שלום. -שלום.
-בוקר טוב.

בוקר טוב. -בוקר טוב.

שמי נילי הרניק, אני מדענית
שחוקרת את התנועות באטמוספרה

מאוניברסיטת תל אביב,

ואני רוצה לדבר איתכם על אי-ודאות
בתחזיות של ההתחממות הגלובלית.

אז אנחנו רוצים, כמדעני אקלים,
לענות על השאלה

עד כמה כדור הארץ יתחמם
כשנעלה את כמות גזי החממה,

אבל זו שאלה שקשה לענות עליה,

וכדי להבין את זה,
אני קודם אגיד

שאי אפשר לתת תחזית
שהיא גם ודאית וגם מדויקת,

אני יכולה לתת תחזית מאוד ודאית
ולהגיד שכדור הארץ יתחמם,

ולתת טווח מאוד מאוד גדול,

שבטוח אני אהיה צודקת,

אבל זה לא באמת יעזור לנו.

מצד שני, אני יכולה לתת לכם
מספר נורא נורא מדויק,

וזה גם לא יעזור לנו

בגלל שהסיכוי שאני אצדק
הוא נורא נורא קטן,

לכן, כדי לתת לכם איזשהו מספר
שאפשר לעשות איתו משהו,

אני בעצם חייבת לעשות פשרה
בין דיוק לוודאות.

אנחנו מורגלים בלקבל
תחזיות כאלה ולהשתמש בהן,

למשל, אם אומרים לנו שיש שבעים אחוז
סיכוי שמחר יהיה גשם חזק,

זה מאוד שימושי לנו,
למרות שזה לא ודאי ולא מדויק.

זה בעצם סוג של ניהול סיכונים.

יש תחום שלם של ניהול סיכונים
שעוזר לממשלות ולתעשייה

ולביטוח ופיננסים,

להשתמש בתחזיות כמו אלו שאנחנו נותנים
על ההתחממות הגלובלית,

ולהחליט מה עושים איתן.

עכשיו, חלק מה...

אחד הדברים
שמאוד עוזרים להפיק את ה...

לעשות שימוש בתחזיות,

זה להבין מאיפה נובעת אי-הוודאות
בכלל בתחזיות.

ככה נדע יותר טוב להתייחס אליהן.

אז כדי להבין למה כל כך קשה
לענות על השאלה הכביכול פשוטה,

בכמה נתחמם אם נגדיל את כמות
גזי החממה?

צריך להבין כמה דברים בסיסיים
על המערכת.

הדבר הראשון זה שאנחנו, כדור הארץ
נמצא במאזן בין קירור לחימום.

אם לא היינו במאזן,

היינו או מתאדים או קופאים.

עכשיו, המאזן הזה
הוא בין חימום, אוקיי?

שעל ידי קרינת השמש שמגיעה
לקרקע ונבלעת בה.

לא כל קרינת השמש נבלעת בקרקע,

כי חלק מוחזרת לחלל
על ידי משטחים מסנוורים,

כמו עננים וקרח.

כדור הארץ גם מתקרר,

הוא מתקרר על ידי זה
שהוא פולט קרינת חום.

קרינת חום, אתם אולי מכירים
בשם קרינה אינפרה-אדומה,

אתם מכירים בתחושה
מזה ששמים יד ליד תנור,

זאת קרינת חום,

ויש שני דברים חשובים לדעת
על קרינת החום הזאת.

אחת, שהיא תלויה מאוד חזק
בטמפרטורה.

כשכדור הארץ חם יותר,
הוא יפלוט יותר קרינת חום.

כשהוא קר יותר,
הוא יפלוט פחות.

הדבר השני זה שקרינת החום
שנפלטת מכדור הארץ

נבלעת בגזי החממה
של האטמוספרה חלקית,

ואז נפלטת חזרה,

כלומר, היא לא נפלטת לחלל
בצורה הכי יעילה,

וגזי החממה האלה בעצם קצת גורמים
לטמפרטורה של כדור הארץ

להיות יותר חמה
ממה שהיא הייתה לולא היו.

עכשיו, כמו כל מאזן,
המאזן הזה הוא דינמי,

ויש לו הפרעות, ויש כל מיני תהליכים
שמוציאים אותו מאיזון, אילוצים.

בעצם זה שהקירור תלוי בטמפרטורה,
אומר שהטמפרטורה של הקרקע

תהיה הטמפרטורה שבה כמות

קרינת החום שנפלטת

מאזנת את החימום מהשמש, אוקיי?

אז דוגמה אחת לאילוץ זה הרי געש,

התפרצויות של הרי געש.

כשיש התפרצויות מאוד חזקות
והאפר שנפלט לאטמוספרה

מגיע מאוד גבוה ונשאר באטמוספרה
כמה חודשים,

האפר הזה מונע מחלק מקרינת השמש
להגיע לקרקע.

או שהוא בולע את קרינת השמש
או שמחזיר אותה,

אבל זו השפעה מקררת.

יש עוד סוג של אילוץ,

שזה הגדלה של כמות
גזי החממה באטמוספרה,

שזה אומר שהקרינה שנפלטת מכדור הארץ
תיפלט לחלל בצורה פחות יעילה,

כי היא תיבלע יותר באטמוספרה,

וכדור הארץ,
הקרקע תצטרך להתחמם.

אז עכשיו,
כשהבנו את הבסיס הזה,

אני רוצה לדבר על למה קשה
לענות על השאלה:

בכמה כדור הארץ יתחמם
כשנגדיל את כמות גזי החממה?

ויש כמה מקורות לאי-ודאות
בתשובה הזאת.

המקור שהכי קל אולי להבין

זה שאנחנו לא יודעים

כמה גזי חממה נפלוט בעצם,

אבל זאת שאלה שהמדע

לא יכול לענות עליה, זו לא שאלה מדעית,

זו שאלה מסוג אחר,

ומדעני האקלים בעצם
עוקפים את השאלה הזאת

בזה שהם עונים על שאלה קצת אחרת,

והיא: בכמה כדור הארץ יתחמם

אם נכפיל את כמות הפחמן הדו-חמצני
מהערך הטבעי שלו,

שהיה טרום המהפכה התעשייתית?

ואז אם אנחנו יודעים את התשובה
לשאלה הזאת,

אנחנו יכולים
גם להסיק בכמה נתחמם

על כמות אחרת של פליטת גזי חממה
באופן יחסי.

מקור נוסף לאי-ודאות נובע מזה

שיש גם תהליכים טבעיים שמשפיעים

על הטמפרטורה של כדור הארץ,

שמפירים את אותו איזון.

למשל, התפרצות הרי געש.

תהליך אחר שאולי אתם מכירים,

שנקרא אל ניניו,

שקשור לשינויים

בסירקולציה של האוקיינוס,

ובעצם, כשאנחנו מקבלים איזשהו מספר,

כמות מסוימת, עלייה מסוימת בטמפרטורה

שבאה עם עלייה בגזי חממה,
אנחנו צריכים,

העלייה הזאת בטמפרטורה,
להפחית את ההשפעות

של גורמים טבעיים
שגם כן נכנסו למערכת.

אז איך עושים את זה?

והכלי המרכזי שיש לנו,
למדעני האקלים,

זה הרצה של מודלים אקלימיים.

מודלים אקלימיים זה קוד מחשב

שיודע לפתור משוואות של פיזיקה

שאומרות לנו
איך מתנהגת הטמפרטורה,

הרוחות, הלחץ, הלחות,

בכדור הארץ ובאטמוספרה,
כפונקציה של הזמן והמרחב.

את המודלים האלה אפשר להריץ
ממצב התחלתי נתון,

למשל, איך שאנחנו חושבים
שהייתה האטמוספרה

בינואר 1980, נניח,

ולהריץ את המשוואות,

לחשב איך השדות האטמוספריים,
הטמפרטורה בפרט,

מתפתחים בזמן,

תוך כדי שאנחנו מגדילים את כמות

גזי החממה במודל,

ואז אנחנו יכולים לראות בסוף ההרצה,

נניח בשנת 2000, יש פה גרף שמציג

את השינוי בטמפרטורה,

מ-1890 עד שנת 2000,

ביחס לממוצע של שלושים השנים הראשונות,

ואז אנחנו יכולים להסתכל

בכמה הטמפרטורה עלתה

בסוף ההרצה לעומת תחילת ההרצה.

אפשר לעשות עוד דבר,

אפשר להריץ את אותם מודלים,

אבל לא להכניס עלייה של גזי חממה.

עכשיו, המודלים האלה גם מכניסים לתוכם

את ההשפעה של דברים
כמו הרי געש,

הם כוללים בתוכם את האוקיינוסים,

כלומר, יש שמה את השינויים הטבעיים
של המערכת,

אז אפשר בהשוואה של הרצה
עם ובלי הגדלה של גזי חממה

לראות מה ההשפעה של גזי החממה.

ובגרף הזה רואים ארצות מודל באדום -

עם השפעה של גזי חממה,

בכחול - בלי השפעה של גזי חממה,

רק תהליכים טבעיים במערכת,

ובשחור רואים את התצפיות

שמראות לנו בזה שהן דומות לאדום

שהמודלים עושים עבודה טובה,

ומה שאנחנו רואים בשורה התחתונה

מהגרף הזה,

שמשנות השמונים בערך,

הסיגנל של ההתחממות יוצא מתחום הרעש,

שזה השינויים הטבעיים במערכת.

אנחנו רואים את זה בשתי דרכים:

אחת, שהגרף האדום נפרד מהכחול,

והדרך השנייה לראות את זה

זה שהגודל של השינוי בטמפרטורה

משנות השמונים הוא יותר גדול

מהתנודות שהיו במערכת קודם.

אוקיי, עכשיו יש עוד מקור לאי-ודאות,

וזה משובים טבעיים בכדור הארץ.

אוקיי? כשאנחנו אומרים,

מגדילים את כמות גזי החממה,

והטמפרטורה תעלה
עד להשגת מאזן חדש,

אבל התמונה היא לא כל כך פשוטה,

בגלל שיש כל מיני רכיבים במערכת

שמשפיעים על מאזן החימום והקירור

שתלויים בטמפרטורה,

וברגע שהטמפרטורה מתחילה לעלות,

הם משתנים ומשנים את הקירור והחימום

של המערכת.

עכשיו, הם יכולים לשנות אותו
בצורה שתגביר את ההתחממות,

וזה נקרא משוב חיובי,

והם יכולים למתן
את ההתחממות ההתחלתית,

וזה יהיה משוב שלילי.

אני רוצה טיפה להתעמק
במשובים האלה.

משוב אחד חיובי נקרא משוב אדי המים,

שנובע מזה שאוויר חם מכיל יותר אדי מים

ואדי מים הם גז חממה,
הם גז החממה המרכזי.

כלומר, אם נגדיל את כמות גזי החממה,

והטמפרטורה תעלה
גם בקרקע וגם באטמוספרה,

האטמוספרה תכיל יותר אדי מים,

כי יש לנו כל הזמן מקור מים של התאדות
מהאוקיינוסים,

אפקט החממה יגבר,

ואז הטמפרטורה תעלה,
בעצם זה נשמע כאילו הדבר הזה

יכול לרוץ עד אין-סוף,
ובעצם למה אנחנו לא מתאדים?

ומה שמאזן את הכול זה משוב אחר,
משוב שלילי,

שדיברנו עליו,

שקשור בעצם זה
שכמות הקירור לחלל,

פליטת קרינת החום,

תלויה בעצמה בטמפרטורה,

והתלות הזאת היא כל כך חזקה,

והיא כזאת שאם אנחנו מעלים
את הטמפרטורה

בגלל שהעלינו את כמות גזי החממה,

כמות הקרינה שתיפלט
לחלל תגדל,

והקירור עקב זה הוא יותר גדול
מכמה שאדי המים שנוספו לאטמוספרה

יחממו אותנו, אוקיי?

אז זה אפקט מחמם
שהוא מאוד חזק,

והוא שומר עלינו בעצם.

עכשיו, יש עוד כל מיני משובים,

אחד מהם חיובי, קשור לקרח
ולקרחונים ולמשטחי שלג,

ונובע מזה שהמשטחים האלה
נורא מסנוורים,

מה זה אומר מסנוורים?
שהם מחזירים את קרינת השמש,

במקום שקרינת השמש
תיבלע בקרקע מתחתם,

אבל כשהטמפרטורה עולה,
המשטחים האלה נמסים,

כלומר, הם כבר לא יגנו על הקרקע
מהבליעה של קרינת השמש, אוקיי?

והחימום יגבר, וזה אפקט מגביר.

אפשר לראות את זה, אגב,

אם מסתכלים בכמה הקרקע
התחממה בעשורים האחרונים,

רואים שהיא התחממה
הרבה יותר בקטבים,

בייחוד בקוטב הצפוני,

שזה המקום שבו יש את הקרחונים
ואת המשוב הזה.

עכשיו, המשוב הכי מורכב בעצם
קשור בעננים, אוקיי?

עננים מצד אחד מקררים אותנו,

ואנחנו יודעים את זה,

כי כשעובר ענן מעלינו ביום שמשי
נעשה קר יותר.

גם כשאנחנו טסים מעל עננים
אנחנו רואים שהם מאוד מסנוורים,

כלומר, קרינת השמש מוחזרת מהם,

וענן בודד יכול להחזיר בין ארבעים
לתשעים אחוז מקרינת השמש,

שזו השפעה מאוד חזקה ומקררת,

אבל עננים לא קורים בכל מקום
ובכל זמן,

סך הכול עננים מחזירים 15 אחוז
מקרינת השמש לחלל.

מצד שני, עננים גם מחממים,
הם מעין אפקט חממה מאוד מאוד חזק.

הם בולעים את כל קרינת החום

שמגיעה אליהם ופולטים אותה מחדש,

ואנחנו מכירים את ההשפעה המחממת

מלילות במדבר,
הלילות הכי קרים אלה לילות בלי עננים,

שרואים יפה נורא את הכוכבים,

ולעומת זאת, לילות כאלה,
שיש להם כיסוי עננים דק,

הם הרבה יותר חמים.

מה תהיה השפעה חזקה יותר,

הקירור או החימום?

זה של כל ענן וענן, תלוי בסוג הענן.

תלוי בגודל הטיפות וכמה מים יש בו
ומה הגובה שלו,

ואם יש שם גבישי קרח או לא,

איפה הוא נמצא,

אבל בסך הכול,
העננים מקררים אותנו.

כלומר, אם נעלים את כיסוי העננות,

יהיה יותר חם בכדור הארץ,

אבל מה שחשוב
לתשובה לשאלה:

בכמה נתחמם אם נגביר
את כמות גזי החממה?

זה לא האם העננים
מקררים או מחממים,

אלא מה יהיה השינוי בעננים
איך הוא ישפיע על מאזן הקירור והחימום.

כלומר, כשהטמפרטורה עולה,
איך העננים ישתנו?

האם הם ישתנו בדרך שבה
החימום שלהם יגבר,

או הקירור שלהם יגבר?

והתשובה לשאלה הזאת
היא מורכבת,

והמון המון מדענים חוקרים אותה
בהרבה הרבה דרכים,

וההערכות כיום נעות בין שהעננים
טיפה מאזנים את ההתחממות,

כלומר, משוב שלילי חלש,

לבין שהם מגבירים אותה בדי הרבה,

כלומר, משוב חיובי חזק.

אז אנחנו רוצים עכשיו לסכם

את כל המשובים האלה

ולהבין איך זה מתקשר לאי-ודאות

בתחזית של ההתחממות.

אז הגרף שמסכם את זה
זה הגרף הבא,

שיש פה את המשובים השונים,

ומה שרואים פה
זה בכמה ישתנה החימום

בוואט למטר בריבוע, על כל עלייה
של מעלה של הטמפרטורה של הקרקע.

אז אמרנו
שמשוב פליטת החום הטבעית,

משוב פלאנק,

בעצם הוא שלילי,

כלומר,
כשהטמפרטורה עולה במעלה,

כדור הארץ יפלוט 3 וואט
למטר בריבוע יותר קרינה,

ואנחנו יודעים את הגודל הזה
בוודאות די גדולה,

רואים את זה בגלל שיש פה נקודה

עם קווי שגיאה,

וקווי השגיאה הם מאוד מאוד קטנים.

יש פה את משוב אדי המים
ומשוב הקרח,

שהם משובים חיוביים, אוקיי?

הם מגבירים את ההתחממות,

ובכמה? אנחנו יודעים להגיד די טוב,

רואים גם כן
שהטווח של השגיאה מאוד קטן,

אבל כשמגיעים לעננים,
פה רואים אי-ודאות מאוד גדולה.

ההשפעה של העננים, המשוב שלהם

נע בין ערך שלילי, כלומר,
השפעה ממתנת אבל חלשה,

לבין ערך חיובי די גבוה,

ורואים טווח שגיאה מאוד מאוד גדול,

זה אי-ודאות במשוב העננים.

סך כל המשובים, כשסוכמים אותם,

מקבלים משוב שלילי,
ובעצם מהמספר הזה אנחנו יכולים להגיד

כשאנחנו מכפילים את כמות ה-CO2
באטמוספרה,

בכמה הטמפרטורה צריכה לעלות

כדי לקבל איזון מחדש,

והמשובים האלה אומרים לנו
בכמה זה יקרה, אוקיי?

כשזה נע בין הרבה,
התחממות מאוד גדולה

כשהמשוב השלילי זה שלילי חלש,

לבין התחממות קטנה
כשהמשוב הוא שלילי חזק.

עכשיו, לפני שאני אקשר
בין זה לבין עלייה בטמפרטורה,

אני רק אגיד שאלה המשובים
העיקריים, אוקיי?

שקשורים לאטמוספרה
ולמחזור המים,

אבל יש עוד הרבה משובים במערכת,

חלק גדול מהם
קשור להרכב האטמוספרי.

למשל, לכמות המתאן
שנמצאת באטמוספרה,

שזה גז החממה השלישי בגודלו,

וכמו פחמן דו-חמצני ואדי מים,

יש לו מקורות טבעיים במערכת,

ובעצם כשמעלים את הטמפרטורה,
גם תהליכים ביולוגיים

וגם תהליכים בקרקע או גיאולוגיים,
יכולים לשנות את כמות המתאן.

עכשיו, הדבר המרכזי שאני רוצה
להגיד לגבי המשובים האלה,

אוקיי? אלה המשובים שאנחנו יודעים
שהם העיקריים במערכת,

אבל אנחנו חוששים מאוד
שאם הטמפרטורה תעלה בהרבה,

מעל שתי מעלות, או הרבה יותר,

יכולים להיכנס כל מיני משובים
למערכת, חיוביים,

שאנחנו לא יודעים עליהם.

אוקיי, אז אנחנו יודעים לקשר
בין עוצמת המשובים לתגובה,

בעצם כמה כדור הארץ יתחמם
כשנכפיל את כמות ה-CO2 באטמוספרה,

וההערכות הכי עדכניות שנעשו
על ידי צוות מדענים שהתכנס ממש השנה,

ועשה סינתזה של כל
המאמרים בתחום,

שמנסים לענות
על השאלה הזאת בשלל שיטות,

הגיעה לטווח הזה.

יש טווח שקשור בזה שיש לנו טווח
על עוצמת המשובים,

הוא נע בין 2.3 מעלות צלזיוס,

לבין 4.6 מעלות.

עכשיו, ההבנה שלנו
של איך משובים ותגובה פועלים,

גם אנחנו יודעים להגיד שיש ודאות
יותר גדולה בטווח הקטן,

המספר הנמוך הזה הרבה פחות רגיש

לעד כמה המשוב הוא שלילי חזק,

לעומת הטווח הגדול הזה,

שהרבה יותר רגיש לערך המדויק
של המשוב כאן.

עכשיו, אמרתי לכם בהתחלה שבכל תחזית
יש טווח ויש גם מידת ודאות,

אז המדענים נתנו גם הערכה

לעד כמה אנחנו בטוחים בטווח הזה,

מה הסיכויים שההתחממות הגלובלית,
אם נכפיל את ה-CO2,

באמת תיפול בין 2.3
ל-4.6 מעלות,

וההערכה שלהם זה שהוודאות היא בין
90-66 אחוז, אוקיי?

שזו בעצם תחזית מורכבת,
כמו שהמערכת מורכבת, אוקיי?

מערכת מורכבת,
אפשר לתת רק תחזית

שהיא קצת מסובכת,

אבל היא עוזרת בניהול סיכונים,

ולסיום, אני כן רוצה להגיד
שני דברים ודאיים.

אחד מהם זה שאם אנחנו
קצת נגדיל את הטווח

ונסתכל על האפשרות שההתחממות
תהיה פחות ממעלה וחצי,

הדו"ח הזה שסיפרתי לכם
קובע שהסיכוי שההתחממות תהיה

פחות ממעלה וחצי
הוא כמעט אפסי.

ממה שאנחנו מבינים את המערכת,

אם נכפיל את כמות ה-CO2,
נתחמם ביותר ממעלה וחצי

חוץ מזה, אנחנו יודעים
שאם נמשיך לפלוט

כמות גזי חממה בקצב הנוכחי

ולא נעשה שום דבר,

נגיע להכפלה של כמות ה-CO2

בשנת 2050, אוקיי?

אז כל זה כמכלול
אומר שאם אנחנו לא נעשה

שום שינוי בפליטת גזי החממה,

עד 2050 נגיע למצב
שנתחמם לפחות מעלה וחצי.

אוקיי? ואני אשאיר אתכם
עם זה ועם השאלה:

האם שווה לקחת את הסיכון?