

חקירת זרעי עננים במעבדות המחקר של סרן (CERN)

Hamish Gordon*

בית הספר לכדור הארץ ולסביבה, אוניברסיטת לידס, לידס, בריטניה, הארגון האיירופי למחקר גרעיני (CERN), ג'נבה, שווייץ

סוקרים צעירים

BURY CHURCH
OF ENGLAND
HIGH SCHOOL
גיל: 12-13



בשמיים, חלקיקים זעירים נדרשים לְשֵׁם היווצרות של עננים. חלקיקים אלה יכולים להגיע מהקרקע (לדוגמה, מהרי געש או מזיהום המשתחרר מהתעשייה), או שהם יכולים להיווצר באוויר כאשר מולקולות דביקות מתאגדות יחד. כמות גדולה יותר של חלקיקים באטמוספירה גורמת לעננים להיות לבנים יותר. עננים לבנים יותר מחזירים יותר קרני שמש לחלל, מה שנוטה לקרר את אקלים כדור הארץ, כי פחות אור מגיע אל הקרקע. אם כן, חלקיקים בשמיים משפיעים על עננים, ואלה משפיעים על התחממות כדור הארץ. לכן, חשוב להבין כיצד החלקיקים האלה נוצרים. כדי לחקור זאת מדדנו כמה מהר חלקיקים נוצרו כשהוספנו מידות מבוקרות של גזים "דביקים" למִכָּל ניסוי במעבדת המחקר בסרן. באמצעות הדמיות (סימולציות) ממוחשבות, השתמשנו בתוצאות הניסוי כדי להעריך אלו גזים הם החשובים ביותר להיווצרות חלקיקים בחלקים שונים של האטמוספירה. מחקר זה יסייע לחוקרים להבין כיצד חלקיקים אלה משפיעים על אקלים כדור הארץ.

חלקיקים באוויר

האוויר מורכב מהחלקיקים הקטנים ביותר המְכָרִים לנו, שהם יציבים בפני עצמם: אטומים ומולקולות. מצד שני, האוויר סביבנו נושא בתוכו גם הרבה חלקיקים קטנים אחרים: גושים של חומר שהם קטנים מכדי שנוכל לראותם בעין. כמו מוצקים ונוזלים אחרים, החלקיקים הקטנטנים באוויר מורכבים מהרבה מולקולות שקשורות יחד על-ידי משיכה חשמלית.

החלקיקים האלה קלים כל כך שהם נעים עם האוויר. אט-אט הם נופלים על האדמה בגלל כוח המשיכה, אולם תנועת האוויר דוחפת אותם חזק יותר מהעוצמה שבה כוח המשיכה מושך אותם למטה. החלקיקים מועפים סביב על-ידי הרוח, ויכולים לנוע למרחקים גדולים, אפילו בין יבשות, לפני שהם נופלים מטה אל כדור הארץ. כאשר ישנם חלקיקים רבים באוויר השמיים נהיים אביכים והראות נפגעת.

קרוב לאדמה, החלקיקים הגדולים ביותר שבאוויר הם בדרך כלל חלקיקי אבק או אבקני צמחים. החלקיקים הקטנים ביותר הם **צִבִּירִים** של כמה מולקולות בודדות בלבד, והם קטנים הרבה יותר מאשר אבק או אבקנים. עשן מורכב גם הוא מחלקיקים. חלקיקי עשן הם גדולים יותר מצבירי מולקולות אולם קטנים יותר מאבק. כשחלקיקים כאלה מגיעים מפעילות אנושית אנו מכנים אותם "זיהום אוויר". עם זאת, זיהום אוויר יכול להיגרם גם ממולקולות בודדות של גזים רעילים.

חלקיקים בשמיים חשובים משתי סיבות עיקריות. ראשית, נשימה של הרבה חלקיקים כאלה אינה בריאה. לדוגמה, עשן שנפלט מאגוז של רכבים או מסיגריות יכול להיות מסרטן. הסיבה השנייה לכך שהחלקיקים חשובים היא שהם דרושים להיווצרות של עננים.

יצירת עננים

עננים, בין אם הם שכבות גדולות ואפורות, גושים לבנים וצמריריים או שובלי מטוסים בשמיים, חולקים כולם כמה דברים במשותף. הדבר החשוב ביותר הוא שהם מורכבים מטיפות מים קטנטנות שנקראות "טיפות ענן" (Cloud droplets). טיפות ענן נוצרות כאשר אוויר חם מפני השטח של כדור הארץ עולה מעלה ומתקרר אט-אט. כמו החלקיקים שהזכרנו קודם, גם טיפות הענן הן קטנות כל כך עד שאינן נופלות לאדמה (אלא אם כן יורד גשם). האוויר שנמצא סביב לטיפות המים ועולה למעלה דוחף אותן, וכוח המשיכה מושך אותן למטה באופן כזה שבסופו של דבר הן פשוט צפות בשמיים.

באטמוספירה המים נמצאים במצב של גז, אלא אם כן ישנו משטח כלשהו שאליו טיפות המים יכולות להידבק או שמזג האוויר מאוד מאוד קר (-83 מעלות צלזיוס). כשישנו משטח שהמים באים עמו במגע הם יכולים לעבור עיבוי, כלומר להפוך לנוזל, או לקפוא על המשטח כפי שקורה כשנוצר קרח על פני הקרקע. אולם, בשמיים אין הרבה מְשֻׁטָּחִים זמינים. לכן, כדי ליצור "טיפת ענן" צריך חלקיקים זעירים בעלי שטח פנים קטן שאליהם טיפות המים יכולות להידבק. החלקיקים האלה מתפקדים בתור הזרעים של טיפת הענן, ומכונים גם גרעיני התעבות. כדי שהטיפה תוכל להיווצר החלקיקים צריכים להיות בקוטר של כ-50 ננו-מטרים: בערך אלפית מעובי של שערה. איור 1 מראה מהיכן באים חלקיקים אלה שנמצאים באטמוספירה.

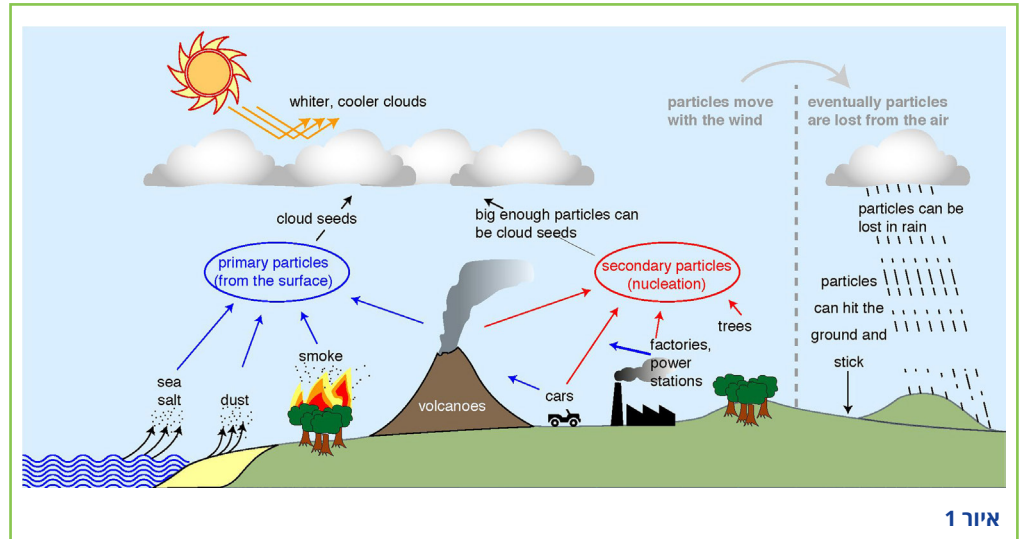
במבט מהחלל העננים נראים כמשטח לבן בוהק אשר מחזיר חלק מאור השמש חזרה אל החלל. לעובדה זו תפקיד חשוב בוויסות כמות אור השמש אשר מגיע לפני הקרקע. אם ישנם חלקיקים מעטים בשמיים, יוצרו פחות טיפות בכל ענן ויותר אור יגיע לקרקע. זה יכול להשפיע בצורה משמעותית על הטמפרטורה בכדור הארץ מאחר שהעננים מכסים, בממוצע, יותר ממחצית מפני השטח שלו.

צִבִּיר (Cluster)

כמות קטנה של מולקולות שנדבקו יחד. צבירים יכולים לגדול ולהפוך לחלקיקים אטמוספיריים אם מולקולות נוספות מתנגשות בצביר ונדבקות אליו.

איור 1

מהיכן מגיעים החלקיקים שבאטמוספירה (צד שמאל ומרכז האיור) וכיצד הם אובדים (כלומר, חוזרים לאדמה; מימין). אבק, רסיסי מלח ים וחלקיקי עשן מגיעים ישירות מהקרקע (חיצים כחוד לים באיור), בעוד שמולקולות גז יכולות להידבק יחד וליצור חלקיקים (חיצים אדומים באיור). אם ישנם יותר חלקיקים בשמיים העננים שנוצרים מחוזרים קרני שמש רבות יותר חזרה לחלל. האיור עובד מתוך הדיאגרמה המקורית של ג'ספר קירקבי (Jasper Kirkby).



איור 1

כשאנחנו מזהמים את האטמוספירה, למשל עם חלקיקי עשן (ממפעלים וכדומה), אנחנו משנים את מספר החלקיקים בשמיים. כתוצאה מכך העננים יכולו טיפות קטנות יותר ובכמות גדולה יותר. זה משנה את הבהירות של העננים: הם מחוזרים יותר קרני שמש חזרה לחלל ופחות אור שמש מגיע לפני הקרקע. עובדה זו הפחיתה ברבע עד חצי את התחממות כדור הארץ, שנגרמה כתוצאה מפליטה של **גזי חממה**, כמו פחמן דו-חמצני, אותה חוינו במאה השנים האחרונות. השפעות החלקיקים על טמפרטורת כדור הארץ אינן ודאיות. אנו צריכים להבין את החלקיקים האלה טוב יותר כדי להבין לאיזו התחממות (או התקררות) הם גורמים [1].

גז חממה

(Greenhouse gas)

גז באטמוספירה אשר סופג אנרגיה מהשמש, כמו למשל פחמן דו-חמצני. מולקולות אשר מורכבות מיותר משני אטומים הן בעלות סבירות גבוהה יותר להפוך לגזי חממה.

התגרענות (נוקלאציה)

בהקשר של מאמר זה המשמעות היא היווצרות של חלקיקים בשמיים באמצעות מולקולות גז שנדבקות יחד. התהליך הזה נקרא גם "היווצרות חלקיקים משנית" (Secondary particle formation) או "היווצרות של חלקיק חדש" (New particle formation).

זרע ענן, גרעין התעבות

(Cloud seed)

חלקיק שנמצא באטמוספירה ומים יכולים להתעבות עליו וליצור טיפת ענן. לחב זרעי עננים הם בקוטר של 50 ננומטרים לפחות.

חלקיק ראשוני

(Primary particle)

חלקיק באטמוספירה אשר מגיע ישירות מהאדמה, במקום מהיווצרות על-ידי התגרענות. דוגמאות לחלקיקים ראשוניים שנצפים לעיתים קרובות באטמוספירה הן עשן (פיח), אבק ומלח ים.

יצירת חלקיקים

אוויר מורכב ברובו ממולקולות חנקן וחמצן, אולם ישנן מולקולות נוספות רבות שמרחפות באוויר. חלק מהמולקולות שמרכיבות את האוויר הן דביקות יותר מאחרות (להסבר מפורט, ראו את תיבה 1). מים הם דביקים יחסית, אולם מולקולות מסוימות אחרות הן דביקות כל כך עד שהן יכולות ליצור חלקיקים על-ידי הידבקות ישירה אחת לשנייה, בלי להזדקק למשטח שלו זקוקות מולקולות המים כדי להידבק זו לזו. לתהליך זה אנו קוראים **התגרענות**.

כפי שראינו באיור 1, כמחצית החלקיקים שמתפקדים כ**זרעי עננים** בשמיים מגיעים מהאדמה, כמו פיח, אבק או אבקנים. אנו קוראים לחלקיקים אלה **חלקיקים ראשוניים**. המחצית השנייה של החלקיקים נוצרת על-ידי התגרענות, כשהגזים הדביקים ביותר בשמיים נדבקים יחד [2]. המחקר שפרסמנו לאחרונה עוסק בגזים בשמיים אשר נדבקים זה לזה ויוצרים את החלקיקים שמתפקדים כזרעי עננים.

מה אנחנו יודעים על היווצרות חלקיקים

המולקולה המוצלחת ביותר, ככל הנראה, ביצירת חלקיקים בשמיים היא חומצה גופרתית. חומצה גופרתית מגיעה מהרי געש, פלנקטון בים ושריפה של דלק מאובנים (כמו לדוגמה פחם). המולקולות של חומצה גופרתית טובות מאוד בהידבקות למים, וגם בהידבקות זו לזו. משמעות הדבר היא שהן יכולות ליצור חלקיקים בשמיים ולהידבק למים, וכך ליצור זרעים של טיפות ענן.

תיבה 1

מדוע חלק מהמולקולות דביקות יותר מאחרות

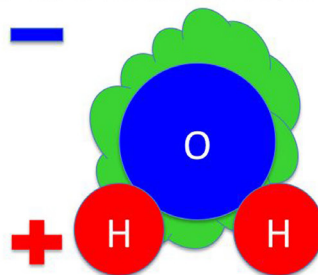
מדוע חלק מהמולקולות נדבקות יחד?

במאמר זה תיארתי חלק מהמולקולות כ"דביקות" יותר מאחרות. משמעות הדבר היא שמולקולות מסוימות נמשכות בחוזקה זו לזו על-ידי כוחות חשמליים. כל האטומים מכילים גרעין קטנטן ואלקטרונים אשר ממוקמים מחוץ לגרעין. האופן שבו האלקטרונים מאורגנים סביב לגרעין תלוי בסוג האטום. למשל, במולקולת מים - H_2O , סידור האלקטרונים סביב לאטום המימן שונה מסידורם סביב לאטום החמצן. במולקולות כמו מים, האלקטרונים נחלקים בין האטומים. אם האטומים שמרכיבים את המולקולה הם זהים (כמו במקרה של מולקולת החמצן O_2 שמורכבת משני אטומי חמצן), שיתוף האלקטרונים הוא שוויוני (כלומר כל אטום מכיל "נתח" שווה מסך האלקטרונים במולקולה). אם האטומים שונים, בדרך כלל סוגים מסוימים של אטומים טובים יותר מאחרים במשיכת אלקטרונים כלפי עצמם. במים, חמצן מושך אלקטרונים חזק יותר מאשר מימן, כך שהאלקטרונים ממוקמים בעיקר סביב לאטום החמצן; השיתוף אינו שוויוני.

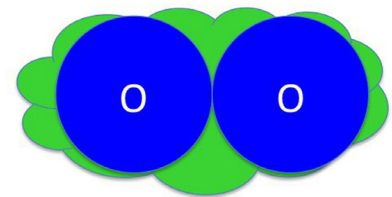
אלקטרונים הם בעלי מטען חשמלי שלילי. מאחר שמרבית האלקטרונים במים ממוקמים סביב לאטום החמצן ולא סביב לאטומי המימן, אטום החמצן טעון שלילית, ואטומי המימן טעונים חיובית. אטום החמצן במולקולת מים אחת יכול למשוך את אטומי המימן במולקולת מים אחרת מאחר שמטענים חיוביים ושליליים מושכים זה את זה. דבר זה גורם למים להיות דביקים יותר מאשר מולקולות כמו מימן (H_2) וחמצן (O_2), שבהן האלקטרונים נחלקים באופן שווה.

ככל שמולקולה דביקה יותר סביר יותר למצוא אותה במצב נוזלי או מוצק ולא במצב גז. זה מסביר מדוע מים הם נוזלים בטמפרטורת החדר, בעוד שחמצן ומימן הם גזים. חומצה גופרתית ומולקולות נוספות שנפלטות לאוויר מְעִצִים (ושִמְן בלועזית Terpenes, ראו במילון המונחים) הן דביקות יותר אפילו מאשר מים. באטמוספירה, הן נדבקות קודם זו לזו ומאוחר יותר מים נדבקים אליהן ומייצרים טיפות ענן.

Oxygen can take electrons from hydrogen, so they get a slight negative charge when they are in water



Oxygen atoms in oxygen molecules have to share electrons equally, so stay neutral



The green 'clouds' show (approximately!) where most of the outer electrons end up

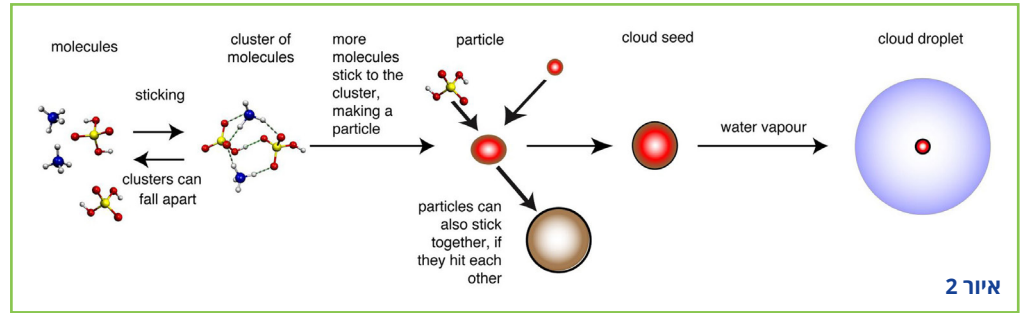
תיבה 1

עם זה, לעיתים אין בסביבה מספיק חומצה גופרתית כדי ליצור חלקיקים גדולים מספיק שיוכלו לתפקד כזרעי עננים. מולקולות חומצה גופרתית הן בעלות קוטר של כמחצית ננומטר בלבד, כך שנדרשות מולקולות רבות כדי לייצר חלקיקים גדולים מספיק שיכולים לתפקד כזרעי עננים (גודלו של זרע ענן הוא בסביבות 50 ננומטרים). כאשר שתי מולקולות חומצה גופרתית נדבקות יחד הן יכולות בקלות להתפרק שוב חזרה. צְבִיר של שתי מולקולות הוא בעל הסתברות קטנה להיחפך לזרע ענן.

מולקולות אחרות יכולות לְמַצֵּעַ ממולקולות של חומצה גופרתית להיפרד זו מזו על-ידי קשירתן יחד. מולקולות של חומצה גופרתית נקשרות חזק יותר למולקולות מסוימות אחרות מאשר זו לזו. לכן, המולקולות הנוספות האלה יכולות למנוע את התפרקות צביר המולקולות למשך זמן ארוך מספיק, וכך לאפשר למולקולות חומצה גופרתית נוספות להתנגש בצביר, להידבק אליו ולהגדילו. חלקיקים גדולים יותר הם בעלי סיכוי גבוה יותר להישאר יחד מאחר שהרבה מולקולות לכודות בתוך החלקיקים ואינן יכולות לברוח. מנגנון זה מתואר איור 2.

איור 2

כיצד מולקולות נדבקות זו לזו והופכות לזרעי ענן.
 כאשר המולקולות הראשונות (משמאל, מצוירות ככדורים שמחברים זה לזה עם מקלות) מתחברות יחד, התוצאה היא צביר מולקולות. בתוך הצביר, הקווים המקווקוים (באיור השני משמאל) מראים את כוחות המשיכה אשר מושכים את המולקולות זו אל זו. הצביר הזה אינו יציב ובקלות יכול להתפרק שוב. אם מולקולות נוספות מתנגשות בצביר הן יכולות להידבק אליו. אם הצביר גדל לגודל מספיק גדול כך שלא סביר שיתפרק, אנו מכנים אותו חלקיק (מסומן באיור כעיגול אדום). חלקיקים גדולים יותר יכולים לתפקד כזרעים לטיפות ענן. מספר הזרעים יכול לקטון אם חלקיקים קטנים נדבקים לחלקיקים גדולים יותר (מסומן באיור כעיגול חום). האיור עובד מתוך דיאגרמה שצוירה על ידי ג'ספר קירקיבי (Jasper Kirkby).



המחקר שלנו: מה מדביק יחד את מולקולות החומצה הגופרתית?

דִבְקָה טוב עבור מולקולות של חומצה גופרתית הוא אַמֶּוּנְיָה [3]. בדומה לחומצה גופרתית, אמוניה רעילה בכמויות גדולות, אולם בגוף שלנו יש יחד. דבקים טובים אחרים למולקולות של חומצה גופרתית מגיעים מַעֲצִים [4]. עצים, ובמיוחד עצי אורן, משחררים מולקולות שנקראות **טְרֶפְנִים**. טְרֶפְנִים נמצאים בין השאר במסירי צבע (טרפנטין). הן גם הסיבה לכך שְׁיַעֲרוֹת אורן מריחים רעננים (הרבה יותר נחמד מריח שתן!). לאחר כמה תגובות כימיות עם מרכיבים אחרים באוויר, מולקולות אלה הופכות לדבק מוצלח. מהמחקר שלנו אנו מעריכים שכחמישית מהחלקיקים באטמוספירה נוצרו בעזרת טְרֶפְנִים, ששימשו כדבק שלהן. במקרים מסוימים, מולקולות שקשורות לטְרֶפְנִים אינן מהוות רק דבק מוצלח, אלא מסוגלות אפילו ליצור חלקיקים שאין בהם חומצה גופרתית כלל [5].

דבר אחד אחרון שחקרנו שחשוב להיווצרותם של חלקיקים בשמיים הוא **קרינה קוסמית**. אלה הם **חלקיקים תת-אטומיים** (ממש, ממש קטנים) שמגיעים מהחלל החיצון ומתנגשים כל הזמן בכדור הארץ. קרינה קוסמית יכולה להתנגש בחומצה גופרתית או במולקולות אחרות באטמוספירה, ולגרום להן להיות דביקות יותר. היא עושה זאת באמצעות "הַעֲפָת" אלקטרונים מהמולקולות בהן היא מתנגשת, מה שמותיר אותן טעונות חיובית. אז האלקטרונים יכולים להידבק למולקולות אחרות ולהפוך אותן לטעונות שלילית. בדיוק כפי שְׁמֶטְעָנִים הפוכים מושכים זה את זה, מולקולות טעונות חשמלית יכולות למשוך זו את זו בתוך החלקיק. המשיכה הזו עוזרת לחלקיקים להישאר כיחידה אחת ולא להתפרק [6]. המחקר שלנו אִפְשֵׁר לנו להעריך, טוב יותר מאי פעם, כמה חשובה הקרינה הקוסמית בהיווצרות חלקיקים באטמוספירה.

כיצד גילינו את כל זה?

מדענים בדרך כלל בוחנים את הרעיונות שלהם באמצעות עריכת ניסויים. יש לנו מעבדה מיוחדת בשווייץ שבה אנחנו יכולים לערוך ניסויים ליצירת חלקיקים. המעבדה היא חלק ממרכז מחקר גדול שנקרא **סֶרֶן (CERN)**, אותו המקום שבו נמצא מאיץ החלקיקים הגדול בעולם – LHC (ראשי תיבות של Large Hadron Collider). הניסוי שמשמש במאיץ ה-LHC גדול הרבה יותר מהניסוי שלנו, ובו יוצרים התנגשויות בין חלקיקים תת-אטומיים (שדומים מאוד לקרינה הקוסמית). מדענים שעובדים ב-LHC מנסים להבין כיצד היקום התחיל ומה נמצא בתוך האטומים שאנחנו מורכבים מהם. הניסוי הקטן יותר שלנו מְכַנֶּה CLOUD, ענן בתרגום ישיר וראשי תיבות של Cosmic Leaving Outdoor Droplets (כשהכוונה היא יצירה של טיפות ענן באמצעות חלקיקי קרינה).

טְרֶפְנִים (Terpenes)

מולקולות שנפלטות מְעֵצִים והן בעלות עֶשְׂרָה אטומי פחמן ושש-עשרה מולקולות מימן (נוסחה כימית $C_{10}H_{16}$). התגובה בין המולקולות האלה לבין חמצן יוצרת מולקולות אשר גורמות להיווצרות חלקיקים באטמוספירה.

קרינה קוסמית

(Cosmic ray)

חלקיקים תת-אטומיים בעלי אנרגיה גבוהה אשר מגיעים אל כדור הארץ מהחלל החיצון.

חלקיק תת-אטומי

חלקיקים קטנים יותר מאטומים. החלקיקים התת-אטומיים הנפוצים ביותר הם פְּרוֹטוֹנִים, נְוִטְרוֹנִים ואלקטרונים, והם אלה שמרכיבים אטומים. קרינה קוסמית יכולה להכיל גם חלקיקים תת-אטומיים אקזוטיים יותר, כמו פאיונים או מיאונים.

סרן (CERN)

ארגון אירופי למחקר גרעיני, מעבדת הבית של ניסוי הענן (CLOUD) וכמה ניסויים אחרים הכוללים חלקיקים תת-אטומיים. במסגרת הניסויים הנדזלים ביותר בסרן נעשה שימוש בחלקיקים תת-אטומיים ממאיץ החלקיקים הגדול בעולם - LHC (קיצור של Large Hadron Collider).

ניסויי ה-CLOUD [1] (<http://cloud.web.cern.ch/>) מתרחשים במכל מתכת גדול, שגובהו ורוחבו עומדים על כ-3 מטרים, אשר ממולא באוויר. בתוך המכל (איור 3) אנו מערבבים גזים שאנו חושבים שְׁיִצְרוּ חלקיקים, ומוודדים כמה מהר החלקיקים מופיעים. באטמוספירה ישנם סוגים רבים של גזים וקשה להבין אלה גזים מייצרים חלקיקים ואלה לא.

המכל שלנו מיוחד מאחר שהוא נקי באופן יוצא דופן: האוויר שלנו מיוצר באופן מלאכותי על-ידי ערבוב של חנקן נוזלי עם חמצן נוזלי, והמכל אטום כך ששום זיהום לא יכול להיכנס מבחוץ. אנחנו מכניסים למכל רק גזים בודדים, ויודעים בדיוק איזו כמות מכל גז הכנסנו. זה מאפשר לנו למדוד כמה כל גז דביק.

בעזרת CLOUD אנחנו יכולים גם לראות כיצד קרינה קוסמית מסייעת להיווצרות חלקיקי זרעי ענן, באמצעות הכנסה של חלקיקים תת-אטומיים המיוצרים בניסויים אחרים ב-CERN אל תוך המכל שלנו. ההשפעה של הדבר היא כמו להכניס קרינה קוסמית למכל שלנו. בדומה לקרינה קוסמית, החלקיקים התת-אטומיים גורמים למולקולות להיות דביקות יותר. אנחנו יכולים לראות כמה חלקיקים נוספים נוצרים כשאנחנו מכניסים את הקרינה הקוסמית המלאכותית הזו, וזה מסייע לנו להבין את השוני שקרינה קוסמית מחוללת בהיווצרות חלקיקים.

באטמוספירה, מספר חלקיקי הקרינה הקוסמית גבוה יותר בגובה (**Altitude**) רב יותר (למשל במטוסים או על פסגות הרים) מאשר בגובה פני הקרקע, מאחר שהם נבלעים על-ידי האוויר. לכן, באמצעות שימוש בחלקיקים הנוספים שמשמשים בהם בניסויים אחרים בסרן, אנחנו יכולים לשעתק את התנאים שמתקיימים בגובה באטמוספירה. זו הסיבה העיקרית לכך שניסוי ה-CLOUD מוקם בסרן. לאחר שמדדנו בניסוי ה-CLOUD באיזו מידה הגזים נדבקים זה לזה, השתמשנו בתוצאות בהדמיה (סימולציה) ממוחשבת של חלקיקים באטמוספירה. הדמיה זו מורכבת מקבוצה של 'מתכונים' מתמטיים המתארים את כל התהליכים שמוצגים באיור 1, אשר

Altitude

הגובה (בדרך כלל בק"מ) מעל פני השטח של כדור הארץ.

איור 3

ניסוי ה-DUOLC בסרן (CERN). המכל שבמרכז התמונה מכוסה בשכבת בידוד שמטרתה לשמור על הטמפרטורה שבתוכו קבועה. לבני הבטון שברקע שומרות על החלקיקים התת-אטומיים בתוך המאיץ, והרחק ממדענים שעובדים במסדרון. התמונה צולמה על-ידי Antti Onnela.



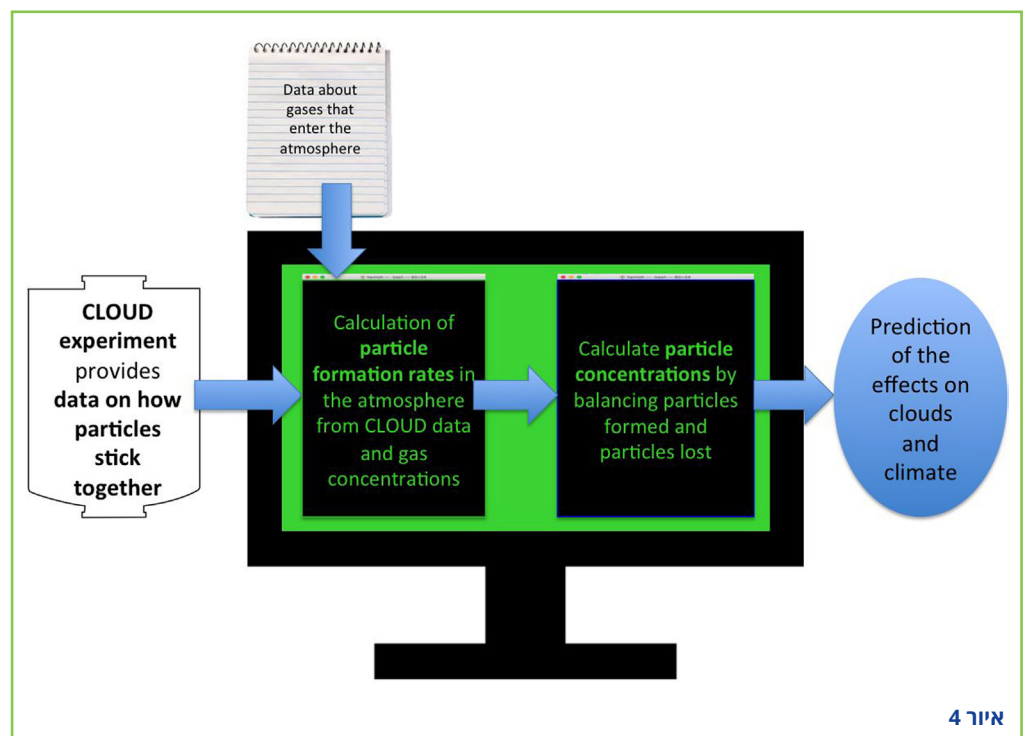
איור 3

נכתבים בתוכנת מחשב גדולה [7]. תוכנה זו (איור 4) אומרת לנו מהי הכמות של חלקיקי גז דביקים בכל הנקודות באטמוספירה הנמוכה (בגובה של עד 20 קילומטרים מעל פני השטח של כדור הארץ). באמצעות הנתונים האלה על כמויות הגזים אנחנו יכולים להשתמש בתוצאות מניסויי ה-CLOUD כדי לחשב כמה חלקיקים אמורים להיווצר כל שנייה, או במהלך יום שלם. כאשר החלקיקים נכנסים להדמיה שלנו, אנחנו מייצרים מודל שמדמה כיצד הם גדלים או נדבקים זה לזה ויוצרים זרעי עננים, וכיצד הם מגיעים לקרקע (כטיפות גשם). כך אנו מגלים אלו דרכי היווצרות של חלקיקים משמעותיות יותר ופחות בכל אחד מהאזורים באטמוספירה.

מה המשמעות של כל זה?

לפני מאתיים שנים הייתה באטמוספירה כמחצית מכמות החומצה הגופרתית שיש בה כיום. הסיבה העיקרית לכך היא ששרפנו הרבה פחם במאתיים השנים האחרונות (בעיקר עבור ייצור חשמל לצרכים תעשייתיים). לכן, מה שגורם עכשיו להיווצרות של גרעיני התעבות יכול להיות שונה ממה שגרם להיווצרותם בעבר. לפני שהתחלנו לשרוף הרבה פחם, שחרור של טרפנים מעצים ודאי היה משמעותי יותר, וחומצה גופרתית הייתה משמעותית פחות [8].

לכן, בעתיד, כאשר נפסיק לשרוף פחם מלוכלך, שחרור של טרפנים מעצים ישוב להיות גורם משמעותי. במקומות מסוימים תהיה לנו פחות חומצה גופרתית שתוכל ליצור זרעי עננים, ובאופן כללי יהיו פחות זרעי עננים בשמיים. העננים שיווצרו יכלו ככל הנראה את אותה כמות המים, אך כמות טיפות קטנה יותר וטיפות גדולות יותר. זה יכול להגדיל את הסבירות לשחרור המים מתוך העננים בצורת גשם. בנוסף, פחות אור שמש יוחזר לחלל על ידי העננים וכתוצאה מכך אפקט ההתחממות הגלובלית, שנגרמת כתוצאה מפליטת גזי חממה, יהפוך למשמעותי יותר. המחקר שלנו מספק הערכה למידת החשיבות של מולקולות מעצים, בהשוואה לאמוניה, עבור יצירת חלקיקים של זרעי ענן. המידע הזה יסייע למדענים להעריך עד כמה השינוי הצפוי



איור 4

איור 4
תרשים זרימה שמסביר על ההדמיה הממוחשבת שבעזרתה הפכנו את הניסויים ב-CLOUD לתחזיות לגבי ההשפעות של היווצרות חלקיקים באטמוספירה על אקלים כדור הארץ. תוכנת המחשב משלבת את התוצאות שלנו על טיב ההידבקות של מולקולות זו לזו עם הערכות לגבי כמות הגזים הדביקים שנמצאים בכל מקום באטמוספירה. זה מאפשר לנו להבין כמה חלקיקים נוצרים בפרק זמן מסוים בכל אחד מחלקי האטמוספירה. לאחר מכן, אנחנו מחשבים כמה חלקיקים אובדים באותו הזמן, כשהם נדבקים זה לזה או נופלים לקרקע. איזון בין היווצרות חלקיקים לאובדנם מאפשר לנו להבין כמה חלקיקים יש בכל אחד מחלקי האטמוספירה. אז אנו יכולים לראות כיצד הוספה של חלקיקים יכולה להשפיע על הבהירות של העננים במקום מסוים: זרעי עננים רבים יותר גורמים לעננים בהירים יותר. באמצעות המידע הזה אנחנו יכולים לחשב איזה אחוז מאנרגיית השמש יוחזר לאטמוספירה, ומה ההשלכות של כך על אקלים כדור הארץ.

במידת הניקיון של האוויר (בין השאר בעקבות הפחתה בשריפת פחם) עשוי להשפיע על אקלים כדור הארץ שלנו.

מאמר המקור

Dunne, E. M., Gordon, H., Kürten, A., Almeida, J., Duplissy, J., Williamson, C., et al. 2016. Global atmospheric particle formation from CERN CLOUD measurements. *Science* 354:1119–24. doi:10.1126/science.aaf2649

מקורות

1. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., et al., eds. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
2. Merikanto, J., Spracklen, D. V., Mann, G. W., Pickering, S. J., and Carslaw, K. S. 2009. Impact of nucleation on global CCN. *Atmos. Chem. Phys.* 9:8601–16. doi:10.5194/acp-9-8601-2009
3. Kulmala, M., Pirjola, U., and Mäkelä, J. M. 2000. Stable sulphate clusters as a source of new atmospheric particles. *Nature* 404:66–9. doi:10.1038/35003550
4. Went, F. W. 1960. Blue hazes in the atmosphere. *Nature* 187:641–3. doi:10.1038/187641a0
5. Kirkby, J., Duplissy, J., Sengupta, K., Frege, C., Gordon, H., Williamson, C., et al. 2016. Ion-induced nucleation of pure biogenic particles. *Nature* 533:521–6. doi:10.1038/nature17953
6. Kirkby, J., Curtius, J., Almeida, J., Dunne, E., Duplissy, J., Ehrhart, S., et al. 2011. Role of sulphuric acid, ammonia and galactic cosmic rays in atmospheric aerosol nucleation. *Nature* 476:429–33. doi:10.1038/nature10343
7. Spracklen, D. V., Pringle, K. J., Carslaw, K. S., Chipperfield, M. P., and Mann, G. W. 2005. A global off-line model of size-resolved aerosol microphysics: I. Model development and prediction of aerosol properties. *Atmos. Chem. Phys.* 5:2227–52. doi:10.5194/acp-5-2227-2005
8. Gordon, H., Sengupta, K., Rap, A., Duplissy, J., Frege, C., Williamson, C., et al. 2016. Reduced anthropogenic aerosol radiative forcing caused by biogenic new particle formation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113:12053–8. doi:10.1073/pnas.1602360113

פורסם אונליין: 31 במאי 2018

נערך על ידי: Berend Smit, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland

ציטוט: Gordon H (2018) חקירת זרעי עננים במעבדות המחקר של סרן (CERN) *Front. Young Minds*. doi:10.3389/frym.2017.00043-he

Gordon H (2017) Studying the Seeds for Clouds at the CERN Research Labs. **תורגם והותאם מ:** Front. Young Minds 5:43. doi:10.3389/frym.2017.00043

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

Gordon 2017 © **COPYRIGHT**. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(ים) המקורי(ים) ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

13-12, BURY CHURCH OF ENGLAND HIGH SCHOOL, גיל:

אנחנו בית ספר תיכון שממוקם בבורי, מנצ'סטר, אנגליה. התלמידים שלקחו חלק בסקירת מאמר זה היו כיתה של 31 תלמידים, בגיל 12 ל-13 שנים. התלמידים בכנסיית בורי באנגליה הם מדענים מצוינים ונלהבים, והם נהנו מאוד ללמוד על האופן שבו עננים נוצרים באטמוספירה. הם גם התלהבו משיטות נסיוניות שמתבצעות בסרן. פרויקט הסקירה התבצע בעזרתה של המדריכה לינדסי איירס מקהם (Lyndsey Ayres MChem).

הכותבים

HAMISH GORDON

אני פיזיקאי שעובד באוניברסיטת לידס, אנגליה. אני עוזר לפתח מודלים ממוחשבים אשר מדמים חלקיקים ועננים באטמוספירה, יחד עם מדענים אחרים בלידס, עם המשרד המטאורולוגי של בריטניה (UK Met Office) וניסוי הענן (CLOUD), ראשי תיבות של (Cosmics Leaving Outdoor Droplets) בסרן, שווייץ. אנחנו מנסים להבין כיצד חלקיקים שנישאים באוויר ממקורות טבעיים או מזיהום אוויר יכולים להשפיע על עננים, ומה המשמעות של ההשפעות האלה על אקלים כדור הארץ. כשאני לא עובד אני אוהב לבשל, לרוץ ולחקור את יורקשייר (Yorkshire, מחוז בבריטניה) על גבי אופני הדרכים שלי. *hamish.gordon@cern.ch



Hebrew version
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (נ.ר.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

