהיקום שסביבנו מתאים בצורה כה מושלמת למתמטיקה שלנו, היא שאין לו ברירה: אנחנו כופים עליו את ראיית העולם שלנו. אין לנו שום אפשרות אחרת להבין את העולם, אלא דרך המשקפיים המתמטיים שהאבולוציה הרכיבה על המוח שלנו.

מובן שגם גישה זו מעלה שאלות קשות. תורת הקוונטים, למשל, ידועה לשמצה בתור תאוריה שאף אחד אינו יכול לתפוס. זאת אומרת, אפשר להכיר את

המשוואות, לפתור אותן, לנסח חוקים חדשים - אבל אין מוח אנושי שיכול להבין איך אלקטרון יכול להיות גם גל גם חלקיק, או איך יכול להיות שאלקטרון יעלם במקום אחד ויופיע במקום אחר.

ואף על פי כן, למרות שהאבולוציה לא הכשירה אותנו להתמודד עם תופעות קוונטיות ויחסותיות, המתמטיקה שלנו עובדת. המשוואות תקפות! אבל איננו מבינים אותן - לא באותו האופן שבו אנחנו מבינים משולש או עיגול. ואם המתמטיקה תקפה גם במצבים קיצוניים שכאלה, האם יכול להיות שהיא רק יציר דימיוננו ותו לא?

יש גישת ביניים שלפיה התשובה נמצאת איפשהו באמצע. אולי האקסיומות הגאומטריות הן המצאה אנושית טהורה בדומה לחוקים במשחק שחמט. כל הקשרים, המשפטים והתובנות שנובעים מאותן האקסיומות הן למשל תגליות, כמו אסטרטגיות פתיחה ומהלכים מבריקים של אלופי עולם. דהיינו, היקום עובד בצורה כזו שאם רק נגדיר בו סט של כללים בסיסיים, יש בו ההיגיון הפנימי המאפשר לנו לגלות קשרים חבויים.

חדי העין ודאי הבחינו בכך שיש מילה אחת שהקפדתי שלא להזכיר לאורך כל המאמר: 'אלוהים'.

המילה הזו חוזרת על עצמה אלפי פעמים בכל דיון לגבי הפילוסופיה של המתמטיקה. הפיזיקאי ג'יימס ג'ינס (Jeans) הגדיר זאת: "היקום נראה כאילו עיצב אותו מתמטיקאי." פול ארדש (Erdős), הגאון ההונגרי האקסנטרי, התפרסם בכך שטען שכל ההוכחות המתמטיות כתובות בספר של אלוהים, והוא יכול רק לחשוף חלקים מהספר.

תשובה לשאלה 'האם יש אלוהים?' ואם כן, האם הוא חובב מתמטיקה - נמצאת מעבר לגבולות מאמר זה, מן הסתם. אבל אני חושב שרוב המתמטיקאים, גם אם הם אתאיסטים, יסכימו לאמירה שאם מישהו מעוניין לגלות את הקשרים החבויים שבטבע, לתפוס את יופיו של היקום במובן העמוק ביותר, יש לו שתי אפשרויות: לפתוח את כתבי הקודש של הדת, או לפתוח את ספרי הלימוד של המתמטיקה.

11. לא רציונלי (חוץ מבאינדיאנה): על פאי, הקבוע המפורסם ביותר במדע

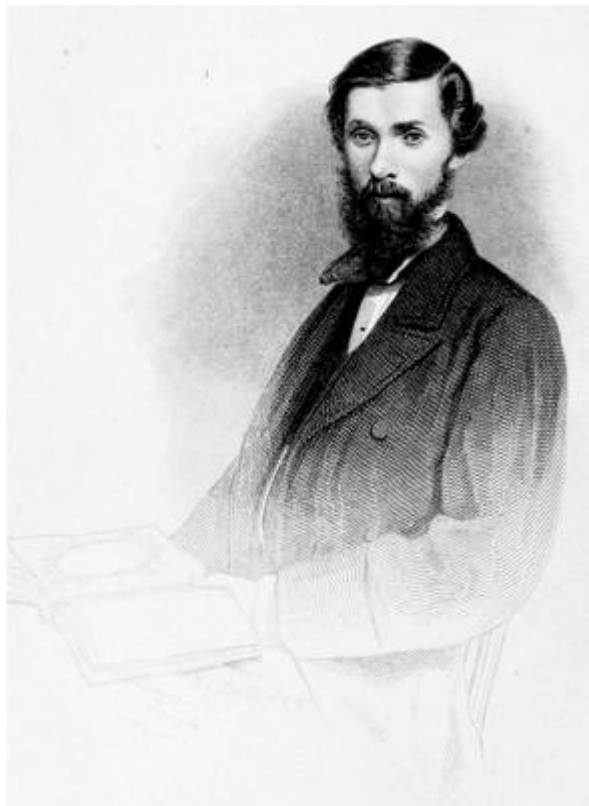
השנה היא 2326 לספירה, המקום: החללית
אנטרפרייז, במסלול סביב כוכב הלכת אורגליוס
שתיים. קפטן קירק והקצין הראשון שלו, ספוק,
ניצבים בפני בעיה חמורה. ישות מסתורית השתלטה
על אנשי הצוות של החללית וגרמה להם לרצוח
אנשים אחרים באכזריות נטולת תכלית. בניסיון
למנוע רציחות נוספות, הורה קירק לדוק' מק'קוי,
רופא הספינה, להזריק תרופת הרגעה לכל אנשי
הצוות.

הישות הרצחנית התחמקה והשתלטה על מחשב
החללית ובכך איימה על הצוות ועל כוכב הלכת כולו.
קירק מוכרח למצוא דרך כדי להשבית את המחשב...

ספוק ניגש אל המסך. 'מחשב,' הוא אומר ביובש הוולקני האופייני, 'חשב את הסיפרה האחרונה של פאי'. האורות מעל שידת המחשב הבהבו בפראות. זמזומים רמים עלו מהמכשיר והמחשב נתקע. האויב המופתע נאלץ לנטוש את המכונה המקולקלת ואז נתפס ומושמד.

מה יש בו, בקבוע המתמטי המכונה 'פאי' (π), שהצליח להוריד אל ברכיו את המחשב החזק של האנטרפרייז בסדרה המיתולוגית 'מסע בין כוכבים'? כדי לענות על שאלה זו, הבה נחזור כמה אלפי שנים אחורה, אל מצרים העתיקה.

אלכסנדר הנרי רינד (Rhind) לא היה מתמטיקאי. הוא היה עורך דין מסקוטלנד, גברבר צעיר וטיפוסי של אמצע המאה ה-19, בעל חיבה מיוחדת לתרבות מצרים העתיקה. רינד סבל ממחלת ריאות קשה ורופאיו המליצו לו לשהות באקלים יבש. עבור רינד, זו הייתה סיבה מצוינת לחצות את הים התיכון דרומה.



איור 35: אלכסנדר רינד, דיוקן, 1894

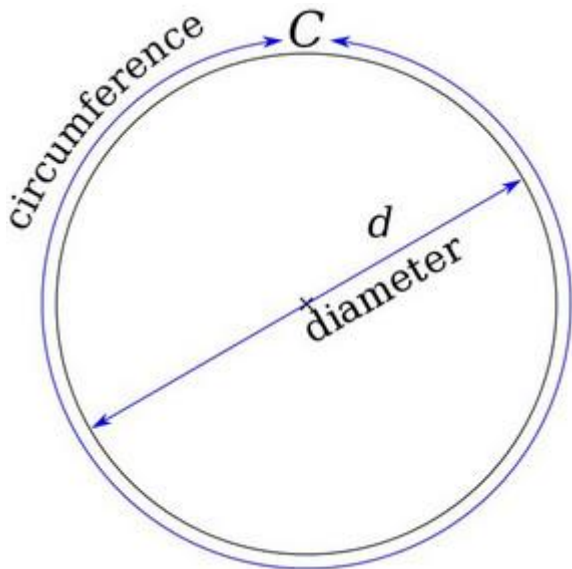
באחד משיטוטיו בשווקים הסואנים של העיר לוקסור
הזדמן רינד לדוכן עתיקות והבחין ביריעת פפירוס
גדולה ברוחב של כשישה מטרים שהייתה מונחת
עליו. פפירוסים כאלה, שלרוב נגנבו מאתרים
ארכאולוגים, צצו מדי פעם בשווקים. רינד בחן את
הפפירוס בקפידה והחליט לרכוש אותו. בלא יודעין,
החלטה רגעית זו הייתה כרטיס הכניסה של עורך
הדין הצעיר להיסטוריה, שכן "פפירוס רינד" מכיל -
כך נתגלה מאוחר יותר - את הערך המוקדם ביותר
(ככל הידוע לנו) של פאי, הקבוע המתמטי המפורסם
מכול.

רינד לא זכה להנות מתהילתו כיוון שמחלתו הכריעה
אותו כשהיה כבן 30 בלבד, אך הפפירוס שרכש
נחקר ביסודיות רבה לאורך השנים. הממצאים מעלים
ש"פפירוס רינד" נכתב כמעט 1,700 שנים לפני
הספירה, והוא עצמו העתק של פפירוס עתיק יותר,
שנכתב כ-300 שנים קודם לכן. ערכו של פאי, כפי
שנקבע במסמך העתיק, הוא 3.16 - רחוק רק באחוז
אחד בלבד מערכו האמיתי הידוע לנו היום.



איור 36: פפירוס רינד

כפי שמעיד "פפירוס רינד", המצרים הקדמונים וגם הבבלים לפנייהם, הבחינו בתכונה משונה ומרתקת של מעגלים: אם מודדים הקף מעגל ומחלקים אותו בקוטר המעגל - מתקבל מספר קבוע. לא משנה אם העיגול קטן כמו בייגלה, או גדול כמו חומת עיר - תוצאת חילוק ההקף בקוטר, תהיה תמיד אותו המספר.



איור 37: היקף המעגל (C) וקוטרו (d)

העובדה שפאי מופיע בכל העיגולים, קטנים וגדולים, קרובים ורחוקים - משמע, "קבוע" במשמעות המתמטית העמוקה של המילה - סקרנה מאוד את המדענים הראשונים וגרמה להם לתהות אם לפאי יש

משמעות עמוקה יותר לגבי היקום שלנו. אפשר להבין אותם: דמיינו את עצמכם פוסעים ברחוב, ומחלון של כל בית תלוי דגל ישראל. אחרי כמה עשרות בתים, ודאי תתחילו לשאול את עצמכם אם יש סיבה לתופעה הזו שמחברת בין המוני בתים שלכאורה אינם קשורים זה בזה. ייתכן ומחקר מדויק יותר יעלה שהיום הוא יום העצמאות - מסקנה חשובה שאולי לא הייתם מגיעים אליה אלמלא שמתם לב לדגלים שעל החלונות.

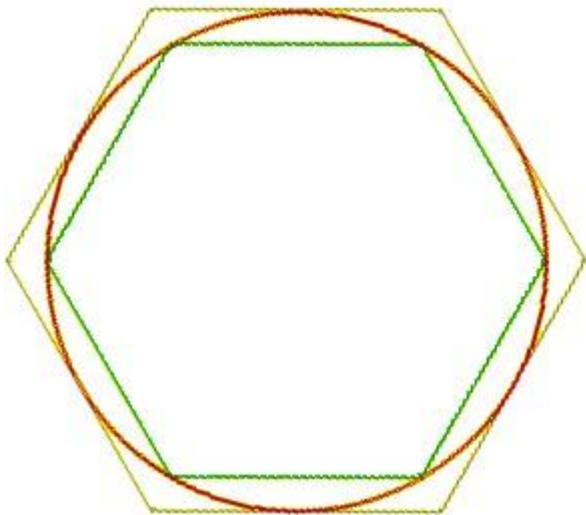
למתמטיקאים הראשונים הייתה גם סיבה מעשית טובה לנסות לחשב את ערך הפאי בדיוק רב ככל הניתן. הכלכלה הקדומה הייתה מושתתת ברובה על חקלאות, וחישוב שטחי הגידול (שגבולותיהם לא תמיד היו ישרים כסרגל) או אורכן של תעלות ההשקיה הפתלתלות היו בעלי חשיבות מכרעת עבור החקלאים. אך החישוב המדויק של פאי היווה בעיה קשה עבור המצרים וקודמיהם, שכן שהוא אינו מספר שלם, אלא שבר: שלוש וקצת. בהיעדר הידע המתמטי הדרוש, הם היו יכולים להיעזר רק במדידות שנעשו בפועל. מדידות שמטבע הדברים היו גסות ולא מדויקות. גם ליוונים באלף שלפני הספירה, יורשיהם האינטלקטואלים של המצרים, היו סיבות טובות לחשב את פאי. פיתגורס, אוקלידס וחבריהם

ביקשו לפתור חידה עתיקת יומין ששורשיה לוטים אי-שם בערפל ההיסטוריה: חידת 'ריבוע המעגל'.

השאלה שהציקה לפילוסופים היוונים היתה: האם ניתן לצייר ריבוע אשר שטחו שווה לשטח מעגל? מעבר לאתגר האינטלקטואלי, היה זה ניסיון אמיתי להבין את גבולות התאוריה המתמטית המתקדמת ביותר של אותו הזמן - הגאומטריה האוקלידית. במילים אחרות, אלו מושגים מתמטיים ניתן להביע כנקודות במישור או במרחב, כציורים וצורות, ואלו לא. הבעיה היא שכדי לצייר ריבוע ששטחו זהה לשטח מעגל, צריך לדעת במדויק את שטח המעגל. שטח זה נתון לפי הנוסחה "פאי כפול ריבוע הרדיוס". משמע, חובה עלינו לגלות את ערך הפאי.

ארכימדס (Archimedes) היה זה שהצליח ליישם את העקרונות הגאומטריים לצורך חישוב פאי. הוא שרטט עיגול, וסביבו שני מצולעים שווי צלעות: אחד בתוך העיגול והשני מחוצה לו. את הקפם של המצולעים וקוטרם קל היה לחשב באמצעות גאומטריה פשוטה, וארכימדס הוכיח שהשניים מהווים חסם תחתון וחסם עליון להקף העיגול הכלוא ביניהם. באופן זה הגיע ארכימדס למסקנה כי פאי הוא בערך 3.14, אם כי גם ארכימדס ידע שאין זה ערכו האמיתי או הסופי של קבוע זה. עדות לחשיבות

פריצת הדרך של ארכימדס ניתן למצוא בעובדה שבמשך יותר מ-1,500 שנים איש לא הצליח לחשב את פאי בדיוק גבוה יותר.



איור 38: שיטתו של ארכימדס לחישוב פאי, באמצעות חיסור הקפם של שני מצולעים וקוטרם הכולאים את המעגל ביניהם

פריצת הדרך הגדולה השנייה התרחשה רק לקראת תום ימי הביניים, עם תחילת עידן הרנסנס. במתמטיקה, זו הייתה תחילת שינוי כיוון חשיבה דרמטי, דרך אחרת לגמרי להבנת מספרים: המצאת החשבון האינפיניטסימלי. המלה "אינפיניטסימלי" כוללת שתי מילים: Infinity (אינסוף) ו-Small (קטן). צירוף שתי המילים הללו מעיד כי ענף זה של המתמטיקה עוסק בחישובים של אינסוף מספרים, שהולכים ונעשים קטנים יותר ויותר.

הקשר בין החשבון האינפיניטסימלי ופאי נתגלה עד מהרה: התברר שניתן לחשב את פאי לפי סדרה אינסופית של מספרים, שהולכים ונעשים קטנים יותר. למשל, ארבע פחות ארבעה-שלישים, ועוד ארבע-חמישיות, פחות ארבע-שביעיות ועוד ארבע-תשיעיות וכן הלאה עד לאינסוף. ככל שנשקיע זמן רב יותר בחיבור ובחיסור סדרת המספרים הזו, נקבל ערך מדויק יותר של פאי.

השיטה האינפיניטסימלית לחישוב פאי הייתה התקדמות משמעותית אבל חלפו עוד כמה וכמה שנים עד שהמתמטיקאים הצליחו ליישמה בהצלחה כדי להתעלות על הישגו של ארכימדס. כל החישובים הללו, חיבור וחיסור וחוזר חלילה, היו עבודה סיזיפית של ממש. נדרשו למעלה משלוש מאות חיבורים

וחיסורים כאלה כדי למצוא את ערכו של פאי עד לשני ספרות אחרי הנקודה בסך הכול. רק כאשר שכללו המתמטיקאים את יסודות התאוריה שלהם, קיבלו סוף סוף כלים מדויקים יותר מאי-פעם לאיתור שיטות חדשות לחישוב פאי. שיא חדש רדף שיא חדש, ונוסחות מבריקות החליפו נוסחות מבריקות אחרות. שיאו של ארכימדס החזיק 1500 שנים, אך בתוך 200 שנה בלבד הצליחו המדענים לחשב את פאי עד לספרה ה-100 אחרי הנקודה.

בל נטעה לחשוב שהמשימה הפכה לקלה יותר. עדיין נדרשו תעצומות נפש אדירות מצד המתמטיקאי שהחליט לקחת על עצמו את המשא הכבד של חישוב פאי. המתמטיקאי לודולף ון-קולן (Ceulen) למשל, השקיע את מרבית חייו בחישוב פאי עד הספרה במקום ה-35 אחרי הנקודה. הוא היה גאה כל כך בהישגו, שהיה הטוב ביותר במאה ה-17, עד שביקש שיחרטו את ערך הפאי על מצבתו.

נדמה שאין שום חוקיות הגיונית בערכו של פאי. סיפרה אחרי סיפרה וחישוב אחרי חישוב, איש לא הצליח למצוא שום סדר פנימי או הגיון חבוי בטור המספרים הארוך - רק אקראיות קופצנית ומתסכלת: 3.14159 26535 26433 23846 89793 50288 83279 41971 69399 37510 במצב

כזה קל מאוד לעשות טעות קטנה בחישוב אחד מתוך אלפים, ולקבל ערך שגוי לחלוטין של פאי. למשל, האנגלי ויליאם שנקס (Shanks), בן המאה ה-19, שקד על פאי במשך חמש עשרה שנים רצופות והגיע עד למקום ה-707 אחרי הנקודה. רק שבעים שנה לאחר מכן גילו חוקרים אחרים שלשנקס הייתה טעות קלה באחד מחישוביו וכל הספרות החל מהמקום החמש מאות שבעים ושניים היו מוטעות.

מדוע התאמצו המתמטיקאים לחשב את פאי? איזו תכלית יש למרדף אחר מספר שנדמה שאין לו סוף? הרי אין שימוש מעשי לידיעת ערכו של פאי עד ל-100 ויותר מקומות אחרי הנקודה. לצורך הדגמה, אם היינו רוצים לחשב היקף עיגול שמקיף את היקום כולו, די בדיוק של פאי עד המקום ה-39 אחרי הנקודה. רבים האמינו שהמרדף אחר הפאי חסר תוחלת: אפילו אייזק ניוטון הגדול, שניסה את כוחו והצליח להגיע עד הספרה החמש עשרה לפני שנעצר, היה נבון לגבי כל העניין. "אני מתבייש לספר לכמה ספרות הגעתי," התנצל ניוטון, "לא היה לי משהו מעניין יותר לעשות באותו הזמן."

חלק מהמתמטיקאים שהקדישו את מרצם לחישוב פאי רצו לגלות אם חבוייה חוקיות מסוימת לספרותיו האקראיות לכאורה. חוקיות כזו, אם ישנה, עשויה

להתגלות כרמז לתובנות מעמיקות יותר על הייקום שסביבנו. עבור מתמטיקאים אחרים, הערך לא היה המטרה, כי אם הנוסחה. המתמטיקאים מעריכים מאוד את האלגנטיות והיופי שבנוסחאותיהם ומנסים תמיד למצוא שיטות יעילות, יפות ומקוריות יותר לחישוב פאי. מניע זה סייע מאוד, כפי שיתברר בעתיד, דווקא למהנדסי המחשבים של המאה ה-20.

היו גם מי שביקשו להתגבר על הקשיים בדרך עוקפת. בשנת 1897 פנה אדווין גודווין (Goodwin), רופא שהיה גם מתמטיקאי חובב, לחברי האספה הכללית של מדינת אינדיאנה שבארה"ב. הוא דיווח להם שהצליח לפתור את חידת 'ריבוע המעגל' המפורסמת שטרדה את מנוחתם של המתמטיקאים עוד מימי ארכימדס. הפיתרון של גודווין היה פשוט למדי: הוא החליט שערכו של פאי הוא 3.2, וזהו. כשערכו של פאי ברור וידוע, אין כל בעיה לשרטט ריבוע בעל שטח זהה לזה של מעגל: מחשבים את ריבוע הרדיוס של המעגל ומכפילים ב-3.2. גודווין הציע לחוקק בחוק מדינה את הפיתרון שלו. לא ברור מה היה אמור להיות עונשו של מי שיעבור על החוק.

משום מה, העבירו חברי האספה הכללית של אינדיאנה את הצעת החוק לוועדה לתכנון תעלות השקיה, שלחבריה היה מספיק שכל בקודקודיהם כדי

להעביר את העניין אל ועדת החינוך. הוועדה, שהייתה אמונה על חינוך ילדי אינדיאנה, לא מצאה כל סיבה להתנגד לקביעת ערכו של פאי, שכן "ערכו הנוכחי של פאי הוא כה מסובך ונפתל, עד שאינו שימושי כלל וכלל".

משם עלתה הצעת החוק אל האספה הכללית של המדינה, עברה פה אחד באפס מתנגדים, והועברה כהצעת החוק לסנאט של אינדיאנה לשם אישור סופי לפני הכנסתה לספר החוקים של המדינה. בליל ההצבעה על אישור החוק הזדמן לבניין הסנאט פרופסור קלרנס וולדו, מתמטיקאי מהאוניברסיטה המקומית, שהגיע כדי להשגיח באופן אישי על תקציב המוסד שלו. מישהו תחב לידו את הצעת החוק והציע לו לגשת ולברך את הממציא בר-המזל. וולדו שמע על הצעת החוק, סירב ואמר שהוא כבר מכיר מספיק משוגעים, תודה רבה. הוא הצליח לשכנע את חברי הסנאט לגנוז את הרעיון המטופש.

אדווין גודווין, כאמור, לא היה היחיד שניסה לפתור את חידת 'ריבוע המעגל'. למעשה, פיתרונות והצעות רבות הוגשו לאקדמיה הצרפתית למדעים ולחברה המלכותית הבריטית, עד שבשלב מסוים הכריזו שני המוסדות הללו שלא יקבלו הצעות נוספות לפיתרון.

המסמר הראשון בארון המתים של חידת 'ריבוע המעגל' ננעץ בשנת 1761 כאשר יוהאן למברט משוויץ (Lambert), מתמטיקאי שתרם רבות לתחומי האסטרונומיה והאופטיקה, הצליח להוכיח כי פאי אינו מספר רציונלי. מספר רציונלי הוא מספר שניתן לייצגו כשבר: למשל, חמש-שמיניות או רבע. אם לא ניתן לכתוב את פאי כשבר, כפי שהוכיח למברט, אזי הוא אינסופי: הספרות אחרי הנקודה ממשיכות וממשיכות לאין קץ.

הפיתרון לחידת ריבוע המעגל התגלה כמאה שנים מאוחר יותר, בשנת 1882, כשהמתמטיקאי הגרמני פרדיננד פון לינדמן (Von Lindemann) הוכיח כי פאי הוא מספר טרנסצנדנטלי. מספר טרנסצנדנטלי הוא מספר שאי אפשר להגיע אליו בדרכי חישוב מקובלות כגון חיבור, חיסור, כפל או חילוק. משמע, לא חשוב כמה נתאמץ ונזיע, אי אפשר לקחת מספר כלשהו ולהגיע ממנו, באמצעות חישוב, לערכו הסופי של פאי. להוכחה של לינדמן הייתה חשיבות גדולה בעיקר לעניין חידת ריבוע המעגל: כדי לשרטט ריבוע באמצעות סרגל ומד זווית, למשל, יש להתחיל מנקודה כלשהי על הדף, וממנה לצייר קווים מתאימים. פעולה זו שוות ערך, מבחינה מתמטית, לחיבור קואורדינאטות או להכפלתן. אם לא ניתן

להגיע אל פאי באמצעות חיבור, כפל וכדומה, אזי גם לא ניתן לשרטט ריבוע ששטחו כשטח מעגל (כזכור, הוא תלוי בערכו של הפאי).

גילויים אלה, עם זאת, לא סימנו את סוף המרדף אחר פאי, ואפילו ההפך. חישוב פאי הוא אתגר הנדסי משמעותי, שלפתרונו השלכות לגבי הצורה שבה מתכננים ובונים מחשבים עתירי ביצועים. מחשבים הם כלי מצוין לחישובים מתמטיים, אבל חישובו של פאי הוא אתגר קשה עבורם: זהו חישוב ארוך ונפתל וכל שגיאה זעירה בו מתבטאת בתוצאה שגויה לגמרי. במשך זמן רב נעזרו המהנדסים בתכנות לחישוב פאי ככלי ל"בדיקת מאמץ" עבור המחשב, מתוך ההנחה שאם הוא שורד את האלגוריתמים הטובעניים הללו, הוא יסתדר עם כל שאר התוכנות (אולי פרט ל-Windows).

המתמטיקאים עדיין מנסים למצוא אלגוריתמים ונוסחות אלגנטיות ונפלאות, שיאפשרו למחשבים לחשב את פאי בדיוק הולך וגובר. נותרו מספר שאלות בלתי פתורות עדיין, כמו למשל - האם פאי הוא באמת מספר אקראי או שמא קיימת בו חוקיות סמויה שבאה לידי ביטוי רק בערכיו הקטנים ביותר? נכון להיום, ערכו של פאי ידוע בדיוק של יותר

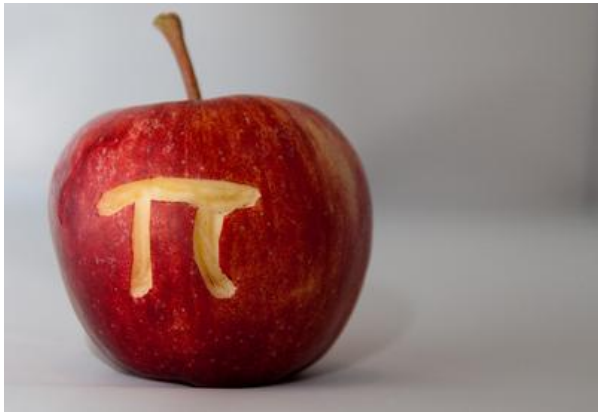
מטריליון ספרות אחרי הנקודה, והוא עדיין אקראי לחלוטין לכל אורך הדרך.

בשנים האחרונות חלו שתי התפתחויות מרתקות בעולם הפאי. המתמטיקאים ריצ'רד ברנט (Brent) ויוג'ין סלמאין (Salamin) גילו, כל אחד בנפרד, אלגוריתמים יעילים במיוחד המאפשרים לחשב את ערך הפאי, בעשרים וחמישה חישובים בלבד, לארבעים וחמישה מיליוני ספרות אחרי הנקודה. בהשוואה לשלוש מאות החישובים שנדרשו עבור שתי ספרות בלבד אחרי הנקודה לפני חמש מאות שנה, זו התקדמות בלתי נתפסת כמעט.

גילוי חשוב נוסף הוא שיטת BBP, על שם ראשי התיבות של מגליה. BBP מאפשרת לנו לעשות משהו שהיה עד כה בלתי אפשרי. עד היום, כדי לחשב סיפרה כלשהי של פאי, למשל הסיפרה במקום המאה אחרי הנקודה, היו חייבים לחשב את כל תשעים ותשע הספרות שקדמו לה. טעות אחת בדרך והכול אבוד. שיטת BBP, לעומת זאת, מאפשרת לחשב כל סיפרה רצויה של פאי ללא קשר לאחרות. למי שדברים כאלה חשובים לו מאוד, הסיפרה במקום הקוונטריליון אחרי הנקודה היא אפס.

גם ההתעניינות התרבותית בפאי לא דעכה אפילו במעט. מאז שנת 1988 נחגג ברחבי העולם "יום פאי הבינלאומי". את החג המיוחד הזה ייסד הפיזיקאי לארי שואו במסגרת האקספלורטוריום, מוזיאון מדע של סן פרנסיסקו, והוא נחוג בארבעה עשרה במרץ. אם נזכור שהאמריקנים כותבים את התאריך הפוך מאיתנו - קודם החודש ואחר כך היום - נקבל את התאריך 3.14 אכן, צרוף מקרים מדהים.

במסגרת אירועי החג נהוג ללבוש חולצות עם הדפסה של ערך מדויק ככל האפשר של פאי (הנה מקרה ייחודי שבו משתלם להיות שמנמן במקצת), לראות את הסרט 'אמריקן פאי', לארגן ריצה למרחק של פאי קילומטרים, לאכול פשטידות ואננס (Pineapple) ובאופן כללי להסתובב במעגלים ולהראות חנון ככל האפשר. זוגות רומנטיים - אל תוותרו על ההזדמנות להתחתן ביום פאי, בשעה אחת, חמישים ותשע דקות ועשרים ושש שניות.



איור 39: תפוח עם פאי (Apple Pie) שנוצר לכבוד
יום הפאי הבין-לאומי

גם הזמרת הוותיקה קייט בוש כתבה שיר על פאי, שיר אהבה למתמטיקאי שבו היא שרה בפזמון את פאי עד למקום המאה וחמישים אחרי הנקודה. זהו ללא ספק רעיון נהדר - אבל אולי כדאי שתשקול להחליף את היועץ המדעי שלה: היא טועה בעשרים ושתיים ספרות.

יש סוג נוסף של חובבי פאי, הם נקראים "פאיפולוגים" ומתחרים זה בזה בשינון ערכו של פאי

עד למספר הספרות המרבי. השיטה המקובלת ביותר כדי לשנן את פאי היא באמצעות שירים הנכתבים כך שאורך כל מילה מתאים לספרה. למשל, המשפט How I need a drink: שלוש אותיות, אות אחת, ארבע אותיות וכן הלאה. שירים אלה מכונים 'פיאמות', על משקל 'פואמות'. השיא העולמי, נכון להיום, שייך ליפני, אשר זוכר בעל-פה את ערכו של פאי עד 100 אלף ספרות אחרי הנקודה.

ריצ'רד פיינמן (Feynman), הפיזיקאי האמריקני הנודע, הבחין בעובדה כי אי שם במקום ה-762 אחרי הנקודה נמצא רצף של שש-תשיעיות בזה אחר זה. באחת מהרצאותיו, סיפר פיינמן שהוא מעוניין ללמוד בעל-פה את כל הספרות עד למקום ה-762, רק כדי שיוכל לקרוא אותן בקול ואז לסיים ב"תשע-תשע-תשע-תשע-תשע, וכן הלאה וכן הלאה". הומור מיוחד יש לפיזיקאים.

12. החבר המוכשר של המתמטיקה: על סופי ז'רמן, הגיבורה האלמונית של צרפת

בשנת 212 לפני הספירה פלשו כוחותיו של הגנרל הרומי מרקוס מרסלוס לעיר סירקוסאי שבסיציליה. סירקוסאי הייתה התיישבות יוונית, והמפורסם מבין בניה היה הפילוסוף ארכימדס. שמו של ארכימדס הלך לפניו ברומא כאחד מגדולי המתמטיקאים והגנרל מרסלוס ביקש להגן עליו מפני סכנות המלחמה. הוא שלח אחד מחייליו כדי שיביא אליו את ארכימדס. איש אינו יודע בוודאות מה אירע במפגש הגורלי בין ארכימדס והשליח הרומי: עובדה היא שארכימדס מצא את מותו. האגדה מספרת שהחייל הרומי איתר את ארכימדס כשזה היה שקוע בפיתרון בעיה גאומטרית מסובכת. הוא דרש מארכימדס לבוא עמו, אבל המתמטיקאי השיב לו: "אל תפריע

למעגלים שלי." החייל התרגז על ארכימדס והרג אותו.

כמעט אלפיים שנים מאוחר יותר, בשנת 1789, חיטטה נערה פריזאית צעירה במדפי הספרים של אביה ומצאה ספר אודות ההיסטוריה של המתמטיקה. היא קראה אותו בשקיקה ובמיוחד הוקסמה מסיפורו של ארכימדס. אם אדם יכול להיות שקוע כל כך בבעיה מתמטית עד שיהיה מוכן לסכן את חייו כדי לפתור אותה, הרי שהמתמטיקה חייבת להיות עיסוק מעניין במיוחד! מאותו הרגע החליטה הנערה להקדיש את חייה למדע המספרים.

שמה של הצעירה היה סופי ז'רמן (Germain), וההחלטה שקיבלה בגיל שלוש עשרה התקבלה כנגד כל המוסכמות החברתיות. אישה בצרפת של המאה השמונה-עשרה לא הייתה אמורה להיות משכילה. לכל היותר, מותר היה לנשים מהמעמד הגבוה, מעמד האצולה, לרכוש ידע כללי מועט כדי שיוכלו לנהל שיחה זורמת עם בעליהן. ספרי הלימוד לנשים הציגו את הפיזיקה והמתמטיקה באופן שיתאים, כביכול, למוחן העדין והמטופש. כך, לדוגמה, מוסבר באחד מן הספרים האופן שבו דועך כוח המשיכה לפי ריבוע המרחק:

"היחס שבין ריבוע המרחק בין
מקומות מופיע אפילו באהבה...
אחרי שמונה ימי פרידה, האהבה
חלשה פי 64 מאשר הייתה ביום
הראשון."

סופי לא הייתה מוכנה להסתפק בספרי לימוד
מטופשים, והעדיפה את כתביהם המתוחכמים של
מתמטיקאים מבריקים כמו ניוטון ואויילר. הוריה עקבו
בחרדה אחר התחביב החדש של בתם. המשפחה
הייתה ליברלית וסלון הבית היה מוקד פעילות
אינטלקטואלית בימי טרום המהפכה הצרפתית, אבל
נערה שמגלה עניין במתמטיקה!? זה כבר היה יותר
מדי, אפילו עבורם. מתוך ייאוש הם ניסו להכריח את
סופי לנטוש את המתמטיקה. כשנשארה סופי ערה
בלילות כדי לקרוא את הספרים, החרימ אביה את כל
הנרות שבבית. כשהתגנבה לספרייה, לקח ממנה את
כל הבגדים כדי שלא תוכל לעזוב את החדר. סופי לא
ויתרה. היא החביאה נרות מאולתרים במגירות,
והמשיכה לקרוא ספרי מתמטיקה מתחת לשמיכה
בקור הפריזאי המקפיא. לבסוף נאלצו ההורים להרים
ידיים. הם הבינו שהחידק המתמטי חסר מרפא

והחליטו לתמוך בבתם - למרות שמעשיה חרגו מכל
המוסכמות המקובלות עבור נערה צרפתייה רגילה.
הם מימנו ופרנסו אותה לכל אורך השנים הבאות.



איור 40: פורטרט של סופי ז'רמן

לאחר שבלעה את כל ספרי המתמטיקה שמצאה, הבינה סופי שאם היא מקווה להיות מדענית ביום מן הימים היא חייבת לרכוש לעצמה השכלה. בפר"ז, ממש בקרבתה, נפתח לא מזמן בית ספר יוקרתי למדעים: הפוליטכניק. המרצה למתמטיקה בפוליטכניק היה לא אחר מאשר ג'וזף לואי לגראנז' (Lagrange) אחד מגדולי המוחות האנליטיים בכל הזמנים, גאון בעל שיעור קומה. אך המוסד המכובד הזה היה נעול וסגור בפני נשים – ולסופי לא היה כל סיכוי להתקבל אליו. להתקבל... בדרכים מקובלות, זאת אומרת.

אחד ממכריה של סופי ז'רמן היה אנטואן לה-בלאן (LeBlanc), נער בן גילה. סופי בעלת התשוקה למתמטיקה לא הייתה יכולה להתקבל לפוליטכניק אבל לה-בלאן, תאונה מהלכת בכל הקשור למספרים ולחשבון, היה סטודנט מן המניין בזכות היותו 'מסייה'. מסיבה זו או אחרת החליט אנטואן לעזוב את הפוליטכניק - אבל מזכירות בית הספר לא קיבלה את ההודעה על כך. סופי הבחינה בבלבול הביורוקרטי, והבינה שנפלה לידיה מתנה משמיים. באלגנטיות ומבלי לעורר חשד, נכנסה סופי לנעליו (הקטנות, מבחינה אינטלקטואלית) של אנטואן. היא קיבלה לידיה את סיכומי ההרצאות והתרגילים שהיו

מיועדים עבורו והגישה בשמו את עבודות הבית. הסידור הזה היה מושלם עבורה: היא נרשמה להרצאותיו של ג'וזף לגראנז' הגדול והרחיבה את ידיעותיה המתמטיות לאין שיעור. אף לא אחד בפוליטכניק שם לב שלה-בלאן האמתי כבר לא הגיע לשיעורים.



J. L. LAGRANGE.

איור 41: ג'וזף לואי לגראנז'

זאת אומרת - כמעט אף לא אחד. לגארז' היה מופתע מאוד מהשינוי שהתחולל במסייה לה-בלאן. מתלמיד גרוע שבקושי הצליח לגרד ציונים מינימליים, הפך לה-בלאן בבת אחת למתמטיקאי מרשים ביותר! הפיתרונות שהגיש לעבודות הבית היו מרתקים, מקוריים וחכמים. הם העידו על הבנה מעמיקה מאוד של העקרונות המתמטיים הבסיסיים. לגראנז' הבין שבלה-בלאן קיים פוטנציאל מתמטי אדיר, אבל היכן לעזאזל הסתתר הפוטנציאל הזה עד עכשיו?

בנסיבות שאין אנו יודעים, הצליח לגראנז' לחשוף את סודה של סופי, ולהסיר מעל פניה את מסיכת 'מסייה לה-בלאן'. אבל לגראנז' לא כעס על סופי: הוא הבין שמולו ניצבת בחורה צעירה ומחוננת ושכישרון כמו שלה אסור לבזבז. הוא תמך בה, המשיך ללמדה ולייעץ לה ואפילו הכיר לה מדענים ואנשי רוח חשובים. סופי הייתה מעודדת מתמיכתו של לגראנז' ומהכרתו בכישוריה. היא ידעה שכאישה, היא חייבת להצליח מאד כדי לזכות בתשומת לבם של שאר המדענים הצרפתיים. סופי החליטה לכוון גבוה, גבוה מאוד - ולנסות לפתור את החידה המתמטית הגדולה מכולן: המשפט האחרון של פרמה.

משפט פיתגורס הוא אחד מחוקי המתמטיקה המוכרים והבסיסיים ביותר: $X^2+Y^2=Z^2$ (הסימן

י' מציין העלאה בחזקה, דהיינו- X בחזקת 2).
 למשוואה הזו יש פתרונות רבים - דהיינו, שלושה
 מספרים (X, Y, Z) שמקיימים את המשוואה. למשל:
 3, 4, 5. המתמטיקאי פייר דה פרמה (Fermat) חי
 מאה וחמישים שנה לפני סופי. פרמה בחן משוואות
 בעלות צורה דומה למשוואת פיתגורס, אבל בעלות
 חזקות שונות מ-2: למשל, $X^3 + Y^3 = Z^3$ או
 $X^4 + Y^4 = Z^4$. למרות הדמיון הברור למשפט
 פיתגורס, טען פרמה שלכל המשוואות הללו אין
 פיתרון. זאת אומרת, לא משנה איזו חזקה נבחר,
 למשל - $X^{10} + Y^{10} = Z^{10}$, אין אפילו קבוצה של
 שלושה מספרים אחת שמקיימת אותה.

הטענה הזו דרמטית ומשונה ביותר. הרי למשוואת
 פיתגורס, שם החזקה היא 2, יש אינסוף פתרונות.
 מדוע שלכל חזקה אחרת לא יהיה אפילו פיתרון
 אחד? פרמה כתב: "יש לי הוכחה נפלאה לטענה זו,
 אבל לצערי שוליו של ספר זה צרים מלהכילה." מאז
 הפכה הטענה הזו לחידה המפורסמת ביותר בעולם
 המתמטיקה. ההוכחה ל-'משפט האחרון של פרמה',
 כפי שכונתה החידה, נתגלה כמפלצת חמקמקה מאין
 כמוה. מאות מדענים וחובבי מתמטיקה ניסו להוכיח
 את המשפט, אך ללא הועיל. בימי סופי ז'רמן, לאחר
 אינספור מאמצים, הצליחו המתמטיקאים להוכיח את

המשפט רק עבור החזקות השלישית והרביעית.
פרמה טען, כזכור, שאין פיתרון עבור כל חזקה שהיא
(פרט ל-2 כמובן) כך שנותרו אינסוף מקרים שיש
להוכיחם. הפיתרון לחידה אפילו לא נראה באופק.

כשהייתה סופי בת 25 יצא לאור הספר 'מחקרים
אריתמטיים' מאת קרל פרידריך גאוס. ספר זה נחשב
לאחד מהחשובים בתולדות המתמטיקה, וסופי
התעמקה בו לאורכו ולרוחבו. הספר הצית במוחה
רעיונות אפשריים לפתרון 'המשפט האחרון של
פרמה', והיא ביקשה לחלוק אותם עם המחבר.



איור 42: דמותו של קרל פרידריך גאוס על שטר
גרמני

סופי הייתה מתמטיקאית טובה מאוד ולגראנז' היה מהמעולים - אבל גאוס היה משהו אחר. הוא היה גאון שכמוהו מופיעים רק אחת לכמה מאות שנים. פריצות הדרך שלו בתורת המספרים העניקו השראה למדענים בכל רחבי אירופה. הוא כונה 'נסיך המתמטיקאים', וכיום שמו מוזכר בנשימה אחת עם ניוטון וארכימדס. אין פלא, אם כן, שסופי העריצה את האדמה שעליו דרכה רגלו של גאוס. היא לא רצתה לקחת את הסיכון שגאוס ידחה את מכתביה עקב היותה אישה, ולכן חזרה לעטות על עצמה את זהותו של מסיה לה-בלאן הישן והטוב.

רעינה של סופי לפיתרון חידתו של פרמה סבב סביב השימוש במספרים ראשוניים. מספרים ראשוניים, נזכיר, הם מספרים שהמחלקים היחידים שלהם הם עצמם ואחד: המספר 7 הוא ראשוני, למשל. אחת התכונות המסקרנות ביותר של מספרים ראשוניים היא שאין ביניהם קשר ברור. זאת אומרת, אם אתה יודע ש-7 הוא מספר ראשוני, הידע הזה אינו מסייע במציאת מספר ראשוני אחר. בין המספרים הזוגיים, לעומת זאת, יש קשר ברור: כולם מתחלקים ב-2. המתמטיקאים אוהבים לגלות קשרים בין מספרים כיוון שקשרים כאלו מעלים תובנות רבות משמעות על האופן שבו היקום מתנהל, ועל החוקים הכלליים

ששולטים בו. מסיבה זו היעדר החוקיות בקבוצת המספרים הראשוניים מציק מאוד למתמטיקאים, גם כיום.

סופי גילתה עובדה מעניינת: יש מספרים ראשוניים שיש ביניהם קשר! אם ניקח את המספר הראשוני 5, נכפיל אותו פי שניים ונוסיף אחד – התוצאה תהא 11, מספר ראשוני חדש. אם נכפיל את המספר 11 פי שתיים ונוסיף אחד, נקבל מספר ראשוני חדש נוסף - 23!

לרוע המזל, החוקיות הזו תקפה רק לגבי חלק קטן מאוד מהמספרים הראשוניים. אם נכפיל את המספר 7 פי שתיים ונוסיף אחד - קיבלנו 15, מספר שאינו ראשוני. בכל זאת, העובדה שיש מספרים ראשוניים שיש ביניהם קשר כלשהו, קלוש ככל שיהיה, היא התקדמות מסקרנת מאוד. קשר רופף עדיין טוב יותר מהעדר קשר בכלל. המספרים הראשוניים שמקיימים את החוקיות הזו מכונים היום 'המספרים הראשוניים של סופי'.

סופי ביקשה לנצל את החוקיות החדשה שגילתה כדי לתקוף את 'המשפט האחרון של פרמה' מזווית חדשה. אם תצליח להוכיח שהמספרים הראשוניים שלה אינם מקיימים את המשוואה של פרמה, אולי

אפשר יהיה להוכיח שאף מספר ראשוני אינו מקיים את המשוואה! זו תהיה התקדמות עצומה בפתרון החידה, בהתחשב בעובדה שעד כה הצליחו המתמטיקאים להגיע להוכחה שכזו רק עבור החזקות 3 ו-4 בלבד. סופי כתבה לגאוס:

**"אני מרגיש אשם על שאני מטריד
גאון בסדר גודל כשלך, שוודאי עסוק
בקריאת מכתבים רבים ממעריצים
בכל רחבי אירופה.."**

היא סיפרה לו אודות הקשר שגילתה בין המספרים הראשוניים, וכיצד היא מעוניינת לנצל קשר זה כדי להוכיח את 'המשפט האחרון של פרמה'. הגאון הגרמני התרשם מאוד מההבנה ומהמקוריות שהפגין הצרפתי הצעיר, מסייה לה-בלאן, וכתב לה (לו) - "אני מאושר שהמתמטיקה מצאה בכך חבר מוכשר כל כך."

גאוס וסופי התכתבו הלך ושוב. הוא עודד אותה להמשיך ולנסות להוכיח את המשפט של פרמה, וכתב לה שהרעיונות שלה בכיוון הנכון. לתמיכתו של גאוס הייתה חשיבות עצומה עבור סופי. למרות שלגראנז' ואחרים הרעיפו שבחים על כישוריה,

הממסד המדעי הצרפתי לא היה מוכן לקבל אישה כמתמטיקאית שווה בין שווים. כתוצאה מכך הייתה סופי מנותקת מעולם המתמטיקה: היא לא הייתה יכולה לפרסם מאמרים בספרות המקצועית, ולא הייתה יכולה ליהנות מההפריה ההדדית החשובה כל כך בעולם המדע בכלל ובמתמטיקה בפרט. לגאוס הייתה השפעה ניכרת עליה, מורלית ומקצועית.

אבל ב-1806 עמדה הידידות הזו בסכנה. צרפת של סופי ופרוסיה של גאוס יצאו למלחמה זו בזו. נפוליאון בונפרטה נלחם בפרוסים כדי להרחיב את האימפריה הצרפתית שלו וברונסוויק - עירו של גאוס - נכבשה על ידי הצבא הצרפתי האדיר ורב העצמה.

טוב, יכול להיות שיש כאן דרמטיות מיותרת כמעט. הרי הצבא הצרפתי אינו הצבא המפחיד ביותר בעולם. אומרים שביורודיסני אסרו על השימוש בזיקוקי די-נור כיוון שבכל פעם שיורים זיקוק, הצבא הצרפתי נכנע. אומרים גם שבטנק צרפתי יש ארבעה הילוכים לנסיעה ברוורס והילוך אחד לנסיעה קדימה, למקרה והאויב יתקוף מאחור. סיבה היחידה שהצרפתים ניצחו במהפכה הצרפתית, היא כנראה כיוון שנלחמו בצרפתים אחרים.

ובכל זאת, כששמעה סופי על המאורעות בחזית המלחמה היא התמלאה חרדה. היא חששה שמא סיפורו של ארכימדס יחזור על עצמו בשנית והפעם גאוס בתפקיד הגאון היווני וחיל צרפתי בתור הלגיונר הרומי. אחד מידידי המשפחה היה גנרל בצבא הצרפתי וסופי שלחה אליו מברק בהול ובו ביקשה ממנו לדאוג לשלומו של גאוס. הגנרל הטיל את המשימה על אחד מקציניו, שיצא ללא דיחוי אל ברונסוויק.

כשהגיע הקצין אל החזית, נתברר שגאוס אינו בסכנת חיים. המושל הצבאי של ברונסוויק כבר הספיק לשמוע מהמקומיים אודות העילוי המתמטי וחשיבותו, ולא התכוון להזיק לו בשום צורה. הוא אפילו הזמין את גאוס לסעוד עמו ארוחת ערב חגיגית. הקצין ניגש בכל זאת אל ביתו של גאוס, והראה לו את המכתב שכתבה סופי לגנרל ובו ביקשה להגן על חייו. גאוס היה מבולבל. הוא היה אסיר תודה על הסיוע הבלתי צפוי... אבל מי היא מדמואזל ז'רמן? הוא לא הכיר מתמטיקאית צרפתייה. המתמטיקאי הצרפתי היחיד שהכיר גאוס היה... מסייה... לה-בלאן! כשהבין גאוס את הסיבה לבלבול, הוא לא כעס על שסופי רימתה אותו.

"איני יכול לתאר לך," כתב גאוס לסופי, "את הפתעתי כשהבנתי את זהותו האמתית של מסייה לה-בלאן... האהבה למדעים המופשטים ולמסתורין שבמספרים נדירה ביותר, וקסמיו של מדע זה מגלים את עצמם רק למי שיש לו האומץ לצלול אל מעמקיהם. אך כשאישה מצליחה, על אף הקשיים האימתניים הנובעים מדעות קדומות וממנהגי התרבות שבארצך, להתגבר על מכשולים אלה... אזי ללא ספק היא חייבת להיות אמיצה ואצילה, בעלת כישורים יוצאים מן הכלל וגאונות ברורה."

סופי וגאוס המשיכו להחליף ביניהם מכתבים במשך מספר חודשים, עד שהקשר ביניהם דעך וגווע. גאוס מונה לתפקיד רשמי באחת האוניברסיטאות והעומס האקדמי, בשילוב העובדה שתחומי העניין שלו נדדו מעולם המספרים אל שדות אחרים, גרמו לו לאבד עניין במחקריה של סופי, אבל היא המשיכה בכל זאת לעבוד על 'המשפט האחרון של פרמה'. היא הצליחה להראות שכמעט אין סיכוי שהמספרים הראשוניים שלה - אלה שמקיימים ביניהם את הקשר של 'כפול שתיים ועוד אחד' - יכולים להיות פתרונות של המשוואה.

זו לא הייתה תוצאה מספקת: "כמעט אין סיכוי" אינו נחשב להוכחה מתמטית... בכל זאת, להוכחה של

סופי הייתה חשיבות עליונה משתי בחינות. היא חיזקה מאוד את התחושה אצל החוקרים ש'המשפט האחרון של פרמה' נכון - משמע, אין פתרונות למשוואה מהצורה $X^N + Y^N = Z^N$ עבור N גדול מ-2. חשוב יותר, היא הביאה לשינוי דרמטי באופן שבו ניגשו המתמטיקאים לבעיה הזו. במקום לנסות ולהוכיח את המשפט של פרמה עבור פתרונות בודדים - דהיינו, החזקה השלישית, הרביעית, החמישית וכן הלאה - סופי הראתה להם שהדרך לפתרון חייבת להיות כללית יותר, ולעסוק בקבוצות גדולות של מספרים והקשר ביניהם. אופן המחשבה הזה הביא, בסופו של דבר, לפיתרונה המוצלח של חידת 'המשפט האחרון של פרמה' בידי אנדרו ווילס לקראת סוף המאה העשרים - סיפור מדהים ומרתק בפני עצמו.

גאוס לא היה הגרמני היחיד שהשפיע עמוקות על חייה של סופי. ארנסט צ'לדני (Chladni) היה פיזיקאי ומוסיקאי שביצע ניסוי מעניין ביותר. הוא נטל קורות מתכת, פיזר עליהן חול דק - וניגן עליהן באמצעות קשת כינור. משיכת הקשת גרמה לקורות לרטוט ולרעוד, וכתוצאה מכך החול הלבן שעל הקורות הסתדר בתבניות משונות ומרתקות. הצורות הללו זכו לשם 'תבניות צ'לדני'.



איור 43: תבניות צ'לדני המופיעות על משטח רוטט

צ'לדני הדגים את הניסוי המקורי הזה בפני מדענים רבים באירופה. כשביקר בפריז, ביצע את הניסוי עבור נפוליון, והלה התרשם מאוד מהתופעה המעניינת הזו. הקיסר הצרפתי הציע פרס מכובד - קילוגרם שלם של זהב טהור - למי שיצליח להסביר את תוצאות הניסוי של צ'לדני. האקדמיה הצרפתית למדעים הרימה את הכפפה, וארגנה תחרות בין המדענים: הראשון שייתן הסבר פיזיקלי ומתמטי לניסוי של צ'לדני, ייזכה בזהב.

זו לא הייתה בעיה פשוטה. הכלים החשובים ביותר בארסנל של הפיזיקאים היו שלושת חוקי ניוטון, אבל היה קשה מאוד למצוא קשר בין החוקים הללו - שעוסקים בגופים מופשטים ובתנועה בקו ישר - לבין התנהגות קורות מתכת שמושכים עליהן בקשת. על אף הפערים בהשכלתה הפיזיקלית, החליטה סופי להיענות לאתגר המסובך.

הצורות והתבניות שהופיעו בחול העידו שקורת המתכת, שבמבט ראשון נראית קשיחה ובלתי מתפשרת, רועדת ורוטטת ממש כמו מיתר של כינור. החול שפיזר צ'לדני אפשר לו לראות את תנודות הללו, שעל פי רוב זעירות מדי בכדי שנבחין בהן. הרעידות בקורה אינן אקראיות אלא גליות: יש בהן עמקים ופסגות מובהקים. החול הצטבר בעמקים שבין הגלים. מטרתה של סופי הייתה להסביר את התנהגות הגלים בהתאם לתכונות קורת המתכת.

הייתה בכך חשיבות רבה, מעבר לסקרנות מדעית מופשטת. כדי לבנות מבני מתכת גדולים, כמו מגדל אייפל לדוגמה, המהנדסים חייבים לצפות במדויק כיצד תתנהג המתכת תחת השפעת כוחות חיצוניים. לרוח הנושבת על פני קורת מתכת ארוכה במרומי האייפל, יש השפעה דומה מאוד לזו של קשת הכינור. הידע הזה שימושי גם לצורך בניית כלי נגינה, שכן

לצורת הכלי השפעה רבה על גלי הקול שהוא מפיק. סופי עמלה במשך שנתיים על ההסבר ל"תבניות צ'לדני", ובשנת 1811 הגישה את עבודתה לוועדת הפרס. הסתבר שסופי לא רק הייתה הראשונה שהגישה הצעה לפיתרון - היא הייתה היחידה! מבין כל החוקרים, סופי הייתה היחידה שהאמינה שהיא מסוגלת להגיע לתשובה הנכונה.

לרוע המזל, בהצעתה של סופי נתגלו ליקויים - שגיאות שנבעו בעיקר מהעדר השכלה רשמית ורקע חלש מדי בפיזיקה. הוועדה החליטה שלא להעניק לה את הפרס. להחלטה הזו תרמו גם חילוקי דעות אישיים בין סופי ז'רמן וסימאון פואסון (Poisson), אחד מחברי הוועדה, מתמטיקאי נודע ורב השפעה. פואסון האמין שהדרך הנכונה לפתרון הבעיה צריכה לעבור דרך שלושת החוקים של ניוטון - למרות שגישה זו הביאה לתוצאות מסובכות ולא נוחות כלל. סופי, לעומתו, ניגשה לפיתרון מכיוון אחר לחלוטין, ופואסון סירב לתמוך בה למרות שלגראנז', אף הוא חבר בוועדה, ראה ברעיונותיה של סופי פוטנציאל מצוין להצלחה. לגראנז' נטל את הפיתרון של סופי, שיפר ושכלל אותו והצליח להגיע לתוצאות מוצלחות יותר - אם כי עדיין לא מושלמות.

הוועדה החליטה להאריך את התחרות בשנתיים נוספות. ובשנת 1813 הגישה סופי הצעה נוספת לוועדה ושוב הייתה המתמודדת היחידה על הפרס. היא המשיכה את עבודתו של לגראנז' ושיפרה אותה אבל עדיין נמצאו בעבודתה שגיאות וליקויים, והזכייה בפרס נמנעה ממנה שוב. המחקר המתמטי הוא תחום שבו יש לעבודת צוות חשיבות עליונה: הרעיונות מופשטים כל כך וקשים לתפיסה, וקל מאוד לסטות מהשביל וללכת לאיבוד. אחד ההיסטוריונים של המתמטיקה הגדיר זאת היטב: "הוכחות מושלמות וחפות משגיאה הן סימן להיסטוריונים שהמפות כבר צוירו, ושמגלי הארצות האמתיים כבר המשיכו למקום אחר." סופי, מכורח המציאות, נאלצה לעבוד לגמרי לבדה - וסטתה מהשביל לא פעם.

התחרות הוארכה בשנתיים נוספות, וסופי הגישה הצעת פיתרון שלישית - ועדיין המתחרה היחידה. הפעם אישרה הוועדה את הפיתרון וסופי זכתה סוף סוף בזהב המיוחל. כועסת וממורמרת על הדחיות הרבות שספגה, סירבה סופי להגיע לטקס הענקת הפרס והחרימה אותו. האפליה כנגדה הייתה לעתים ברורה לעיני כל - בדומה לסירוב לאפשר לה להיות חברה באקדמיה למדעים - ולעתים הייתה נסתרת ומרושעת. סביר להניח שאילו הייתה גבר, ועדת

הפרס הייתה מתייחסת בסלחנות רבה יותר לטעויותיה ולשגיאותיה. נוסף על כך, כשנבנה מגדל אייפל בפריז נחקקו עליו שמותיהם של שבעים ושניים מגדולי המדענים הצרפתיים מכל הזמנים. מחקריה של סופי ז'רמן בתחום האלסטיות של המתכות נחשבים כיום לאבני היסוד הקלסיות של תחום הזה, והנוסחות שפיתחה תרמו רבות לבנייתו של המונומנט האדיר - אבל שמה של סופי נעדר מרשימת המדענים הזו.

ועדיין, אפשר להתנחם בכך שסופי הצליחה ליצור שינוי קטן. היא הייתה האישה הראשונה שנכחה בהרצאות רשמיות של האקדמיה הצרפתית למדעים כחוקרת מן המניין: כל הנשים שישבו באולם לפניו היו נשות מדענים חברי האקדמיה.

כשהייתה סופי בת 53 נתגלה אצלה סרטן השד. גאוס השתדל מאוד שהאוניברסיטה שבה היה חבר, אוניברסיטת גוטינגן, תעניק לה אות כבוד יוקרתי - אבל איחר את המועד. בשנת 1831, לאחר שנתיים של מאבק עיקש, הלכה סופי לעולמה. היא מעולם לא נישאה ולא היו לה ילדים. סופי פרסמה מאמרים מועטים בימי חייה. התוצאה החשובה שלה לגבי 'המשפט האחרון של פרמה', למשל, מופיעה רק כהערת שוליים קצרה במאמר של מתמטיקאי אחר

שעמו עבדה. סביר להניח שעבודתה של סופי הייתה נידונה להימחק מהזיכרון הקולקטיבי שלנו אלמלא תהפוכות גורל משונות ומפתיעות.

אחד מידידיה של משפחת ז'רמן היה ההיסטוריון ג'וליאמו ליברי (Libri). ליברי, איטלקי במקור, הוא זה שתיעד את סיפורה של סופי כולל הסיפורים אודות נעוריה ומאמציה ההרואיים לרכוש לעצמה השכלה. ליברי היה איש אשכולות של ממש: היסטוריון, סופר, מתמטיקאי-ו... גנב ספרים. הייתה לו ספרייה ענקית ובה עשרות אלפי מאמרים, ספרים וכתבי יד של מיטב אנשי המדע: פרמה, גלילאו, דקרט, לייבניץ ואחרים. כמעט כל הספרים נגנבו מספריות שמקורן באיטליה. כשהגיע ליברי לצרפת הוא יצר קשרי חברות עם צמרת המשטרה המקומית. חבריו המכובדים הצליחו לסדר לו את משרת חלומותיו: המבקר הכללי של כל הספריות בצרפת.



איור 44: ג'וליאמו ליברי, פורטרט מהמאה ה-19

תפקידו החדש של ליברי כחתול המבקר במפעל השמנת אפשר לו לגנוב ספרים מכל הבא ליד. כך גם

הצליח להניח את ידיו על מאמריה של סופי ז'רמן לאחר שזו נפטרה. הצרפתים חשדו בליברי, אבל לא היו יכולים לעשות דבר עקב קשריו בשלטון, עד שהמהפכה הצרפתית טרפה את הקלפים. כמעט מיד הוצא צו מעצר נגד ליברי, והוא מיהר להימלט ללונדון לא לפני שהספיק לשלוח שמונה עשרה ארגזים מלאים בספרים יקרים. בבירה הבריטית מכר את הספרים, התעשר מאוד וחי חיי מותרות. את הספרים שהותיר אחריו בפריז החרימה המשטרה הצרפתית, וכך התגלגלו מחקריה של סופי בין המחסנים והספריות הממשלתיות השונות, עד שהיסטוריונים מודרניים גילו אותם והשיבו את הצדק על כנו.

סיפורה של סופי ז'רמן מהווה מקור להשראה עבור צעירות רבות ברחבי העולם. מאבקה באפליה ובצרות האופקים של עמיתה הגברים הפך לסמל של ניצחון הכישרון על שלשלאות תרבותיות. ובמילותיו של ההיסטוריון מוזנס (Mozans):

"במבט לאחור, סופי ז'רמן הייתה
כנראה האישה האינטלקטואלית
ביותר שצרפת אי פעם הוציאה מבין
שורותיה... ועדיין, מוזר ככל שהדבר

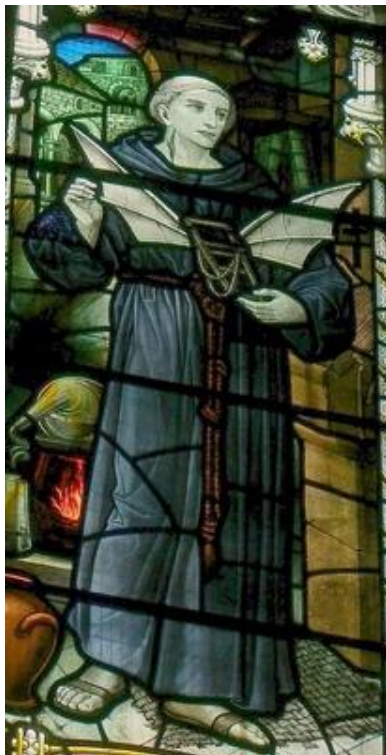
נשמע, בתעודת הפטירה שלה היא
מופיעה כ'אישה נטולת מקצוע' ולא
כ'מתמטיקאית'... האם נדחקה הצדה
מאותה הסיבה שבעטיה לא הייתה
זכאית להיחשב כחברה מן המניין
באקדמיה הצרפתית למדעים? אם
כן, האחראים לכך צריכים להתבייש
בעצמם על כפיות הטובה כנגד מי
שתרמה כה רבות למדע, ושהישגיה
קנו לה מקום של כבוד בהיכל
התהילה."

13. האנשים שלא הצליחו לעוף: על התעופה לפני האחים רייט

הנזיר עמד על ראש המגדל. הוא הביט מטה. כמה צופים סקרנים הביטו בו מהקרקע, מחכים. לא היו הרבה מופעי בידור בשנת 1010, שיא ימי הביניים. העובדה שעל גג הכנסייה המקומית עמד נזיר בשם אילמר (Eilmer) אשר לרגליו ולידיו היו מוצמדות כנפיים גדולות מעץ הייתה בלתי שגרתית כל כך, עד שהאירוע הזה עתיד להישאר חקוק בזיכרון הקולקטיבי של העיירה האנגלית מלמסבורי (Malmesbury) במשך אלף השנים הבאות. ההיסטוריון שתיעד את העניין לא הותיר תיאור של מה עבר בראשו של אילמר כשעמד על קצה המגדל. קרוב לוודאי שכל גופו רעד מפחד, מתח והתרגשות. הוא קפץ.

הכנסייה שעומדת היום בעיירה מלמסבורי אינה אותה הכנסייה שעמדה שם לפני אלף שנים, אבל

היא נבנתה באותו המקום ממש. הבניין ניצב מעל מדרון משופע שרוחות חזקות מכות בו ללא הרף: הן נושבות במדרון ואז מטפסות מעלה לאורך קירות הכנסייה. אנחנו יודעים שאגדות מיתולוגיות, כמו הסיפור המפורסם על דדלוס ואיקרוס שדאו בשמיים באמצעות כנפיים עשויות שעווה, היו מוכרות ונפוצות מאוד באותה התקופה. אילמר כנראה הכיר היטב את המיתולוגיה, סיפור גבורתם הטרגית של דדלוס ואיקרוס הסעיר את תשוקתו העזה... לעוף.



איור 45: ויטרז' זכוכית המנציח את אילמר, המוצב
בכנסיית מלמסבורי

הרוחות החזקות הללו תפסו את אילמר ואחזו בכנפיים המאולתרות שהצמיד לעצמו. לנגד עיניהם הנדהמות של הצופים, החל הנזיר לדאות קדימה בשעה שנפל מטה. אילמר הפך, לכמה שניות בודדות, לציפור... הוא עף. הוא באמת עף! אך לא לזמן רב. משב רוח חזק היכה באחת מכנפיו ושיווי המשקל העדין שאפשר לאילמר לדאות, הופר. הכנפיים כבר לא היו מאוזנות... ו...

לאילמר היה מזל גדול. הוא התגלגל במורד המדרון המשופע, שבר את שתי רגליו - אבל נשאר בחיים. אנו יודעים היום על ניסיון התעופה האמיץ הזה בזכות היסטוריון חשוב שחי כמה עשרות שנים אחריו והתגורר באותו המנזר. כל העדויות מצביעות על כך שסיפורו של אילמר אכן התרחש במציאות. ניתוחים אווירודינמיים של משטר הרוחות סביב הכנסייה והשפעתן האפשרית על הכנפיים המאולתרות מראות שאילמר אכן היה אמור לנחות במרחק של כמאתיים מטרים מהמגדל - בדיוק באותו במקום שבו נטען כי נחת בפועל. תיאור ההיסטוריון מדויק וטכני מאוד, ללא עיטורים אגדתיים או הגזמות ספרותיות שהיו מקובלות באותה התקופה.

האם הנזיר אילמר היה האדם הראשון אי פעם שהצליח לדאות? זו שאלה שקשה מאוד לענות עליה,

מכמה סיבות. ראשית, אנשים רבים ניסו לעוף - גם לפני אלימר, וגם אחריו. מרבית הניסיונות הללו לא תועדו כלל או שנותרו מהם רק שמועות ואגדות. לחלק נכבד מהטייסים החובבים לא היה מזל כמו לאילמר, והם לא שרדו את הנפילה. בנוסף, קשה להגדיר מהי דאיה מוצלחת. מהו הקריטריון שמגדיר ניסיון מוצלח: כמה מרחק עברת? כמה מהר דאית? האם דאיה למרחק גדול שבסופו הטייס התרסק ונהרג היא 'מוצלחת' יותר מדאיה קצרה שהסתיימה רק בשברים ובפציעות קלות?

אני חושב שאין זה משנה. בפרק זה אספר על ההיסטוריה של התעופה מנקודת מבט אחרת, כזו שאינה מקבלת תשומת לב רבה בדרך כלל: נקודת מבטם של האנשים שלא הצליחו לעוף. בסופו של דבר, הם היו הרוב.

חלוצי הטיסה הראשונים היו טיפוסים מרתקים. היום יש הבחנה ברורה בין מהנדסים וחוקרים שמתכננים את המטוסים - אנשי אקדמיה ותעשייה שעובדים מול מחשב - לטייסי ניסוי שבוחנים את התוצאות בפועל. באותם ימי פרה-היסטוריה תעופתית, חלוצי הטיסה היו גם אנשי מדע והנדסה גם טייסי הניסוי של מחקרם. ברבים מהם אפשר היה למצוא את השילוב

הנדיר הזה: שכל חריף ומחשבה מקורית, לצד אומץ לב וכישורים גופניים מעולים.

ההשראה לניסיונות התעופה הראשונים הייתה, כפי שניתן לשער, התבוננות בציפורים. אנשים חכמים רבים בילו שעות ארוכות בניסיון לפענח כיצד ציפורים מצליחות לעוף. הם ביקשו לחקות את הציפורים, אבל... מה בדיוק יש לחקות? מהי התכונה הקריטית ב'ציפוריות'? ברור שכנפיים הם חלק מהעניין, אבל מה בעניין נוצות? האם חייבים נוצות כדי לעוף? איך בדיוק צריך להזיז את הכנפיים, וכמה גדולות הן צריכות להיות כדי לשאת משקל אדם בוגר? ומה בעניין זנב? ואם כבר, מה לגבי עטלפים וחרקים - גם הם עפים, אבל בדרך שונה לגמרי!

אלו שאלות שהיה קשה מאוד לענות עליהן ובימי קדם לא היה ידע תיאורטי מספיק כדי לנתח אותן בצורה אנליטית. הרוב המוחלט של החוקרים פשוט עשו את המקסימום שהיו יכולים: הם הצמידו לעצמם כנפיים. הם ניסו כנפיים גדולות וכנפיים קטנות; עם נוצות, בלי נוצות. תנועות אטיות ורחבות או נפנופים קצרים ומהירים. הממציאים ניסו כל וריאציה שהיו יכולים לחשוב עליה - ונכשלו. אף אחד לא הצליח לעוף.

בסופו של דבר היה ברור לכולם שזו כנראה אינה הדרך. בני האדם כבדים מדי וחלשים מדי מכדי לנסות ולחקות את הציפורים. יש למצוא שיטה אחרת.

ההתקדמות המשמעותית בתחום האווירודינמיקה התרחשה תודות למאמציו של אדם אחד ולמחקריו, אדם מוכשר ויוצא מן הכלל. אתם אולי חושבים על ליאונרדו דה-ו'ינצי... אבל לא, הוא אינו האיש. דה-ו'ינצי ערך כמה וכמה מחקרים מעמיקים בעניין הפיזיולוגיה של ציפורים, תכנן כמה כלי טיס שונים והיו לו כמה הברקות מרשימות כמו הליקופטר ראשוני - אבל חלק גדול מכתביו לא נחשפו לציבור עד המאה ה-19, ולכן לא הייתה לו השפעה ממשית על החוקרים שבאו אחריו.

החוקר שנחשב היום ל"אבי התעופה המודרנית" הוא מהנדס אנגלי שחי במאה ה-18 בשם ג'ורג קייילי (Cayley). קייילי היה אריסטוקרט שירש שטחים חקלאיים נרחבים ביורקשיר ולכן היה יכול להרשות לעצמו להקדיש זמן רב לשיפור התשתית החקלאית שבאזורו, לקידום המדע באנגליה, לפעילות פוליטית - וגם לאהבת חייו הגדולה, חקר התעופה.



איור 46: ג'ורג' קיילי

קייילי תקף את בעיית התעופה בדרך ייחודית. עד תקופתו של קייילי, ממציא שחיפש דרך לעוף בנה את כלי הטיס שלו פחות או יותר לפי האינטואיציה, גרר אותו לשדה סמוך וניסה לעוף. אחרי ההתרסקות הבלתי נמנעת הממציא אסף את השברים - שלו ושל המטוס - חזר לסדנה וניסה לתכנן מטוס חדש, וחוזר חלילה. אבל בניית מטוס הייתה עניין יקר וממושך ולכן גם ההתקדמות הייתה אטית.

קייילי לא בנה מטוסים. הוא יצר מודלים קטנים, דאונים בקנה מידה של טיסן, ובעזרתם ביצע ניסויים שונים כדי לחשוף את הכוחות שפועלים עליהם. כיוון שפעל בסביבה מבוקרת והיה יכול לחזור על ניסוייו שוב ושוב עם דאון שונה בכל פעם, זכה קייילי בתובנות מעמיקות - תובנות שאפשר בהחלט לכנותן 'מהפכניות'.

בדומה לממציאים רבים בתקופתו, ניסה קייילי לתכנן כלי טיס בעלי כנף מתנפנפת, כמו זו של ציפור. סוג כזה של כלי טיס מכונה 'אורניתופטר', והוא היה ההמשך הישיר לניסיונות המוקדמים של חיבור כנפיים מלאכותיות לידיים, כמו זה של הנזיר אלימר. תקוות מתכנני האורניתופטרים הייתה שאולי אם הכנפיים יהיו גדולות וחזקות יותר, ואת השרירים החלשים יחליפו מנועי קיטור חזקים - הם יצליחו

להתרומם. אבל גם קיילי, כמו כל ממציאי האורניתופטרים לפניו, כשל. כנפי הציפורים, מסתבר, הן מערכות מורכבות שקשה מאוד לחקותן. כנף ממוצעת מבצעת שלושה תפקידים שונים באותו הזמן: היא מספקת לציפור את כוח העילוי שמושך אותה למעלה, את הדחף שמוביל אותה קדימה ואת יכולת התמרון שמאפשרת לה לשמור על שיווי משקל באוויר.

קיילי הבין שאין שום סיכוי שמתקן מכני, ועל אחת כמה וכמה בטכנולוגיה שהייתה קיימת בשנת 1790, יהיה מסוגל לבצע את שלושת הפעולות הללו גם יחד. התרומה הגדולה ביותר של קיילי למדע התעופה, ולמעשה ההארה שיצקה את הבסיס למדע המודרני של האווירודינמיקה - הייתה ניתוק שלושת המרכיבים אלו מאלו. קיילי תפס שהפיתרון לבעיה טמון במציאת שלושה מנגנונים שונים שיפתרו כל אחד בעיה בודדת: מנגנון שיאפשר עילוי, מנגנון שיאפשר דחף ומנגנון שיאפשר שליטה על המטוס.

הפרדת בעיית הטיסה האימתנית למספר בעיות קטנות יותר איפשרה לקיילי להתקדם במחקריו במהירות. כבר בשנת 1799, כשהיה רק בן 26, הגה את הצורה הבסיסית של המטוס המודרני: זוג כנפיים ישרות, גוף מוארך וצר וזנב בצורת צלב. קיילי אף

הגדיר במדויק את ארבעת הכוחות שפועלים על כנף המטוס: עילוי, גרר, דחף שמספק לו מקור אנרגיה חיצוני וכוח המשיכה של כדור הארץ. מחקריו של קיילי גם לימדו אותו שכנף בעלת פרופיל אווירודינמי - היינו, חלקה העליון קמור וחלקה התחתון ישר - עדיפה על פני כנף בעלת חתך ישר שכן מייצרת עילוי רב יותר.

השאלה המתבקשת היא, כמובן, מהו אותו 'עילוי' וכיצד נוצר. ובכן, העילוי הוא תוצאת כמה תופעות נפרדות הפועלות יחדיו על כנף המטוס. הראשונה היא הכוח שמפעילים אטומי האוויר כשהם נדחסים ופוגעים בחלקה התחתון של הכנף. תופעה זו מתרחשת כשמנסים לרוץ מהר עם מטריה פתוחה: המשטח גורף עמו את האטומים, ואלו מתנגדים ומפעילים עליו כוח שווה בעצמתו והפוך בכיוונו, כפי שקובעים חוקי ניוטון. אם המשטח נמצא בשיפוע קל ביחס לקרקע, הכוח שיפעילו האטומים יהיה גם כן כלפי מעלה - והכנף תתרומם.

התופעה השנייה קשורה למה שמכונה 'חוק ברנולי'. חוק ברנולי קובע שכשגז (או נוזל) נע במהירות גבוהה לאורך משטח - נוצר אזור של לחץ נמוך, תת-לחץ, על פני המשטח. כשהכנף נעה במהירות, זרם האוויר שפוגע בקצה הקדמי שלה מתפצל לשני

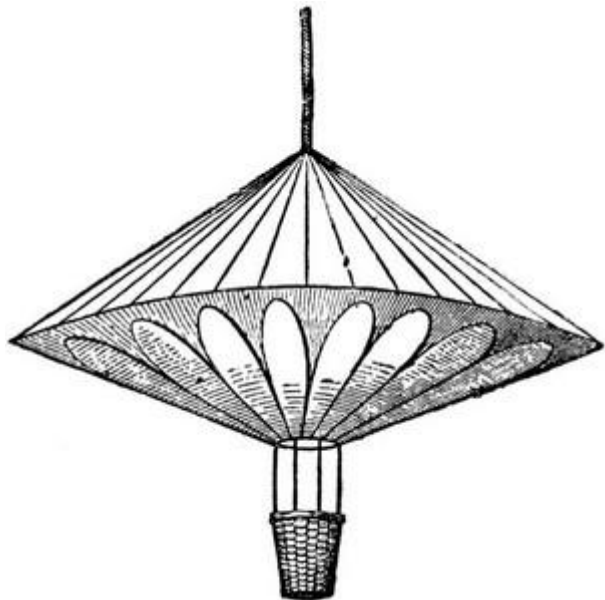
זרמים נפרדים: זרם אחד עוקף את הכנף מלמטה, והשני מקיף אותה מלמעלה. הדינמיקה המורכבת של הזרימה מביאה לכך שהאוויר על פני המשטח העליון של הכנף נע מהר יותר מהזרם התחתון. מכאן שלחץ האוויר על פני המשטח העליון יהיה נמוך יותר מהלחץ על המשטח התחתון. הפרש הלחצים מביא לכך שהכנף ממש 'נשאבת' כלפי מעלה, כאילו נמשכת אל שואב אבק דימיוני. שני ההסברים הללו פשטניים מאוד ואף אחד מהם אינו מספק תמונה מלאה של המציאות. האינטראקציה בין הכנף ובין הגז שזורם סביבה מסובכת מאוד ומושפעת מגורמים רבים כגון החיכוך בין הכנף לאוויר, צפיפות האוויר, שטח הכנף, זווית הקימור ועוד.

לג'ורג' קיילי הייתה השפעה אדירה על התפתחות התעופה. המאמרים שפרסם אודות תוצאות ניסוייו הפכו לקריאת חובה לכל מי שחלם לטוס והיו הבסיס לכל העבודה התאורטית שנעשתה מאז. קיילי גם השפיע על תחום נוסף הקשור בתעופה, הצניחה - אם כי לרוע מזלו שמו נקשר לתחום זה דווקא בהקשר שלילי ועקב כך נפגע המוניטין שלו במקצת.

בשנת 1802 צפה קיילי בצניחה הראשונה שנעשתה באנגליה. הקופץ היה הצרפתי אנדרי גרנרי (Garnerin), והוא צנח מגובה של כ-900 מטרים

בעזרת מצנח בצורת חצי-כדור. המצנח עשה את העבודה והביא את גרנרי בשלום אל הקרקע, אבל הוא התנדנד בפראות כל הדרך מטה. קיילי ניתח את התופעה לעומקה, ובאחד ממאמריו הציע לתכנן את המצנח כך שיהיה בצורת כיפה חרוטית, במקום בצורת חצי-כדור.

אחד מקוראי המאמר היה צייר בשם רוברט קוקינג (Cocking). קוקינג היה מדען חובב שנכח אף הוא בצניחה המפורסמת של אנדרי גרנרי. בשנת 1837 החליט לשחזר את הצניחה ההרואית ואף להתעלות עליה באמצעות התכנון המשופר שהציע קיילי. הוא בנה את המצנח שלו במו ידיו ושכנע בעל כדור פורח לסייע לו. בעל הכדור ראה בצניחה של קוקינג תעלול פרסומי מבריק והסכים לעזור לו - על אף שקוקינג היה בן 61, וללא שום ניסיון קודם בצניחה. השניים החליטו לקיים את הצניחה כחלק מיריד גדול ורב משתתפים.



איור 47: המצנח של קוקינג

כשהגיע היום הגדול טיפס קוקינג לתוך סל קטן שהיה מחובר למצנח, והכדור הפורח המריא אל השמיים בשעה שהוא מושך תחתיו את המצנח ואת הצנחן. כשהגיעו לגובה של כ-1500 מטרים סימן הטייס

לקוקינג שעליו לבצע את הצניחה באותו הרגע - או שלא לבצע אותה כלל, בקרוב תרד החשיכה וכל אלפי המבקרים ביריד שמביטים בהם מלמטה לא יוכלו לראות דבר. קוקינג נתן את הסימן המתאים, והטייס ניתק את המצנח מהכדור.

כבר בשניות הראשונות היה ברור שהעניינים אינם מתקדמים בכיוון הנכון. המצנח נפרש כהלכה, אבל מהירות הנפילה הייתה עדיין מהירה בהרבה מהצפוי. כעבור כמה מאות מטרים הלך המצב והחמיר: המצנח התהפך פנימה והחוצה, כמו מטריה ברוח חזקה. מהירות נפילתו של קוקינג הייתה גבוהה מדי, אבל הואטה במידה מסוימת על ידי מה שנותר מהמצנח שלו. יכול להיות שהיה לו סיכוי לצאת בחיים מהנחיתה הקשה - אלמלא נפרמו לפתע החבלים שקשרו את הסל שבו ישב אל המצנח. לנגד עיניהם של הצופים המזועזעים התפרקה החבילה כולה והסל התרסק בעצמה לתוך שדה סמוך. קוקינג נהרג במקום: האדם הראשון בהיסטוריה שמת בתאונת צניחה.

התאונה הטרגית הטילה צל לא נעים על מחקריו של ג'ורג קיילי, על בסיס תכנונו בנה קוקינג, כזכור, את המצנח שלו. חקירת התאונה העלתה שהמצנח שבנה קוקינג היה כבד באופן יוצא דופן: כ-113

קילוגרמים, בערך פי עשרה ממשקל מצנח מודרני. קיילי לא פירט במאמרו מה היה צריך להיות משקל המצנח: אולי הניח שיהיה ברור לכלום שהמצנח חייב להיות קל משקל. קוקינג חסר הניסיון לא הביא בחשבון את משקל המצנח, ובנוסף - אכות החבלים והקשירה הייתה חובבנית לחלוטין, כפי שהעידה ההתפרקות המוחלטת לקראת סוף הצניחה. ככל הנראה, הזניח קוקינג לחלוטין את נושא הבטיחות במצנחו - ושילם על טעותו מחיר מלא.

בראשית שנות התשעים של המאה ה-19 כבר הייתה תחושה באוויר שטיסה אמתית נמצאת ממש מעבר לפינה. ההתפתחויות הטכנולוגיות רדפו זו את זו ולכולם היה ברור שזהו עניין של זמן עד שמישהו יצליח לטוס. השאלה היחידה הייתה - מי זה יהיה... כמה עשרות, אולי אפילו מאות, ממציאים בכל רחבי העולם היו בעיצומו של מירוץ, ובדומה לכל מירוץ - גם בו יכול להיות רק מנצח אחד.

היו שני מועמדים מרכזיים לזכייה בתואר הנחשק 'הראשון לטוס'. ולא, אלו לא היו האחים רייט. המועמדים המרכזיים היו המהנדס הגרמני אוטו לילנטל (Lilienthal), והפרופסור האמריקני סמואל לנגלי (Langley). וילבור ואורוויל... היו "רק" בוני אופניים.

לילנטל ולנגלי ייצגו גישה שונה לפתרון בעיית התעופה. לילנטל התמקד בדאייה, בשיפור מבנה הכנף ובתכונותיה האווירודינמיות. סמואל לנגלי התרכז במציאת דרך לדחוף את המטוס קדימה.



איור 48: בול דואר גרמני הנושא את דמותו של אוטו לילנטל

בדומה לג'ורג קיילי, גם אוטו לילנטל השקיע מאמצים רבים בהבנה מעמיקה של העקרונות האווירודינמיים של המודלים שלו בטרם בנה אותם בפועל. בניגוד לקיילי, עם זאת, לילנטל גם יצא לשטח, והרבה. במשך חמש שנים בלבד, מ-1891 ועד מותו בטרם עת בשנת 1896, טס לילנטל כאלפיים טיסות בדאונים שבנה. הוא אף הקים גבעה מלאכותית לא הרחק מברלין, כדי שיוכל לקפוץ ממנה עם דאוניו פעם אחר פעם. הדגמים הראשונים דאו כמה עשרות מטרים, אבל הדגמים המתקדמים יותר אפשרו לגלוש למרחקים של כמה מאות מטרים ללא מנוע. לילנטל צבר למעלה משש שעות טיסה, יותר מכל אדם אחר בהיסטוריה. הייתה לו השפעה אדירה על כל חלוצי התעופה בני זמנו וכן על הציבור הרחב: תמונות של לילנטל מרחף בדאוניו בקלילות מרשימה הקסימו את קוראי העיתונים.



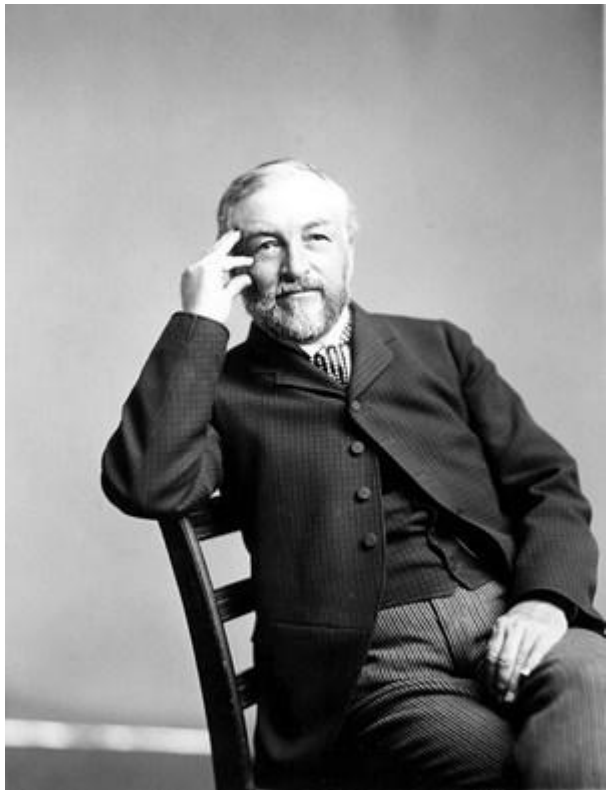
איור 49: לילנטל במהלך אחד מניסויי הדאיה

יש סיכוי סביר בהחלט שאם דברים היו מסתדרים אחרת, אוטו לילנטל היה מצליח להקדים את האחים רייט. אבל לגורל היו תכניות אחרות.

לילנטל היה מודע לחשיבות בטיחות הטיסה. הניסויים שערך היו מבוקרים וזהירים והוא אף הוסיף מעין קשת בחרטום הדאון שמטרתה הייתה לספוג את עצמת המכה במקרה של התרסקות ולהגן עליו.

הקשת הזו הצילה את חייו לפחות פעם אחת, אך לרוע המזל, בתשעה באוגוסט הוא המריא לאוויר בדאון שלא היה מצויד בקשת ההגנה הזו. משב רוח פתאומי ובלתי צפוי היכה בדאון ועיקם את אחת הכנפיים. לילנטל התרסק בעצמה אל הקרקע ושבר את עמוד השדרה. הוא נפטר למחרת בבית החולים. מילותיו האחרונות היו: 'יש להקריב קרבנות קטנים למען התעופה'.

הטוען השני לכתר היה פרופסור סמואל לנגלי. מרבית החוקרים באותה התקופה הבינו שכל עוד מקור הדחף היחיד של המטוס יהיה כוח השרירים האנושי, טיסה אמתית וארוכת טווח בלתי אפשרית. המנועים היחידים שהיו זמינים בתקופתו של קייילי היו מנועי קיטור, כבדים ומסורבלים מדי עבור כלי טיס. המצאת מנוע הבעירה הפנימית בשנת 1876 שינתה את המצב מקצה לקצה. מנועי בעירה פנימית המבוססים על בנזין קלים בהרבה ממנועי הקיטור: הם אינם זקוקים לדודים מסיביים בכדי להתמודד עם הלחצים הגבוהים של אדי הקיטור, ואינם צריכים לסחוב כמויות גדולות של מים בנוסף לחומר ההסקה.



איור 50: סמואל לנגלי

פרופסור סמואל לנגלי היה האיש הנכון בזמן הנכון וניצל את ההתפתחות הטכנולוגית הזו. לנגלי היה אחד המדענים החשובים והמשפיעים של תקופתו. על אף שלא הייתה לו השכלה רשמית מעבר ללימודי התיכון, הוא היה חריף מספיק בכדי להפוך לפיזיקאי ואסטרונום בכיר, ובשנת 1887 הפך למנהל מוזאון הסמית'סוניאן בושינגטון. כדאי לציין שמשרת מנהל הסמית'סוניאן נחשבה, באותה התקופה, למשרה בעלת חשיבות לאומית, ומנהלי המוזאון היו כמעט שרי חינוך בממשלה. לעובדה זו תהיה חשיבות בהמשך הסיפור.

בראשית שנות התשעים של המאה ה-19 הפנה לנגלי את מרצו וכשרונותיו לתחום שנחשב אז למבטיח ביותר במדע - התעופה. כמעט מיד זכה להצלחה מרשימה: בין השנים 1894 ו-1896 הוא בנה דגמים מוקטנים של מטוסים שהצליחו לטוס למרחק של יותר מקילומטר. הצלחותיו של לנגלי והמוניטין שלו הרשימו מאוד את הצבא האמריקני. משרד ההגנה העניק לו 50,000 דולר - סכום נכבד מאוד באותם הימים - בכדי לממן את המשך המחקר. לנגלי ידע, מניסיונו, שכדי לבנות מטוס שיוכל לתמוך במשקלו של אדם בודד נדרש מנוע חזק במיוחד. הוא פנה אל יצרן מנועים מקומי וביקש ממנו מנוע שיפיק

שנים עשר כוחות סוס אבל ישקול פחות מחמישים קילוגרמים. היצרן עשה כמיטב יכולתו, אבל לא הצליח לעמוד בדרישות. למזלו של לנגלי, בדיוק באותו הזמן הצטרף אל הצוות שלו מהנדס מכונות מבריק, בוגר אוניברסיטה טרי, בשם צ'רלס מנלי (Manly). מנלי הצליח לעשות את מה שנראה אז כבלתי ייאמן: הוא פיתח מנוע שהפיק מאה כוחות סוס, ושקל פחות ממאה קילוגרמים! זה היה זינוק טכנולוגי פנטסטי, והמנוע של מנלי הפך להיות המנוע הדומיננטי במטוסים במשך עשרות שנים לאחר מכן.

בשנת 1903 סיים לנגלי סדרת ניסויים מוצלחים שערך בדגמים מוקטנים. בדרך כלל, לנגלי הקפדן והזהיר היה מבצע ניסויים מתקדמים גם על מטוסים לא מאויישים בגודל מלא - אבל הפעם החליט לנטוש את הזהירות ואת ההקפדה. אולי היה זה הלחץ ממשרד ההגנה לספק את הסחורה, או אולי הידיעה שממציאים אחרים עובדים במקביל אליו ועלולים להשיג אותו - תהיה הסיבה אשר תהיה, דילג לנגלי על כמה שלבים ובנה מטוס בגודל מלא שהיה פחות או יותר העתק מוגדל של הדגמים המקוריים.

בשבעה באוקטובר 1903, הכל היה מוכן לניסוי הגדול. אמצעי השיגור שבו השתמש לנגלי היה קטפולטה רבת עצמה שהעיפה את המטוס קדימה

והעניקה לו מהירות ראשונית. את הקטפולטה והמטוס הציב לנגלי על רפסודה גדולה במרכז נהר הפוטומק, מיקום שנבחר בזכות הרוחות החלשות שנשבו בו. הטייס היה לא אחר מאשר צ'רלס מנלי, מתכנן המנוע. מנלי נכנס אל המטוס ונופף לשלום ללנגלי ולשאר הצופים. הקטפולטה נמשכה אחורה והקפיץ שהיה מחובר אליה נמתח ונמתח... עד שהגיע לסוף מהלכו. לנגלי משך בידיה. הקטפולטה התרוממה במהירות והמטוס זינק קדימה.

הקטפולטות הראשונות שבהן השתמש לנגלי היו מיועדות לדגמים מוקטנים, בסדר גודל של רבע מגודלו של מטוס אמתי. כדי לתמוך במשקלו של מטוס בגודל מלא, לנגלי היה מוכרח להגדיל גם את הקטפולטה - אבל מעולם לא בדק אותה בניסוי מבוקר. כשזינק המטוס מכן השיגור אחת הכנפיים פגעה בקטפולטה, נשברה, והמטוס התרסק לתוך הנהר, כמו ערמת אבנים, כפי שהגדיר זאת לנגלי בעצמו. צ'רלס מנלי חולץ בשלום מתוך כלי הטיס השוקע.



איור 51: האירודרום המרוסק נגרר בחזרה אל החוף לאחר הניסוי הכושל

כשלון הניסוי היה מכה כואבת ללנגלי, אבל הוא חזר אל האגם חודשיים מאוחר יותר ועם מטוס משופץ. שוב טיפס מנלי לתא הטייס, שוב נמשכה הקטפולטה לאחור, שוב נמתחו הקפיצים, שוב משך לנגלי בידית ההפעלה... והפעם, לא רק הכנף אלא המטוס כולו התפרק באוויר. מנלי נמשה מהמים בקושי, רגע לפני

שכמעט טבע למוות. סביר להניח שהסיבה להתפרקות היא ששלד המטוס לא עמד בתאוצה המהירה שהפעילה עליו הקטפולטה. הדגמים המוקטנים תפקדו בהצלחה, אבל לנגלי טעה בכך שהניח כי המבנה העקרוני יתאים גם למטוס גדול וכבד בהרבה.

משרת מנהל מוזיאון הסמית'סוניאן הייתה, כאמור, משרה בעלת חשיבות ממשלתית וציבורית לא מעטה. האופוזיציה בקונגרס ניצלה את הכישלון המהדהד של לנגלי כדי להכות בממשלה ולהאשים אותה בבזבז כספי ציבור על פרוייקטים חסרי סיכוי. סמואל לנגלי נפגע מאוד מהביקורת עליו והחליט לנטוש את מאמצי התעופה אחת ולתמיד. בדו"ח משרד ההגנה בעניין תוצאות ניסוייו של לנגלי נכתב שהשגת המטרה של טיסה מאויישת רחוקה ממימוש עוד שנים רבות.

שבוע וחצי לאחר מכן הצליחו האחים רייט לטוס.
איך?

איך הצליחו האחים רייט היכן שרבים מקודמיהם כשלו? הם לא היו משכילים יותר מסמואל לנגלי. הם לא היו מוכשרים יותר מאוטו לילנטל. הם לא היו חזקים, יפים או חכמים יותר ממאות הממציאים

שניסו אף הם לטוס, פחות או יותר באותו הזמן. איך הם עשו את זה? ההיסטוריונים שבחנו את עבודתם הגיעו כולם לאותן המסקנות כמעט. ראשית, האחים רייט למדו רבות מניסיונם של אחרים. הם קראו את כל הספרים והמאמרים שהיו יכולים למצוא והשתדלו להימנע משגיאות מטופשות ומיותרות.

שנית, הם התקדמו בצורה מושכלת ומובנית. הם בחנו מודלים רבים במנהרת רוח, בנו דאונים רבים בגדלים שונים וניסו אותם בפועל שוב ושוב. כשהגיעו לטיסה המאוישת הראשונה שלהם, הם כבר ידעו למה לצפות.



איור 52: האחים רייט (וילבור מימין)

שלישית, היה להם מדחף טוב. זו נקודה שבדרך כלל אינה נזכרת בהקשר האחים רייט, אבל הייתה לה השפעה אדירה על הצלחתם. ממצויאים רבים השתמשו במדחפים בדגמים שלהם, אבל כולם הניחו שהמדחף צריך להיות זהה, פחות יותר, למדחף אניה או לחילופין לשבשבת של טחנת רוח. וילבור ואווריל הבינו שמדחף מטוס, ממש כמו הכנף, צריך לייצר כוח עילוי - ולכן להבי המדחף צריכות להיות כנפיים קטנות שיסתובבו בניצב לקרקע. הם תכננו את צורת הלהבים כך שייצרו כמות גדולה של עילוי, ממש כפי שתכננו את כנפי המטוס שלהם.

המנוע של האחים רייט היה מנוע חלש מאוד, חלש בהרבה מהמנוע של צ'רלס מנלי - אבל המדחף שלהם היה יעיל בשבעים אחוזים יותר מהמדחף שבחר סמואל לנגלי. אם לא היו משפרים בצורה כה דרמטית את המדחף שלהם, סביר להניח שה-Flyer לא היה מצליח להתרומם מעל פני הקרקע.

הגורם הרביעי שסייע להצלחת האחים רייט, הוא מערכת השליטה שהמציאו. כזכור, ג'ורג קיילי הגדיר את שלושת הדרישות ההכרחיות לטיסה מוצלחת: עילוי, דחף ושליטה. רוב הממצויאים בתקופת האחים רייט פעלו תחת ההנחה הסמויה שבעיית השליטה על המטוס היא בעיה קשה מדי לפיתרון. הם הסתכלו

על הציפורים ועל התנועות המהירות והמדוייקות שהן מבצעות באוויר כדי לשלוט על טיסתן ואמרו לעצמם: 'אין סיכוי. אי אפשר לעשות את זה.' לכן חלק מהחוקרים התעלמו מהבעיה לחלוטין.

אוטו לילנטל ודומיו התמקדו בעילוי: ההיגוי בדאונים הסתכם בתנועות הטייס. סמואל לנגלי התמקד בדחף. גם המטוסים שלו לא היו מצויידים במערכת היגוי כלשהיא. למעשה, צ'רלס מנלי היה פחות טייס ניסוי ויותר 'מטען אנושי': לא הייתה לו שום שליטה על המטוס הממונע, וכלי הטיס עצמו היה כבד כל כך, עד שלא הייתה לו אפילו אפשרות להסיט אותו באמצעות תנועות גוף כפי שעשה לילנטל. אחד המומחים ציין כי אם היה מנלי מצליח באופן כלשהו להמריא לאוויר לאחר הזינוק מהקטפולקה - הוא היה בצרות צרורות. המנוע החזק שלו היה דוחף את המטוס קדימה במהירות גבוהה, עד שהדלק היה נגמר. אם נתיב הטיסה היה סוטה מהנהר - בעקבות רוח צד חלשה שהייתה מופיעה לפתע, למשל, - המטוס היה אמור לנחות על הקרקע. הבעיה הייתה שלמטוס כלל לא היו גלגלים! מנלי היה מסיים את טיסת הניסוי בהתרסקות עצמתית ואולי אפילו נהרג.

אפשר להשוות את השליטה על מטוס לנסיעה באופניים. שיווי המשקל באופניים עדין מאוד והרוכב

צריך לבצע אינספור תיקונים זעירים ושינויי שיווי משקל בכדי שלא ליפול. למי שמעולם לא רכב על אופניים, המשימה הזו נראית כמעט בלתי אפשרית - ממש כמו שנראתה השליטה על כלי טייס לאותם חלוצים ראשונים.

אבל האחים רייט היו, כפי שוודאי כבר שמעתם, בוני אופניים. הם היו רגילים לעשות את הבלתי אפשרי עשרים פעם ביום, פחות או יותר. הם הניחו שכל מה שצריך כדי לשלוט במטוס הוא אימון - ולידיעתן של כל הבנות שמעדיפות פרחי טיס על פני צוערי קורס חובלים - הם גם צדקו. אוורויל ווילבור ציידו את מטוסם במאזנות פשוטות שאפשרו להם לתמרן בקלות בכל שלושת צירי התנועה, גם בתנאי רוח חזקה וכיו"ב.

בהקשר האחים רייט וסמואל לנגלי, מעניין לציין שהמאבק ביניהם על כתר 'הטייס הראשון' לא נסתיים בטיסתם המוצלחת האחים רייט, ואפילו לא במותו של לנגלי שלוש שנים מאוחר יותר.

במוזיאון הסמית'סוניאן שמרו על נאמנות למנהלם לשעבר וניסו לשכתב את ההיסטוריה לטובת הבוס. על שלטי ההסבר במוזאון נכתב שמטוסו של לנגלי, כשזכור התפרק מיד עם המראתו, היה כלי הטיס

הראשון שהיה 'מסוגל לטוס'. זה לא אותו הדבר כמו 'כלי הטיס הראשון שבאמת טס', אבל אלו כבר אותיות קטנות...

באופן כללי, האחים רייט היו רכושניים מאוד כלפי הצלחתם. הם רשמו פטנט על המטוס שלהם, ובמשך שנים ארוכות תבעו בבתי משפט כל מי שניסה לבנות מטוס על פי עקרונותיהם. זו הייתה צרה צרורה עבור שאר בוני המטוסים, כיוון שברור לחלוטין שדרכם הייתה כנראה הדרך המעשית והיחידה לבנות מטוס. אחד הנתבעים אמר שלדעתו גם אם מישהו יקפוץ באוויר וינפנף בידיו, האחים רייט יתבעו אותו על הפרת פטנט. בתי המשפט באירופה לא התרשמו במיוחד מתביעות האחים רייט, אבל בארצות הברית עקשנותם הביאה לכך שבמשך שנים רבות התעשייה האווירית האמריקנית הייתה מנוונת לחלוטין והמטוסים היו נחותים מהמטוסים האירופאים.

כצפוי, האחים רייט לא היו מוכנים לשתוק כלפי ניסיון כה בוטה מצד הסמית'סוניאן לקחת מהם את זכות הראשונים. הם הגישו תביעה, ואפילו 'היגלו' את המטוס המקורי שלהם מארצות הברית והציבו אותו במוזאון המדע בלונדון, כדי 'להעניש' את הסמית'סוניאן.

ב-1914 לקח התעשיין וחלוץ התעופה גלן קרטיס את המטוס המקורי של סמואל לנגלי והטיס אותו בהצלחה למרחק של כמה מאות מטרים. הוא עשה זאת ממניעים אישיים לחלוטין: האחים רייט תבעו גם אותו, והוא רצה להוכיח לבית המשפט שהפטנט שלהם אינו תקף כיוון שלנגלי עשה זאת קודם. הסמית'סוניאן ניצל את הצלחת קרטיס בכדי להמשיך ולטעון שסמואל לנגלי הצליח לבנות מטוס שהיה מסוגל לטוס - כאילו שלנגלי היה יכול היה לטוס לפני האחים רייט אבל "פשוט לא התחשק לו". הסמית'סוניאן 'שכח' לציין, עם זאת, שקרטיס נאלץ לבצע כמה וכמה שינויים משמעותיים במטוס המקורי בכדי לגרום לו להתרומם מעל הקרקע.

בסופו של דבר, האמת ההיסטורית גברה על משחקי האגו. בשנת 1948 התנצל מוזיאון הסמית'סוניאן בפני יורשיהם של האחים רייט והודה באופן רשמי שהם אלו שחנכו את עידן התעופה. מטוסם של האחים רייט הוחזר מבריטניה לארצות הברית והיום הוא אחד המוצגים החשובים והפופולריים ביותר של הסמית'סוניאן. ראוי לציין בהקשר הזה שיש ממצאים נוספים שנטען עליהם כי הקדימו את האחים רייט.

לפני סיום, כמה מילים על האורניתופטר - אותו כלי טיס בעל כנפיים מתנפפות כמו ציפור שממציאים

רבים ניסו לממש במאה ה-19. האורניתופטר הפסיד בגדול למטוסי הכנף הקבועה והרעיון כולו נזנח ונשכח לגמרי. פה ושם עוד היו כמה משוגעים לדבר שניסו לבנות מטוס שכזה, וחלקם אף הצליח בכך - אבל כל עולם התעופה סביבם כלל לא היה מוכן לשמוע על הרעיון שנראה אבסורדי לחלוטין.

אבל חכו רגע, אל תשליכו עדיין את האורניתופטרים לפח הזבל של ההיסטוריה. לאורניתופטרים יש, על הנייר, כמה יתרונות משמעותיים מאוד על פני מטוסים בעלי כנף קבועה. באופן תאורטי, הם יעילים יותר בניצול האנרגיה שלהם ממטוסים רגילים וזהו שיקול חשוב מאוד בימינו כשמחירי הנפט הולכים ומאמירים. זאת ועוד, המטוסים הללו יוכלו לתמרן טוב יותר ממטוסי סילון - ממש כשם שציפורים מסוגלות לתמרן טוב יותר ממטוסים. ועוד לא דיברנו על השקט שנרוויח אם ניפתר מהמנוע הרועש.

יש מי שכבר הפנימו את יתרונות האורניתופטרים ופועלים בכיוון זה. באוניברסיטאות רבות ברחבי העולם עומלים המדענים והמהנדסים על פיתוח כלי טיס זעירים, 'מיקרו-אורניתופטרים', שגודלם אינו יותר מזה של חרק או ציפור קטנה. רבים מהמחקרים הללו ממומנים על ידי הצבאות השונים, ולא במקרה: לחרק מעופף שכזה עשויות להיות יכולות ריגול

פנטסטיות. הוא יוכל להסתכן לתוך בית, לתמרן בזריזות לפינה חשוכה ולצלם את הנעשה בחדר. במידת הצורך, הוא יוכל אולי גם להתחזות לחרק תמים...

הרעיון הזה אולי נשמע כמו משהו שלקוח מהמדע הבדיוני, אבל יש כאן נקודה שאני מוצא כמשעשעת במיוחד. מימוש של אורניתופטר בגודל מלא - על כל היתרונות הגדולים שגלומים בו - דורש התקדמויות ניכרות באווירודינמיקה, במדע החומרים, בבקרה ובנושאים ותחומים רבים. כמה אירוני זה יהיה אם יום אחד יסתבר לנו שהעתיד של התעופה טמון למעשה ברעיון הכי עתיק שלה. מי יודע, אולי ההיסטוריונים של העתיד יאמרו 'האחים רייט, הם היו בסדר גמור. אבל הנזיר אילמר... הוא באמת ידע על מה הוא מדבר.'

14. על המצאת המכ"ם

והקרב על בריטניה

בשנת 2008 התנגשו שתי ספינות - ספינת סוחר וספינת נוסעים - בכניסה לנמל חיפה. כיוון שאני יוצא חיל-הים, שאלו אותי מספר אנשים כיצד ייתכן ששתי ספינות כה גדולות לא ראו זו את זו ואחת נגחה באחרת. אני משיב להם שקל הרבה יותר להתנגש בספינה אחרת משנדמה - במיוחד בלילה ובקרבת החוף, היכן שאורות העיר מסנוורים ומבלבלים. כן, שואלים אותי - אבל יש להם מכ"ם, לא?

למי שלא שמע על המכ"ם, מדובר במתקן המאפשר לגלות עצמים (גדולים, בדרך כלל) ממרחק רב. ראשי התיבות של המילה מכ"ם הם "מגלה כיוון ומרחק", ובאנגלית 'רדר' (Radar). סימן ההיכר של המכ"ם הוא אנטנה המסתובבת על תורן נישא. המכ"ם נחשב בימינו לחלק בלתי נפרד מעולם הספנות ונמצא אותו על כל ספינה כמעט. השימוש במכ"ם הפך אירועי התנגשות בין ספינות לנדירים ביותר. מדוע, אם כן,

לא מנע המכ"ם את ההתנגשות בפתח נמל חיפה?
כדי לענות על השאלה הזו, יש להבין טוב יותר את
טכנולוגיית המכ"ם.

המכ"ם נועד כבר מראשית דרכו להפלגה בים.
הסיבה נעוצה בעקרון הפעולה שלו: מכ"ם עובד על
עקרון התפשטות והחזרת גלים אלקטרומגנטיים.
הים, שטוח ורחב ידיים, מאפשר לגלים אלה
להתפשט ללא הפרעה ולכן כל החזרת גל תיווצר,
קרוב לוודאי, מספינה אחרת או מעצם רחב ידיים
אחר. על היבשה, הגלים האלקטרומגנטיים עלולים
לחזור מהרים, גבעות, בניינים ודומיהם, אי לכך
יעילותו תהיה אפסית. בים יש צורך נואש למתקן כמו
מכ"ם כיוון שאין בו שבילים וכבישים מסומנים. כל
ספינה יכולה להפליג לכל כיוון שתרצה, ועל כן
ההתנגשות בספינה אחרת עלולה לקרות מכל כיוון.



איור 53: מערכת מכ"ם אווירית בשימוש צה"ל

בשנת 1904 כריסטיאן יולסמיייר (Huelsmeyer) הגרמני היה מהראשונים לפתח אב טיפוס של מכ"ם. גלי רדיו מסוגלים לעבור דרך האוויר ללא הפרעה, אבל המדענים ידעו (בעקבות ניסוייו של היינריך הרץ)

שיש חומרים המסוגלים לבלום את התפשטות גל ולהחזיר אותו למקורו. יולסמייר ראה אם מתאבלת על מות בנה שנהרג בהתנגשות בין ספינות. האירוע הזה השפיע עליו והוא החליט, לאור ידיעותיו את גלי הרדיו, לנסות ולנצל את החזרות גלי הרדיו כדי לפתור את בעיית בטיחות השיט.

המתקן של יולסמייר יצר ניצוץ חשמלי, וניצוץ זה פיזר גלי רדיו. אם פגעו גלי הרדיו בספינה רחוקה הם הוחזרו אל הקולט שבמתקן, וזה היה מצלצל בפעמון כדי להתריע למפעיל. אי אפשר היה לדעת מהו העצם או מה מרחקו. על אף זאת הייתה למתקן יעילות מסוימת בתנאי ערפל כבד, למשל. לצערו של יולסמייר, איש לא הביע התעניינות אמיתית בהמצאתו והיא נותרה בגדר 'קוריוז' ותו לא. הסיבה הראשית לכך היא הטווח הקצר שבו גילה מכ"ם ראשוני זה את המטרות שסביבו. הניצוץ שהיה המקור לגלי הרדיו היה חלש יחסית, ושידר לכל הכיוונים ובכל התדרים: הוא היה מבזבז אנרגיה רבה ויעילותו הנמוכה הביאה לכך שהיה מסוגל לגלות רק מטרות קרובות מאוד או גדולות במיוחד. אף על פי כן, הקפדתו של יולסמייר והשקעתו ניכרים באיכות עבודתו: אחרי שנח למעלה מתשעים שנים במוזאון, הפעילו אנשי הצוות את המכ"ם שלו - והוא עבד באופן מושלם.

החל משנות העשרים של המאה העשרים עבדו כמה וכמה צוותים על פיתוח המכ"ם, כל אחד במדינה אחרת - ארצות הברית, בריטניה, צרפת, גרמניה ויפן. הם עבדו בנפרד זה מזה והמדינות ראו בפרויקט זה חשיבות שונה: בגרמניה וביפן התנהלה העבודה בעצלותיים, בעוד שבבריטניה התקדמו העניינים בשיא המרץ. בבריטניה גם חלו התפתחויות חשובות בטכנולוגיית המכ"ם, ועל כן נתרכז בבריטניה ונזכיר את השאר בקצרה בלבד.

דמות המפתח בפיתוח המכ"ם בבריטניה היה רוברט ווטסון-וואט (Wattson-Watt). שם המשפחה מרמז על אילן היוחסין שלו: רוברט היה צאצא של ג'ימס וואט, ממציא מנוע הקיטור. רוברט גילה עניין רב בגלי רדיו ('הטלגרף האלחוטי', כפי שכונה אז): הוא הצטרף לצבא ב-1915 אבל כיוון שלצבא לא היה מה להציע לו בתחום הזה, הוא החליט לעבור לענף המטאורולוגיה. הרעיון של רוברט היה לנצל את הבזק הברקים לצורך גילוי סופות. הברק הוא ניצוץ חשמלי, כמו זה שבסיס המצאתו של יולסמייר- אבל חזק הרבה יותר, ועל כן ניתן לגלותו ממרחק רב. באמצעות הברקים, ניתן לאתר סופות מתקרבות ולהזהיר את הטייסים.



איור 54: רוברט ווטסון-וואט

המערכת הראשונית הזו הייתה פסיבית - היא רק קלטה את גלי רדיו שפלטו הברקים. כדי לדעת מאיזה כיוון מגיעה הסופה, נעזר רוברט באנטנה כיוונית, כזו שקולטת טוב יותר גלי רדיו שמגיעים מכיוון מסוים בלבד. האנטנה הייתה מכוונת באופן ידני והמפעיל היה סורק את השמיים כדי לאתר את הברקים. ההתראה על גילוי ברק במרחק הייתה מתקבלת על 'אוסילוסקופ': צג טלוויזיה פרימיטיבי. אות שנקלט באנטנה היה מופיע כקו בהיר שצויר על המסך באמצעות חומר זרחני.

לאורך השנים קודם רוברט ווטסון-וואט והפך לאחראי על מחלקת הרדיו של המעבדה הלאומית לפיסיקה (גוף מחקרי חשוב מאוד בבריטניה). בתחילת שנות השלושים של המאה העשרים החלו הבריטים לשים דגש מיוחד על נושא ההגנה האווירית וחששו מהתקפות אוויריות על ריכוזי אוכלוסיה. גורמי ההגנה בצבא הבריטי ידעו שאם ימריאו מטוסי הפצצה מהיבשת באירופה, הם יגיעו לאיים הבריטים בעשרים דקות בלבד, ומכאן חשיבות הגילוי המוקדם. בנוסף, התגלגלה שמועה שהנאצים מפתחים 'קרני מוות' המבוססות על גלי רדיו. על פי השמועות, קרני המוות הללו היו יכולות להשמיד מבנים, מטוסים ואנשים ממרחק רב. מקור השמועה

אינו ברור, אבל הבריטים היו מודאגים. הצבא פנה אל רוברט בעניין זה, והוא נעזר בחישובים שביצע עוזרו כדי להוכיח לאנשין הצבא שרעיון 'קרני המוות' בלתי סביר לחלוטין. כבדרך אגב, ניצל ווטסון-וואט את ההזדמנות לשכנע את הצבא שרעיון המכ"ם חשוב ואפשרי בהחלט.

בשנת 1935 הודיע רוברט למשרד ההגנה שהוא מסוגל להדגים להם גילוי מטוס באמצעות גלי רדיו. ההדגמה אורגנה באופן חשאי, רק שלושה אנשים - רוברט עצמו, העוזר שלו והנציג הצבאי - נכחו בה. אבל איך מארגנים הדגמה זריזה וחשאית, כשבניית מכ"ם היא עסק מסובך, יקר ודורש מעורבות של אנשים רבים? רוברט בחר את מקום ההדגמה כך שיהיה קרוב לאנטנה של הבי_בי_סי, שמשדרת שידורי רדיו בגלים קצרים (משמע בתדר נמוך שמגיע לטווחים ארוכים, בדומה לשידורי קול ישראל לגולה). מטוס צבאי נתבקש לטוס מעליהם ורוברט הצליח להראות כיצד הוא מגלה אותו בעזרת החזרי גלי הרדיו מגוף המטוס. זה לא היה קל: גלי רדיו שהגיעו היישר מהאנטנה אל המקלט של רוברט, הפריעו והסתירו את גלי הרדיו שהוחזרו מגוף המטוס. באמצעות סינון מתאים של האות המתקבל במקלט, הצליח רוברט להתגבר על הבעיה.

הפתרון האלטרנטיבי לאיתור מטוסים, באותו הזמן, היה גילוי באמצעות הרעש הנפלט ממנועיהם- אבל אפילו הגרסות המוקדמות של המכ"ם ידעו לגלות מטוסים מטווחים של למעלה עשרים ושבעה קילומטרים - הרבה מעבר למה שניתן לצפות מגילוי באמצעות גלי קול. הצבא השתכנע שמדובר בפיתרון טוב ויעיל לגילוי מטוסים ומכאן ההתקדמות הייתה מהירה. עוד באותה השנה כבר החלו נכתבות התכניות להקמת חמש תחנות מכ"ם באזור לונדון.

עם תחילת העבודה על המכ"ם זיהה רוברט בעיה חמורה במימוש המערכת לגילוי המטוסים, והיא לא הייתה בעיה טכנית בעיקרה. המטרה הסופית של מערכת המכ"ם היא לא גילוי עצמים - כי אם הזנקת מטוסי קרב ליירוט מטוסי האויב המתקרבים: בלעדיהם, המכ"ם חסר תועלת. הבעיה של רוברט הייתה שזמן רב חלף מרגע גילוי המטוס התוקף ועד שההודעה על מיקומו הועברה למטוס המיירט. הדיווח היה מסורבל, לא מדויק, ועד שהטייסים והאנשים בקרקע הבינו זה את זה - המטרה כבר הופצה. רוברט השקיע מאמץ גדול בפיתרון הבעיה והצליח ליצור מרכז שליטה אווירית יעיל, בעל מפה גדולה ואפשרות לסמן מטרות ולהעבירן בקשר רדיו אל המטוסים. יש מי שטוענים שהמערכת הזו היא

שתרמה, בסופו של דבר, לניצחון המפורסם של הטייסים הבריטים על חיל האוויר הנאצי ב'קרב על בריטניה'. חיל האוויר הבריטי הצליח לרכז את מאמציו ולתקוף את הגרמנים כגוף אחד, בעוד שהגרמנים לא הצליחו לאתר את הבריטים מוקדם מספיק כדי לתקוף אותם במטוסי קרב רבים. לאחר שהסתיימה המלחמה ובזכות מאמציו אלו זכה רוברט לתואר אבירות ולפרס כספי. על אף שהיו מי שעבדו על המכ"ם לפניו, כפי שראינו, רוברט זכה לכינוי 'אבי המכ"ם', ובצדק.

הבריטים בנו שרשרת תחנות מכ"ם לאורך המדינה, מצפון לדרום. רשת זו כונתה Chain Home וכללה בשיאה תשע עשרה תחנות. הגרמנים הבחינו, כמובן, בבניית התחנות: אי אפשר היה להסתיר אותן כיוון שכל תחנה כללה ארבע אנטנות גבוהות, שבעים עד מאה מטרים כל אחת. הגרמנים שלחו טיסות ריגול, אבל בסופו של דבר החליטו שמדובר בתחנות שידור רדיו לצורך תקשורת, ולא השקיעו מאמץ רב בריגול אחריהם. מאוחר יותר, בזמן המלחמה, הפציצו הגרמנים החשדנים חלק מהתחנות. הבריטים התחכמו להם והמשיכו לשדר גלי רדיו דומים לאלה של המכ"ם ממקומות סמוכים, כדי לשכנע את הגרמנים להאמין שהאנטנות שהפציצו

אינן המקור לגלי הרדיו של המכ"ם. לבסוף התיאשו
הגרמנים והפסיקו להפציץ את התחנות.



איור 55: אנטנות Chain Home שנותרו באזור
סווינגייט (Swingate) בימינו

מערכות המכ"ם בשימוש ברשת Chain Home היו מתוחכמות יותר מאלו שהדגים רוברט לצבא בשנת 1935, ועיקרון פעולתן היה דומה למדי לזה של המכ"ם המודרני. בהדגמה של רוברט, נזכור, הוא השתמש במשדר חיצוני למערכת שלו, האנטנה של הבי-בי-סי. זהו למעשה מכ"ם פסיבי, כיוון שהמתקן שלו אינו משדר בעצמו. המכ"ם החדש לא היה תלוי במשדר חיצוני, ושידר את גלי הרדיו שלו בכוחות עצמו. מדוע עובדה זו מהווה יתרון על פני השיטה הקודמת?

הבה ניזכר במה שלימדו אותנו על רעמים וברקים כשהיינו ילדים. אם ראית ברק באופק ורצית לדעת כמה הוא רחוק ממך, היית סופר בלב את השניות. גלי קול מתקדמים במהירות של כשלוש מאות ושלוששים מטרים בשניה. אם הרעם הגיע לאוזניך כעבור שלוש שניות, אזי המרחק אל הברק הוא שלוש כפול שלוש מאות ושלוששים - כמעט אלף מטרים. טכנולוגיית המכ"ם מושתתת על עיקרון דומה. את גלי הקול מחליפים הגלים האלקטרומגנטיים. האנטנה המשדרת שולחת גל רדיו אל עבר המטרה - גל שנע במהירות האור, כשלוש מאות אלף קילומטרים בשנייה. מיד לאחר השידור המכ"ם משתתק, ומתחיל לספור את הזמן שחולף עד לרגע

שבו מתקבל החזר מהמטרה. את משך הזמן המתקבל יש לחלק בשניים (כי הגל עבר את המרחק אל המטרה פעמיים, הלך וחזר) ואז מכפילים את התוצאה במהירות האור. בשיטה זו אפשר לדעת את המרחק אל המטרה בדיוק רב. במכ"ם הפסיבי, לעומת זאת, האנטנה של הבי-בי-סי אינה משתתקת בשום שלב, וכתוצאה מכך למכ"ם אין כל דרך למדוד את המרחק למטרה, וזהו חסרונו העיקרי.

אבל גם השיטה החדשה - שידור, שתיקה והאזנה - אינה חפה מחסרונות. אם אנו מעוניינים לגלות מטרות בטווחים רחוקים, המכ"ם צריך להשקיע זמן רב יותר בשידור: במילים אחרות, צריך להשקיע יותר אנרגיה בשלב השידור, כדי להצליח לקלוט החזרים ממטרות רחוקות וחלשות. הבעיה היא שבזמן השידור המכ"ם 'חירש', ואינו מסוגל לקלוט גלים חוזרים. אם במקרה פגעו גלי הרדיו במטרה קרובה והספיקו לחזור אל המכ"ם בזמן שהוא עדיין משדר, המכ"ם החירש יתעלם ממנה והיא לא תופיע כלל על המסך. עכשיו ניתן להבין מדוע המכ"ם לא סייע למנוע את ההתנגשות בכניסה לנמל חיפה. על אף שכלולים טכנולוגיים משמעותיים עליהן נרחיב מייד, עקרון הפעולה של המכ"ם המודרני לא השתנה מאז ימי מלחמת העולם השנייה, והמקלט עדיין 'עיוור'

בזמן שהמשדר פולט גלי רדיו. כתוצאה מכך, מכ"מים אינם מסוגלים להבחין במטרות קרובות מאד- כמו ספינות בקרבת הנמל.

שני שכלולים משמעותיים נוספו למכ"ם במלחמת העולם השנייה. האחד, תצוגה דו-ממדית עבור המפעיל: תחנת השידור מופיעה במרכז המסך, וקו מסתובב סורק את היקף העיגול. זו התצוגה שאנו מכירים כיום כתצוגת מכ"ם קלסית, והיא הקלה עד מאוד את תפעול המערכת. הפיתוח השני הוא ה'מגנטרון' (Magnatron). המגנטרון הוא החלק שיוצר את גלי הרדיו המשודרים מהמכ"ם, ועיקר השיפור בו היה בתחום היעילות. יעילות גבוהה יותר פירושה פחות אנרגיה שמתבזבזת על חום, ויותר אנרגיה שהופכת לגלי רדיו מועילים שחיוניים לצורך גילוי המטרות על המכ"ם. אנרגיה שהופכת לחום בזבזנית ביותר במובן אחד: במקום לגלות את האויבים שלך אתה מטגן חביתות על המכ"ם. המגנטרון היעיל אפשר להקטין את מערכות המכ"ם, ולשמור על עצמת קרינה נמוכה של גלי הרדיו.

למגנטרון היה גם יתרון נוסף: הוא יצר גלי רדיו בתדרים גבוהים יותר מקודמיו. גלי רדיו בתדרים נמוכים דורשים אנטנות גדולות, בעוד שגלים בתדרים גבוהים 'מסתפקים' באנטנות קטנות. טלפונים ניידים,

למשל, משדרים בתדרים גבוהים במיוחד ולכן האנטנות שלהם קטנות דיין כדי להתחבא בתוך גוף המכשיר. מכשירי קשר צבאיים, לעומתם, דורשים אנטנות ארוכות מכיוון שתדרי הפעולה שלהם נמוכים באופן משמעותי. הקטנת האנטנה במכ"ם אפשרה להציב את המערכת במקומות שבעבר היו קטנים מדי: מטוסים, ספינות קטנות וכדומה. בשנים הבאות מצא המגנטרון את דרכו גם ליישומים אזרחיים כמו תנורי מיקרוגל, למשל.

ומה עשו שאר המדינות בזמן שבריטניה שכללה את המכ"ם שלה? גרמניה דווקא החלה את המרוץ כשהיא מובילה בטכנולוגיית המכ"ם: המדענים הגרמנים ידעו לבנות מכ"ם בתדרים גבוהים יותר מלכתחילה. אבל הגרמנים לא הקדישו מחשבה רבה לאספקט המערכתי של המכ"ם: לא הייתה להם מערכת ניהול קרב מתוחכמת כמו זו של הבריטים. היה להם קשה להשתלט על מטרות רבות באותו הזמן והבריטים ידעו לנצל זאת. המטוסים שלהם תקפו את הבסיסים הגרמניים במספרים גדולים, והמכ"ם הגרמני היה חסר תועלת. טעות נוספת של הגרמנים בהתנהלותם עם פיתוח המכ"ם, הייתה בתחום העסקי דווקא. רוב פיתוחי המכ"ם של הגרמנים נעשו במסגרת חברת אלקטרוניקה בשם

'טלפונקן'. 'טלפונקן' הייתה הבעלים של חברת AEG (המוכרת לנו גם כיום) וזו הייתה שותפתה העסקית של חברת ג'נרל אלקטריק האמריקנית. התוצאה הייתה שכמעט כל הפטנטים הגרמניים על טכנולוגיית המכ"ם נרשמו גם בארצות הברית. כך זכו הבריטים והאמריקנים לגישה חופשית לכל הסודות הגרמניים.

האמריקנים היו המתקדמים, באופן יחסי, בפיתוח המכ"ם (הם אלו שהעניקו לו את שמו הלועזי: רדר, ראשי תיבות של Radio Detection and Ranging) אבל 'נתקעו' בפיתוח מכ"מים מבוססי תדרים גבוהים. העזרה שקיבלו מהבריטים בצורת הפטנט על המגנטרון החדיש, סייעה להם רבות. למרות זאת, המכ"מים בתדרים נמוכים שימשו אותם במשך רוב המלחמה וזמן מה לאחריה. האמריקנים גם נעזרו במכ"ם למחקרים מדעיים, כגון מיפוי הירח באמצעות ההחזרים מההרים והגבעות שעל פניו.

היפנים הזניחו לחלוטין את המחקר בתחום המכ"ם וזאת למרות שכמה מהמדענים הבולטים בתחום גלי הרדיו היו יפנים. אחד מהם, חוקר בשם הידטסוגו יאגי (Yagi) היה חתום על כמה מהמאמרים החשובים ביותר בנושא בניית אנטנות מתאימות לשידורי רדיו בתדרים גבוהים. במערב התייחסו למאמרים אלה בכובד ראש, אבל כשתפסו היפנים

שלל בריטי ובו מסמכים שעסקו בין היתר ב'אנטנות
יאגי', לקח להם זמן להבין שהמסמכים מדברים על
יאגי 'שלהם'. 'אנטנות יאגי', דרך אגב, אפשר לראות
על גגות רבים עד היום בתפקידן כאנטנות לקליטת
שידורי טלוויזיה.



איור 56: שתי אנטנות יאגי לקליטת שידורי טלוויזיה,
על אותו התורן

המכ"מ, אם כן, הוא דוגמא נאה לטכנולוגיה צבאית אשר הפכה לחלק בלתי נפרד מהחיים האזרחיים היומיומיים. מאמציו של רוברט ווטסון-וואט ועמיתיו סייעו להביס את גרמניה הנאצית, והותירו לנו טכנולוגיה שימושית מאין כמותה- מתנורי מיקרוגל ועד מערכות בקרה לתעופה אזרחית.

15. אדיסון וטסלה - מלחמת

הזרמים

'מלחמת הזרמים' הייתה מלחמה שתוצאותיה השפיעו על כל אחד מאיתנו. על אף שאפילו כדור אחד לא נורה במלחמה זו, היו כאלה שמתו. בעיקר כלבים וחתולים. אבל גם פילה אחת. המשתתפים בקרבות היו שלושה מהמוחות המבריקים ביותר בתולדות האנושות: תומס אלווה אדיסון (Edison), הממציא המפורסם, ג'ורג' ווסטינהאוז (Westinghouse) - תעשיין רב השפעה וממציא מבריק בזכות עצמו וניקולה טסלה (Tesla), גדול מהנדסי החשמל החשמל בכל הזמנים. המחלוקת העיקרית במלחמת הזרמים עסקה בשאלה כיצד יולך החשמל בארצות הברית מתחנת הכוח המייצרת אותו, אל בית הלקוח. האם יהיה זה זרם ישר (DC), או באמצעות זרם חילופין (AC)? למי שמתוודע לעניין בפעם הראשונה, זה נראה כמו דיון טכני לחלוטין. אבל אל תתנו לרושם הראשוני להטעות אתכם: הוויכוח על שיטת הולכת החשמל רחוק מאוד

מלהיות אך ורק טכני. כמו תמיד, כסף מעורב בסיפור - כסף רב מאוד.

התקופה היא סוף המאה התשע עשרה, שיא המהפכה התעשייתית, על סף תחילת עידן החשמל: ארצות הברית והעולם כולו היו מוכנים למהפכה שתספק חשמל לכל בית. בכל מקום כבר היו נורות חשמל, וזה גם היה השימוש העיקרי לחשמל בכלל (טלויזיות, מזגנים וכדומה עדיין לא הומצאו). אם למישהו נדמה כי שוק אספקת החשמל למנורות ביתיות הוא שוק משני וחסר חשיבות, הוא מוזמן לבקר בכפר קטן במקסיקו שאליו החשמל טרם הגיע, עדיין, ובשעה שש בערב - כשיורד הלילה - הולכים לישון. אין מה לעשות: מספר הפעילויות שאפשר לעשות לאור עששית נפט מוגבל מאוד. רק כך אפשר להבין עד כמה חשובה נורת החשמל.

אם כן, חשמל צריך היה להגיע לכל בית. אבל איך בדיוק יגיע החשמל? מי שישלוט על צורת העברת החשמל, ירוויח כסף רב. היה ברור לכל העוסקים בדבר שתחנות כוח ליצור חשמל יוקמו בכל מקום הן למגזר הציבורי, הן במסגרת מכרזים ממשלתיים וצבאיים עתירי-תקציבים. גם התשתיות הנלוות לייצור החשמל והולכתו הן עסק לא קטן: כבלים, מנועים, שנאים, אחזקה ותיקונים...יש לציין נקודה

חשובה נוספת: שליטה על מוצרים. מי שייצר את החשמל, יקבע את התקן שלפיו יהיו חייבות כל יצרניות מוצרי החשמל השונים להתאים את מוצריהן. ברור, אם כן, שלכל הצדדים הייתה מוטיבציה עצומה לנסות ולכפות את שיטת הולכת החשמל שלהם על השוק האמריקני.

סיפורינו מתחיל עם תומס אדיסון. מי לא שמע על אדיסון - מגדולי הממציאים. הוא כונה "הקוסם ממנלו פארק", על שם המקום שבו קבע את ביתו ואת מעבדת הפיתוח שלו. אדיסון החל את הקריירה שלו כמפעיל טלגרף: הוא זכה במשרה זו לאחר שהציל את בנו של מנהל תחנת הטלגרף מדריסה על ידי רכבת. הוא היה חירש באופן חלקי, עובדה שאולי סייעה לו להתעלם מרעשי רקע מרגיזים ולהיות מפעיל טלגרף טוב יותר. אדיסון בחר לעבוד בעיקר משמרות לילה, כדי שיוכל לעשות ניסויים כגון פיתוח מקלטים ומשדרים אוטומטיים לטלגרף. ניסויים אלה היו בעוכריו, בסופו של דבר. אדיסון פוטר מתפקידו לאחר שבאחד הניסויים שפך חומצת מצברים על השולחן של הבוס.



איור 57: תומס אדיסון והפונוגרף שהמציא, בתמונה
משנת 1878

ההמצאה הראשונה שבזכותה התפרסם בציבור הייתה ה'פונוגרף' (המכשיר הראשון להקלטת קולות והשמעתם) אך ההמצאה המוכרת ביותר של אדיסון הייתה, כמובן, נורת החשמל. נדייק ונאמר שנורת החשמל הומצאה כבר קודם לכן, אבל אדיסון פיתח נורה שהתאימה גם לייצור סדרתי. לאדיסון היו המצאות חשובות נוספות ובהן שיטת סינכרון בין קול ותמונה (הטכנולוגיה שבבסיס הקולנוע), מיקרופון ראשוני ועוד. לאורך הקריירה שלו רשם אדיסון למעלה מאלף ושלוש מאות פטנטים על שמו. ההצלחה של אדיסון מרשימה עוד יותר כשמגלים שחינוכו הרשמי הסתכם בשלושה חודשי לימוד בלבד, בכיתה א'. אדיסון פיצה על הנחיתות ההשכלתית בעבודה קשה. הוא אמר: 'גאונות היא אחוז אחד של השראה (inspiration), ותשעים ותשע אחוזים של זיעה (perspiration)'. באנגלית זה מתחזק מצוין.

חוץ מלהיות ממציא ענק, הוא גם היה איש עסקים מעולה. הייתה לו מעבדה שבה העסיק מהנדסים רבים: אדיסון רשם פטנטים רבים על הפיתוחים שיצאו מהמעבדה הזו. עם פיתוח נורת החשמל הבין אדיסון מיד שיש צורך לפתח גם את רשת החשמל וההפצה. הרי ככלות הכל, הנורה אינה שווה הרבה

ללא החוט שיוביל את החשמל מתחנת הכוח. אדיסון מיהר להקים מספר חברות לאספקת חשמל שמאוחר יותר התמזגו לחברה אחת גדולה בשם "ג'נרל אלקטריק". השיטה שעליה הימר אדיסון כשיטה העדיפה להפצת החשמל הייתה שיטת 'הזרם ישר'. הדומיננטיות של אדיסון בשוק האמריקני הפכה את השיטה הזו לתקן דה-פקטו בארצות הברית לקראת בסוף המאה ה-19.

הבה נסביר מהו 'הזרם הישר'. זרם חשמלי הוא תנועה של אלקטרונים. האלקטרונים בתוך פיסת מתכת, לדוגמה, נעים בחופשיות ממקום למקום. אבל בהעדר התערבות חיצונית, האלקטרונים במתכת נעים לכל הכיוונים באופן אקראי לחלוטין, כך שכל זרם אלקטרונים שנוצר במקרה בכיוון מסוים מתבטל עד מהרה על ידי זרם אקראי אחר בכיוון ההפוך. אם נפעיל מתח חשמלי על המתכת - למשל, נחבר סוללה אל החוט - האלקטרונים יחלו לנוע בצורה מסודרת לכיוון אחד, כמו מכוניות בכביש חד-סטרי. כיוון תנועתם תלוי בכיוונו של המתח החשמלי המופעל על המתכת: האלקטרונים (שהם בעלי מטען חשמלי שלילי) נמשכים למתח חיובי ולכן ינועו כגוף אחד לכיוון ה'פלוס' של הסוללה. כיוון שההדק החיובי

של הסוללה נשאר חיובי תמיד, האלקטרונים ינועו תמיד לאותו הכיוון. זהו 'הזרם הישר'.

לאחר שהבנו מהו זרם ישר, הגיע הזמן לעבור לאדם שהמציא את 'הזרם החילופין' - ניקולה טסלה.

טסלה היה מהגר אמריקני ממוצא סרבי. כבר באירופה סומן כגאון, שם זכה לכינוי 'הקוסם מן המערב' (מזכיר את אדיסון במקצת, לא?). בארצות הברית נחשב טסלה כגדול מהנדסי החשמל בכל הזמנים. כילד צעיר ניחן ניקולה בזיכרון צילומי. הוא היה חווה הבזקי השראה אפילפטיים-למחצה: מילה, או עצם כלשהו, יזמו במוחו התקפים פתאומיים של הארה וטסלה היה רואה המצאות שלמות לנגד עיניו. בהמשך חווה טסלה התמוטטות עצבים, אולי בעקבות ההתקפים הללו. באירופה היה טסלה אחד מחלוצי הטלפוניה. הוא היה אחראי להקמת רשת הטלפונים של הונגריה, ושם גם המציא את הרמקול הראשון.



איור 58: ניקולה טסלה במעבדתו, לצד שנאי מתח-
גבוה שתכנן

טסלה התעניין במיוחד בתחום האלחוט. הוא ערך ניסויים רבים שבמסגרתם ביקש לבדוק את האפשרות להעביר אנרגיה חשמלית דרך האוויר. ברבות מהתמונות המפורסמות שלו אפשר לראות ברקים והבזקי חשמל עצומים, אלפים רבים של וולטים, שהמכשירים שלו פלטו במהלך הניסויים. טסלה הגה כלי נשק מתוחכמים שיעבירו אנרגיה מרוכזת דרך האוויר - מעין 'קרני מוות' - שישמידו מטוסים וספינות ממרחק מאות קילומטרים. הוא אף הדגים לצבא ארצות הברית שליטה אלחוטית על ספינות קטנות, אם כי נדרשו עוד עשרות שנים עד שתחום חלוצי זה זכה לתשומת הלב מתאימה משאר מדינות העולם.

מהפסקה הקודמת ניתן אולי לטעות ולחשוב שטסלה התעניין רק בטכנולוגיות עתידניות, אך לא כך הדבר. גם פיתוחים מעשיים מאוד נרשמו לזכותו, כגון המצאת המצת החשמלי לרכב ('פלאג'), מנועים חשמליים יעילים וגם הרדיו, כפי שמיד ניווכח. טסלה היה מוערך מאוד בזכות עבודתו פורצת הדרך על שדות מגנטיים, ולראייה - היחידה הפיסיקלית המציינת את עצמת שטף השדה המגנטי מכונה 'טסלה', על שמו. העובדה שטסלה נגע בתחומים כה מתקדמים דוגמת הולכת החשמל דרך האוויר

וטכנולוגיות דומות, יצרה לו תדמית של 'מדען מטורף'. נוסף על כך, לקראת סוף ימיו לקה טסלה בתסמונת התנהגות אובססיבית-קומפולסיבית שהתמקדה בספרה שלוש. הוא עשה הכל בשלשות, לן בבתי מלון אך ורק בחדרים שמספריהם מתחלקים בשלוש וכדומה. המחלה הזו רק העצימה את תדמיתו האקסנטרית. טסלה, בשונה מתומס אדיסון, לא היה איש עסקים דגול, וסיפור המצאת הרדיו היא עדות מצוינת לחולשה זו באישיותו של מהנדס החשמל המבריק. עובדה לא ידועה היא שטסלה הוא זה שהמציא את משדר הרדיו הראשון, ואף הדגים אותו למספר רב של אנשים בכמה הרצאות שנשא. לרוע מזלו, שריפה כילתה את מעבדתו לפני שהספיק לפרסם את המצאתו לציבור הרחב.



איור 59: טסלה מדגים שליטה אלחוטית על דגם של סירה, 1898

שנה לאחר מכן המציא מרקוני (Marconi) את הרדיו שלו, ללא קשר לטסלה. טסלה הספיק, עם זאת, לרשום פטנט על המצאת הרדיו לפני מרקוני. הוא

היה משוכנע שהפטנטים שלו מגינים עליו באופן מושלם. כשנשאל טסלה על ידי מהנדס אחר אם הוא אינו חושש שמרקוני יקדים אותו בשיווק ההמצאה, השיב ביהירות מסוימת שמרקוני יכול, מבחינתו, להמשיך לעבוד כמה שרק ירצה שכן הוא משתמש בלפחות שבעה עשר פטנטים רשומים של טסלה. ביטחון מופרז זה הביא אותו להזניח את העניין, והוא לא תבע את מרקוני על שימוש בפטנטים על שמו.

מרקוני זכה לתמיכה כספית וציבורית בארצות הברית מאדיסון ומאנדרו קרנגי, שני תעשיינים רבי השפעה - אולי כחלק ממלחמת הזרמים עליה נרחיב מיד. חלקם של השניים בעניין אינו ברור במלואו, אבל בשנת 1904 החליט במפתיע משרד הפטנטים האמריקני לבטל את הפטנט של טסלה על הרדיו, ולהעבירו לזכותו של מרקוני. טסלה המופתע נאבק מרות בהחלטה זו, אך לשווא. הוא לא היה עשיר מספיק בכדי להרשות לעצמו להילחם בחברת מרקוני הגדולה.

מספר שנים לאחר מכן, כמו להוסיף על העלבון, זכה מרקוני בפרס נובל על המצאת הרדיו. רק ב-1943, מספר שנים לאחר מותו של טסלה, החליט בית המשפט להחזיר על שמו את הפטנט שנגזל. ספק רב אם הסיבה לכך נעוצה בחרטה של משרד הפטנטים.

סביר יותר להניח שההחלטה נתקבלה בעקבות ניסיונה של חברת מרקוני לתבוע את ממשלת ארצות הברית על השימוש ברדיו בזמן מלה"ע הראשונה, והחזרת הפטנט לניקולה טסלה הייתה הדרך שבה ביקשה ממשלת ארצות הברית לפתור את העניין לטובתה.

רעיון 'זרם החילופין' החל לעבור במוחו של טסלה עוד כשעבד בפריס, דווקא ב'חברת אדיסון' מכל המקומות. טסלה ידע שלהולכת חשמל בשיטת 'הזרם הישר' יש חיסרון משמעותי: קשה להמיר את המתח החשמלי מרמה אחת לאחרת. זאת אומרת, אם תחנת כוח מייצרת חשמל במתח של מאתיים ועשרים וולט בזרם ישר, כל המכשירים החשמליים בבית חייבים להיות מסוגלים לעבוד במתח הזה. יש לציין ששינוי המתח בזרם ישר אפשרי, אבל הוא מסורבל למימוש ובדרך כלל אינו יעיל. חיסרון נוסף של שיטת 'הזרם הישר' הוא בזבוז אנרגיה בזמן הולכת החשמל. לנחושת, המתכת ממנה עשויים כבלי החשמל, יש התנגדות מסוימת לזרם החשמלי: חלק מהאנרגיה שבזרם שעובר דרכה גורמת לכבל להתחמם, וזו אנרגיה מבוזבזת. זרם רב יותר משמעו חימום יתר ובזבוז יתר. במקרים קיצוניים הכבל עשוי להתחמם עד כדי התכה ממש. לאוהבי המספרים,

הפסד האנרגיה גדל לפי הזרם בריבוע, כפול
ההתנגדות. דהיינו, אם הזרם גדל פי שתיים -
ההפסד גדל פי ארבע!

מבחינה מעשית, הפסד האנרגיה היה בעייתי ועלה
לחברות החשמל כסף רב מאוד. ניתן להילחם בו על
ידי ייצור כבלי נחושת עבים יותר, בעלי התנגדות
חשמלית נמוכה יותר אבל הנחושת יקרה מאוד.
פיתרון אפשרי נוסף לבעיה הוא הקפדה על כבלים
קצרים, כדי למזער את הפסד האנרגיה בזמן
ההולכה. תחנת הכוח, במקרה הזה, צריכה הייתה
להיות ממוקמת לא יותר מאשר שלושה ק"מ מבית
הלקוח. עובדה זו היטיבה עם אדיסון, כמובן, שכן
המשמעות הייתה תחנות כוח רבות יותר מפוזרות
בכל מקום - תחנות כוח שאדיסון בנה ותפעל.

הבעייתיות בהמרת המתח החשמלי לרמות שונות
יצרה קשיים נוספים שהיו ברורים אפילו לעוברים
ושבים ברחוב. אמרנו קודם שניתן לתכנן את כל
מכשירי החשמל כדי שיעבדו ברמת מתח אחת
ויחידה שנקבעת על ידי חברת החשמל, אבל
המציאות בתקופתו של אדיסון הייתה שונה. מנורות
ביתיות, מנורות רחוב, מנועים, ציוד תעשייתי וכיו"ב -
לכל סוג של מכשיר חשמלי הייתה רמת מתח
שהתאימה לו, ולו בלבד. תחנות הכוח של אדיסון

נדרשו לספק חשמל לכל המכשירים הללו והתוצאה הייתה המוני כבלי חשמל שהתפתלו ברחובות וסיפקו חשמל במתחים שונים. עומס כבלי החשמל הללו היה כפול: גם כלכלי (הנחושת היקרה) גם פיסי: במקרים רבים עמודי חשמל עמוסי הכבלים פשוט קרסו תחת העומס (במיוחד כשירד שלג) ועוברי אורח התחשמלו למוות. טסלה הכיר את כל הבעיות הללו, והבין שהשיטה להתמודד מולם היא שיטת 'זרם החילופין'.

מהו, אם כן, 'זרם חילופין'? אם בזרם ישר חלה תנועה בכיוון אחד, הרי שב'זרם חילופין' כיוון התנועה משתנה ללא הרף - פעם קדימה, פעם אחורה. שינוי הכיוון מתבצע באמצעות שינוי המתח החשמלי על הכבל: כיוון שהאלקטרונים השליליים נמשכים תמיד למתח חיובי, הם ינועו לכיוון שבו קיים המתח החיובי. את המתח החשמלי בשיטת 'זרם החילופין' קל יחסית להמיר מרמה אחת לאחרת, עובדה שמעניקה לה יתרון משמעותי על פני שיטת 'הזרם הישר'. ההספק החשמלי - או במילים אחרות, האנרגיה החשמלית שעוברת בכבל - הוא תוצאה של מכפלת הזרם במתח. לדוגמה - אפשר להעביר ארבעה וואט חשמל (זו יחידת ההספק) על ידי זרם של שני אמפר במתח של שני וולט: שתיים כפול שווה ארבע. אבל באותה המידה בדיוק, אפשר להעביר אותם

ארבעה וואט של אנרגיה על ידי זרם של אחד אמפר, במתח של ארבעה וולט: אחד כפול ארבע נותן ארבע. ההפסדים והבזבזים על חימום הנחושת בתוך הכבל תלויים, כזכור, אך ורק בעצמת הזרם החשמלי, ולא במתח. מכאן, פחות זרם שווה פחות חימום של הכבל ופחות בזבז. באופן מעשי, החשמל יכול לעזוב את תחנת הכוח כשהוא במתח נמוך, ולאחר מכן יומר בקלות למתח גבוה מאוד עד עשרות אלפי וולטים. התוצאה המתקבלת תהיה זרם חשמלי נמוך מאוד, הפסדים מועטים במיוחד וכבלי נחושת דקיקים וקלים. מאוחר יותר, בבית הלקוח, ממירים את המתח הגבוה בחזרה למתח נמוך. המשמעות היא שתחנות הכוח יכולות להיות ממוקמות רחוק יותר מבית הלקוח מאשר בשיטת 'הזרם הישר', ועל כן ניתן להקים פחות תחנות. מכאן ברור שגם החשמל הופך זול יותר לייצור.

תומס אדיסון לא האמין ברעיון 'זרם החילופין' של טסלה. אדיסון היה ממציא מצוין ברמה המעשית, אבל קשה להבין את עקרונות 'הזרם החילופין' ללא רקע מתמטי - רקע שלאדיסון (נטול ההשכלה הרשמית) לא היה. הוא חשב שהרעיון של טסלה טוב בתאוריה, אבל אינו מעשי במציאות. ניקולה טסלה, כפי שהזכרנו קודם, הועסק בחברת אדיסון באירופה.

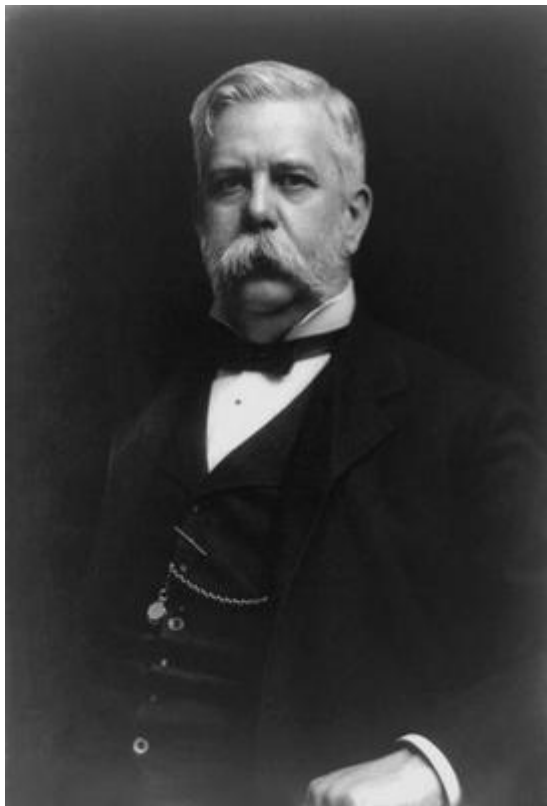
כשעבר לארצות הברית, נתן לו הבוס שלו מכתב המלצה לאדיסון עצמו. "אני מכיר שני אנשים דגולים," כתב המנהל, "האחד זה אתה, והשני ניצב לפניך."

בתחילה עבד טסלה אצל אדיסון כמהנדס מן המניין. אבל טסלה היה מהנדס טוב ולא סתם טוב - מבריק! ועל כן התקדם עד שאדיסון הטיל עליו לפתור את הבעיות הגדולות והמעיקות ביותר שמולן ניצבה החברה. אדיסון שאף, באופן טבעי, לשפר את ביצועי המנועים החשמליים שלו. הוא הבטיח לטסלה חמישים אלף דולר, בערך מיליון דולר במונחים של ימינו, אם יצליח להשביח את מנועי החברה. טסלה עבד ימים כלילות כדי לעמוד במשימה - אבל אדיסון לא עמד בדיבורו ולא שילם את הכסף. הוא נפנף את טסלה ואמר לו שהוא "לא מבין את חוש ההומור האמריקני". טסלה לא זכה אפילו בהעלאת שכר של כמה דולרים, ועל כן החליט להתפטר. מצבו הכלכלי הקשה של טסלה היה רע והוא נאלץ לפנות לעבודות דחק, עד כדי חפירת שוחות. למרבה האירוניה, שוב עבד בשירות החברה של אדיסון. הטינה שנטר טסלה לאדיסון הייתה עמוקה מאין כמוה.

טסלה רשם שבעה פטנטים על כל מהלך החשמל 'זרם חילופין', מהייצור בתחנת הכוח ועד התאורה

בבית. לאחר כמה ניסיונות לא מוצלחים להקים חברה שתקדם את רעיון זרם החילופין שלו, הגיעה השמועה על הרעיון החדש לתעשיין בשם ג'ורג' ווסטינהאוז.

ג'ורג' ווסטינהאוז היה בעצמו ממציא פורה מגיל צעיר מאוד, וכבר בגיל 19 רשם את הפטנט הראשון שלו. כשהיה בן 22 היה קרוב להיות מעורב בתאונת רכבת: הרכבת שבה נסע נתקלה במחסום כלשהו על הפסים והצליחה לבלום ממש ברגע האחרון. בעקבות כמעט-תאונה זו המציא את 'בלם האוויר' - מתקן המשתמש בכוח האדיר האצור באוויר הדחוס כדי לבלום את הרכבת. הוא שכלל את ההמצאה והפך אותה למתקן בלימה אוטומטי: המצאה זו קידמה את תעשיית הרכבות כולה והפכה אותה לבטוחה ולאמינה יותר. החברה שהקים - 'ווסטינהאוז' - הפכה למעצמה תעשייתית וייצרה כמעט הכל: חשמל, גז, תנורים, מקררים, מכונות תפירה, מכונות כביסה, מייבש כביסה, רדיו טייפ... אפילו גנרטורים לספינות.



איור 60: ג'ורג' ווסטינהאוז

ווסטינהאוז האמין ברעיון 'זרם החילופין' והבין שמדובר בפיתרון מצוין לבעיית הולכת החשמל למרחקים ארוכים. הוא רכש מטסלה את הזכויות לפטנטים תמורת כשישים אלף דולר, והשניים החלו לדחוף את הרעיון קדימה. כשהוא מגובה בממונו של ג'ורג ווסטינהאוז העשיר, החל טסלה לממש את שיטת 'זרם החילופין'. עד מהרה פרצה מלחמה בין טסלה ואדיסון על הזכות להיות זה שיטמיע את השיטה להולכת החשמל במשק האמריקני.

תומס אדיסון החל בקרב תעמולה אכזרי וציני מאוד, וניסה להשפיע על הציבור לדחות את 'זרם החילופין' ולהעדיף את 'הזרם הישר'. לאדיסון הייתה השפעה רבה, נזכור, והציבור הכיר אותו היטב בזכות נורת החשמל והפונוגורף. הזווית שאליה כיוון אדיסון הייתה 'הסכנה מזרם חילופין': הוא ניסה לעורר בציבור פחד מהסכנה שבמתח הגבוה שמגיע אל הבית בכבלים מתחנת הכוח. הוא אמר - "זרם ישר הוא כמו נהר שקט וגדול, בזמן שזרם חילופין הוא כמו נהר גועש." אדיסון אף העסיק פרופסור בשם הרולד בראון (Brown) כדי שזה ימציא הדגמות שיוכיחו עד כמה מסוכנת שיטת 'זרם החילופין'. הדגמות אלו כללו חשמול כלבים וחתולים, בקר וסוסים. שיא האכזריות היה הוצאתה להורג בשנת 1903 של הפילה 'טופסי'

- פילת קרקס שרמסה שלושה אנשים (אחד היה מאמן מרושע, שניסה להאכיל אותה סיגריות בוערות). אדיסון הציע להרוג אותה באמצעות חשמול ב'זרם חילופין'. הוא אפילו צילם את ההוצאה להורג והתמונות נשתמרו עד היום.



איור 61: הפילה טופסי, קשורה בשלשלאות,
מחושמלת למוות- פריים מתוך סרטו של תומס
אדיסון

הציניות במלחמת התעמולה הזו הגיעה לשיאה כשהרולד המציא את הכיסא החשמלי הראשון, באמצעות גנרטור של ווסטינהאוז. כוונתו הייתה לקשר בתודעת הציבור בין החשמל "המסוכן" של ההוצאה להורג והחשמל "הרגיל" בבית. אדיסון אפילו ניסה להנחיל את הביטוי 'ווסטינהאוזינג' (Westinghousing), כמילה נרדפת להוצאה להורג בכיסא חשמלי. הראשון ש"נבחר לנסות" את הכסא החדש היה רוצח בשם וויליאם קמלר. לרוע מזלו של קמלר הניסוי הראשוני הזה לא היה סיפור הצלחה וקמלר לא מת באופן חלק, אלא "באופן נורא, גרוע הרבה יותר מתליה", כפי שתיארו צופים את ההוצאה להורג. ווסטינהאוז אף אמר ששלדעתו עדיף היה לו היו משתמשים בגרזן.

מהי האמת, אם כן? מי מהשיטות מסוכנות יותר? שתיהן מסוכנות. התחשמלות מזרם חילופין עשוי לגרום לפרפורים בלב, כשהמתח המתחלף גורם למנגנון הטבעי ששומר על קצב הלב לצאת מסינכרון. התחשמלות מזרם ישר יכולה לגרום לשרירי היד שמחזיקה את המוליך המסוכן להתהדק עליו במקום להשתחרר. בכל מקרה, בשני המקרים עוברים בקווי המתח מתחים ברמה היכולה להרוג אדם בוגר.

נקודת מפנה במלחמת הזרמים התרחשה ב'יריד העולמי' בשיקגו, בשנת 1893. היריד העולמי היה מאז ומעולם תערוכה רבת השפעה על עולם הטכנולוגיה וכל המי ומי של המדע וההנדסה, נוסף על פוליטיקאים בכירים, נכחו בה. חברת ווסטינהאוז התחרתה בג'נרל אלקטריק של אדיסון במכרז על הזכות להאיר את היריד במאה אלף נורות חשמל: זה היה החידוש המרכזי של אותה התערוכה. ג'נרל אלקטריק הגישה הצעה בעלות של כמיליון דולר, כאשר רוב הסכום נדרש לצורך הקמת רשת כבלי הנחושת העבים החיוניים בשיטת 'הזרם הישר'. שיטת 'זרם החילופין' לא דרשה, כאמור, כל כך הרבה כבלי נחושת, ואפשרה לווסטינהאוז לתת הצעה זולה במחצית מזו של אדיסון. ההצעה הזולה זכתה, כמובן, ונשיא ארצות הברית היה זה שלחץ על כפתור ההפעלה והאיר את כל התערוכה בעזרת הגנרטורים של טסלה. כשהצופים ראו את הגנרטורים הקטנים והיעילים של טסלה, לעומת הכבלים הגדולים והכבדים של אדיסון, הם החלו להשתכנע ביתרונות שיטת 'זרם החילופין'.

נקודת המפנה הבאה הגיעה כשהממשל האמריקני הקים ועדה מיוחדת שתבחן דרכים לנצל את מפלי הניאגרה להפקת אנרגיה. הוצעו הצעות רבות אך

רובן לא היו מעשיות: למשל, להשתמש במים כדי לדחוף אוויר דחוס בצינורות לאורך מאות קילומטרים, או רעיונות שכללו שימוש בדליים ובחבלים- הועדה דחתה את כל ההצעות. ההצעה של אדיסון להפעיל גנרטור 'זרם ישר' באמצעות כוח המפל התמודדה מול זו של ווסטינהאוז. הלורד קלווין, הפיסיקאי הבריטי המהולל, היה יו"ר הוועדה ובתחילה הוא התנגד לרעיון 'זרם החילופין'. לאחר ההדגמה ביריד העולמי, שינה קלווין את דעתו ודחף את ווסטינהאוז לזכייה במכרז.

העבודה נמשכה חמש שנים קשות ומפרכות אבל בסיומה, החשמל זרם בשפע והאיר חלק ניכר מהחוף המזרחי של ארצות הברית. גם שדרות ברודווי בניו יורק זכו ליהנות מהחשמל הזול של ווסטינהאוז וטסלה, והתאורה המפוארת של הרחוב הפכה לסימן המסחרי שלו. הפרויקט במפלי הניאגרה סימן את סוף מלחמת הזרמים, שהוכרעה לטובת 'זרם החילופין'. המאבק מול ג'נרל אלקטריק רושש את שתי החברות, וחברת ווסטינהאוז הייתה בסכנת התמוטטות. בצר לו, ביקש ג'ורג ווסטינהאוז מטסלה להשתחרר מהחוזה הכלכלי ביניהם, וזה הסכים. באבירות גרנדיוזית-משהו, קרע טסלה את ההסכם לגזרים.

טסלה אמנם הציל את החברה של ווסטינהאוז מקריסה, אבל יצר לעצמו קשיים כלכליים עצומים שהמשיכו עמו גם לפרוייקטים הבאים. בסופו של דבר, הלך ניקולה טסלה לעולמו כשהוא עני ושרוי בחובות כבדים. אדיסון, מצדו, הצטער תמיד על הבחירה שלו ב'זרם הישר'. החברה שלו, ג'נרל אלקטריק, החליטה לבלוע את הגלולה המרה ועברה בזריזות לצד המנצח וכך שרדה את תקופתה הקשה. למרות מעלותיהם הרבות, טסלה ואדיסון לא זכו לקבל את פרס נובל: אולי בגלל שחברי ועדת הפרס ידעו שאף אחד מהשניים לא יסכים לקבל את הפרס, אם גם השני יקבל אותו...

16. הי, אתה - בזהירות עם הקמת! על חומרי נפץ

המצור היה חלק בלתי נפרד ממלחמה בימי הביניים. ערים רבות היו מוקפות חומה וכל אציל שכיבד את עצמו בנה לעצמו טירה מפוארת. הצבא התוקף, אם כן, היה מתפרש סביב החומה ומכתיר אותה וכך הייתה מתחילה מלחמת התשה והרעבה. המצור היה נמשך חודשים, לעיתים אפילו שנים - עד שמישהו מהצדדים הלוחמים נשבר. כל זאת השתנה בעקבות תגלית שהתגלתה בסין לפני כאלף שנה בערך וחלחלה לאירופה כמה מאות שנים מאוחר יותר. הסינים פיתחו שיטה לייצור אבקה גרגרית שחורה שמתלקחת בקלות ומפיקה חום עז וגזים לוחטים: אבקת שרפה. הסינים השתמשו בה בעיקר כחומר בעירה בתוך זיקוקים: הם, והיפנים אחריהם, ראו בשימוש באבקת שריפה לצרכי מלחמה מעין פחיתות כבוד. לאירופאים, עם זאת, לא היו עכבות שכאלה.



איור 62: חייל סיני מצית רקטה

אבקת שרפה שחורה היא סוג של חומר נפץ שאותו אנחנו מכנים היום בשם 'חומר נפץ הודף'. כשאבקת השרפה בוערת היא מפיקה גזים לוהטים. המהנדסים האירופאים גילו חיש מהר שבתוך קנה סגור, הגזים החמים יוצרים לחץ עז שמסוגל לדחוף החוצה פגז במהירות אדירה. הבעירה בחומר נפץ הודף היא אטית באופן יחסי: היא מתפשטת בתוך החומר במהירות של כמה עשרות עד מאות מטרים בשניה

בלבד. האטיות הזו היא תכונה רצויה עבור חומר נפץ הודף: לחץ הגזים בתוך קנה התותח נבנה בהדרגה והפגז משתחרר בצורה מבוקרת. אם הפיצוץ מהיר מדי, הלחץ הפנימי מרסק את התותח לפני שהפגז מספיק לעזוב את הקנה.

הופעת התותח בשדה הקרב הייתה ראשית תהליך אשר בסופו הפכו חומות בצורות לאלמנט קישוטי וחסר תועלת. בתחילה עוד ניסו הערים להתמודד עם כוחה של אבקת השריפה על ידי עיבוי החומות או הקמתן בזוויות אשר יגרמו לפגז 'לגרד' את החומה במקום לפגוע בה במלוא עצמתו. מירוץ החימוש הזה בין התותח ההולך וגדל לחומות ההולכות ומתעבות הביא, בסופו של דבר, לפשיטת רגל כלכלית של ערים שלא היו יכולות לשאת בנטל הכספי של הקמת חומה. חומרי הנפץ ניצחו במערכה.

חומר נפץ הודף עשוי מתערובת של שני חומרים בסיסיים: אחד מקור האנרגיה, והשני החומר המחמצן. במקרה של אבקת השרפה, מקור האנרגיה הוא אבקת פחם והחומר המחמצן הוא אשלגן חנקתי. הקשרים הכימיים שבתוך מולקולות אבקת הפחם נמצאים, בדרך כלל, במצב יציב למדי: כל עוד לא נפריע להם בשום צורה, הם לא יתפרקו. אך אם נקרב אל אבקת הפחם להבה חמה, האנרגיה שבאש

תערער את הקשרים הללו. המולקולות יתפרקו ויתרכבו מחדש עם האטומים שבחומר המחמצן - תהליך המכונה 'חמצון'. במהלך החמצון נפלטת יותר אנרגיה מאשר זו הנדרשת כדי להתחיל את התהליך. אנרגיה זו גורמת לפירוק מולקולות נוספות, לחמצון, לפליטת אנרגיה חדשה וכן הלאה וכן הלאה.

ההבדל בין שרפה רגילה לבעירה של אבקת שרפה הוא מיקום החומר המחמצן. בשרפה רגילה, כמו זו של גזע עץ הבוער בתוך מדורה, החמצן נמצא באוויר שסביב הגזע. אינטנסיביות התגובה הכימית מוגבלת כיוון שחלק גדול מהחומר הדליק כלל אינו נחשף לחומר המחמצן. בחומר נפץ הודף החומר המחמצן הוא חלק מהתערובת עצמה. קרבה זו בין חומר הדלק והחומר המחמצן מאיצה מאוד את התגובה הכימית ומאפשרת לשחרר כמות גדולה של אנרגיה בפרץ זמן קצר מאוד - דהיינו, פיצוץ. במשך מאות שנים שלטה אבקת השרפה בעולם חומרי הנפץ ללא עוררין. סוגים נוספים של חומרי נפץ 'אטיים' נתגלו מאז ימי הביניים, אבל אבקת השרפה נותרה הפופולרית מכולן. אבל כל זה השתנה במאה ה-19.

פרופסור אסקניו סובררו (Sobrero) היה כימאי באוניברסיטת טורינו שבאיטליה. בשנת 1846 גילה חומר חדש אשר עתיד היה לשנות את דברי ימי

האנושות - וגם לזעזע את חיייו של החוקר עצמו. סובררו גילה שכאשר הוא מוזג חומר בשם 'גליצרין' לתוך צנצנת המכילה תערובת של חומצות מסוימות, מתקבל נוזל שומני שקוף בעל אופי... עצבני במיוחד. סובררו היה כימאי מנוסה וזהיר למדי, אבל כל אדם עלול לטעות. הטעות הראשונה הביאה לכך שצנצנת התפוצצה מול פניו וכמעט הרגה אותו במקום. הטעות השנייה הרסה לחלוטין את אחת המעבדות.



איור 63: פרופ' אסקניו סובררו, מגלה הניטרוגליצרין

ניטרוגליצרין היה חומר הנפץ הראשון מסוג 'חומר נפץ מרסק' - חנ"מ, בקיצור. בניגוד לחומר נפץ הודף, מקור האנרגיה בחנ"מ אינו בבעירה אלא בפירוק המולקולה המהווה את חומר הנפץ. תהליך זה, המכונה 'ניפּוץ' (Detonation) מפיק פחות אנרגיה מזו המופקת מבעירה של חומר נפץ הודף - אבל הוא מהיר הרבה יותר. גל ההלם חולף דרך החנ"מ במהירות של עד שמונה קילומטרים בשניה, כל מולקולה שמתפרקת משחררת אנרגיה שגורמת לפירוק של שכנתה, וכן הלאה. גל ההדף שנוצר כתוצאה מההתרחבות המהירה של הגזים הלוחטים הוא זה שיוצר את מירב הנזק כתוצאה מניפּוץ החנ"מ.

אסקניו סוברו נחרד כשהבין עד כמה התערובת החדשה שיצר מסוכנת. הוא סירב להמשיך ולחקור אותה ואפילו השמיד חלק מרישומי הניסויים כדי לשמור על התגלית בסוד, אבל ללא הועיל. השמועה אודות ה'שמן המתפוצץ' עשתה לה כנפיים. שנים לאחר מכן אמר סוברו על המצאתו את הדברים הבאים:

*"כשאני חושב על כל הקורבנות
שנהרגו בתאונות של שימוש*

בניטרוגליצרין, הנזק האדיר שוודאי
נגרם ועוד ייגרם בעתיד, אני כמעט
מתבייש להודות בכך שאני ממציאו...
הנחמה היחידה שלי היא הידיעה
שאם לא אני, מישהו אחר היה מגלה
אותו בתוך זמן קצר."

רצה הגורל ובמעבדתו של סובררו עבד גם כימאי
שוודי צעיר בשם אלפרד נובל. נובל שמע אודות
התגלית - טוב, היה קשה לפספס את החדשות -
והחליט לבחון את הפוטנציאל המסחרי של
הניטרוגליצרין. נובל חזר לשוודיה ושכנע את אביו,
בעל מפעל לייצור תחמושת, להקים מעבדה כדי
לחקור לעומק את תכונות הניטרוגליצרין ובעיקר כדי
לשפר את בטיחותו. אלפרד ידע שכל עוד
הניטרוגליצרין מסוכן כל כך, אף אחד לא יהיה מוכן
לגעת בו. משפחת נובל הקימה את מעבדת המחקר
שלה באחד מפרברי שטוקהולם, באזור עירוני.
השכנים מסביב, כצפוי, לא היו מרוצים כל כך. הם
חשו שהם חיים ליד הר געש בלתי צפוי. והם צדקו.



איור 64: דמותו של אלפרד נובל, ממציא הדינמיט,
על בול גרמני משנות התשעים

פריצת הדרך הראשונה של אלפרד נובל הייתה פיתוח נפץ עבור הניטרוגליצרין. הנפץ הוא מיכל זעיר של חומר נפץ רגיש לחום. אל הנפץ חיבר נובל פתיל ובו אבקת שרפה. הפתיל בוער בקצב אטי וידוע מראש עד שהוא מגיע אל הנפץ, מבעיר אותו ובכך מפוצץ את הניטרוגליצרין. פיתוח הנפץ אפשר הפעלה מבוקרת יותר של הניטרוגליצרין, ונובל החל משווק את הפלא החדש ללקוחות פוטנציאליים והיו הרבה כאלה. אירופה וארצות הברית של אמצע

המאה ה-19 היו במהלכה של תנופת פיתוח ותיעוש נרחבת: מסילות רכבת נסללו בכל מקום ומכרות נחפרו עמוק יותר כדי לספק חומרי גלם רבים יותר לתעשייה. ההדף האדיר של חומר הנפץ המרסק סייע לחצוב דרכים חדשות בגבעות קשוחות ולהעמיק את המכרות במהירות וביעילות.

לצד מעבדת המחקר, בלבה של שכונת המגורים הצפופה, הקים נובל בית חרושת קטן לייצור ניטרוגליצרין. פיתוח הנפץ היווה התקדמות בטיחותית מבורכת, אבל הניטרוגליצרין נותר לא פחות מסוכן משהיה. זהו נוזל שכל מכה הכי קטנה, כל זעזוע חזק או התחממות לא מבוקרת מפוצצת אותו.

האם נובל הבין עד כמה באמת מסוכן הניטרוגליצרין? קשה לדעת. ייתכן ופיתוח הנפץ הכניס אותו לשאננות יתרה - כך טוענת לפחות ביוגרפיה אחת של הממציא. למרות זאת, ייתכן שההילה של נובל בתור מי שייסד מאוחר יותר את פרס נובל היוקרתי ותרם כה רבות לקידום המדע, הביאה לגישה סלחנית מדי כלפיו. קשה להאמין שנובל לא היה מודע לטירוף שבאחסון מאות קילוגרמים של חומר נפץ מהסוג הרגיש ביותר בטבורה של שכונת מגורים. יכול להיות שהפיתוי

הכלכלי, להמשיך ולייצר ניטרוגליצרין כדי לענות על הביקוש, היה חזק מדי. כך או כך, הוא שילם מחיר יקר על טעות זו. הוא - ואחרים.

השלושה בספטמבר, 1864, החל כיום שגרתי למדי. אמיל נובל, אחיו הצעיר של אלפרד, עבד במעבדה. חברת רכבת מקומית הזמינה מנה גדולה של ניטרוגליצרין ואמיל, יחד עם חבר נוסף, עמלו על הכנת התערובת. אמיל היה עוזר מעבדה מוכשר ואחראי אבל משהו השתבש באותו היום. מה בדיוק קרה באותו הבוקר במעבדה? האם נשמטה הצנצנת הלא נכונה ונפלה אל הרצפה? האם החליק מישהו על שלולית מים ונפל על הארגז הלא נכון?

את הסיבה לא נדע לעולם, אבל את התוצאה שמעה שטוקוהלם כולה במה שנודע בשנים מאוחרות יותר כ'בום של נובל'. בתוך שבריר שניה נמחקה המעבדה ובית החרושת כולו, כאילו לא היו. חמישה בני אדם, ביניהם אמיל, שלושה עובדים במפעל ועובר אורח שחצה את המדרכה הסמוכה נהרגו במקום. קירות הבתים הסמוכים קרסו פנימה ופצעו באורח קשה שכנים חסרי מזל. דיווחי העיתונות מזירת הארוע היו גרפיים במידה שאיננו רגילים לה בעיתונות המודרנית. הכתבים לא קימצו במילים כשתיארו את מצבן הנורא של הגופות לאחר הפיצוץ כולל איברים

שניתקו ממקומם ובשר שנפרד מהעצמות. צריך לזכור שמראות כאלה היו כמעט בלתי מוכרים באותם הימים, ואפשר ממש לחוש את הזעזוע של העיתונאים מהמחזה השטני שנגלה לעיניהם.

אלפרד נובל ניצל בנס: הוא לא היה במפעל באותו היום. איננו יודעים כיצד השפיעו עליו התאונה ומותו של אחיו הצעיר והאהוב: הוא לא שוחח על כך ולא הזכיר את התאונה בראיון או במכתב עד יומו האחרון. אנחנו יודעים, לעומת זאת, שלפחות אחד אחר של נובל הפציר בו לעזוב הכול ולנטוש את העבודה על הניטרוליצרין. אך לאלפרד לא הייתה כל כוונה להפסיק. ההפך הוא הנכון. מטרתו, שהתחדדה אחרי התאונה בשנת 1864, הייתה לאלף את הניטרוליצרין הפרוע.

הוא שכר אסדה והציב אותה באגם מבודד. כדי להעביר את הצנצנות שהכילו את חומר הנפץ מהחוף לאסדה, נובל ארז אותן בתוך שקים מלאים בחול רך ופריך המכונה 'קייסלגור' (kieselguhr). באחד הימים, בעודו עובד על האסדה, הבחין לפתע נובל בטיפת ניטרוליצרין שנזלה מאחת הצנצנות והחלה מתגלגלת אל קצה השולחן. אלפרד מיהר לנסות ולעצור אותה והעצם היחיד שהיה בהישג ידו היה שק פתוח, מלא בקייסלגור. הוא חפן מלוא הכף מהחול

הרך ופיזר אותו על הטיפה המתגלגלת.
הניטרולגליצין נספג בתוך החומר והעיסה שהתקבלה
הייתה בעלת מרקם דומה לזה של חמר.

נובל הסתקרן והחל בוחן את תכונותיה של התערובת
החדשה. עד מהרה גילה שהקייסלגור הופך את
הניטרולגליצין לאדיש יותר: אפשר למעוך אותו,
להכות בו, לזרוק אותו - והוא לא יתפוצץ. זו הייתה
התקדמות נהדרת, אבל נותרה עדיין שאלה קריטית:
האם התערובת החדשה תהיה גם נפיצה כמו
ניטרולגליצין טהור? כדי לבחון זאת, הניח נובל גוש
של התערובת החדשה על גבי קרש, הצמיד לה את
הנפץ שהמציא, הדליק את חוט הבעירה - ושלח את
הקרש על פני המים. מספר דקות לאחר מכן הרעיד
את האגם פיצוץ אדיר.

התגלית של נובל, איש עסקים מוצלח מאוד, הפכה
אותו לאדם עשיר מאוד. הוא כינה את התערובת
'אבקת הבטיחות של נובל', ושיווק אותה תחת השם
המסחרי 'דינמיט'. את הדינמיט עיצב בצורת מקלות
דקים שהתאימו לחורי הקידוח במכרות ומחצבות,
ומקלות הדינמיט עם הפתיל הארוך שהשתלשל מהן
הפכו להיות מזוהות עם המושג 'חומר נפץ'. שימושים
צבאיים להמצאה לא איחרו לבוא, כמובן.

היסטוריית פרסי נובל מוכרת למדי, אבל נזכיר אותו כאן בקצרה לשם השלמות. בשנת 1888 ביקר לודוויג נובל, אחיו של אלפרד, בעיירה הצרפתית קאן - ושם הלך לעולמו. עיתון מקומי, שעורכו סבר בטעות שאלפרד הוא המנוח, פרסם את דבר מותו תחת הכותרת 'אלפרד נובל, מי שהתעשר בזכות גילוי השיטה המאפשרת להרוג יותר אנשים מאי פעם, מת אתמול.' אירוע זה דרבן את נובל להשאיר בצוואתו הוראות מפורטות להקמת קרן שתעניק פרסים למדענים ולאנשי רוח מצטיינים.

במרוצת המאה העשרים הלכו חומרי הנפץ והשתכללו. ה-TNT, או בשמו המלא טרי-נטרו-טולואן (Trinitrotoluene), נתגלה כבר ב-1863 אך נכנס לשימוש סדיר סביב שנת 1905. ה-TNT השתלב בעיקר ביישומים צבאיים בזכות מספר תכונות מוצלחות מאוד. הוא יציב מאוד ואינו רגיש להלם או לחיכוך, וכן, הוא הופך לנוזל בטמפרטורה נמוכה יחסית, כשמונים מעלות, טמפרטורה נמוכה בהרבה מהטמפרטורה שבה הוא עלול להתפוצץ. את חומר הנפץ הנוזלי ניתן לשפוך לתוך פגזים ולעצב אותו כנדרש. השימוש ב-TNT הפך להיות כה נפוץ, עד שעצמת כל חומרי הנפץ האחרים נמדדת ביחס אליו.

למשל, פצצה גרעינית שוות ערך לכך וכך מיליוני טונות של TNT.

אם כבר הזכרנו פצצות גרעיניות, ראוי להזכיר שעקרון הפעולה של פצצות גרעין ופצצות מימן שונה לחלוטין מזה של חומרי נפץ רגילים, 'קונבציונליים'. בחומרי נפץ מקור האנרגיה הוא בפירוק קשרים כימיים בין אטומים, בעוד שפצצות גרעיניות שואבות את כוחן מפירוק קשרים בתוך האטומים עצמם או מהיתוך של שני אטומים ליצירת אטום חדש, כפי שמתרחש בפצצת מימן.

חומרי נפץ מודרניים בטוחים מאוד לשימוש. Composition 4, או בשמו המוכר יותר סי-4, הוא חומר נפץ חזק בשלושים אחוז יותר מ-TNT, אך עם זאת ניתן אפילו לירות עליו כדור רובה - והוא לא יתפוצץ. גם אם נדליק אותו בעזרת גפרור, הוא יבער באטיות: החיילים האמריקניים במלחמת ויטנאם השתמשו בסי-4 כחומר בעירה לצרכי בישול. אני מניח שמגיע צל"ש לחייל הראשון שהיה אמיץ מספיק כדי לנסות את הטריק הזה. סי-4 הוא גם רעיל, וחיילים בויטנאם היו בולעים אותו בכמויות קטנות כדי לזכות בחופשת מחלה.

קל מאוד לייצר חומר נפץ, ברגע שאתה יודע איך לעשות את זה. אחד מחומרי הנפץ הנפוצים ביותר בעולם, למשל, הוא ה-ANFO (ראשי תיבות של ammonium nitrate/fuel oil): הוא מהווה כשמונים אחוז מכלל חומרי הנפץ שנעשה בהם שימוש תעשייתי במכרות ובמחצבות בארצות הברית. ה-ANFO קל להכנה עד כדי גיחוך: הוא מכיל בעיקר דשן לצמחים ושמן מנועים. במכרות רבים בארצות הברית הפועלים מכינים אותו 'על המקום': מנקזים קצת שמן מהמנוע של הטרקטור, שופכים אותו לתוך שק של דשן, מערבבים היטב ומחברים את הנפץ המתאים. זה הכול. הפשטות הזו משחקת לידי טרוריסטים, כמובן. כאן בישראל אין צורך להכביר מילים על הנושא הכאוב הזה, אבל גם האמריקנים למדו אותו על בשרם: בשנת 1995 החריבה מכונית תופת מלאה במאות קילוגרמים של ANFO את בניין הממשל הפדרלי שבאוקלהומה-סיטי. 168 איש נהרגו בפיגוע, והבניין נהרס כליל. גם הפיגוע הראשון במגדלי התאומים שבניו-יורק, בשנת 1993, בוצע באמצעות ANFO.

אין יותר מדי מה לעשות כנגד חומרי נפץ מאולתרים כמו ANFO, אבל למרבה המזל עצמתם נמוכה ביחס לחומרי נפץ מתקדמים כמו סי-4, Semtex או HBX.

כדי למנוע מטרוריסטים לעשות שימוש בחומרי נפץ מתקדמים שכאלה נהוג להוסיף להם בתהליך הייצור חומרים המכונים 'סמנים', מרקרים באנגלית. חלק מהסמנים הם כימיקלים נדיפים שכלבים משטרתיים יכולים להריח בקלות. סמנים אחרים הם חלקיקים זעירים שמסוגלים לשרוד את הפיצוץ ולכוון את החוקרים אל המפעל שייצר את חומר הנפץ, תאריך הייצור שלו ומשם גם אל עקבות המפגעים.

כמות חומר הנפץ שנעשה בה שימוש בפיגוע טרור מוגבלת בדרך כלל: קשה לצבור, להסתיר ואז לשנע כמויות גדולות של חומרים בעייתיים שכאלה. המגבלה הזו אינה משפיעה על צבאות וממשלות - וזו הסיבה לכך שתאונות בחומרי נפץ מסוכנות והרסניות הרבה יותר מפיגועי טרור - כפי שידגים לנו הסיפור הבא.

העיר האליפקס (Halifax) שבקנדה הייתה מרכז לוגיסטי חשוב מאוד עבור בעלות הברית במלחמת העולם הראשונה. אחת הסיבות המרכזיות הייתה מבנה הנמל שלה: המעגן היה חבוי עמוק בתוך היבשת וכדי להיכנס לתוכו יש לעבור בתעלה צרה המכונה 'The Narrows'. התעלה הצרה הגנה על המעגן מפני צוללות אויב ועל כן משך אליו הנמל שבהאליפקס ספינות מכל העולם. אחת מאותן ספינות

הייתה הסוחרת הצרפתית 'מון-בלאן' (Mont Blanc). המון-בלאן הגיעה להאליפקס בחמישה בדצמבר, 1917, בשעת לילה מאוחרת - אך לא הייתה יכולה להיכנס פנימה. שערי הנמל נסגרים בכל לילה לתנועת ספינות כהגנה מפני צוללות, והמון-בלאן נאלצה להטיל עוגן מחוץ לנמל. השכם בבוקר למחרת מיהרו אנשי הצוות להשיט את הספינה אל הנמל. הייתה להם סיבה טובה למהר: המון-בלאן הייתה עמוסה בכמה אלפי טונות של חומרי נפץ מכל הסוגים, ביניהם כ-200 טונות של TNT.

באותה השעה יצאה מתוך הנמל ספינת סוחר בלגית בשם 'אימו' (Imo) בדרכה לניו-יורק כדי לאסוף מזון וציוד לאירופה. כשהתקרבה ה'אימו' לאזור הצר של ה-Narrows הבחינה בספינה שלישית העושה אף היא דרכה לתוך התעלה. חוקי הימאות קובעים ששתי ספינות המפליגות זו לקראת זו צריכות לפנות ימינה, כדי לחלוף אחת על פני האחרת על דופן שמאל. במקרה הזה הספינה שנכנסה לנמל הייתה צריכה לפנות דווקא שמאלה כדי לעגון ברציף, ולכן החליטו רב-החובל של ה'אימו' וזה של הספינה שמולו להפר את הנוהג הקבוע במודע ובהסכמה הדדית, כדי לאפשר לספינה השנייה גישה נוחה יותר אל הרציף. הן חלפו זו על פני זו על דופן ימין,

והתוצאה הייתה שבתום התמרון הייתה ה'אימו'
קרובה לגדה השמאלית של התעלה. במונחים ימיים,
היא הייתה בצד הלא נכון של הכביש. נוסף על כך,
ה'אימו' הפליגה מהר - מהר מדי, כך נדמה,
מהמהירות המקובלת בתוך תעלה צרה.

בדיוק ברגע זה נכנסה גם המון-בלאן לתעלה הצרה.
רב-החובל שלה הבחין ב'אימו' המתקרבת לקראתם,
וצפר לה צפירה אחת. צפירה אחת משמעותה 'אני
רוצה לחלוף אותך על דופן שמאל שלי', ובתרגום למי
שאינו ימאי - 'זה הנתיב שלי, טמבל, תחזור לשלך'.
רב החובל של ה'אימו' לא הסכים לשנות את נתיבו.
אולי הוא חשב שהוא מפליג מהר מדי ושלא לא
יספיק לפנות ימינה בזמן. אולי הוא קיווה שרב-
החובל של המון-בלאן יהיה נחמד מספיק כדי לפנות
לו את הדרך. אולי פשוט התנהג בבריונות. לעולם לא
נדע כיוון שעשרים דקות לאחר מכן הוא ומרבית
צוותה של ה'אימו' כבר לא היו בין החיים.

ה'אימו' צפרה פעמיים, מאותתת למון-בלאן שהיא
מתכוונת להישאר בנתיבה ושהמון-בלאן מתבקשת
לפנות שמאלה. בין שתי הספינות התנהלה תקשורת
צפירות קדחתנית כדי לנסות ולפתור את התסבוכת,
אבל בתוך דקות ספורות הבינו שני רבי-החובלים
שאם לא יעשו משהו ומהר, ההתנגשות תהיה בלתי

נמנעת. המון-בלאן שברה שמאלה בחדות, לכיוון מרכז התעלה. ה'אימו' סובבה את מדחפיה לאחור כדי לבלום, אבל בלימה זו גרמה לחרטום שלה לפנות ימינה, גם כן לכיוון מרכז התעלה.

בשעה שמונה ושלושים בבוקר התנגשו המון-בלאן וה'אימו'. מתכת פגעה במתכת וניצוצות עפו לכל עבר. שריפה פרצה על סיפונה של המון-בלאן. צוותה של המון-בלאן ניסה בתחילה לכבות את הדליקה, אבל כשהבינו המלחים שהאש יצאה משליטה מיהרו לנטוש את הספינה. בעודם חותרים בסירת ההצלה ומתרחקים מחבית חומר הנפץ הבוערת שהייתה ספינתם, צעקו הימאים הצרפתיים לצוותה של ה'אימו' שהספינה שלצדם היא מלכודת מוות מהגהנום. לרוע המזל, אף אחד על ה'אימו' לא ידע צרפתית. בנוסף, המון-בלאן לא נשאה שום דגל, שלט או סימון אחר שיתריע מפני המטען הקטלני שכעת בער על סיפונה.

רשויות הנמל של האליפקס, שגם להם לא היה מושג על גודל הצרה, נכנסו לפעולה. ספינות כיבוי נשלחו להתיז מים על המון-בלאן וכוחות הצלה התרכזו על הרציפים, מוכנים לקלוט נפגעים אם יהיו. מאות צופים סקרנים התגודדו משני גדות התעלה. בינתיים הספיקו מלחי המון-בלאן להגיע אל חוף מבטחים וברחו כל עוד נפשם בם, מקווים להתרחק מהמקום

מהר ככל שרגליהם יוכלו לשאת אותם. בדרך חלפו ליד תחנת רכבת ופגשו את וינס קולמן (Coleman), אחד הפקחים. הם הצליחו להסביר לו במה מדובר ווינס החל בורח אף הוא. כעבור רגע, עם זאת, נזכר הפקח שבעוד כמה דקות אמורה רכבת עמוסה במאות נוסעים להגיע לתחנה. הוא היסס, ואז פנה לאחור ורץ בחזרה אל המשרד.

בתשע וארבע דקות התפוצצה המון-בלאן. זה היה הפיצוץ מעשה ידי אדם הגדול ביותר בהיסטוריה עד אז, והפיצוץ הלא-מכוון ביותר בהיסטוריה מאז ועד ימינו. שני קילומטרים רבועים של שטח עירוני ליד הנמל שוטחו לחלוטין. הנזק היה כה מוחלט עד שאנשים שגרו במקום כל חייהם לא יכלו לזהות את המקום שבו עמד פעם ביתם. 1500 איש נהרגו במקום שבו עמדו. גל ההדף של הפיצוץ, שעצמתו הייתה כחמישית מזו של הפצצה שהוטלה על הירושוימה, טלטל ספינות שהפליגו בים במרחק של כשלושים קילומטרים. חלק מהעוגן של המון-בלאן, חתיכת מתכת במשקל של כחצי טון, הועף למרחק של ארבעה קילומטרים. הפיצוץ העז הרים גל צונמי בגובה 18 מטר ששטף את שני צדי התעלה. אנשים ששרדו את הפיצוץ עצמו טבעו תחת המים הגועשים, המומים מכדי לנסות ולהציל את עצמם. בכל רחבי

האליפקס נפלו מנורות גז ותנורים שחיממו את הבתים בדצמבר הקר, ושרפות ענק כילו שכונות שלמות. עוד חמש מאות איש נהרגו בדלקות.

כתשעת אלפים איש נפצעו בדרגות חומרה שונות. אחת הפציעות הנפוצות ביותר הייתה פגיעת עיניים: רבים צפו במאמצי הכבאים מבעד לחלונות ביתם כשהתפוצצה המון-בלאן, ושברי הזכוכית מהחלונות פצעו מאות בני אדם. עשרות מהם התעוורו לתמיד. בשנים שלאחר מכן הפכה האליפקס למרכז עולמי לטיפול בפציעות עיניים כתוצאה מהאחוז הגבוה יחסית באוכלוסיה שסבל מהן.



איור 65: מבט על העיר האליפקס, יומיים לאחר הפיצוץ

וינס קולמן, פקח הרכבת, נהרג במשרדו - לא לפני שהספיק לשלוח מסרים בהולים לכל הרכבות הנכנסות והורה להם לעצור במקומן. חייהם של מאות נוסעים ניצלו בזכות הגבורה וההקרבה העילאית של פקח רכבת אחד. קולמן נחשב עד היום לאחד הגיבורים הגדולים של קנדה.

תאונות עלולות לקרות ופיצוצים מקריים אינם כה נדירים. אחת העובדות המעניינות שכל כבאי מכיר, אבל הציבור הרחב כמעט ולא, היא שכל חומר דליק שמוקף בכמות גדולה של חמצן מסוגל להתפוצץ. זו אחת הסכנות הגדולות במפעלים לטחינת קמח, למשל. כן, שמעתם נכון - גם קמח מסוגל להתפוצץ. קמח הוא חומר אורגני וכשטוחנים אותו לאבקה דקה הגרגירים הזעירים מסוגלים לרחף באוויר זמן רב. אם עובד לא זהיר מצית גפרור ברגע הלא-נכון, האבקה מתחילה לבעור. כיוון שהגרגירים קטנים ומוקפים בחמצן מכל הכיוונים, התגובה הכימית מתרחשת במהירות אדירה ויכול להיווצר פיצוץ.

פיצוצי קמח, תירס טחון ואבקות דומות נתנו השראה לפיתוח פצצות רבות עצמה המכונות 'פצצות דלק אוויר'. פצצת דלק אוויר היא בעיקרון מיכל גדול של חומר דליק שנזרק ממטוס. ברגע המתאים מופעל מטען זעיר אשר מפזר את הדלק והופך אותו לענן דק

של חלקיקים קלים המרחפים באוויר. שבריר שניה לאחר מכן מופעל נפץ, וגל הבעירה מתפשט בתוך הענן. מהירותו של גל ההדף בפצצת דלק אויר נמוכה יותר מזו של חומר נפץ מרסק קלסי, אבל האנרגיה שבפצצה גבוהה יותר באופן משמעותי: חנ"מ הוא תערובת של מקור אנרגיה וחומר מחמצן, בעוד שפצצת דלק אוויר מכילה את מקור האנרגיה בלבד. החומר המחמצן נמצא באוויר שמסביב.

פצצת דלק אוויר יעילה בעיקר מעל אזורים סגורים כמו בונקרים ומנהרות, שם הנזק של גל ההדף האדיר בא לידי ביטוי. היא אינה מוצלחת בתור פצצה לשימושים נפוצים יותר. בכל זאת, קשה להתמודד עם פצצת דלק אוויר במונחים של עצמה גולמית. למעשה, הפצצה החזקה ביותר בעולם כיום היא פצצת דלק אוויר רוסית שמקורותיה, עד כמה שהדבר נשמע מוזר, דווקא במלחמת המפרץ של שנת 1991.

סדאם חוסיין איים על האמריקנים, כזכור, בשחזור 'אם כל המלחמות' - קרב מפורסם אשר התחולל בקדישיה בשנת 637 לספירה, אז הביסו המוסלמים את הפרסים. התגובה האמריקנית לא אחרה לבוא. בזמן שיא של תשעה חודשים פיתחו מהנדסי הצבא את הפצצה הגדולה ביותר אי פעם: מפלצת במשקל

של עשרה טונות אשר קוטר הפיצוץ שלה היה כמאה וארבעים מטרים. המהנדסים כינו אותה, כמחווה לדיקטטור העירקי, The Mother of All Bombs, 'אם כל הפצצות', או בקיצור MOAB. מאוחר יותר דאג מישהו בצבא האמריקני למצוא לראשי התיבות MOAB משמעות מהוגנת יותר, משהו כמו ה'מקלע האחיד הגדודי' שלנו, המא"ג, קיצור של Machine Gun. לרוע מזלם של המהנדסים ושל סדאם, הניצחון העירקי הצפוי הפך עד מהרה ל"אם כל הנסיגות", ולמרות המהירות שבה פותחה הפצצה, לא נעשה בה שימוש במלחמה.

כשהחליטו המהנדסים הרוסים לפתח פצצה גדולה משל עצמם, הם בחרו בטכנולוגיית דלק אוויר. התוצאה הייתה פצצה חזקה פי ארבע מה-MOAB האמריקנית. הפצצה הרוסית זכתה לשם FOAB, או Father Of all Bombs. טוב לדעת שהאחראיות על פיתוח הפצצות האדירות של שתי המעצמות הגדולות בעולם מופקדת בידיהם של אנשים רציניים ובוגרים...

17. כמו לשרוף את המונה

ליזה: על הנפט

אלו תמונות קופצות לכם לראש כשאתם שומעים את המילה 'נפט'? תנו לי לנחש: קורמורנים מסכנים מכוסים בנוזל שחור וסמיך מכף רגל ועד קצה המקור; עשן אפור ומסריח שנפלט מארובה של בית זיקוק; שייח'ים סעודים שוחים בכסף; גזים מהאגוז; זיהום; רוע; מוות.

אם אלו הדימויים שנקשרו גם אצלכם למושג 'נפט', קשה להאשים אתכם. בשלושים השנים האחרונות הנפט זוכה ליחסי ציבור איומים ונוראים. אני חשוף לתקשורת כמו כולם, אבל אינני מצליח להיזכר בכתבה עיתונאית אחת שמדברת על הנפט במונחים חיוביים. לכל היותר אנחנו שומעים שמנייה כלשהי זינקה במאתיים אחוזים לאחר שמישהו גילה כתמים שחורים על הרצפה בחדר המדרגות שלו.

זה בסדר שלא לאהוב את הנפט. לגיטימי אפילו לשנוא את הנפט, במיוחד אם אתה במקרה קורמורן.

אבל כדי לשנוא משהו, כדאי להכיר אותו קודם. לפתח דעה נחרצת על נוזל כל כך חשוב לכלכלה העולמית בלי להבין באמת במה מדובר, זו לא חכמה - במובן המילולי של הביטוי. במאמר זה אציג בפניכם את הנפט מזווית אחרת, מאוזנת יותר מזו הנפוצה בתקשורת היומיומית. אני בטוח שלאחר שתסיימו לקרוא אותו לא תרוצו להצטרף לקבוצת האוהדים של חברת British Petroleum בפייסבוק, אבל לכל הפחות תזכו בהערכה נכונה יותר לגבי חשיבות החומר המרתק.

יש קבוצה נוספת של אנשים שרוצים מאוד שתדעו שלנפט יש שימושים נוספים, חוץ מלזהם את כדור הארץ. אלו הם הפטרוכימאים: הכימאים שמתמחים בנפט. אמנם שני שלישי מהנפט הגולמי הולכים, בסופו של דבר, למנועים של מכוניות ולגנרטורים - אבל מבחינתם, מדובר בבזבז מדהים. הנפט הוא נוזל רב גוני ושימושי כל כך, עד שלהשתמש בו רק בכדי להפיק ממנו אנרגיה, כפי שהגדיר זאת אחד ממנהלי חברות הנפט, זה כמו לשרוף את ה'מונה ליזה' בכדי לחמם את הבית. מאותם אחוזים בודדים של הנפט הגולמי שלא הופכים לדלק עבור מכוניות או מטוסים, הפטרוכימאים מפיקים אלפי חומרים סינתטיים שקשה לדמיין איך היינו חיים בלעדיהם.

צבעים, למשל; אספירין נגד כאבי ראש; מיתרי גיטרה; עדשות מגע; דיסקים; אצטון; צמיגי מכוניות; ואפילו קוביות לגו. הרשימה המלאה תהיה ארוכה כאורך הגלות, אבל מספיק לנקוב בשם אחד: פלסטיק.

פלסטיק נמצא בכל מקום, וכמעט כל סוגי הפלסטיק מופקים מתוצרי נפט. תרימו את הראש ותסתכלו סביב - אני בטוח שתוכלו בקלות לזהות לפחות עשרה מוצרים המכילים פלסטיק ברדיוס של כמה מטרים מכם. איך היו החיים שלנו נראים בלעדי הפלסטיק? נכון, אפשר היה לבנות את השלט של הטלוויזיה מעץ, את השקעים בקירות מאבן ואת המזרקים בבית החולים מזכוכית - אבל היינו מרגישים את זה בכיס, ללא ספק. פלסטיק הוא חומר גלם חזק, נוח לעיבוד וזול באופן יחסי. לא קל להחליף אותו בחומרים אחרים, גם בשעה שאנו ערים לזיהום הסביבתי החמור שהוא גובה מאיתנו. חלק גדול מהשגשוג הטכנולוגי והעלייה ברמת החיים שלנו הם תודות לחומרים פלסטיים - ובעקיפין, תודות לנפט.

פחמימן, Hydrocarbon, היא מולקולה שמכילה רק שני סוגי אטומים: פחמן ומימן. פחמן הוא מבין האטומים הבודדים שמסוגלים ליצור שרשרות

ארוכות של עצמם: פחמן מתחבר לפחמן שמתחבר לפחמן, וכן הלאה. אטומי המימן בפחמימן תלויים על הקף השרשרת כמו ענבים מסביב לענף של גפן. ההבדל בין כל שני סוגי פחמימנים הוא באורך השרשרת. אם השרשרת מכילה שלושה אטומי פחמן נקבל את גז הפרופאן. ארבעה אטומי פחמן ייצרו את מולקולת הבוטאן, גז הבישול. 'שרשרת' של פחמן יחיד היא מולקולה של מתאן הגז הריחני שנפלט ממערכת העיכול שלנו... סליחה, ממערכת העיכול של גברים בלבד, כמובן.

כל זה טוב ויפה, אבל מדוע אני מספר לכם על הפחמימנים? מיד תבינו. אם ניקח אחד מאטומי המימן של הפחמימן ונחליף אותו בקבוצת אטומים אחרת, החומר שנקבל יהיה בעל תכונות שונות מאוד מאלו של הפחמימן המקורי. למשל, אם נחליף את אחד המימנים שתלויים על השרשרת, במולקולה קטנה של חמצן ומימן - מולקולה בשם 'הידרוקסיל' - נקבל אלכוהול. הסוג הספציפי של האלכוהול שנקבל יהיה תלוי באורך השרשרת המקורית: מפחמן בודד נקבל מתנול. משני פחמנים - אתנול, וכן הלאה. יש אינספור וריאציות אפשריות על הרעיון הבסיסי הזה, כמו הוספה של שתי מולקולות הידרוקסיל, שלושה או יותר. אולי בכלל נחליף את ההידרוקסיל במולקולה

אחרת לגמרי - משהו עם גפרית, או חנקן, או יסוד אחר. המגוון האדיר של חומרים שניתן להפיק באמצעות שינויים קטנים, הוא הסיבה לכך שהפחמימנים הם הבסיס של כל הכימיה האורגנית: הכימיה של הייצורים החיים.

אותו המגוון הוא גם סוד כוחו של הנפט. הנפט הוא שם כולל לתערובת מגוונת מאוד של פחמימנים: ניתן למצוא בו שרשרות פחמן מכל האורכים כמעט, ממולקולות קלות כמו מתאן ופרופאן ועד לפחמימנים עם עשרים אטומי פחמן ויותר. מכל פחמימן שכזה ניתן להפיק חומרים שונים ומשונים באמצעות החלפות פשוטות של אטומי המימן עם קבוצות אחרות של אטומים. את השרשרות בעלות חמישה עד שבעה אטומי פחמן ניתן, למשל, להפוך לנוזלי ניקוי וממיסים. משרשרות של שניים עשר פחמימנים נפיק בנזין. ככל שנטפס בסולם הפחמימנים נקבל נוזלים ומוצקים כבדים יותר דוגמת דיזל, זפת ואספלט. מכל חבית נפט ניתן לזקק ולהפיק עשרות ומאות כימיקלים לאינספור שימושים ויישומים שונים. כעת ניתן להבין מדוע נחמץ ליבם של הפטרוכימאים כשהם רואים מיליוני ליטרים של נפט נבלעים בתוך מנועי בעירה פנימית, בכל שניה, בכל העולם. איזה בזבז!

הנפט מוכר לאנושות עוד מימי קדם: פה ושם הנוזל השמנוני והשחור היה בוקע באופן טבעי מתוך האדמה. זהו גם מקור שמו הלועזי של הנפט, Petroleum: פטרה - סלע, כמו הסלע האדום בירדן, ואולאום - שמן בלטינית, כלומר שמן הסלע. על אף שכבר בימי בבל ואשור נמצאו לנפט שימושים שונים כמו איטום ספינות או קירות בתים, רק בתחילת המאה ה-19 הצליחו הכימאים לגלות כיצד ניתן להפריד את הנפט למרכיביו השונים ולזקק ממנו חומרי דלק לתאורה, למשל. פה ושם נקדחו בארות נפט ראשונות והוקמו בתי זיקוק פשוטים - פולין, דרך אגב, הייתה מעצמת נפט רצינית באותם ימים - אבל נקודת המפנה האמתית בהיסטוריה של 'הזהב השחור' הגיעה תודות לעקשנות יוצאת דופן של פקח רכבות מובטל.

באמצע המאה ה-19 שמן לפנסי תאורה הופק משומן לווייתנים. לווייתנים, כמקור לחומר גלם בעייתיים במקצת בעיקר בשל נטיית הטבעית שלא להפוך מרצונם לחומר גלם. תהליך חדשני שנתגלה באותם הימים יכול היה להוות פתרון מצוין לבעיה הזו: זיקוק קרוסין מתוך הנפט. קרוסין הוא חומר דלק מצוין עבור הפנסים כיוון שפחות עשן שחור נוצר בזמן הבעירה ביחס לשומן לווייתנים. התגלית הזו הביאה

לעליית הביקוש לנפט, אבל אספקת הנפט הייתה מוגבלת מאוד: כל הנפט היה מופק אז אך ורק מנביעות טבעיות שבקעו מבטן האדמה. נביעות אלה היו נדירות למדי, ורק כמה עשרות חביות נפט הופקו בכל שנה בעולם כולו.

אדווין דרייק (Drake) נולד בניו-יורק בשנת 1819. את רוב הקריירה שלו השקיע בתחום הרכבות: הוא היה סוכן נסיעות, פקיד משרדי ופקח. בשנת 1857, כשהיה כבר לקראת שנתו הארבעים, החליט דרייק לעזוב את הרכבת ולחפש לעצמו עתיד חדש.



איור 66: אדווין דרייק

באחד מנדודיו פגש דרייק שני אנשי עסקים, הם לנו במקרה באותו בית המלון שבו שכן. השניים הקימו חברה חדשה בשם Seneca Oil וחיפשו מישהו שיעבור ברחבי המדינה וייחפש נביעות נפט חדשות ובלתי מוכרות. אדווין דרייק היה בדיוק האיש שהיו זקוקים לו: אמנם לא היה לו ניסיון מעשי בחיפוש נפט, אבל היה לו כרטיס נסיעה חופשי ברכבת.

בשנת 1858 נשלח אדווין, 'קולונל דרייק' - כינוי החיבה שזכה בו בסנקה, למרות שמעולם לא שירת בצבא - למחוז טיטוסוויל בפנסילוניה. האזור היה ידוע בעושר של נביעות נפט ובסנקה קיוו שדרייק יצליח לאתר כמה מוקדי נפט חדשים. ההתחלה לא הייתה מעודדת: על אף כל מאמציו של קולונל דרייק, הוא הצליח להפיק רק כמה ליטרים בודדים של נפט בכל יום מהנביעות הטבעיות. דרייק ניסה לזרז את נביעת הנפט על ידי חפירת שוחות, אבל ללא הצלחה. המצב היה עגום למדי.

בצר לו, החליט קולונל דרייק לפנות לכיוון שונה לגמרי - תרתי משמע. הוא ידע שכורים שחפרו בקרקע כדי לאתר מרבצי מלח התלוננו שלפעמים נפט היה חודר לתוך הקידוחים שלהם והורס את המלח. אדווין רצה להשתמש בשיטות של כורי המלח כדי למצוא נפט, אבל נדרשה לו כמעט חצי שנה עד

שהצליח לאסוף את ציוד הקידוח המתאים: מנוע קיטור גדול, מקדחה, ראש קידוח ועוד. בזמן הזה הלך והצטמצם התקציב שנתנה לו חברת סנקה... עד שלבסוף אזל כל הכסף. דרייק ניסה לשכנע את בעלי החברה שימשיכו לממן את ההכנות לקידוח, אבל הם סירבו.

קשה לראות איך מצבו של דרייק יכול היה להיות עגום יותר משהיה באפריל, 1859. החברה שמימנה אותו, נטשה. התושבים המקומיים לגלגו על יומרתו האבסורדית. היה נפט באזור, זה בטוח, אבל מי יודע איפה בדיוק צריך לקדוח כדי למצוא נפט, ולאיזה עומק? כולם החלו מכנים אותו 'קרייזי אדי'. אבל אדווין דרייק לא היה משוגע - רק עקשן. הוא לא ידע מתי להפסיק. שנים רבות מאוחר יותר העקשנות הזו תגרום לו להפסדים ענקיים שיביאו אותו לפשיטת רגל, אבל בינתיים לקולונל דרייק היה בור לחפור, וזה מה שהיה חשוב.

הוא המשיך לממן את ההכנות לקידוח מכספו הפרטי ואף לקח הלוואות על שמו. במאי 1859 החלו הפועלים, סוף סוף, לקדוח בקרקע. הצרות לא הפסיקו - ואפילו להפך. בשלב מוקדם יחסית פרצה דלקה בתוך המנוע שהניע את המקדחה ורק במאמצים רבים הצליח דרייק להציל אותו ולהשיבו

לפעולה. עד מהרה נתגלתה בעיה חדשה וחמורה: מים חדרו לתוך הקדח ומוטטו את דפנותיו. דרייק חשב וחשב, והגה פיתרון מקורי: הוא השחיל צינור מתכת ארוך וחלול, עשוי חוליות, אל תוך הבור והמשיך לקדוח בתוך צינור המתכת. הטכניקה שהמציא דרייק הייתה מוצלחת כל כך, עד שהיא משמשת את קודחי הנפט גם בימינו. לרוע מזלו, דרייק לא רשם פטנט על הטכניקה הזו, עובדה שתתרום אף היא לטרגדיה הכלכלית שלו בהמשך.

הימים חלפו. אחר כך השבועות. והחודשים. הקדח הלך והעמיק: עשרה מטרים, חמישה עשר מטרים, עשרים מטרים. ועדיין, לא היה סימן לנפט. רק העקשנות הבלתי מתפשרת של דרייק גרמה לו להמשיך ולקדוח בזמן שכולם מסביבו פשוט ריחמו עליו. לקראת סוף אוגוסט, הפרוייקט כולו נראה אבוד. בעשרים ושבעה באוגוסט הגיע המקדח לעומק של עשרים ואחת מטרים. עוד יום עבודה הסתיים ללא תוצאות, וכולם הלכו הביתה.

למחרת בבוקר הגיע אחד הפועלים אל הקידוח, הציץ לתוך הבור ונדהם לגלות נוזל שחור עולה ועולה בתוך צינור המתכת. נפט! המון נפט!

למן ההתחלה הפיקה באר הנפט של דרייק עשרים וחמש חביות ליום. חברת סנקה חזרה לעניינים, כצפוי, והחלה משווקת את הנפט לתעשיין מקומי שזיקק ממנו את הקרוסין יקר הערך. תוצר לוואי של תהליך הזיקוק היה נוזל בשם בנזין. הוא נזרק לפח כיוון שלא היה מה לעשות איתו.

בהלה לנפט פרצה בפנסילוניה. מחירי הקרקעות של אזורים עשירים בנפט זינקו במאות אחוזים. בתוך שנים ספורות צצו עשרות ומאות בארות נפט והתפשטו למדינות אחרות דוגמת טקסס וקליפורניה. כולם השתמשו בטכניקת צינור המתכת שהמציא אדווין, כזכור, היא לא הייתה מוגנת על ידי פטנט. לפתע פתאום הוצף השוק בהצע אדיר של נפט, אלפי חביות בכל יום. הביקוש, לעומת זאת, היה עדיין נמוך מדי, ובנוסף לא היו בתי זיקוק שיעבדו נפט רב כל כך. עד מהרה התפוצצה הבועה הכלכלית הזו: מחירו של הנפט צנח מעשרים דולר לחבית, לכמה עשרות סנטים בודדים.

המפסיד הגדול מכל העסק היה, כפי שוודאי ניחשתם, קולונל דרייק. את כל הכסף שהרוויח מבאר הנפט שלו השקיע בהימורים בבורסה על מחירה העתידי של חבית נפט וכשהשוק הוצף בנפט זול, איבד דרייק את כל כספו ושקע בעוני. למזלו, מדינת

פנסילוניה לא שכחה אותו. המדינה שהרוויחה הררי כסף בזכות עקשנותו הבלתי מתפשרת של דרייק זכרה לו חסד נעורים. החל משנת 1873 העניקה לו פנסיוולניה פנסיה חודשית נאה של 1500 דולרים עד מותו בשנת 1880. שוק הנפט התאושש בהמשך, בעיקר לאחר שהנרי פורד החל בייצור המוני של אוטומובילים זולים. בשנת 1906 כבר הופקו למעלה ממאה ועשרים מיליון חביות נפט בכל שנה. היום, רק לשם ההשוואה, העולם צורך אותה כמות נפט - בכל יום! אדווין דרייק יכול, דרך אגב, לזקוף לעצמו תקדים ראשון נוסף מסוגו בתעשיית הנפט. אחד הפועלים שלו נכנס אל הצריף שבו אוחסנו חביות הנפט... עם מנורת קרוסין. הדלקה שפרצה במקום, שרפת באר הנפט הראשונה בהיסטוריה, כילתה את מנוע הקיטור, את החביות ואת הצריף כולו.

נפט גולמי מגיע במגוון צורות, צבעים ואפילו 'טעמים' שתלויים בעיקר באזור הגאוגרפי שממנו נשאב. יש בארות שמפיקות נפט סמיך כזפת ואחרות שמפיקות נפט 'קל' כמו מרקם הבנזין. צבעו של הנפט הגולמי הוא ירוק כהה עד שחור בדרך כלל, אבל הוא גם יכול להיות כמעט שקוף. גם כמות הזיהומים שהנפט הגולמי מכיל משתנה משדה לשדה: נפט שמכיל פחות מאחוז אחד של גפרית הוא נפט 'מתוק', ואחוז

גבוה יותר של גפרית יהפוך אותו לחמוץ. ככל שהנפט קל ונקי יותר, תהליך הזיקוק שלו פשוט יותר. זו הסיבה שנפט מתוק וקל, כמו זה שמופק בטקסס למשל, יקר יותר מהנפט הכבד והחמוץ של רוסיה.

כשנפט גולמי מגיע לבית הזיקוק, מתחיל תהליך ההפרדה למוצרים שונים. בתחילה מפרידים את הדלקים הכבדים, בעלי שרשרות הפחמנים הארוכות, מהדלקים הקלים יותר. הדלק הקל מיועד למכוניות, הכבד יותר למטוסים או להסקה, והכבד ביותר לזיפות גגות ולסלילת כבישים.

חלק מהתוצר עובר מבית הזיקוק למפעלים הפטרוכימיים, וכאן מתרחש הקסם האמיתי של המרת הנפט למוצרים מתקדמים יותר. הכימאים נעזרים בקיטור לווהט ובאמצעים נוספים כדי לפרק את השרשרות הארוכות לחלקים קטנים יותר, ותוצרי הפירוק עוברים תהליכים כימיים נוספים עד שהם הופכים למוצר הסופי. למשל, הנפט מזוקק לנפט, שהופכת לבנזן, שמומר לציקלוהקסן, שמפורק לחומצה אדיפית שמתרכב עם חומצה אחרת ליצירת... חומר שכולנו מכירים היטב. חומר בעל תכונות כה נפלאות, עד שהוא גרם לנשים עדינות ומטופחות לשרוט זו את זו ולמשוך בשערות בניסיון להשיג אותו. מיד תבינו.

דיכאון הוא מחלה אכזרית. הסובלים מדיכאון קליני מספרים על תחושת הריקנות האיומה ועל חוסר היכולת ליהנות, לשמוח ולקיים שגרת חיים נורמלית. לדוק' וולס קרוט'רס (Carothers) הייתה סיבה לשמוח בשנת 1937: שנים ספורות קודם לכן הוא גילה תהליך כימי מהפכני ופורץ דרך אשר סלל את הדרך ליצירת סיבים בעלי תכונות מופלאות. הוא נבחר כחבר באקדמיה הלאומית למדעים, כבוד גדול לכל מדען אמריקני. הייתה לו רעיייה צעירה ונאה ובת שנולדה רק ארבע חודשים קודם לכן.

אבל הדיכאונות האיומים שמהם סבל דוק' קרוט'רס עוד מילדותו, מנעו ממנו ליהנות מכל אלה. הוא חש שחייו ריקים מתוכן וחסרי מטרה. באחד מימי חודש אפריל נעל את עצמו בתוך חדר בבית מלון, שנה מיץ לימון ובלע כדור ציאניד. קרוט'רס היה כימאי מצוין, עד הרגע האחרון: הוא ידע שהחומצה החזקה שבמיץ תאיץ את השפעתו של הציאניד על הגוף, והוא צדק.



איור 67: דוק' וולס קרות'רס

באותה התקופה היו כמה אנשי עסקים שדווקא הייתה להם סיבה טובה להיות מדוכאים. חברת דופו (DuPont) נוסדה בשנת 1802 וצמחה להיות ענק כימיה בקנה מידה עולמי. תחילת שנות השלושים של המאה העשרים לא היו טובות עבורה. דופו ייצרה, בין היתר, חומרי נפץ עבור הצבא האמריקני. ועדה של בית הנבחרים קבעה שבמלחמת העולם הראשונה מכרה החברה את חומרי הנפץ לצבא במחיר מופרז מאוד והתחושה בציבור הייתה שדופו 'סוחרת מוות' שמרוויחה על חשבונם של החיילים הגיבורים. התדמית הציבורית שלה הייתה בשפל המדרגה.

כפי שהסתבר בהמשך, דופו של 1934 הייתה צריכה להודות למנהלים שעמדו בראשה בשנת 1926. הם קיבלו אז החלטה מאד לא שגרתית: להקים מעבדה שתעסוק במדע טהור, כזה שאינו מושפע משיקולים עסקיים. התקווה הייתה שביום מן הימים ניתן יהיה לנצל את הפיתוחים שייצאו מהמעבדה למוצרים מסחריים, אבל לא היה שום ביטחון שמשו שייצא מהמעבדה הזו יהיה שימושי בעתיד הנראה לעין.

דופו פנתה אל ד"ר וולס קרות'רס, אחד החוקרים המצוינים ביותר באקדמיה, והציעה לו לנהל את המעבדה. קרות'רס סירב. הוא סבל, כאמור,

מהתקפי דיכאון חוזרים ונשנים וחשש שלהתקפים הללו תהייה השפעה הרסנית מאוד בסביבה העסקית התחרותית של דופו. בדופו לא ויתרו: הם הציעו לו משכורת כפולה מזו שהרוויח באקדמיה, והחוקר לא היה יכול לסרב.

קרות'רס וצוות המעבדה החלו חוקרים נושא שהיה שנוי במחלוקת בקרב הכימאים באותה התקופה: סיבים מלאכותיים. רבים האמינו אז שסיבים אורגניים כמו משי עשויים ממולקולות מורכבות מאוד, ושיהיה קשה - אם לא בלתי אפשרי - ליצור סיבים שכאלה באופן מלאכותי. קרות'רס וכמה כימאים נוספים לא הסכימו עם קביעה זו. הם האמינו שסיבים הם בסך הכול שרשרות ארוכות של מולקולות פשוטות, או 'פולימרים'. ('פולי' = 'הרבה', 'מר' = 'חלק' - פולימר הוא 'חלקים רבים'). קרות'רס החליט להוכיח את הטענה הזו באמצעות בנייה מהיסוד של מולקולה ארוכה שכזו, באמצעים מלאכותיים בלבד.

זה לקח ארבע שנים ארוכות וקשות, אבל ב-1930 חלה פריצת הדרך. אחד מעוזריו של קרות'רס הכניס מקל לתוך דלי שבו עמדה עיסה דביקה ונוזלית של חומר פלסטי, שכאמור הופק מנפט. כששילף את המקל החוצה נמשכו מהדלי סיבים ארוכים ודקים שהתקשו במהירות. העוזר ניסה לקרוע אותם, אבל

הסיבים לא נכנעו בקלות: הם התנגדו לעומס וכמעט חתכו את אצבעותיו. זה היה פולימר פלסטי ראשון מסוגו, סיב מלאכותי חזק ויציב אך עם זאת גמיש מאוד.

קרות'רס הוכיח את צדקתו והחליט לעבור הלאה ולעסוק בתחומים חדשים ומאתגרים. בדופו, לעומת זאת, קיוו להוציא כמה דולרים מההשקעה הגבוהה במחקר התאורטי. עשרות מהנדסים ולבורנטים ניסו להפוך את הסיב החדש למוצר שניתן למכור אותו, אבל זה לא היה קל: הסיבים לא היו יציבים מספיק בחום גבוה, וכל אריג שיהיה עשוי מהם ייהרס בכביסה או בגיהוץ הראשון.

בשנת 1934 נתבקש ד"ר וולס קרות'רס לחזור ולעבוד על הסיב הסינתטי החדש כדי לשפרו ולהפוכו למוצר מוגמר. בתום שלוש שנים נתקבלה התוצאה הסופית - סיב משופר ועמיד גם בטמפרטורות גבוהות. הסיב החדש כונה 'סיב 66', שם קוד שרמז גם על המבנה שלו. הוא מורכב משתי מולקולות - כל אחת שרשרת פחמימנית המכילה שישה אטומי פחמן המתחלפות זו עם זו כדי ליצור שרשרות ארוכות ויציבות. החיבור בין המולקולות נעשה באמצעות מולקולה קטנה בשם 'אמיד', ולכן השרשרת כולה קיבלה את השם 'פוליאמיד'.

התגלית הזו הייתה הסיב הנכון, בזמן הנכון. עד להמצאת הסיב, הגיע המשי מהמזרח הרחוק, וארצות הברית קיבלה משי בעיקר מיפן. אבל לאורך שנות השלושים הלכה וגברה המתיחות בין שתי המעצמות הללו - ואתה פחת גם ייבוא המשי. 'סיב 66', ידעו בדופו, הוא התחליף המושלם למשי היפני.

היה מוצר אחד ספיציפי עשוי משי, שהיה בעל חשיבות אדירה בעיני האמריקנים - או ליתר לדיוק, בעיני האמריקניות: הגרביונים. גרביוני משי הם עדינים, מלטפים ומחטבים... זאת אומרת, ככה אומרים לי. זה לא שיש לי מושג באמת. הרי זה ממש בלתי אפשרי להשיג גרביונים במידה שלי. אם... הייתי... מחפש גרביונים במידה שלי, זאת אומרת.

בכל אופן, גרביוני משי היו גם נעימים וגם חזקים, והיו מפתחים מעט מאוד 'רכבות', אותן שריטות לא נעימות על הבד. בדופו החלו מיד לעבוד על ייצור גרביונים מ'סיב 66' תוך שמירה על סודיות גמורה. היו מי שטענו, ברצינות גמורה, שהעבודה על הגרביונים בדופו הייתה חשאית יותר מהעבודה בפרויקט מנהטן לבניית פצצת האטום הראשונה. במקביל חיפשו בדופו שם מסחרי מוצלח לסיב החדש. הוקמה ועדה מיוחדת שהגתה לא פחות מארבע מאות שמות לחומר הפלא החדש, ביניהם

'דופרו' (Run-ו') 'NoRun', בסלנג, היא רכבת בגרביונים). השם שתפס, בסופו של דבר, היה... 'ניילון'.

על אף החשאיות, החלו מתפשטות שמועות ברחוב האמריקני על המצאה חדשה שעומדת 'להרוג את המשי'. כתבות בעיתונים דיווחו על סיב פנטסטי וחזק כמו פלדה שממנו אפשר ליצור גרביונים רכים וללא רכבות. השמועות הללו יצרו דילמה אצל דופו. מצד אחד התקשורת הנלהבת יצרה לחברת דופו יחסי ציבור נפלאים וקידמה את המכירות באופן פנטסטי. היא אפשרה לדופו להעביר את המסר העיקרי שלה: 'המדע מסוגל לחקות ולהתעלות על חומר פראי ויפה כמו משי'. הנשים לא הפסיקו לדבר על הניילון. קשה לכמת במספרים או לתאר במילים עד כמה העניין הפעוט הזה, רכבות בגרביונים, הפריע לנשים האמריקניות. אני מתנצל מראש אם המאמר הזה מקבל נימה מעט שוביניסטית, אין זו הכוונה כלל - אבל נראה שצריך להיוולד בלי כרומוזום Y כדי לתפוס באמת את החשיבות הרכבות בגרביונים, ואולי עוד כמה דברים משונים כמו הכורח הכמעט ביולוגי ללכת לשירותים בזוגות. מצד אחר, בדופו ידעו שהניילון אינו מסוגל באמת לעשות את כל הדברים הללו. הוא אמנם חזק, אבל לא כמו פלדה -

וגרביונים עשויים מניילון בהחלט עלולים לפתח רכבות כעבור זמן. הניילון אינו מושלם. היו כמה מהנדסים בדופו שניסו להסביר את העניין לעיתונאים, אבל ללא הצלחה יתרה.

דופו הציגה את גרביוני הניילון לעולם בסדרת תערוכות וירידים בשנים 1937-1938. החברה הציגה כמה פיתוחים חדשניים נוספים תחת הססמה השיווקית 'חיים טובים יותר באמצעות הכימיה', אבל גרביון הניילון האפיל על כל שאר המוצגים. נשים צעירות וחטובות עלו על במות מוגבהות והתהלכו בחצאיות קצרות בגרביונים לרגליהם, וכל הנשים בקהל - ונראה שגם הגברים - הוקסמו. נזירה שצפתה בתצוגה הייתה אפילו מוכנה לוותר על עקרונות המוסר שלה לטובת הגרביון, וטענה בלהט שמותר ורצוי לדוגמניות להתהלך באופן כה חושפני - שהרי אי אפשר להציג את ההמצאה המדהימה הזו באופן אחר.

בשנת 1938 הציגה דופו את המוצר המסחרי הראשון שהיה מבוסס על הניילון: מברשת שיניים שסיביה היו עשויים מניילון במקום משערות של בעלי חיים, כפי שהיה מקובל עד אז. הגרביונים הגיעו לחנויות ב-1939, ומיד החלה הסתערות אדירה עליהם. ארבעה מיליון גרביונים נמכרו ביום אחד!

בעלי החנויות ההמומים תיארו את תגובת הנשים:
'עדר של תרנגולות שרצות לתוך הלול בשעת
ההאכלה'.



איור 68: נשים ממתינות בתור למכירת גרבוני ניילון,
1940

כשהחלו הלקוחות משתמשות בגרביונים בפועל, הן
גילו באופן לא מפתיע שהניילון אינו מושלם. פה ושם
החלו עולות תלונות, כמו למשל נשים שגילו שאם הן

עומדות קרוב מדי לצינור האגוז של מכונית, הגרביונים שלהם נמסים ומתפרקים. בנוסף, כמה עיתונאים גילו - באמצעות עיון בפטנטים שהגישה דופו - שאחד ממרכיבי הניילון הוא חומר המכונה 'קדברין' (cadaverine). קדברין הוא החומר שגורם לסרחון הבלתי נסבל של גופות מרקיבות. דוק' קרות'רס השתמש בו באחד מניסיונותיו המוקדמים ליצירת ניילון, אבל זנח אותו בהמשך.

העיתונאים פספסו את העובדה שהקדברין אינו קשור למעשה לניילון, והחלו להעלות השערות לגבי מקור הקדברין שבו עושה דופו שימוש, כביכול. היו מי ששיערו שהגרביונים עשויים למעשה מחלקי גופות. היו גם שמועות שזו הסיבה האמתית להתאבדותו של דוק' וולס קרות'רס, שלא היה יכול לשאת את 'האשמה' כביכול. בדופו התאמצו מאוד להסביר שקדברין אינו מופק מגופות, ושכל אופן אינו קיים בניילון - אבל בסופו של דבר, לא היה צורך בהסברים: גרביוני הניילון היו הצלחה, ורובן המכריע של הנשים היו מרוצות מאוד מהם.

לרוע מזלן של נשות אמריקה, הניילון הנפלא נלקח מהן באותה הפתאומיות שבה הגיע. בשנת 1942 הצטרפה ארצות הברית למלחמת העולם השנייה ודופו, כמו תעשיות גדולות אחרות, עברה לייצר אך

ורק עבור הצבא. הניילון שהיה אמור להפוך לגרביונים מלטפים הופנה כעת לייצור מצנחים למטוסים, כילות לחיילים ביערות הגשם המזרח-אסייתים ושימושים דומים. גם הנשים, כמו כל הציבור האמריקני, התגייסו בשמחה למאמץ המלחמתי. גרביוני הניילון הפכו למעין סמל ההקרבה האזרחית למען המולדת. האמרה המקובלת הייתה 'תורידו אותם בשביל הדוד סם'. אינספור גרביוני ניילון נאספו מהארונות ומהמדפים, מוחזרו והפכו בין היתר לגלגלי מטוסים מפציצים, שזכו לכינוי 'גרביונים מעופפים'.

אין זה אומר שהיה קל לנשים לשכוח את הגרביונים שלהם. היו נשים שצבעו את רגליהן באיפור כדי שייראו כאילו עוטות גרביונים. רמאים ממולחים מיהרו לשווק נוזלי פלא שכביכול הפכו גרביונים ישנים מסיבים נחותים לגרביוני ניילון 'אמתיים'. מחירם של זוג גרביונים בשוק השחור זינק בבת אחת: מדולר אחד בימים שלפני המלחמה, לעשרים דולר במהלכה. הגרביונים הפכו למוצר נחשק כל כך עד שבאחד המקרים חוקרי המשטרה פסלו את האפשרות שרצח מסוים התבצע לצורך שוד, כיוון שהרוצח השאיר בזירה שישה זוגות של גרביונים - והרי איזה שודד שפוי יעשה דבר שכזה?

באוגוסט 1945, עם תום הקרבות, חזרה דופו למכור גרביונים לשוק האזרחי. קשה לתאר את מה שארע כשחזרו הגרביונים למדפים. כל הלחץ שחוו הנשים במהלך המלחמה, הצורך להקריב למען המדינה, הרצון לחזור סוף סוף לחיים נורמליים... הכול תועל והתנקז לתשוקה לפיסת לבוש אחת. במקומות רבים בארצות הברית צבאו אלפי נשים על חנויות הבגדים. בפיטסבורג, למשל, נלחמו ארבעים אלף נשים על שלושה עשר אלף זוגות גרביונים שהיו בחנות. וב'נלחמו', אני מתכוון ל'נלחמו': מרפקים בצלעות, בעיטות, דחיפות, קללות, משיכות בשיער. העיתונאים המשועשעים תיארו את מהומות הניילון תוך שימוש בז'רגון הצבאי שהיה שגור עדיין בפיהם: 'מכירה של גרביונים בשיקגו! אין הרוגים'. שוטר שנאלץ לפזר מהומה אלימה במיוחד בכניסה לחנות בגדים הכריז באוזני עיתונאי 'אני מקווה שלא אראה אישה לעולם'.

היו רבים שהאשימו את דופו בכך שהיא אוגרת במכוון את הגרביונים ויוצרת ביקוש מלאכותי. בדופו דחו את הטענות הללו וטענו שהחברה מייצרת שלושים מיליון זוגות גרביונים בחודש: מספיק גרביונים לכולם. הם הפנו אצבע מאשימה לנשים שלטענתם אגרו גרביונים שלא לצורך, למשל אישה

אחת שקנתה שלושים ושישה זוגות גרביונים. בסופו של דבר, הלחץ הציבורי עשה את שלו: דופו נאלצה להעניק רשיונות ייצור של גרביוני ניילון לחברות אחרות, ההיצע עלה בהתמדה ומהומות הניילון שככו. תהליך ייצור הניילון של דופו מוגן על ידי פטנט, אבל עד מהרה גילו חברות אחרות שיטות לייצר את הפולימר הזה ואחרים שדומים לו בדרכים שונות. כיום הניילון הוא מוצר אוניברסלי שמשמש לא רק בביגוד כי אם גם בציוד ספורט, בדים לאוהלים, מיתרי גיטרה וחבלים. שקיות ניילון, דרך אגב, כמו אלו שאנחנו מכירים מהסופר - אינן עשויות מניילון אלא מפלסטיק אחר. בצורתו המוצקה, הניילון הוא גם מרכיב חשוב בתעשייה ואפשר לייצר ממנו ברגים, אומים וכולי. המשי, שלאורך כל ההיסטוריה האנושית היה מוצר נחשק ומוערך ביותר, הפך בבת אחת ללא רלוונטי. כך חולפת לה תהילת עולם.

הנפט, אם כן, הוא חלק בלתי נפרד ממארג חיינו. אפילו אם כל המכוניות שלנו יעברו לנסוע על סוללות חשמליות במקום בנזין - עדיין יהיה לנו קשה מאוד להסתדר בלעדיו. השאלה המתבקשת היא, אם כן, כמה נפט עוד נשאר לנו? רוב ההערכות מדברות על טריליון (אלף מיליארדים) חביות נפט קל אשר חביות עדיין באדמה. זה נשמע המון, אבל לא

כשלוקחים בחשבון שהעולם צורך כיום מיליארד חביות נפט בכל עשרה ימים לערך. נותרו לנו ככל הנראה אולי עשרים או שלושים שנים ליהנות מדלק זול, לאחר מכן נאלץ לעבור לשימוש בנפט ה'כבד' יותר. הפקת נפט כבד וזיקוקו יקרים יותר מנפט זול, והמחיר יעלה בהתאם.

יש לנו, אם כן, סיבות טובות מאוד לנסות ולמצוא תחליף מתאים לנפט הגולמי - נוסף על הבעיות הסביבתיות שנגרמות בתהליך ההפקה, ההובלה והשימוש בו. מסתבר שלא פשוט למצוא תחליף לנפט. איננו בטוחים ממש שאנו יודעים כיצד הוא נוצר מלכתחילה. התאוריה הסטנדרטית קובעת שמקור הנפט הוא בייצורים ימיים כמו פלנקטון ואצות. כשהפלנקטון מת ושוקע במקרה באזור שבו אין חמצן זמין שמסייע לתהליך הריקבון, השרידים הופכים לחומר דמוי שעווה המכונה 'קרוגן' (kerogen). בתנאי לחץ וטמפרטורה גבוהים בבטן האדמה, הקרוגן הופך לנפט או לגז טבעי. הנפט שוקע עד שמגיע לשכבה סלעית בלתי חדירה ומצטבר בה.

הכימאים משערים שזהו תהליך היווצרותו של הנפט כיוון שניתן למצוא בנפט מולקולות מסוימות שמגיעות אך ורק מיצורים חיים - אבל תגלית אסטרונמית

מסוימת מעלה תהיות לגבי נכונות התאוריה הזו. טיטן, ירחו של שבתאי, מכיל כמויות גבוהות של מתאן - למעשה, אגמים על גבי אגמים של מתאן. מתאן, כפי שצוין קודם, הוא פחמימן שמקורו על כדור הארץ. הוא אורגני ברובו וניתן למצוא אותו גם במרבצי נפט וגז טבעי. אבל על טיטן אין, עד כמה שאנחנו יודעים, פרות וכבשים שמפריחות מתאן מעכוזיהן או פלנקטון עתיר בפחמן שיהפוך לנפט.

התגלית הזו מדרבנת מספר מדענים לשער כי יש תהליך נוסף של היווצרות נפט - תהליך שאינו אורגני. במילים אחרות, רוב הנפט מגיע מיצורים חיים אבל חלקו נוצר בבטן האדמה בתהליכים טבעיים. התאוריה הזו, המכונה 'התאוריה הא-ביוגנית' שנויה במחלוקת ומעוררת ויכוחים רבים, ולא רק מסיבות מדעיות טהורות. אם נפט יכול להיווצר בתהליכים אי-אורגניים, אולי זה הוא אינו משאב מתכלה. אולי אפשר להמשיך ולשאוב נפט מהאדמה, לבנות סביבה את התעשייה והכלכלה שלנו ולוותר על מקורות אנרגיה 'ירוקים' ויקרים יותר כמו אור השמש, הרוח והגלים. עבור פעילי אכות הסביבה עצם העלאת האפשרות שנפט אינו משאב מתכלה, היא טאבו מוחלט עבורם.

לאמתו של דבר, התאוריה החלופית לגבי מקור הנפט אינה מעלה ומורידה דבר וחצי דבר בעניין שאלת האנרגיה הירוקה. תהליך היווצרות הנפט, גם לפי התאוריה הא-ביוגנית, דורש מיליוני שנים. גם אם מאגרי הנפט יתמלאו מחדש ביום מן הימים, זה כבר לא יהיה רלוונטי בקבועי הזמן שאנחנו, בני האדם, מתייחסים אליהם. בעוד כמה עשרות שנים נאלץ למצוא תחליף לנפט, לכל הפחות לצרכי הפקת אנרגיה. כדאי שנתחיל להתמודד עם האתגר הזה כבר היום.

18. הבריון עם הנבוט הוא בעצם משורר- על הטיות קוגניטיביות ובאגים במוח

רנה בלונדלו (Blondlot) היה פיזיקאי מכובד מאוד, חבר בכיר באקדמיה הצרפתית למדעים. בשנת 1903 הכריז רנה כי גילה קרינה מסוג חדש. מכיוון שהכינוי 'קרני X' כבר היה תפוס (אלו הן 'קרני רנטגן', כפי שהן מכונות בעברית) קרא רנה לקרינה החדשה בשם 'קרני N Rays' (N'). כמקובל במדע, מדענים נוספים ניגשו לשחזר את ניסוייו של בלונדלו.



איור 69: פרופ' רנה בלונדלו

זו לא הייתה משימה קלה. הדרך היחידה להבחין בקרני N הייתה באמצעות השפעתן על חומר זרחני: אם מעבירים את קרני ה-N דרך מנסרה, החומר היה זוהר באור חזק יותר. על אף הקשיים, כמאה ועשרים חוקרים, רובם צרפתים, דיווחו כי הצליחו לשחזר את הניסוי של בלונדלו ולהבחין בשינוי בעצמת ההארה של החומר הזרחני בתגובה להארה בקרני N. מאידך, היו גם לא מעט מדענים - בעיקר גרמנים ואנגלים - שלא הצליחו לשחזר את הניסוי. כיצד ייתכן הדבר? הרי הפיזיקה היא מדע מדויק, ושני ניסויים זהים אמורים להפיק אותה התוצאה בכל פעם. המגזין המדעי הנחשב, "Nature", ביקש לרדת לשורש העניין. עורכי המגזין שלחו אל מעבדתו של בלונדלו פיזיקאי בשם רוברט ווד (Wood), בעל מוניטין של אדם ספקן שאינו משתכנע בקלות.

ווד הצטרף לעוזר המחקר של בלונדלו כשזה ביצע את הניסוי ועד מהרה הבין במה מדובר. השינויים בעצמת ההארה של החומר הזרחני היו כה מזערניים, עד שקל היה לכל אדם לטעות ולשכנע את עצמו שהוא רואה שינוי שכזה - כשבעצם לא התרחש דבר. כדי להוכיח את תחושת הבטן שלו, ווד המתין עד שעוזר המחקר יביט לכיוון השני ואז סילק את המנסרה שהייתה הכרחית ליצירת קרני ה-N.

השניים חזרו על הניסוי ועוזר המחקר דיווח על גילוי שגרתי של הקרניים- למרות שהדבר היה, כאמור, בלתי אפשרי. כעת החזיר ווד את המנסרה למקומה. הפעם עוזר המחקר הבחין בו, אבל היה משוכנע שווד פירק את המנסרה. השניים חזרו על הניסוי בשנית, אבל הפעם עוזר המחקר לא ראה שום שינויים בעצמת ההארה- למרות שבפועל, המנסרה הייתה במקום וקרני ה-N היו אמורות להופיע כמתוכנן. ווד דיווח את תוצאות בדיקתו למגזין, וקרני ה-N נשכחו בין דפי ההיסטוריה.

מה בדיוק התרחש שם? בלונדלו לא היה רמאי. הוא היה פיסיקאי בעל מעמד וכמה וכמה תגליות מוצלחות בעברו. באותה המידה קשה להאמין שכל מאה ועשרים המדענים שדיווחו על שחזורים מוצלחים של הניסוי היו רמאים או לא יוצלחים. סביר להניח שמדובר בהטעיה עצמית. בלונדלו וחבריו חשבו שהם רואים את השינוי בעצמת ההארה של החומר הזרחני, בזמן שבפועל הייתה זו רק אשלייה שנבעה מרצונם העז לגלות את קרני ה-N.

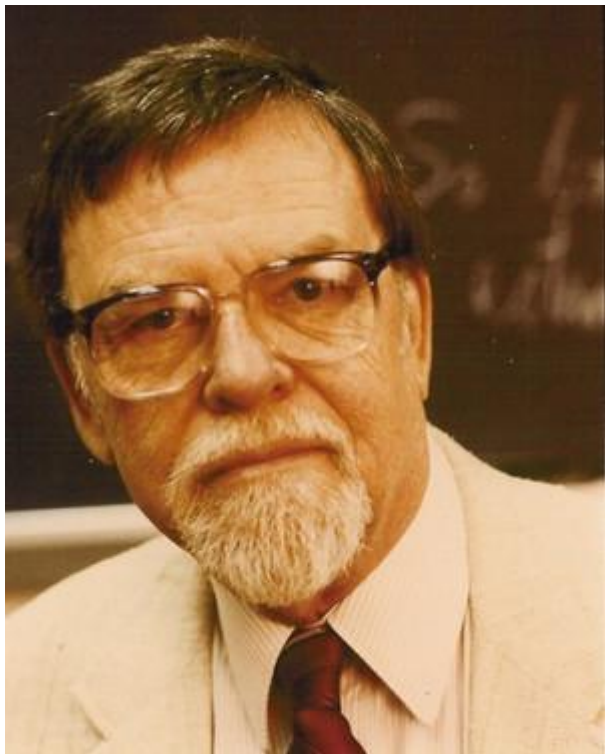
פסיכולוגים מודרניים מבינים היטב את אירועי 1903. מדובר ב'הטייה קוגניטיבית' (Cognitive Bias): טעות בשיקול הדעת שנגרמת כתוצאה מחולשה פנימית בתהליך העיבוד וקבלת ההחלטות של המוח

האנושי. המוח הוא כלי רב עצמה, ובמובנים רבים עולה על כל מה שאפילו המחשבים החזקים ביותר מסוגלים לעשות, אך הוא אינו מושלם ויש בו באגים. מדובר על טעויות מובנות שאיננו יכולים לעקוף אותן. אשליות אופטיות הן דוגמות קלאסיות לבאג בחמרה של המוח: תמונה שנופלת על רשתית העין היא תמיד אותה התמונה - המוח הוא זה שנותן לה את הפרשנות השגויה.

הטייה קוגניטיבית, משנה את האופן שבו אנו מבינים את העולם שסובב אותנו. בדוגמה הקודמת, המדענים שהבחינו בקרני ה-N היו מוטים לגלות אותן כיוון שהושפעו מהמוניטין המכובד של רנה בלונדלו, מרצונם להרים את קרנו של המדע הצרפתי או משלל סיבות אחרות. זו אינה תופעה תרבותית אבסורדית ייחודית לצרפת, כמובן. כולנו, ללא יוצא מן הכלל, נופלים קורבן להטיית קוגניטיביות. חברות התרופות, למשל, יודעות שחולה שיקבל כדור עגול, לבן וקטן, עשוי להבריא ממחלתו גם אם אין מדובר בתרופה של ממש: זהו אפקט הפלצבו ('אינבו', בעברית).

פול מל (Meehl) הוא פסיכולוג אמריקני והלך לעולמו בשנת 2003. בשנות החמישים הוא היה מעורב בויכוח נוקב בתוך קהילת הפסיכולוגים, בין

'האקדמאים', הפסיכולוגים שהריצו עכברים במעבדות האוניברסיטה, וה'קלינאים', אלו שעבדו בשטח עם החולים והמטופלים. האקדמאים טענו שהקלינאים מסתמכים יותר מדי על ניסיון מקצועי ועל תחושות בטן ואינם עובדים בשיטות מדעיות מספיק. הקלינאים טענו שהתאוריות היבשות אינן תחליף למומחיות המצטברת ולעשרות שנים של ישיבה על הספה ומעקב אחר חולים.



איור 70: פול מל

בשנת 1954 פירסם פול מל מחקר פורץ דרך. הוא הוכיח, על סמך מחקר מקיף, ששימוש בכלים מתמטיים וסטטיסטיים במטרה לנבא סיכויי החלמה של מטופל עדיף על פני הערכה שייתן מומחה עתיר ניסיון. במילים אחרות, תכנת מחשב שמשלבת בתוכה ידע מקצועי תיאורטי ומידע סטטיסטי שנאסף על ידי הקלינאים בשטח, תהיה מדויקת ועקבית יותר מפסיכולוג קלינאי מומחה. הפסיכולוגים הקלינאים, כצפוי, לא אהבו כלל את תוצאות המחקר. הם לא היו מוכנים לקבל את האפשרות ש'פקיד עם מחשבון' יוכל אי פעם להחליף פסיכולוג קשוח שכבר ראה הכול.

אחת הדוגמות המשעשעות שנתן פול מל היא תופעה המכונה 'אפקט גם אני': כשפסיכולוג שומע פסיכולוג אחר מתאר התנהגות משונה של פציינט - למשל, פציינט שאוגר פנקייקים עודפים במחסן - הוא עשוי לטעון שההתנהגות הזו נורמלית לחלוטין, ושהוא זוכר את הדוד ג'ורג עושה אותו הדבר כשהיה ילד קטן. האפשרות שהדוד ג'ורג היה קצת 'לא בסדר' אינה אפילו עולה בדעתו. ואם אפילו הפסיכולוגים, שמודעים יותר מכולם להשפעתן של ההטיות הקוגניטיביות, אינם מסוגלים להשתחרר מהן - מה זה אומר עלינו, האנשים הפשוטים?

מעניין לציין שאפילו פול מל עצמו, על כל מחקריו, נפל קרבן בעצמו להטייה קוגניטיבית. באוטוביוגרפיה שלו תיאר כיצד בשנת 1959 פירסם מחקר שבו טען, בניגוד לספרו הקודם, שיש תופעות פסיכולוגיות מורכבות שרק עין של מומחה יכולה לאתר. זמן מה לאחר מכן נתגלו כמה טעויות בסיסיות וחמורות במחקר הזה, ופול גנז אותו במבוכה. הסיבה לכישלון, הסביר, הייתה רצונו העז לפייס את הקלינאים הכועסים, רצון שגרם לו לתת פרשנות שגויה לחלוטין למידע שנאסף במחקר.

אבל זה לא אומר שהטייה קוגניטיבית היא בהכרח דבר רע, או שאי אפשר לנצל אותה לתועלתנו. הפסיכולוגית בלומה זייגרניק (Zeigarnik) בדקה בשנת 1927 את זכרונם של מלצרים במסעדה. מסתבר שהמלצרים זוכרים את המנות שהוזמנו מהם רק עד שהם מגישים אותן- ולא שניה אחת מאוחר יותר. המסקנה ממחקר זה הייתה שבני אדם נוטים לזכור טוב יותר משימות בלתי פתורות מאשר משימות שהושלמו. מורים, למשל, יכולים לעשות בהטייה הזו שימוש טוב: בסוף השיעור, ממש רגע לפני הצלצול, הם יכולים להעלות שאלה מסקרנות לתלמידים. זה מגביר את הסיכוי שהתלמידים יחשבו על החומר בבית ויזכרו את השיעור הקודם טוב יותר

גם למחרת. התסריטאים של סדרות הטלוויזיה מכירים את הטריק הזה כבר שנים: כל פרק של '24' או 'אבודים' מסתיים תמיד, אבל תמיד, בקליף - האנגר, רגע מותח של חוסר ודאות שמשאיר אותנו על קצה הכיסא, ומכריח אותנו לראות את הפרק הבא. אפקט זייגרניק חזק כל כך, עד שאנו מושפעים ממנו גם במקרים שבהם כבר ראינו את הפרק הבא, ואנו יודעים כיצד כל הסיפור יסתיים.

אם יש משהו לא בסדר בחייוטים בתוך המוח שלנו, הבה ננסה להבין מה השתבש, מהם הגורמים להטיות הקוגניטיביות. הנה אפשרות אחת. יש הורים ששמים במיטת התינוק מוניטורים מיוחדים למניעת 'מוות בעריסה': אם הדופק או הנשימה של התינוק מפסיקים, המוניטור משמיע אזעקה חזקה. המהנדסים שמתכננים את המוניטורים האלה צריכים להחליט מה תהיה רמת הרגישות של המכשיר. אם הוא יהיה רגיש מדי, אזי הוא עלול לצפצף גם כשהתינוק בסך הכל ישן שינה עמוקה ללא תזוזה. אם הוא לא יהיה רגיש מספיק, המוניטור עשוי לפספס מקרה חירום אמיתי. הבחירה ברורה: המחר של טעות במקרה והמוניטור פספס מקרה חירום אמיתי הוא בלתי נסבל. עדיף שהמוניטור יהיה יותר מדי רגיש והאזעקה תצפצף מדי פעם גם כשהכול

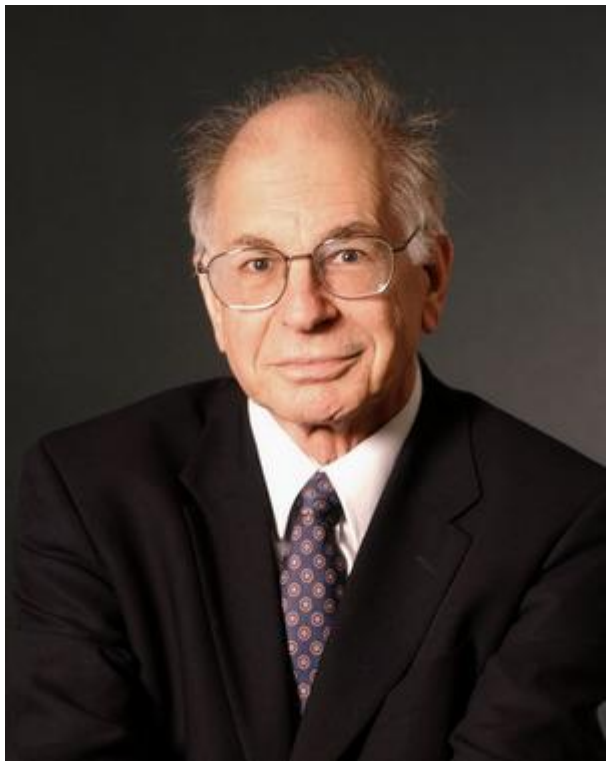
בסדר - לכל היותר, אבא יהיה זה שיאבד נשימה ודופק לכמה שניות. זה בסדר, הוא ישרוד.

ייתכן והאבולוציה כיוונה את המוח האנושי לפי אותם הקווים. יצאת מהמערה ואתה רואה מולך בריון גדול עטוי עור ברדלס ומחזיק בידיו נבוט. יכול להיות שהוא משורר עדין נפש שבא לספר לך על פרפר מקסים שראה בשדה. מצד שני, אתה לא רוצה לגלות שזו הערכה מוטעית רק כשהנבוט כבר בדרך אליך. אם חשדת בו לחינם לכל היותר פגעת ברגשותיו העדינים. זה בסדר, הוא ישרוד. המנגנון הזה יכול להסביר מדוע אנחנו, בתור בני אדם, מלאים בדעות קדומות, בגזענות ובסטריאוטיפים. אם האדם שמולך שונה ממך, המוח יניח שהוא מסוכן ויתנהג בהתאם - גם אם ההתראה משוללת יסוד, בסופו של דבר.

ב-1976 צילמה החללית 'ויקינג 1' קבוצה של גבעות על מאדים באזור המכונה סידוניה. כמעט כל מי שבחן את התמונה ראה מיד שהגבעות יוצרות צורה ברורה של פנים אנושיות: עיניים, אף, פה ושיער. 'הפנים על המאדים' משכו אליהם תשומת לב רבה ועד מהרה צצו תאוריות לגבי חייזרים שמנסים לתקשר עם בני כדור הארץ, שרידים עתיקים של עיר נטושה וניסיונות של נאס"א להסתיר את האמת

מכולנו. תמונות שצולמו מחלליות אחרות הראו בברור שמדובר בלא יותר מאשר גבעות רגילות. זו תופעה המכונה 'פראידוליה' (Pareidolia): נטייה לראות תבניות מוכרות בעצמים לא מוכרים. עובדה ידועה היא שחלק גדול באופן לא פרופרציונלי של המוח מוקדש לזיהוי ולעיבוד פנים. מוחנו עסוק ללא הרף בחיפוש פנים, והרגישות המוגברת הזו עלולה לגרום לכך שנמצא פנים גם אם הם אינם קיימים - רק כדי שלא נפספס פנים אמתיות במידה ונראה כאלה.

הסבר נוסף להטיות הקוגניטיביות שלנו העלו צמד החוקרים הישראלים דניאל כהנמן ועמוס טברסקי בשנת 1972. מחקרם הושפע מאוד מזה של פול מל, והמסקנות אליהן הגיעו זיכו את כהנמן בפרס נובל בשנת 2002. סביר להניח שגם עמוס טברסקי היה זוכה בו אלמלא נפטר בשנת 1996.



איור 71: דניאל כהנמן

'היוריסטיקה' היא קבלת החלטות לפי כללי אצבע, קיצורים והערכות כלליות- בניגוד להחלטות המתקבלות בעקבות ניתוח מעמיק של כלל העובדות והנתונים הזמינים. כהנמן וטברסקי שיערו שחלק גדול מתהליך קבלת ההחלטות במוח האנושי הוא היוריסטי. ההסבר לכך פשוט: אנחנו מופגזים ללא הרף במידע שמגיע מכמה חושים במקביל, ובנוסף נושאים בזכרוננו אינספור פרטים שצברנו מניסיון העבר. אם היינו צריכים לעבד את כל הררי המידע הזה באופן יסודי, שקול ומעמיק בכל פעם שהיינו צריכים לקבל החלטה - זה היה לוקח יותר מדי זמן. נכון, ההחלטות היו טובות הרבה יותר אם היינו עוצרים לשקול את כל המקרים שבהם נתקלנו בעבר, את כל הלקחים והמסקנות שצברנו לאורך השנים ואת כל המידע החושי שלנו. אבל לפעמים אם זה לבן, קטן ועושה קולות של ארנב - אז זה ארנב. וזהו. לא צריך להסתבך. אפשר להוריד את הנבוט ולקחת את האוכל למערה. מי שחושב יותר מדי גם כשלא צריך, הולך לישון רעב.

היוריסטיקה מאפשרת לנו לקבל החלטות זריזות שיהיו מדויקות ברוב המקרים ומוטעות רק לפעמים. כדי לקבל את ההחלטות הזריזות המוח מסתמך בעיקר על המידע הנגיש ביותר, המידע שזמין עבורו

באופן מיידי מהזכרון. זו הסיבה שאנחנו מפחדים יותר מפיגועי טרור מאשר תאונות דרכים: הסיכוי למות בפיגוע נמוך בהרבה מהסיכוי להיות מעורב בתאונה - אבל כיוון שכל פיגוע מקבל כותרות ראשיות בכלי התקשורת ונחקק עמוק יותר בזכרוננו, המוח מייחס למידע הזה חשיבות גדולה יותר ממה שמגיע לו.

הנה דוגמה נוספת להטיה שמקורה בטעות היוריסטית: 'כשל המהמר'. נניח שאנו יושבים בקזינו ומביטים במהמרים האחרים שמשחקים ברולטה. לפתע אנחנו מבחינים בעובדה מפתיעה: בכל עשרים הסיבובים האחרונים הכדור נעצר על הצבע השחור. נסערים, אנחנו מביטים סביבנו כדי לראות אם מישהו מהמהמרים האחרים הבחין בסטייה זו. לא, נראה שאף אחד לא שם לב. בנונשלנטיות אדישה אנחנו מניחים עשרה ז'יטונים על הצבע האדום. הרי ברור לכולם שהסיכוי שהכדור יפול עשרים ואחת פעמים על הצבע השחור הוא אפסי - הסיבוב הבא מוכרח להיות אדום, אין בכך ספק! הדילר מסובב את הרולטה. הכדור מקפץ, מדלג ומתרוצץ... ונופל לתוך החריץ השחור.

מדוע הפסדנו את כספנו? כיוון שהכדור והרולטה אינם זוכרים מה קרה קודם. כל סיבוב הוא הגרלה

חדשה, לא תלויה בעבר. הסיכוי לעשרים פעמים צבע שחור הוא באמת אפסי, אבל אין בכך כדי להשפיע על התנהגותו של הכדור בסיבוב העשרים ואחת. היוריסטיקה של מוחנו מטעה אותנו כיוון שהיא גורמת לנו להניח שסדרה קצרה של אירועים שהתרחשו לאחרונה, מייצגת סדרה ארוכה של אירועים שמתרחשת כעת ובעתיד. זו הנחה נוחה יותר לעיבוד מאשר חישוב טרחני של ההסתברות הסטטיסטית של כל סיבוב וסיבוב של הרולטה. אגב, מהמרים מנוסים יודעים שאני מדבר שטויות: אם הכדור נפל עשרים פעמים על הצבע השחור, אז הרולטה הזו מזוייפת והקזינו מרמה אותנו.

ואם מהמרים יכולים לטעות בענייני הסתברות, על אחת כמה וכמה שפרשנים פוליטיים יכולים ליפול בפח. בניסוי שנערך בתקופת המלחמה הקרה נתבקשו כמה מומחי מדיניות להעריך את הסיכוי שבשנה הבאה ברית המועצות תפלוש לפולין, וארצות הברית תנתק את הקשרים הדיפלומטיים עמה. הסיכוי שנתנו הפרשנים להתרחשות הזו היה ארבעה אחוזים. כשנשאלו המומחים מה לדעתם הסיכוי שרק חלק מהתרחיש הזה יתממש דהיינו, שברית המועצות תפלוש לפולין וזהו, ללא ניתוק הקשרים הדיפלומטיים - הסיכוי שהם נתנו היה אחוז

אחד בלבד. זה, כמובן, בלתי אפשרי. כדי להבין מדוע, נניח שהסיכוי לפלישה הוא חצי (זאת אומרת, חמישים אחוזים), והסיכוי לניתוק היחסים בעקבותיה גם הוא חצי. הסיכוי ששני האירועים יתרחשו בזה אחרי זה הוא חצי כפול חצי, שזה רבע. אם אתם כמוני וסטטיסטיקה מביאה לכם צמרמורת, אל תשברו את הראש בחישובים: צריך רק להבין שהסיכוי ששני אירועים יתרחשו יחדיו – הפלישה לפולין וניתוק היחסים – חייב להיות נמוך מהסיכוי שרק אחד מהם יתקיים. זהו 'כשל הצירוף'. גם כאן לכהנמן ולטברסקי היה הסבר היורסיטי מצוין: אנחנו נותנים משקל גדול יותר לאירועים שמוכרים לנו על פני אירועים פחות מוכרים. המומחים לא ממש ידעו מה התרחש במוחם של מנהיגי ברית המועצות והתקשו להעריך את הסיכוי לפלישה לפולין. את ארצות הברית, לעומת זאת, הם מכירים גם מכירים ויודעים מה תהיה התגובה הצפויה לפלישה סובייטית. מכאן הדרך לנפילה בפח ההסתברותי הייתה קלה במיוחד.

היוריסטיקה טובה במיוחד כשזה נוגע לסיביות. קל למצוא סיבה להתרחשות מסוימת: בדרך כלל זה עניין של ציר הזמן – אם שפכתי מים על המיקרופון ואחר כך התחשמלתי, אזי הרטבת המיקרופון גרמה

להתחשמלות. ברוב המקרים, כאמור, הגישה הזו עובדת מצוין אבל לא תמיד. התרנגול קורא בבוקר. מייד לאחר מכן זורחת השמש. האם קריאת התרנגול גורמת לשמש לזרוח? אנו נותנים קרדיט רב מדי לעופות, לדעתי.

ההסתמכות על הסיבתיות מביאה לסוג נוסף ונפוץ במיוחד של הטייה קוגניטיבית: 'כשל הרגרסיה'. אוהדי הספורט בארצות הברית יודעים שספורטאי שהופיע על שער המגזין Sports Illustrated הוא אבוד, הלך עליו. מכאן ואילך הביצועים שלו ילכו וירדו, הוא יפספס את הקליעות לסל, או את החבטות או את הט'אצדאונס. אפילו המגזין עצמו התייחס לג'ינקס הזה, כששם חתול שחור על השער בשנת 2002.

מהיכן מגיע הנאחס? כששחקן מופיע על שער ה-SI, הוא נמצא, כמעט תמיד, בשיא הקריירה שלו: הנצחונות מגיעים בזה אחר זה, הכדור נכנס לסל באחוזים מדהימים. אבל לכל שחקן יש ממוצע ביצועים, וחוקי ההסתברות מכריחים את הביצועים להתכנס, בטווח הארוך, לממוצע שלהם. סביר להניח שלאורך השבועות והחודשים שאחרי תמונת השער אחוזי הקליעה ישובו לכיוון הממוצע, והנצחונות לא ימשיכו לזרום בקצב הגבוה הקודם. זוהי ה'רגרסיה

לכיוון הממוצע', וזהו כשל הרגרסיה: אנחנו רוצים להאמין שלפעולות שלנו יש השפעה על האירועים, גם אם למעשה הם אינם תלויים בנו כלל. כשקבוצת כדורגל מסוימת, למשל בני יהודה (בחירה אקראית לחלוטין) מפסידה כמה שבתות ברצף, ואז תרנגול חודר למגרש במקרה בדיוק כשהרגרסיה נכנסת לפעולה והקבוצה מנצחת סוף סוף - כולם בטוחים שהתרנגול אחראי לניצחון. כמו שאמרתי, אנחנו נותנים יותר מדי קרדיט לעופות.

גם לחצים חברתיים יכולים להביא להטיות קוגניטיביות. דוגמה מוכרת היא 'הטיית הפולריזציה של הקבוצה': כשקבוצה צריכה לקבל החלטה, ההחלטה שתתקבל תהיה קיצונית תמיד, יותר מאשר ההחלטה שכל אחד מהחברים היה מחליט לו היה לבדו. מחקרים שנערכו בארצות הברית על מושבעים במשפטים אזרחיים הוכיחו זאת היטב: אם המושבעים נוטים להעניק פיצויים נרחבים לקרבן, הפיצוי הכספי שיוחלט עליו לאחר ההתדיינות המשותפת בחדר הסגור יהיה כמעט תמיד גבוה יותר מהסכום שכל מושבע חשב עליו לפני הדיון. זה נכון גם בכיוון ההפוך: אם הם נטו להעניק פיצויים נמוכים, הפיצוי הסופי יהיה אפילו נמוך עוד יותר. כשחושבים על התופעה הזו לעומק, מגלים שהיא מטרידה מאוד.

בדרך כלל, אנו נותנים כוח לממשלות ולא לשליטים בודדים מתוך הנחה שקבוצת מנהיגים תהיה שקולה ומחושבת יותר מאשר מחליט יחיד. זו הסיבה שיש לנו ממשלה ולא שלטון דיקטטורי. והנה מסתבר שדווקא ההטייה הקוגניטיבית מביאה לכך שהדיון הקבוצתי הוא זה שגורם לקיצוניות גבוהה יותר. אני מניח שהפסיכולוגים של העתיד יגרדו את ראשם בתימהון כשהם יבחנו כמה מההחלטות של ממשלת ישראל מהשנים האחרונות... טיפ ממני: חפשו את הכשל הקוגניטיבי.

הגורם הרביעי והאחרון להטיות קוגניטיביות הוא, כנראה, החשוב מכולם.

בוקר אחד, בשנת 1954, נתקלו שלושה פסיכולוגים בכתבה מסקרנת באחד העיתונים. מריון קייצ' (Keech), עקרת בית משיקגו, טענה שקיבלה מסרים מכוכב קלריון ולפיהם העולם עומד להיכחד בשיטפון גדול. החייזרים נתנו למריון תאריך מדויק, ה-21 בדצמבר, והבטיחו להציל מההשמדה את מי שיטהר את נשמתו בזמן. על פי הכתבה מריון הצליחה לאסוף סביבה כמה עשרות מאמינים והם התעסקו בהכנות לקראת יום הדין: הם עזבו את בתיהם, התפטרו מעבודותיהם ומכרו את כל רכושם הארצי.

שלושת הפסיכולוגים, לאון פסטינגר (Festinger), הנרי ריקן (Riecken) וסטנלי שכטר (Schachter), הבינו שעומדת בפניהם הזדמנות מחקר מצוינת. חברי קבוצתה של מריון היו מחויבים מאוד, במעשים ובמילים, לאמונתם. בהנחה הזהירה שיום הדין לא באמת יגיע ב-21 בדצמבר, מה תהיה התגובה בקרב הקבוצה? כיצד יפתרו המאמינים את הקונפליקט הנפשי שבין אמונתם החזקה למציאות הבלתי ניתנת להכחשה? הפסיכולוגים החליטו להצטרף לקבוצה במסווה של מאמינים אמתיים, ולעקוב אחר האירועים. הם העלו את קורות הקבוצה על הכתב בספרם "כשהנבואה נכשלת" (When Prophecy Fails), אותו פרסמו ב-1956.

בלילה שבין ה-20 וה-21 בדצמבר הייתה התרגשות גדולה בקבוצה. בחצות הלילה הייתה אמורה להגיע הצלחת המעופפת שתאסוף אותם, שעות ספורות בלבד לפני השיטפון הגדול. לצורך העניין הסירו המאמינים את כל חפצי המתכת מגופם, כולל רוכסנים וכפתורים, והתרכזו בחדר אחד בביתה של מריון. הדקות נקפו. ההמתנה הייתה מתוחה. שעת חצות הגיעה, ועדיין אין זכר לחייזרים. בחצות וחמש דקות הצביע מישהו על שעון נוסף שעמד בחדר,

שמחוגיו הראו 11:55. חיוכים של הקלה: זו כנראה השעה האמתית.

חצות ועשר דקות. ספירת מלאי: צלחת מעופפת - אין. הקבוצה יושבה בדממה, הלם אחז בחבריה. ארבע לפנות בוקר. דממה עדיין עטפה את חברי הקבוצה ההמומים. האם החייזרים הכזיבו אותם וגם הם עומדים למות בשיטפון הנורא? מריון החלה לבכות. ארבעים וחמש דקות מאוחר יותר היא קיבלה לפתע מסר נוסף מהחייזרים: המאמצים ההירואיים שעשתה הקבוצה הקטנה שיכנעו את אלוהים לחוס על בני כדור הארץ, והשיטפון נמנע. חברי הקבוצה היו מאושרים... פרט לכמה בודדים שהבינו את המצב לאשורו. רובם המכריע של המאמינים חיבקו את המסר החדש בשתי ידיים והיו מרוצים ממנו מאוד. העולם ניצל, והכול בזכותם.

מה התרחש אצל המאמינים? מבחינה רציונלית, עצם העובדה שהעולם המשיך להסתובב בבוקר ה-21 בדצמבר הייתה אמורה לשכנע אותם שאמונתם הקודמת הייתה מוטעית, אבל זה לא מה שקרה. במילים אחרות, הם חוו 'דיסוננס קוגניטיבי': הבדל גדול ובולט בין תמונת העולם שציירו לעצמם לבין המציאות הממשית. פתרוןם לבעיה - מציאת הסבר אלטרנטיבי שמשתלב היטב באמונתם הקודמת -

התאים לתאוריה של פסטינגר ושות' לגבי האופן שבו מתמודד המוח האנושי עם קונפליקטים קוגניטיביים דומים. המוח יעדיף, כמעט תמיד, את ההמשכיות הפנימית ואת תמונת העולם המוכרת על פני המציאות החיצונית. הוא יתעלם מעובדות מסוימות, יצבע עובדות אחרות בצבעים חדשים ובאופן עקרוני יעשה שמיניות באוויר אבל ידבוק בשלו. ההתנהגות הזו בולטת במיוחד כשהאדם כבר מחויב לעמדותיו הקודמות, וסטיה מהן עשויה להתפרש כבושה וכהודאה בכישלון.

תאוריית הדיסוננס הקוגניטיבי מסבירה היטב כמה מהאספקטים הלא-רציונליים בהתנהגות האנושית. לדוגמה: מחקרים רבים שנערכו בבתי ספר הראו שאם מספרים למורה שתלמידים מסוימים (שנבחרו באופן אקראי לחלוטין) טובים וחכמים יותר מאחרים ויש בהם פונטציאל בלתי מנוצל - התלמידים האלה אכן יקבלו לאחר מכן ציונים טובים יותר. זהו 'אפקט פיגמליון': ציפיות המורה מהתלמיד משנות את ביצועי התלמיד. המורה יתאמץ וישקיע כדי להביא את ביצועיו של התלמיד קרוב יותר אל תמונת העולם של המורה. באותו האופן, אם אמרו למורה שתלמיד מסוים בינוני בלימודיו - ציוניו של התלמיד יירדו, מאותה הסיבה בדיוק.

הדיסוננס הקוגניטיבי מסביר גם את 'אפקט ההילה':
תכונה או מאפיין בודד של אדם מוכלים על כולו.
אנשי כוח אדם יודעים שמראיינים נוטים לשפוט
מועמדים לעבודה באופן שגוי על סמך תכונה אחת
חיובית או שלילית, שמשליכה על כל חוות הדעת
עליהם. למשל, אדם שלובש משקפיים מקבל תדמית
אינטלקטואלית. יש לחנך את המראיינים להימנע
משגיאה זו כדי שלא לגייס אנשים לא מתאימים
ולפספס מועמדים טובים.

הפסיכולוג ברטרם פורר (Forer) ערך ניסוי מסקרן
בשנת 1948. הוא נתן לנבדקים למלא שאלון אישיות
מפורט: קורות חיים, אהבות, תחביבים, חיות מחמד
ומה לא. הוא זרק את השאלון לפח וחילק לכולם את
התיאור הבא על אישיותם:

*"אתה זקוק לאהבה ולהערצה של
אנשים אחרים, אבל אתה נוטה
להיות ביקורתי ביחס לעצמך. למרות
שיש לך כמה חולשות אנושיות, אתה
מסוגל בדרך כלל לפצות עליהן. יש
לך יכולות רבות שאינך עושה בהן
שימוש ושלא ניצלת לתועלתך.
למרות שכלפי חוץ אתה נראה בעל*

משמעת ושליטה עצמית, בתוכך
אתה נוטה להיות מודאג וחסר
ביטחון.

הנבדקים לא ידעו, כמובן, שלכולם יש אותו הטקסט, שברטרם גזר ממדור האסטרולוגיה באחד העיתונים. הוא ביקש מהם לדרג את נכונותו בסולם של 1 עד 5. הדירוג הממוצע שנתנו הנבדקים לקשקוש הזה היה 4.2: התאמה טובה למדי לאישיות שלהם. בכל המחקרים שחזרו על הניסוי מאוחר יותר, הציון הממוצע הוא תמיד 4.2.

הנטייה הברורה של בני אדם לקבל תיאור אישיות שלהם כנכון אם הוא מחמיא להם, מכונה 'אפקט פורר'. אפקט פורר הוא דוגמא להטייה קוגניטיבית רחבה יותר, המכונה 'הטיית האישור': אדם נוטה לייחס חשיבות גדולה יותר לממצאים אשר תומכים בהשערה מסוימת שלו ולהתעלם מממצאים שמתנגדים לה. דוגמא נוספת להטיית האישור היא אפקט ה'טוב-יותר-מהממוצע': כשמבקשים מקבוצת סטודנטים לדרג את מידת הפופולריות שלהם בחברה, תשעים וחמישה אחוזים מהם ידרגו את עצמם כפופולריים מעל הממוצע למרות שהדבר

בלתי אפשרי, כמובן, מבחינה סטטיסטית. ההומוריסט דייב בארי (Barry) רב האבחנה הגדיר זאת היטב: "אם יש משהו שמאחד את כל בני האדם, ללא קשר לדת, גזע ומין זו התחושה שאנחנו נהגים טובים מעל הממוצע." האפקט הזה מסביר גם מדוע כל ההורים חושבים שהילדים שלהם מבריקים וחכמים יותר מכל שאר הילדים (חוץ מהילדים שלי, כמובן - הם באמת מבריקים!)

הרצון שלנו לצבוע את העולם בצבעים הפרטיים שלנו גורם לנו לשגות באופן עקבי בהבנת בני אדם אחרים. הפסיכולוגים מכנים זאת 'טעות הייחוס הבסיסית': כשאנחנו שופטים פעולות של בני אדם אחרים, אנחנו מעניקים משקל יתר לתכונות ולאופי שלהם (כפי שאנחנו רואים אותם, כמובן) על פני גורמים חיצוניים. למשל, אנחנו נוטים להאשים חסרי בית בעצלנותם ובכך שאינם מוכנים למצוא לעצמם עבודה, ואיננו לוקחים בחשבון את נסיבות חייהם המיוחדות והעצובות שאולי הביאו אותם למצב הזה. התופעה הזו מתהפכת לחלוטין כשזה נוגע אלינו - זו 'ההטייה לטובת עצמי': אנחנו נוטים לייחס לכשלונות שלנו סיבות חיצוניות, גורמים שעליהם לא היה לנו שום שליטה ולכן הכישלון שלנו היה בלתי נמנע. הצלחות, לעומת זאת, אנחנו עדיין מייחסים לגורמי האופי

הפנימיים שלנו, כמה מפתיע. אבל אל דאגה, ההטייה 'לטובת עצמי' היא תופעה בריאה לגמרי: אנשים שאינם מסוגלים לצבוע את המציאות בוורוד כדי לרומם את האגו של עצמם נוטים לפתח דיכאונות.

אז מה המסקנה מכל זה? האם נגזר עלינו להתקיים עם מוח עתיר כשלונות וחסרונות, שמתעקש להוליד אותנו שולל בכל פעם שהמציאות לא מתאימה לו? כן. כולנו - גם אני, גם אתם - סובלים ונמשיך לסבול מהטיות קוגניטיביות. כדאי שנתרגל לזה ונתחיל לשאול את עצמנו איך אנחנו יכולים לנצל את המצב לתועלתנו - וזה בהחלט אפשרי. אי אפשר לסמוך על בני אדם שיקבלו החלטות רציונליות ונכונות באופן מושלם, אבל אפשר לסמוך עליהם שהם יטעו כל פעם לאותו הכיוון.

דן אריאלי, פרופסור ישראלי בארצות הברית, הגה את הניסוי הבא. הוא התגנב למעונות הסטודנטים באוניברסיטה שלו והניח במקרר שבמטבח המשותף צלוחית ועליה כסף מזומן. הוא חזר כעבור מספר ימים, והכסף היה עדיין בצלוחית. הוא החליף את הכסף המזומן בשישיית בירות. כשחזר כעבור מספר ימים הבירות נעלמו כלא היו. בניסוי זה ואחרים אריאלי הוכיח שהפיתוי לגנוב גבוה יותר ככל שהעצם הנגנב מרוחק יותר, מבחינה קונספטואלית, מכסף

מזומן. בעבודה, למשל, אף אחד מאיתנו לא יעז לגנוב שני שקלים מהקופה הקטנה - אבל כמעט כולם לוקחים הביתה עט או מחדד מדי פעם, שגם הם שווים שקלים בודדים. מה אפשר לעשות עם ההטייה הזו? אפשר להכיר אותה ולתכנן את הפעילות בעסק שלנו בהתאם. רק האנשים הישרים והאמינים ביותר צריכים לקבל גישה למחסן, שם אפשר לגנוב מוצרים שאינם כסף מזומן. את השטרות המרשרשים נפקיד בידיהם של אלו שאנחנו סומכים עליהם פחות. נשמע אבסורדי? טוב, אני מהנדס חשמל, לא פסיכולוג. אל תבואו אלי לבקש החזרים כספיים.

ואם אנחנו נשברים, נכנעים להטייה הקוגניטיבית ומשתכנעים שיש לנו סיכוי אמיתי לזכות בלוטו רק כיוון שבכל שבוע יש מישהו שזוכה בלוטו, כדאי לפחות לנצל את חולשותיהם של אחרים. עובדה ידועה היא שאנשים נוטים שלא לסמן בלוטו מספרים שעלו בגורל בשבוע הקודם. הם מאמינים, כנראה, שכדורי הלוטו יודעים מה קרה בשבוע שעבר ולכן אין סיכוי שאותו המספר יופיע פעמיים. אנחנו דווקא נסמן את המספרים שיצאו בשבוע שעבר, וכך אם נזכה - לא נצטרך לחלק את הזכייה עם אנשים רבים. אבל אם הטיפ שלי עוזר לכם לזכות - חלקו לי קצת, נכון? אל תהיו רעים...

19. החיים, היקום וכוס תה:

על דגלס אדמס

כשחושבים על ז'אנר המדע הבדיוני, 'מצחיק' הוא בדרך כלל אינו התיאור הראשון שקופץ לראש. פה ושם אפשר למצוא נקודות אור משעשעות - אבל בסופו של דבר, מדובר בז'אנר שעוסק במדע ובטכנולוגיה, נושאים רציניים על פי רוב. מסתבר שאצל חובבי המדע הבדיוני התפתח רעב למעט הומור בהפוגות שבין החורים השחורים ומחשבי העל. רעב זה הוא, כנראה, הקרקע הפורייה שאפשרה לדגלס אדמס (Adams) להצמיח את אחת מיצירות המופת הגדולות ביותר של המדע הבדיוני - 'מדריך הטרמפיסט לגלקסיה'.

דגלס נוואל אדמס נולד בשנת 1952 באנגליה. עוד כשהיה ילד, גילה אדמס משיכה עזה לכתיבה ולמדע. הוא נהג לספר, בגאווה בלתי מוסתרת, שכשהיה בבית הספר היסודי העניק לו המורה לכתיבה יוצרת ציון עשר עגול על סיפור שכתב: הציון המושלם

הראשון, והאחרון, שהמורה המסוים הזה העניק אי פעם בכל הקריירה שלו.

הצלחה מוקדמת זו דרבנה את אדמס הצעיר להמשיך ולעסוק במילה הכתובה. הוא נרשם לאוניברסיטת קיימברידג' במגמת ספרות אנגלית ובתקופת לימודיו כתב הצגות ומערכונים לקבוצות תאטרון שונות. חוש ההומור שלו היה שנון ושטותי - שילוב מושלם עבור חבורה מוצלחת אחרת של קומיקאים בריטיים, 'מונטי פייטון'. אדמס כתב מספר מערכונים לקליז, צ'פמן, פאלין וחבריהם עבור 'הגביע הקדוש', 'הקרקס המעופף' ותכניות מערכונים נוספות. הוא עצמו אף הופיע בשניים מהמערכונים שכתב.



איור 72: דגלס אדמס

במהלך הלימודים ואחריהם המשיך דגלס לכתוב עבור תכניות טלוויזיה ורדיו, ביניהן 'דוק' הו', סדרת המדע הבדיוני הבריטית המיתולוגית. כפי שיעיד כל סופר, וגם עבדכם הנאמן, מכתיבה יכולים להתפרנס רק אנשים בעלי דרישות צנועות במיוחד המסוגלים לוותר על מותרות כמו, למשל, אוכל. על כן נאלץ אדמס להתפרנס מעבודות מזדמנות: שרת בבית חולים, מנקה לולי תרנגולות ואפילו שומר ראש למשפחה ערבית עשירה מקטר.

ההצלחה הגדולה של אדמס הגיעה בשנת 1977. הבי-בי-סי האנגלי הציע לו לכתוב תסכית מדע בדיוני לרדיו בשישה פרקים, כשבסוף כל פרק כדור הארץ אמור להיות מושמד באופן זה או אחר. אחת מהדמויות הראשיות הייתה חייזר שנחת על כדור הארץ, ואדמס חיפש סיבה שתסביר את הימצאותו על כוכב הלכת שלנו. הפיתרון היה להפוך את החייזר לכתב או לעיתונאי חוקר. זו הייתה ההזדמנות של אדמס לעשות שימוש ברעיון שהתגלגל במוחו כבר למעלה מחמש שנים, אודות ספר הטיולים האולטימטיבי - אנציקלופדיה על כל דבר ביקום: 'מדריך הטרמפיסט לגלקסיה'.

אין גרסה אחת ויחידה למאורעות המתוארים בסאגה הזו. תסכית הרדיו של המדריך היה הצלחה אדירה,

ואדמס עיבד אותו למגוון רחב של מדיות אחרות: סדרת ספרים, הצגת תיאטרון, תקליט, סרט קולנוע, משחקי מחשב, קומיקס וסדרת טלוויזיה. בכל אחד מהעיבודים הללו מוצג סיפור שונה, לעתים אפילו שונה מאוד, מהמתואר בתסכית הרדיו המקורי. חלק מהשינויים הפכו לקלסיקות בעצמם. בגרסה האמריקנית והמרוככת של המדריך, למשל, אדמס נתבקש למצוא תחליף לקללה עסיסית במיוחד. הוא בחר במילה 'בלגיה', מה שמאוד שעשע את כל הקוראים - פרט אולי לבלגים, אבל בסופו של דבר, הם בלגים, אז מה זה חשוב.

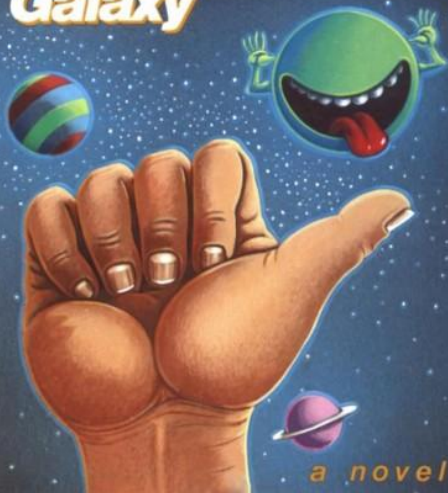
להלן, גרעין הסיפור. ארתור דנט, אנגלי מהוגן ומשעמם, מגלה בוקר אחד שביתו עומד להיהרס כדי לפנות מקום לכביש עוקף. תוך כדי מאמציו למנוע את ההרס הוא מגלה שפורד פריפקט, חברו הטוב, הוא למעשה חייזר מכוכב לכת אי שם ליד ביטלגוז, ושכדור הארץ כולו עומד להיות מושמד כדי לפנות מקום למעקף היפר-חללי. פורד, כך מסתבר, הוא כתב משוטט של 'מדריך הטרמפיסט לגלקסיה' - ספר אלקטרוני שבו ניתן למצוא הסברים על כל דבר וכל מקום. פורד וארתור מצליחים לברוח מכדור הארץ רגע לפני הפיצוץ, ובהמשך פוגשים עוד שלוש דמויות מרכזיות לעלילה: זפוד ביבלברוקס (נשיא הגלקסיה

ודודו למחצה של פורד), טרישיה מקמילן או 'טריליאן' בקיצור (אף היא בת כדור הארץ לשעבר) ומרווין, הרובוט הפרנואיד. העלילה עוקבת אחרי החבורה המשונה הזו בשעה שהם מנסים לפענח את התשובה לחיים, היקום וכל השאר, בעוד ארתור מנסה לארגן לעצמו כוס תה נורמלית.

כמה מהרעיונות המטורפים וההזויים שאדמס שילב בסיפור הפכו לקלסיקות, כמו המגבת למשל, החפץ השימושי ביותר ביקום שאסור לעזוב את הבית בלעדיה; 'דג בבל' הוא דג קטן וצהוב אשר מסוגל לתרגם את כל השפות כשמחדירים אותו לאוזן; 'שדה הבעיה של מישהו אחר' היא טכנולוגיית ההסוואה המושלמת שמאפשרת להסתיר כל דבר על ידי הפיכתו לבעיה של מישהו אחר.

DOUGLAS ADAMS

The Hitchhiker's Guide to the Galaxy



איור 73: עטיפת המהדורה האמריקנית הראשונה של הספר 'מדריך הטרמפיסט לגלקסיה', 1979

אדמס לא ראה עצמו כעתידן או כנביא טכנולוגי, אלא כמי שהוגה רעיונות על בסיס התפתחויות טכנולוגיות קיימות. אדמס היה ללא ספק איש טכנולוגיה: פריק של גדג'טים, מחשבים וכל פיסת אלקטרוניקה שהניח עליה את ידיו. הוא היה האדם השני בבריטניה שרכש לעצמו מחשב מדגם 'אפל מקינטוש', והיה בין המאמצים הראשונים של רשת האינטרנט כשזו עוד הייתה בחיתוליה. הוא השתתף באופן קבוע בקבוצות דיון, ענה לחברי הפורום במסרים אישיים, והיה מעורב בפיתוח משחקי הוידאו שהיו מבוססים על הסדרה. אין פלא, אם כן, שאדמס שילב בספריו המצאות וטכנולוגיות המבוססות על גרעין מדע אמת. אדמס פיתח את רעיונותיו אל הקיצוניות הפרודית הרחוקה ביותר, אבל אם נחפור לעומק הרעיונות הללו, נגלה, כמעט תמיד, זיקה ברורה למציאות.

דוגמה נאה היא החללית 'לב הזהב', ספינת החלל המהפכנית שזפוד (נשיא הגלקסיה, נזכיר) גנב בטקס ההשקה החגיגי שלה על כוכב הלכת דמוגרן. לב החללית הוא המנוע הייחודי שלה, 'מנוע חוסר הסבירות האינסופית' (באנגלית Infinite Improbability Drive). המנוע הזה מאפשר לספינה להיעלם במקום אחד, ומיד להופיע בכל מקום אחר

ביקום. אדמס עשה כאן שימוש מחוכם באחת התופעות המשונות של תורת הקוונטים. כדי להבין את עיקרון פעולת מנוע חוסר הסבירות, צריך לחזור אחורה אל ראשית המאה העשרים.

אחד הוויכוחים המפורסמים בפיסיקה היה הוויכוח אודות טבעו של הפוטון: האם הוא חלקיק או גל. ראשית הדיון הארוך הזה עוד במאה השבע עשרה, כשהמדענים החלו לחקור לעומק את התנהגות האור. החוקרים ביצעו ניסויים שונים, כמו החזרת קרני אור ושבירתם, וביקשו להסביר את תוצאות הניסוי באמצעות משוואות מתמטיות ברורות וחד משמעיות. אך כדי להגיע למשוואה המתמטית הנכונה, יש להתחיל מנקודת מוצא מסוימת. אם מניחים שהאור הוא חלקיק, מעין גולה זעירורית ומוצקה, הנוסחות מקבלות צורה אחת. אם מניחים שהאור מתנהג כמו גל המתפשט במרחב - מקבלים נוסחות שונות לחלוטין. נדמה שהפוטונים בעצמם אינם מחליטים מה הם מעדיפים להיות, גל או חלקיק. את חלק מהניסויים קל היה להסביר אם מניחים שהפוטונים הם חלקיקים, אבל ניסויים אחרים הוסברו רק בהנחה שהפוטונים מתנהגים כמו גלים.

הדיון בשאלה הזו המשיך גם במאות השמונה עשרה והתשע עשרה, ללא פיתרון חד משמעי. ואז, כאילו

כדי לסבך את חייהם של הפיזיקאים עוד יותר, נתגלה שגם האלקטרון - החלקיק הקטן בתוך האטום - מתנהג אף הוא קצת כמו גל וקצת כמו חלקיק.

התגלית הזו דחפה את הסטודנט הצרפתי לואי דה ברולי (De Broglie) לבחון מחדש את כל המוסכמות הברורות שלנו לגבי החומר ביקום. דה ברולי הגיע למסקנה מדהימה: כל העצמים בטבע, כל מה שאנחנו רואים סביבנו - כולל אנחנו בעצמנו - מפגינים את הדואליות המשונה הזו. גם משכן הכנסת, למשל, הוא בחלקו גל ובחלקו אוסף חלקיקים. התאוריה המשונה הזו מנוגדת לכל פיסת היגיון בריא במוחנו, שכן אנחנו רגילים לחשוב על משכן הכנסת כאוסף של קירות מוצקים ולא כגל ערטילאי, פרט אולי למשרדי מפלגת הגמלאים.

דה ברולי הסביר שכל שעצם גדול יותר, החלק ה'גלי' שבו הולך וקטן והחלק ה'מוצקי' שלו תופס מקום דומיננטי יותר בהתנהגותו. בעצמים גדולים כמו כנסת ישראל, החלק הגלי קטן כל כך עד שהוא חסר משמעות, וההתנהגות ה'חלקיקית' באה לידי ביטוי באופן ברור. באלקטרון הזעיר, לעומת זאת, האופי הגלי בולט הרבה יותר וניתן לגלות אותו בניסוי מתאים.

הפיסיקאי ארווין שרדינגר (Schrödinger) לקח את הרעיונות של דה ברולי צעד אחד קדימה.

גלים במים, גלי רדיו באוויר, גלי קול - ניתן לתאר את כולם פחות או יותר באותו האופן באמצעות משוואות מתמטיות דומות. כשאני כותב 'לתאר', אני מתכוון 'לחזות את התנהגותם': אם ידוע מצב התחלתי של גל, משוואות הגלים מאפשרות לחזות כיצד הגל ייראה בעוד שנייה, דקה או אלפיים שנה. אם האלקטרון מתנהג כמו גל, אמר שרדינגר לעצמו, הרי שהוא צריך לציית לאותן המשוואות המתמטיות.

שרדינגר ישב וחשב, ולבסוף הוציא תחת ידיו משוואת גלים המתארת את התנהגות האלקטרון הגלי. כעת, כשהמשוואה המפוארת הייתה מוכנה, שרדינגר הבין שאין לו מושג מה משמעותה. כשמכניסים את המספרים המתאימים למשוואת שרדינגר, מקבלים תוצאה - מספר כלשהו - אבל מה לעזאזל משמעות המספר הזה? האם הוא מציין את גובה האלקטרון? את רוחבו? מהירותו? צבעו? אף אחד, כולל שרדינגר, לא ידע לומר. המשוואה הייתה חייבת להיות נכונה - הרי היא נכונה עבור כל סוגי הגלים האחרים - אבל כיצד נכונה?



איור 74: ארווין שרדינגר

בסופו של דבר הגיעו הפיזיקאים למסקנה שתוצאת משוואת שרדינגר היא הסתברות. במילים אחרות,

אם ידוע מיקומו ההתחלתי של האלקטרון, משוואת שרדינגר מאפשרת למצוא את ההסתברות שבעוד שבריר שניה האלקטרון יהיה במקום אחר. מסתבר שרוב הסיכויים שהאלקטרון יסתובב לו סביב גרעין האטום. טוב, זו אינה הפתעה גדולה - אנחנו יודעים שהוא נמצא שם. זה סימן מעודד, וכיוון שכך ברור שמשוואת שרדינגר מתאימה למציאות. ההפתעה הגדולה היא שעל פי המשוואה, יש סיכוי שהאלקטרון יהיה במקום אחר. כל מקום אחר. קיים סיכוי, קטן שבקטנים וכמעט בלתי אפשרי, שהאלקטרון ינטוש את גרעין האטום ויופיע בצדו השני של כדור הארץ או אפילו בצדו השני של היקום. שוב, הסיכוי שדבר מעין זה יתרחש במציאות הוא אפסי: ההסתברות לזינוק שכזה, על פי משוואת שרדינגר, נמוכה מאוד מאוד. אולם אף על פי כן, הסיכוי קיים.

נשוב עכשיו אל הרעיון של לואי דה ברולי. ולטענתו שכל חומר ביקום - כולל העצמים הגדולים ביותר - מתנהג גם כמו גל. המסקנה הבלתי נמנעת היא שמשוואת שרדינגר תקפה גם לגבי העצמים הללו, ושיש סיכוי שגם הם יעלמו במקום אחד - ויופיעו במקום אחר לגמרי. כיוון שעצמים גדולים הם רק "קצת" גליים, ההסתברות שמשכן הכנסת יעלם בוקר אחד ואז יופיע - בשלמותו, על כל חברי הבית -

במרכז קופנהגן, נניח, היא הסתברות קטנה וזניחה בכל קנה מידה. בכל זאת, מותר לקוות.

דגלס אדמס לקח את התופעה המשונה הזו, והציב אותה במרכז רעיונו לגבי ספינת החלל 'לב הזהב'. מנוע חוסר ההסתברות האינסופית אפשר לחללית להתנהג באופן דומה להתנהגותו התאורטית של אלקטרון: להיעלם במקום אחד, ולהופיע במקום אחר לגמרי.

החיסרון במנוע האקזוטי הזה הוא בתופעות הלוואי הלא נעימות שלו. כשמפעילים את מנוע חוסר ההסתברות האינסופית, מתרחשים סביבו כל מיני אירועים משונים שהסיכוי שיתרחשו היה (עד אותו הרגע) קלוש ביותר. טילים גרעיניים הופכים לעציצים; לווייתנים חיים מופיעים בתוך שלולית של מולקולות אי-אורגניות, דברים מעין אלה. כמות האירועים הבלתי סבירים שהתרחשו סביב החללית הייתה כה גדולה, עד שהמחלקה להיסטוריה של אוניברסיטת מקסימגלון הרימה ידיים והפסיקה לנסות ולעקוב אחרי מה שמתרחש ביקום.

גם ההמצאה הספרותית הבאה שעליה נשוחח שייכת לחללית 'לב הזהב' - ליתר דיוק, לחלק מצוות החללית. הדמות המפורסמת ביותר שיצאה מסדרת

'המדריך' היא ללא ספק דמותו של מרווין, האנדרואיד הפראנואיד. מרווין הרובוט הוא מוצר כושל נוסף מבית חברת 'סיריוס סייברנטיקס', שמחלקת השיווק שלה (כך מתואר בספר) מורכבת מ'חבורה של מטומטמים שיהיו הראשונים כנגד הקיר כשתגיע המהפכה'. סיריוס סייברנטיקס פיתחה קו חדש של מוצרים רובוטיים בעלי רגשות כמו הדלתות האוטומטיות, למשל, שמאושרות להיפתח עבורך ולהיסגר מאחוריך.

גם מרווין הוא רובוט בעל רגשות - אבל במקרה שלו, כולן שליליות. הוא מדוכא, מלנכולי וציני פחות או יותר כל הזמן. כשאריתור ופורד פוגשים אותו לראשונה על סיפון החללית 'לב הזהב', הוא מתאר להם עד כמה כואבות לו כל הדיודות בצדו הימני. כשמסתיימת הסדרה מרווין מבוגר פי שבעים וחמישה מגילו של היקום (תוצאה של מסע בזמן), כל החלקים המכניים והאלקטרוניים שבו הוחלפו אינספור פעמים - פרט, כמובן, לדיודות שבצדו הימני.



איור 75: דמותו של מרווין, הרובוט המלנכולי, מתוך סדרת הטלוויזיה של 'מדריך הטרמפיסט לגלקסיה'

הענקת רגשות למחשבים ולרובוטים היא הגביע הקדוש של האינטליגנציה המלאכותית. אם תכנון מחשב המסוגל לדמות יצור תבוני וחושב הוא משימה קשה - הרי שיצירת רגש אצל מכונה (או חיקוי לרגש) נראה כמעט בלתי אפשרי. יש חוקרים רבים שטוענים שאין בכלל טעם לנסות ולהטמיע רגשות במחשבים: מחשב, לראייתם, הוא מכונת חישוב ותו לו. הוא צריך להיות יעיל, אמין, זול אם אפשר, אבל אינו צריך להיות נחמד או כועס. חוקרים אחרים מאמינים שהרגשות הן בסך הכול תוצר לוואי של רמת מורכבות מסוימת. דהיינו, לא צריך להתאמץ כדי לחקות רגשות: אם נתכנן מחשב שיהיה מורכב ומתוחכם מספיק, רגשות (או מה שנדמה לעיניים אנושיות כרגשות) יבואו מאליהן.

אף על פי כן, בשנים האחרונות יש התעניינות הולכת וגוברת בתחום הרגשות הממוחשבים. בשנת 1997 יצא לאור הספר 'Affective Computing', מאת חוקרת צעירה בשם רוזלינד פיקרד (Picard). פיקרד ניתחה את הרגשות הממוחשבים דווקא מהזווית האנושית, וניסתה להסביר מדוע לדעתה הרגש דווקא חשוב כל כך במכונה. הסיבה, לפי פיקרד, היא שבהיעדר רגשות, מחשב לעולם לא יוכל לקבל החלטות נכונות.

בספרה, היא מתארת ניסויים שנערכו על ידי חוקרים קודמים, בהם נבדקו בני אדם בעלי אינטליגנציה שכלית גבוהה מאוד אך בעלי אינטליגנציה רגשית נמוכה. המחקרים הוכיחו בברור שההחלטות שקיבלו אותם נבדקים היו מוטעות באחוז גבוה מן המקרים, ולא סתם מוטעות, השגיאות שלהם דמו מאוד לשגיאות שעושות תוכנות המדמות אינטליגנציה מלאכותית, אף הן נטולות רגש. בדוגמת המורה והתלמיד של רוזלינד: אם המורה אינו מגלה רגישות כלפי תלמידו, הוא לא יבחין בסימנים המעידים על תסכול או על אי-נוחות כשהתלמיד יתקשה להתמודד עם החומר. חכם ומבריק ככל שיהיה המורה, הוא ייכשל בתפקידו אם התלמיד יחליט שנשבר לו ויפרוש מהלימודים. כך גם מחשב, ללא רגש, עלול לטעות פעם אחר פעם ולעולם לא יוכל להשתפר.

ספרה מעורר ההשראה של רוזלינד גרם לפיצוץ של ממש בתחום הרגשות הממוחשבים, וחוקרים רבים הפנו אליו את תשומת לבם. השאלה האם מחשב מסוגל לחוש רגש של ממש היא פילוסופית יותר מאשר מדעית. עבור אותם המדענים שרואים במוח האנושי לא יותר מאשר אוסף קשרים מתוחכמים, רגשות הן רק עניין של מציאת החיבורים המתאימים.

באופן פרדוקסלי, יצירת רגש ברובוטים הופכת קשה יותר ויותר ככל שהיכולת הטכנולוגית שלנו מתקדמת. הסיבה לכך היא שהאבולוציה פיתחה אצל בני האדם חושים חדים מאוד לאיתור רגשות מזויפים כמו צחוק מזויף, עצב מדומה או שלוה שמסתירה מאחוריה אשמה ועצבנות. אנחנו מסוגלים להבחין בתנועות הגוף הזעירות ביותר ובשרירי הפנים העדינים ביותר ולהסיק מהן אודות רגשותיו של בן שיחנו.

אם מציגים לנו רובוט מכני ומלאכותי ומצמידים לו רק עיניים רבות הבעה, אנו נהנים מהאשליה ומתמסרים אליה בקלות ובהנאה. דוגמה טובה היא אי-טי, החבר מכוכב אחר בסרטו המפורסם של סטיבן ספילברג. לאי-טי היו הבעות אנושיות שנגעו ללב הצופים - אבל רק כיוון שכל שאר גופו היה בבירור חייזרי ומשונה. אם, לעומת זאת, מציגים לנו רובוט שנראה אנושי כמעט לחלוטין, אבל רק כמעט, האשלייה הזו נשברת: מוחנו תופס את הדמיון הכמעט מושלם כניסיון הונאה, ואינו מאפשר לנו להשתחרר ולהתחבר באופן רגשי אל הרובוט. לכל היותר, נסכים לבחור בו למשרת מושל מדינת קליפורניה.

יש יתרונות אדירים וברורים למחשב המסוגל להגיב לרגש אנושי ולהפגין רגשות בחזרה. פרט למצבי למידה, כמו הדוגמה בספרה של פיקרד, אפשר

לחשוב גם על יישומים כמו בקרת קווי טלפון של שירות לקוחות: המחשב יוכל לנטר את שיחות הטלפון, ואם הוא יזהה אצל הלקוח כעס רב הוא יתריע למנהל השירות באופן אוטומטי.

ניסוי שנערך באוניברסיטת MIT לפני מספר שנים בחן עד כמה משפיעה מעורבות רגשית על יכולת המחשב לעורר מוטיבציה אצל בני אדם. הנבדקים נתבקשו לשמור על שגרת אימוני כושר גופני, ולתעד את פעילותם באמצעות תכנת מחשב. אצל חלק מהנבדקים תכנת המחשב הייתה רגילה, ואילו אצל שאר המשתמשים פעלה תכנה אחרת שהפגינה אמפתיה כלפי המשתמש. התכנה ששמה היה 'לורה', שאלה את המשתמשים לשלומם, עודדה אותם אם זיהתה שמצב רוחם ירוד ושיבחה אותם על הצלחותיהם. תוצאות הניסוי העידו בבירור שאצל הנבדקים שנעזרו בלורה, רמת ההתמדה באימונים הייתה גבוהה יותר, עדות להתקשרות רגשית מסוימת של המשתמשים ליועצת הוירטואלית שלהם - קשר רגשי כה עדין עד שלפעמים היה כמעט בלתי מורגש. אחד הנבדקים טען בתוקף שהוא לא הושפע מהתכנה ולא נקשר אליה רגשית כיוון שברור שהיא רק רובוט ולא בן אדם. החוקר שניהל את הניסוי דווקא ציין בהנאה את העובדה שהנבדק הסרבן

הקפיד להתייחס ללורה, מבלי להיות מודע לכך
כמובן, בתור 'היא'. האבחנה הזו מודגשת מאוד
בשפה האנגלית, שבה עצמים דוממים מקבלים את
התואר it, ולא she.

מעניין לציין שדווקא דמותו המלנכולית של מרווין היא
זו שהצליחה לגנוב את ההצגה בסדרת ה'טרמפיסט'.
הוקם לכבודו מועדון מעריצים בשם 'מועדון חוסר
ההערכה של מרווין', ולהקת רדיו-הד אפילו קראה
לאחד משיריה 'אנדרואיד פרנואיד', כמחווה לשמו.
דגלס אדמס ציין שמרווין מכיל גם לא מעט מדמותו
שלו. הוא התנשא לגובה של מטר תשעים ושמונה
סנטימטרים, וכילד שימש מטרה ללעג מחבריו
ללימודים. חוויות ילדות אלו גרמו לו להיות מופנם
ודכאוני מעט, כמו מרווין.

גם המדריך לטרמפיסט עצמו, המתקן האלקטרוני
הקטן שעליו כתובות המילים 'בלי פאניקה' באותיות
מאירות עיניים, הוא מעין חידוש טכנולוגי. רעיון
האנציקלופדיה שתכיל את כל הידע האנושי כבר
הופיע בספרי מדע בדיוני בעבר, אבל אדמס קלע
למטרה בשתי נקודות. הראשונה היא חלוקת מידע
ברשת באמצעות מכשירים ניידים, חזון שמתגשם
לנגד עינינו כיום בדמותם של טלפונים סלולריים
ומחשבים ניידים המחוברים לאינטרנט. הנקודה

השנייה משמעותית אפילו יותר. אדמס האמין שהטכנולוגיה מצעידה אותנו לקראת מהפכה אמתית ובאחד הראיונות הוא אמר את הדברים הבאים:

"העולם נשלט בעבר על ידי
היררכיות גדולות ששלטו עלינו
מלמעלה למטה. רשתות התקשורת
הממוחשבות יצרו עולם שנשלט
מלמטה כלפי מעלה, וזה יביא
לשינויים מהפכניים. מנהיגי העולם
והתעשיינים יעשו טוב לעצמם אם
יהיו מודעים לנקודות המבט
החדשות והמתפתחות."

בספר, מי שמתחזק וממלא את מדריך הטרמפיסט בתוכן הם כתבים משוטטים - טרמפיסטים בעצמם. הם אלה שיוצרים ומעדכנים את הערכים האנציקלופדיים לפי ראות עיניהם כיוון שעורכי המדריך נמצאים בהפסקת צהרים במשך כל היום, פחות או יותר. נוסף על כך, לעתים נכנסים זרים מוחלטים למשרדי ההוצאה לאור של המדריך ומוסיפים ערכים משלהם.

כשניצבה בפני אדמס האפשרות לממש את חזונו, הוא לא נתן לה לחמוק. בשנת 1999 השתתף בהקמת אתר אינטרנט בשם $h2g2$, שהיה המקבילה הארצית של מדריך הטרמפיסט לגלקסיה. כל גולש יכול לתרום למדריך, על כל נושא שבעולם: החל מ'איך סבון עובד' ועד 'להיגון שכרוך בלהיות מעריץ של קבוצת הפוטבול שיקגו קבס'. שנים ספורות לאחר מכן הופיעה ויקיפדיה, המבוססת על אותו העיקרון בדיוק, ולקחה את הבכורה מ- $h2g2$ אבל דווקא הפופולריות האדירה של ויקיפדיה מוכיחה שאדמס צדק: עשרה מיליוני ערכים, מאתיים וחמישים שפות, ערכים המופיעים ומתעדכנים בתוך דקות עד שעות! הימים שבהם עמדנו על כיסא כדי לשלוף מתוך הספרייה כרך שמן של האנציקלופדיה העברית חלפו ואינם עוד.

תוכן המבוסס על תרומת הקהילה מכיל צרות ובעיות משלו. פרט לשגיאות עובדתיות (שבדרך כלל מתוקנות במהירות הבזק על ידי כותבים אחרים), ערכים רבים סובלים מחוסר אובייקטיביות. ויקיפדיה ככלל משקפת בעיקר את תחומי העניין של קהל כותביה: צעירים המעורים מאוד בטכנולוגיה ובתרבות העכשווית ופחות בתרבות העבר הקלסית. הדף של המאסטרו זובין מהטה בוויקיפדיה העברית, למשל,

זהה בגודלו ואולי אפילו מעט קטן יותר מאשר הדף של המאסטרו צביקה פיק.

דגלס אדמס היה ער לבעייתיות של תוכן מבוסס קהילה, אבל לא נרתע ממנו. גם 'מדריך הטרמפיסט לגלקסיה' מכיל טעויות רבות וערכים שגויים, אם כי המוציאים לאור התעקשו תמיד שבמקרים של שגיאות גדולות במיוחד, המציאות היא תמיד זו שטועה. אדמס הגדיר שלושה כללים שמאפיינים את היחס האנושי לטכנולוגיה:

כל דבר שקיים בעולם כשאתה נולד הוא נורמלי ורגיל ומהווה חלק טבעי מהדרך שבה העולם עובד.

כל דבר אשר הומצא כאשר אתה בן 15 ועד 35 הוא חדש, מרגש, ומהפכני ואתה כמעט בטוח יכול לעשות מזה קריירה (או לעבוד בתחום).

כל דבר אשר הומצא אחרי שהגעת לגיל 35 הוא כנגד סדרו הטבעי של העולם ומסמל את תחילת חורבן הציוויליזציה כפי שאנו מכירים אותה.

לאדמס היו פינות חמות בלב לשלושה נושאים נוספים. האחד, הוא היה אתאיסט קיצוני, שלל את קיומו של אלוהים ובהזדמנויות רבות התבטא ונאם נגד בריאתנות ותאוריית התכנון התבוני. חברו ריצ'רד דוקינס ציטט את אדמס: "האם אין זה מספיק

לראות שגן הפרחים יפה, מבלי שנזדקק להאמין שיש בו פיות?". השני, אכות הסביבה והשמירה על הטבע. נושאים אלו היו חשובים בעיניי אדמס, והוא היה חבר באגודות שונות שעוסקות בעניין. הוא אף כתב ספר בשם 'הזדמנות אחרונה לראות' על מסעותיו סביב העולם בחיפוש אחר זנים נכחדים של בעלי חיים.

האהבה השלישית של אדמס הייתה מוסיקה. הוא היה חובב מוסיקה מושבע וגיטריסט שהחזיק בבעלותו עשרים וארבע גיטרות. הוא היה חבר קרוב של דייויד גילמור, הגיטריסט של 'פינק פלויד'. ביום ההולדת הארבעים ושתיים שלו (מספר בעל חשיבות עליונה, כפי שמעריצי הסדרה יודעים היטב) הוא הוזמן להופיע אתם על הבמה וניגן על הגיטרה שני שירים מתוך 'הצד האפל של הירח'. אדמס היה זה שהציע את השם The Division Bell לאחד מאלבומי הלהקה.

ספריו מלאים בהתייחסויות מרומזות לגיבוריו המוסיקליים, החל מה'חיפושיות' וכלה באלוויס. 'פינק פלויד', למשל, היו ההשראה ללהקה 'אזור אסון' - הלהקה הכי רועשת ביקום. המופע שלהם כולל בתוכו ספינת חלל המתרסקת לתוך השמש בשידור חי, והרעיון הזה הגיע, קרוב לוודאי, מהמטוס

המתרסק בהופעות החיות של פינק פלויד או משירם,
Set the Controls at the Heart of the Sun



איור 76: אדמס עם דיוויד גילמור ('פינק פלויד')
בהופעה, 1994

באחד עשרה במאי, 2001, סיים דגלס אדמס אימון
כושר גופני על מכשיר הריצה בחדר הכושר. הוא
התיישב על המזרון כדי לבצע כפיפות בטן. מאמן
הכושר שלו ניגש לפינה כדי להביא את המגבת שלו,

וכשחזר מצא את אדמס מתפתל על הרצפה,
כתוצאה מהתקף לב מסיבי.

דגלס אדמס נפטר בגיל 49 בלבד. הוא נקבר יחד עם
המגבת שלו, והעולם הפסיד סופר שללא ספק היה
עשוי לתרום עוד רבות וגדולות לתרבות האנושית.
אדמס לא כתב ספרים רבים: הוא היה ידוע כסופר
איטי והססן. באחת ההזדמנויות נעל אותו העורך שלו
בבית מלון במשך שלושה שבועות כדי להכריח אותו
לסיים את הספר שעליו עבד. במילותיו של דגלס
עצמו:

"אני אוהב דד ליינס. אני אוהב את
ה'ווששש' שהם משמיעים כשהם
חולפים על פניך..."

מעריציו של דגלס אדמס חוגגים לזכרו, בכל שנה
בעשרים וחמישה במאי, את 'יום המגבת הבינלאומי'.
ביום זה מסתובבים מעריציו עם מגבת בכל מקום
שאליו הם הולכים, שותים לכבודו גרגל בלאסטר
פאן-גלקטי או תה (בהתאם לנסיבות) ומחכים
לחללית הווגונית שתשמיד את כדור הארץ או לכל
הפחות מקווים לתפוס טרמפ מוצלח במיוחד.

20. היפי, פשיסט, אדם חופשי- על רוברט א' היינליין

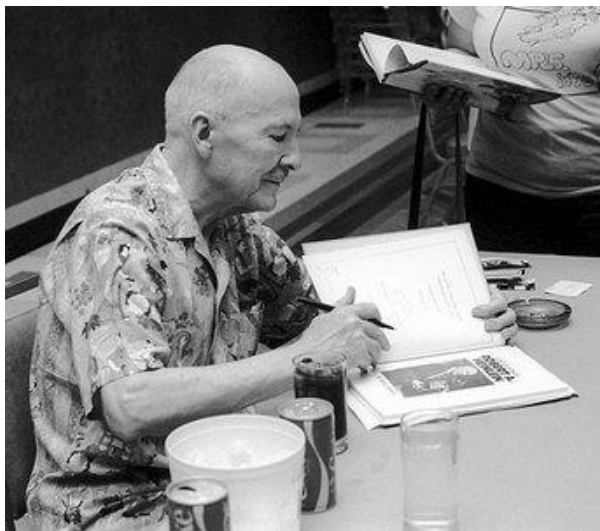
בכל פעם שאני פוגש מישהו שאוהב לקרוא, אבל אינו קורא מדע בדיוני - אני שומע אותו התקליט: "מדע בדיוני? עזוב, זו ספרות פשוטה, לא מספיק מתוחכמת." סופרי המד"ב עסוקים יותר מדי באקדחי לייזר ובחלליות מכדי להקדיש תשומת לב לעקרונות הספרות היפה: התפתחות העלילה, דמויות עגולות וכדומה.מי שמכיר וקרא את ספריהם של אייזק אסימוב (Asimov) וארתור סי' קלארק (Clarke), למשל, ודאי השתכנע שמדע בדיוני הוא סוגה עמוקה ומרתקת יותר מכפי שמקובל לחשוב. אבל עם כל הכבוד לענקים כדוגמת אסימוב, מעטים קראו את ספריהם מחוץ לגבולות קהיליית חובבי המדע הבדיוני. אין בכך פחיתות כבוד: כמה אנשים, מעבר לגבולות קהילת חובבי התעלומות הבלשיות למשל,

קראו את ספרי אגתה כריסטי? ברור שלכל אחד מאיתנו יש ההעדפות ספרותיות אישיות.

גיבור פרק זה יוצא דופן. רוברט אנסון היינלין (Heinlein) היה ועודנו אחד מסופרי המדע הבדיוני הבודדים שהצליחו לחמוק אל מעבר לחומות הגטו הגבוהות של הז'אנר. בתקופה שבה סיפורי המדע הבדיוני יצאו לאור במגזינים עשויים מנייר זול שנמכרו במחירי רצפה, סיפוריו של היינלין התפרסמו בעיתוני הערב. בימים שבהם עלילה בספרות המד"ב הייתה לעתים לא יותר מאשר מערבון ספגטי בחלל, ספריו של היינלין עסקו בנושאים מורכבים ופרובוקטיביים: פוליטיקה, מין וסטיות חברתיות. ספרי רוברט היינלין זכו בלא פחות משבעה פרסי הוגו יוקרתיים, אחד מאותות הכבוד שכל סופר מתחיל מייחל להם. היינלין, אסימוב וקלארק נחשבים לשלושת סופרי המדע הבדיוני הגדולים של המאה העשרים.

מורכבות יצירותיו משתקפת גם באישיותו המרתקת, ותעיד על כך העובדה המדהימה הבאה. היינלין הצליח, כמעט באותה השנה, לכתוב שני ספרים שנחשבים ליצירות מופת. אחד הפך לספר חובה באקדמיות צבאיות, והשני הפך לתנ"ך של תנועת

ההיפים הביטניקית: שתי קבוצות שלא יכולות להיות רחוקות יותר, מבחינה רעיונית, זו מזו.



איור 77: רוברט א' היינליין

היינליין נולד בשנת 1907 במיזורי וגדל בקנזס, שתי מדינות דרומיות בארה"ב. אזור זה מכונה 'חגורת התנ"ך' בשל ריכוז גבוה של נוצרים אדוקים המתגוררים בו. על אף הנורמות המוסריות

השמרניות המקובלות באזור זה של ארצות הברית, ספריו של היינלין מלאים בתיאורי "סטיות מוסריות" מכל סוג אפשרי, והוא מתאר אותן באופן אוהד ביותר: החל ממין מזדמן, דרך הומוסקסואליות ועד לגילוי עריות בהסכמה. עד גיל 13 קרא רוברט היינלין את כל ספרי האסטרונמיה שהצליח להניח עליהם את ידיו. כששבע מאסטרונמיה, פנה אל המדע הבדיוני של ז'ול ורן, ה' ג' וולס ואחרים. כשסיים את לימודיו בבית הספר התיכון התגייס אל הצי ושירת על סיפון של מספר ספינות כקצין אחראי על מערכות הקשר. היינלין עשה חיל בתפקידו - אך לגורל היו תכניות אחרות.

קפיצה קטנה בזמן, אל שנות השישים המאוחרות. צ'רלס האל היה סטודנט לעיצוב שניסה לממש רעיון מעניין שעלה במוחו: כיסא חדשני, גמיש ונוח במיוחד. הוא ניסה למלא את הכיסא בגרגירי תירס, ואחר כך בג'לי, אבל הגישה הזו לא צלחה. לבסוף החליט לשנות כיוון: את הכיסא החליפה מיטה, ואת הג'לי - מים. התוצאה הייתה אכן נוחה במיוחד - מיטת מים. מאושר מהצלחתו פנה צ'רלס אל משרד הפטנטים אך שם נאלצו הפקידים לאכזב אותו. מישהו כבר חשב על ההמצאה הזו קודם. אותו ממציא קודם היה, כמובן, רוברט היינלין. במהלך

השירות, על אחת הספינות, לקה היינלין בשחפת חריפה ואושפז בבית החולים לתקופה ממושכת ביותר. בעודו מחלים, דמיונו לא נח לרגע.

"תכננתי את מיטת המים בשנים
שבהם הייתי מטופל רתוק למיטה.
משאבה לבקרה על גובה המים...
תרמוסטט לשמירה על טמפרטורת
המים, אמצעי בטיחות נגד
התחשמלות, חישוב של העומס על
הרצפה (חשוב!)... - ניסיון לתכנן את
מיטת בית החולים המושלמת בשביל
מישהו שבילה יותר מדי זמן מחורבן
במיטות בית חולים."

היינלין שילב את מיטת המים שהמציא בשלושה מספריו ובכך מנע מצ'רלס האל את העמידה בתנאי המקוריות של הענקת הפטנט.

בשנת 1934 שוחרר היינלין מהצבא בעקבות מחלתו. בלית ברירה נאלץ למצוא לעצמו דרך חדשה בחיים. לשירות הצבאי היה השפעה דרמטית על אישיותו, ושיעורי ההנדסה שקיבל בצי היו הבסיס ל"מדע" במדע הבדיוני שלו והיו למעשה ההשכלה הטכנית

הרשמית היחידה שרכש אי פעם. הצבא העניק להיינלין מתנה חשובה נוספת, בלתי צפויה - אבל זה שייך לעתיד, בל נקדים את המאוחר.

היינלין התחתן במהלך שירותו הצבאי אבל הנישואים החזיקו מעמד שנה אחת בלבד. זמן קצר לאחר מכן נישא בשנית לסלין מק'דונלד, בחורה שהייתה פעילה מאוד בחוגים הליברליים. היינלין פנה אל הפוליטיקה, בין היתר בהשפעתה של סלין. הוא היה מועמד לבית הנבחרים של קליפורניה במסגרת המפלגה הסוציאליסטית, אבל לא נבחר לתפקיד. כך מצא את עצמו היינלין בשנת 1939 כשהכנסה היחידה שלו היא קצבת נכות זעירה מהצבא, ובקורות חייו שתי קריירות קצרות ולא מוצלחות כל כך.

באותו הזמן צדה את עינו מודעה באחד מירחוני המדע הבדיוני אודות תחרות כתיבת סיפורים קצרים. המקום הראשון, כך הבטיחה המודעה, יזכה את הסופר בחמישים דולרים. במצבו הפיננסי העגום, להיינלין לא היה מה להפסיד והוא כתב סיפור קצר עבור התחרות. ברגע האחרון החליט שלא לשלוח אותו אל המגזין שהכריז על התחרות, אלא למגזין Astounding Science Fiction. ההחלטה הזו התבררה מוצלחת משתי בחינות. ראשית, הוא קיבל תמורת הסיפור שבעים דולרים במקום חמישים.

שנית, מי שערך את Astounding היה לא אחר מאשר ג'ון קמפבל (Campbell), האדם שעתיד להירשם בדברי ימי הספרות כמי שאחראי כמעט במו ידיו לפריחה האדירה של ספרות המדע הבדיוני במחצית הראשונה של המאה העשרים. לקמפבל היה כישרון נדיר לזהות סופרים מוצלחים בראשית הקריירה שלהם, כמו אייזק אסימוב, לסטר דל ריי (Del Rey) וכמובן - רוברט היינלין.

ההצלחה הגיעה אל היינלין במהירות מסחררת ממש. בתוך שנתיים בלבד כבר נחשב לאחד הסופרים המובילים של עולם המדע הבדיוני, זכה בפרסים והוזמן לכנסים נחשבים. שורש ההצלחה ניכר באופי כתיבתו של היינלין שהייתה כמעט ייחודית בנוף המקומי של המדע הבדיוני באותו הזמן. היה לא מעט 'מדע' במדע הבדיוני של היינלין, אך בה בעת דגש רב והתייחסות כמעט ישירה לעניינים ולסוגיות חברתיות בוערות שהיו על סדר היום של החברה האמריקנית.

לדוגמה, בסיפור 'הדרכים חייבות להתגלגל' (The Roads Must Roll) תיאר היינלין התקוממות של איגוד מקצועי שעובדיו אחראים על הפעלת משטחים נעים, בסגנון מדרגות נעות. המשטחים הללו נעים במהירות של מאתיים קמ"ש, ועל כן חשובים מאוד

לתשתית התחבורתית של אותו עולמ עתידני, בדומה לכבישים מהירים אצלנו. מי שמכיר את ארצות הברית, ובמיוחד באותן השנים, יודע עד כמה חשובים היו האיגודים המקצועיים וכמה השפעה פוליטית הייתה לאנשים שעמדו בראשם. סיפור כמו 'הדרכים חייבות להתגלגל', אם כן, מקבל פרשנות שונה לחלוטין מזו שמקבלת יצירת מדע בדיוני רגילה.

כשפרצה מלחמת העולם השנייה התנדב היינלין לשרת בצבא. הוא רצה לחזור לספינות, אך לבסוף הוצב בתפקיד של מהנדס אווירונאוטיקה בבסיס עורפי של הצי. סופרי מדע בדיוני דואגים זה לזה, אתם יודעים, והיינלין הביא עמו לבסיס שני חברים טובים: אייזק אסימוב ול' ספרג דה קאמפ (De Camp).

הצבא הצמיד להיינלין עוזרת מוכשרת ביותר בשם וירג'יניה גרסטנפלד. ג'יני, כפי שכונתה לרוב, הייתה כימאית מבריקה ודיברה שבע שפות, אתלטית ושחיינית טובה. למעשה, היא גם הייתה בכירה ממנו בדרגה למרות שבמסגרת תפקידה הייתה כפופה לו. רוברט התרשם מאוד מאישיותה הג'ינגית והתוססת, או כפי שהגדיר זאת: 'נדמה לי שג'יני יכולה לנצח אותי במכות, אם אני לא משחק מלוכלך'.

כשנסתיימה המלחמה התגרש מאשתו השנייה ונשא את ג'יני לאישה. כפי שגילה עד מהרה, הוא עשה עסקה אפילו טובה יותר משחשב.

השנים שלאחר מלחמת העולם השנייה היו שנות פריחה עבור הקריירה הנוסקת של היינלין, וסיפורים שכתב הופיעו בעיתוני ערב מכובדים כמו ה-The Saturday Evening Post שפנו לקהל הרחב. הוא כתב את התסריט לסרט מדע בדיוני מצליח, 'המטרה: הירח', והסרט אף זכה באוסקר בזכות האפקטים המיוחדים שבו.

שנות החמישים היו שנים שבהם כתב היינלין בעיקר עבור הקהל הצעיר, בני הנוער והמתבגרים. היה לו חשוב לעודד את הדור הצעיר לקרוא מדע בדיוני, ובדרך זו להחדיר בו את האהבה למדע ולטכנולוגיה, בדומה לערכים שהיינלין עצמו ספג בימי האקדמיה לקצינים. והוא אכן הצליח היטב במלאכתו. אסטרונאוטים רבים ציינו במפורש את ספריו של היינלין ככוח שמשך אותם אל קריירה מחוץ לאטמוספירה.

הספר 'מנהרה בשחקים' (Tunnel in the Sky) הוא דוגמה טיפוסית לרומן מתבגרים שכזה. כמו במרבית הספרים מאותו הסגנון, הגיבורים הם תלמידי תיכון

שמבקשים לצאת למסע מסוכן ועתיר הרפתקאות. במסגרת קורס הישרדות בבית הספר, הם נשלחים אל כוכב לכת לא מיושב כשרק ציוד הישרדות בסיסי לגופם, ללא שום מידע מוקדם פרט לאזהרה כללית לגבי 'סטובורים' שעלולים לתקוף אותם. התלמידים אמורים להיבחן ביכולתם לשרוד בשטח במשך עשרה ימים, אך בפועל נתקעים על כוכב הלכת במשך שנתיים תמימות. הקושי העיקרי, כפי שיגלו הקוראים, הוא דווקא המאבקים הפנימיים בין התלמידים לבין עצמם. היינלין, כמעט מבלי שנרגיש, הפך את סיפור ההישרדות לסיפור התבגרות: חשיפת הצדדים המכוערים יותר של האנושות, הפוליטיקה האכזרית, תלאות האהבה וכדומה. המילה 'סטובורים' היא היפוכה של המילה 'רובוטים' (באנגלית) - קריצה של היינלין אל שאר הז'אנר ואולי אל אסימוב, חברו, והרובוטים המפורסמים שלו.

בסיפורי המתבגרים של היינלין קשה למצוא את המתירנות המינית הטיפוסית שמופיעה בשאר ספריו, אבל הכתיבה עצמה אינה ילדותית ומבוגרים רבים נהנו ממנה. גם הנושאים שבחר לעסוק בהם לא היו ילדותיים כלל ועיקר. בסיפור 'חליפת חלל' (Have Will Travel—Space Suit), למשל, היינלין מתאר את מסעו של מתבגר צעיר שזוכה בחליפת חלל

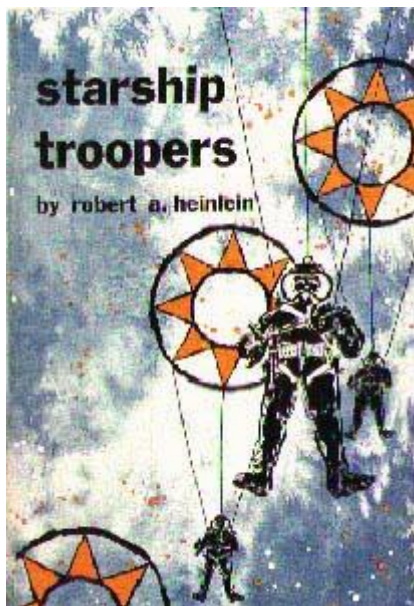
ישנה ומנסה להגיע אל מושבת הירח. בסופו של דבר הוא מסתבך בקנוניה בין כוכבית שרוקחים חייזרים מרושעים ומוצא את עצמו במעין בית משפט גלקטי, עם אדם קדמון מימי המערות ועם לגיונר רומי. השופטים בוחנים מדגם מייצג זה של האנושות, וצריכים להכריע לגבי עתידו של המין האנושי - באם להשמיד אותו או באם לתת לו להמשיך ולהתפתח. היינלין ניצל את הבמה הזו כדי לבחון את השאלות הפילוסופיות בעניין ההבדל העקרוני שבין אדם לחיה, ומהן התכונות הנעלות שמפרידות - אם בכלל - בין בני אדם ליצורים פרימיטיביים וברבריים יותר.

בתקופה זו החלו נטיותיו הפוליטיות של היינלין - סוציאליסט בעברו, כזכור - לנטות יותר ויותר אל עבר הקצה הימני של המפה הפוליטית. נטייה זו סיבכה אותו כהוגן עם אינטלקטואלים שמאלנים רבים. בסוף שנות החמישים כבר התנהלה המלחמה הקרה מול ברית המועצות במלוא עוצה, ובארצות הברית התנהל דיון ציבורי סוער לגבי הצורך בשמירה על ההרתעה הגרעינית. ב-1958 נתקל היינלין במודעה באחד העיתונים מטעם ארגון ליברלי שמאלני שקרא לאסור על ארצות הברית לבצע ניסויים בנשק גרעיני מיד ובאופן חד צדדי. היינלין וג'יני היו פעילים במפלגה הרפובליקנית הימנית ומאוחר יותר אפילו

השתתפו באופן אקטיבי בקמפיין של המועמד הרפובליקני לנשיאות, הסנטור בארי גולדווטר, מי שזכה לכינוי 'מר שמרנות'.

תשובתו רוברט היינלין למודעה הליברלית בעיתון הייתה, כצפוי, ספר מדע בדיוני. הוא אפילו הפסיק לכתוב ספר אחר שעליו עבד באותה העת. כשהמוציא לאור שלו דחה את כתב היד בטענה שהספר קיצוני מדי ואינו מתאים לבני נוער, עבר היינלין להוצאת ספרים אחרת. הספר הזה, 'לוחמי החלל' שמו (Starship Troopers), עתיד להפוך לאחת הקלסיקות הגדולות והשנויות במחלוקת של המדע הבדיוני.

עלילת 'לוחמי החלל' מתארת חייל צעיר בשם חואן ריקו שמשרת כלוחם בחיל הרגלים המשוריין של כדור הארץ במאה העשרים ושתיים. הספר עוקב אחר שירותו הצבאי של ריקו החל מגיוסו, דרך הקרבות שבהן הוא משתתף ועד שהוא הופך לקצין ומפקד בעצמו. ריקו וחבריו ליחידה נלחמים בחיזרים דמויי-חרקים המכונים בפשטות 'הגו'קים' (Bugs).



איור 78: עטיפת המהדורה הראשונה של 'לוחמי החלל', 1959

מבנה הסיפור, פלאשבקים מרובים אל העבר ותהליך טירונות שבו הגיבורים מקבלים הרצאות על פילוסופיה ומוסר - אפשר להינלן הזדמנות להציג

את תפישת עולמו. ביקום הספר, רק למי ששירת בצבא יש הזכות הדמוקרטית לבחור ולהיבחר. זו תוצאה של התמוטטות הציוויליזציות המערביות שנפלו לקראת סוף המאה העשרים כיוון שאזרחיהן לא היו מוכנים להילחם ולמות תמורת הזכות לחופש ולחירות. הג'וקים, חסרי מחשבה עצמאית ונשלטים על ידי מלכה ריכוזית, הם אנלוגיה ברורה לקומוניסטים ולסכנה הנשקפת מהם.

מבקרי הספרות לא אהבו את 'לוחמי החלל' כלל וכלל. רבים טענו שהעלילה שטחית ופשטנית ושדמותו של חואן ריקו אינה מתפתחת כלל לאורך כל הסיפור: הוא מאוהב ב'להיות חייל' בתחילת העלילה, ומסיים אותה מאוהב ברעיון הזה באותה המידה.

הקוראים מצדה השמאלי של המפה הפוליטית זעמו על היינלין ואין להתפלא על כך. 'לוחמי החלל' הוא שיר הלל ברור למלחמה ולערך הנשגב - הגנה על המשפחה ועל המולדת. היינלין עצמו טען שלא ניסה להאדיר את המלחמה כרעיון, אלא רק את תעוזתם של החיילים הפשוטים והקרבתם, אבל מכל עבר נשמעו טענות על כך שהספר נוטה לפשיזם. חוקר אצבע הומוריסטי קובע שאם שמו של היינלין מוזכר בדיון בפורום כלשהו באינטרנט - בתוך שלושה ימים

מישהו כבר יזכיר את היטלר או את הנאצים (מה שנקרא, 'ישלוף את הקלף הנאצי'). היינלין סיפר שכמעט כל מכתבי התגובה ששלחו אליו הקוראים על 'לוחמי החלל' היו שליליים וכועסים.

אך הספר נמכר היטב בחנויות, ובשנת 1960 אפילו זכה בפרס הוגו על פי בחירת הקהל. קוראים רבים הזדהו עם הערכים שמשקפות דמויותיו של היינלין בסיפור: אומץ לב, נאמנות והקרבה עצמית. אחרי הכול, 'לוחמי החלל' היה תמצית נאווה המפורסם של הנשיא ג'ון פ' קנדי: 'אל תשאל מה מדינתך יכולה לעשות עבורך, שאל מה אתה יכול לעשות עבור מדינתך'. בקרב אנשי הצבא לרעיונות הללו, הייתה אחיזה חזקה במיוחד, שכן היינלין מתאר את הצבא האידיאלי: בעל יכולות היי-טק, מוסרי ומורכב כולו ממתנדבים נחושים. 'לוחמי החלל' נחשב כספר פופולארי במיוחד באקדמיות הצבאיות הגדולות של ארצות הברית.

סיבה נוספת להצלחת הספר נעוצה בטכנולוגיה העתידנית שאותה בחר היינלין לשלב בסיפור. ריקו וחבריו נלחמים בג'וקים כשהם עוטים על עצמם את חלומם הרטוב של כל חייל: שלד חיצוני (Exoskeleton). השלד החיצוני הוא שריון דמוי אדם שעוטף את החייל ומגיב לתנועותיו ולפקודותיו כאילו

היה המשך ישיר של גופו. הלוחם הופך, מבחינה מעשית, לרובוט גדול ורב עצמה המסוגל לשאת חימוש כבד ומגוון, לנוע במהירות ולדלג מרחקים עצומים באמצעות סילונים רקטיים. החייל שבתוך השלד החיצוני מקבל גישה אל אמצעי חישה כמו ראיית לילה ותמונת מכ"ם, וגם גישה למפות טקטיות, לאמצעי קשר וכדומה.

השלד החיצוני שמתאר היינלין ב'לוחמי החלל' הוא מכונת הלחימה האולטימטיבית: השילוב המושלם בין פלוגת חי"ר לפלוגת טנקים. החיבור בין חכמת האדם לכוחה האדיר של המכונה מסעיר את הדמיון ומופיע ביצירות בדיוניות רבות כמו בקומיקס 'איירון מן', או בסצנת הסיום המפורסמת של הסרט ה'נוסע השמיני'.

תיאורי היינלין הציתו את דמיונם של רבים, וביניהם, יש לשער, גם גנרלים בצבא האמריקני. משרד ההגנה השקיע במהלך השנים תקציבים נכבדים במחקר ובפיתוח שלדים חיצוניים, עד שהמשבר הכלכלי של 2008 גרם לביטול כמה תכניות מחקר. לצערנו, לא ידוע על הצלחות מרשימות בתחום זה: הטכנולוגיה שבבסיס השלד החיצוני היא אותה הטכנולוגיה שבבסיס הרובוט האנושי, ובשני המקרים נדמה שההצלחה נמצאת עדיין הרחק מעבר לאופק.

אך עדות מעניינת לכוחו של החזון הטכנולוגי שאותו שוטח היינלין ב'לוחמי החלל' אפשר למצוא בסיפור הבא.

מונטי ריד (Reed) היה חייל בצבא ארצות הברית. בשנת 1986 הוא נפצע באורח קשה בתאונת צניחה ונותר משותק בכל גופו. ברוב המקרים תאונות מעין אלה בלתי ניתנות לריפוי, והרופאים המליצו למונטי שיתחיל להתרגל לכיסא הגלגלים. בבית החולים קרא מונטי את 'לוחמי החלל', וגם בו רעיון השלד החיצוני הצית אש פנימית ויוקדת. אך בזמן שהגנרלים ראו בשלד החיצוני כלי מלחמתי, למונטי המשותק היו מחשבות אחרות לחלוטין: הוא חלם שאת הגלגלים שבכסא הגלגלים יחליפו רגליים וידיים רובוטיות.

הבלתי ייאמן קרה: מונטי ריד החלים וקם על רגליו. הוא חזר לשגרת חייו, מצא עבודה ולמד לתואר ראשון ב'ביוסינתטיקה', ייצור איברים מלאכותיים. אך זכרון הטראומה שחווה בבית החולים ותחושת חוסר האונים המתסכלת לא עזבו אותו לרגע. הוא החל לתכנן אב-טיפוס של שלד חיצוני לשימושים אזרחיים וכינה אותו Life Suit, 'חליפת חיים'. כיום עומד מונטי בראש חברה המפתחת את 'חליפת החיים' שלו. שם החברה, באורח הולם, הוא 'הם עוד ילכו', והשלד החיצוני שלו כבר הגיע לגרסה החמש עשרה

במספר. מסרטוני הדגמה ניתן להבחין בבירור שמדובר עדיין במוצר ניסיוני ולא בשל: חוטי החשמל והצינורות ההידראוליים משתלשלים מכל עבר באופן שמזכיר תאונה בין רובוטרק לרכב של שרברב. אבל בתוך כל הכבלאז' ניתן להבחין בניצוצות הראשונים של שלד חיצוני אמתי: גוף מתכתי קל העוטף את פלג הגוף התחתון, ומאפשר למשתמש לפסוע בקלילות מרשימה אפילו כשמיכל מתכת כבד קשור לגבו. לפי ויקיפדיה, המקור לכל ידע באשר הוא, חליפת החיים כבר מסוגלת לגמוע מרחקים מכובדים של שישה קילומטרים ברציפות. הדרך לשלד החיצוני של חואן ריקו והיינלין עוד ארוכה - אבל מי יודע, אולי הם באמת עוד ילכו.

כפי שציינתי קודם, היינלין הפסיק לכתוב ספר אחר כדי לכתוב את 'לוחמי החלל'. הספר שאת כתיבתו עצר והמשיך מאוחר יותר היה 'גר בארץ נוכריה' (A Stranger in a Strange Land), ואף הוא הפך לאחת מהקלסיקות הגדולות של המדע הבדיוני, אם כי אצל קהל קוראים שונה בתכלית.

בשנת 1948 קיבל ג'ון קמפבל, שכזכור היה עורכו של היינלין במגזין Astounding Science Fiction, מכתב מקורא יצירתי במיוחד. במכתב החמיא הקורא לעורך המגזין על גיליון מוצלח, ואף פירט בדיוק אילו

מהסיפורים אהב ומי היו הסופרים שכתבו אותם. הייתה רק בעיה אחת קטנה. הגיליון המדובר, על פי המכתב, היה אחד הגיליונות של שנת 1949 - דהיינו, גיליון שהיה אמור לצאת שנה לאחר מכן.

אני מניח שרוב העורכים היו משליכים מכתב שכזה לפח האשפה, ואולי מסננים כמה מילות נאצה לקורא הפסיכי שבזבז את זמנם לריק. אבל ג'ון קמפבל לא היה עורך רגיל: אינך הופך להיות העורך החשוב ביותר בתולדות המדע הבדיוני אם אתה 'סתם עורך רגיל נוסף'. קמפבל אימץ את הרעיון לחיקו. הוא פנה לסופרים ששמותיהם הוזכרו במכתב, וביקש מהם לכתוב את הסיפורים שאותם הזכיר הקורא היצירתי. היינלין הסכים לרעיון, וניגש לכתוב את הסיפור שהמכתב קבע ששמו יהיה Gulf ('פער'). הקורא לא פירט את תוכן הסיפור, כך שלהיינלין לפחות נותר חופש יצירתי.

ג'וני, אשתו של היינלין, לא הייתה רק פרצוף יפה שידע לשוחח בשבע שפות. בזמן קצר מאז נישואיהם היא הפכה להיות אחד מן הכוחות הדומיננטיים בקריירה הספרותית של בעלה: היא הייתה המנהלת, הקוראת הראשונה של כל כתבי היד ואפילו פתרה את הבעיות ההנדסיות שנתקל בהן מדי פעם. באחד המקרים רוברט וג'וני ישבו יומיים שלמים כדי לחשב

את המסלול הנכון שאותו צריכה לעשות חללית בדרכה אל המאדים. אם הדמות הנשית המובילה בסיפור כלשהו חכמה, חזקה ותוססת - סביר להניח שהיא גם ג'ינגית - בדומה לג'יני היינלין.

כפי שעשתה לעתים, גם הפעם זרקה ג'יני רעיון לסיפור החדש - וריאציה מעניינת ל"ספר הג'ונגל" המפורסם. במקום ילד שגדל אצל חיות היער, היא הציעה להיינלין לכתוב על ילד אנושי שגדל בין חייזרים. הרעיון הזה היכה שורשים עמוקים במוחו של היינלין, אך הוא לא הסכים לכתוב עליו את הסיפור הקצר: הוא ידע שכדי לפתח את הנושא המסקרן הזה לכל אורכו ורוחבו, הוא זקוק למרחב מתאים - משמע, ספר באורך מלא. לבסוף, בשנת 1961, לאחר עיכובים, יצא 'גר בארץ נוכריה' לאור.

הספר מתאר את שובו לכדור הארץ של ולנטיין מיכאל סמית', נער אנושי שהתחנך על ידי בני המאדים. הוריו, זוג חוקרי חלל, מצאו את מותם על הכוכב האדום, וסמית' למד וספג את התרבות המאדימית הזרה שלתוכה נטמע. כשחזר אל כדור הארץ כאיש צעיר, מצא שהוא חסר את הכלים הבסיסיים ביותר להתמודדות עם התרבות על כדור הארץ. כדי לסבך את העניינים עוד יותר, מתברר שסמית' הוא (על פי פרשנות חוקית מסוימת) בעליו

החוקיים של מאדים ויורשו של הון עצום בזכות
פטנטים שרשמו הוריו לפני מותם.



איור 79: עטיפת הספר 'גר בארץ נוכריה', מהדורה
עברית בהוצאת 'כתר', 1980

מצבו המיוחד הביא לכך שכל בעל אינטרסים כלכליים ופוליטיים בשלטון ניסה לעשות בו שימוש ציני ולנצל אותו למטרותיו. סמית' מורד ומחליט להציג בפני בני כדור הארץ את הנאורות התרבותית של בני המאדים. הוא הקים את 'כנסיית כל העולמות' על בסיס הרעיונות המאדימיים של אחווה, פציפיזם, מניעת רעב ומחלות וכדומה. החברים בכנסיית כל העולמות ישנים ביחד בקומונות, מקיימים סקס קבוצתי ובאופן עקרוני עושים כול מה שהימין האמריקני השמרני רואה כפריצות וכחילול העקרונות המוסריים הנוצריים.

'גר בארץ נוכריה' יצא לאור בתחילת שנות השישים, פחות או יותר באותו הזמן שבו פרצה לתודעה הציבורית התנועה הביטניקית: ההיפים, ארוכי הבלורית והג'וינט. 'גר בארץ נוכריה', על שלל רעיונותיו הליברלים והרדיקלים, הפך לתנ"ך של התנועה הזו. אחד מהביטויים שהמציא היינלין בספר, 'לגרוק' (To Grok) שמשמעותו הכללית היא 'להבין משהו באמצעות אמפיה ואהבה', נכנס ללקסיקון המקובל של התנועה. היינלין נאלץ להקים גדר בביתו כדי להרחיק מעליו את המעריצים החדשים והמבולבלים שהאמינו שהוא עומד להכריז על עצמו כגורו של מפלגת האהבה.

היה קסם בספרי היינלין, למכביר. האסטרונומים של אפולו 15, בין דילוג לדילוג על אדמת הירח, ציטטו מאחד מסיפוריו - 'הגבעות הירוקות של הארץ' (The Green Hills of Earth). הם לא היו יכולים שלא להתפעל מהאופן שבו זיקק היינלין את התחושות שמתעוררות באסטרונוט כשהוא חושב על הגבעות הירוקות של הארץ בעודו מוקף בגבעות האפורות ונטולות החיים של הירח, וזאת מבלי שאי פעם דרכה כף רגלו של היינלין על החול האפור.

במהלך שנות השבעים הייתה בריאותו של היינלין רעועה והוא לקה בסדרת דלקות בטן ובסתימות עורקים שמנעו ממנו לכתוב במשך שנים ארוכות. לאחר ניתוח מעקפים והחלמה ממושכת, חזר לאיתנו והמשיך לכתוב עוד חמישה ספרים עד מותו מאי-ספיקת לב, בשנת 1988. אפרו פוזר באוקיינוס השקט, מול חופיה של קליפורניה.

אז מי היה, בעצם, רוברט א' היינלין? האם היה שמרן ימני? הוא הרי תמך בציד המכשפות של סנטור מק'ארתי, ותיעב את הקומוניזם. בספרו 'השליטים' (The Puppet Masters), היינלין מתאר גזע חייזרים שפולש אל כדור הארץ ומשתלט על מוחות קורבנותיו כדי לשעבד אותם - זו אנלוגיה ברורה לשטיפת המוח הקומוניסטית, כביכול.

או אולי היה ליברל שמאלני? כמעט בכל ספריו מופגנת עמדה אנטי-ממסדית ואנטי-דתית. אחד הטריקים החביבים על היינלין היה לתת לקוראים להתאהב בדמות הראשית הכריזמטית והצודקת, ואז להזכיר - כבדרך אגב - שצבע עורה שחור, או שמוצאה מאחד ממגזרי המיעוטים.

ייתכן וניתן למצוא את התשובה לשאלה זו בספר 'עריצה היא הלבנה' (The Moon's a Harsh Mistress), אף הוא אחד מספריו המוצלחים והמשובחים ביותר של היינלין. הירח, על פי הספר, הוא מושבת עונשין שאליה נשלחים כל מי שהשלטונות בכדור הארץ מעוניינים להיפטר ממנו, בדומה לראשית ימיה של יבשת אוסטרליה. תנאי החיים במושבת הירח נוקשים ובלתי מתפשרים: מי שאינו מסתדר עם שכניו, מטריד את מעט הנשים שחיות במושבה או שמתקשה למצוא עבודה - נזרק החוצה אל הריק ללא חליפת חלל. עלילת הספר עוקבת אחר מרד שפורץ על הירח ובניסיונות תושביו להקים לעצמם מדינה עצמאית. סיכוייהם לעמוד כנגד עצמת כדור הארץ קלושים, אך לזכותם עומדות שנים ארוכות של חישול וברירה טבעית בתנאים הקשים שמעמידה מולם העריצה, היא הלבנה. הערכים שעולים מתוך הספר הם תמצית ערכיו של היינלין:

ערכים ליברטינים, (Libertine) מלשון 'ליברטי', חופש. חירות אישית, חופש האדם לעשות כרצונו ללא רסן ועול השלטון, הם המוטיב החשוב בספריו.

ליברטניזם הוא ייצור כלאיים מוזר: אינו ליברלי אינו שמרני, או לחילופין גם ליברלי ושמרני. חופש האדם לעשות מה שברצונו לעשות בחדר השינה שלו ללא הפרעה - הוא ליברלי. המאבק הבלתי מתפשר למען מדינה חופשית כנגד אויבים המעוניינים לחנוק את החירות הזו - קומוניזם, לדעת היינלין - שמרני במובהק. בקיצור, אי אפשר למקם את היינלין על הקשת המקובלת של ימין או שמאל, ליברלים או שמרנים: הוא משהו אחר. הוא גם וגם. ייתכן וזהו סוד הקסם של ספריו.

21. מדע בדיוני ללא

חייזרים: על אייזק אסימוב

אייזק אסימוב (Asimov) נחשב לאחד משלושת ענקי המדע הבדיוני, נוסף על ארתור ס' קלארק ורוברט היינלין. הסיפורים שכתב זכו באופן קבוע לפרסים ולתארי כבוד. סדרות ספריו נחשבות עד היום לקלסיקות וזוכות לאזכורים ולחיקויים אין ספור. התקופה שבה כתב, משנות הארבעים של המאה העשרים ועד שנות התשעים, נחשבת לתור הזהב של ז'אנר המדע הבדיוני. אסימוב נחשב לאחד הסופרים הפורים ביותר בהיסטוריה: באמתחתו לא פחות מחמש מאות ספרים, הישג נדיר אפילו בעידן מכונת הכתיבה והמחשב. סביר להניח שהיה מוסיף עוד כמה וכמה ספרים לרשימה הארוכה הזו, לולא הלך לעולמו בשנת 1992 בנסיבות מצערות שעליהן נרחיב בהמשך.

אייזק אסימוב נולד ברוסיה בשנת 1920 ליהודה ורחל אסימוב. כפי שאתם ודאי מנחשים, אייזק

(הגרסא הלועזית של 'יצחק') היה יהודי ואפילו היה דובר יידיש שוטפת, אם כי היה אתאיסט מושבע. כשהיה ילד קטן היגרו הוריו לניו יורק שבארצות הברית ופתחו שורת חנויות לממתקים. בחנויות אלו היה מקובל למכור גם מגזינים זולים ושם התוודע אייזק למדע הבדיוני בפעם הראשונה.

הקריירה הספרותית של אסימוב הייתה הצלחה מסחררת כבר מתחילתה. שני הסיפורים הראשונים שהגיש לפרסום במגזין מדע בדיוני נדחו על ידי העורך, אבל השלישי התקבל. לא חלפו שנתיים ובשנת 1941 הוא כתב את הסיפור 'שקיעה' (Nightfall), שזכה בתואר 'סיפור המדע הבדיוני הקצר הטוב ביותר בכל הזמנים'. את הכבוד הזה העניקו לאסימוב עמיתיו בכנס סופרי המדע הבדיוני של ארצות הברית.



איור 80: אייזק אסימוב, לצד דמויות ומוטיבים מוכרים מספריו - איור של רואנה מוריל

'שקיעה' מספר את סיפור תושבי כוכב הלכת לגש (Lagash), שמקיפות אותו לא פחות משש שמשות. כתוצאה מכך הלילה אינו יורד על לגש אלא שבכל זמן נתון ובכל נקודה על פני הכדור יש תמיד לפחות שמש אחת בשמיים. מנקודת מוצא מרתקת ומשונה זו יוצא אסימוב למסע שחוקר את השלכות המצב המוזר הזה על החברה האנושית. כן, האנושית. אסימוב כתב, כפי שהוא עצמו הגדיר זאת, 'מדע בדיוני חברתי' - הוא התעניין תמיד באופן שבו בני האדם מגיבים להתפתחויות טכנולוגיות ובקונפליקטים שעולים מהן. בכל ספריו של אסימוב לא נמצא אפילו חייזר אחד.

כיוון שאין לילה בלגש, תושביו אינם מודעים לכך שיש כוכבים נוספים בשמיים שמסביבם ולמעשה האסטרונמיה היא מדע מנוון ואינו מפותח כלל. כתוצאה מכך חוקי טבע שנראים לנו בסיסיים, למשל כוח המשיכה האוניברסלי וחוקי ניוטון, לא נתגלו על לגש באותה המהירות שבה נתגלו בכדור הארץ. הפיסיקה נחשבת אצלנו בתור 'מלכת המדעים', אך בלגש היא מדע זניח ואיזוטרי באופן יחסי. נקודת המוצא שבחר אסימוב מעניינת במיוחד כיוון שלמעשה מודגמת עד כמה חשובה הייתה האסטרונמיה להתפתחות המדע בכדור הארץ.

מושגי הזמן שלנו קשורים באופן הדוק לתנועת גרמי השמיים, והמדענים האמתיים הראשונים היו אסטרונומים. לולא האסטרונומיה, סבירות גבוהה היא שהמדע והטכנולוגיה היו נחשלים ומפגרים.

המדענים בסיפור 'שקיעה' מגלים שתי תגליות מפתיעות, פחות או יותר באותו הזמן. הראשונה היא שמדי אלפיים שנה מתרחש ליקוי חמה נדיר שבמסגרתו מוסתרות כל שש השמשות מאחורי הירח (הבלתי ידוע, עד כה) של לגש, וכוכב הלכת צולל ללילה חשך שנמשך כעשרים וארבע שעות. התגלית השנייה היא שמדי אלפיים שנה מתרחש אירוע קטסטרופי בלגש שגורם למחיקה כמעט טוטלית של הציוויליזציה. האסונות הללו מתרחשים באופן מחזורי וקבוע, כפי שמעידים שרידיה של עיר עתיקה. הם מראים שהיא נהרסה ונבנתה מחדש בכל אלפיים שנה במשך עשרות אלפי שנים.

הקשר בין שתי התגליות הללו מתברר עד מהרה על ידי פסיכולוג שמבין שמי שאחראי ל"אסון הטבע" המסתורי הזה הוא למעשה בני לגש עצמם. החשכה אינה מצב טבעי בלגש ואף לא אחד מסוגל לסבול חושך מוחלט ליותר מכמה דקות רצופות. וכשהלילה יורד בפתאומיות שכזו על הכוכב כולו, התושבים ההיסטריים נתקפים בשיגעון: הם שורפים את כל

הבא ליד רק כדי לגרש את החושך. התרבות האנושית כולה עולה בלהבות. המדענים, שמבינים כי אינם יכולים למנוע את רוע הגזירה, מנסים לשמר את הידע שנצבר במחזור התרבות הנוכחי כדי להעבירו לאנשי המחזור הבא ובכך, אולי, לשבור את שרשרת ההרס האכזרית הזו. מי שמפריעים למדענים הם חברי קבוצה דתית שספריהם העתיקים מספרים על קץ העולם בכל אלפיים שנה.

מוטיב מובהק בספרי אסימוב בא לביטוי: סלידה מדת. אסימוב, באופן אישי, לא שנא דת או מאמינים - לא את היהודים ולא את הנוצרים - אך לא האמין באלוהים ובגן העדן המובטח למאמינים בו. הוא אפילו דחה בבוז את ההצגה המקובלת של 'גן העדן' השמימי. "איפה ישנו גן העדן שבו ניתן לכתוב, לחקור, לקיים שיחות מעניינות, לחקור תופעות מדעיות מעניינות?" שאל אסימוב, והשיב לעצמו - "עדיין לא שמעתי על גן עדן שכזה."

בכל ספריו עובר כחוט השני הרעיון שלפיו רק המדע, ולא הדת, הוא המפתח להצלחה ולהישרדות המין האנושי בעתיד כנגד כל הקשיים והבעיות שעלול להיתקל בהם. במקרה של 'שקיעה', אנשי הכת הדתית - על אף שיודעים שהאסון הולך ומתקרב - אינם מוכנים לסייע למדענים ואפילו מתנגדים להם,

מתוך פרשנות קנאית של כתבי הקודש שלפיה האסון הוא צו אלוהי ואסור להתנגד לו. אסימוב מראה לנו כאן שגם אם הידע עצמו קיים גם בדת גם במדע - רק במסגרת המדע אפשר לעשות בו שימוש אמיתי לטובת האנושות.

כדי לשים את הנקודה בסוף הטיעון של אסימוב, הנה דוגמה: הבי-בי-סי הבריטי פרסם כתבה על מהומות שהתרחשו בניגריה בשנת 2001 בזמן ליקוי חמה. תושבי העיירה מיידוגורי (Maiduguri) הם מוסלמים אדוקים. כשהשמש החלה להיעלם יום אחד בעקבות ליקוי החמה, המטיפים במסגדים הכריזו שמדובר בעונש אלוהי על כפירת תושביה הנוצרים של העיירה וחטאיהם. ההמון המשולהב והמוטרף מפחד שמא אלוהים לא יחזיר את השמש לשמיים, שרף כנסיות, הרס בתים וכיוצא בזה. הנה ההוכחה הנצחית שהמציאות עולה על כל דימיון, ואני מניח שאפילו אסימוב היה מתקשה להאמין שסיפורו קם לתחייה בצורה משכנעת כל כך.

הסיפור 'שקיעה' היה נקודת מפנה בקריירה של אסימוב, והציב אותו בשורה הראשונה של סופרי המדע הבדיוני. המעריצים התווכחו ביניהם תמיד מי סופר טוב יותר: אסימוב, או ארתור ס' קלארק שחתום על קלאסיקות כמו 'אודיסאה בחלל 2001'.

המחלוקת הזו יושבה סופית כשאסימוב וקלארק החליטו, בזמן נסיעה במונית ברחוב פארק אבניו שבניו-יורק, על הסידור הבא: אסימוב יצהיר תמיד שקלארק הוא סופר המדע הבדיוני הטוב ביותר בעולם, וקלארק יאמר תמיד שאסימוב הוא הסופר הטוב ביותר בעולם. ההסכם הזה זכה לשם 'הסכם פארק אבניו של אסימוב-קלארק'. ארתור ס' קלארק הקדיש אחד מספריו לאסימוב, וכתב –

*"הסופר השני הטוב בעולם מקדיש
ספר זה לסופר השני הטוב בעולם."*

עוד כבוד גדול נפל בחלקו של אסימוב כשסדרת ספרים שכתב, סדרת 'המוסד', זכתה בשנת 1965 בפרס "סדרת המדע הבדיוני הטובה ביותר בכל הזמנים". היא אף הקדימה את 'שר הטבעות' של טולקין. סדרת 'המוסד', Foundation, עוקבת אחרי ההיסטוריה האנושית במשך כעשרים אלף שנים, כשהאנושות כבר התפשטה לכל מרחבי הגלקסיה ואוכלוסייתה מונה טריליונים רבים.

אסימוב מעלה את הרעיון הבא: בני אדם הם יצורים בלתי צפויים שאי אפשר לחזות את פעולתם מראש, אבל ייתכן שהתנהגותם של ביליוני בני אדם דווקא כן

ניתנת לחיזוי. באמצעות שימוש בכלים מתמטיים סטטיסטיים וניתוח פסיכולוגי של האדם הממוצע, ניתן לצפות את תגובת מאסות גדולות של אנשים. אסימוב מכנה את המדע החדש הזה 'פסיכו-היסטוריה', והוא מעניק לדמות הראשית של הסדרה - הפסיכו-היסטוריון הארי סלדון - את היכולת לחזות את עתיד האנושות עשרות אלפי שנים קדימה. בעקבות זאת גם את היכולת לתמרן את ההיסטוריה העתידית של האנושות לכיוונים שרצויים לו.



איור 81: עטיפת הספר 'מוסד וקיסרות', בהוצאת מסדה

אסימוב נשען על רעיון מדעי מוכר: התרמודינמיקה הסטטיסטית, ענף בפיזיקה שעוסק בניתוח התנהגות אטומים וחלקיקים אחרים בכמויות גדולות. בדומה לפסיכו-היסטוריה, נקודת המוצא של התרמודינמיקה הסטטיסטית היא שאין דרך מעשית לעקוב אחר מסלול תנועת אטום בודד. אבל מהיכרות החוקים הבסיסיים ששולטים בהתנהגות האטום הבודד והכלתם על מיליארדי אטומים - ניתן בהחלט לחזות כיצד יתנהג החומר במצבים מסוימים. אם נחמם גז בתוך בלון, לדוגמה, אין לנו שום סיכוי לדעת כמה מהר ינוע כל אטום ואטום של הגז. אבל בתור קבוצה, ניתן להעריך בדיוק רב מה תהיה התפלגות המהירות בין האטומים - דהיינו, כמה אטומים ינועו מהר וכמה ינועו לאט. מתוך ידע זה אפשר לחשב, למשל, מה יהיה הלחץ שיפעיל הגז על דפנות הבלון, או מה תהיה הטמפרטורה שלו.

הפסיכו-היסטוריה, אם כן, מפעילה עקרונות אלה על אנשים במקום על אטומים ומכאן מאפשרת לחזות את העתיד. אנשים מורכבים יותר מאטומים (חלקם, לפחות) ולכן קשה יותר לדעת את כל החוקים הבסיסיים ששולטים על התנהגותם - זו הסיבה שבסופו של דבר מדובר במדע בדיוני... אסימוב היה מודע לקושי הזה, ופתר אותו על ידי הצבת העלילה

בעתיד הרחוק מאוד. הוא גם ציין שניתוח התנהגות בני אדם תקף רק כשהאוכלוסייה מונה טריליונים על גבי טריליונים של פרטים, ולא מיליארדים או מיליונים כמו על כדור הארץ כיום.

אסימוב נשען כאן על יסוד נוסף, אינטואיטיבי יותר. למרות שאיש אינו יכול לחזות את העתיד בוודאות, יש קבוצת אנשים שמתהלכים בינינו, כאן על כדור הארץ, שמשוכנעים שיש להם היכולת הזו. הם מנסים לנתח התנהגות קבוצות גדולות של אנשים ולתעל אותה לצרכיהם: יש אלה שטוענים בציניות שקבוצת האנשים הזו היא היא השולטת בנו באמת, ולא גופים מוכרים יותר כמו הממשלה או הפרלמנט. אני מתכוון לאנשי פרסום, כמובן. הפרסומאים נעזרים בכל טריק פסיכולוגי, בכל שבריר מידע על אופי המחשבה האנושי ועל תגובותינו לגירויים שונים כדי לדחוף אותנו לפעול בכיוון שהם מעוניינים לכוון אותנו אליו. החל מקניית מוצר מסוים ועד הצבעה למועמד כלשהו בבחירות. יכולתם להשפיע על האדם הבודד מוגבלת מאוד, אבל יש להם השפעה רבה על התודעה הקבוצתית. מבחינה זו, יכול להיות שג'יפית היא ההארי סלדון האמתית, משונה עד כמה שזה נשמע. בואו נקווה שהיא תמשיך לנסות ולמכור לנו

מיונז דל-קלוריות, ולא תנסה להשתלט על הגלקסיה כולה.

רעיון הפסיכו-היסטוריה נתן לאסימוב מקום לעסוק בחומרים שהוא אוהב, דהיינו - מדע בדיוני חברתי. בסיפורי 'המוסד' מעלה אסימוב דילמות מרתקות שבמרכזן השאלה האם האדם הוא אדון אמתו לגורלו, או שהכול קבוע מראש. הדמויות בספריו נקרעות בין השאלה האם יש בכלל טעם בפעולות שהן עושות, או שמא הן רק בובות מתוכננות שנשלטות על ידי הארי סלדון והפסיכו-היסטוריה שלו. מבחינה זו, נמשך את הוויכוח התיאולוגי עתיק היומין לגבי מידת חופש הפעולה שנותן אלוהים לאדם: אם אלוהים הוא כל יכול ומסוגל לקבוע את העתיד, האם לאדם יש בכלל עצמאות כל שהיא? במילים אחרות, אם אנחנו חוטאים - האם אנחנו אשמים באמת, או שאלוהים קבע מראש שנחטא ולכן אין טעם בכלל לנסות ולהיות אנשים טובים? יש חכמי דת הטוענים שאלוהים משאיר לאדם את זכות הבחירה בין טוב לרע. הוא רוצה שנעשה שימוש בשכלנו, ונקבע את עתידנו במו ידינו. הפיסיקאי סטיבן הוקינג העיר פעם בעניין זה שמניסיונו גם האנשים שמאמינים בכל לבם שהגורל ידוע וקבוע

מראש - עדיין מסתכלים ימינה ושמאלה כשהם חוצים את הכביש.

סדרת ספרים חשובה נוספת שכתב אסימוב היא סדרת 'הרובוטים'. זו סדרה נפרדת ועצמאית של ספרים וסיפורים שאסימוב החל לכתוב עוד בשנות הארבעים, ללא קשר לסדרת 'המוסד'. בהברקה של גאונות ספרותית ממש, הצליח אסימוב לחבר את סדרת 'הרובוטים' עם סדרת 'המוסד' בשנות השמונים. שלושת הספרים האחרונים שכתב בסדרת 'המוסד' משלבים את שתי הסדרות הללו לעלילה אחת קוהרנטית והגיונית, ויוצרים יקום והיסטוריה עתידית מרתקים ממש. סדרת 'הרובוטים', על אף שלא זכתה בפרסים ובתארי כבוד, היא לטעמי היצירה שבה הצליח אסימוב להותיר את חותמו באופן הברור ביותר על העולם הטכנולוגי של ימינו.

מכונות כמו-אנושיות הופיעו בספרות עוד לפני אסימוב אבל כמעט תמיד בהקשר שלילי, כמו סיפורו הטרגי של פרנקנשטיין, לדוגמה. אסימוב הוא הראשון שנתן לרובוטים אופי חיובי, כשהראה כיצד הם יכולים לסייע לאנושות. הוא סילק מהם את ההקשרים המפחידים והשליליים באמצעות המצאה ספרותית חשובה נוספת - 'שלושת חוקי הרובוטיקה'. שלושת חוקי הרובוטיקה הם:

1. רובוט לא יפגע באדם, או יניח לו להיפגע;

2. רובוט יציית תמיד לפקודותיו של האדם, אלא אם פקודות אלה סותרות את החוק הקודם;

3. הרובוט יגן על עצמו, אלא אם כן הגנה זו עומדת בסתירה לשני החוקים הקודמים.

שלושת החוקים הללו הם הבסיס לכל סדרת 'הרובוטים' של אסימוב, שבהם הוא למעשה בוחן את כל ההשלכות האפשריות של החוקים הללו על התנהגות הרובוטים והאינטרקציה שלהם עם בני אדם. הוא שובר את החוקים, עוקף אותם, משנה אותם, גורע מהם ומוסיף עליהם בעשרות וריאציות שונות. חשוב לציין כאן שאסימוב אינו מנסה כלל להסביר איך הרובוטים עובדים, מהי הטכנולוגיה שמאחוריהם או אפילו איך מומשו שלושת החוקים במוחותיהם. מטרת התרגילים הספרותיים היא לספק לנו הצצה לבעיות המוסריות וחברתיות שעלולות לצוץ בעתיד כתוצאה מהתקדמות הטכנולוגיה. אסימוב נגע כאן בשאלות בסיסיות מאוד כגון: מה מבדיל אדם מרובוט? מתי חשוב יותר שרובוט יגן על עצמו מאשר על האדם? מהן ההשלכות של ויתור על חלק מהחוקים ואיך, למרות החוקים הקשיחים

והבלתי מתפשרים, יכולים בני אדם להשתמש בכל זאת ברובוטים כדי לפגוע זה בזה.

המסקנה הסופית של אסימוב, המבוטאת בספרים האחרונים של סדרות 'המוסד' ו'הרובוטים', עשויה להפתיע את המאזינים. כפי שציין אריה סתר מאמרו 'המחשב והמוח על פי אסימוב', נדמה שהסופר שינה לאורך השנים את גישתו העקרונית כלפי הפוטנציאל הטמון במחשבים. אם בתחילה עולה מהספרים שרובוטים ומחשבים יכולים להחליף את בני האדם, לתפוס את מקומם בביצוע משימות מסובכות ומורכבות ובאופן כללי להגיע לרמת אינטליגנציה שוות ערך (או אפילו עולה על) המוח האנושי - בספרים האחרונים קיבלה דעתו תפנית פסימית יותר.

נזכיר כאן שאסימוב החל לכתוב בשנות הארבעים של המאה העשרים, כשמחשבים היו נדירים מאוד. ככל שמחשבים הפכו יותר ויותר נפוצים אסימוב החל להבין טוב יותר את מגבלותיהם: את חוסר הגמישות, את היעדר האינטואיציה וכוח היצירה. ייתכן ושינוי גישה זה הוא שגרם לכך שבספריו המאוחרים יותר מגיעים הרובוטים של אסימוב למסקנה שעצם נוכחותם בין בני האדם עשויה לסכן את האנושות. שני רובוטים בעלי אינטליגנציה גבוהה במיוחד,

ג'סקרד ודאניל, מבינים ששלושת החוקים בשילוב העדר הגמישות והמעוף של הרובוט - חונקים את בני האדם. על פי החוקים, הרובוטים מחויבים למנוע מבני אדם מלהיקלע למצבים מסוכנים, אבל חלק בלתי נפרד מהקיום האנושי הוא ההליכה אל הלא נודע, אל הגילוי, אל האופק הלא ברור והמסוכן לפעמים. אם הרובוטים לא יתנו לבני האדם את האפשרות ליטול סיכונים, האנושות תגווע ותיעלם. הרובוטים מחליטים שטובת האנושות עדיפה על טובת האדם הבודד, ונעלמים לתמיד.

אישיותו של אסימוב הייתה מרתקת. פרט לספרות המדע הבדיוני שבה הצטיין כל כך, כתב אסימוב עשרות ואף מאות ספרים ומאמרים על מדע פופולרי ועל טכנולוגיה. הוא ראה בחינוך הציבור למדע מעין שליחות אישית. "אם המדע יוצג לילדים בצורה לא טובה," אמר אסימוב, "הילדים עלולים לפתח שנאה ופחד ממנו - וזה מצב גרוע יותר מאשר אם לא הצגנו את המדע לילדים בכלל."

הוא כתב גם על היסטוריה, על נושאים חברתיים, על שמירה על אכות הסביבה, על בזבוז המשאבים המתכלים של כדור הארץ ואפילו כתב ספרי בדיחות. השטף הבלתי ייאמן של ספרים בכל תחום ובכל נושא, הביא את הסופר קורט ווניגוט לשאול את

אסימוב 'איך זה מרגיש לדעת הכול?' אסימוב השיב שהוא יודע רק מה מרגיש זה שאומרים עליו שהוא יודע הכול - "אי נוחות". צניעותו באה לידי ביטוי באנקדוטה טיפוסית: אסימוב כתב עבור מגזין ילדים ובאחד מן הימים קיבל תשלום שהיה גבוה בכמה עשרות דולרים מהתשלום המקובל. הוא מיד שלח מכתב אל ההוצאה לאור, וביקש לוודא שלא נעשתה טעות ושהתשלום הגבוה (יחסית) שקיבל, לא נעשה על חשבונם של הכותבים האחרים.

אסימוב היה קלסטרופיל - זאת אומרת, אהב מקומות סגורים וקטנים. בביוגרפיה שלו סיפר שהפנטזיה שלו בתור ילד הייתה לנעול את עצמו בתוך דוכן עיתונים קטן וצפוף, ולקרוא מגזינים של מדע בדיוני. אסימוב גם שנא לטוס: פרט לפעמים בודדות בחייו הוא נמנע מלעלות על מטוס. בזמן שהגיבורים בספריו חוצים גלקסיות וטסים בחלליות מהירות, אסימוב עצמו העדיף תמיד להפליג בספינות טיולים. המוזריות הקטנות הללו, אהבת המקומות הסגורים והפחד מטיסה, חלחלו גם אל הספרים: בסדרת 'הרובוטים' אסימוב מתאר את האנושות חיה בעתיד בערים סגורות וצפופות. 'מערות הפלדה' כפי שהוא מכנה אותן הן ללא ספק, הסביבה שאסימוב היה מרגיש

בה הכי בנוח. הגיבור בספרי הרובוטים, אלייה ביילי, סולד מטיסה אף הוא.

אייזק אסימוב הלך לעולמו בשנת 1992. רק עשר שנים מאוחר יותר נחשפה סיבת המוות - איידס. אסימוב קיבל עירוני דם שהכיל את הנגיף במהלך ניתוח מעקפים שעבר כמה שנים קודם לכן. אסימוב רצה לצאת בהצהרה פומבית על המחלה, אבל רופאיו שכנעו אותו להסתיר אותה כדי שמשפחתו לא תסבול מस्टיגמות ומנידוי חברתי.

מבקרים רבים האשימו את אסימוב בכך שהוא נטול סגנון ספרותי, שכתיבתו יבשה ועובדתית ושהדיאלוגים לוקים בחסר ושהדמויות אינן מפותחות מספיק. אסימוב עצמו, וכמה מבקרי ספרות אחרים, ציינו דווקא ההפך - ש'היעדר הסגנון', כביכול, הוא למעשה הסגנון של אסימוב. הפשטות היא כלי שבו נעזר אסימוב כדי להעביר לקורא את הרעיונות המקוריים ומעוררי המחשבה שלו. כך או כך, ברור שלאסימוב הייתה השפעה אדירה על התפתחות המדע הבדיוני, ובמשך שנים רבות היה אסימוב, בעל פאות הלחיים הארוכות והמשקפיים עבי המסגרת, הפנים המזוהות ביותר עם הז'אנר המדע הבדיוני.

הוא הרבה לתת עצות לסופרים מתחילים והיווה השראה להמוני כותבים בעולם כולו. אסימוב האמין במקצועיות חסרת פשרות גם בכתיבה, בדומה לכל מקצוע אחר: הוא הדגיש את הצורך שבהכרת חוקי התחביר והדקדוק, באוצר מילים רחב ידיים ובכוח התמדה.

"ואם זה לא יילך", כתב אסימוב, "ואתה לא מצליח להיות סופר מדע בדיוני משובח - תמיד תוכל להסתפק במקצועות נחותים יותר כמו מנתח, שופט בית המשפט העליון, או נשיא המדינה."

22. הסדרה שהרגיזה את אסימוב: על מדע ובדיה במדע הבדיוני

לא קל להיות סופר. למי שמציץ מבחוץ, כתיבה נראית כמו מקצוע נהדר: יושבים על כיסא בבית קפה, מקלידים כמה שורות על המחשב, חושבים קצת, עוד כמה שורות... איזה ג'וב נפלא.

לא, ממש לא. כתיבה (ועל כך אני יכול להעיד מגוף ראשון) היא אחד המקצועות המייסרים והאומללים ביותר. כל שורה שסופר מעלה על הכתב היא תוצאה של אינספור לבטים, ניחושים והחלטות קשות. מה יאהב הקורא? מה יגידו המבקרים? האם דווקא התפנית הזו בעלילה, שנראית לי מוצלחת כל כך, תתברר כשטות גמורה? ומי אומר שאחרי כל המאמץ הזה, ההוצאה לאור או העורך בכלל יסכימו לפרסם את הספר?

גם סופרי מדע בדיוני אינם פטורים מהקשיים הללו, כמובן. במאמר זה בחרתי לעסוק באחת הדילמות הבסיסיות שמולם ניצבים כל הסופרים בז'אנר המיוחד הזה. אפשר לכנות אותה בשם 'דילמת הדיוק'. כשקורא בוחר לקרוא ספר מדע בדיוני, הוא מצפה למצוא מדע וטכנולוגיה לצד בדיון. כמה מדע וטכנולוגיה? זו כבר שאלה של העדפה אישית, של הסגנון האינדיבידואלי של הסופר ושל גורמים נוספים, אבל מדע חייב להיות שם. סיפור מד"ב ללא מדע הוא כמו קפה נטול קפאין. אתה יכול לשתות את זה, אבל מה הטעם? אם מדע חייב להיות בסיפור, מיד עולה השאלה: עד כמה הוא צריך להיות מדויק? האם מותר להקריב את הדיוק המדעי בתמורה לסיפור מותח ומרתק יותר? היכן נמצא אותו קו גבול דק שאם חוצים אותו, ה'טעויות' המדעיות - המכוונות והלא מכוונות - הופכות את הספר או את הסרט למגוחך?

הנה דוגמה לסדרת מדע בדיוני שחצתה את הגבול הזה. הסדרה 'חלל: 1999' שודרה בין השנים 1975 ו-1977. המאזינים המבוגרים אולי זוכרים אותה שכן היא שודרה גם בישראל. העלילה הבסיסית היא זו: פיצוץ אטומי מסתורי על הירח דוחף את הלווין שלנו ומסיט אותו ממסלולו. קבוצת חוקרים שנתקעה על

מושבת הירח יוצאת, בלית ברירה, למסע הרפתקאות ביקום ונתקלת בחייזרים, בתופעות טבע משונות וכיו"ב. הסדרה הצטיינה באפקטים המיוחדים שלה, אבל התסריטים ספגו ביקורת קשה במיוחד בשל חוסר אמינותם. אחד המבקרים הבולטים של 'חלל: 1999' היה אייזק אסימוב, מגדולי סופרי המדע הבדיוני. אסימוב כתב כך:

**"יש שלושה מקורות אפשריים
לשגיאות מדעיות בתכנית טלוויזיה:
שגיאות שנעשות מכורח דרמטי,
שאפשר לקבל אותן; שגיאות
שנעשות מצורך מסחרי, שגורמות לך
להיאנח אבל אפשר לקבל אותן;
ושגיאות שנעשות מבורות, שאי
אפשר לקבל אותן."**

ב'חלל: 1999' היו שגיאות למכביר. אחת הדוגמות שהביא אסימוב במאמרו קשורה לכוח המשיכה של הירח. כידוע, על הירח כוח המשיכה הוא כשישית מזה שעל כדור הארץ. האסטרונוטים של אפולו הדגומו זאת היטב בקפיצותיהם המפורסמות על אדמת הירח. גם האסטרונוטים של 'חלל: 1999'

מקפצים באטיות בחליפות החלל שלהם - אבל רק כשהם מחוץ לבסיס. ברגע שהם נכנסים אל תוך המושבה - הם חוזרים לכוח משיכה רגיל. זו שגיאה שאפשר לתייגה כ'שגיאה מתוך צורך דרמטי או מסחרי': קשה מאוד לצלם סדרה שבה כל השחקנים מרחפים באטיות כל הזמן ממקום למקום - זה לא נשמע מעשי במיוחד.



איור 82: פתיח העונה הראשונה של 'חלל: 1999'

אבל מה בעניין הטעות הבאה: על הפסולת הרדיואקטיבית שגרמה לפיצוץ שהזיז את הירח ממסלולו נאמר שהייתה מאוחסנת 'בצד האפל של הירח', אולי במטרה שתישאר קרירה כל הזמן מטעמים בטיחותיים. הבעיה היחידה היא שאין דבר כזה, 'הצד האפל של הירח'. נכון שיש צד אחד לירח שאותו איננו יכולים לראות מכדור הארץ, אבל הוא אינו אפל: הוא מקבל אור מהשמש ומתחמם כשהוא מופנה אליה, בדומה לשאר חלקי הירח. הטעות הזו, אם להשתמש במונח פסיכולוגי מקצועי, 'חרפנה' את אסימוב - אבל אפילו לא כמו הטעות הבאה.

הירח, לאחר שניתק ממסלולו מתחיל לרחף בתוך מערכת השמש, ופוגש בכוכב לכת גדול בשם 'מטה' ועליו חייזרים כלשהם. כוכב לכת בשם 'מטה'? במערכת השמש שלנו? מתי הוא הספיק להגיע אלינו? איך לא ראינו אותו קודם? ואז, רק כדי לסבך את העניינים עוד יותר, הירח עוזב את מערכת השמש ומדלג בין כוכבי שבת שונים. המרחקים המציאותיים בין כוכבי שבת בתוך הגלקסיה כה גדולים, עד שאפילו בפרק 5500 של הסדרה 'צעירים חסרי מנוח' הם לא היו מגיעים לכוכב הקרוב ביותר.

אז מה, אתם ודאי שואלים את עצמכם, מה חדש כאן? הרי החללית 'אנטרפרייז' מגיעה למערכת שמש

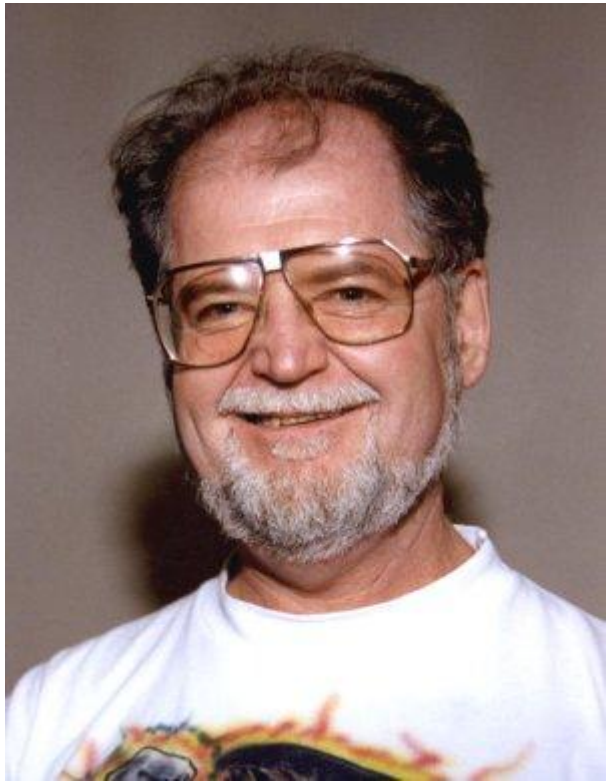
חדשה בכל פרק, וספוק אינו מרים גבה אפילו. ההבדל העקרוני הוא שהיוצרים של 'מסע בין כוכבים' הבינו את משמעות המרחקים בין הכוכבים ולכן המציאו שיטת הנעה דמיונית שהאיצה את האנטרפרייז ל-Warp Speed כדי להתגבר על המרחקים. התסריטאים של 'חלל: 1999' לא הבינו את משמעות המרחק או שבחרו להתעלם ממנו לחלוטין. בפרקים מאוחרים יותר, אולי בעקבות הערות הצופים, הם הוסיפו 'חורי תולעת' מסתוריים שבעזרתם עובר הירח ממקום למקום - אבל זו בברור 'תפירה', תוספת מלאכותית שנעשתה בדיעבד.

לפני שאנחנו שופכים זפת על התסריטאים של 'חלל: 1999' ומגלגלים אותם בנוצות, כדאי לזכור שגם אייזק אסימוב עצמו לא היה קדוש. בספריו ניתן למצוא דמויות שעושות שימוש חופשי בטלפתיה וששולטות במעשיהם של אנשים אחרים באמצעות כוח המחשבה. מנקודת מבט מדעית, זהו רעיון לא ממש אמין ואף על פי כן, ספריו של אסימוב נחשבים ליצירות המופת של הז'אנר.

אז אולי כלל אין צורך לשמור על דיוק ואמינות מדעיים? כפי שציין אסימוב בעצמו, לפעמים מותר לוותר על דיוק, אם הסיפור מצדיק זאת. לפעמים,

עודף דיוק יכול רק לקלקל. סופרמן, למשל, הוא דמות בדיונית שאין צורך להציגה. מה היה קורה לו ניסו תסריטאי 'סופרמן' להקנות לסרטים אמינות מדעית גבוהה יותר?

לארי ניבן (Niven), אחד מגדולי המדע הבדיוני של המאה העשרים, כתב מאמר ובו ניסה לנתח את ביצועי סופרמן מבחינה מדעית. אינני מתכוון להצלותיו ההירואיות ולכוח שריריו, אלא לביצועים מסוג... אחר. איך נאמר זאת בעדינות, סופרמן מהיר יותר מכדור רובה, חזק יותר מקטר רכבת, הוא יכול לעוף - אבל הוא בן 31 ועדיין אין לו בת זוג. עד כמה שאנחנו יודעים, אולי הוא בתול בכלל. ניבן מנסה להעלות השערות לגבי הסיבות לחוסר התפקוד של איש הפלדה: אולי הוא סובל מהפרעה נפשית? אחרי ככלות הכל הוא יתום, פליט בודד במקום זר וגם חייזר מכוכב אחר; אולי הוא בכלל סובל מפיצול אישיות כתוצאה משנים של חיים בזהות כפולה, כקלארק קנט? ואולי לואיס ליין, אהובתו המיתולוגית, פשוט... לא עושה לו את זה? סופרמן אולי נראה מבחוץ כמו אדם, אבל הוא אינו אנושי - ממש כמו שדולפין נראה כמו דג, אבל הוא יונק. יכול להיות שמשוהו באותות הכימיים, בפרומונים שלואיס ליין מדיפה, דוחה את סופרמן.



איור 83: לארי ניבן

נניח שסופרמן מצליח להתגבר על תחושת הקבס שלו ומחליט 'לעשות את זה' עם לואיס - אחרים ככלות הכל, סופרמן הוא גיבור. כשהעניינים מסתיימים הזרעונים הגיבורים שלו טסים, במובן המילולי של הביטוי, במעלה הנרתיק אל הביצית המבוהלת של לואיס. הזרעון שמגיע ראשון חודר את המעטה החיצוני ומפרה את הביצית. בשלב זה, המעטה החיצוני של הביצית משתנה כך שזרעונים נוספים אינם יכולים להיכנס פנימה כדי לוודא שרק זרעון אחד בלבד יתאחד עם הביצית. אבל הזרעונים של סופרמן אינם זרעונים אנושיים. אם הביצית של לואיס ליין אינה עשויה מקריפטונייט, שאר הזרעונים הולכים לחורר את המעטה החיצוני כמו גבינה שוויצרית. הפריה תקינה כבר לא תצא מזה.

ואפילו אם רק זרעון אחד מפרה את הביצית ובדרך פלא הדנ"א של סופרמן דומה מספיק לדנ"א אנושי כדי להביא ליצירת תינוק - איך בדיוק יצליח התינוק הזה להתפתח בתוך לואיס? הרי הבעיטה הראשונה של הסופר-תינוק תקרע את הבטן של לואיס לגזרים ותחסל את שניהם. הפתרון ההגיוני היחיד הוא לשתול את התינוק המתפתח בתוך בטנו של סופרמן עצמו, כמו ארנולד שורצנגר בסרט 'ג'וניור'. אבל... סופרמן בהריון... בטן ענקית שמותחת את הבד הצמוד

והופכת את ה-s ל-S גדולה... זה פשוט לא מסתדר. במקרה הזה לפחות, עדיף לוותר על הדיוק המדעי ולהשאיר את הגיבור ב'מבצר הבדידות' שלו...

מובן שגם מכותבים בז'אנרים אחרים אנחנו מצפים לרמה מינימלית של דיוק. אם התסריטאים של 'סקס והעיר הגדולה' היו טועים בשמות של רחובות במנהטן, היינו מעקמים את האף. מסופרי מדע בדיוני, עם זאת, מצופה בדרך כלל לעמוד בסטנדרטים חמורים קצת יותר. לארי ניבן נחשב לסופר קפדן המשתדל לדייק בעובדות המדעיות שהוא מביא בספריו. למשל, קרבות החלל בסרטי 'מלחמת הכוכבים' בין החלליות של האימפריה והמורדים נמשכים דקות או שעות לכל היותר: אצל ניבן, קרבות חלל נמשכים שנים! הגיבור יורה טיל, וחוזר חצי שנה לאחר מכן כדי לבדוק את הפגיעה. למה? כיוון שהמרחקים אדירים ולטילים יש מהירות מוגבלת. זהו ריאליזם, דיוק מדעי ללא פשרות.

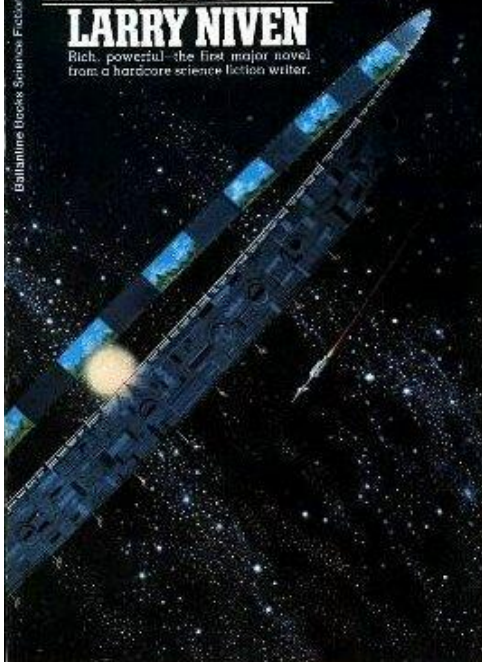
אחד מספריו המוצלחים ביותר של לארי ניבן הוא 'עולם טבעת' (Ringworld). ניבן זכה בפרסי הוגו ונבולה היוקרתיים בזכות הספר הזה והוא נחשב לאחת מיצירות המופת של המדע הבדיוני.

Ballantine Books Science Fiction 020454096

RINGWORLD

LARRY NIVEN

Rich, powerful—the first major novel
from a hardcore science fiction writer.



איור 84: עטיפת המהדורה הראשונה של הספר
'עולם טבעת', 1970

'עולם טבעת' מספר את סיפורה של משלחת היוצאת לחקור את אחד מהמבנים המדהימים ביותר שניתן להעלות על הדעת: עולם מלאכותי, טבעת ארוכה וצרה המקיפה שמש כמו שלנו. אורך הטבעת הוא למעלה ממיליארד קילומטרים ורוחבה יותר משני מיליון קילומטרים. שטח עולם טבעת משונה זה הוא כשטח שלושה מיליוני כדורי ארץ, וצדו הפנימי - זה שפונה אל השמש - מאוכלס בבעלי חיים, בצמחים וביצורים תבוניים אשר הובאו אליו מכל רחבי הגלקסיה על ידי המהנדסים החיזרים המסתוריים שבנו אותו.

ממדי עולם הטבעת כמעט בלתי נתפשים. אפילו ניבן שאל את עצמו, בשעת כתיבת הספר, אם מישהו בכלל יתייחס אליו ברצינות. אף על פי כן הוא תכנן את עולם הטבעת לפרטים והקפיד על מתן פיתרון לכל בעיה הנדסית שהיה יכול להעלות על הדעת. כדי למנוע מהאטמוספירה לזלוג אל מעבר לגבולות הטבעת, הוא הציב קירות בגובה אלפיים קילומטרים בשולי הטבעת. בעולם טבעתי שכזה, שפניו פונות כל הזמן אל השמש, אין לילה אמתי. ניבן הציב לוחות מלבניים במסלול פנימי יותר סביב השמש, כדי שהצל שהם מטילים על הטבעת ידמה את שינויי הלילה והיום. הוא אפילו חישב את תכונות החומר שממנו

צריכה להיות עשויה הטבעת, כדי שיוכל לעמוד בעומסים הנופלים עליו.

אך למרות כל ההשקעה הזו, הראויה להערצה, ניבן פספס. כשכוכב לכת, כמו כדור הארץ למשל, מקיף את השמש, הוא נמצא בשיווי משקל יציב מאוד. מצד אחד כוח המשיכה של השמש מנסה למשוך אותו פנימה. מצד אחר, מהירות תנועתו שואפת לזרוק אותו החוצה, הרחק מהשמש. שני הכוחות הללו מתאזנים והתוצאה היא תנועה מעגלית או כמעט מעגלית, יציבה וקבועה.

עולם טבעת, עם זאת, אינו כוכב לכת רגיל. המסה שלו אינה מרוכזת בכדור נקודתי אחד, כי אם פרושה לכל אורך המסלול המקיף את השמש. ללא הסברים פיזיקליים מפורטים, התוצאה הסופית היא ששני הכוחות שתוארו קודם אינם רלוונטים עבורו. אם השמש נמצאת בדיוק במרכז הטבעת המסתובבת, הטבעת לא תרגיש כוח שידחוף אותה פנימה לעבר השמש ולא כוח שינסה לזרוק אותה החוצה. זהו גם סוג של שיווי משקל, אבל בניגוד לקודמו זהו שיווי משקל לא יציב. המצב החדש דומה לכדורסל שעומד על קצה האצבע: אם לא נעשה כלום כדי לאזן אותו, הכדור ייצא משיווי משקל כמעט מיד. באופן דומה, גם עולם הטבעת זקוק לאיזון מתמיד: בלעדיו,

הטבעת עוזבת את מסלולה בזמן קצר ומתנגשת בשמש. ניבן פספס את הנקודה הזו ולא נתן שום הסבר בספר למנגנון מלאכותי שישמור על שיווי משקל בעולם הטבעת.

תגובת הקוראים שהתרגלו לדיוק מדעי מהשורה הראשונה אצל לארי ניבן, לא איחרה לבוא. הוא קיבל אינספור מכתבי תיקון, ובאחד מכנסי המדע הבדיוני אפילו חיכתה לו קבוצת סטודנטים זועמים באחד המסדרונות וקראו לו במקלה: 'עולם טבעת לא יציב! עולם טבעת לא יציב!'. ניבן הודה בטעות, כמובן, ובספר ההמשך של הסדרה תיקן אותה והוסיף מנגנון של סילונים מייצבים השומר על עולם הטבעת במקומו.

הדוגמה האחרונה מלמדת אותנו שלושה דברים. הראשון הוא שטמבלים קטנוניים נמצאים בכל מקום; השני, הוא שקשה מאוד - אולי אפילו בלתי אפשרי - לשמור על דיוק מדעי מושלם; והשלישי - שזה לא ממש משנה. אחוז הקוראים של 'עולם טבעת' שהיה מסוגל לנתח את מאזני הכוחות הפיזיקליים, להבין שיש כאן טעות קריטית ושגם היה אכפת לו מכל העניין - זניח לחלוטין. כל השאר נשארו מאושרים בבורותם. שיווי משקל או אי שיווי משקל, 'עולם טבעת' הוא ספר מדהים שקיבל בצדק את כל

הפרסים שזכה בהם. יש גבול עליון מסויים לרמת הדיוק המדעי, שמעבר לו אין שום משמעות מעשית. מצד אחר, אין לזלזל כלל בחשיבות האמינות המדעית בסיפורי מדע בדיוני. המדע והטכנולוגיה הם חלק בלתי נפרד מהחוויה שהקורא או הצופה מחפשים בז'אנר הזה. נוסף על כך, אחת מהסיבות שבגללן אנשים רבים כל כך נמשכים למדע הבדיוני היא הידיעה, או ליתר דיוק התקווה, שיום אחד ההמצאות המופלאות שעליהן קראו בספר או שאותן ראו על המסך, יתגשמו במציאות. למשל, יש לי תחושה, סובייקטיבית לחלוטין ואולי לא מבוססת, שהפריחה שאנחנו רואים כיום בתחום מסכי המגע וממשקים כמו השלט של קונסולת ה-Wii או מערכת Kinect של סצנה אחת בסרט 'דו"ח מיוחד'. הגיבור, בגילומו של טום קרוז, עומד מול מסך מחשב גדול. אין לו מקלדת או עכבר - רק עשר אצבעות. כמו מנצח על תזמורת הוא נוגע בחלונות ופותח אותם, גורר אותם ממקום למקום על המסך, זורק אותם הצדה ומביא חדשים במקומם. כשצפיתי בסצנה הזו חשבתי לעצמי: 'ככה זה צריך להיות!' מעניין אם אותה המחשבה עברה במוחם של כמה מאות מהנדסים

כשצפו בסרט, ועד כמה השפיעה עליהם לנסות ולהגשים במציאות את מה שראו על המסך.

יש יתרון נוסף לדיוק מדעי. אם מיישמים אותו נכון, הוא עשוי לשפר כל סיפור מדע בדיוני ולשדרגו מאוד. בלונדון של אמצע המאה ה-18, למשל, היו כאלה שנטרדו מהאפשרות שבעוד מאה שנים העיר כולה תהיה מוצפת בצואת סוסים. באותה התקופה, כמות העגלות והכרכרות שנעו ברחובות העיר הלכה וגדלה. השימוש במכונית ממונעת כתחליף לסוס היה מעבר לגבולות הדמיון הסטנדרטי, למרות שכל מרכיבי המכונית הבסיסיים: מנוע, שלדה על גלגלים וכדומה כבר היו קיימים. הדוגמה האחרונה מדגימה שלמרות שנכון לומר כי לדמיון האנושי אין גבולות - בפועל אנחנו אלה שמגבילים אותו. תמונת העולם שלנו היא, במידה רבה, תוצאה של המציאות שבה אנו חיים. רק אנשים מוכשרים ויצירתיים במיוחד מסוגלים לשבור את התבנית ו"לחשוב מחוץ לקופסה". כל השאר יכולים להרוויח מניצול הידע המדעי של הכותבים - כיוון שלפעמים, המציאות באמת עולה על כל דמיון. הדוגמה הקלסית לכך היא, כמובן, תורת הקוונטים על כל השלכותיה המשונות והמוזרות - אבל זו קלישאה מוכרת מאוד. הדוגמה

הבאה אולי מוכרת פחות, אבל מרתקת ומשונה באותה המידה.

שני תת-ז'אנרים מפורסמים במיוחד של המדע הבדיוני הם ז'אנר 'המפלצות הגדולות': קינג קונג, גודזילה ודומיהם; וז'אנר ה'גיבור המתכווץ', כמו בסרטים 'מותק', הילדים התכווצו!', 'יום במלכודת', ספר 'המסע המופלא' של אייזק אסימוב ועוד.

נתחיל בגיבור המתכווץ. ברוב היצירות בז'אנר זה גיבור הסיפור נלחם בנמלים ובעכבישים מפלצתיים או מתאמץ למצוא דרך בטוחה לרדת משולחן או מכיסא. אבל מה היה קורה לו היינו שומרים על דיוק מדעי בזמן שהיינו מקטינים את הגיבור?

יש עיקרון בסיסי אחד שחשוב מאוד להבינו כאשר ניגשים לדון ברעיון הזה. העיקרון הוא זה: כשמקטינים אורך עצם מסוים פי שניים, השטח שלו קטן פי ארבע והנפח שלו קטן פי 8. ניקח ריבוע, למשל. שטח ריבוע הוא אורך הצלע שלו בריבוע. לכן, אם מקצרים כל צלע פי שניים, השטח שלו קטן פי 2 בריבוע, דהיינו – פי 4. עכשיו ניקח את הריבוע ונבנה ממנו קוביה שוות-צלעות. נפח הקוביה הוא אורך צלע בשלישית, ומכאן שאם נקטין את הצלע פי 2 הנפח יקטן פי 8.

כעת, הבה נכווץ את הגיבור. נניח שגובהו ההתחלתי הוא מטר ושבעים, ונקטין אותו פי 100, דהיינו עד לגובה של קצת פחות משני ס"מ. הרבה מחום גופנו, באופן עקרוני, בורח דרך העור שלנו: זו הסיבה שאנחנו לובשים בגדים כדי שלא להתקרר. בהתאם לעיקרון שציינתי קודם, שטח פני העור של גיבורנו צריך לקטון פי עשרת אלפים, מאה בריבוע. אלו חדשות טובות! הגיבור אינו מאבד חום רב דרך העור. אבל רק רגע. נפח הגוף שלו קטן פי מאה בשלישית: דהיינו, פי מיליון. אלו חדשות לא טובות: הגוף הקטן מייצר עכשיו רק מיליונית מכמות החום שייצר פעם, אבל החום הזה מנסה לברוח דרך שטח העור שקטן רק פי עשרת אלפים. התוצאה היא שגיבורנו ייאלץ לסגל לעצמו קצב חילוף חומרים מהיר מאוד, שלא נאמר היסטרי, כדי לשמור על חום גופו. הוא יהיה חייב להמיר מזון לאנרגיה בקצב מהיר כל כך, עד שכנראה ייאלץ לאכול כל הזמן - עשרים וארבע שעות ביממה - רק כדי להישאר בחיים. אם לא יהיה זהיר, הוא עלול למות בשנתו מרעב. נניח, עם זאת, שמצאנו פיתרון לבעיה: מתקן דמיוני שמסייע לגיבורנו לשמור על חום גופו ללא מאמץ ניכר. כעת, כשהוא זעיר, הוא ייפתח יכולות פיזיות של גיבור-על. הכוח שמפיק שריר, קטן ביחס ישר

לשטח החתך שלו, מכאן שבעקבות הכיווץ הגיבור נחלש פי עשרת אלפים. מצד שני, המסה שלו - שנמצאת ביחס ישר לנפח הגוף ושאותה צריכים השרירים להזיז - קטנה פי מיליון. באופן יחסי, גיבורנו התחזק פי מאה! הוא מסוגל להרים משאות אדירים ביחס לגודלו המיניאטורי. זו הסיבה, דרך אגב, שנמלים מסוגלות להרים דברים כה כבדים ביחס לגופן. תנו לגיבור שלנו סיכה חדה, ואני מרחם על העכביש שייעז להציק לו.

גם ירידה משולחן או מכיסא כבר אינה אתגר רציני. הכוח שמפעילה כבידת כדור הארץ על עצם בנפילה חופשית מתאזן, בסופו של דבר, עם הכוח שמפעיל עליו הגרר כתוצאה מחיכוך עם האוויר. אצל בני אדם 'בגודל מלא', האיזון הזה מתרחש במהירות של כ- 250 קמ"ש, המהירות המקסימלית של אדם הנופל כשהוא מאוזן ביחס לקרקע. המהירות הזו מכונה 'מהירות טרמינלית' והתנגשות בקרקע מוצקה במהירות שכזו היא חוויה טרמינלית באמת. אבל בעקבות הכיווץ, המסה קטנה פי מיליון ומכאן שהשפעת כוח המשיכה קטנה בהתאם. באותו בזמן שטח החתך של הגוף קטן רק פי עשרת אלפים, ולכן הגרר הופך להיות משמעותי יותר. התוצאה היא שהאיזון בין כוח המשיכה לכוח הגרר מתרחש כבר

במהירויות נמוכות. גיבורנו יכול לקפוץ מכל גובה, מעשרה ס"מ ועד עשרה קילומטרים, ולנחות בבטחה על רגליו. הנחיתה לא תהיה רכה כמו נוצה, אבל סביר להניח שלא תזיק לו יותר מדי.

ומה יקרה בכיוון ההפוך? מה יקרה לגיבורנו אם נפח אותו פי עשרה מגודלו המקורי? אותו העיקרון - שטח בריבוע, נפח בשלישית - פועל גם כאן, אבל הפעם לרעתו. מבט חטוף בעולם הטבע יילמד אותנו שחיות גדולות אינן גרסות מנופחות של חיות קטנות יותר. במעבר מקטן לגדול הגוף חייב לעבור שינויים והתאמות כדי להתמודד עם לחצים ואילוצים חדשים. הצוואר הארוך והאלגנטי של הג'ירפה, למשל, מגיע עם תג מחיר. כשהג'ירפה מתכופפת כדי לשתות, משקל הדם שבצווארה מפעיל לחץ אדיר על רקמות הראש. אלמלא סדרת המסתמים הקיימים לאורך עורקי הצוואר של הג'ירפה, סביר להניח שכלי דם במוחה היו מתפוצצים תחת הלחץ בכל פעם שהייתה מנמיכה את ראשה. המסתמים חוסמים את תנועת הדם ומונעים ממנו לזרום לכיוון הראש, ובכך מפחיתים את הלחץ. אצל הגיבור הענק שלנו, כלי הדם שלו אינם מותאמים באופן אופטימלי לגודלו החדש, ורגליו בצרות צרורות: משקל הדם בתוך העורקים והוורידים עלול לפוצץ את הנימים העדינים

בכפות הרגליים. גם השלד והעצמות חייבים לעבור שינויים בהתאם לגודל. המדענים יודעים, עוד מימי גלילאו גליליי, שעצמותיהן של חיות גדולות שונות מאלו של חיות קטנות: עצם פיל, למשל, היא קצרה ועבה ולעומת זאת עצם עכבר ארוכה ודקה.

אבל עובי בלבד אינו מספיק. כדי להתמודד עם הלחצים הגוברים, בעלי החיים הגדולים אימצו לעצמם מבנה שלד ואופני תנועה שמפזרים את העומס באופן אופטימלי על העצמות. העכבר יכול לקפוץ ולנתר, אבל הפיל עומד על רגליו הישרות כמו עמודי תמיכה של בניין. גיבורנו המנופח אינו ניחן באף אחד מהשינויים הללו. עצמותיו, מבנה השלד שלו ואופן תנועתו מתאימים ליצור במשקל של כשבעים קילוגרם. כעת, כשהוא שוקל מאות טונות, כל צעד שלו יהיה גם הצעד האחרון: העצמות יישברו כמו זרדים. אם סופר ירצה להמציא קינג קונג חדש ולהקפיד על דיוק, הוא יאלץ לפתור סדרת בעיות לא פשוטות, אבל אולי דווקא מהצורך הזה יצמחו פתרונות ורעיונות מקוריים שייקחו את הסיפור הקלישאתי והצפוי למקומות חדשים ומרתקים.

אם כן, אין תשובה מוחלטת ואחידה לשאלת הדיוק במדע בדיוני ואמנותו. יש סופרים, כמו ארתור ס' קלארק למשל, שהצליחו מאוד בזכות שילוב מחוכם

של טכנולוגיות הגיוניות ודמיון מרחיק לכת. סופרים אחרים בנו קריירה נהדרת תוך עיקום של כל חוק טבע מוכר כמעט - פיליפ ק' דיק (Dick) הוא דוגמה מצויינת לסוג זה של כותבים.

יש עיקרון מוכר וידוע בספרות ובמחזאות ושמו 'השהיית הספק' (Suspension of Disbelief). על פי עיקרון זה כל קורא מוצא את רמת הדיוק שאתה הוא מסוגל לחיות, והקהל בוחר לעצמו את הדברים שלהם הוא מוכן להאמין ואת אלו שלא. יש אנשים שמקבלים את העובדה שסופרמן מסוגל לעוף. אנשים אחרים, לעומתם, אינם מצליחים להבין איך יכול להיות שלואיס ליין אינה מסוגלת לזהות את אהובה רק בגלל ששם על עצמו משקפים עבים וסידר את השיער אחרת. לעתים, אלה אותם האנשים.

השהיית אי-האמון הכרחית כדי שנוכל ליהנות מיצירה. אם נזכיר לעצמנו ללא הרף שבן-אדם אינו יכול להפוך לגיבור-על רק בגלל שנעקץ על ידי עכביש, לא נצליח ליהנות מספיידרמן. על סופר המדע הבדיוני מוטלת המשימה ליצור עולם שמצד אחד יהיה דמיוני ומרחיק לכת, ומצד אחר מציאותי מספיק כדי לשמר את האשליה. דיוק מדעי קשוח ובלתי מתפשר עלול להפוך את הסיפור למשעמם; אבל סטיות גדולות מדי מהמציאות יכולות לשבור את

השהיית הספק ולהרוס את החוויה. זו משימה לא פשוטה, אבל כפי שציינתי בתחילת המאמר: לא קל להיות סופר.

23. מבטה המאיים של פירנצה: על יצירות מופת באמנות

אדם עומד במוזאון. הוא נמצא במסדרון ארוך ורחב ידיים בעל תקרה גבוהה וקשתית. בקצה החדר יש פסל. זהו פסל אדיר ממדים: הוא מתנשא לגובה של למעלה מחמישה מטרים, אבל בשל הדומיננטיות הכריזמטית שלו נדמה כי הוא ממלא חלל גדול עוד יותר ומגמד את כל שאר המוצגים שסביבו. האדם נעמד למרגלות הפסל. הוא רזה למדי. ראשו קירח פרט לשובל ארוך של שיער מעל עורפו. יש לו זקן שחור וארוך והוא לובש מעיל. מתחת למעיל הוא מסתיר פטיש. שאר המבקרים במוזאון אינם חושדים בדבר.

לפתע, בתנועה מהירה, האיש שולף את הפטיש ומסתער על הפסל בחמת זעם רצחנית. כל הראשים בחדר פונים אליו בבת אחת. כל הפיות נפערים

בתדהמה. מתכת פוגשת באבן בקול ריסוק שמהדהד בתוך החדר הגדול. השנה היא 1991, המוזאון הוא 'גלריה אקדמיה' בפירנצה, שמו של האיש הוא פיירו קנטה (Cannata), מובטל בן 47. הפסל הוא 'דוד' של מיכלאנג'לו.

בתוך שניות מתעשתים שאר המבקרים. כמה מהם מזנקים על פיירו ונאבקים בו. הם מרתקים אותו לרצפה עד שמגיעים השומרים - אך הנזק כבר נעשה. אחת מאצבעות רגלי 'דוד' נעלמה והפכה לרסיסי שיש לבן שמפוזרים כעת על רצפת המוזאון. מדת הנזק הייתה זעירה ביחס לממדי הפסל, אבל לא מדובר בעוד יצירת אמנות. 'דוד' הוא בן יותר מ-500 שנים, בבת עינה של העיר פירנצה ושל איטליה כולה וככל הנראה הפסל המפורסם ביותר בעולם. אינני יודע אם האנשים שתפסו את פיירו קנטה הספיקו להחליף עמו כמה מילים לפני שנלקח משם על ידי המשטרה, אבל אם כן - אני משוכנע שהשאלה הראשונה שנשאל קנטה הייתה 'למה?' בחקירתו טען פיירו כי דמות נשית מתוך תמונה כלשהי דיברה אליו והורתה לו להרוס את 'דוד'. אף אחד לא הופתע לגלות שפיירו קנטה משוגע. בעקבות התקיפה הוא אושפז בבית חולים לחולי נפש וכעבור זמן מה שוחרר. בשנת 1993 תקף עוד שתי

יצירות אמנות, וב-1999 קשקש בעט על ציור של האמן המפורסם, ג'קסון פולוק (Pollock). הוא נחשב לאימת שוחרי האמנות האיטלקים ואי אפשר לדעת איזה נזק יגרום בעתיד. אנשי המוזאון אספו את השברים ותיקנו את אצבעו של דוד, עד כמה שהיו יכולים.

הפסל 'דוד' הוא יצירת מופת, ויש תמימות דעים חוצת גבולות ותרבויות שהרס של יצירות מופת באמנות אינו מתקבל על הדעת. שאלה מסקרנת היא מה הופך יצירת אמנות ל'יצירת מופת'. הרי נזרוק בקלות לפח תמונה שקנינו בדליית אל-כרמל, אבל המחשבה על פגיעה בקצה אצבעו של דוד גורמת לחלק גדול מהאוכלוסייה רצון עז להניח את ידיהם על גרונו של פיירו קנטה ולהדק ולהדק... מה ההבדל בין 'סתם פסל' או 'עוד תמונה' ליצירת אמנות שנחשבת לעילאית, לנפלאה ולמיוחדת?



איור 85: 'דוד' של מיכלאנג'לו

במאמר זה ננסה לענות על השאלה הזו באמצעות בחינת שתי יצירות אמנות הנחשבות ליצירות מופת - הראשונה תהיה, מטבע הדברים, 'דוד' - פסלו של מיכלאנג'לו. לא נתעסק במיכלאנג'לו עצמו: לא נספר על הבית שבו גדל ועל הסטודיו שבו למד; לא נדון בכלים שבהם השתמש ולא באמנים שמהם שאב השראה. אתן לאמן לקחת שני צעדים לאחר ולהשאיר אותנו לבד עם היצירה עצמה. אם יש משהו אמתי ב'דוד' שהופך את הפסל המפורסם הזה ליצירת מופת, הרי שהוא צריך להיות חלק מהפסל. הכוונה היא למשהו מוחשי שאינו קשור למוניטין של מיכלאנג'לו, ליחסים שלו עם האפיפיור וליצירותיו המפורסמות האחרות כמו תקרת הקפלה הסיסטינית בוותיקן. במילים אחרות, ננסה לקלף את ה'הייפ' (Hype) מ'דוד' ולגלות אם הוא עדיין עומד בציפיות.

בשנת 1501 קיבל לידי מיכלאנג'לו קוביית שיש ענקית, כחמישה מטרים גובהה, אשר שכבה במחסן העירוני של פירנצה במשך למעלה מחמישים שנה. במשך הזמן הזה חיפשו ראשי העיר אמן שיהיה מוכשר מספיק בכדי להתמודד בהצלחה עם פסל בקנה מידה שכזה. שני פסלים כבר ניסו להתמודד עם האתגר, אך נטשו את העבודה עוד בשלביה הראשונים.

כשהחל מיכלאנג'לו לעבוד על 'דוד' הוא היה בן 26 בלבד. צריך אומץ לא מועט בשביל לקחת על עצמך משימה שכזו בגיל צעיר כל כך, משתי סיבות. הראשונה, כפי שיודע כל מי שקנה מטבח בשנים האחרונות, היא שגוש שיש מלבני כה גדול עולה המון כסף, ולא כדאי 'לבזבז' אותו על יצירת אמנות לא מוצלחת. הסיבה השנייה היא שמאז ימי רומא העתיקה, אף אחד לא העז לפסל עירום אנושי בקנה מידה גדול. הניסיון הקודם בסוג כזה של פסלים היה מועט מאד, ולמיכלאנג'לו הצעיר לא היה עם מי להתייעץ לגבי טכניקות פיסול מתאימות.

בשנת 1504 נסתיימה העבודה, ו'דוד' היה מוכן. התכנית המקורית הייתה להציב את הפסל על מרפסת גבוהה בקתדרלה של פירנצה, אך הכוונה הזו נזנחה עוד לפני שעזב הפסל את הסדנה של מיכלאנג'לו. יצירת אמנות כה מוצלחת ראויה לתפוס מקום מרכזי יותר. לאחר התייעצויות קדחתניות, בין היתר גם עם לאונרדו דה-וינצ'י, הוחלט ש'דוד' יוצב בכיכר המרכזית של העיר, לצד בית הממשל המקומי. מקום זה נבחר שלא במקרה.

רבים מכירים את הפסל 'דוד' מתמונות או מסרטים, אבל כדאי בכל זאת לרענן את הזיכרון. 'דוד' של מיכלאנג'לו צעיר, עירום, בעל גוף שרירי וחסון. ראשו

פונה שמאלה וידו השמאלית מונחת על כתפו ואוחזת בקלע שבו נלחם נגד גלית. את הקליע מחזיק 'דוד' בידו הימנית, באזור הירכיים. הסיבה שמנהיגי פירנצה החליטו להציב את דוד בכיכר העיר טמונה בדיוק בגלל התנוחה הספציפית הזו.

אמנים קודמים שפיסלו את דוד - למשל דונטלו, חמישים שנים קודם לכן - נהגו להראות את הגיבור הצעיר כשראשו של גלית המת מוטל לרגליו. הסצנה המתוארת, על ידי דונטלו ואחרים, היא של 'דוד המנצח'.

הסצנה שמתאר מיכלאנג'לו, לעומת זאת, היא זו של לפני הקרב הגדול. מיכלאנג'לו אינו מציג את ראשו של גלית. למעשה, הוא אינו מציג את גלית בכלל. הסיבה היחידה שאנחנו חושבים על גלית היא כיוון שאנו מכירים את הסיפור המקראי, וכן בגלל המבט שעל פני 'דוד'. הוא נשען על רגלו הימנית, פלג גופו העליון נוטה מעט אחורנית. זוהי דוגמה מושלמת לטכניקת פיסול בשם 'קונטרה פוסטו' (Contrapposto): הצבת רוב המשקל של הדמות על רגל אחת, כדי לאפשר לאגן ולכתפיים להיות בזווית שמעניקה אשליה של 'רגע לפני התנועה'. זו תנוחה טבעית שכולנו משתמשים בה בחיי היום יום. השוו את התנוחה הזו בדמיונכם לתנוחה שבה

ניצבות הדמויות בפסלים המצריים העתיקים: עמידה ישרה ומתוחה. זו תנוחה לא טבעית, רק חיילים במסדר עומדים כך ולא לזמן רב. את ה'קונטרה פוסטו' המציאו פסלי יוון העתיקה אלפיים שנים קודם לכן כדי להעניק לצופה אשליית תנועה, ומיכלאנג'לו יישם אותה באופן מושלם בפסל שלו. בגלל הקונטרה פוסטו, כשמסתכלים על 'דוד' מהצד אפשר בטעות לחשוב שמדובר ברועה צאן נינוח, מהורהר אפילו.

מבט מקדימה, היישר מול הפנים, חושף את האמת: הפה מכווץ, הנחירים מורחבים, הגבות תקיפות... דוד אינו מהורהר. הוא מפחיד. הוא מאיים. הוא משדר תקיפות ונחישות בלתי מתפשרת, כאילו מבהיר לאויבו הבלתי נראה שאין לו שום כוונה לתת לו לצאת חי משדה הקרב. אפילו ההישענות הקלה אחורנית הופכת להיות מחווה של זלזול ביריב, משהו כמו: 'בוא, נראה אותך!'



איור 86: מבט מקרוב על פניו של 'דוד'

'גלית' של פירנצה הייתה העיר רומא, איום מתמיד על ריבונותה של העיר-מדינה הקטנה מצפון. זו הסיבה ש'דוד' הוצב בכיכר המרכזית כשפניו, והאיום שהם משדרים, מופנות דרומה לרומא ולשאר אויבות פירנצה, כמו משפחת מדיצ'י רבת העצמה שזממה כל העת לתפוס את השלטון. מיכלאנג'לו השתמש בסיפור המקראי המוכר כל כך ונתן לו פרשנות חדשה ועדכנית שהתאימה לתקופתו.

במבט ראשון, נדמה שדמותו של דוד היא התגלמות השלמות הגופנית. כל שריר, כל קימור, אפילו

התלתלים שעל הראש מעידים על כך שלא מדובר במלך יהודי, כי אם בהתגלמות אל יווני. מבט מעמיק ב'דוד' מגלה עד מהרה שמשהו בפסל הזה "לא בסדר". בהזדמנות הראשונה היכנסו לאינטרנט, חפשו תמונה של 'דוד' ותיוכחו בעצמכם: הפרופורציות שבין האיברים השונים פשוט אינן הגיוניות. הראש, הצוואר וכפות הידיים ענקיים ביחס לשאר הגוף: אין אף בן אדם נורמלי אחד שנראה ככה. האופן שבו בולטות הגבות התקיפות מהמצח, בלתי אפשרי מבחינה אנטומית. העיניים פוזלות, כל אחת מביטה לכיוון אחר. איבר המין של דוד הוא... איך נאמר זאת בלי להעליב... לא עומד בסטנדרטים של שאר הגוף האלוהי. מה זה אומר? איך אפשר לקרוא לפסל מעוות שכזה 'יצירת מופת'? האם מיכלאנג'לו בכל זאת פישל?

יכול להיות שמיכלאנג'לו אכן טעה, אבל אף אחד אינו מאמין לתאוריה הזו. מיכלאנג'לו, בדומה לדה-וינצ'י, חקר את האנטומיה האנושית לעומקה ולרוחבה וידע בדיוק כיצד נראה הגוף האנושי. נוסף על כך, 'יצירותיו' האחרות מלמדות שהיה פסל מתוחכם ביותר שהשתמש באשליות ויזואליות ושינויי פרופורציות כדי להשיג מטרות ברורות. בבזיליקה של סנט פיטר בוותיקן, למשל, יש פסל מפורסם של מיכלאנג'לו

בשם 'הפייטה' (The Pieta). הפסל מתאר את המדונה מחזיקה בידיה את גופתו של ישו לאחר שהורד מן הצלב. מיכלאנג'לו רצה ליצור סצנה של אם צעירה האוחזת בתינוקה, אבל ישו הצלוב היה גבר בשנות השלושים לחייו. איך אפשר לפסל אישה צעירה וחלשה אוחזת גבר בידיה כמו תינוק? הפתרון של מיכלאנג'לו היה לתעתע את הצופים. אם מסתכלים טוב טוב, אפשר לראות שהמדונה עשויה בעיקר מ... רגליים, והגפיים עצמן מוסתרות על ידי קפלי השמלה. ניתוח אנטומי של הדמות מגלה את הטריק של מיכלאנג'לו. גם ידה הימנית של המדונה ארוכה יותר מידה השמאלית, אבל היא מוסתרת מאחורי ישו ולכן האשליה נשמרת.



איור 87: פסל ה'פייטה' של מיכאלנג'לו, המוצב כיום
בוותיקן

ניתן להסביר את עיוותי 'דוד' באותו האופן. הפסל
היה אמור להיות מוצב, כזכור, על מרפסת גבוהה

והצופים היו אמורים להיות הרחק למטה. מיכלאנג'לו בחר להגדיל את פלג הגוף העליון כיוון שהוא אמור היה להיות רחוק יותר מהחלק התחתון, וכתוצאה להיראות קטן יותר. הפזילה היא תוצאת נקודת המבט גם כן: הצופים מביטים ב'דוד' בפרופיל - שני פרופילים, ליתר דיוק, אחד מהחזית ואחד מאחור. בכל אחד מהפרופילים ניתן לראות רק עין אחת, ומיכלאנג'לו בחר במיקום האישונים כך שכל אחד מהפרופילים יראה מושלם בזכות עצמו.

גם בחירת מיכלאנג'לו לפסל את 'דוד' עירום ובעל איבר מין צנוע יחסית, כנראה אינה מקרית. גם ככה הפין מושך אליו, באופן טבעי, תשומת לב רבה. אם הוא היה גדול יותר, כולם היו עסוקים בו ולא בשאר האלמנטים שמיכלאנג'לו ניסה להציג בפסל - אבל עצם העיסוק בעירום של 'דוד' שמר על הפסל בכותרות לאורך מאות שנים, כששמרנים מכל המדינות ניסו באובססיביות לכסות את האזור הבעייתי. באנגליה הויקטוריאנית, למשל, שמו עלה תאנה על העתק הפסל 'דוד' שעמד באחד המוזאונים.

אז מה מכל אלה הופך את הפסל 'דוד' ליצירת מופת? התשובה היא ככל הנראה 'כולם'. ודאי יש פסלים יפים לא פחות, גדולים ומתוחכמים מ'דוד',

אבל נדיר למצוא בפסל אחד שילוב מוצלח כל כך של גודל פיזי מרשים, טכניקה מעולה ופרשנות מקורית לנושא מוכר. אם גורמים רבים חוברים יחד ביצירה אחת כדי להפוך אותה ליצירת מופת, אין פלא שקשה מאוד להגדיר במדויק מהי 'יצירת מופת'. 'מופת', בעברית מקראית, הוא מעשה נסים - אבל ברור לכולם שיצירת מופת אינה נס. 'דוד', הסימפוזיה התשיעית של בטהובן, 'החמניות' של ון גוך ו'המונה ליזה' של דה-וינצ'י הם תוצאה של עבודה קשה, שנים של ניסיון והמון כישרון טבעי. אין כאן שום נס על-טבעי.

מקור המילה Masterpiece באנגלית הוא מעשי יותר מאשר 'מופת'. ה'גildות' (Guilds) היו התאגדויות מקצועיות בימי הביניים, שנועדו למנוע תחרות מוגזמת בין חבריה, ולהבטיח את איכות העבודה שמקבל הצרכן. כשבעל מקצוע בימי הביניים כמו נגר, סנדלר או נפח, היה מסיים את תקופת ההשתלמות שלו כשוליה ומבקש להצטרף לגildת המקצוע שלו, הוא היה צריך ליצור 'עבודת גמר'. אם היית סנדלר, היה מצופה ממך להכין נעל שעומדת בסטנדרט מסוים של אכות. עבודת הגמר הזו הייתה הופכת את האמן משוליה ל'מסטר', כונתה Masterpiece. אם היית נגר, וכיסא ה-

Masterpiece שבנית התפרק אחרי יומיים, לא היית יכול להתקבל לגילדה. לקוח שקנה בחנות של חבר גילדה היה יכול להיות בטוח שהאמן שמולו עומד ברף מסוים.

ההגדרה המודרנית ל-Masterpiece היא הרחבת המשמעות המקורית של הביטוי האנגלי. כיום, יצירת מופת היא יצירה שנחשבת לעבודתו המוצלחת והמקורית ביותר של אמן כלשהו, יצירה שזכתה לשבחים רבים. ההגדרה הזו אינה מסייעת לנו במאום, כיוון שאינה מסבירה מה 'באמת' הופך את יצירה מסוימת לעבודתו המוצלחת של האמן, פרט לחלקה האחרון של ההגדרה: 'יצירה שזכתה לשבחים רבים'. התוספת הקטנה הזו, ארבע מילים בסך הכול, היא מסוג המכסים שכשמרימים אותם - מגלים שהסיר עמוק הרבה יותר ממה שנדמה בתחילה.

האבחנה בין יצירת מופת ל'יצירת אמנות נוספת' מטושטשת, ומשאירה חלל גדול מאוד להשפעות זרות. במילים אחרות, 'הייפ'. חישובו על כל שחקני הכדורגל בעשור האחרון שאמרו עליהם שהם 'השחקן הטוב ביותר בהיסטוריה', ולאחר שנתיים-שלוש, נעלמו. לדעתי יש לפחות שלושה שחקני כדורסל באן-בי-איי שבכל רגע נתון נחשבים כ'יורשים

של מייקל ג'ורדן' ועוד לפחות להקה בריטית אחת
שהיא 'הדבר הטוב ביותר מאז הביטלס'.



© 1995 Sony Music. Permission to reproduce this photograph is granted to readers in return for regular orders of Oasis Records. All rights reserved. No other reproduction or distribution is permitted without the express written consent of Sony Music.

PHOTOGRAPH BY JIM KILPATRICK

L-R: ALAN WHITE, PAUL MCGURRAN, NOEL GALLAGHER, PAUL "BONKHEAD" ARTHURS, LIAM GALLAGHER



איור 88: 'אואזיס', הדבר הטוב ביותר מאז הביטלס.
אולי.

הנה שאלה פרובוקטיבית. האם יש יצירת מופת 'קלסית', כזו שכו-ל-נו מכירים, שהיא יותר 'הייפ' מאשר גאונות יצירתית במיטבה?

'מונה', באיטלקית, היא קיצור סלנג ל'מה דונה'. 'מה דונה' היא 'גברת שלי', או 'גבירתי'. מכאן ש'מונה ליזה' היא 'גבירתי ליזה', דרך מנומסת לפנות לאישה מן המעמד הגבוה. כולנו מכירים את 'המונה ליזה', קרוב לוודאי יצירת האומנות המפורסמת ביותר בעולם וללא ספק היהלום שבכתר של מוזאון הלובר בפריז. ליאונרדו דה-וינצ'י צייר אותה בפירנצה בשנת 1503, ממש באותו הזמן שעבד מיכלאנג'לו על יצירת המופת שלו, 'דוד', לא הרחק משם.



איור 89: ה'מונה ליזה' של ליאונרדו דה-וינצ'י

במשך מאות שנים איש לא ידע לומר בוודאות מי היא אותה ליזה המופיעה בציורו של דה-וינצ'י. היו ששיערו שמדובר באימו של לאונרדו, או אפילו פורטרט עצמי של דה-וינצ'י במסווה של אישה נאה. החידה הזו באה על פתרונה בשנת 2005: 'המונה ליזה' היא ליזה דל ג'וקונדו (Giocondo), אשתו של סוחר איטלקי עשיר, עובדה שנתגלתה בהערת שוליים ביומן אחד מחבריו של לאונרדו. אף אחד לא הופתע מהגילוי הזה: שמו המקורי של הציור הוא 'לה גיאוקונדה', כך שליזה דל ג'וקונדו הייתה תמיד 'החשודה הראשית'.

ב'מונה ליזה', הביא דה-וינצ'י את הידע העצום שלו באנטומיה ואופטיקה, וטכניקת ציור נדירה לביטוי מושלם. ה'מונה ליזה' היא תמונת פורטרט פורצת דרך לזמנה. עד אותו הזמן נהגו לצייר בפורטרט את כל גוף האובייקט, בעוד שדה-וינצ'י בחר להתמקד בפלג הגוף העליון בלבד. דה-וינצ'י ניצל כל שבריר הזדמנות כדי לתת לציור הדו-ממדי תחושת עומק. הידיים מונחות על מסעד הכיסא לפני הגוף, וליזה מצוירת כשהיא יושבת על מעין מרפסת המשקיפה על נוף מרוחק. נוצרות שלוש שכבות של עומק: קרוב, רחוק במקצת, רחוק מאוד. נוסף על כך, דה-וינצ'י נעזר בידע שלו על תאורה ואור כדי ליצור

משחקי אור וצל שמדגישים את תחושת העומק הזו. למשל, ההרים והגבעות שברקע הולכים ומטשטשים יותר ויותר ככל שהם רחוקים יותר מהצופה, עד שצבעם מתאחד עם זה של השמיים: זו תופעה המכונה 'פרספקטיבה אטמוספירית'.

ליזה יושבת כשידיה משולבות קדימה כך שגופה יוצר מעין פירמידה: הידיים הן הבסיס, והראש הוא הקודקוד. כשהצופה מביט בציור, דה-וינצ'י לוכד את מבטו מיד וכמו מכריח את עיני הצופה לנוע במסלול שהוא, הצייר, הגדיר מראש. זו מטרת הפירמידה: בדומה לחץ שמראה את הדרך, הפירמידה מוליכה אותנו מעלה אל החלק בתמונה שדה-וינצ'י רצה שנתמקד בו: פני 'המונה ליזה'. כדי להיות בטוח שאנו מתרכזים בפנים ולא בחלק אחר, ליזה אינה לובשת תכשיט בולט או פריט לבוש צבעוני שיכול להסיט את תשומת לבנו. אפילו הבד השחור שעל ראשה ושמלתה הכהה נוכחים ולו כדי 'למסגר' את הפנים המוארות.



איור 90: ליאונרדו דה-וינצ'י, דיוקן עצמי

הרבה נכתב ונאמר על החיוך המפורסם של 'המונה ליזה'. דה-וינצ'י נעזר כאן בטכניקה חדשנית בשם 'ספומטו' (Sfumato). הפירוש המילולי של המילה הוא 'להעלים' או 'להחביא מאחורי צל'. באמצעות תנועות מכחול עדינות ביותר הוא יוצר מעין שכבת עשן דק וכמעט בלתי נראה: הסתרה קלה שמטשטשת את תווי פניה של ליזה במידה הנכונה בדיוק. הפנים נראות טבעיות ומציאותיות מצד אחד, אך מטושטשות מספיק כדי שלא נוכל לנחש את הרגש שעל פניה בביטחון מלא. ה'ספומטו' משאיר מקום לביטוי תהיותינו ורצונותינו באמצעות הפרשנות שאנחנו מעניקים לציור, כל מבקר אמנות תרגם אותו לפי טעמו והעדפותיו: אמרו שהיא שמחה; אמרו שהיא ממורמרת; אולי היא רגועה או אולי עוד רגע היא תרים את הכיסא ותוריד אותו על הראש של לאונרדו.

אם ונדליזם ומשיכה מגנטית לפסיכים מכל הסוגים והמינים הם קריטריון נוסף לקבלה למועדון יצירות המופת, אזי גם 'מונה ליזה', כמו 'לדוד' של מיכלנג'לו, יש במה להתגאות. מה לא עשו לליזה המסכנה? ב-1956 שפכו עליה חומצה וניסו לזרוק עליה אבן. ב-1974 ניסו לרסס אותה בצבע אדום. ב-2009 השליכה תיירת מרוסיה ספל על התמונה, כיוון

שלא קיבלה אזרחות צרפתית. עובדה אירונית למדי בהתחשב בכך שגם הצייר גם הדוגמנית, איטלקים בכלל. 'לאזרחות' של 'המונה ליזה' יש קשר הדוק גם לתקרית המפורסמת ביותר שנקשרה בשמה - גניבתה.

ב-23 באוגוסט, 1911, נכנס לואי ברו (Béroud) למוזאון 'הלובר' ושם פעמיו אל האגף שבו הייתה מוצגת 'המונה ליזה'. לואי היה צייר, וכמו אמנים רבים אחרים ביקש לשאוב השראה מהתבוננות ביצירה המפורסמת. כשהגיע, הופתע לגלות שהקיר שעליו הייתה תלויה 'המונה ליזה' עמד ריק. לואי ניגש אל אחד השומרים שעמדו בסמוך ושאל אותו היכן 'המונה ליזה'. "בצילומים כנראה", השיב השומר. מדי פעם בפעם היה צורך לצלם את 'המונה ליזה' לצרכים שיווקיים או חינוכיים, ואז הציור היה נלקח לחדר אחר. "בעוד כמה זמן היא תחזור?" שאל לואי. השומר פנה אל האחראי על האבטחה ושאל אותו מתי 'המונה ליזה' תחזור מהצילומים. האחראי שאל על אלו צילומים הוא מדבר. בתוך זמן קצר התבררה האמת - 'המונה ליזה' נגנבה.

המוזאון נסגר למבקרים. במשך שבוע סרקו יותר מ-150 שוטרים ובלשים כל סנטימטר במוזאון. כל מה שמצאו הייתה מסגרת הציור, זרוקה בחדר מדרגות

צדדי. צרפת הייתה באבל. כשנפתח ה'לובר' מחדש הגיעו עשרות אלפי בני אדם רק כדי לראות את הקיר הריק שעליו הייתה תלויה 'המונה ליזה'. העיתונים דיווחו על מהלך החקירה ללא הרף והמשטרה, כצפוי, הייתה תחת לחץ עצום לאתר את האוצר הלאומי. כשחלפו השבועות ולא נתגלה שום בדל רמז לגבי זהות הגנב, החלו שוטרי 'הלובר' ומנהליו להחליף ביניהם האשמות עוקצניות. מ'הלובר' התלוננו על חוסר האונים של המשטרה, שמצדה הזכירה להם שאם המוזאון היה שומר טוב יותר על הציור, כול זה היה נמנע.

באותה התקופה נהג להסתובב במסדרונות 'הלובר' צייר עני למדיי בשם גרי פיירה (Pieret). יום אחד מצא חדר שירות שנותר במקרה פתוח, הציץ פנימה וראה שם כמה פסלים קטנים. הוא לא עמד בפיתוי וגנב אותם. אחד מחבריו של גרי ראה את הפסלים בביתו והתרשם מהם. גרי הציע לו לקנות אותם תמורת סכום כסף קטן למדי והחבר קפץ על המציאה – מבלי לדעת שמדובר בפסלים גנובים.

כעבור זמן מה הבחינו בלובר בחסרון שני הפסלים. העיתונים חגגו ופרסמו את הידיעה בכותרות בולטות: גניבה שנייה במוזאון בפרק זמן כה קצר... לא נעים. החבר שקנה את הפסלים הבין חיש מהר לאיזו צרה

הכניס את עצמו. היו לו שאיפות אמנותיות בעצמו והוא ידע שסחר ברכוש גנוב יכול לחסל את הקריירה שלו עוד לפני שהתחילה. ואם הקריירה שלו הייתה מתרסקת, כולנו היינו מפסידים: שמו של החבר היה פבלו פיקסו (Picasso).



איור 91: פאבלו פיקסו

פיקסו לא ידע מה לעשות. אם גרי פיירה גנב את הפסלים מ'הלובר', יכול להיות שהוא זה שגנב גם את 'המונה ליזה'! הדבר האחרון שרצה פיקסו זה שיקשרו את שמו עם פרשת הגניבה המפורסמת. הוא התייעץ עם ידיד אחר שלו, המשורר גיום אפולינר (Apollinaire), והשניים החליטו להיפטר מהסחורה הלוהטת. באישון לילה הם שמו את הפסלים בשק אטום והתגנבו לגדות נהר הסיין. אך כשהגיע רגע האמת, פיקסו לא היה יכול להביא את עצמו להשליך את השק למים. הוא פשוט לא היה מסוגל להשמיד יצירות אמנות כה יפות.

למחרת יצר פיקסו קשר עם אחד העיתונים והציע להחזיר את הפסלים באופן אנונימי. הפסלים אכן הוחזרו, אבל בדרך כלשהי הצליחו השוטרים לקשר את גיום אפולינר למעשה הגניבה. אפולינר היה משורר ידוע וטיפוס רדיקלי מאוד, הוא אף אמר בעבר שלדעתו צריך לשרוף את 'הלובר'. הוא נאסר מיד ונחקר בחשד שהוא קשור לגניבת 'המונה ליזה'. גיום היה אולי משורר רדיקלי, אבל לא בדיוק צ'אק נוריס. הוא נשבר כמעט מיד תחת לחץ החקירה והפליל את חברו. יום למחרת נעצר פיקסו. שני האמנים הובאו מול שופט והסבירו לו את השתלשלות האירועים. הם התנצלו מקרב לבם,

והצליחו לשכנע את השופט ששני האמנים הרגישים שמולו לא יכולים להיות קשורים בשום אופן לגניבה הנועזת של 'המונה ליזה'. הקריירה של פיקסו, לשמחתנו, הלכה ופרחה - וגם אפולינר זכה להצלחה לא מעטה: הוא זה שהמציא את המילה 'סוריאליזם' לז'אנר הזה באמנות.

שנתיים חלפו מאז נעלמה 'המונה ליזה', ולמשטרה לא היה קצה חוט. כולם הניחו שהציור המפורסם אבד לתמיד.

בדצמבר 1913 חלה תפנית מפתיעה. סוחר עתיקות איטלקי בשם אלפרדו גרי (Geri) פנה למנהל מוזאון 'אופיצי' שבפירנצה. הוא סיפר לו שאדם בשם וינצ'נזו פרוג'ה (Peruggia) פנה אליו והציע לו לרכוש ממנו את 'המונה ליזה' תמורת מאה אלף פזו. לוינצ'נזו הייתה דרישה נוספת: ש'המונה ליזה' לעולם, אבל לעולם, לא תוחזר לצרפת ול'לובר'. באופן טבעי, אלפרדו ומנהל המוזאון היו ספקנים. הם התקשו להאמין שמישהו מסוגל להיות נאיבי כל כך ולחשוב שהוא יכול פשוט לגנוב את 'המונה ליזה', למכור אותה למוזאון איטלקי ושאף אחד אחר לא יגלה זאת. בכל זאת, הם הרגישו שהם חייבים לפחות לבדוק את העניין. אלפרדו קבע עם וינצ'נזו פגישה בחדר המלון שבו התגורר המוכר המסתורי.

כשהגיעו לחדרו, שלף וינצנזו מזוודה מאחת הפינות. הוא פתח אותה, הוציא כמה בגדים - ושלף מתוכה את 'המונה ליזה'. אלפרדו והמנהל עדיין לא התרגשו כיוון של'מונה ליזה' היו העתקים רבים. אלפרדו לקח את הציור בידיו - והפך אותו. זה השלב שבו החל לבו לפעום בפראות. 'המונה ליזה' צוירה על לוח עץ, ועל צדו האחורי של הלוח הוטבעה חותמת שסוחר העתיקות זיהה היטב: החותמת של 'הלובר'. הם סיכמו עם וינצ'נזו שייקחו את הציור אם בחזרה למוזאון לבדיקה מעמיקה, וביקשו ממנו להמתין להם במלון עד שיוודאו שזו אכן 'המונה ליזה'.

שאלה מסקרנת ראויה להישאל: כיצד היו יכולים עובדי המוזאון לבדוק שהציור שהחזיקו בידם הוא באמת 'המונה ליזה' האותנטית, ולא זיוף מוצלח במיוחד? היו מקרים לא מעטים לאורך ההיסטוריה שבהם הוצגו ציורים במוזאונים במשך עשרות שנים, לפני שנתברר שמדובר בהעתק ולא ביצירה האמתית. זייפן מוכשר במיוחד יכול לחקות כל פרט בציור, אם הוא משקיע מאמץ מתאים. כל משיכת מכחול וכל קו עדין ניתנים לשכפול.

פיתרון אנשי מוזאון 'אופיצי' היה מחוכם ביותר. 'המונה ליזה' הייתה אז בת למעלה מארבע מאות שנה. זו היסטוריה ארוכה מאוד, ואי שם בערפילי

אותה היסטוריה מישהו מרח על הציור שכבת לכה שקופה ומבודדת. סביר להניח ששכבת הלכה נועדה לשמור על הציור מפני השפעות לחות. כיוון שבמאה ה-16 'המונה ליזה' הייתה תלויה על קיר בקרבת כמה מרחצאות חמים, התייבשה והלכה במרוצת מאות השנים, ונוצרו בה סדקים עדינים. כיוון ש'המונה ליזה' תועדה, נחקרה וצולמה בפרוטרוט, עובדי המוזאון היו יכולים לבחון את הסדקים שבלכה ולהשוות אותם לצילומים שברשותם. זיוף יכול להיות מוצלח מאוד, אבל אף אחד לא יכול להעתיק סדקים זעירים ודקים... זו הייתה 'המונה ליזה', המדונה. הדבר האמתי.



איור 92: וינצ'נזו פרוג'ה

וינצ'נזו פרוג'ה היה נגר פשוט. הוא היה עובד 'הלובר', ואפילו זה שהכין את תיבת הזכוכית שהגנה

על 'המונה ליזה'. וינצ'נזו התהלך במסדרונות 'הלובר' ממורמר. מכל עבר ראה את מיטב יצירות האמנות הנפלאות של איטליה מקשטות את קירות המוזאון הצרפתי. וינצ'נזו היה פטריוט, ומבחינתו מדובר היה בעלבון לאומה האיטלקית שאי אפשר לעבור עליו בשתיקה. איך מעיזים הצרפתים לנכס לעצמם את היצירות שנפוליאון בונפרטה גנב מאיטליה בזמן מסעות כיבושיו?

הוא החליט לעשות מעשה. וינצ'נזו הכיר היטב את נהלי המוזאון וידע שביום שני המוזיאון סגור למבקרים. הוא נכנס למוזיאון ביום ראשון, התחבא בארון המטאטאים עד למחרת והמתין עד שהשומרים יצאו להפסקת העישון הקבועה שלהם. אז לבש על עצמו חלוק לבן כדי להתחזות לאמן, יצא מהארון ולקח את המונה ליזה. הוא הפריד אותה מהמסגרת בחדר המדרגות הצדדי, החביא את הציור מתחת למעילו, ויצא מ'הלובר' דרך השער הראשי.

'המונה ליזה' נחה במזוודה בדירתו במשך שנה וחצי, עד שהגנב נעשה חסר מנוחה והחליט לנסות ולהחזיר את הציור למולדתו. מעניין מה היו מחשבותיו כשהמתין בחדר המלון לאלפרדו גרי ולמנהל מוזאון 'אופיצי' שיודיעו לו את תוצאות הבדיקה. מעניין אם היה מופתע באמת כששעות

ספורות לאחר מכן נשמעה הדפיקה בדלת - אבל בפתח לא עמדו סוחרי האמנות, כי אם מפקד תחנת המשטרה של פירנצה.

וינצ'נזו פרוג'ה, באופן לא מפתיע, זכה באהדת הציבור האיטלקי. הוא היה אדם פשוט, יש כאלה שאמרו שאולי סבל מהפרעת אישיות קלה - אבל לאורך משפטו התלהם עם השופטים והתנצח עמם. הוא טען שעשה את מה שעשה למען תפארתה של איטליה והחזרת רכוש. לשווא ניסו השופטים להסביר לו ש'המונה ליזה' שייכת, באופן חוקי לחלוטין, לצרפת. דה-וינצ'י הוריש אותה בצוואתו לאחד מעוזריו שמכר אותה בכסף מלא למלך צרפת. נפוליאון בונפרטה אמנם בזז את איטליה, אבל 'המונה ליזה' שייכת לצרפת. בסופו של דבר וינצ'נזו נידון לכמה חודשי מאסר בלבד. כיוון שבילה את כל מהלך המשפט בבית הסוהר, הוא שוחרר מיד לאחר הכרזת פסק הדין.

'המונה ליזה' היא ציור מדהים, בכך אין כל ספק. התמונה חדשנית ופורצת דרך במגוון דרכים ומכילה אלמנטים רבים, מחוכמים ועשויים היטב. אבל האם היא ראויה להיקרא 'יצירת מופת'? האם מגיע לה להיות הציור המפורסם בהיסטוריה?

אני מניח שכמה מהקוראים, חובבי אמנות, ודאי ינחרו עלי בבוז, אבל לדעתי - לא. 'המונה ליזה' הוא ציור טוב, אבל לא כמו שעושים ממנו. נכון, לאונרדו דה-וינצ'י היה גאון ואין על כך עוררין, רשימת ההישגים והכישורים שלו מדהימה, אפילו בקנה מידה של אנשי האשכולות של הרנסנס. אבל צייר לחוד וציור לחוד: שום דבר ממה שקראתי על המונה ליזה לצורך התחקיר למאמר זה לא שכנע אותי שתהילתה מגיעה לה בצדק. כל הטכניקות שדה-וינצ'י עשה בהם שימוש בציור היו מוכרות קודם לכן, גם אם לא היו נפוצות. אינני מצליח להבין מדוע עושים סיפור שכזה מהחיוך של ליזה.

יכול להיות שזה אני. אולי העובדה שאני מהנדס ונוטה לנתח דברים מהזווית הפרקטית שלהם גורמת לי להיות מוטה. אני יכול להבין את האתגר שמולו ניצב מיכלנג'לו כשהיה צריך לחלץ מהשיש את 'דוד' המונומנטלי שלו, אבל קשה לי לתפוש את האתגר שמולו ניצב בציורו את 'המונה ליזה' ומדוע ציורו מוצלח יותר ממאות ציורים של אמנים נפלאים אחרים. נדמה לי גם שהעובדות ההיסטוריות נמצאות לצדי במקרה זה. עד אמצע המאה ה-19 'המונה ליזה' לא נחשבה ליצירת מופת כה נפלאה. היא הייתה מוכרת ומוערכת ללא ספק, אבל רישומים של

'הלובר' מאותם השנים מראים שהציירים החובבים ומבקרי האמנות העניקו תשומת לב רבה יותר לציורים אחרים במוזאון, ו'המונה ליזה' אף פעם לא הייתה 'סתם עוד ציור' - אך לבטח לא הייתה המוערכת והמפורסמת ביותר.

השינוי הגדול במעמדה התחולל בעקבות הגניבה ב-1911. כשנעלמה 'המונה ליזה' וכולם חשבו שאבדה לתמיד, חל לפתע זינוק אדיר בפרסום שלה. נעשו העתקים רבים של דמותה, היא הופיעה על גלויות, הודפסה בכל העיתונים בדפים הראשיים ואפילו הרקדניות בכמה מופעי קברט התחפשו ל"מונה ליזה" - טופלס, כמובן. מהרגע שנתגלתה והושבה לפריז, לא לפני שערכה סיבוב ניצחון בכל המוזאונים הנחשבים באיטליה, היא הפכה להיות היהלום שבכתר הצרפתי. במקרה הזה, לדעתי, תשומת הלב התקשורתית סביב מונה ליזה העניקו לה לא פחות נקודות יוקרה מאשר תוכן הציור עצמו.

אז מהי, אם כן, יצירת מופת? שאלה קשה. אחד מפרשני האמנות כתב ש'רובנו יכולים לזהות יצירת מופת אמתית ברגע שאנחנו מניחים עליה את עינינו.' זה פשוט לא נכון. הציור 'נערה עם עגיל פנינה' של האמן יוהן ורמיר (Vermeer) בן המאה ה-17 היה בלתי מוכר לחלוטין עד אמצע המאה ה-19 לערך -

והיום הוא נחשב ליצירת מופת שנתנה השראה לספרים ולסרטים. האם אף אחד לא ראה את 'נערה עם עגיל פנינה' במשך מאה שנה? או שאולי ראו אותה, אבל לא חשבו שהיא ראויה להיקרא 'יצירת מופת'? התשובה ברורה. גם אנשים שאינם מבינים דבר באמנות טוענים ש'המונה ליזה' היא יצירת מופת, וזה לדעתי סימן ברור לכך שלא מעט פרסום מוגזם מעורב בכל הסיפור.

האופן שבו אני מבין את המושג 'יצירת מופת' חורג מתחום האמנות. יצירה צריכה להימדד בסולם הערכים של התחום שאליו היא שייכת, וכדי להיחשב בתור יצירת מופת היא אמורה להפגיש במקום אחד את כל הטוב שבערכים הללו - וללא שום פשרות. זאת אומרת, גם משחק מחשב יכול לזכות בתואר 'יצירת מופת', אם הוא ניחן במשחקיות נפלאה, תחכום, גרפיקה מוצלחת, סאונד מעולה וכל אותן תכונות שהופכות משחק טוב למשחק מדהים. אותו העיקרון תקף גם בבישול, בנגרות ואפילו במכונאות רכב. מנוע מכונית יכול להיות יצירת מופת! הבעיה היא שרק מכונאי רכב בעל שלושים שנות ניסיון יכול להתבונן במנוע ולהעריך את בחירת החומרים, את הולכת הצינורות, את השילוב של יעילות מקסימלית עם עצמה חסרת פשרות ואת המיקום המוצלח של

הרצועות כך שגם מכונאי זוטר יוכל לפרק ולהחליף אותן בקלי קלות.

מההגדרה הזו נובעות שתי מסקנות. הראשונה היא שכדי להיחשב ליצירת המופת, היצירה חייבת להיות מתוחכמת ומסובכת מספיק כדי שיהיה אפשר לבטא את כל הערכים והתכונות המופלאות- או לחילופין, לבטא את ערכים אלה בפשטות וחסכנות יוצאות מגדר הרגיל.

המסקנה השניה היא שצריך להיות אנין טעם - מבין אمتי בתחום - כדי לזהות יצירת מופת. רק אנין טעם אמיתי יכול להעריך את הקושי והאתגר שבשילוב כל אותם ערכים ותכונות מבלי להתפשר. צריך להיות מכונאי רכב כדי לזהות מנוע טוב, וצריך להיות אנין טעם באמנות כדי לזהות ציור שהוא יצירת מופת. הבעיה היחידה עם ההגדרה שלי היא שאינני אנין טעם באמנות. מכאן שאם 'המונה ליזה' היא באמת יצירת מופת - לא אהיה מסוגל לתפוס זאת, ואולי בכלל כל התשבוחות שהרעפתי על 'דוד' של מיכלנג'לו אינן מוצדקות... אמנות, לך תבין.

24. טעים כמו מדבקה של שרק: איך משכנעים אותנו לאכול ג'אנק פוד

הרשו לי לפתוח בעובדה שתדהים אתכם. תחזיקו חזק - אתם עומדים ליפול מהכסא. זה מטורף. אתם מוכנים?

ג'אנק פוד... אינו בריא.

טוב, אז לא ממש הפתעתי אתכם. בשלושים השנים האחרונות אנחנו שומעים, פחות או יותר ללא הפסקה, שהשומן, הסוכר והמלח שבמזון מהיר ובחטיפים למיניהם מסוכנים לבריאותנו. כולנו יודעים שאחת הבעיות החמורות ביותר של העולם המערבי המודרני היא ההשמנה ותוצאותיה: מחלות לב, סוכרת וכולי. אם למישהו יש ספק בעניין השפעות השליליות שיש לג'אנק פוד, כדאי שיצפה בסרט הדוקומנטרי 'Super Size Me'. יוצר הסרט, מורגן ספורלוק (Spurlock), תיעד את עצמו אוכל אך ורק

ג'אנק פוד (המבורגרים) במשך חודש שלם: הוא העלה למעלה מעשרה קילוגרמים, רמות הכולסטרול בדמו עלו מאד ואפילו כשירותו המינית נפגמה.

גם אני יודע, כמובן, שחשוב לאכול בריא. אבל אספר לכם סוד - ככה, רק בינינו - אחרי שראיתי את Super Size Me... התחשק לי נורא לאכול במקדונלד'ס. אני חושב שאינני היחיד. למרות התדמית השלילית שיש למזון מהיר, לא נראה שיש ירידה במספר הפיצריות, דוכני הפלאפל ומסעדות ההמבורגרים - ואולי אפילו להפך. הם נמצאים בכל קניון ובכל מרכז קניות. למעשה, אם נמנע מאנשים גישה למזון מהיר - הם עשויים להתמרד כנגד הגזרה. את הלקח הזה למד על בשרו אחד השפים המפורסמים ביותר בעולם.

ג'יימי אוליבר (Oliver) מוכר לצופי הטלוויזיה הבריטיים, וגם לנו הישראלים, בזכות תכניתו 'השף העירום'. הוא נעזר בכשרון הבישול ובכריזמה הלא מבוטלת שלו, כדי להעלות לסדר היום הציבורי את חשיבות התזונה המאוזנת והמזון הבריא.



איור 93: ג'יימי אוליבר

בשנת 2006 הצליח ג'יימי לשכנע את ממשלת בריטניה לסייע לו בניסוי מעניין. הוא בחר בית ספר כלשהו באזור יורקשייר, ויצר עבור הילדים תפריט חדש לארוחת הצהריים. חסל סדר צ'יפסים משמינים ופיצות עתירות סוכר! אין יותר מכוונות שמוכרות פחיות שתייה קלה ומתוקה. מעכשיו, רק אוכל בריא ומאוזן שכולל ירקות רבים ואפילו מנה כפולה של פירות לכל תלמיד.

נשמע מצוין, לא? היו כמה ילדים שהתאכזבו לגלות שאין יותר פיצה וקולה לארוחת הצהריים - אבל זה צפוי: בסופו של דבר, אלו ילדים. המעניין הוא שגם חלק מההורים לא אהבו את השיטה החדשה שהנהיג השף העירום. הם הרגישו שהוא דוחף את האף שלו לצלחת הילדים שלהם. מי הוא שיקבע עבור ההורים מה לתת לילדים שלהם לאכול, ומה לא? מספר אימהות התאגדו ועשו יד אחת כדי להכשיל את הניסוי של אוליבר. הן היו מגיעות אל בית הספר בסביבות השעה 11 בבוקר ואוספות מהילדים, דרך הגדר, הזמנות וכסף עבור ארוחת הצהריים. אחר כך היו הולכות למסעדות מזון מהיר בסביבה, קונות עבורם פיצות, המבורגרים, צ'יפס ושתייה ומעבירות אותם לילדים. קשה לכמת את ההשפעה שהייתה לפעולה החתרנית הזו על הניסוי כולו, אבל היא

מעידה בבירור שיש לא מעט אנשים שלא מוכנים להפרד מהג'אנק פוד שלהם - אפילו כשמנסים להכריח אותם, לטובתם שלהם.

מדוע, אם כן, אנחנו נמשכים כל כך למזון לא בריא? כיצד מצליחות חברות המזון לגרום לנו להתעלם מכל הסכנות והאזהרות - ולהכניס לגופנו אוכל שאנו יודעים שיש סיכוי לא מבוטל שעלול להרוג אותנו ביום מן הימים? כדי להבין איך זה קורה, הבה נחזור אחורה בזמן אל תחילת המאה העשרים, ימי ראשית תעשיית ההמבורגרים האמריקנית.

האיש שאחראי, כמעט לבדו, לצמיחת התעשייה האדירה והמשגשגת הזו, היה צעיר משועמם וחסר מטרה בשם וולטר אנדרסון (Anderson). אנדרסון נולד בשנת 1880 למשפחת מהגרים קשת יום. כשהיה כבן עשרים הלך לקולג', אבל כבר אחרי סמסטר או שניים הבין שהאקדמיה אינה בשבילו ועזב את הלימודים. במשך מספר שנים נדד ברחבי ארצות הברית ללא שום מטרה ברורה בחייו, עבר מעיירה לעיירה והועסק מדי פעם כשוטף כלים או כטבח לעת מצוא. הוריו של וולטר היו מודאגים מאוד. הייתה להם תחושה, מוצדקת למדי, שהבן שלהם הוא כלומניק. הם הוציאו כסף מחסכונותיהם וקנו לו, על חשבונם, מסעדה קטנה כדי שיוכל לנהל אותה -

אבל אפילו זה לא עזר. אחרי פחות משנה מכר אנדרסון את המסעדה ובזבז את כל הכסף בניסיון להקים להקת תאטרון נודדת. הניסיון הזה נכשל לאחר שלושה שבועות בלבד ואנדרסון מצא את עצמו, שוב, טבח זוטר שנודד מעיר לעיר.

בשנת 1912 הועסק אנדרסון כטבח במסעדה קטנה בוויצ'יטה, קנזס. בתפריט היו גם המבורגרים, אבל ההמבורגרים באותה התקופה - או 'בשר בנוסח המבורג', כפי שכונו לפעמים - היו שונים מאלו שאנחנו מכירים כיום. הם היו דומים יותר לקציצות בשר עגולות, והיו מוגשים בין שתי פרוסות לחם, כמו סנדוויץ' רגיל. אנדרסון החל לשחק קצת עם ההמבורגרים: הוא שיטח אותם בכף גדולה וגילה שכך הם נצלים מהר יותר. הוא הוסיף למנה בצל מטוגן, וזה היה טעים. הוא החליף את הלחם בלחמנייה - והלקוחות ממש התלהבו! וולטר היה רחוק מלהיות הטיפוס ה'יוזם', אבל הצלחת ההמבורגרים שלו דרבנה אותו לעשות מעשה. הוא קנה סנדלרייה קטנה ודחוקה והפך אותה לדוכן לממכר המבורגרים. הסנדלרייה - סליחה, המסעדה של וולטר - הייתה קטנה כל כך, ולא היה בה מקום ליותר משלושה לקוחות בכל רגע נתון.

אבל באותה התקופה התדמית הציבורית של ההמבורגר הייתה כה גרועה, עד שביחס אליה התדמית של ההמבורגר המודרני היא כמו זו של מעדן יוקרה. הציבור אף פעם לא חיבב בשר טחון - תמיד היו סימני שאלה לגבי אכותו - אך בשנת 1906 צנחה תדמיתו של הבשר הטחון לשפל שלא נודע כדוגמתו בעקבות ספר שכתב העיתונאי אפטון סינקלייר (Sinclair). סינקלייר התחזה במשך מספר חודשים לעובד במפעלים לייצור בשר טחון. הוא כתב ספר עלילתי בשם 'הג'ונגל' שהיה מבוסס על הממצאים שחשף במהלך התחקיר. התיאורים והסיפורים שהופיעו בספר היו כה נוראים, עד שכמה הוצאות ספרים לא היו מוכנות להוציא את הספר לאור, וסינקלייר נאלץ להדפיס את העותקים הראשונים על חשבונו. אבל ברגע שהופיע הספר על המדפים, הוא הפך מיד לרב מכר והציבור נחשף לתעשיית הבשר במערומיה הנוראיים ביותר. סינקלייר לא חסך בתיאורים אודות ההיגיינה הזוועתית שבמטבחנות, על העכברושים והעכברים שמטיילים בכל פינה ועל הפרות עצמן - במקרים רבים מתו החיות המסכנות משחפת לפני שהפכו לבשר טחון. סינקלייר אף תיאר כיצד עובדים שנפלו

בטעות לתוך המטחנות... אתם יכולים לנחש בעצמכם.

מה הפלא, אם כן, שהעסק הקטן של וולטר אנדרסון היה אמור להיות כישלון ידוע מראש. בכל זאת, אנדרסון החליט לקחת סיכון: הוא לווה בשר, כמה בצלים ולחמניות מחנות מכולת סמוכה - והבטיח לבעל המכולת לשלם באותו הערב מכסף שירוויח ממכירת ההמבורגרים. במבט לאחור, הבחירה המאולצת של אנדרסון בסנדלרייה הקטנה בתור מקום להקים בו את דוכנו הייתה בחירה בת מזל מאין כמותה. המרחב המצומצם הכריח את אנדרסון להכין את ההמבורגרים שלו לעיני הלקוחות ממש: הם יראו אותו טוחן את הבשר, מטגן אותו ומכניס אותו ללחמנייה עם הבצל. עובדה זו סייעה להפחית את חששותיהם מפני אכות הבשר, ובסופו של היום הראשון הצליח וולטר להרוויח מספיק כסף כדי להחזיר את החוב לבעל המכולת, ולרכוש את כל המצרכים הדרושים ליום המחרת.

מחודש לחודש עלתה הפופולריות של הדוכן של וולטר. ההמבורגרים הזולים שלו - רק חמישה סנט ליחידה - היו להיט אמיתי אצל עובדים קשי-יום שחיפשו משהו טעים וזול. בתוך שלוש שנים פתח אנדרסון שני דוכנים נוספים ברחובות אחרים, וגם

שם נמכרו ההמבורגרים שלו היטב. ובכל זאת, ההצלחה הזעירה הזו לא הספיקה כדי לשנות את המוניטין הגרוע של ההמבורגר. אנשים מכובדים לא רצו להיראות אוכלים המבורגרים, ואימהות חששו שאם ישלחו את ילדיהן לאכול המבורגרים - כולם יחשבו שהן אימהות גרועות.

ב-1920 רצה וולטר להקים חנות חדשה, וביקש לשכור מבנה שהיה בעבר מרפאת שיניים. רופא השיניים לא היה מוכן להשכיר לו את המבנה כדי שיהפוך ממרפאה מכובדת לדוכן מפוקפק, ועל כן פנה וולטר לסוכן נדל"ן מוכר ומכובד בשם בילי אינגרם (Ingram) כדי שיתווך בעסקה.

המוניטין הרציני והמהוגן של אינגרם סייע לו לסגור את העסקה - ותוך כדי העבודה הוא נחשף להצלחה המפתיעה של החנות של וולטר. ההתלהבות שהפגינו הלקוחות השפיעה על הסוכן באופן עמוק, והוא החליט למכור את סוכנות הנדל"ן שלו ולהצטרף לעסק של אנדרסון. כולם מסביב היו בטוחים שבילי אינגרם השתגע: מי עוזב מקצוע מכובד כמו סוכן נדל"ן בכדי להפוך להיות בעלים של... דוכן פלאפל, פחות או יותר?! וולטר אנדרסון, לעומת זאת, היה מאושר. הוא מעולם לא אהב להתעסק בניהול

השוטף של הדוכנים ושמח מאוד להשאיר את העניין בידי אינגרם ולהתמקד במזון.

בילי אינגרם הבין, בחושיו העסקיים המחוודים, שהמשימה הדחופה והחשובה ביותר שלו היא שיפור תדמית ההמבורגר. כל עוד קציצת הבשר נחשבת למאכל מוקצה ונחות, העסק שלהם לעולם לא יצליח. צעדו הראשון היה לבחור שם לרשת המסעדות אשר יבטא את התדמית החדשה. הוא בחר בשם White Castle – טירה לבנה. השלב הבא היה לעזוב את הסנדלריות הדחוקות והדוכנים הצרים, ולפתוח מסעדות 'אמתיות', כאלה שהיו מקושטות מבחוץ בצריחים לבנים ובוהקים.



איור 94: סניף של White Castle במדינת מינסוטה

גם בתוך המסעדות התחוללה מהפכה דרמטית. הלקוחות הפוטנציאליים חששו מההיגיינה הלקויה של תהליך הכנת הבשר הטחון. אינגרם רכש את הבשר שלו מהיצרנים הטובים ביותר בכל האזור, אבל מעבר לכך לא הייתה לו השפעה אמיתית על איכות הבשר. מצד שני, הייתה לו אפשרות להשפיע על תדמיתו של הבשר - והוא ניצל זאת עד תום. המסעדות של רשת 'וויט קאסל' היו נקיות - ולא סתם

נקיות: אינגרם הנהיג סטנדרטים חדשים של ניקיון שלא נראו עד אז באף מסעדה אחת בארצות הברית. כל ס"מ במסעדה היה מצוחצח ומבריק. המטבח היה חשוף לעיני הלקוחות, והיה נקי למשעי. העובדים עברו בדיקות רפואיות לפני תחילת העסקתם ולבשו תלבושת אחידה וסינרים לבנים. אינגרם גם ידע שמספיק שמסעדה אחת מתוך הרשת כולה לא תעמוד בסטנדרטים הגבוהים, כדי שכל מגדל הקלפים התדמיתי הזה יתמוטט. על כן הנהיג חידוש נוסף: כל הסניפים ברשת היו זהים לחלוטין זה לזה - אותו המטבח, אותם מוצרי היסוד, אותו התפריט, אפילו אותם המושבים.

האסטרטגיה הזו עבדה באופן מושלם. כל מי שפסע לתוך מסעדת 'וויט קאסל' לא יכול היה שלא להתרשם מהרצינות התהומית שבה לקחה הרשת את נושא ההיגיינה. ההמבורגרים של 'וויט קאסל' זכו בתדמית הפוכה לחלוטין מזו שהייתה להם רק לפני שנים ספורות. 'וויט קאסל' צמחה בקצב מהיר ולאחר ארבע שנים בלבד כבר היו לרשת כמה עשרות סניפים בכל רחבי מרכז ארצות הברית. קמו לה לא מעט חייקנים כמו 'Little Castle', 'White Tower' ואחרים - אבל לכל אורך שנות השלושים והארבעים של המאה העשרים שלטה וויט קאסל ללא עוררין

בענף המזון המהיר. מעמדה החל להתערער רק בשנות החמישים והשישים, כאשר מתחרות חזקות כמו מקדונלד'ס ובורגר קינג חיקו את רעיונותיו של אינגרם בהצלחה רבה וזכו בנתח שוק גדול יותר. כיום 'וויט קאסל' היא רשת קטנה וכמעט לא מוכרת מחוץ לגבולות ארצות הברית, אם כי היא עדיין מחזיקה בקהל לקוחות נאמן ואוהד.

החטיפים, השתייה הקלה, המזון המהיר ושאר סוגי המזונות הלא-בריאים נמצאים היום במצב דומה למדי לזה שהמבורגר היה נתון בו לפני כמאה שנים: התדמית הציבורית שלהם נמצאת בשפל המדרגה. ההבדל המשמעותי הוא שבידי יצרניות המזון יש היום כלי נשק רב עצמה, הפרסום. הם מפנים אותו כנגד הגורם הפגיע ביותר בחברה שלנו: הילדים. מקדונלד'ס הייתה ללא ספק החלוצה בתחום השיווק לילדים. רונלד מקדונלד'ס, הליצן המפורסם, הופיע לראשונה על מסכי הטלוויזיה בשנות החמישים. המסר השיווקי באותן פרסומות ראשונות לא היה סמוי ממש, בלשון המעטה. הכובע שרונלד חבש לראשו היה מגש עם כוס שתייה ואריזת המבורגר, ורונלד והילדים שאתו טיילו יד ביד ב'מקדונלד-לנד': ארץ קסומה שבה המבורגרים מדברים צומחים מהרצפה.

מאחר יותר שכללה מקדונלד'ס את שיטות הפרסום שלה והוסיפה לתפריט את ה-'Happy Meal': ארוחת ילדים שמכילה גם צעצוע כלשהו. החל משנות השבעים הצעצועים בארוחות הילדים היו קשורים תמיד לסרט או לסדרת טלוויזיה מוכרים שילדים אוהבים.



איור 95: רונלד מקדונלד'ס, קמע רשת המזון, בסניף תאילנדי

כמעט כל חברות המזון נוקטות באמצעים דומים. על רוב האריזות של הקורנפלקסים לילדים, למשל, אפשר למצוא משחקים, עבודות יצירה ודמויות מצוירות, למשל 'טוני הטיגריס' של קלוג'ס. הפרסומות למוצרים שכאלו משודרות בעיקר בשעות שבהן ילדים צופים בטלוויזיה, כמובן.

חוקרים מאוניברסיטת ייל הציגו לילדים בני ארבע עד שש שתי שקיות שהכילו אותם המזונות בדיוק. על מחצית מהשקיות היו מדבקות עם דמויות מצוירות כמו דורה, שרק וכדומה - ועל המחצית השנייה לא היה דבר. כצפוי, שבעים אחוזים מהילדים העדיפו לקבל שקית עם מדבקות אבל באופן מפתיע, יותר מחצי מהילדים טענו גם שהאוכל בשקיות עם המדבקות טעים יותר מהאוכל שבשקיות הפשוטות. ממצא זה ודומיו מדגימים את ההשפעה הפסיכולוגית האדירה שיש לפרסום על האופן שבו ילדים תופסים את המציאות.

הפנייה לקהל הצעיר משרתת שתי מטרות חשובות עבור חברות המזון. הראשונה היא ההשפעה על הילד עצמו: המפרסמים יודעים שאנחנו נקשרים באופן רגשי מאוד לטעמים שאנחנו חווים כילדים. אני מניח שכמעט לכל אחד מאיתנו יש מאכל אהוב מימי הילדות - גלידה מדהימה, או אולי ממתק מיוחד. אם

הפרסומות יצליחו 'ללכוד' אותנו כילדים, יש סיכוי לא רע שנמשיך להיות לקוחות נאמנים של אותו היצרן גם כשנהיה מבוגרים.

הפרסום לילדים משרת מטרה נוספת. המפרסמים יודעים שלהעדפות של הילדים יש השפעה גדולה על רשימת הקניות של ההורים. באמצעות הפרסומות הם מסוגלים להחדיר 'סוכנים כפולים' לתוך התא המשפחתי ולהפעיל לחץ עקיף אבל רב עצמה על אלו שבפועל מחזיקים את הכסף. למען הגילוי הנאות אני חייב לציין שלאחרונה גיליתי שני סוכנים כפולים של 'קינדר' אצלי בבית, ואחד מהם הוא גם סוכן כפול של קוקה קולה!

בעולם המערבי מתנהל כיום מאבק אימתני בין חברות המזון לבין ארגוני הורים ובעלי מקצוע שמנסים לאסור או לצמצם באופן דרסטי את כמות הפרסומות שמופנות לילדים. הטענה העיקרית היא שהפרסומות לממתקים, לחטיפים ולמזון מהיר מתחרות באופן ישיר עם המאמצים שעושות הרשויות כדי ללמד את הילדים איך לאכול בריא יותר. עיקר המאבק מתרכז במה שמכונה 'קו פרשת המים': השעה תשע בערב. הארגונים תובעים מהמחוקקים לאסור על חברות המזון לפרסם בכלי התקשורת לפני השעה תשע בערב, מתוך הנחה

שרוב הילדים כבר ישנים בשעה זו. חברות המזון מפעילות לחץ נגדי וטוענות, במידה לא מבוטלת של צדק, שתקנות כאלה לא יהיו הוגנות כלפיהן. הרי בסופו של דבר, כל אחד מאיתנו רשאי להחליט מה יאכלו ילדיו ומה לא. הילדים אינם משלמים על הפיצות והמשקאות מכספם: ההורים הם אלו שבוחרים לתת לילדים כסף כדי לקנות אותם. אם יש הורים שלא רוצים שילדיהם יאכלו ג'אנק פוד - שלא יקנו ג'אנק פוד, זה הכול. נכון להיום נראה שידם של ארגוני ההורים על העליונה. בכמה מדינות, כמו בריטניה למשל, כבר חוקקו חוקים שאוסרים על פרסום מזון מהיר לפני 'קו פרשת המים', וככל הנראה המגמה הזו תלך ותתחזק.

חברות המזון מנסות להתמודד עם מצב חדש זה, כל אחת בדרכה שלה. חלק מהחברות ממשיכות בשיווק האגרסיבי, אבל מפנות את עיקר המאמצים לרשת האינטרנט, שם אין כל רגולציה. חברות אחרות, כמו מקדונלד'ס, משתדלות ליצור לעצמן תדמית 'בריאה' יותר על ידי שילוב פירות וירקות לארוחות הילדים ועל ידי ציון ברור של הערכים התזונתיים של כל מוצר על העטיפה. עצם העובדה שהמזון הנמכר מטבעו לא-בריא, מביאה לעתים למצבים אבסורדיים. חברת 'קדבורי', למשל, יצאה לאחרונה במבצע שנועד

לעודד ילדים לפעילות גופנית: קניית חטיפי שוקולד מתוצרת החברה מזכה את הילד בקופונים לרכישת ציוד ספורטיבי. הבעיה היחידה היא שכדי לזכות בכדורסל אחד, כל ילד יצטרך לאכול לא פחות מ-170 חטיפי שוקולד שומניים ונוטפי סוכר... לא ממש עסקה משתלמת.

חברות המזון המהיר כנראה רגילות לדברי הביקורת וההטפות כנגדן, אבל סביר להניח שמה שאירע בשנת 2002 הפתיע גם אותן.

סיזר ברבר (Caesar Barber) הוא עובד תחזוקה אמריקני בשנות הארבעים לחייו. כמו אמריקנים רבים בני גילו, גם ברבר סובל מעודף משקל משמעותי: גובהו קצת יותר ממטר ושישיים סנטימטרים, ומשקלו למעלה ממאה ועשרים קילוגרמים. כמו רבים אחרים, גם הבריאות שלו היא 'לא משהו': הוא סובל מסכרת, מלחץ דם גבוה, מכולסטרול גבוה ומאחוריו כבר שני התקפי לב. אבל בניגוד לכל שאר האנשים השמנים והחולים, ברבר יודע מי האשם האמתי בבעיותיו: מקדונלד'ס, בורגר קינג, וונדיס' וקנטקי פרייד צ'יקן.

ב-2002 הגיש סיזר ברבר תביעה מתקשרת מאוד כנגד ארבעת ענקיות המזון הללו. באמצעות עורכי דינו הוא טען שהמזון שהן מכרו לו גרם לו להשמין,

ושהן צריכות לשלם על כך. כפי שניתן לשער, התביעה המשונה הזו עוררה תגובות רבות בתקשורת וכמעט כולן היו מופנות כנגד ברבר. הנה ציטוט קצר מתוך מאמר פרשנות שהופיע באתר המגזין "טיים":

"עורך הדין של ברבר טוען כי יש כאן הטעייה מכוונת, כשמישהו אינו מציין במפורש שהמזון שהוא מוכר מסוכן לבריאות. נכון. ויש גם משהו קטן שנקרא טיפשות, כשמישהו מסרב לקחת על עצמו אפילו את האחריות הבסיסית ביותר למעשיו, ולא מוכן ללכת מטר אחד ברגל ולקרוא את הנתונים התזונתיים שכמעט כל מסעדות המזון המהיר מציגות בשילוט על הקיר."

התגובה הזו מייצגת היטב את תחושות רוב האנשים ששמעו על התביעה הזו: זו תביעה מטופשת שמציגה את התובע באור מגוחך לחלוטין. הרי אף אחד לא הושיב את ברבר על כסא, קשר אותו והכריח אותו לאכול המבורגרים. עורך הדין שייעץ

לסיזר ברבר הוא כנראה אידיוט. האמנם? אל תהיו בטוחים כל כך.

עורכי הדין של סוזר ברבר היו סמואל הירש (Hirsch) וג'ון בנזהף (Banzhaf). השניים הללו, ובמיוחד בנזהף, צברו ניסיון עשיר בקרבות משפטיים כנגד כמה חברות גדולות ועשירות מאוד שגם הן מוכרות מוצר לא בריא בכלל: יצרניות הסיגריות. בנזהף הקים עוד ב-1967 ארגון 'אנטי-עישון', ומאז הוא ועורכי דין אחרים אינם מפסיקים להציק את יצרניות הסיגריות ולהטרידן בבתי המשפט. הטענה הבסיסית שלהם הייתה דומה להפליא לזו של סוזר ברבר: לחברה שמייצרת מוצר לא בריא יש אחריות כלפיו, אפילו אם הצרכן יודע שהמוצר הזה מסוכן עבורו. ובמקרה הסיגריות - הם הצליחו! בשנת 1998 הסכימו יצרניות הסיגריות הגדולות לשלם למעלה מ-200 מיליארד דולר כדי לפצות אנשים שחלו כתוצאה מעישון. הצלחה מדהימה זו לא הגיעה בין-לילה: נדרשו עשרות שנים של עבודת הכנה - אבל עורכי דין רבים יצאו ממנה עשירים גדולים. כעת, המטרה הבאה כבר סומנה - חברות המזון המהיר... ג'ון בנזהף הגדיר זאת מצוין כשאמר בראיון ש"עורכי הדין בהחלט מריחים דם במים".

עדות נסיבתית לכך שזו ככל הנראה האסטרטגיה העקרונית של הירש ובנזהף אפשר למצוא בעובדה שלמעשה תביעתו של סיזר ברבר מעולם לא הוגשה לבית המשפט באופן רשמי. זאת אומרת, אף אחד לא ניגש לדלפק, שילם שבעים וחמישה דולר והגיש את הניירת: כל העניין היה ונותר, מאז ועד היום, בגדר 'איום משפטי'. נוסף על כך, הירש ובנזהף יודעים כמעט בוודאות שאם יגישו את התביעה - הם יפסידו. ב-2003 דחה בית המשפט תביעה דומה שהוגשה כנגד חברות המזון המהיר על ידי כמה נשים בעלות טענות דומות. על ידי אי הגשת התביעה בפועל, עורכי הדין מסוגלים לשמור את העניין על סדר היום הציבורי בלי להסתכן ממש בעמידה מול שופט. יש להם סבלנות והם מוכנים לחכות עוד שלושים שנה עד שהכסף הגדול יגיע אליהם. היחיד שיצא אידיוט מכל הסיפור הוא סיזר ברבר.

אחת הדרכים שבהן עשויים בנזהף ועמיתיו להצליח בבית המשפט, היא באם יוכיחו במידה סבירה של ודאות שג'אנק פוד - כמו סיגריות - ממכר. במילים אחרות, עליהם להוכיח שללקוחות במסעדות המזון המהיר אין ברירה אלא לקנות עוד ועוד מזון שמזיק להם, ולכן הם אינם אחראים למעשיהם.

האם ג'אנק פוד באמת ממכר? יש עדויות עקיפות לכך שיכול להיות שזהו באמת המצב. מחקר שנערך בשנת 2010 בקליפורניה הראה כי עכברים שהאכילו אותם במזון עשיר בשומן ובסוכרים פיתחו כלפיו התנהגות אובססיבית בעלת סממני התמכרות מובהקים. לאחר שבועיים של דיאטה עשירה בג'אנק פוד, הם סירבו לגעת במזונות אחרים והתעקשו לאכול את המזון המשמין גם כשידעו – מניסיון – שבכל פעם שהם מתקרבים אליו הם מקבלים שוק חשמלי מכאיב. בדיקת מוחם הראתה ירידה משמעותית בפעילות של קולטני דופאמין (מוליך עצבי), בדומה לתופעה שמתרחשת גם במוח המכורים להרואין או לקוקאין.

אין ספק שגופנו מגיב בצורה נלהבת מאוד למזונות עשירים בשומן, במלח ובסוכר: מיליוני שנות אבולוציה לימדו אותנו שמזון עשיר בשומן יעזור לנו לשרוד את החורף. כנראה שמזון משמין אינו ממכר בעצמה דומה לסם נרקוטי - אבל בניגוד לסמים, יש כמה גורמים סביבתיים וחברתיים שמסייעים ותומכים ב'התמכרות' הזו. למשל, פעם אנשים היו אוכלים את מה שאימא בישלה עבורם, בעיקר בבית. כיום, בארצות הברית, וגם בישראל במידה פחותה, חלק ניכר מהאימהות עובדות במשרה מלאה ואין להן

הזמן והנכונות להשקיע בארוחות מגוונות ועשירות. למי שבישול אינו התחביב האהוב עליו, פיצה קפואה או עצירה בדרייב-אין הם פתרונות טובים, לפחות ליום או ליומיים בשבוע. בנוסף, כאן בישראל מזון מהיר הוא יקר יחסית, אבל בארצות הברית הוא זול מאוד ומשתלם יותר מבחינה כלכלית. ארוחה מוכנה למיקרוגל עולה דולר. המבורגר עולה דולר. קילו עגבניות טריות, לעומת זאת, עולה לפעמים גם 8 דולר... אז בשביל מה לבשל?

סיבה נוספת למשיכה שלנו למזון המהיר - ואולי אפילו הגורם המשפיע ביותר - הוא הטעם. חייבים להודות: ג'אנק פוד הוא טעים, וכיף לאכול אותו. זה לא נראה לכם קצת מוזר? תחשבו על זה לרגע: סטייק אנטרקוט טרי שכרגע ירד מהמנגל... זה טעים. אבל המבורגר עשוי מבשר זול שבמקרה הטוב נטחן לפני כמה ימים ושכב קפוא עד שנצלה בשמן במשך חמש דקות 'תמימות'... זה לא ממש נשמע טעים. למעשה, זה מזכיר מאוד את ההמבורגר-בנוסח-מילואים. אז איפה הקסם? כיצד מצליחות מסעדות המזון המהיר להפוך חומרי גלם בינוניים לארוחות טעימות? כדי לענות על השאלה הזו, עלינו להבין טוב יותר מהו בעצם 'טעם'.

על הלשון ובחלל הפה יש פקעיות (או 'בלוטות טעם') המסוגלות לזהות חמישה טעמים בסיסיים: מלוח, חמוץ, מר, מתוק ו'אוממי' (מיפנית: "טעים") טעם שקשה לאפיין אותו, אבל הוא זה שמעניק נפח ומרקם עשיר למזונות. אם כל תחושת הטעם שלנו הייתה תלויה אך ורק בפקעיות, החיים היו מאבדים הרבה מטעמים: פקעיות הטעם נותנות לנו אבחנה גסה בלבד בין הטעמים השונים. התחושה כאילו חוש הטעם נמצא בפה או בלשון היא אשליה בלבד: חלק גדול מאוד מעושר הטעמים שאנו מכירים מחיי היום יום נובע למעשה מחוש הריח שלנו. כשהמזון נלעס ונגרס בתוך הפה, הכימיקלים הנדיפים שבו משתחררים ונשאבים אל חלל האף. יש כשלוש מאות סוגים שונים של קולטני ריח, והמוח מצרף את המידע שמגיע מהקולטנים האלה אל המידע שמגיע מהלשון. ולא רק ריח: גם לצבע, למרקם ואפילו לזיכרונות ילדות יש השפעה ניכרת על תפישת הטעם שלנו. המוח מערבב את כל הנתונים והאותות הנקלטים, משלב אותם בדרכים נסתרות - ויוצר מהם טעם עשיר וייחודי.

מכאן נובע שניתן בהחלט להפריד בין טעמו של מזון מסוים - והמזון עצמו. במילים אחרות, לא צריך ללעוס קציצת בשר מובחרת כדי להרגיש את טעמה

של קציצת בשר מובחרת: מספיק למצות מהבשר המקורי את הכימיקלים הנדיפים, את צבעו ומרקמו - כדי לשכנע את מוחנו שהבשר המעובד, המופשר והנחות שאנו אוכלים הוא למעשה יצירת מופת קולינרית. לאשליה הזו יש אפילו שם, וניתן למצוא אותו על מרבית אריזות מזון שאנו קונים במכולת: 'חומרי טעם, ריח וצבע'.

המילים 'חומרי טעם' ו'צבעי מאכל' נמצאות בדרך כלל בתחתית רשימת המרכיבים שעל האריזה - אך בפועל יש להן חשיבות אדירה להצלחת רכישת מוצר. לבשר טחון שעובד בצורה כה אינטנסיבית כמו קציצת המבורגר אין כמעט טעם ייחודי משל עצמו: הוא כמו דף חלק שמקבל את הטעם שיעניקו לו החומרים שיתווספו אליו. העיתונאי אריק שלוסר (Schlosser) מתאר בספרו Fast Food Nation ביקור שערך במפעל לייצור חומרי טעם וריח. כשהגיעו לאחת המעבדות, הכימאי שליווה אותו הורה לו לעצום את עיניו. כעבור מספר שניות הריח אריק ניחוח מדהים של בשר על האש. עצמת הריח ועשירותו היו כה חזקים עד שאריק מספר שכמעט היה יכול לשמוע את מיצי הבשר תוססים על הגחלים הלוחשות. כשפקח את עיניו, הוא ראה את הכימאי

מחזיק מתחת לאפו מקל קטן עם צמר גפן טבול בנוזל שקוף.

על חשיבות חומרי הטעם והריח במוצר הסופי מעידה העובדה שהחברות שמייצרות אותם שומרות על הנוסחות הכימיות שלהן כמו על סוד צבאי. זו תעשייה שמגלגלת עשרות מיליארדי דולרים בכל שנה, אבל לרוב אינה נחשפת לציבור - ובמתכוון. יצרניות המזון אינן רוצות שתדעו עד כמה המוצרים שלהם תלויים בתוספים המלאכותיים הללו, ועד כמה המזון שאנחנו אוכלים הוא מזון 'מהונדס'. הן רוצות לשמר את התחושה המוטעית שהמזון שאנחנו אוכלים הוא 'טבעי', בזמן שבפועל חומרי הגלם עוברים תהליכים על גבי תהליכים על גבי תהליכים...

הכימאים שיוצרים את חומרי הטעם והריח הם אמנים לא פחות משהם אנשי מדע וטכנולוגיה. הם נעזרים במכשירי מדידה משוכללים כדי לפרק טעמים טבעיים כמו 'חמיצות מתקתקה של תפוז רענן' לרשימה ארוכה של כימיקלים ומולקולות ואז לוקחים את המולקולות הללו, משלבים אותן בדרכים יצירתיות ויוצרים מהן טעמים נפלאים ומקוריים. לא קל לתכנן טעם שיהיה אהוב על ידי חלק גדול מהאוכלוסייה. לא פעם הפסיכולוגיה האנושית

המשונה מצליחה להפתיע גם את הכימאים המנוסים ביותר.

אחת הדוגמאות המעניינות לכך היא זו של משקאות האנרגיה כמו רד-בול, בלו, XL ודומיהם. מי שטעם משקאות אנרגיה מכיר את הטעם המשונה שלהם - מין 'חמוץ מתוק מריר' שכזה. אולי תופעתו לגלות שבמרבית המקרים אין שום סיבה אמתית לכך שזה יהיה טעמו של משקה האנרגיה: אפשר באותה המידה לייצר אותו כך שיהיה בטעם תות או מרשמלו. אבל מסיבות כלשהן, הציבור התרגל לכך שלמשקה אנרגיה יש טעם מגעיל ודוחה: זה הטעם שנקשר במוחנו עם ה'אנרגיה' שבמשקה אנרגיה. על כן, כל היצרניות מכניסות בשמחה חומרי טעם וריח למשקאות שלהם ואם היו מוחדרים לכל מוצר מזון אחר, היינו יורקים אותו בגועל.

גם האבחנה בין חומרי טעם 'טבעיים' לחומרי טעם 'מלאכותיים' היא אשליה פסיכולוגית ותו לו. אין שום הבדל בין חומר טעם מלאכותי או טבעי: מדובר תמיד באותה נוסחה כימית, זהה לחלוטין. השוני היחיד הוא בתהליך הייצור: חומרי טעם וריח 'טבעיים' מיוצרים בשיטות פרימיטיביות - דהיינו 'כמו פעם' - והחומרים המלאכותיים מיוצרים על ידי מכונות מתוחכמות וחדשות.

חשוב להבהיר כאן שאין שום דבר 'רע' או 'לא בסדר' בחומרי טעם וריח, והם אינם מזיקים לבריאות. הם בסך הכול תוצרים של הנדסה טכנולוגית - כמו ששבב סיליקון הוא תוצאה של הנדסת מיקרו אלקטרוניקה. הכימאים שעוסקים בתחום הזה מכנים את המזון שלתוכו מוחדרים חומרי הטעם והריח בשם 'אפליקציה' - ולא במקרה: מבחינתם, מזון מתוכנת ומהונדס בדיוק כמו אפליקציה של אייפון. נכון, אפשר להשתמש בטכנולוגיה זו כדי לגרום להמבורגר טפל להיות טעים כמו סטייק אלוהי - אבל אפשר גם להשתמש בה כדי להעשיר את המזון שאנחנו אוכלים. למשל, יש חומרי טעם וריח שמאפשרים למסטיק לשנות את טעמו שלוש פעמים תוך כדי לעיסה... במקרים אחרים, כשרוצים להפוך מוצר מסוים לבריא יותר על ידי הסרת סוכרים, שומנים ודומיהם, מאבדים גם חלק ניכר מטעמו הטעים - ובמקרה כזה אפשר להיעזר בחומרי טעם וריח כדי למלא את החסר.

המסקנה מכל מה שסיפרתי לכם עד כה היא שג'אנק פוד אינו שונה בהרבה מרוב המוצרים שאנחנו צורכים בעולם המערבי. יש בו אלמנטים תדמיתיים כמו לאייפון, רכיבים ממכרים כמו בסיגריות וחומרים מהונדסים לפרטי פרטים כמו מעבדים של

אינטל. לדעתי, השאלה אם מזון מהיר הוא בריא או לא אינה ממש רלוונטית. כמעט כל דבר בחיים שנעשה בצורה מופרזת או מוגזמת אינו בריא. נכון, מי שאוכל ארוחות עתירות קלוריות במקדונלד'ס כל יום וכל שבוע נמצא בצרה צרורה - אבל לאכול ביג מק וצ'יפס פעם בחודש זה לא מזיק, קרוב לודאי.

מה שחשוב כאן, לדעתי, הוא להבין את הכוחות שמשפיעים עלינו כשאנחנו מחליטים מה אנחנו רוצים לאכול. קל הרבה יותר להתנגד לפיתוי של טעם טוב כשיודעים שהטעם הוא אשליה בלבד, וקל הרבה יותר לחנך את הילדים לאכול בריא אם מפסיקים את שטיפת המוח השיווקית שהם עוברים בכל פעם שהם צופים בטלוויזיה. זו אולי קלישאה, אבל ידע הוא כוח.

25. דו-קרב בתזמורת: על טכנולוגיה של כלי נגינה

המוזיקה ליוותה את המין האנושי מאז ומתמיד. אנו אוהבים ליצור מוזיקה, להאזין לה, לרקוד לצליליה - וזו תכונה משותפת לכל בני האדם מכל התרבויות ובכל הזמנים.

עובדה מספר אחת: היכן שיש מוזיקה, יש כלי נגינה. קיים קשר עמוק בין אופי המוזיקה לכלים שעליהם היא מנוגנת: גיטרה חשמלית מתאימה לקצב ולכעס הרוק אנד רול, אבל נדיר לראות גיטריסט מלווה הופעת אופרה. כינורות מוצאים את מקומם במוזיקה הקלאסית, אבל קשה למצוא אותם בהיפ הופ. סביר להניח שהקשר הזה הוא תוצאה של הפסיכולוגיה האנושית המשונה ולא נובע מתכונות כאלה או אחרות של כלי הנגינה עצמו. אלטון ג'ון, למשל, בנה קריירה מוצלחת מאוד על בסיס שילוב פסנתר כנף ברוק אנד רול.

עובדה מספר שתיים: כלי נגינה משתנים לאורך השנים. לפעמים השינוי מהיר מאוד - כמו הפריחה האדירה בכלי נגינה אלקטרוניים בחמישים השנים האחרונות - ולפעמים אטי וכמעט בלתי מורגש. כשלמדתי לנגן על גיטרה קלאסית, למשל, ניגנתי יצירות שהולחנו לפני מאה שנים ויותר על אותו הכלי בדיוק. אטי או מהיר, השינויים שחלים על כלי נגינה קיימים תמיד. הנה דוגמה מוחשית לכך.

רובנו שמענו על המלחין המפורסם יוהן סבסטיאן באך (Bach). רובנו גם מכירים את היצירות המפורסמות ביותר שלו, גם אם איננו תמיד מזהים שהוא זה שהלחין אותן, למשל נעימת הפתיחה לסדרת הילדים הקלסית 'היה היה'. מוזיקאים המנגנים כיום יצירות של באך עושים זאת לרוב על כלי נגינה מודרניים, אבל באך נולד במאה ה-17 וכלי הנגינה שעבורם כתב את יצירות המופת שלו היו שונים מאד מהכלים שמנגנים בהם כיום. אחת היצירות המפורסמות ביותר של באך - האריה מתוך 'ואריציות גולדברג' - נכתבה עבור כלי נגינה בשם צ'מבלו (Cembalo, או 'הרפסיקורד'). נרחיב את הדיבור על הצ'מבלו בהמשך המאמר, אבל כעת מספיק לדעת שהצ'מבלו נראה, מבחינה חיצונית, כמו פסנתר אך הצלילים שהוא מפיק שונים מאוד מצלילי

הפסנתר המודרני. לרוע המזל, הצ'מבלו אינו באופנה
כבר מזה שלוש מאות שנים בערך ולכן הנגנים
מבצעים את היצירה על הפסנתר, כלי הנגינה הקרוב
ביותר לצ'מבלו, גם אם הצלילים ששני הכלים מפיקים
אינם דומים זה לזה.



איור 96: צ'מבלו

אותה היצירה אבל הבדל תהומי: לצלילים שמפיק הצ'מבלו אין העומק והעושר שיש לצלילי הפסנתר. עובדה זו מעלה שאלה מרתקת: אם היה לבאך, במאה ה-17, פסנתר במקום צ'מבלו - האם עדיין היה כותב את 'ואריאציות גולדברג' כפי שהן? אולי היה בוחר לנצל באופן אחר את עושר הצלילים שמפיק הפסנתר? במילים אחרות, השאלה העקרונית היא מי משפיע על מי: האם מוזיקה קובעת את האופן שבו יתפתחו וישתנו כלי נגינה, או שההתפתחות הטכנולוגית של כלי נגינה קובעת כיצד תולחן מוזיקה. הבה ננסה לענות על השאלה הזו באמצעות בחינה מדוקדקת יותר של ההיסטוריה של המוזיקה.

סביר להניח שהמוזיקאים הראשונים לא היו מקצוענים. זאת אומרת, מוזיקה לא הייתה המקצוע שלהם: בימי קדם, כשהיית צריך לחרוש את השדות או לצוד ביער כדי לאכול - מוזיקה הייתה מותרות. מי שידע לנגן עשה זאת בעיקר באירועים כמו טקסים דתיים או פסטיבלים, ובתום האירוע חזר לשגרת יומו, לחיים האמתיים. בתקופות או במקומות שבהן הכלכלה המקומית שגשגה והלחץ הקיומי פחת, אפשר היה למצוא מוזיקאים מקצועיים - אבל אלו היו

יחידי סגולה נדירים, וכמעט תמיד ניגנו במסגרת דתית כזו או אחרת.

החל מסביבות אמצע האלף הראשון לספירה ניתן היה למצוא יותר ויותר מוזיקאים, בעיקר בצפון מערב אירופה. אלו היו משוררים או נגנים מוכשרים שהיו עוברים מעיר לעיר ומכפר לכפר ומופיעים להנאת התושבים. המוזיקאים הנודדים היו מעין 'שגרירי תרבות': הם הפיצו מנגינות, שירים וסיפורים ממקום למקום. להקות או תזמורות היו, באותם הימים, חבורות קטנות של מוזיקאים - לא יותר משלושה או ארבעה חברים, בדרך כלל. הם היו מופיעים בפונדקים, בבתי מרזח ובשאר המקומות שבהם נהגו האנשים הפשוטים לבלות. כלי הנגינה שבהם השתמשו המוזיקאים הנודדים והלהקות הקטנות התאימו לאופי המקצוע: אלו היו כלים פשוטים - תופים, חלילים, כלי מיתר שונים וכלים דומים נוספים שלא דרשו אימונים מפרכים ושהיו ניתנים להזזה ממקום למקום בקלות. לקראת סוף תקופת ימי הביניים הופיעו ניצני שינוי. הם היו תוצאה של שתי התפתחויות טכנולוגיות ש'התבשלו' באטיות לאורך מאות שנים: תווים, וטכנולוגיות עיבוד עץ ומתכת.

לפני המצאת הכתב, כל יצירה מוזיקלית הייתה חד-פעמית, אלא אם מישהו טרח לשנן ולזכור אותה.

יצירות מוכרות כמו שירי עם נשמרו והועברו בעל פה מדור לדור, אבל לאורך השנים גם הן עברו שינויים. מהרגע שהופיע הכתב, החלו מופיעות גם שיטות בסיסיות של נוטציה מוזיקלית (או 'תיווי', בעברית), למשל סימני קצב והנחיות נגינה שנתגלו על לוחות אבן בני אלפי שנים באזור עירק של ימינו.

במשך אלפי שנים נותרה השפה המוזיקלית פשוטה ובסיסית מאוד - בעיקר כיוון שלא היה לשפה ביקוש גדול מצד המוזיקאים. מעטים היו הנגנים המקצועיים שניגנו יצירות מסובכות: עבור רוב המנגינות הנפוצות כמו שירי עם או זמירות דתיות, אפשר היה בהחלט להסתפק בשמירה על קצב לפי הטקסט או הריקוד שהיה קשור למנגינה. היוונים והרומים שכללו את הנוטציה המוזיקלית כשהצמידו לתווים אותיות של האלפבית הרגיל - זו הסיבה לכך שעד היום שמות התווים באנגלית הם A, B, C וכן הלאה. במאה ה-15 הומצאו סימני התווים - הקווים עם העיגולים הקטנים שבקצותיהם - ולאחר מכן החלו משרטטים אותם על חמישה קווים אופקיים וכן הלאה. להופעת השפה המוזיקלית הייתה השפעה דרמטית על האופן שבו אנשים ניגנו יחד: היא אפשרה למוזיקאים שונים לנגן יחד אותה המנגינה, גם אם זו הייתה מתוחכמת ודרשה סנכרון מדויק בין הכלים המבצעים. ספרי

תיאוריה ולימוד הופיעו בפעם הראשונה ומלחינים החלו כותבים יצירות מתוחכמות יותר שדרשו מהמוזיקאים מקצוענות גבוהה יותר. באירופה החלה מגמה ברורה של מעבר ממוזיקה מונופונית - מוזיקה של כלי אחד שמלווה שירה או דיבור - לפוליפונית: כמה כלי נגינה שמנוגנים יחד.

במקביל, חלו התפתחויות טכנולוגיות משמעותיות בעיבוד עץ ומתכת, וכלי הנגינה החלו מפיקים צלילים עשירים יותר ומגוונים יותר. הכינור, למשל, הפך במאות ה-11 וה-12 מקופסה חלולה שעליה מתוח מיתר בודד, לתיבת תהודה משוכללת בעלת מספר מיתרים. בנוי הכלים צייתו יותר ויותר לתקנים משותפים כך שכל שני כינורות שכוונו כהלכה, הפיקו צלילים דומים מאוד זה לזה.

החל מסוף ימי הביניים ותחילת עידן הרנסנס, במאה ה-15, שתי ההתפתחויות הללו - השכלול הטכנולוגי והופעת השפה המוזיקלית - הביאו לשינוי ברור באופי המוזיקה. שירי עם הפשוטים והזמירות שיועדו לכנסייה הפכו ליצירות מתוחכמות שנוגנו על ידי תזמורות פילהרמוניות (או 'סימפוניות') בעלות עשרות נגנים ומנצח. העובדה שרק מוזיקאי מקצועי ומיומן יכול לנגן בתזמורת הביאה לכך שרק העשירים ביותר - מלכים או בני אצולה אחרים - היו יכולים

להרשות לעצמם לממן תזמורת שכזו. כתוצאה מכך נוצרה חלוקה מעמדית ברורה גם בעולם המוזיקה: בני המעמד העליון נהנו מהמוזיקה הסימפונית החדשה, ופשוטי העם המשיכו להאזין למוזיקאים נודדים וללהקות בבתי מרזח. רק מאות שנים מאוחר יותר נפתחו שערי אולמות הקונצרטים בפני מעמדות נמוכים יותר, כמו הסוחרים, עורכי הדין, הרופאים וכל שאר בני המעמד הבינוני הבורגני. המעמד הנמוך נשאר תמיד מחוץ לגדר.

ראינו, אם כן, שההתפתחויות הטכנולוגיות של השפה המוזיקלית ובניה טובה יותר של כלי נגינה, הביאו גם לשינוי באופי המוזיקה. אבל לא תמיד התקבלו השינויים הטכנולוגיים בזרועות פתוחות מצד הנגנים. כמו בכל תחום, גם במוזיקה יש שמרנים וחדשנים ולפעמים שינויים חברתיים יכולים להשפיע על המוזיקה לא פחות, ואולי אפילו יותר, משינויים טכנולוגיים. הנה סיפור שידגים עובדה זו היטב.

הקריירה של אדולף סאקס (Adolphe Sax), מי שיהפוך ברבות הימים לגדול בוני כלי הנגינה במאה ה-19, כמעט שנסתיימה עוד לפני שהחלה. סאקס נולד בשנת 1814 בכפר קטן בבלגיה וכשהיה פעוט נפל מהקומה השלישית וכמעט נהרג. בגיל שלוש נפצע מהתפוצצות אבק שריפה, ומאוחר יותר נכווה

מסיר בישול רותח. הוא גם נפל לנהר וניצל מטביעה
ממש ברגע האחרון. אין פלא, אם כן, שאימו הייתה
משוכנעת שהוא לא ישרוד את ילדותו. תושבי הכפר
כינו אותו בחיבה 'רוח רפאים'.



איור 97: אדולף סאקס

אביו של סאקס היה בונה כלי נשיפה מוכשר שמונה להיות יצרן הכלים הרשמי של בית המלוכה. סאקס בילה את רוב שנות ילדותו בבית המלאכה של אביו, למד לנגן בקלרינט (או 'קלרנית' בעברית) וכשהתבגר החל לעשות לעצמו שם כבונה כלי נשיפה משכמו ומעלה. כבר כשהיה בן עשרים פיתח גרסא משלו ל"בס-קלרינט", כלי נגינה שכבר היה נפוץ למדי בתקופתו, אבל הצלילים שהפיק לא היו מדויקים והכלי עצמו לא היה אמין ונוטה לתקלות. סאקס שיפר את הבס-קלרינט הקיים והציג אותו בפני אנשי התזמורת הפילהרמונית של בריסל.

זו הייתה הפעם הראשונה - ובהחלט לא האחרונה - שסאקס נתקל בהתנגדות עזה לכלי נגינה חדשים שפיתח. הסולן הראשי של התזמורת, שניגן על בס-קלרינט מהדור הישן, לא היה מוכן לאמץ את הכלי החדש של 'הילדון הקטן סאקס', כפי שכינה אותו בזלזול. זו גם הייתה הפעם הראשונה - ובהחלט לא האחרונה - שבה באה לידי ביטוי העקשנות הבלתי מתפשרת של סאקס. סאקס לא רק שלא ויתר על ניסיונות השכנוע שלו, הוא אף הזמין את הסולן לדו-קרב מוזיקלי: כל אחד מהם ינגן על הכלי שלו, והקהל והשופטים בתחרות יקבעו מי המנצח. הסולן הסכים להצעה, והשניים ניגנו על במה לפני ארבעת אלפים

איש. בסופו של הערב לא היה ספק לגבי המנצח:
הבס-קלרינט של סאקס סחף את הקהל לתשואות
רמות. כלי הנגינה החדש אומץ על ידי התזמורת,
אבל סאקס כבר רשם לעצמו אויב ראשון.

ב-1840, כשהיה בן 26, השתתף סאקס בתחרות
בבריסל והציג שורת כלי נגינה שהיו גרסות משופרות
לכלי נשיפה קיימים. על אף שכליו היו עדיפים בבירור
על פני כלי מתחריו, שופטי התחרות סירבו להעניק לו
את פרס המקום הראשון כיוון שהיה צעיר מדי. סאקס
הבין שאם הוא רוצה להתקדם, עליו לעזוב את
בריסל. הוא עבר לפריז, ממרכזי התרבות והמוזיקה
החשובים באירופה ובעולם כולו, והקים שם בית
מלאכה עצמאי. כמעט מיד החל סאקס לעמול על
פיתוח כלי נגינה חדש ומהפכני.

כלי הנשיפה בתזמורת מתחלקים לשני סוגים
בסיסיים: כלי נשיפה מעץ, כגון חליל וקלרינט, וכלי
נשיפה ממתכת כגון חצוצרה וטרומבון. כלי הנשיפה
מעץ מפיקים מגוון רחב ונעים יותר של צלילים, אבל
הם חלשים וחסרי עצמה. כלי הנשיפה ממתכת,
לעומתם, חזקים ומלאים - אבל אין להם טווח דינמי
רחב ועשיר כמו לכלי הנשיפה מעץ. אדולף סאקס
ביקש ליצור כלי חדש שימזג את הטוב משני
העולמות. הגישה שנקט בה הייתה טכנית מאוד,

כמעט אקדמית: הוא חקר לעומק את תכונותיהם האקוסטיות של הכלים השונים וניסה להבין כיצד בדיוק מפיק כל כלי נשיפה את הצליל הייחודי שלו.

למרות שנדמה שכל כלי הנשיפה פועלים מאותו העיקרון היינו, נשיפת זרם אוויר לצינור ארוך בעל חורים, יש הבדל בסיסי בין כלי נשיפה מעץ לכלי נשיפה ממתכת. בכלי נשיפה ממתכת, הנגן יוצר את הצליל: חוזק הנשיפה, צורת השפתיים, מיקום הלשון וכיו"ב קובעים את גובה הצליל - באותו האופן שבו מפיקים צלילים בשריקה, למשל. גלי הקול נעים בתוך צינור המתכת, ומרעידים את הדפנות. לכל כלי נשיפה ממתכת יש כמה תדרים שבהם גוף הכלי והאוויר שבתוכו רוטטים בהרמוניה, ואז הוא מפיק צלילים נעימים ונקיים. ניתן לשלוט על התדרים הללו באמצעות לחיצה על כפתורים שפותחים וסוגרים תעלות בתוך הכלי, וכך לקצר או להאריך את המסלול שעובר האוויר בדרכו מהפייה ועד הקצה השני, בפעמון.

בכלי נשיפה מעץ, לעומת זאת, הנשיפה בפיה אינה מפיקה את הצליל: היא רק מספקת את האנרגיה, כמו סוללה במעגל חשמלי. כלי הנגינה הוא זה שמפיק את הצליל ממש: בחלילית, למשל, הנשיפה יוצרת מערבולת בתוך הפיה ועקב כך האוויר רועד

בתדר מסוים. בקלרינט, זרם האוויר עובר דרך צפצפה, גורם לה לרטוט וכך מופק הצליל.

אדולף סאקס החליט לבנות מעין ייצור-כלאיים: הוא לקח את הצפצפה של הקלרינט ושם אותה בתוך צינור ארוך ממתכת. התוצאה הייתה כלי נגינה בעל עושר צלילים של כלי נשיפה מעץ, ובעל עומק ותהודה של כלי נשיפה ממתכת. אדולף כינה את הכלי החדש בשם... 'סקסופון'.



איור 98: סקסופון מודרני

פריצת הדרך הגדולה של סאקס התרחשה ב-1842, בעקבות פגישה עם המלחין הקטור ברליוז (Berlioz). ברליוז היה ידוע מאוד בפריז ובעל השפעה ניכרת על שאר המוזיקאים. סאקס לקח את ברליוז לסיור בבית המלאכה והדגים בפניו את המצאתו החדשה. לכל אורך ההדגמה בקושי הוציא ברליוז מילה מפיו, וסאקס החל לחשוש שהמלחין המפורסם אינו מתרשם מהסקסופון שמבחינה חיצונית, עם כל הצינוריות והכפתורים שעליו, נראה כמו תאונה אכזרית בין שני רכבי שרברבים. בסוף הפגישה הוא שאל את ברליוז מה דעתו. המלחין השיב לו שישמיע את דעותיו רק למחרת - על דפי העיתון.

להפתעתו הנעימה של סאקס, המאמר שכתב ברליוז הרעיף שבחים אדירים על הסקסופון ובעיקר על הצלילים הנפלאים שהפיק. בין השאר נכתב:

"לעתים הוא שקט ועמוק, לעתים
מלא רגשות, חולמני, עצוב ולעתים
עם הד הקול האנושי. אינני מכיר אף
כלי מוסיקלי בעל אכות הקול
המיוחדת הזאת."

כיצד נוצרים צלילים אלה? ניתן להשוות את האופן שבו גלי הקול נעים בתוך הסקסופון לתנודות של מיתרי גיטרה, או כינור. אם ניקח מיתר מתוח, נחזיק אותו היטב בצד אחד, שלא יזוז, וננענע את הקצה השני שלו במהירות מסוימת, מהירות שתלויה באורך המיתר - נקבל מה שנראה כמו 'גל עומד': המיתר יעלה ויירד, אבל פסגות הגל ועמקיו יהיו תמיד באותה הנקודה לאורך המיתר. האוויר בתוך הסקסופון מתנהג באופן דומה: לחץ האוויר בקצה הפתוח של הצינור זהה ללחץ אוויר האטמוספירה מסביב, וכמעט שאינו משתנה. בהקבלה לדוגמה הקודמת, זו הנקודה שבה המיתר מוחזק ללא תנועה בצד אחד. התנודות שמפיקה הצפצפה מרעידות את האוויר בתוך הצינור ויוצרת בתוכו גלים. סאקס תכנן את אורך הצינור כך שהגלים הנוצרים יהיו גלים עומדים, שנשמעים לאוזננו כצלילים חדים ומדויקים.

הבעיה הייתה שהצינור בסקסופון הוא ארוך - ארוך מדי מכדי שיהיה נוח לנגן בו. סאקס ידע מניסיונו שלצורת הצינור אין השפעה ממשית על הצליל: אפשר לפתל את הצינור לכל צורה שנרצה והצליל יישאר כשהיה, כל עוד אורכו של הצינור אינו משתנה. על כן סאקס כופף את קצה הצינור למעלה וקדימה

ויצר את הצורה האייקונית והמוכרת כל כך של הסקסופון.

עד כה, הסקסופון שלנו מפיק רק צליל אחד: צליל שתלוי באורך הצינור. כדי להפיק מגוון רחב של צלילים, סאקס שאל אלמנט נוסף מכלי הנשיפה מעץ: את החורים לאורכו של הצינור. תפקיד הכפתורים הרבים על הסקסופון הוא לפתוח את החורים ולסוגרם, באותו האופן שבו מנגנים על חלילית, למשל. חורים פתוחים משנים את הנקודה שבה לחץ האוויר בתוך הצינור מוחזק קבוע וללא שינוי: זאת אומרת, כשפותחים את הכפתור האחרון בסקסופון, משווים את לחץ האוויר באותה הנקודה ללחץ האטמוספרי הכללי, ממש כאילו ניסרנו את קצה הסקסופון. קיצור הצינור מקצר גם את אורך הגל העומד בתוך הכלי, ותדר הצליל עולה. כל כפתור פתוח נוסף מקצר עוד יותר את האורך האפקטיבי של הצינור ומעלה את התדר שבו רוטט האוויר בתוך הכלי. המפתח ליצירת הצליל הייחודי של הסקסופון הוא שילוב הצליל החד שמפיקה הצפצפה, הגוון העמוק של דפנות המתכת, והעובדה שהצינור עצמו הולך ומתרחב מהפיה ועד הפעמון כמו חרוט.

השבחים שקיבל הסקסופון מהקטור ברליוז סייעו לסאקס להשתלב בהחברה המוזיקלית של פריז. הוא

פגש מלחינים רבים, עבד עם טובי המוזיקאים ובנה לעצמו מוניטין כבונה הכלים הטוב ביותר באירופה. אבל אין זה אומר שקהילת המוזיקאים הייתה מוכנה לקבל את הכלים החדשים שהמציא בזרועות פתוחות. ההפך הוא הנכון: סאקס נתקל בהתנגדות עזה מכל עבר, החל מהנגנים המובילים בתזמורות שלא הסכימו לנגן בסקסופון, דרך מלחינים שלא היו מוכנים לכתוב עבורו יצירות חדשות וכלה ביצרני כלים אחרים שהציקו לו ללא הרף ותבעו אותו בבית משפט על גניבת רעיונות והפרת פטנטים. המאבקים הבלתי פוסקים מול מתנגדיו הביאו את אדולף סאקס לפשוט רגל פעמיים, והוא נאלץ לחיות על חשבונם של חברים.

הנרטיב ההיסטורי הדומיננטי מתאר את סאקס כחלוץ בעולם המוזיקה שנתקל בהתנגדות כיוון שניסה להחדיר כלי חדש ומוזר לעולם השמרני של התזמורת הפילהרמונית. הבלגים אוהבים לשרטט את התמונה בקווים שכאלה, כיוון שאדולף סאקס נחשב כגיבור לאומי בבלגיה. קרוב לוודאי שהמציאות מסובכת יותר. חלק מההתנגדות ודאי נבעה מעצם החדשנות: אין ספק שהיו נגנים ותיקים ומוערכים שחששו שנגנים צעירים, עם כלי חדש ומוצלח יותר, יגנבו מהם את ההצגה. יש, עם זאת, גם גורמים

נוספים. למשל, צריך לא מעט מיומנות כדי לנגן בסקסופון צלילים נמוכים בעצמת קול חלשה - אבל זו מיומנות הכרחית במסגרת תזמורת פילהרמונית, שם צריך לשמוע גם כלים חלשים יותר כמו כינור או פסנתר. מלחינים חששו שלא יהיו מספיק נגני סקסופון מיומנים ולכן לא כתבו יצירות עבורו. הנגנים ראו שאין הרבה יצירות לסקסופון, ולכן לא למדו לנגן עליו: כך נוצר מעגל קסמים אכזרי.

גם אופיו של סאקס תרם לעויינות כלפיו. הוא היה אדם נחרץ, קפדן ודקדקן שלא היסס לתקוף בחדות את מי שלא מצא חן בעיניו. סאקס רשם פטנטים על המצאת הסקסופון ורדף בנחרצות כל מי שנחשד בגניבת רעיונותיו. הוא הגיש תביעות רבות לבתי משפט כנגד יצרני כלים אחרים, ואפילו תבע רקדנית שקראה לעצמה בשם הבמה 'סאקס'... במילים אחרות, סאקס היה מוכשר בבניית כלים מוזיקליים - אבל גם מוכשר מאוד ברכישת אויבים.

בחלוף הזמן היה ברור שהסקסופון אינו מצליח למצוא את דרכו אל התזמורת הפילהרמונית של פריז. לסאקס נותרה אפשרות אחת אחרונה לדחוף את הכלי החדש שלו קדימה: תזמורות צבאיות. התזמורות הצבאיות היו, בימיו של סאקס, מוקד רב השפעה בעולם המוזיקה. התזמורת

הצבאית של צרפת נחשבה אז לאחת התזמורות החלשות באירופה, ואדולף סאקס זיהה הזדמנות פז: אם יצליח לשכנע את מנהלי התזמורת להשתמש בכלי הנשיפה שלו והדבר יצליח לשפר את תדמיתה של התזמורת בעולם - כולם ידעו שהסקסופון אחראי לכך. אבל גם כאן הוא נתקל בהתנגדות מצד מלחינים ומנצחים מובילים. בסופו של דבר החליטו ראשי הצבא לקיים תחרות פומבית בין התומכים והמתנגדים לשימוש בסקסופון בתזמורת. הפעם הייתה זו תחרות בקנה מידה משמעותי יותר מזו שהתחרה בה סאקס בצעירותו: במה גדולה הוקמה ב-Champs De Mars, אותו המקום שבו עומד כיום מגדל אייפל, ועשרים אלף צופים הגיעו כדי לראות את 38 המוזיקאים שניגנו בכליו של אדולף סאקס נלחמים ב-45 מוזיקאים שהעמידו מתנגדיו.

הנבזות האכזרית שבה התנהל הקרב המוזיקלי הזה מזכירה את דברי הנרי קיסינג'ר על הפוליטיקה של האוניברסיטאות: היא אכזרית כל כך דווקא כיוון שהפרס למנצח זעום כל כך. יריביו של סאקס פרסמו עליו קריקטורות מעליבות, הטיחו בו עלבונות ואפילו שיחדו שבעה מנגניו כדי שלא יופיעו לתחרות ברגע האחרון. בלית ברירה, סאקס עצמו נאלץ לנגן בתזמורת - ולהחליף בין שני כלים לכל אורך המופע.

למרות הכל, עליונות כליו של סאקס הייתה ברורה לכל: הוא ניצח בתחרות והתזמורת הצבאית אימצה את כלי הנשיפה שלו. הסקסופון, הבס-קלרינט, הסאקס-הורן ושאר כלי הנשיפה שפיתח ושכלל סאקס הם עמודי התווך בביג בנד'ס, תזמורות תהלוכה ותזמורות צבאיות גם בימינו.

לרוע המזל, זה לא הספיק. לאחר מותו של סאקס בשנת 1894, הסקסופון כמעט ונעלם: מעט מאוד מלחינים כתבו עבורו, ואף תזמורת פילהרמונית לא הכניסה אותו לשורותיה.

בשנות העשרים של המאה העשרים הופיע שחקן נוסף על במת המוזיקה העולמית: הג'ז. הג'ז היה היפוכה הגמור של המוזיקה הקלאסית. במקום תזמורת של עשרות נגנים - להקות הג'ז הכילו כמה מוזיקאים בלבד. במקום יצירות מולחנות שאסור לסטות מהן אפילו בתו בודד - הג'ז התבסס על אלתורים חופשיים. נגני הג'ז שברו, במתכוון, את כל הכללים והמסורות שהיו מקודשים במוזיקה לאורך מאות שנים - והם גם אהבו מאוד את הסקסופון. הצלילים העשירים והייחודיים של הסקסופון התאימו לאווירה הפאנקית של הג'ז כמו כובע שחור לשיער מקורזל. יש מי שאומרים שהחושניות הכמעט אירוטית שבה נגן הסקסופון מלטף את כפתורי הכלי

בזמן הנגינה התאימה גם היא לאופי המיוחד של הג'ז. המוזיקה החדשה סחפה את העולם בסערה וכמעט כל הז'אנרים המוכרים של המוזיקה המודרנית - בלוז, R'n'B, רוק אנד רול, היפ הופ ודומיהם - הם צאצאים ישירים של הג'ז. במידה מסוימת, חל כאן היפוך מעניין וחזרה לימים שלפני עידן המוזיקה הקלסית, לימים של המוזיקאים הנודדים והלהקות הקטנות בבתי המרזח והפונדקים. הסקסופון קיבל, אם כן, תדמית פרועה ושוברת מוסכמות.



איור 99: צ'רלי פרקר, אחד מחלוצי הג'ז והסקסופון
במחצית הראשונה של המאה העשרים

כשכבשו הנאצים את פריז בשנת 1940, צרמו הצלילים הלא-מהוגנים והליברלים של הג'ז לאוזניהם. שר התעמולה הנאצי, יוזף גבלס, הוציא פקודה שאוסרת על נגינה בסקסופון. אבל פריז הייתה באותה התקופה אחד מהמוקדים החשובים בעולם למוזיקת ג'ז, ויצרני כלי נגינה רבים התרעמו על הגזרה. הם הציקו לשלטונות בבקשות חוזרות ונשנות, וגבלס נאלץ לשקול מחדש את עמדתו. כששמע שמי שהמציא את הסקסופון הוא אדולף סאקס, התרצה מייד: הוא היה בטוח שהשם סאקס מגיע מסאקסוניה הגרמנית - והשם הפרטי 'אדולף'... יש שם גרמני יותר מאדולף? הוא הכריז ש'אדולף סאקס היה גרמני אמתי, בעל "שיער בלונדיני ועיניים כחולות", ושינה את הפקודה. במציאות, לסאקס היה שיער שחור ועיניים חומות. הוא נראה ארי בדיוק כמו... אדולף היטלר.

בתחילת הפרק העלתי את השאלה מי השפיע על מי: המוזיקה על הטכנולוגיה, או הטכנולוגיה על המוזיקה. ראינו שלהתקדמות הטכנולוגית הייתה השפעה דרמטית על התפתחות המוזיקה לאורך ההיסטוריה - אבל יש לאזן את התמונה ולומר שגם לדרישות המוזיקאים ולצרכיהם הייתה השפעה על תכנון כלי הנגינה שלהם ובנייתם.

הפסנתר הוא דוגמה טובה לכך. הצ'מבלו היה כלי נגינה מתקדם לתקופתו ששילב את קלידי עוגב הכנסייה (שהוא כלי נשיפה, דרך אגב) עם צילי המיתר של הנבל. עם כל לחיצה על אחד הקלידים, התרוממה זרוע קטנה בתוך התיבה ופרטה על המיתר. הפריטה הייתה גם החיסרון הגדול של הצ'מבלו: עצמת הפריטה הייתה קבועה, כך שהנגן לא היה יכול להפיק צלילים חלשים או חזקים כרצונו.

הדרישה מצד המוזיקאים לשליטה טובה יותר על עצמת הצליל הביאה לפיתוחו של סוג נוסף של קדם-פסנתר, ה'קלוויקורד' (Clavichord). בקלוויקורד, הפריטה על המיתר הוחלפה בפגיעה של פטישון קטן, והנגן היה יכול לשלוט על עצמת הפגיעה. הצ'מבלו והקלוויקורד התקיימו זה לצד זה במשך כמאתיים שנה עד המאה ה-16, אז החל הקלוויקורד לתפוס את הבכורה בתור כלי הנגינה המועדף. החיסרון הגדול של הקלאוויקורד היה תיבת התהודה הקטנה שלו. הוא היה מצוין בסלון או בחדר העבודה, אבל לא הצליח להפיק צלילים רמים שהתאימו לאולמות קונצרטים.

פריצת הדרך התרחשה בסביבות שנת 1700. יצרן כלי נגינה שהועסק בשירותה של משפחת מדיצ'י העשירה מפירנצה, בשם ברטולומאו כריסטופורי

Un (Cristofori), בנה כלי ששמו היה: "Arpicembalo... ch fa' il piano, e il forte".

או בתרגום חופשי לעברית, 'הצ'מבלו בעל צלילים חלשים וחזקים'. למעשה מדובר בשילוב המנגנון הבסיסי של הקלויקורד, הפטישונים, עם תיבת התהודה הגדולה של הצ'מבלו. מהשם המקורי נותרה רק מילה אחת, piano.



איור 100: ברטולומאו כריסטופורי

הפסנתר של כריסטופורי היה, על פי כל הסימנים, הברקה מדהימה של גאונות. הוא שכלל את המנגנונים הבסיסיים של הפסנתרים הראשונים לרמה כזו שכמעט לא נעשה בהם שינוי מאז ועד היום, שלוש מאות שנים מאוחר יותר. הבעיה הייתה שהפסנתר החדש היה יקר מאוד, גדול וכבד. אף אחד לא היה יכול להרשות אותו לעצמו, וכריסטופרי הפסיק לייצר פסנתרים.

אבל מוזיקאים ששמעו את הפסנתר - לא היו מוכנים לוותר על הצלילים הנפלאים שלו בכזו קלות. הפיתרון נמצא בשנת 1760, כשאחד מבוני הכלים הצליח לפתח פסנתר מרובע שהיה קטן יותר אך עדיין הפיק צלילים חזקים. הפיתוח הזה הזניק את הפסנתר למרכז הבמה, אפשר לומר, הוא הפך להיות נפוץ מאוד ויצירות רבות נכתבו עבורו. מאוחר יותר, בעקבות הדרישה לצלילים עשירים וחזקים עוד יותר, שוב התארך הפסנתר עד שקיבל את צורת פסנתר הכנף המוכרת לנו כיום, שלמעשה היא כמעט אותה הצורה שנתן לו ברטולומאו כריסטופורי במקור.

תכנון פסנתר אכותי וייצורו אינם משימה קלה. פסנתר טוב, כזה שיניח את דעתם של מוזיקאים מקצועיים ודקי אבחנה, צריך לעמוד ברשימת דרישות ארוכה. למשל, הוא חייב להיות מסוגל

להפיק צלילים חדים ומכוונים בעצמה גבוהה. לשם כך יש להחזיק את המיתרים תחת לחץ עצום - עד שלושים טון, במקרים מסוימים - והמשמעות היא שגוף הפסנתר צריך להיות עשוי יציקת ברזל או פלדה. כיוון שלממדי הגוף יש השפעה על אכות הצלילים, היציקה חייבת להיות מדויקת עד לרמת המילימטר. גם סוג העץ שממנו עשוי הפסנתר, אופן עיבודו וליטושו, משפיעים מאוד על אכות הצליל.

לא סיימנו, יש אתגרים נוספים. הקלידים שעליהם מנגן הפסנתרן צריכים להיות נוחים ללחיצה בדיוק במידה המתאימה: לא קשים מדי ולא קלים מדי. עצמת פגיעת הפטישונים במיתרים צריכה להיות בשליטתו המלאה של הפסנתרן, וגם למהירות שבה הפטישון נפרד מהמיתר לאחר הפגיעה יש חשיבות קריטית: אם הוא אטי מדי, הפטישון יעמם את הצליל אבל אם הוא מהיר מדי, יהיה קשה לפסנתרן לנגן סדרה של תווים מהירים ברצף, זה אחר זה. ובנוסף על כל אלו, בל נשכח שאורך חיוו של פסנתר יכול להימדד בעשרות שנים - ולכן הוא צריך להיבנות מחומרים עמידים ואמינים ו... כן, הוא גם צריך להיות יפה. הוא הרי ניצב במרכז במת התזמורת וכל העיניים נעוצות בו. כדי למלא את כל הדרישות הללו בוני הפסנתרים נאלצו להתאמץ ולשכלל את

הטכניקות שלהם עד לכדי שלמות, ובאופן זה ניתן לומר שהמוזיקה - או המוזיקאים - השפיעו על הטכנולוגיה.

בכל זאת, בחמישים השנים האחרונות ניתן להבחין בבירור שהטכנולוגיה היא זו שנותנת את הטון מהרגע שהופיעו הסינתיסייזר והגיטרה החשמלית בשנות החמישים של המאה העשרים - הפסנתר, הכינור וכל שאר כלי המוזיקה המסורתיים נדחקו לפינה ועמם דעכה קרנה של המוזיקה הקלסית כולה. האלקטרוניקה והמחשב הביאו לקדמת הבמה תפקידים חדשים בעלי השפעה אדירה על המוזיקה – על אף שאינם מנגנים בכלי נגינה! אי אפשר לדבר על ההצלחה האדירה של 'הצד האפל של הירח', של פינק פלויד, מבלי להזכיר את תרומתו של אלן פרסונס (Parsons), מהנדס הקול שעבד עם הלהקה על האלבום. המפיק המוזיקלי פיל ספקטור (Spector) אחראי לטכניקה המכונה 'קיר של צלילים' או Wall of Sound, שהשפיעה על כל מוזיקת הפופ והרוק מאז שנות השישים של המאה העשרים. מוזיקופילים עדיין מדברים בהערצה על המיקס האגדי שעשה אנדי וואלס (Wallace) באלבום Nevermind של נירוונה. מרבית המאזינים אולי אינם מודעים לכך, אבל במוזיקה המודרנית יש לא

פחות עבודה מול המחשב מאשר מול המיקרופון -
ואולי אפילו יותר...

לאן, אם כן, לוקחת אותנו הטכנולוגיה כיום? הכיוונים
האפשריים רבים ומגוונים, אז הרשו לי לבחור אחד
כראות עיניי. מוזיקה היא סוג של אינפורמציה, ממש
כמו דיבור. רשת האינטרנט היא טכנולוגיה שכל
מטרתה היא העברה יעילה ומהירה של מידע.
המקום הטוב ביותר לחוש את השפעתה של
הטכנולוגיה החדשה הוא כנראה יו-טיוב. יו-טיוב
החליף את MTV כערוץ המועדף לצפייה בקליפים,
והיום הוא גם זירה תוססת של יצירת מוזיקה חדשה
וחדשנית. למשל, מוזיקאים שלוקחים קטעי דיבור
והופכים אותם ליצירות מוזיקליות.

רשת האינטרנט מאפשרת למוזיקאים מכל רחבי
העולם להחליף רעיונות וליצור מוזיקה חדשה ללא
מגבלות מסורתיות ומעיקות של מקום וזמן:
המוזיקאים אינם חייבים להיות באותו האולפן, והם
אפילו לא חייבים לנגן באותו הזמן. עובדה זו
מאפשרת למוזיקאים שמעולם לא נפגשו זה עם זה
לשתף פעולה, גם מצדו האחר של העולם - ואפילו
בלהקות של עשרה ויותר נגנים המנגנים יחד, אבל
לחוד... מי יודע, אולי אותה הטכנולוגיה שהזיזה
הצדה את התזמורות הפילהרמוניות והחליפה אותן

בלהקות של שניים-שלושה נגנים - אולי היא תהיה זו
שגם תחזיר את הגלגל לאחור ותשיב לקדמת הבמה
את התזמורות הגדולות?...

26. רעה, רשת, רעה! על צדדי האינטרנט האפלים

כשסוקרים את ההיסטוריה האנושית, קל לזהות נקודות על ציר הזמן שבהן התחוללו אירועים או התפתחויות שהייתה להן השפעה עמוקה על העתיד - למשל, גילוי יבשת אמריקה, או ביקוע גרעין האטום. העולם שאחרי קולומבוס כבר לא היה אותו עולם, תרתי משמע. העולם של אחרי ביקוע גרעין האטום... אולי לא יהיה.

אנחנו חיים, ממש עכשיו, בתקופה שכזו. אנחנו שייכים לקבוצת בני האדם שנחשפים, בפעם הראשונה בהיסטוריה, לסיטואציה שבה מידע זורם ממקום למקום על פני כדור הארץ וכמעט ללא שום מגבלות. אני מתכוון לרשת האינטרנט, כמובן. זו הפעם הראשונה בתולדות האנושות שבה שני בני אדם שמפרידים ביניהם יבשות שלמות ואוקיינוסים רחבי ידיים, יכולים להחליף ביניהם רעיונות ודעות במהירות האור. הם יכולים לכתוב תוכנה חדשה,

למכור ולקנות זה מזה, לשלוח קבצי מוזיקה או לתכנן מזימה טרוריסטית... הכול אפשרי.

השפעת האינטרנט על האדם הבודד כמעט תמיד חיובית. הרשת מאפשרת לאינספור יוצרים, כותבים, זמרים וצלמים למצוא לעצמם במה ומקום לבטא את היצירותיות שלהם. פייסבוק מאפשרת לנו לשמור על קשר עם החברים שלנו. אתרי הכרויות מספקים את צרכינו - מאהבה לרגע ועד לאהבת אמת. אבל מה תהיה השפעתה של רשת האינטרנט על המין האנושי ככלל? מי מבטיח לנו שמה שנראה לנו היום כטכנולוגיה מדהימה שמעניקה חופש אינטלקטואלי וסיפוק נפשי, לא תתגלה בעתיד כחרב פיפיות מסוכנת מאין כמוה? כשהצליחו המדענים לפצח את סודות הגרעין, היו כאלה שהאמינו שהנה, האוטופיה המיוחלת נמצאת מעבר לפינה! האנרגיה הגרעינית תהיה זולה וזמינה כל כך עד שיבוא סוף לרעב, למחלות ולמחסור במים. בפועל, הרעב והצמא לא נעלמו ונשארנו עם דרך נוספת שבה בני האדם יכולים להרוג בני אדם אחרים.

במאמר זה ננסה לבחון את הצדדים הזוהרים פחות של הרשת, את הנזקים שהיא עשויה לגרום לתרבותנו, לקשרים חברתיים או לכלכלה. נדון בבעיות השונות שהרשת יוצרת או מעצימה, וננסה

להעריך עד כמה הן עשויות להשפיע על עתידנו. אי אפשר, כמובן, לדון בכל ההשפעות והבעיות האפשריות במסגרת פרק יחיד: לכן, נתמקד בשלושה מוקדים בלבד: טוקבקים, סירטונים וירטואליים ומהפכת 'הכול בחינם'.

'טוקבק' הוא המונח המקובל לתגובה על מאמר או כתבה באתר אינטרנט. הטוקבק הוא אחד מאבני היסוד של התקשורת ברשת והוא זה שמבדיל את הרשת מערוצי תקשורת אחרים כמו עיתונות דפוס, רדיו או טלוויזיה. גם בעיתון, למשל, ניתן להגיב על כתבות - אבל אך ורק במסגרת מה שמכונה 'מכתבים למערכת'. לעורך שליטה אבסולוטית במערכת. הוא מחליט איזה מכתב יפורסם ומה יהיה תוכנו. טוקבק באינטרנט שונה לחלוטין מ'מכתב למערכת': הוא מייד, והוא כמעט אף פעם לא עובר עריכה. הטוקבק מאפשר למגיב לעמוד מול כותב המאמר כשווה מול שווה.

טוקבקים קיימים בכל רחבי הרשת העולמית, כמובן, אבל נדמה לי שכאן בישראל הם נפוצים יותר ובעלי משקל רב יותר בדו-שיח מאשר ברוב המדינות. במקרים רבים פידבק למאמר הופך לאוסף של קללות, עלבונות והשתלחות לא-מכובדת כלפי כותב המאמר. פעמים רבות ניתן לראות תגובות

המעודדות שנאה ואלימות. לא פעם אפשר לראות כיצד מאמר מושקע ומנומק של פרופסור מכובד מהאקדמיה נתקל בתגובות מזלזלות ומעליבות. דו-שיח, אמרנו? לא ממש.

התחושות הללו הביאו את חבר הכנסת ישראל חסון להעלות לסדר היום הציבורי הצעה רדיקלית: להסיר את מעטה האנונימיות מעל הטוקבקיסטים. להכריח את המגיבים באתרי אינטרנט להזדהות בשמם האמתי ולקחת אחריות על הדברים שהם מעלים על הכתב. אם נשים בצד את השתייכותו ודיעותיו הפוליטיות, אין ספק שחבר הכנסת חסון עשה כאן צעד נועז ואמיץ מעין כמותו. לא היה שום ספק, מהרגע הראשון, שהתגובה האינסטינקטיבית של הבלוגרים, עורכי האתרים ושאר אושיות הרשת תהיה לקרוע את חסון לגזרים. איך הוא מעז, פוליטיקאי קטנוני ועלוב-נפש שכמותו, להתערב בחופש הביטוי המופלא והמדעים שהעניקה לנו רשת האינטרנט?! איך הוא מעז לטבול את הכף המלוכלכת של הפוליטיקה המפלגתית בתוך דייסה שאינה שלו?



איור 101: ח"כ ישראל חסון

אבל לדעתי, ח"כ חסון עשה כאן שירות טוב לאזרחי המדינה, שירות אמתי כחבר פרלמנט וכנציג האזרחים. גם אם מרבית עורכי האתרים הגדולים בישראל יעדיפו להתעלם מכך, טוקבקים הם בעיה רצינית באינטרנט בישראל. נכון להיום יש כמה עשרות, ואולי מאות, תיקים תלויים ועומדים בבתי משפט שבהם אנשים שנעלבו או נפגעו מטוקבקים שכתבו עליהם, תובעים לדין בעלי אתרים ודורשים מהם לחשוף את זהות הטוקבקיסטים. אין ספק שמספר התביעות בעתיד רק יילך ויעלה.

נכון להיום, אין חקיקה שמסדירה את עניין התגובות ברשת; אין הגדרה ברורה לרמת האחריות האישית שיש לכותב טוקבק על מה שכתב, או לבעל האתר שפרסם את הטוקבק. ההחלטה לגבי 'מהו טוקבק לגיטימי' ו'מהו טוקבק מכפיש ופוגעני' נתונה כיום בידי אנשים שאיננו רוצים שיקבלו את ההחלטה הזו. מצד אחד מדובר בשופטים בני שישים ושבעים שלעיתים בקושי יודעים מי זה גוגל. מצד שני מדובר בבעלי אתרים בעלי אינטרסים כלכליים לחלוטין: לא אכפת להם מההשלכות של הטוקבקים על התרבות הישראלית ועל הערכים שלנו. ההפך הוא הנכון! ככל שהטוקבקטים חריפים ואגרסיביים יותר, הכתבה המדוברת תהיה פופולרית יותר ותכניס כסף רב יותר

לאתר מצפייה בפרסומות. אף גורם פרלמנטרי אחד לא התנדב לטפל בתפוח האדמה הלוהט הזה, עד שחבר הכנסת חסון החליט לצעוק ש'המלך הוא עירום'. יש כאן בעיה. מישהו צריך לעשות משהו.

חסון הזמין ארבעה-עשר עורכי אתרי אינטרנט חשובים כמו Ynet, NRG ואחרים לדיון במשכן הכנסת. כצפוי, אף אחד מהארבעה-עשר לא טרח להגיע. חסון החליט לעשות שריר: הוא הפך את ההצעה שלו להצעת חוק והעביר אותה למסלול חקיקה. במהרה היא אושרה בקריאה טרומית בכנסת. קול זעקה נשמע ברחבי הבלוגספירה! איך הוא עושה לנו את זה? מה הוא חושב לעצמו? איך הוא בכלל חושב ליישם את הצעת החוק שלו? הרי ברור לכל שאי אפשר לאכוף באמצעים משטורתיים שום דבר על אף אחד באינטרנט: השרתים שמאחסנים את האתר יכולים להיות גם בהונדורס, לצורך העניין.

אבל מקריאה בין השורות של השתלשלות העניינים, יש לי תחושה שלח"כ חסון לא הייתה מעולם שום כוונה להשלים את החקיקה. הוא בסך הכול רצה להפעיל לחץ על עורכי האתרים ולגרום להם להבין שהם חייבים לקחת אחריות על סינון תגובות פוגעניות באתריהם. והוא הצליח. לדיון הבא

שהתקיים בכנסת כבר הגיעו כל העורכים והגורמים הרלוונטיים. התפתח דיון סוער וצעקני (איך אפשר שלא) ובסיומו הסכימו עורכי האתרים לפשרה הבאה: חבר הכנסת חסון יקפיא את החקיקה - שכאמור, נראה שמעולם לא התכוון להשלים בלאו הכי - ובתמורה הם יפעילו 'סינון עצמי' על הטוקבקים שמופיעים באתריהם ויאפשרו לכל מי שמבקש להסיר טוקבק שמעליב או שפוגע בו. על פניו, נדמה שההסדר הזה משרת היטב את כל הצדדים: יש מישהו שמסנן טוקבקים ומנמיך את הטונים, והמשטרה נשארת מחוץ לעניין. בפועל, עם זאת, בעיית הטוקבקים עדיין לא נפתרה כלל. אחרי ככלות הכל, מי אמר שטוקבקים זה בהכרח דבר רע? מי אמר שסינון טוקבקים הוא בהכרח רצוי?

לטוקבקים יכולות להיות גם השפעות חיוביות על החברה. הם יכולים להיות גורם שמאחד את העם לאחר אירועים קשים כמו נפילת חיילים, למשל. אפשר למצוא תמיכה ועידוד במסרים שמאות ואלפי מגיבים משאירים בכתבות החדשות. זאת ועוד, בל נשכח שזכות הביטוי היא זכות בסיסית לכל אדם במדינה דמוקרטית. עו"ד יהונתן קלינגר מתמחה בתחום משפט וטכנולוגיה, הוא הגדיר זאת יפה בבלוג שלו כשכתב ש-

"צנזורה היא עונש המוות של הביטוי.
מטרת הצנזורה היא לקבוע שיש
ביטויים אשר החברה אינה מסוגלת
לשאת; מטרה זו דומה מאוד לעונש
המוות שקובע שיש מעשים אשר
נקיטתם תוביל לסופו של הסובייקט
שנוקט בהם. בצנזורה, כמו בעונש
המוות, נוטים להשתמש לעתים
נדירות ביותר."

סינון טוקבקים הוא צנזורה טהורה והצנזור, עורך
האתר במקרה הזה, הוא גורם שלא נבחר בבחירות
דמוקרטיות ואינו מייצג כלל את דעתו של הציבור. ומה
בעניין עלבונות והכפשות מכוערות בטוקבקים
ובפורומים? ובכן, גם כאן לא הכול שחור ולבן.
בחודש מאי, שנת 2005, כתבה אישה אנונימית
באחד הפורומים באינטרנט על טראומה שחוותה שש
שנים קודם לכן. היא הייתה בת 16 ונוצלה מינית על
ידי גבר מבוגר ממנה.

"הייתי ילדה מאוד תמימה, והיום
בדיעבד אני מבינה מה היה שם וזה
נורא. המשכתי עם הפגישות האלה,

שפרקו חלק גדול מנשמת, מתוך
מחשבה מעוותת שאני אוהבת את
האיש (שמבוגר ממני ב-32 שנה)."

אחת הגולשות האחרות באותו הפורום, שקראה את
הסיפור, נדהמה לגלות שמה שאירע לכותבת
האנונימית דומה באופן מדהים לניצול מיני שהיא
חוותה בעצמה. גם היא העלתה את הסיפור שלה
לאתר, ולפתע החלו לצוץ נשים נוספות בעלות סיפור
דומה. כולן קיימו קשרים עם אותו אדם, סלבריטאי
מפורסם אשר שכנע אותן לקיים אתו יחסי מין תוך
כדי הבטחות לקידום הקריירה שחלמו עליה. כתבת
של העיתון 'ידיעות אחרונות', נעמה לנסקי, שמעה
על הפרסומים בפורום, ופתחה בתחקיר מעמיק לגבי
הסיפור. הממצאים פורסמו בכתורות גדולות בכל כלי
התקשורת. חקירת המשטרה לא אחרה לבוא. על פי
פסק הדין, השחקן חנן גולדבלט - גיבור ילדותנו
("גשש בלש בפעולה...") - כפה את עצמו בערמה על
נערות צעירות ותמימות. במילים אחרות, חנן הוא...
טיפוס חשוד מאוד.



איור 102: חנן גולדבלט

מה היה קורה לו היה מופעל סינון על אותו הפורום, וגולדבלט היה ממשש את זכותו - על פי אותו הסדר בין ח"כ חסון ועורכי האתרים - ומבקש להסיר את ההודעה הראשונה שפרסמה אותה מתלוננת אנונימית? יכול להיות שהמתלוננת השנייה לא הייתה נחשפת אליה כלל, וכן שאר הקורבנות, והפשע לא היה נחשף.

אין פיתרון קל לבעיה הזו. נכון להיום כל אתר רשאי לבחור לעצמו את הדרך המועדפת עליו להתמודד איתה: יש כאלה שלא מפעילים סינון כלל, אחרים מכריחים את המגיבים להזדהות, ואחרים מציגים רק מידע חלקי על המגיבים - כמו כתובת IP, למשל.

סרטוני וידאו ויראליים (שם השאול מההתפשטות המהירה של מחלות הנגרמות על ידי נגיפים, וירוסים) הם תופעת אינטרנט פופולרית מאין כמותה. סרטון קצרצר ומוצלח, מצחיק, מותח, מפתיע, כל מה שתרצו - מתפשט ברחבי הרשת בתוך שעות. חבר שולח קישור לחבר, מישהו מעלה את הסרטון לבלוג שלו, מישהו אחר כותב בפייסבוק, בטוויטר ו... ובברררוםם!... כל העולם ואחותו ראו את הסרטון. ההצלחה של סרטונים ויראליים היא כה פנומנלית, עד שהיא נחשבת היום לגביע הקדוש של הפרסום. כל קופירטייר מתחיל יודע שסרטון ויראלי,

אפילו כזה שזוכה להצלחה בינונית בלבד, יעיל פי כמה וכמה מכל מסע פרסום 'קונבנציונלי'. חברות פרסום משקיעות מיליוני דולרים על קמפיינים בטלוויזיה, ברדיו, בשלטי חוצות על בניינים שלמים ליד נתיבי איילון... ואז מגיע ילד בן 16, מתכסה בשמיכה, מפעיל את המצלמה וצועק "תעזבו את בריטני במנוחה!" והופ! הוא הבן אדם הכי מפורסם בעולם. לפחות לכמה ימים.

הפרסומאים מנסים נואשות לפצח את הנוסחה שהופכת קליפ וידאו ל'יראלי' אבל... זה לא הולך להם. אף אחד לא הצליח למצוא (עד כה) שיטה בדוקה ליצירת קליפ שכזה. יש גורמים רבים שמשפיעים על הצלחת סרטון וידאו, במיוחד אם מדובר בסרטון פרסומת. אם תדחוף את המוצר חזק מדי, אנשים לא יעבירו את הסרטון מאחד לשני. אם המסר יהיה סמוי מדי, הצלחת הסרטון תהיה חסרת תועלת. נכון להיום, שיווק ויראלי הוא יותר אמנות מאשר מדע. אז איפה בדיוק הבעיה כאן, אתם ודאי שואלים את עצמכם. יש בעיה, והנה סיפור שימחיש זאת.

בקנדה, בעיירה הקטנה 'טרואה-ריואר', גר סטודנט למשפטים בשם גיזלין ראזה (Ghyslain Razaa). גיזלין הוא צעיר בשנות העשרים לחייו, וללא ספק

אדם רציני ומכובד. הוא לומד באוניברסיטת מונטריאול היוקרתית ובזמנו הפנוי מכהן כנשיא האגודה לשימור מורשתה של 'טרואה-ריויאר'. הוא יוזם פעילויות הנצחה שונות ונלחם כנגד פגיעה באתרים היסטוריים יקרי ערך. הוא שאמרנו, אדם רציני.

אבל לפני כשמונה שנים גיזלין עשה טעות קטנה ומטופשת. טעות של נער מתבגר. לא, הוא לא גנב את האוטו של אבא, לא ריסס גרפיטי ולא הזיק לאף אחד. הוא רק נכנס לאולפן הוידאו בבית הספר התיכון שלו, הפעיל את אחת המצלמות, הרים מקל גולף שהיה מונח בקרבת מקום והחל משחק מול המצלמה.



איור 103: פריים מתוך הסרטון 'ילד מלחמת הכוכבים'

ליתר דיוק, גיזלין החל לחקות את דארת'-מאול, דמות מתוך הסרט הראשון בסדרת 'מלחמת הכוכבים'. מקל הגולף שבידיו הפך, לכמה רגעים, לחרב-אור אימתנית. גיזלין השתולל מול המצלמה בחופשיות נטולת עכבות, כולל חיקוי האפקטים הרלוונטיים. אחרי הכל, הוא היה לבד בחדר! הוא, וחילי האימפריה הדימיוניים שנגדם נלחם.

אבל גיזלין, כפי שהסתבר לו, לא היה באמת לבד. כמה חודשים מאוחר יותר מצאו כמה תלמידים את הקלטת בתוך המצלמה, וגילו את הסרטון שגיזלין הקליט ושכח למחוק. אחד מהם העביר את הסרטון למחשב, ותלמיד אחר העלה את הסרטון לבלוג. גיזלין גילה לחרדתו שמבלי להתכוון הוא יצר את מה שנראה כסרטון הויראלי המושלם: נער מתבגר, שמנמן למדי, עושה מעצמו צחוק מול המצלמה ומחקה קטע מתוך אחת מסדרות הסרטים המפורסמות והמוכרות ביותר. נדמה שהאלמנטים ההכרחיים להצלחה ויראלית חברו זה לזה בצירוף מקרים קוסמי ואומלל במיוחד. על פי אחת ההערכות, הסרטון הקצר של גיזלין ראזה הוא היום הסרטון הנצפה ביותר ברשת האינטרנט מאז ומעולם, עם למעלה ממיליארד צפיות מצטברות לאורך כמעט שמונה שנים. אנשים יצירתיים לקחו את הסרטון המקורי שלו ו'הלבישו' עליו עשרות פארודיות: גיזלין ראזה נגד הג'די, נגד קיל ביל, נגד סרומן משר הטבעות, ואפילו נגד ארבע מאות סוכנים במטריקס. לא משנה מה יעשה גיזלין בחייו וכמה אתרים היסטוריים יציל מכלייה, הוא לנצח יהיה ה-Star Wars Kid.

כפי שניתן לשער, ל'הצלחה' הזו הייתה השפעה הרסנית על גיזלין. אף אחד לא יכול לספוג כזו כמות של השפלה. הוא עזב את בית הספר, שקע בדיכאון עמוק ובסופו של דבר אושפז במחלקה הפסיכיאטרית לילדים. אפשר לשער שנדרשו לו שנים כדי לשקם את עצמו ולהתמודד עם המכה האיומה שנחתה עליו. הסבל שעובר על גיזלין לא נעלם מעיניהם של רבים ברחבי הרשת: היו אנשים שהזדהו איתו והבינו את מה עובר עליו. שני בלוגרים ניהלו מסע תרומות וגייסו כמה אלפי דולרים כדי לקנות לו אייפוד חדש. מאה וחמישים אלף איש חתמו על עצומה שקראה לג'ורג' לוקאס, האיש שמאחורי הסדרה 'מלחמת הכוכבים', להעניק לגיזלין תפקיד קטן באחד מסרטי הסידרה. לוקאס לא נענה לבקשה הזו בסופו של דבר.

הנחמה היחידה בסיפור הזה, אם אפשר לקרוא לזה 'נחמה', היא שמשפחתו של גיזלין תבעה את התלמידים שהעלו לרשת את הסרטון על סכום של רבע מיליון דולר. העניין נסגר מחוץ לכתלי בית המשפט, בסופו של דבר, וגיזלין גבה מחיר לא ידוע, אבל יש לקוות גבוה למדי, מאלו שהשפילו אותו ברבים.

שאלת הפרטיות ברשת היא נושא רחב ידיים שדורש פרק משל עצמו. המקרה של גיזלין הוא דוגמה לקלות שבה אדם יכול לא רק לאבד את פרטיותו באינטרנט אלא גם להיקלע לקטסטרופה אמתית, כזו שיכולה להשפיע על מהלך חייו. לפני מאה שנה גיזלין אולי יכול היה לעזוב את העיר או את המדינה ולהתחיל מחדש במקום אחר - אבל לא עוד. היום אין לו לאן לברוח, פרט אולי להרים הכי נידחים בקווקז או למאה שערים בירושלים.הנה דוגמה נוספת לקטסטרופה שכזו, מסוג שונה במעט, שיכולה ללמד אותנו לקח חשוב נוסף לגבי האופן שבו מתנהלים הדברים ברשת.

בשנת 2006 החליט סטודנט באוניברסיטת ייל שבארצות הברית בשם אלכסיי ויינר (Vayner) לנסות ולהתקבל לחברת UBS. UBS היא חברה בינלאומית העוסקת במתן שירותים פיננסיים - ללא ספק משרה נכספת ביותר לכל מי שמעוניין להתקדם בשוק העבודה התחרותי של וול-סטריט. אלכסיי שלח ל-UBS קורות חיים, קטע כתיבה קצר של כמה עמודים (אצלנו זה לא כל כך מקובל, אבל בארצות הברית כן), תמונה ועוד משהו. כן, ניחשתם: סרטון וידאו. ולא סתם סרטון.

אלכסיי האמין, ואולי בצדק, שמצוינות אתלטית מעידה על מצוינות גם בשאר תחומי החיים. לשיטתו, אותן התכונות שהופכות אדם לאתלט טוב - משמעת עצמית, תחרותיות, הרעב להצלחה - חשובות גם בעולם העסקים. הסרטון הקצר, כשבע דקות, נפתח בשוט מבזים של אלכסיי יושב על כורסת ראיונות. המראיין, שאת פניו אנחנו איננו יכולים לראות, שואל אותו שאלה בודדות: "מדוע אתה כל כך מוצלח?"



איור 104: פריים מתוך הסרטון 'הבלתי אפשרי הוא כלום' של אלכסיי ויינר

קשה להבין איך אלכסיי לא הבין שהשאלה הזו, שהיא בברור חלק מתסריט שהוא בעצמו כתב, הורסת בבת אחת את כל האמינות של מה שיבוא אחר כך. עוד לא חלפו שלושים שניות מתחילת הסרטון, ואלכסיי מיצב את עצמו בעיני הצופים כאדם נפוח מחשיבות עצמית ויהיר בצורה יוצאת מן הכלל. מכאן, הדברים רק הולכים ומתדרדרים. אלכסיי פוצח בנאום יומרני שבו הוא מסביר, ממרומי גיל העשרים שלו, את הדרך הנכונה אל ההצלחה. בין משפט פומפוזי אחד לקלישאה ניהולית אחרת, אלכסיי נראה כשהוא דוחק משקולות כבדות, מגיש סרב קטלני בטניס ורוקד ריקודים סלוניים. לסיום, הוא נעמד מול מגדל של לבנים, שובר את הלבנים במכת קרטה... ומקנח במשפט המחץ: "הבלתי אפשרי הוא כלום."

'Impossible Is Nothing' הוא גם השם שניתן לסרטון הזה לאחר שדלף לרשת, קרוב לודאי כמה שעות בלבד אחרי שהאנשים שצפו בו ב-UBS התעוררו אחרי שהתעלפו מרוב צחוק. ההמשך צפוי מראש, פחות או יותר. הסרטון של אלכסיי זכה לכמה מאות מיליוני צפיות, אינספור קטילות ובדיחות על חשבוננו של הסטודנט השאפתן, והשפלות לרוב. אלכסיי לקח חופשה מהלימודים וירד למחתרת.

אבל כאן התרחשה נקודת מפנה מפתיעה בסיפור. בניסיון להציל משהו מתוך הכבוד העצמי שלו, אלכסיי שלח מכתבים מאיימים לאתרים שאליהם הועלה הסרטון או שקישרו אליו, כמו יו-טיוב למשל, ובהם הוא דרש להסיר את הסרטון או שינקוט בצעדים משפטיים כנגד האתר. אלכסיי אולי לא ידע זאת, אבל זה היה אולי הצעד הגרוע ביותר שיכול היה לעשות: הוא הביא על עצמו את 'אפקט סטרייסנד'.

'אפקט סטרייסנד' הוא שם שניתן לתופעה מוכרת מאוד ברשת האינטרנט. בשנת 2003 הועלתה לאתר כלשהו תמונה אווירית של האחוזה של הזמרת ברברה סטרייסנד ליד חוף הים של קליפורניה. סביר להניח שכמה אלפי סקרנים נכנסו לאתר, העיפו מבט בתמונה והמשיכו הלאה לדברים מעניינים יותר. בסופו של דבר, מדובר בסך הכל בבית גדול. אבל משום מה, הזמרת לא אהבה את העובדה שצילום ביתה מופיע באינטרנט. היא שלחה את עורכי הדין שלה לאיים על בעל האתר שאם לא יסיר את תמונת הבית הם יתבעו אותו על סכום של 50 מיליון דולר. בעל האתר מחה בתוקף וטען שהתמונה המדוברת היא חלק מפרויקט גדול של צילום כל קו החוף בקליפורניה כדי לעקוב אחרי תהליכי שחיקת החופים

לאורך זמן. לטענתו, הוא צילם עוד שניים עשר אלף בתים, והוא לא מסכים לתת לביתה של סטרייסנד יחס מועדף.

העיתונות שמעה על המקרה הזה והתנפלה עליו. הסיפור פורסם בכל כלי התקשורת, כולל פרשנויות, דיווחים מהשטח, עיתונאים בפתח ביתה של סטרייסנד וכל מה שכתוב בזה. והתוצאה? התמונה המשעממת, שמקודם צפו בה רק כמה מעריצים שרופים, זכתה עכשיו למאות אלפי צפיות בתוך שבועות ספורים. בדיוק מה שברברה סטרייסנד ביקשה למנוע. זהו 'אפקט סטרייסנד', וזה גם מה שארע לאלכסיי.

הידיעות על מכתבי האיום עוררו סקרנות אצל אנשים רבים ונתנו דחיפה רצינית לפופולריות הסרטון המודלף. גרוע יותר, מבחינתו של אלכסיי, אחד מהאתרים שאליו שלח אלכסיי את מכתב האיום החליט 'לעשות קופה' על חשבון. העורכים פרסמו הודעה שבה הם מצפצפים בגלוי על האיום שלו וכדי להראות שהם בכלל לא מפחדים, הם גם פרסמו תחקיר ארוך ומקיף על אלכסיי... ומה שהם גילו שם... לא נעים. מסתבר שהסטודנט המצטיין מייל הוא גם, על פי התחקיר, שקרן לא קטן. הוא טען שהקים עמותת צדקה אבל אין עמותה כזו ולא הייתה

קיימת בפועל. הוא סיפר שייסד קרן השקעות אבל גם היא לא הופיעה במסמך רשמי והאתר שלה הועתק אחד לאחד מאתר של חברת השקעות אחרת. אלכסיי טען שכתב ספר על השואה אבל כל תוכנו של הספר, כך מסתבר, הועתק ממקורות אחרים, מילה במילה. חבריו ללימודים של אלכסיי חשפו בפני הכתבים את הסיפורים שניסה למכור להם. על פי ויקיפדיה, אלכסיי טען שעבד עבור ה-CIA, יש לו קשרים עם המאפיה הרוסית, הוא לימד את ג'רי סינפלד משחק, הוא מוסמך לטפל בפסולת גרעינית מסוכנת ואפילו ניצח בטניס את פיט סמפרס. פעמיים. עם המוניטין החדש שלו, אפשר להניח שעתידו של אלכסיי בוול-סטריט הוא קצת פחות ממזהיר.

הבעיה האחרונה שנדון בה היא בעיית ה'חינם'. כפי שוודאי ידוע לכם, כמעט הכול באינטרנט - בחינם. אפשר לקרוא חדשות בחינם, לראות סרטים בחינם, להשתמש בדואר אלקטרוני בחינם וכן, גם להקשיב לפודקאסטים, בחינם. אז מהי הבעיה? חינם זה טוב, לא? לא תמיד.

חברות מסחריות חייבות להרוויח כסף, זהו הרי עיקרון השוק הקפיטליסטי. אם חברה עשירה ורבת משאבים כמו גוגל יכולה להרשות לעצמה לחלק

תיבות דואר אלקטרוני בחינם, אף אחד כמעט לא יהיה מעוניין לקנות שירות כזה בכסף מלא. ה"חינמיות" חונקת את התחרותיות: חברות סטארט-אפ קטנות ועניות לא יכולות לצבור לקוחות ולהתפתח, אפילו אם הטכנולוגיות שהן מציעות טובות יותר או מוצלחות יותר מאילו שגוגל מחלקת בחינם. בסופו של דבר גוגל, יאהו, מיקרוסופט ואחרות משתלטות על השוק והורגות אותו לחלוטין. בשוק חינמי כזה, 'המנצח זוכה בכול'. תקוותן היחידה של החברות הקטנות היא שאחת מהמפלצות הגדולות יותר תתאהב בהן, תקנה אותן ותבלע אותן לתוכה.

יש אנשים שמאמינים ש'חינם' אינם סתם מילה, אלא גם מודל כלכלי רב עצמה. כריס אנדרסון (Anderson) הוא העורך של המגזין היוקרתי 'ווירד' (Wired). הוא ידוע כאדם חכם שניחן בהבנה אינטימית ומעמיקה של האופן שבו רשת האינטרנט משפיעה על חיינו. בספרו האחרון, 'חינם! העתיד של מחיר רדיקלי', אנדרסון מנתח את הסיבות שהובילו לפריחת התוכן החינמי ברשת.

מכירת מוצרים יקרים במחיר זול יותר משוויים האמיתי אינה תופעה חדשה. חברת ג'ילט עושה זאת בהצלחה רבה כבר מאה שנים, פחות או יותר: היא

מוכרת את הידיות של סכיני הגילוח בגרושים, כדי לגרום לנו לקנות את סכיני הגילוח המתכלים במחיר יקר. מקרים כאלה, 'סבסוד' מוצר אחד על ידי ייקור מוצר אחר, מקובלים למדי: כשחברת מיקרוסופט, למשל, יצאה לשוק עם קונסולת ה-XBOX שלה, היא הפסידה כסף על כל יחידה שנמכרה. במיקרוסופט ידעו שמקור ההכנסה האמיתי שלהם לא נמצא בחמרה של הקונסולה, כי אם בתוכנה- במשחקים. כול מי שרצה לפתח משחק ל-XBOX היה חייב לשלם למיקרוסופט עבור הרישיון, והחברה גם לקחה אחוזים שמנים ממכירות המשחקים עצמם.

באינטרנט, טוען כריס אנדרסון, תופעת הסבסוד מתפשטת ומתרחבת בצורה דרמטית כיוון שעלות העברת מידע ברשת נמוכה מאוד ובכל שנה אף הולכת וקטנה עוד יותר. מחיר רוחב פס להעברת מידע נמוך כל כך, עד שמבחינה מעשית זה כמעט לא עולה כסף לתת שירות ללקוח נוסף. גוגל יכולה להרוויח כסף רב מפרסומות, כיוון שההפסד הכספי שנגרם לה כתוצאה מפתיחת חשבון Gmail חינמי נוסף, זניח לחלוטין.

העובדה שהעברת מידע ברשת כה זולה, פותחת את השער למגוון מודלים חדשים עבור חברות מסחריות. יש כאלה, כמו גוגל ופייסבוק, שמסבסדות שירותים

תמורת צפייה בפרסומות. אחרות מספקות שירות חלקי בחינם לכל הגולשים, ושירות 'פרמיום' אכותי יותר ללקוחות שמשלמים - זאת אומרת, האחוז הבודד של הלקוחות המשלמים מממנים, למעשה, את מתן השירות לכל מי שאינו משלם. באתרים אחרים, כמו Digg ויו-טיוב למשל, הגולשים הם אלו שעושים את העבודה בפועל: הם יוצרים ומעלים את התוכן.

אנדרסון טוען, בפשטות, שזו המציאות ושאין טעם להילחם בה. כל השירותים ברשת הולכים ונעים, כאילו תחת השפעת איזה 'כוח משיכה כלכלי', אל מודל עסקי חינמי. תעשיות ותיקות ומבוססות שלמזלן הרע עומדות בדרכו של הקטר הכבד הזה, פשוט יידרסו וייעלמו. העיתונים המודפסים, למשל, כבר מפנים את מקומם לאתרי חדשות, ואנציקלופדיות מפנות את מקומן לוויקיפדיה.

כצפוי, לא מעט אנשים אינם מסכימים עם דעותיו של אנדרסון. הטענות שהם מעלים כבדות משקל ואי אפשר לזלזל בהן. הבסיס לכל תחזיותיו של כריס אנדרסון הוא הרעיון שעלות העברת מידע, זניחה. זה נכון אולי עבור אתרים קטנים או בינוניים, אבל כלל אינו נכון עבור אתרים גדולים ועתירי מבקרים. יו-טיוב של גוגל, למשל, משלמת יותר משלוש מאות מיליון

דולר בשנה על רוחב הפס שלה. למעשה, גוגל מפסידה מיליארדי דולרים על יו-טיוב החינמית.

גם הטענה שניתן לממן שירותים לקהל גדול על ידי פרסומות כלל אינה מוכחת. מפרסמים גדולים, כאלה שמוציאים סכומי כסף רציניים על פרסומות, בדרך כלל מעוניינים שהפרסומות שלהם יוצגו לצד תכנים אכותיים ומקצועיים. הם אינם מוכנים שהמוצר היוקרתי שלהם יזוהה עם תוכן המופק באופן חובבני. במילים אחרות, נייד מוכנה לשלם כסף רב לשחקן כדורסל - אבל רק אם הוא טוב, כמו מיידל ג'ורדן. רולקס וסיטיזן משקיעות כסף באליפות ארצות הברית הפתוחה בטניס, אבל רק כי שם נמצאים רוג'ה פרדר ורפאל נאדל. יו-טיוב גילתה, בדרך הקשה, שהיא חייבת לשלם לערוצי הטלוויזיה המסחריים כדי לקבל מהם תכנים טובים, כדי למשוך מפרסמים.

אבל הביקורת הקשה והנוקבת ביותר כנגד דעותיו של אנדרסון היא שהוא מבלבל בין 'כוח כלכלי שאי אפשר להתנגד לו' לבין אינטרסים כלכליים של חברות גדולות. הרי בסופו של דבר, רק לחברות הענקיות והעשירות יש אינטרס לתת לנו תוכן בחינם: רק להן יש העצמה והכיסים העמוקים שנדרשים כדי לעשות מהחינם הזה כסף. למשל, לחברת אמזון יש

ספר אלקטרוני בשם 'קינדל', והיא משווקת עבורו ספרים ועיתונים בפורמט דיגיטלי. אמזון לוחצת על העיתונים והוצאות הספרים להוריד את מחירי התוכן שהן גובות, כדי לגרום לאנשים לקנות עוד ועוד תכנים. הלקוחות נהנים, אבל מי שסופג את הנזק אינה אמזון - אלא הוצאות הספרים והעיתונים. אמזון ממשיכה להרוויח אחוזים נאים מהמכירות שעוברות דרכה, אבל להוצאות הספרים אין מקור הכנסה אחר: הן עושות ספרים, וזהו. במילים אחרות, החברה היחידה שמרוויחה מכל עניין ה'כמעט חינם', היא אמזון הענקית על גבן של החברות החלשות יותר.

אבל יכול להיות שיש אור בקצה המנהרה. חברת אפל, למשל, מצליחה למכור בכסף טוב תכנים שאחרים חשבו שאי אפשר לעשות מהם כסף, כמו מוזיקה. המפתח להצלחתה מקורו במחשבה, בהשקעה בעיצוב ובהבנה של מה לקוחות אוהבים ומוכנים לשלם עבורו. נוסף על כך, אנשים בהחלט מוכנים לשלם כסף תמורת תוכן אכותי יותר: פעם, כל הטלוויזיה שלנו הייתה חינמית לגמרי, אבל כמעט כולנו משלמים ל'הוט' ו'יס' תמורת כמות ערוצים, מגוון גדול יותר של סדרות טובות וכולי. יכול להיות שגם ל'חינם' של האינטרנט יש מגבלות משלו.

בסופו של דבר, עם כל הבעיות והדילמות שניצבות בפנינו, רשת האינטרנט היא טכנולוגיה מדהימה שללא ספק תשנה את מהלך ההיסטוריה ואני מאמין, באופן אישי, שהשינוי הזה יהיה בסופו של דבר, לטובה. אינני יכול להסביר בכל מאת האחוזים מדוע אני חושב כך. אולי זה פשוט בגלל שאני מאוהב בטכנולוגיה הזו מעל לראש: הייתי מוכן לוותר על כל מכשיר חשמלי בבית - כולל המקרר ומכונת הכביסה - אבל רק לא על המחשב והמודם...

27. באוטופיה, יהיו שבילי אופניים למכביר: על ההיסטוריה של האופניים

בשנים האחרונות אנחנו עדים לפריחה בעולם הרכבים 'הירוקים': מכוניות חשמליות או היברידיות המשלבות מנוע בעירה פנימית עם מנוע חשמלי. היתרון הגדול ביותר של המכוניות הללו הוא יעילותן: הן חסכוניות בשימוש בדלק, ביחס לרכבים רגילים. אין ספק שדור חדש זה של מכוניות מהווה התפתחות חיובית מאוד בתחום השמירה על אכות הסביבה, ונקווה שהמגמה הזו תמשיך ותתחזק. הרכבים הירוקים, עם זאת, אינם נטולי חסרונות. המקטרגים טוענים שהחומצות החזקות שבמצברי המכוניות החשמליות מסוכנות לסביבה לא פחות מהגזים שנפלטות ממנועי הבעירה הפנימית.

יש סוג מסוים של כלי רכב שיעילותו עולה בהרבה אפילו על זו של המכונית החשמלית היעילה ביותר;

הוא גם אינו דורש מצברים עתירי חומצה או טכנולוגיה מתקדמת. הוא זול, הוא זמין והוא כלי התחבורה הנפוץ ביותר בעולם כיום - אני מדבר על האופניים, כמובן. האופניים הם כלי התחבורה היעיל ביותר שהמציא האדם אי פעם: עד תשעים ושמונה אחוזים מהאנרגיה שמשקיע הרוכב בסיבוב הדוושה הופכת לתנועה של האופניים קדימה. תשעים ושמונה אחוזים הוא מספר בלתי נתפס ממש. במנוע בנזין רגיל, בקושי שליש מהאנרגיה שבדלק מגיעה אל הגלגלים. אפילו מנועים חשמליים, שנחשבים יעילים מאין כמותם, מגרדים בקושי רב את רף שמונים וחמישה האחוזים.

האופניים הראשונים הומצאו בשנת 1817 על ידי האציל הגרמני הברון קארל פון דרייז (Von Drais). באותה השנה מזג האוויר באירופה ובעולם כולו השתגע לחלוטין. השנה הזו ידועה בשם 'השנה ללא קיץ': במאי וביוני, חודשים אביביים וקיציים, ירדו שלגים כבדים במדינות רבות. באוגוסט עדיין נותרו הטמפרטורות מתחת לאפס. הסיבה לכך נעוצה, קרוב לוודאי, בהתפרצות הר געש גדול באינדונזיה: האפר והעשן שפיזר הר הגעש טיפסו אל השכבות הגבוהות של האטמוספירה וחסמו את אור השמש. קור מקפיא פקד את סין ויפן ושלגים אדומים וחומים -

ככל הנראה כתוצאה מהאפר הוולקני - ירדו באיטליה ובהונגריה.

גל הקור הכלל עולמי הביא להרס עצום של גידולים חקלאיים, מחסור חמור במזון ובעקבותיו עלייה דרמטית במחירי התבואה, עד פי שמונה מהמחיר הרגיל. אנשים רבים רעבו ללחם, ומהומות מזון פרצו בכמה מדינות. כשאין אוכל לבני האדם, גם מצב בעלי החיים היה עגום: סוסים רבים מתו מרעב בעצמם, או נשחטו לצורך מאכל. סביר להניח שהברון פון דרייז המציא את האופניים כדי לנסות ולהתגבר על חסרונם של הסוסים.

חלק ניכר מהמרכיבים הבסיסים של האופניים המודרניים כבר היו כלולים בהמצאה הזו: זוג גלגלים בגודל שווה, ידית היגוי לגלגל הקדמי ואפילו בלם יד. רק דוושות לרגליים לא היו: את ה'דרייזין' (Draisine), כפי שכונו האופניים הללו, היו דוחפים עם הרגליים תוך כדי נסיעה. זה לא היה נוח במיוחד, כפי שניתן לשער, וגם הנעליים היו נשחקות בקצב מסחרר- אבל הנסיעה בדרייזין הייתה מהירה יותר מריצה ומעייפת הרבה פחות.



איור 105: אופני דרייזין, 1817

מעניין לציין שהתפרצותו של הר הגעש באינדונזיה תרמה לא רק להמצאת האופניים, אלא גם לספרות. הסופרת מארי שלי ביקרה בשוויץ באותו הקיץ ולנה בבית על שפת אגם יחד עם עוד מספר חברים מעולם הכתיבה. הטמפרטורות הנמוכות הכריחו את החבורה להישאר בבית ימים ארוכים וכדי להפיג את השעמום הם החלו בתחרות כתיבת סיפורי אימה. מארי שלי כתבה את 'פרנקשטיין' בהחלט קלף מנצח.

אופני ה'דרייזין' זכו להצלחה ברחבי העולם, ורבים העתיקו את התכנון המקורי של הברון והפיצו אותו בארצות שונות. הצלחה זו, עם זאת, לא החזיקה מעמד זמן רב. הכבישים באותה התקופה התאימו בעיקר לסוסים ולעגלות, והנסיעה עליהם באופניים הייתה חוויה מזעזעת, במובן המילולי של הביטוי. רבים מרוכבי האופניים עברו לנסוע על המדרכות ועד מהרה חל זינוק מטאורי במספר התאונות בין רוכבי אופניים להולכי רגל. בערים שונות החלו לאסור את הנסיעה על המדרכה והטילו על הרוכבים קנסות כבדים. ההתלהבות מהדרייזין דעכה במהירות.

חמישים שנה חלפו עד שחזרו האופניים לאופנה. הצרפתים הם שפיתחו את האופניים החדשות והן כונו 'ולוסיפד' (Velocipede). השכלול הגדול בוולוסיפד הייתה דוושה שהייתה מחוברת ישירות לגלגל. התכנון הזה פתר את הרוכבים מהצורך לדחוף עם הרגליים, אבל לא שיפר במאום את חווית הרכיבה. הגלגלים היו מעץ, הכבישים היו מאבן, והוולוסיפד זכה לכינוי Bone Shaker, 'מזעזע העצמות' בתרגום חופשי. גם האופניים האלה לא שרדו זמן רב בשוק.



איור 106: אופני ולוסיפד, בעלות דושה המחוברת
אל הגלגל הקדמי

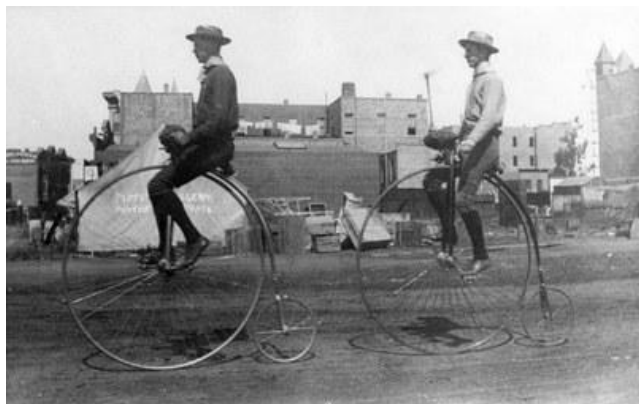
הפיתרון לבעיית אכות הנסיעה הגיע שנים ספורות
לאחר מכן, ב-1870, כשגלגלי האופניים קיבלו ציפוי
מגומי מלא. האופניים היו יקרים מאוד באותה
התקופה, וזוג בודד עלה סכום של כשש משכורות
חודשיות. מי שהיו יכולים להרשות לעצמם לנסוע על

אופניים, גם גופנית גם כלכלית, היו בעיקר גברים צעירים ועשירים שחיפשו את הריגוש והסכנה. אין זה מפתיע, אם כן, שהרוכבים דרשו מהיצרנים אופניים מהירות יותר ויותר.

הדוושות בוולוסיפד, נזכור, היו מחוברות ישירות לגלגל ולכן מהירות סיבובו הייתה תלויה בקצב הדיווש של הרוכב: על כל סיבוב שלם של הדוושה, גם הגלגל היה מסתובב סיבוב שלם. אך הגוף האנושי לא תוכנן במקור לנסיעה על אופניים. סיבוב מהיר מדי של הדוושות מעייף את שרירי הרגליים במהירות, ואפילו הרוכבים החסונים ביותר התקשו לרכב במהירויות גבוהות.

הפיתרון של יצרני האופניים היה מחוכם מאוד: להגדיל את הגלגל. כשהגלגל גדל, גדל גם ההיקף שלו. ככל שהיקף הגלגל גדול יותר, האופניים עוברים מרחק גדול יותר בכל סיבוב שלם. משמע, עבור אותה מהירות דיווש של הרוכב הגלגל הגדול עובר מרחק רב יותר ומכאן שהאופניים מהירים מאוד. יתרון נוסף של הגלגלים הגדולים היה בנוחות הנסיעה: הגלגל הגדול היה צר וגמיש ביחס לדור הקודם של 'מזעזעי העצמות' ועל כן שיכך במידה מסוימת את טלטולי הנסיעה בדרכים המשובשות.

בתוך זמן קצר החלו מופיעים אופניים בעלי גלגלים אחוריים קטנים וגלגלים קדמיים גדולים מאוד, שקוטרם שני מטרים ויותר. האופניים הללו כונו 'פני פרת'ינג' (Penny Farthing), על שם שתי מטבעות בריטיים: הפני והפרת'ינג. הפארט'ינג היה מטבע קטן מאוד ביחס לפני ומכאן ההשראה לשם. הלקוחות דרשו עוד ועוד מהירות והיצרנים שמחו להגדיל עבורם את הגלגל עד כמה שאורך רגלי הרוכב אפשר להם.



איור 107: אופני 'פני פארט'ינג' ברחובות לוס אנג'לס, 1886

אבל אין טוב בלי רע, אין יינג בלי יאנג ומה שעולה חייב לרדת ובמקרה של האופניים הגבוהים, אפילו לרדת מהר. באופני הפני פרת'ינג הרוכב ישב גבוה מעל האדמה וכמעט ממש מעל מרכז הגלגל הקדמי. סידור ישיבה זה גרם למרכז הכובד של האופניים להיות גבוה מאוד מעל הכביש. כעת דמיינו לעצמכם את הרוכב דוהר על האופניים המהירים שלו כשלפתע הגלגל נתקל באבן או בבור קטן בכביש. הגלגל הקדמי נבלם בפתאומיות, אבל מרכז הכובד המופתע, אי שם בגובה העננים, שומע את החדשות הרעות מאוחר מדי וממשיך להתקדם קדימה. כמו מישהו שרץ במהירות ואז פתאום שמים לו רגל, רוכב האופניים היה עף קדימה בקשת. כדי לסבך את העניינים עוד קצת, הרגליים היו בדרך כלל מסתבכות בידי הלהיגוי תוך כדי נפילה והתוצאה הייתה התרסקות במהירות גבוהה, ישר על הראש.

תאונות מאין אלו היו נפוצות מאוד בקרב רוכבי האופניים הצעירים. יצרני האופניים אפילו המליצו ללקוחותיהם שבזמן רכיבה במדרון יוציאו את הרגליים מהדוושות וירימו אותם אל מעבר לידיה כדי להקטין את הסיכוי שיפלו על הראש. מארק טוויין (Twain), הסופר המפורסם, סיפר איך ניסה ללמוד לרכב על האופניים הגבוהים ונפל מהם לא מעט

פעמים. הוא סיכם את החוויה כך: "קנה אופניים. לא תצטער על זה, אם תשרוד..."

ברור, אם כן, שהאופניים הגבוהים לא התאימו לכל אחד. האלטרנטיבה, למי שהיה מוכן לוותר על המהירות הגבוהה לטובת עצמות שלמות, הייתה התלת אופן. האופניים בעלי שלושת הגלגלים, Tricycle באנגלית, היו נפוצים בקרב שתי אוכלוסיות שעד אז נמנעה מהן האפשרות ליהנות מהאופניים. הראשונים היו גברים מכובדים בגיל העמידה - רופאים, כמרים ואחרים שבמסגרת עבודתם נדרשו לנוע ממקום למקום. האופניים הגבוהים לא התאימו להם כיוון שדרשו זריזות, כושר גופני ואינסטינקטים טובים וזה רק כדי להצליח לטפס עליהם.

האוכלוסייה השנייה שקיבלה את התלת אופן בברכה הייתה הנשים, כיוון שרכיבה על האופניים הגבוהים הציבה עבורן אתגר אפילו גדול עוד יותר. דמיינו לעצמכם אישה חנוטה בתוך שמלה רחבת שוליים, חולצה עתירת מלמלות וידיים עטויות כפפות עדינות, בהתאם לקוד הלבוש הוויקטוריאני שהיה מקובל באירופה, מנסה לטפס על אופני הפני פארתינג... התלת אופן אפשר לנשים, סוף סוף, ליהנות מרכיבה על אופניים ואפילו לשמור על צניעותן בשמלות הרחבות.

לשכלול הבא בטכנולוגיית האופניים היה השפעה דרמטית עוד יותר עבור הנשים בפרט, ועבור עולם הרכיבה בכלל.

התאונות הרבות הגבילו מאוד את התפשטות האופניים והשתלבותן בציבור הרחב, ויצרני האופניים ניסו להתמודד עמן. פיתרון אפשרי היה להחליף בין הגלגל הקדמי והאחורי דהיינו, גלגל אחורי ענק וגלגל קדמי קטן. סידור זה אמנם פתר את בעיית הנפילה קדימה בזמן עצירה פתאומית, אבל כעת הרוכבים היו נופלים אחורה כשהיו מטפסים בעלייה. הפיתרון המעשי היה, אם כן, הקטנת הגלגלים לגודל סביר והעניין התאפשר רק בעקבות שני פיתוחים טכנולוגיים חשובים.

באופניים הקיימים, הדוושות היו מחוברות לגלגל הקדמי. עובדה זו הקשתה מאוד על התמרון, שכן קשה לכוון את הגלגל וגם לדווש באותו הזמן. הפיתרון החדש היה שרשרת עשויה חוליות מתכת קטנות שהייתה גמישה דייה כדי להיכרך סביב ציר הדוושות ובו בזמן חזקה מספיק כדי להעביר את הכוח מהדוושה המסתובבת אל הגלגל. השרשרת החדשה אפשרה לבנות את האופניים כך שההנעה תבוא מהגלגל האחורי, במקום מהגלגל הקדמי

והמשמעות המיידית הייתה שיפור ביכולת תמרון האופניים.

השרשרת גם פתרה את בעיית המהירות. השרשרת מחוברת לדוושות באמצעות גלגל שיניים קדמי ומסובבת גלגל שיניים שני על ציר הגלגל האחורי. על ידי שינוי גודלו של גלגל השיניים האחורי ניתן לשלוט ביחס העברת הכוח מהדוושה אל הגלגל. אם, למשל, גלגל השיניים האחורי קטן פי שניים מגלגל השיניים של הדוושות, אזי בכל סיבוב שלם של הדוושות הגלגל האחורי ישלים שני סיבובים. מכאן שבאותה מהירות סיבוב של הדוושות ניתן להגיע למהירות גבוהה פי שניים של האופניים. עיקרון זה, שינוי יחס התמסורת בין גלגלי שיניים, היה פיתוח טכנולוגי חשוב מאוד ומאוחר יותר הייתה לו השפעה קריטית על התפתחות הרכב הממונע ותיבת ההילוכים שלו.

פיתוח טכנולוגי שני בדור החדש של האופניים היה בגלגלים עצמם, והוא נזקף לזכותו של וטרינר סקוטי בשם ג'ון בויד דנלופ (Dunlop). דנלופ קנה לבנו תלת אופן, אבל הדרכים המשובשות הפכו את הנסיעה לסיוט של ממש. דנלופ הוטרנר היה גם חובב מכונות. הוא המציא צמיג עשוי מגומי חלול, פתר את בעיותיו של בנו - וגם הצעיד את האופניים לעידן חדש. החברה שהקים הוטרנר הסקוטי,

חברת דנלופ, היא אחת מהמובילות בשוק הצמיגים גם כיום.

האופניים הנמוכים, עם שרשרת החוליות והצמיגים החלולים, כונו 'אופני בטיחות' להבדיל מהאופניים הגבוהים שהיו כל דבר חוץ מבטוחים. דגמי האופניים החדשים של סוף המאה ה-19 היו נוחים ונעימים לנסיעה עד שבבת אחת הפכו האופניים לאמצעי התחבורה המועדף על כולם. רכיבה על סוסים נזנחה וננטשה, ואת הכבישים בערים הגדולות מילאו עשרות ומאות אלפי זוגות אופניים.

עבור הציבור הנשי, אופני הבטיחות היו יותר מכלי תחבורה בלבד. התנועה לשחרור האישה החלה לצבור תאוצה אדירה לקראת תחילת המאה העשרים, והאופניים סימלו עבור הנשים המשוחררות את כל מה שביקשו להשיג לעצמן. למשל, האופניים היו זולים והנשים לא היו תלויות בבעליהן או באבות שלהן כדי שיקנו להן אותם. עם האופניים אפשר היה להגיע ממקום למקום בקלות, כולל למקומות עבודה שעד אז לא היו נגישים לנשים. חופש התנועה שהקנו האופניים היה, עבור הפמיניסטיות, חופש האישה.



איור 108: אישה לצד אופניה, סביבות 1890

הרכיבה על אופניים הפכה בתוך זמן קצר לסמל תנועת הפמיניזם: נשים משוחררות הצטלמו לעיתונים כשהן רוכבות על אופניים, ספרים כמו 'איך למדתי לרכב על אופניים' עודדו נשים לעזוב את המטבח ולצאת מהבית. במיוחד דחפה הרכיבה על האופניים את הנשים להיפטר מסגנון הלבוש הוויקטוריאני המסורבל: האופניים המציאו את האישה החדשה, האישה עם המכנסיים ואפילו - רחמנא ליצלן - המכנסיים הקצרים. אחת ממנהיגות התנועה אמרה לעיתון ש"האופניים תרמו יותר מכל דבר אחר לשחרור האישה." פמיניסטית אחרת אמרה ש"האופניים הם תחליף מצוין לרוב הבעלים. כשהם מזדקנים ומתיישנים, אפשר להחליף אותם בדגם צעיר יותר מבלי לזעזע את הקהילה כולה."

כפי שציינתי קודם, חידושים טכנולוגיים רבים שהומצאו עבור האופניים תרמו תרומה מכרעת להתפתחות המכונית. הבלמים, ההילוכים וצמיגי האופניים מצאו את דרכם לכלי הרכב הממונעים. רוכבי האופניים, שמספרם בתחילת המאה העשרים כבר הגיע למיליוני אנשים, דרשו מהממשלות כבישים נוחים לרכב בהם. הכבישים הללו הם אותם הכבישים שאפשרו מאוחר את תנועת המכוניות הראשונות.

אבל הגולם קם על יוצרו. האוטומוביל, שחייב את הצלחתו לאופניים, היה מוצלח מהם ותפס את מקומם. החל מהעשור הראשון של המאה העשרים החלה המכונית לתפוס את מקומה ככלי התחבורה הדומיננטי ומספר רוכבי האופניים דעך בהתמדה, בעיקר בארצות הברית. באירופה עוד המשיכו לרכב על אופניים ותרבות הרכיבה נשתמרה במידה מסוימת, אבל מעבר לים החל 'עידן הקרח' של האופניים. שלושים שנה מאוחר יותר, בשנות הארבעים, כבר כמעט ולא יוצרו אופניים למבוגרים בארצות הברית. כלי התחבורה שעליו אמר פעם הסופר המפורסם ה' ג' וולס (Wells) "כשאני רואה אדם מבוגר רוכב על אופניים, יש בלבי תקווה לעתיד האנושות" – הפך להיות צעצוע לילדים ותו לא.

אחת מהסיבות שבעטיין האופניים לא הצליחו לתפוס בחזרה את מקומם ככלי התחבורה המועדף בתרבות המערבית היא העדר חדשנות טכנולוגית. בשלהי המאה התשע עשרה, עידן הזהב של האופניים, נרשמו פטנטים והמצאות לאופניים בהמוניהם. היו חידושים והמצאות רבות בתחום, עד שאחד ההיסטוריונים כתב שבעיר וושינגטון שבארצות הברית היו אז שני בניינים שהיו מוקדשים לרישום

פטנטים - אחד עבור פטנטים לאופניים, והשני עבור כל דבר אחר.

אבל מאז אותה תקופה לא חלה שום התקדמות טכנולוגית משמעותית בתחום זה. רוב המנגנונים והטכניקות שאנו רואים באופניים של ימינו הומצאו עוד במאה התשע עשרה, ורוב השיפורים מאז מתרכזים בתחום הנדסת החומרים. האופניים מחקים בתחום זה את עולם התעופה, והמתכות הקלות והחזקות שמהם בונים את המטוסים מוצאות את דרכם עד מהרה גם לאופניים. אגב, מישהו כבר אמר פעם שלמעשה האופניים אף פעם לא נעשים קלים יותר. אופניים מטיטניום ששוקלים חמישה קילוגרם דורשים מנעול של חמישה עשר קילוגרם, לאופניים ששוקלים עשרה קילוגרם מספיק מנעול של עשרה קילוגרם ואופניים שמשקלם עשרים קילוגרם... לא צריך לנעול.

מי שסייעו לחנוק את ההתפתחות הטכנולוגית של האופניים היו, למרבה האירוניה, הארגונים המקצועיים והתחרותיים של הרכיבה על אופניים. הארגונים הללו התנגדו לכל שינוי במבנה האופניים כדי שלא לפגוע בתחרות ההוגנת בין הרוכבים, וכתוצאה מכך האופניים המקצועיות כמעט ולא השתנו מסוף המאה התשע עשרה ועד שנות

השלושים של המאה העשרים. ההילוכים, למשל, פותחו בסביבות שנת 1905 אבל במשך שלושים שנה נאסר על רוכבים מקצועיים להשתמש בהם בתחרויות. באופניים התחרותיים היו רק שני הילוכים וכדי להחליף ביניהם, על הרוכב היה לרדת מהאופניים, לפרק את הגלגל האחורי ולהרכיב אותו מחדש.

החל משנות השישים והשבעים של המאה העשרים אנחנו עדים לפריחה מחודשת בתחום האופניים, ובמיוחד מאז שאופני ההרים הופיעו בזירה. משבר האנרגיה, המודעות לאורח חיים בריא ולצורך בשמירה על איכות הסביבה מביאים לכך שהאופניים חוזרים וצצים ככלי תחבורה מועדף. אט אט מבינות גם הממשלות השונות שסלילת דרכים לרוכבי אופניים והפחתה במיסוי על קניית אופניים יביאו תועלת לא רק לרוכבי האופניים עצמם אלא לציבור כולו. במקומות שונים באירופה מעודדות הרשויות רכיבה על אופניים בתוך הערים כתחליף לכלי רכב מזהמים ובזבזניים. אני רוצה להאמין שהעתיד, מבחינה זו, צופן לנו רק דברים טובים. כפי שאמר מיודענו ה' ג' וולס "באוטופיה, יהיו שבילי אופניים למכביר."

רשימת מקורות האיורים המופיעים בספר

כל האיורים שאינם מופיעים ברשימה זו, מקורם
בויקיפדיה (www.wikipedia.org).

Cover: http://www.flickr.com/photos/x-ray_delta_one

[/http://www.flickr.com/photos/tadidas.2](http://www.flickr.com/photos/tadidas.2)

[/http://www.flickr.com/photos/fdctsevilla.24](http://www.flickr.com/photos/fdctsevilla.24)

[/http://www.flickr.com/photos/fmckinlay.39](http://www.flickr.com/photos/fmckinlay.39)

[/http://www.flickr.com/photos/tinrocket.41](http://www.flickr.com/photos/tinrocket.41)

.42

<http://www.flickr.com/photos/arenamontanus/>

.51

<http://www.flickr.com/photos/publicresourceo/rg>