שלום לכם.

שמי חזי גילדור, אני חוקר פה
במכון למדעי כדור הארץ.

תחומי המחקר שלי
הם בעיקר אוקיינוגרפיה,

בעיקר אוקיינוגרפיה פיזיקלית,
התפקיד של הגלים, הזרמים,

האוקיינוסים במערכת האקלים.

אני גם חוקר, מה שנקרא,
פליאואקלים,

את האקלים שהיה בעבר.

היום אנחנו הולכים לדבר
על תיאוריה שנקראת תיאוריית גאיה

ועל משובים אקלימיים.

אז השם גאיה זה בעצם
השם של אלת האדמה ביוונית,

זה המקור לשם,

ובואו נראה קצת איך התחילה
התיאוריה הזאת, ממה היא התחילה.

אז היא התחילה
מאיזשהו ניסוי מחשבתי.

בשנות השישים של המאה הקודמת
נאס"א תכננה משימה,

לחפש חיים על מאדים.

הם הזמינו צוות של מדענים
שניסו לחשוב איך לעשות את זה,

רוב המדענים שהיו בצוות הזה

ניסו לחשוב על איזושהי משימה
שתגיע למאדים ולכל מיני גלאים

שיחפשו מולקולות, אבני בניין שחשובות
או רלוונטיות לחיים על פני כדור הארץ,

אבל אחד המדענים בצוות הזה,
ביולוג בריטי בשם ג'יימס לבלוק,

אמר: בואו נעשה רגע
איזשהו ניסוי מחשבתי,

נניח שאנחנו נמצאים על פלנטה אחרת

ואנחנו רוצים לדעת האם יש חיים
על פני כדור הארץ,

איך נוכל לדעת שיש חיים
על פני כדור הארץ?

אחד הדברים שהוא הסתכל עליהם,

ואתם יכולים לראות את זה בטבלה הבאה,

אנחנו יכולים לראות כאן את הרכב האטמוספרה

בפלנטות אחרות,

ועל פני כדור הארץ,

וכשאנחנו מסתכלים על ההרכב של הפלנטה,

של האטמוספרה,

אנחנו רואים למשל שכמות החמצן בכדור הארץ

רחוקה מלהיות מה שהיינו מצפים

לו כדור הארץ היה בשיווי משקל תרמודינמי,

ללא חיים על פני כדור הארץ.

בעצם הביולוגיה, החיים על פני כדור הארץ,

זה מה שגורם לריכוז החמצן

להיות כל כך גבוה.

אז בעצם, לפי הניסוי המחשבתי
שלבלוק עשה,

אנחנו לא צריכים בכלל להגיע לכדור הארץ
בשביל לדעת אם יש עליו חיים,

אנחנו יכולים להשתמש בספקטרוסקופיה,

לראות מה הרכב האטמוספרה ולפי זה לדעת.

אז בעקבות הניסוי המחשבתי הזה,

הוא פיתח את התיאוריה הזאת
שהוא קרא לה גאיה,

ולפי התיאוריה הזאת,
כל המרכיבים של כדור הארץ,

גם הפיזיקליים, הכימיים,
וגם הביולוגיה,

בעצם מהווים איזושהי מערכת אחת

שכולה מרכיבה את מה שקורה
על כדור הארץ,

ובעצם, כל התת-מערכות
על פני כדור הארץ,

האטמוספרה, האוקיינוסים,
ההידרוספרה, באופן כללי,

הביוספרה, הגיאולוגיה,
ההרים, הכול ביחד,

קשורים אחד לשני
באיזושהי שרשרת של משובים,

של פידבקים.

לפי התיאוריה של גאיה,

סך הכול של הקשרים האלה
זה קשרים שליליים

שנוטים לייצב את המערכת,
תכף נבין קצת יותר למה הכוונה.

אז אם אנחנו לוקחים
טיפת מים, למשל,

היא תתאדה מהאוקיינוסים,
תגיע לאטמוספרה,

תרד בצורת גשם על היבשות
ותיקלט על ידי הצמחייה.

יש לנו קשרים כל הזמן
בין התת-מערכות האלה,

והקשרים האלה באים
לידי ביטוי במשובים,

כשיש לנו שני סוגי משובים,
משובים חיוביים ומשובים שליליים.

אז בואו ננסה להבין קצת יותר
למה הכוונה.

אנחנו יכולים לדמיין שהמערכת נמצאת

באיזשהו מצב מסוים,

איזשהו סוג של שיווי משקל,

ואנחנו נותנים איזושהי הפרעה

לשיווי המשקל הראשוני הזה.

אם יש לנו משוב שלילי,

הוא נוטה להחזיר את המערכת

לנקודת שיווי המשקל שממנה התחלנו.

ואם יש לנו משוב חיובי,

הוא נוטה להרחיק אותנו עוד יותר,

להגדיל את ההפרעה הראשונה,

לעשות לה אמפליפיקציה.

אז אם אנחנו מסתכלים, למשל,

על כדור שנמצא בראש ההר,

יש לנו פה איזשהו סוג של שיווי משקל.

אם אנחנו ניתן דחיפה קטנה,

הכדור ימשיך להתגלגל,

ההפרעה הראשונית שלנו תלך ותתגבר,

יש לנו משוב חיובי, פידבק חיובי.

אם לעומת זאת, אנחנו נמצאים בעמק

ואנחנו ניתן איזושהי דחיפה,

כוח הגרביטציה ייטה להחזיר את הכדור

לאותה נקודה התחלתית,

הוא בעצם מהווה לנו איזשהו פידבק שלילי.

ולפי התיאוריה,

כל המערכות של כדור הארץ

נמצאות באיזושהי שרשרת
של פידבקים כאלה, של משובים,

כשהמצב, סך הכול,
התוצאה של כל הקשרים האלה

זה לשים את כדור הארץ

באיזשהו שיווי משקל יציב,

כלומר, יש לנו איזושהי שרשרת
של משובים כאלה.

בואו נראה עוד דוגמאות
למשובים אלה.

נניח שקר לנו מאוד, מה קורה?

אנחנו רועדים. -אנחנו רועדים
בשביל לייצר חום, נכון,

להחזיר את הטמפרטורה שלנו
לאותו מצב.

הגוף שלנו מאוד דומה לכדור הארץ,
כפי שדימה אותו לבלוק,

יש לנו כל מיני משובים
שמנסים להחזיר אותנו לאותו מצב,

אנחנו קוראים לזה הומיאוסטזיס,

וככה אנחנו שולטים
על הטמפרטורה שלנו,

אם קר לנו, אנחנו רועדים,
אם חם לנו, אנחנו מזיעים.

כך אנחנו שומרים על ה-pH של הדם,

על כל מיני מרכיבים אחרים,

אותו דבר הוא ראה את כדור הארץ,

איזשהו יצור או איזשהו אורגן אחד
שמכיל גם את הביולוגיה וגם את הפיזיקה.

אז עכשיו בואו נסתכל על כמה
משובים אקלימיים עיקריים.

המשוב הראשון שיש לנו,

וזו דוגמה למשוב חיובי שדיברנו עליו,

נקרא Ice albedo פידבק.

אנחנו יודעים שכל עצם,

בהתאם לצבע שלו ולתכונות שלו,

מחזיר כמות שונה מקרינת השמש שפוגעת בו.

תנסו ללכת בקיץ בחוץ,
תדרכו על הדשא או תדרכו על הכביש,

תראו שהכביש הרבה יותר חם,
הוא שחור,

הוא קולט חלק יותר גדול
מקרינת השמש שפוגעת בו,

לכמות הקרינה המוחזרת
אנחנו קוראים albedo,

זה נותן לנו מושג איזה חלק
מכמות הקרינה חוזר חזרה,

וקרח, למשל, שהוא לבן ובוהק,

מחזיר חלק יותר גדול
מקרינת השמש לחלל,

לעומת האוקיינוסים, למשל,
או היבשה,

שקולטים חלק יותר גדול.

אז נניח שהתחלנו מאיזשהו מצב
של כמות קרח מסוימת,

גם באוקיינוסים, בארקטי,
גם על היבשה,

חיממנו את מערכת האקלים,
ועכשיו חלק מהקרח הזה נמס,

אז הקטנו את כמות הקרח
שיש לנו במערכת,

עכשיו אנחנו נחזיר חלק יותר קטן
מהקרינה שפוגעת בנו לחלל,

נקלוט יותר חום,
נמיס עוד יותר קרח,

בעצם יש לנו משוב חיובי,

אנחנו נלך ונגדיל את
ההפרעה הראשונית שהייתה לנו.

עוד דוגמה למשוב חשוב
במערכת האקלים

זה משוב אדי המים,

אז שוב, נדמיין לעצמנו שאנחנו מחממים
את המערכת מאיזשהו מצב מסוים,

ככל שנחמם את המערכת,
אנחנו נגביר את האידוי מהאוקיינוס,

יהיו לנו יותר אדי מים באטמוספרה,

אדי מים זה גז חממה דומיננטי,
אז אנחנו נחמם עוד יותר את המערכת,

אז שוב, יש לנו משוב חיובי,

המשוב הזה הוא קצת יותר מורכב
מהמשוב הקודם,

כי בשלב מסוים אנחנו נתחיל לייצר עננים,

וכשיש לנו עננים במערכת,

אז עכשיו יש לנו גם משובים חיוביים
וגם משובים שליליים.

אז זה תלוי בגובה של העננים,

גם לעננים נמוכים, גם לעננים גבוהים,

מצד אחד, יש להם
את האפקט של ה-albedo,

הם מחזירים חלק
מהקרינה קצרת הגל לחלל.

מצד שני, העננים האלה כמובן
גם פולטים קרינה ארוכת גל לחלל,

והקרינה ארוכת הגל תלויה
בטמפרטורה שלהם,

וככל שענן הוא יותר גבוה,
הטמפרטורה שלו יותר נמוכה.

אז אם נסתכל על עננים נמוכים,

מצד אחד, הטמפרטורה שלהם
די דומה לטמפרטורה של פני כדור הארץ,

אז גם הקרינה ארוכת הגל
שהם פולטים לחלל

די דומה לקרינה ארוכת הגל
שכדור הארץ פולט.

מצד שני, הם מחזירים חלק
מקרינת השמש לחלל בגלל ה-albedo שלהם,

ולכן האפקט שלהם הוא אפקט מקרר.

אם נסתכל על עננים גבוהים,

הם מחזירים חלק מקרינת השמש לחלל,

אבל זה חלק יותר קטן
לעומת פני כדור הארץ,

כי הטמפרטורה שלהם
הרבה יותר נמוכה,

ומצד שני, הם גם מחזירים חזרה
חלק מהקרינה קצרת הגל שפוגעת בהם,

שזה פידבק שלילי,
הוא נוטה לקרר את כדור הארץ,

ולכן במקרה של עננים, יש לנו גם
משובים חיוביים וגם משובים שליליים.

אם נחזור לתיאוריה של לבלוק,
לבלוק ניסה להמחיש אותה

בעזרת מודל מאוד פשוט
שהוא קרא לו "עולם המרגניות".

בעולם המרגניות
יש לנו שני סוגי מרגניות,

יש לנו מרגניות לבנות,
יש לנו מרגניות שחורות.

כמו שדיברנו קודם
על האפקט של ההחזרה מהקרח,

אז גם במקרה של המרגניות,

מרגניות שחורות קולטות חלק גדול
מקרינת השמש שפוגעת בהן,

ומרגניות לבנות מחזירות
חלק גדול ממה שפוגע בהן.

ולכן הטמפרטורה
באזור של המרגניות השחורות

תהיה יותר חמה מהטמפרטורה
של המרגניות הלבנות.

למרגניות יש טמפרטורה אופטימלית
שבה הן גדלות בקצב הכי מהיר,

אם הטמפרטורה יותר גבוהה או יותר קטנה
מהטמפרטורה האופטימלית הזאת,

קצב הגידול שלהן ילך ויקטן.

יש לנו עולם, הוא מכוסה
גם במרגניות לבנות,

גם בשחורות, ויש לנו גם
אדמה חשופה,

כמות הקרינה שהיא מחזירה לחלל
יהיה איפשהו באמצע,

בין המרגניות הלבנות
והמרגניות השחורות,

והמרגניות הלבנות והשחורות יכולות
להתפשט לתוך השטח הזה

של האדמה החשופה.

אז לבלוק הראה ניסוי,

כשאנחנו משנים את העוצמה
של קרינת השמש,

ומצד אחד מסתכלים
על עולם המרגניות הזה

כשהוא ללא חיים,
כשאין עליו מרגניות בכלל,

ובמקרה שגם המרגניות קיימות עליו.

אז בגרף הזה אתם יכולים לראות בציר ה-X

את העוצמה של קרינת השמש,

אחת זה עוצמת של קרינת השמש,

דומה למה שיש לנו היום,

אם אנחנו הולכים, אבל, מיליארדי שנה אחורה,

העוצמה של קרינת השמש הייתה יותר חלשה,

היא גם יכולה לגדול,

זה תלוי במחזור חיים של כוכב.

ובציר ה-Y אנחנו יכולים לראות

את הטמפרטורה הממוצעת

על פני עולם המרגניות.

בגרף הכחול אנחנו יכולים לראות מה קורה

אם אנחנו נמצאים בעולם מת,

ללא מרגניות בכלל,

וכמו שאנחנו יכולים לצפות,

ככל שאנחנו נגדיל את העוצמה של קרינת השמש,

אנחנו רואים בגרף הכחול

שהטמפרטורה הממוצעת על פני הפלנטה שלנו

תלך ותגדל.

לעומת זאת, בעולם שיש בו חיים,
חיים מאוד פשוטים,

בסך הכול שני סוגי מרגניות,
שחורות ולבנות,

אנחנו רואים שעבור תחום די רחב

של העוצמה של קרינת השמש

הטמפרטורה נשארת פחות או יותר יציבה.

אנחנו יכולים לראות, אבל, שוב, גם שהיכולת
של המרגניות לווסת את הטמפרטורה

היא מוגבלת בתחום שלה,

אם אנחנו נגדיל עוד יותר

את העוצמה של קרינת השמש,

מרגניות לא יוכלו לחיות בכלל,

אנחנו נחזור ונתלכד עם הגרף הכחול

ואם העוצמה של קרינת השמש מאוד נמוכה

ושוב, מרגניות לא יכולות להתפתח בכלל,

אנחנו שוב מתלכדים עם הגרף הכחול,

אבל בתחום די רחב של העוצמה
של קרינת השמש,

הנוכחות של חיים,
של ביולוגיה, על פני כדור הארץ,

מייצבת את מערכת האקלים.

תודה על ההקשבה
ולהתראות.