1 ניסיון שני

• “השאלה האחרונה" -- האם ניתן להקטין את הכמות הכוללת של אנטרופיה ביקום?

השאלה האחרונה נשאלה בפעם הראשונה, כבדיחה למחצה, בתאריך 51.5.2061, בשעה שבה האנושות ראתה אור לראשונה. השאלה נשאלה כתוצאה מהתערבות על חמישה דולרים בלוגמם כוס משקה, וכך אירע הדבר:

...

אנרגיית השמש אוחסנה, הפכה את מהותה. מעתה השתמשו בה ישירות בקנה מידה כלל-ארצי. כדור הארץ כיבה את מדורות הפחם, את כורי האורניום המתבקע, ולחץ על כפתור אשר קשר אותה אל תחנה קטנה שקוטרה מייל אחת ואשר סובבה את הארץ כמחצית הדרך שבינה לבין הירחץ הכל על הארץ הונע לע ידי קרניים בלתי נראות של אנרגיית השמש.

***ולופוב******ואדל****, שני טכנאים בכירים של מולטיואק, המחשב עצום שמנהל את העניינים בשביל האנושות את העניינים, חמקו להם לפינה שקטה ושותים, כדי לחגוג את המאורע*

....

"הדבר מפליא, כאשר תחשוב על כך," אמר אדל. ... "כל האנרגיה שאי-פעם נוכל לנצלה - נתנה לנו חינם. ... כל האנרגיה שנזקק לה אי-פעם, לעולמים ולעולמי עולמים".

לופוב היטה את ראשו הצידה. הוא נהג כך בשעה שאמר להתנגד, ... "לא לעולמי עולמים", אמר.

“הו לעזאזל, כמעט לנצח. עד שהשמש תכבה, ברט."

"זה אינו לנצח"

*עתה מתווכחים על שניים לכמה זמן תספיק בערתה של השמש. ולכמה יספיק ביקוע פחם, ושריפת אורניום. ומה תעשה האנושות אחרי השמש תיגמר... האם יעברו לשמש אחרת? הלא גם היא תכבה, לבסוף*

"... אבל תן נו טריליון שנים והכל יהיה חשוך. האנטרופיה צריכה לגדול עד למקסימום, זה הכל.".

*והם החליטו לשאול את מולטיואק*

....

"האם האנושות תהיה מסוגלת באחד הימים מבלי להוציא אנרגיה להחזיר לשמש את נעוריה, לאחר שהשמש תמות מפאת זיקנה" ... "איך אפשר להקטין באופן ניכר את הכמות הכללית של האנטרופיה בתבל"?

מולטיואק השתתק כבר-מינן. פסקו הנצנוצים האיטיים של האורות, הצלילים הרחוקים של ההעברות המתקתקות.

...

התעורר לפתע הטלטייפ הקשור לחלק זה של מולטיואק וחמש מילים הודפסו: לא מספיק נתונים לתשובה משמעותית.

"אין התערבות," לחש לופוב.

• אבל למה אכפת לנו?

– "איך אפשר להקטין באופן ניכר את הכמות הכללית של האנטרופיה בתבל?" היא השאלה שאנחנו רוצים לדון בה בהרצאה זו. ננסה להבין מה זה אנטרופיה ולמה היא מעניינת בכלל, למה שנרצה להקטין אותה, ולמה זה בכלל בעיה.

• כדי להבין למה כל זה צריך לעניין אותנו, אנחנו צריכים לדבר על אנרגיה. על אנרגיה ועל מכונות. אני לא רוצה להגדיר את שניהם במדויק, אבל אני רוצה לתת דוגמה.

– תחנת מים -- יש לנו גלגל שמסתובב בכוח המים ומבצע עבודה. מה זה עבודה? למשל, הוא יכול לטחון קמח -- להניע את הרכב על פני השכב, להתגבר על החיכוך ולייצר קמח. הוא יכול לשמש לשאיבת מים, או לניסור עצים. אבל לשם פשטות, נאמר שהוא משמש על מנת להרים משקולות. להרים משאות במשקל 1 ק"ג לגובה מטר אחד. כמות האנרגיה הדרושה כדי להרים משקולת אחת למטר אחד היא ג'אול אחד - עשרה משקולות, עשרה ג'אול.

– מה הרכיב החשוב ביותר בתחנת המים? יש לנו את הגלגל שמסתובב בכוח המים, אבל אני רוצה לטעון שהרכיב החשוב ביותר הוא זרם המים: אם לא היה זרם מים, הגלגל לא היה מסתובב. ומה גורם לזרם המים? הפרש הגבהים בין מוצאו של הנחל לשפך. אם המים לא היו זורמים ממקום גבוהה למקום נמוך, הם לא היו נעים ולא היו מניעים את גלגל התחנה.

– מה יקרה כשכל המים יגיעו ממוצאו של הנהר לסופו? הגלגל יפסיק להסתובב...

– שאלה: האם ניתן להשתמש בגלגל כדי לבנות משאבה שתחזיר את המים למעלה?

• מכונת קיטור:

– כאן נסתכל על על מכונה קצת אחרת: אנחנו מחממים דוד מים, באמצעות הבערת פחם, למשל. המים מתאדים ופורצים החוצה מן הדוד. הם פוגעים בכפות טורבינה ומסובבים אותה. לבסוף, הקיטור נפלט כשהוא קר קצת יותר, מהצד השני. מכונת קיטור לא בדיוק עובדת ככה, זהו המנגנון של טורבינת קיטור. גם כאן, כדי שהעסק יעבוד, חייבים לחמם את המים בצד אחד, והקיטור החם צריך להיפלט לסביבה קרה יותר )ובעיקר, לחוצה פחות( בצד השני.

– בצורה סכמטית, מכונת קיטור )או "מכונת חום"( לוקחת חום מאמבט חם, ממירה את חלקו לעבודה ושופכת את החום שנותר לתוך אמבט קר.

– אם לא היה לנו אמבט קר לשפוך אליו את החום שנותר, המכונה לא הייתה יכולה לעבוד. המכונה גם לא יכולה להמיר את כל החום מהאמבט החם לעבודה. היא חייבת לשפוך את חלקו לאמבט הקר.

– כלומר , כדי שמכונה תעבוד, היא חייבת שיהיה אמבט קר, ובזמן שהיא עובדת, היא משווה את הטמפרטורות בין האמבטים. זהו,

• החוק השני של התרמודינמיקה - "לא תתכן מכונה הממירה את כל החום מאמבט חם לעבודה"

– אבל מה קורה כאשר הכל בטמפרטורה אחידה? מוות תרמי.

– אנחנו מכירים מכונות ששואבות חום ממקום קר למקום חם יותר. אנחנו יודעים שהמכונות האלה צורכות אנרגיה. בגלל זה בקיץ חשבון החשמל, שלי לפחות, היה כל כך גבוהה.

– שאלה: האם אנחנו יכולים לבנות מכונה שתשתמש באנרגיה ממכונת החום כדי להעביר את החום חזרה מהאמבט החם לאמבט הקר? זו אותה שאלה כמו קודם. בכל מקרה, אז לא עשינו כלום.

• מכונות נצח מהסוג השני.

– מכונות נצח - מכונות שפועלות לנצח ללא הנאה חיצונית:

∗ מכונות נצח מהסוג הראשון -- מייצרות אנרגיה יש מאין. מפרות את החוק הראשון

∙ לדוגמה, גלגל אי-שווי משקל.

∙ משאבות מים (זוכרים?)

∗ מכונות נצח מהסוג השני:

∙ יש מלא אנרגיה מסביבנו! למה לא להשתמש בה?

∙ שואבות אנרגיה ממקורות קרים. הרי יש שם אנרגיה!

• קטע שמקשר בין אנטרופיה לחזרה בזמן. (השדות האנטי-אנטרופיים בהיפריון?)

אבל מה אני מקשקש כאן על מכונות ומכונות נצח. אנחנו בכלל רצינו לשאול מה זה אטרופיה ומה אכפת למחשב שאכפת לאדם שהאנטרופיה עולה....

אני עוד לא רוצה להגדיר אנטרופיה במדוייק, אבל..

• אנטרופיה, הגדרה ראשונה: אי סדר.

– מצב מסודר: חום וקור מופרדים. למשל: השקענו עבודה בשביל לחמם כוס מים. הסביבה קרה. יש הפרש טמפרטורות. מצב מסודר. אם היינו מחכים הייתה השוואת טמפרטורות - מצב לא מסודר.

∗ בצורה אחרת: יש לנו מלח נפרד ומים נפרדים. מצב מסודר. מערבבים - לא מסודר.

\* אפשר לבצע עבודה תוך כדי מעבר ממצב מסודר למצב לא מסודר: כשהחום "נשפך" מהאזור החם לאזור הקר, אפשר להשתמש בזה כדי לבצע עבודה. אם אין אזור קר להשפך אליו...

– מצב לא מסודר: הכל בטמפרטורה שווה.

– החוק השני של התרמודינמיקה: אנטרופיה עולה. מצב מסודר, עם מניחים לו, עובר ספונטנית למצב לא-מסודר. אפשר למנוע/ להאט את המעבר, אבל כל זמן שעושים משהו ) מבצעים עבודה..( אי הסדר גדל.

•חץ הזמן

"החוק השני הוא מהבודדים בפיזיקה שכיוון ההתקדמות שלהם מוגדר הייטב"

– זה והכוח הגרעיני החלש. עוד משהו?

בואו ננסה לבחון מאיפה החוק הזה מגיע.. לשם כך נבחון איך משפיעה התקדמות הזמן על תהליכים שונים..

• דוגמאות לתהליכים הפיכים ולא הפיכים

– הפיכים:

∗ 2 כדורי ביליארד מתנגשים.

∗ כדור מקפץ על הקרקע (מאוד אלסטי)

– לא הפיכים:

∗ כדור ביליארד פוגע בהרבה כדורים.

∗ כוס זכוכית נופלת על הקרקע ונשבת.

• מה מאפיין תהליכים לא הפיכים? הרבה דרגות חופש.

כל המצבים הלא-מסודרים דומים. כל מצב מסודר שונה.

“כל המצבים הלא-מסדרים דומים זה לזה, אך כל מצב מסודר מסודר בדרכו שלו"

יש הרבה יותר מצבים לא מסודרים.

• חום ואנטרופיה -- מבט מיקרוסקופי.

– מספר האפשרויות של המערכת להימצא בהם.

– הגדרה סטטיסטית של אנטרופיה -- מספר דרגות חופש. "אי סדר".

∗ S=kLogW

∗ "כל המערכות המבולגנות דומות זו לזו, אך כל מערכת מסודרת מסודרת בדרכה שלה"

– החוק השני.

∗ Delta S>0.

• השד של מקסוול.

ג'יימס קלארק מקסוול. המאה ה-19. מגדולי הפיזיקאים. אלקטרומגנטיות. תרמודינמיקה.

השד: מפריד חלקיקים אדומים מכחולים. מהירים מאיטיים.

מפר את החוק השני!

לקח לאנשים 50 שנה להבין שלא. שיקולים פנימיים, מידע, גישוש.

הצליחו לבנות שד!

• "ויהי אור"