שלום. נעים מאוד.
-שלום.

שמי יוחאי,

אני מדען במכון ויצמן,
אני חוקר דינמיקה אטמוספרית,

כלומר, את הפיזיקה ששולטת
בתנועה של האטמוספרה,

גם בכדור הארץ
וגם בכוכבי לכת אחרים.

היום באתי לדבר
על מנגנון גזי החממה,

מה זה בעצם גז חממה?
למה הם גורמים להתחממות כדור הארץ?

אנחנו נדבר בעצם על המנגנון הפיזיקלי,

שבלב ליבו של אפקט החממה.

מה גורם לגזים להגיב לקרינה
כמו שהם מגיבים לקרינה

ולחמם את כדור הארץ?

ואני רוצה להתחיל בשאלה,

והשאלה היא: למה הטמפרטורה בכדור הארץ
שונה מהטמפרטורה על הירח?

סך הכול, כדור הארץ והירח
הם פחות או יותר באותו מרחק מהשמש,

אבל הטמפרטורות בהם
מאוד שונות.

לירח ביום, כשיש שמש,
הטמפרטורה היא מאוד חמה,

מגיעה למשהו כמו 127 מעלות צלזיוס,

כלומר, טמפרטורה שבה
אפילו מים רותחים.

בלילה הטמפרטורה מאוד קרה,

מגיעה אפילו למינוס 173 מעלות,

כלומר, קר מאוד,
טמפרטורה שאפילו אלכוהול קופא,

בסדר? יש משרעת מאוד גדולה
של טמפרטורות,

משהו כמו 300 מעלות.

בניגוד לכדור הארץ, שכידוע לכם,
הטמפרטורה אפילו בין יום ללילה, קיץ וחורף,

משתנה בכמה עשרות מעלות
לכל היותר. נכון?

יש משהו שהוא מאוד שונה
בין כדור הארץ לירח,

למרות שהמרחק מהשמש
הוא מאוד דומה,

ומה ששונה זה האטמוספרה,

עצם זה שיש אטמוספרה
על כדור הארץ,

זה בעצם גורם לחום, לטמפרטורה
להיות הרבה יותר מאוזנת

ממה שהיא הייתה ללא האטמוספרה.

אז בואו נדבר
על מה עושה האטמוספרה

ובואו נתחיל מהירח,

שם המצב יותר פשוט,

כי אין שם אטמוספרה.

הקרינה מגיעה מהשמש, הקרינה הזאת,
אנחנו קוראים לה קרינה קצרת גל,

ואני בכוונה מדגיש את המושג קצרת גל,
כי יש הבדל בין ארוכת גל,

וזה חשוב לנו לצורך ההסבר.

הקרינה הזאת מגיעה מהשמש,
פוגעת בפני השטח של הירח,

מחממת את פני השטח,
חלקה חוזרת,

וחלקה, בגלל שהיא מחממת,

גורמת לפליטה של קרינה ארוכת גל,

זה הקווים האדומים האלה שאתם רואים פה,

וזה נפלט חזרה לחלל.

וזה המאזן, וזה מה שקורה,
ולכן פני השטח של הירח מתחממים.

בכדור הארץ המצב הרבה יותר מורכב,

כי יש אטמוספרה,

האטמוספרה, יש לה הרבה מאוד אפקטים,

מה זה בכלל אטמוספרה?

אטמוספרה זו שכבה של גזים

שמגיעה עד נניח מאה קילומטר אפילו,

אבל השכבה המשמעותית
היא השכבה התחתונה,

בערך 15 הקילומטר התחתונים,
זה נקרא טרופוספרה,

וזו בעצם השכבה שגורמת
לכל תופעות מזג האוויר

וגם לחימום שאנחנו מנסים להבין פה.

אז שוב, נחזור לעניין של הקרינה,

הקרינה מגיעה מהשמש,

זה הקווים הצהובים האלה,

הקרינה מגיעה לאטמוספרה,

אפשר לחשוב על האטמוספרה
אפילו בתור איזושהי מראה,

חלק מהקרינה חוזר ישר,
הקרינה קצרת הגל,

ישר חוזר לחלל ואפילו לא מגיע
לכדור הארץ,

חלק ממנה חודר,

ומגיע לפני הקרקע,

כמו שאתם רואים פה.

כדור הארץ מתחמם,

ובגלל שהוא מתחמם,

נפלטת קרינה ארוכת גל,

זו הקרינה שבקווים האדומים האלה,

חלקם נפלטים לחלל,

אבל חלק מזה נלכד באטמוספרה,

וזה מה שאנחנו מנסים להבין.

הקרינה ארוכת הגל הזאת
זה מה שמחמם את האטמוספרה שלנו

וגורם לאיזון הטמפרטורה הזה
שדיברנו עליו קודם.

אוקיי, אז כדי להסביר איך
הקרינה ארוכת הגל,

איך האינטראקציה שלה
עם האטמוספרה,

חשוב לנו להבין את הרכב האטמוספרה,
את הרכב הגזים באטמוספרה.

אז פה יש אילוסטרציה עם גזים שונים
שיש לנו באטמוספרה.

האטמוספרה מורכבת בעיקר
מחנקן וחמצן,

ועוד גזים בריכוזים
הרבה הרבה הרבה יותר נמוכים.

באיור פה אתם רואים יחסית הרבה
מהגזים האחרים,

הפחמן הדו-חמצני, המתאן וכדומה,

אבל בעצם, אם היינו עושים את זה
לפי היחסים האמיתיים,

אז על כל מולקולה של חמצן
היו לנו ארבע מולקולת של חנקן,

ועל כל מולקולה של פחמן דו-חמצני
היו 500 מולקולת של חמצן, בסדר?

רק לצורך ההדגמה,
אנחנו מראים פה את כל הגזים,

וכל אחד מהגזים האלה מגיב אחרת
לקרינה ארוכת הגל הזאת.

גזים שמגיבים לקרינה ארוכת הגל
וגזים שלא מגיבים לקרינה ארוכת הגל.

הגזים שמגיבים לקרינה הזאת,
אלה הם גזי החממה שאתם רואים פה,

מים, מתאן, פחמן דו-חמצני, אוזון,

אתם יכולים לראות שאלה מולקולות
שהן מורכבות יותר,

מולקולות שהן יותר גדולות,
עם יותר דרגות חופש,

ודרגות החופש האלה בעצם,
כשפוגעת בהן הקרינה,

גורמות לפליטה של חום. בסדר?

אז לכן הגזים האלה הם גזי חממה,

הגזים הפשוטים יותר

הם הגזים, כמו שאמרנו,

שהקרינה יכולה לעבור דרכם.

דרך לחשוב על זה
זה לחשוב על חבורה של אנשים

שנמצאים בחדר
ומשמיעים להם מוזיקה,

כל אחד מהאנשים,
יש לו גודל אחר, צורה אחרת,

וגם תכונות אישיות שונות שגורמות לו
להגיב אחרת למוזיקה ולרקוד בחדר.

אז הגזים הפשוטים יותר אלה אנשים
שהמוזיקה בעצם עוברת דרכם,

הם לא... שומעים את המוזיקה
והם לא פוצחים בריקוד.

הגזים האלה, הגדולים יותר,

הם גזים שזזים, נעים בחדר,

כל אחד מגיב לתדרים אחרים,

לפי התכונות שלו, לפי הגודל שלו,
לפי האישיות שלו,

ולכן הם קולטים תדרים אחרים
וגם פולטים תדרים אחרים.

אתם יכולים לראות פה את התדרים

שגזי החממה מגיבים אליהם,

פה למטה, בצהוב.

וזה בעצם מה שגורם לגזים האלה,
כשפוגעת בהם הקרינה ארוכת הגל הזאת,

להגיב אליה,

לקלוט חלק מהחום
וגם לפלוט אותו חזרה לאטמוספרה

ולחמם את האטמוספרה.

אם מסתכלים על סך הכול של זה,

אז זה מה שהיינו מצפים לקבל
אם לא הייתה לנו אטמוספרה,

אם לא היו גזי החממה האלה
באטמוספרה.

אתם יכולים לראות פה
את עוצמת החום שנפלטת

מהגוף החם, הגוף החם זה כדור הארץ,

מהתדר הנמוך לתדר הגבוה.

אבל כמו שדיברנו, יש לנו
את גזי החממה האלה באטמוספרה,

הם מגיבים לקרינה ארוכת הגל,

ואתם יכולים לראות,
כל אחד מגיב בתדר שלו,

ובעצם לוכד חלק מהחום הזה

ופולט אותו חזרה לכדור הארץ,
לאטמוספרה,

וזה מה שמחמם
את האטמוספרה שלנו.

אתם יכולים לראות פה את הדוגמה
לארבעת הגזים שדיברנו עליהם,

כל אחד והתדר שהוא מגיב בו,

ואתם יכולים לחשוב על סך החום שנפלט
בתור סך השטח האדום,

ולכן, כשאנחנו הולכים ממצב כזה
למצב כזה,

יש פחות שטח אדום,
ולכן פחות פליטה לחלל

ויותר בליעה באטמוספרה,

וזה מה שמחמם את כדור הארץ.

אז מה קורה כשמוסיפים
עוד פחמן דו-חמצני לאטמוספרה?

דיברנו על זה שכל אחד מהגזים האלה,
יש לו תדר ספציפי שאליו הוא מגיב,

אבל כשאנחנו מוסיפים
עוד פחמן דו-חמצני לאטמוספרה,

לא רק שהם נמצאים
בתדרים האלה,

אלא גם התדרים האלה מתרחבים,

ולכן אתם רואים שנניח הפחמן הדו-חמצני
בקו השחור פה

הוא, לא רק בתדר שלו יש התרחבות,

ולכן עוד בליעה של החום והתחממות
של האטמוספרה כתוצאה מזה.

בסדר? אז יש כמה גזי חממה

אנחנו נדבר רק על כמה מהם.

נתחיל מלהסתכל על מי הם גזי החממה
באטמוספרה, הדומיננטיים?

אתם יכולים לראות פה שהמים

הם 95 אחוז מגזי החממה
באטמוספרה, בסדר?

יש לנו הרבה מים באטמוספרה.

אגב, מים הם שונים
במקומות שונים בכדור הארץ,

יש מקומות עם יותר אדי מים,
פחות אדי מים,

תלוי איפה אנחנו נמצאים
על כדור הארץ,

והמים הם, כפי שאתם רואים פה,
הם יותר מחמישים אחוז

מאפקט החממה על כדור הארץ,
הנוכחות של המים,

אבל מים זה גז שיש לו
מחזור, נכון?

המים, אנחנו...
מים מתאדים מהים,

יש גשם, מים בעננים,
בכל מיני מקומות,

אבל אנחנו לא באופן ישיר
משנים את כמות אדי המים באטמוספרה,

ולכן, הם לא, לצורך העניין
של להבין את ההתחממות,

הם לא גז שבאופן ישיר

אנחנו מתייחסים אליו
כגז שמושפע מהאדם.

גז אחר הוא פחמן דו-חמצני,
שאתם רואים פה,

הוא סך הכול שלושה וחצי אחוז
מגזי החממה באטמוספרה,

מאוד מעט,
אבל הוא גז חממה יעיל,

ואתם רואים שמבחינת אפקט החממה,
הוא בערך 25 אחוז מאפקט החממה.

בסדר? ופחמן דן-חמצני,
להבדיל ממים,

זה גז שעל ידי הפליטות שלנו,
שזה מוסבר בהרצאות האחרות,

הפליטות שלנו גורמות לעלייה
בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספרה,

ולכן, כפי שראיתם שמה,
בשקף הקודם,

יותר בליעה, פליטה חזרה
לכדור הארץ וחימום האטמוספרה.

דוגמה נוספת היא מתאן, שזה גז שהוא
בריכוז מאוד מאוד נמוך באטמוספרה,

אפילו לא מופיע כאן,
בטבלה הזאת,

אבל הוא גז חממה מאוד יעיל,

בסדר? לצורך הדיון הקודם שלנו,
זה גז שמגיב מאוד מאוד חזק לקרינה,

גז יעיל, ולכן הוא אחראי לפחות או יותר
מעשרה אחוז מאפקט החממה,

זה גז גם שאנחנו מייצרים,

ולכן זה גז שהוא חשוב מאוד
לאפקט החממה.

עכשיו, איך כל זה השתנה בזמן?

אני מראה לכם פה למטה

ריכוז של שני גזים,
מתוך מה שדיברנו עליהם,

הפחמן הדו-חמצני והמתאן,

משנת 1910 ועד היום, פחות או יותר.

אתם רואים שריכוז הפחמן הדו-חמצני
עלה בצורה מאוד משמעותית,

כאן בכחול, גם ריכוז המתאן.

אנחנו עכשיו מבינים שכשהריכוז שלהם
עולה באטמוספרה

והם מגיבים עם הקרינה,
הם גורמים להתחממות של האטמוספרה,

ואתם יכולים לראות באמת
שבמקביל יש פה עלייה

של הטמפרטורה הממוצעת
במאה השנים האלה בכמעט מעלה.

אוקיי? אז לסיכום, דיברנו בכלל
על מה זה אטמוספרה, נכון?

ועל הקרינה שנכנסת
והקרינה שנפלטת מכדור הארץ

ואיך האינטראקציה שלה
עם האטמוספרה,

איך האינטראקציה שלה
עם הגזים הספציפיים באטמוספרה,

שגורמים להתחממות,

ואז הסתכלנו עכשיו
על העלייה בגזים הספציפיים האלה

ואיך במקביל יש התחממות
של כדור הארץ.

יש לכם שאלות?

כן, לי יש שאלה.
-כן.

אז בעצם אמרת שהגזים של המים
הם בעצם גם חזקים וגם נפוצים מאוד,

אז למה... -נכון.
-למה עליהם אנחנו לא מדברים יותר?

שאלה מצוינת.

נכון, את יכולה לראות שאדי המים הם
באמת 95 אחוז מגזי החממה באטמוספרה,

כלומר, כמעט כל גזי החממה
באטמוספרה הם אדי המים,

ויש להם תרומה מאוד משמעותית
לאפקט החממה,

תלוי איפה אנחנו נמצאים
על כדור הארץ,

אבל בכל מקרה, תרומה
שהיא באזור החמישים אחוז.

ובכל זאת, את צודקת,
אנחנו לא מדברים עליהם בתור...

כשמדברים על ההתחממות הגלובלית,
אנחנו לא מודאגים מהם,

למה אנחנו לא מודאגים?

כי יש לנו את המחזור, מה שנקרא,
מחזור ההידרולוגיה,

מחזור של אדי המים.

המים נמצאים בשלושת מצבי הצבירה
בכדור הארץ,

מים נניח בים, מתאדים,
הולכים לאטמוספרה,

נמצאים שמה משהו כמו
בממוצע עשרה ימים,

ויורדים בצורה של גשם
וככה יש את המחזור.

פליטה של גזים
כתוצאה מתעשייה

היא לא משנה
את המחזור ההידרולוגי הזה, נכון?

אנחנו פולטים בעיקר,
את רואה, ממקורות אנושיים,

פחמן דו-חמצני, מתאן,
גזים אחרים,

לא מים, ולכן, למרות שמים הם עיקר...

גז החממה העיקרי באטמוספרה,

אנחנו לא משנים אותו בצורה משמעותית,
לפחות לא באופן ישיר,

ולכן אנחנו לא מודאגים ממנו
כמו שאנחנו מודאגים מפחמן דו-חמצני.

יש אפקטים לא ישירים,
כי כשאנחנו נחמם את כדור הארץ

כתוצאה מפחמן דו-חמצני,

אז יהיו לנו, הטמפרטורה של כדור הארץ
תהיה יותר חמה,

ואז האטמוספרה יכולה להכיל
יותר אדי מים,

ויהיו לנו יותר אדי מים
שיגרמו ל...

ייתנו, מה שנקרא, משוב חיובי
לעניין הזה של ההתחממות.

מצד שני, כשזה קורה
יש גם יותר עננים באטמוספרה,

וזה כבר נושא למחקר,
איפה יותר עננים לעומת יותר אדי מים

משפיע על ההתחממות,
כלומר, הנושא הזה הולך ונעשה מורכב.

תודה רבה שבאתם והקשבתם,
שמחתי לענות על השאלות, ו...

תודה רבה.
-תודה. -תודה רבה.