שלום לכולכם.

אני חגית אפק,

גיאוכימאית במכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית.

המחקר שלי עוסק בחקר של האקלים בעבר.

לאורך ההיסטוריה הגיאולוגית של כדור הארץ,

האקלים לא היה קבוע.

בואו נסתכל לדוגמה על קרחונים.

היום הקרחונים מרוכזים פה,

באזור הקטבים בעיקר,

אבל לפני נניח, עשרים אלף שנה בערך,

בשיא תקופת הקרח האחרונה,

היה שטח הרבה יותר גדול של קרחונים,

הקרחונים הגיעו עד איפה שהיום

נמצאת העיר ניו יורק, למשל.

והטמפרטורה הייתה נמוכה בהתאם.

אם נכיר את השינויים שהתרחשו בעבר,

זה יעזור לנו להבין איך עובדת המערכת האקלימית

ובכך להבין את שינויי האקלים שמתרחשים בהווה.

מדידות טמפרטורה התחילו לפני בערך מאתיים שנה,

אז כמובן שבתקופות קדומות יותר, נגיד לפני עשרים אלף שנה,

אף אחד לא עמד שם עם מדחום ותיעד מה הייתה הטמפרטורה,

אז איך אנחנו יודעים?

איך אנחנו יודעים מה הייתה הטמפרטורה בעבר?

יש לנו ארכיונים גיאולוגיים לטמפרטורה.

יש מאובנים ומשקעים גיאולוגיים אחרים שהם משמרים בתוכם מידע

על התנאים הסביבתיים שבהם הם נוצרו.

למשל, אלה, שלדי פורמיניפרה,

אלה יצורים קטנטנים שחיים בים,

שאנחנו יכולים למדוד

את ההרכב הכימי והאיזוטופי של השלדים שלהם.

אנחנו מוציאים אותם מקרקעית הים

באמצעות אוניות של קידוחים,

כמו שאנחנו רואים בתמונה בקצה,

והם נותנים לנו מידע

על התנאים שבהם הם נוצרו.

באותה מידה, מדידות במאובני צדפות,

או אם אנחנו רוצים, ביבשה,

אנחנו יכולים להשתמש במשקעים אגמיים

או במשקעי מערות,

כמו נטיפים וזקיפים.

חוקרי האקלים הקדום, הפליאואקלים,

מודדים את ההרכב הכימי והאיזוטופי של החומרים האלה,

ומתוך הנתונים הם מחשבים

מה הייתה הטמפרטורה בעבר.

אז אם אנחנו מסתכלים על האקלים בעבר,

אפשר לראות את הקשר בין פחמן דו-חמצני לטמפרטורה,

גם בעבר, כמו בהווה ובעתיד.

הגרף הזה מציג לנו את ריכוזי הפחמן הדו-חמצני

באלפיים השנה האחרונות.

אז היום הריכוזים הם פה,

יותר מ-410 ppm.

זה יותר גבוה מהריכוז שהיה

בכל אלפיים השנה האחרונות.

גם אם נסתכל על מיליון השנה האחרונות,

אנחנו רואים תמונה דומה,

ריכוזי ה-CO2, הפחמן הדו-חמצני היום

הם יותר מ-410 ppm.

לעומת זאת, במיליון השנה האחרונות

הם נעו בין תקופות חמות

עם 280 ppm

לתקופות קרות, תקופות קרח,

עם 180 ppm.

אז היום אנחנו הרבה יותר גבוה

מכל דבר שראינו במיליון השנה האחרונות.

רק אם נלך אחורה בזמן, לתקופות קדומות הרבה יותר,

למשל, לפני כחמישים מיליון שנה, תקופה שנקראת האאוקן,

ואנחנו רואים אותה מסומנת פה בצהוב,

נמצא זמן שבו ריכוז הפחמן הדו-חמצני

היה יותר גבוה מאשר היום.

ואז נוכל לשאול את עצמנו,

איך נראה העולם כאשר יש בו ריכוזי גזי חממה כאלה גבוהים?

הגרף הזה מציג את ריכוז הפחמן הדו-חמצני

בסקאלת זמן של מיליוני שנים.

זה גרף סכמתי שמבוסס

על הרבה הרבה מדידות גיאוכימיות

בארכיונים גיאולוגיים.

אז ניתן לראות שריכוז הפחמן הדו-חמצני פה

הוא בערך 1,000 ppm.

יותר מכפול מהריכוז היום,

ומאז הוא יורד בהדרגה.

הטווח הכתום שאנחנו רואים פה

מציג בעצם כמה טוב אנחנו יודעים

את הריכוז.

ואנחנו יכולים לראות שככל שאנחנו הולכים אחורה בזמן,

אי הוודאות שלנו בהערכת ריכוזי הפחמן הדו-חמצני עולה.

כמובן, כיוון שככל שהתקופה שאנחנו מסתכלים עליה עתיקה יותר,

אז קשה יותר לדעת את הריכוז, כי יש לנו פחות מידע,

יש לנו פחות דוגמאות לעבוד איתן.

אבל ברור שהריכוז פה באאוקן

היה משמעותית יותר גבוה מאשר כיום.

אז איזה אקלים היה לנו בתקופת האאוקן?

איך נראה העולם שלנו עם ריכוזי פחמן דו-חמצני כאלה גבוהים?

היה חם.

למשל, קרוב לקוטב, או לגרינלנד, באי אלסמיר בצפון קנדה,

היום האי הזה מכוסה קרח וחיים בו דובי קוטב.

לעומת זאת באאוקן המקום הזה היה מכוסה יער.

אנחנו יודעים את זה מתוך מאובנים של גזעי עצים

ושל בעלי חיים, כמו תנינים וצבים,

שלא מסוגלים לחיות בטמפרטורה של מתחת לאפס מעלות,

אפילו אם זה בחורף,

ככה שברור לנו שאלה עדויות לטמפרטורה גבוהה באזור הזה

ואלה עדויות ישירות שקשה להתווכח איתן.

גם באנטארקטיקה היה חם,

נמצאו באנטארקטיקה גרגרים מאובנים של אבקנים,

למשל, של עץ ממשפחת הדקלים.

אנחנו רואים את העצים האלה פה ובתמונה הקטנה את האבקנים.

האבקנים האלה גדולים,

ככה שהרוח לא יכולה לשאת אותם למרחק רב,

מה שמחייב שהעצים האלה היו מקומיים

וגדלו באנטארקטיקה.

כלומר, זה מעיד שהיו טמפרטורות מספיק גבוהות

כדי שהעצים יוכלו לגדול שם.

המסקנה היא שבתקופת האאוקן לא היו קרחונים,

לא בגרינלנד ולא באנטארקטיקה,

והעדויות מצביעות שהיו באזורים האלה בעלי חיים וצמחים

שמותאמים לאקלים הרבה יותר חם ממה שיש היום,

שדומה נניח לאקלים ששורר היום באזורים הטרופיים.

עכשיו, חלקנו, זה יישמע לנו כמו מזג אוויר חמים ונעים,

אבל אם בקטבים כל כך חם, תתארו לעצמכם מה קורה בשאר העולם.

אז בואו נסתכל על האזורים הטרופיים.

אין לנו עדויות ישירות באזורים הטרופיים ממאובנים ביבשה,

מה שגרם לחלק מהמדענים לשאול:

האם היה חם מדי בשביל לחיות ביבשה?

אנחנו לא יודעים את התשובה הזאת,

אבל אנחנו יכולים להסתכל מה קורה בים.

אז אנחנו יכולים להשתמש במאובנים ימיים,

ועל ידי שיטות גיאוכימיות להסיק מה הייתה הטמפרטורה

של מי הים בפני השטח באאוקן.

אז במפה אנחנו מסתכלים על הטמפרטורות של היום.

אתם רואים שהטמפרטורות באזורים הטרופיים,

הן חמות בערך בשלושים מעלות

מאשר הטמפרטורות בקטבים,

ואנחנו רואים את זה גם בגרף הזה.

אז איך תיראה מפה כזאת באאוקן?

נסתכל על נתונים ממחקר שאני הייתי מעורבת בו,

באאוקן אין לנו מספיק מידע כדי לצייר כזאת מפה מפורטת,

אבל אנחנו כן יכולים להשוות בין מה שקורה בקטבים

לבין מה שקורה באזורים הטרופיים.

ובגרף הזה אנחנו מסתכלים על טמפרטורה

כנגד קו רוחב,

ואנחנו משווים את מה שקורה היום,

הטמפרטורות כיום, בכחול,

לטמפרטורות באאוקן, באדום.

אז כמו שראינו בגרף הקודם,

הטמפרטורות היום באזור הקטבים הן קרובות לאפס מעלות.

הטמפרטורות באזורים הטרופיים קרובות לשלושים מעלות.

לעומת זאת, באאוקן

הטמפרטורות בקטבים היו

עשרים מעלות יותר גבוה,

ולעומת זאת, באזורים הטרופיים

הן היו רק קצת יותר חמות.

למה זה חשוב?

זה מצביע על רגישות מוגברת של אזורי הקטבים,

שמתחממים הרבה מעל הממוצע העולמי,

כתוצאה מריכוז של פחמן דו-חמצני גבוה,

מה שמאיץ המסה של קרחונים.

עכשיו, מה שהאאוקן בעצם מראה לנו

זה שהעולם שלנו יכול להתקיים במצב אקלימי שונה לחלוטין משלנו,

עם ריכוזי פחמן דו-חמצני גבוהים.

כמובן שאנחנו, כחברה, מותאמים לתנאים האקלימיים שלנו

ולא לתנאים שהיו לפני חמישים מיליון שנה.

אבל בואו נראה מה קורה

כאשר החימום הוא לא רק גבוה,

אלא גם פתאומי.

יש לנו תקופה בתחילת האאוקן

שאנחנו קוראים לה מעבר פלאוקן - אאוקן,

שבה קורה בדיוק הדבר הזה:

משתחררת לאטמוספרה כמות גדולה של פחמן דו-חמצני,

בזמן די קצר,

ובכמות שהיא אקוויוולנטית לשריפה של כל הדלקים הפוסיליים הידועים היום.

בגרף הזה אנחנו מסתכלים על זמן

כנגד איזשהו מדד גיאוכימי לטמפרטורה,

ואנחנו רואים את הטמפרטורה באאוקן,

שהיא גבוהה,

ועוד אנחנו רואים פה מין קפיצה.

הקפיצה הזאת היא עלייה של חמש מעלות

על טווח זמן של כמאתיים אלף שנה.

בסקאלת זמן גיאולוגית, מאתיים אלף שנה זה אירוע פתאומי,

ועדיין, היום אנחנו פולטים גזי חממה בקצב הרבה יותר מהיר.

איך מגיבה הביולוגיה לכזה שינוי פתאומי וגדול?

אז ככל שהקצב יותר מהיר, לביולוגיה יותר קשה להסתגל.

קצב החימום המהיר באירוע הזה גורם לשינויים בתפוצת המינים,

לנדידה לקווי רוחב יותר גבוהים, שפחות חם שם,

וגם להכחדה של מינים בים.

אז העלייה המהירה של פחמן דו-חמצני בתחילת האאוקן

וההכחדה שקרתה כתוצאה מכך,

מאפשרת לנו בעצם הצצה למה יכול לקרות לחיים בכדור הארץ

כאשר האקלים משתנה בקצב מהיר מאוד.

אם נסכם מה למדנו,

ראינו ששינויים אקלימיים התרחשו גם בעבר,

והם יכולים ללמד אותנו על תגובת המערכת האקלימית

לשינויים שהם מעשה ידי אדם, שקורים היום.

תקופת האאוקן היא דוגמה למערכת אקלימית

עם ריכוז גבוה של פחמן דו-חמצני,

שמתבטאת בהתחממות גלובלית עם דגש על טמפרטורות גבוהות במיוחד

באזור הקטבים.

אירוע מהיר של תוספת פחמן דו-חמצני

בעצם בסדר גודל של שרפה של כל הדלקים הפוסיליים הידועים כיום,

גרם לחימום בקצב מהיר שאליו קשה לצמחים ולבעלי חיים להסתגל.

כיום העלייה בריכוזי גזי החממה היא מהירה מאוד

יחסית לכל האירועים הגיאולוגיים שדיברנו עליהם.

האם נצליח להימנע מלהגיע לתנאי האאוקן?

תודה לכולכם.