

תנועת בראון בחיי האדם

מאת פרנץ אולנדורף

הפיסיקה של תנועת בראון (Brown) בחיי האדם, זהו נושא שחורג בהחלט מן התכנית הרגילה בלימודי הפיסיקה של בתי-ספר תיכוניים. בהם הרי המורה מראה לתלמיד את האדם מול הטבע, את האדם אשר הודות לכו-חותיו השכליים יודע לתאר את העולם כאוב-ייקט שאפשר לחקור אותו. תוך הוראת חוקי הפיסיקה אנו יכולים לפקוח את עיני התלמיד ולפרוש לפניו את מרחבי העולם, החל מגר-עיגו של אטום ועד העל-כוכבים שנתגלו רק בשנים האחרונות; ואילו התורה של תנועת בראון מציירת את האדם כדמות אחרת לגמרי. במקום אותו האיש החכם שהוא מסוגל ללא הגבלה לחקור את העולם, הרי תנועת בראון מראה את האדם כאיש מוגבל — לא רק לפי קיומו הגופני, אלא גם לפי יכולתו השכלית. לומר שאין אני ברייה המסוגלת לדעת את הכל, זוהי חוויה מכרעת אשר בתור שכזו אולי עדיין לא מובנת לא לילד ולא לנער, אלא לאיש הבוגר ומתבגר בלבד, ואולי בשלמותה רק לאיש שנכנס לגיל היקנה. זוהי ההכרה המפורסמת של סוקרטס, המתבטאת במימרה — יודע אני שאיני יודע ולא כלום. הכרה זו המאפיינת את דמות בן-האדם כאדם, היא איפוא המשמשת מטרת החינוך!

תנועת בראון

התנועה נתגלתה ב-1827 על-ידי הבוטני-קאי הבריטי רוברט בראון. בעת הניסויים הכ-ניס זרעים קטנים למים ונוכח לראות שחל-יקים אלה מתרחפים בתוך הנוזל בתנועה בלתי מסודרת שלא ידע להסבירה על-פי כו-חות הטבע הרגילים. לכן בראון בא לידי המחשבה שאמנם הספיק לגלות כוחות מסוג חדש לגמרי שקרא להם בשם כוחות חיים. זו היתה בוודאי תופעה מעניינת מאד וא-פילו מוזעזעת — עד אשר שני גאונים: סמו-לוחובסקי, החוקר הפולני, ואלברט איינשטיין הדגול חקרו את אותה התופעה בשנים 1904 ועד 1906. התוצאה היתה, במובן-מה, מאכזבת ביותר. אין מקום לדבר על כוח חיים! אותה התופעה שבראון גילה בזרעים חלה ללא הבדל עקרוני על כל מיני חלקיקים קטנים הנמצאים בנוזל. איינשטיין וסמולוחובסקי הו-כיחו שהתנועה הנראית הינה התוצאה של התנגשות בין המולקולות של הנוזל לבין הח-לקיקים המתרחפים בו, ושני החוקרים הספיקו לגסח את חוקי התנועה הבראונית באמצעות שיקולים סטטיסטיים בצורה פשוטה. אם מותר להגיד כך, הרי איינשטיין וסמולוחובסקי נטלו מתנועת בראון את קסם הסוד והפכוה לעניין אפילו משעמם במידת-מה.

* המחבר, שהינו ממיסדי הפקולטה להנדסת חשמל בטכניון, מכהן כפרופסור-מחקר בפקולטה וכמו כן מלמד בביה"ס להנדסאים וטכנאים מיוחדים של בסמ"ת.

אולם בינתיים חל שינוי וכיום אנו סבורים שתנועת בראון היא אחת המעניינות ביותר. על מנת להבין טענה זו כדאי להתבונן פעם בתנועת נמלים בערמתן ואז ניווכח שזוהי תנועת בראון; וכן, אם נאזין לרחש דבורים אשר כבוורת, או נלווה בעינינו שיירת ציפור-רים נודדות, או אם נעקוב אחרי הצאן במרעה — תמיד מתחוללת כנגד עינינו תנועת בראון. ומה המפליא בתנועה זו? שאמנם כו-דאי היא מוסתת על-ידי כוחות שיכליים — ובכל זאת התוצאה מתבטאת באנדרלמוסיה כביכול. ואם כך הדבר אצל בעלי החיים, היי-תכן שגם בני האדם נתונים לתנועת בראון וכפופים לחוקיה?



פרופסור פרנץ אולנדורף

סף הראייה וסף השמיעה

ברצוני לפרש את התשובות בשני פרקים. בחלק הראשון אשתדל לדבר על מאורעות המתרחשים בגופו של כל אחד מאתנו לחוד, ואילו בחלק השני על שאלות של חיינו המ-שותפים. טוען אני שתנועת בראון הינה קוב-עת את גבולות היכולת של חושינו. מה זאת אומרת? סבורים שהחוש שלנו מבוסס על פעולתם של חלקיקי חשמל, יונים הנמצאים בתוך תאי החושים, כאשר מספרם ביחידת הגפח במצב של שיווי-משקל מאפיין כל חוש וחוש. ואילו בו ברגע שאני מסתכל במשהו או שמתבוננים כי ומאזינים לדברי, הרי בתאי חושינו חלה הפרעה.

הודות לתהליכים אלקטרוכימיים מתורגם הפרעה זו למתח חשמלי המועבר למוח. אולם בעל כורחנו חלים שינויים כאלה גם אם אינני מתבונן במשהו, איני מאזין לקול שיחה — כי הרים מתרונן בגופי, כי מולקולות האוויר הולמות על עור התוף שלי, ועוד. אתן שתי דוגמאות:

1. העין שלנו. נניח שנבדוק את המתרחש בתא אחד של הרישתית, היינו יכולים לקבוע את מספר המולקולות וכן את מספר היונים אשר בתא הנידון. אילו מספר זה היה נשאר קבוע, היה קיים שיווי-משקל ולא היינו מרגי-שים ולא כלום. אולם לאמיתו של דבר אין למנוע בעד שינויים בלתי פוסקים של המספר

הנידון: (א) בגלל החלפת היונים בין תאי הרישתית הסמוכים אחד לשני; (ב) בגלל ניידים במספר נושאי האור הפולשים לעין אפילו כאשר עוצמת ההארה קבועה בהחלט. 2. עור התוף אשר באוזן נפגע ללא הפסק על-ידי הברד של מולקולות האוויר. אילו היינו מרגישים בתופעה זו, היינו ממש משת-געים מן הרעש אשר היה פוקד את האוזן אפי-לו במקרה של שקט חיצוני מוחלט; ואמנם למצב איום זה נתונים חולי-אוזן שאבר הש-מיעה שלהם ניוזק ע"י תאונה או מחלה.

על מנת להבין עובדות אלו יש להסתמך על פסיכולוגיה. היא אומרת לנו שכנראה כבר בימים הראשונים של חיינו, ואולי אפילו ב-שעותינו הראשונות, אנו לומדים להתעלם מן הרחש הזה. במלים אחרות, אין אנו מרגישים אלא גירויים אשר בעוצמתם עולים על הגירוי הפנימי שהוא ממילא הולם את עור התוף או מעורר את רישתית העין וכו'. הגירוי הפנימי הנידון קובע איפוא את מה שאנו קוראים ב-שם הסף, כי נרגיש רק את אותם הגירויים שהם עולים על הרחש הפנימי: החשבון מראה למשל, שה"אור הפנימי" של תנועת בראון בעין, גורם למתח חשמלי השווה בערך לננו-וולט אחד, כלומר לחלק האלפי של המתח ה-נרמם בעינינו על ידי המאור של חדר מואר כהלכה.

בהופכי את הקערה על פיה יכולתי איפוא להגיד, שסף הראייה הינו בערך החלק האלפי של ה"בהירות" אשר ממנה אנו נהנים בדרך כלל.

נבחן עתה את הדוגמה של האוזן. במקרה זה הרגישות של הסף, אשר אליה נגיע בדרך תיאורטית, מתלכדת כמעט בדיוק לאותה ה-רגישות אשר נקבעה באורך בין-לאומי קנה-מידה אובייקטיבי למדידת יכולת השמיעה.

אם אנו שבתבנו בבית או במשרד, מופר-עים על ידי רעש ויש ברצוננו לעקוב אחר מקורות הפרעה, הרינו מודדים את עוצמת הרעש ככפל הסף, או קצת יותר מדויק, על-ידי הלוגריתם של הכפל הנזכר. ולמה יש למ-דוד את הרעש המפריע? נסגור את החלון, ובכך מצאנו פיתרון לבעיה! ובכן, לצערנו, דורש העידן הטכנולוגי עיון מעמיק הרבה יותר, כי הרעש עשוי להפוך לסכנת נפש ממש. ה"בוים" האווירי למשל, זוהי עוצמת-קול כה חזקה, שבהגיעה לעור התוף, עשויה לפוצץ אותו! ואם כי נכון שנוכל להתגונן בפני סכנה זו על-ידי צמר-גפן או אמצעים אדירים יותר, הרי בכך לא פתרנו את עצם הבעיה.

בתופעות חברתיות בנות-זמננו

נסיים את הפרק הראשון של ניתוח נוש-אנו ונפנה להשפעה של תנועת בראון על חיי-נו המשותפים. להלן מספר דוגמאות: ילדי משמרות הבטיחות המכוונים בבוקר את התנועה לביה"ס, הרי לנגד עיניהם מתר-חשת תנועת בראון של כלי הרכב בכביש. במשחק כדור-רגל הכדור טס הנה והנה והי-שחקנים רודפים אחריו — האם אין זו תנועת בראון? בערב יום העצמאות בני הנוער ממל-אים את הרחובות, רוקדים, רצים, קופצים עומדים רגע כדי להינפש, צועדים קדימה, נסוגים — שוב מתחוללת לנגד עינינו תנועת בראון.