



כיצד קרח נוצר בים?

Mirjam S. Glessmer*

פסיכוסין, קייל, גרמניה

סוקר צעיר

FIN

גיל: 13



אנו רואים קרח כל הזמן: כקוביות במשקאות שלנו, על גבי שלוליות של מי גשם בחורף, בסרטים כמו לשבור הקרח או הכוכב הכחול. אולם האם אי פעם תהיתם מדוע בדיוק קרח נוצר ומה קובע כיצד הוא נראה בסופו של דבר? במאמר הזה אנו חוקרים כיצד היווצרות הקרח מושפעת על-ידי תנועת המים בזמן שהם קופאים, על-ידי הכיוון שממנו מגיעה ההתקררות ועל-ידי קרח שמומס במים.

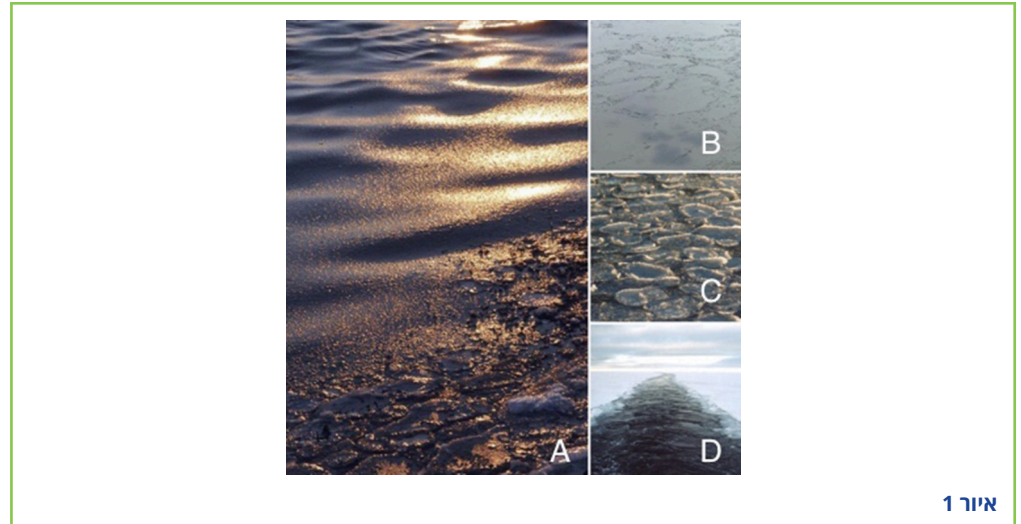
פשוט להתקרר: קוביות קרח במקפיא

אם יש לכם מקפיא במטבח אתם יכולים בקלות לחקור בעצמכם את היווצרות הקרח. קחו מגש של קרח, מלאו אותו במים, שימו אותו במקפיא ותחזרו למחרת. אם אף אחד לא פתח את המקפיא אחרי ששמתם את מגש המים בתוכו, קוביות הקרח קפאו לאט והן ייראו כמו זכוכית צלולה. משמעות הדבר היא שמולקולות המים קפאו במבנה גבישי מאורגן.

אולם מה אם מישהו פתח את המקפיא? אם הקרח מופרע במהלך גדילתו, הוא יוצר מבנים בלתי אחידים. משמעות הדבר היא שהוא לא נראה כל כך צלול מאחר שלא כל המולקולות התארגנו בצורה טובה בזמן שהן קפאו. עשויות להיות שכבות לאורך הקרח שאינן שקופות, והמשטח עשוי להיות פחות חלק.

איור 1

שלבים בהיווצרות קרח בים. (A) מים פתוחים (משמאל למעלה), בריד (במרכז), ופנקייקים של קרח (ימין למטה). (B) שכבה דקה של קרח שנשברה לשכבות קרח גדולות (ice floes) אחרי הקפיאה. (C) קרח פנקייק. (D) אוקיינוס מכוסה בקרח עם נתיב שנוצר על-ידי ספינה שנעה דרכו. פני השטח של הקרח הימי מכוסים שלג (קרדיט לתמונות: Mirjam S. Glessmer).



איור 1

שומרים על תזוזה: גלים מפריעים להיווצרות של קרח בים

בים כמעט תמיד ישנן הפרעות שמתרחשות במהלך היווצרות הקרח, מאחר שכמעט תמיד יש גלים. לכן כשקרח נוצר בים הוא נראה שונה מאוד מהקרח שנוצר במקפיא שלכם. הקרח בים נוצר בכמה שלבים שונים.

ראשית, ישנו שלב שבו המים קרים מאוד אולם עדיין נוזליים (ראו פינה שמאלית עליונה של איור 1A). לאחר מכן, ישנו אזור שבו הקרח התחיל ליצור גבישים קטנים דמויי מחט שמתקבצים יחד ויוצרים בריד (איור 1A, במרכז). הברד מרגיע מעט את הגלים שמגיעים ממי הים הפתוחים, אולם עדיין ישנם מספיק גלים כדי למנוע מהמחטים לקפוא יחד וליצור משטח קרח חלק.

לעיתים, ביום רגוע שבו אין גלים שמפריעים לתהליך, מחטים יכולות לקפוא יחד וליצור שכבה של קרח. בתחילה, השכבה הזו מספיק שקופה כדי לראות דרכה מקבץ של אצות שגדלות על הקרקעית החולית שמתחתיה (איור 1B). אחרי שהשכבה הדקה הזו נוצרת היא יכולה להתפרק לכמה שכבות קרח שצפות על פני הים, שנקראות ice floes.

בדרך כלל ישנם גלים במהלך היווצרות הקרח, ואתם רואים את קרח הפנקייק (איור 1A, מימין למטה, ואיור C). קרח פנקייק נוצר כשמחטי הקרח קופאות יחד כדי ליצור שכבות קרח גדולות יותר (ice floes). בזמן שהן מועברות על-ידי הגלים, שכבות הקרח האלה מתנגשות זו בזו. קצוותיהן נעשים מעוגלים על-ידי ההתנגשויות האלה, והחתיכות שנשברות נדחפות מעל לשכבות הקרח המעוגלות, מה שמקנה לקרח הפנקייק שוליים סביב לקצוות שלהם. במהלך הזמן, חתיכות שונות של קרח הפנקייק קופאות ויוצרות פנקייקים גדולים יותר ויותר, ובסופו של דבר הן יכולות לקפוא יחד ולכסות אזורים גדולים באוקיינוס (איור 1D).

איור 2

אגם שקופא מלמעלה למטה
וכולא בתוך הקרח בועות אוויר
מקרקעית האגם הבוצית
(קרדיט לתמונה:
Mirjam S. Glessmer).



איור 2

עסק מלמעלה-למטה: קפיאה של אגם או של הים

אולם חכו, מדוע ישנם מים מתחת לקרח? מדוע הקרח לא נוצר לאורך כל העומק של המים, כמו שהוא נוצר בקוביות הקרח במקרר? במובן מסוים היווצרות הקרח בים עדיין לא הושלמה. אם היה קר מספיק במשך זמן רב מספיק, כל האוקיינוס יכול לקפוא לכל עומקו. אולם ישנן כמה סיבות לכך שהרבה יותר קשה לאוקיינוס לקפוא לכל עומקו מאשר לקוביית קרח – וזה לא רק בגלל שיש יותר מים באוקיינוס מאשר במקפיא.

כאשר קרח נוצר במקרר, מגש קוביות הקרח מוקף על-ידי אוויר קר בכל הכיוונים. אולם, כשמים קופאים באגם או באוקיינוס האוויר הקר נמצא רק מעל לפני השטח של המים. מתחת ומחצדדים המים עדיין מוקפים על-ידי מים או על ידי קרקעית הים/ האגם, שהן חמות יותר מהאוויר. לכן, התקררות וגם קפיאה יכולות להתרחש רק מלמעלה למטה.

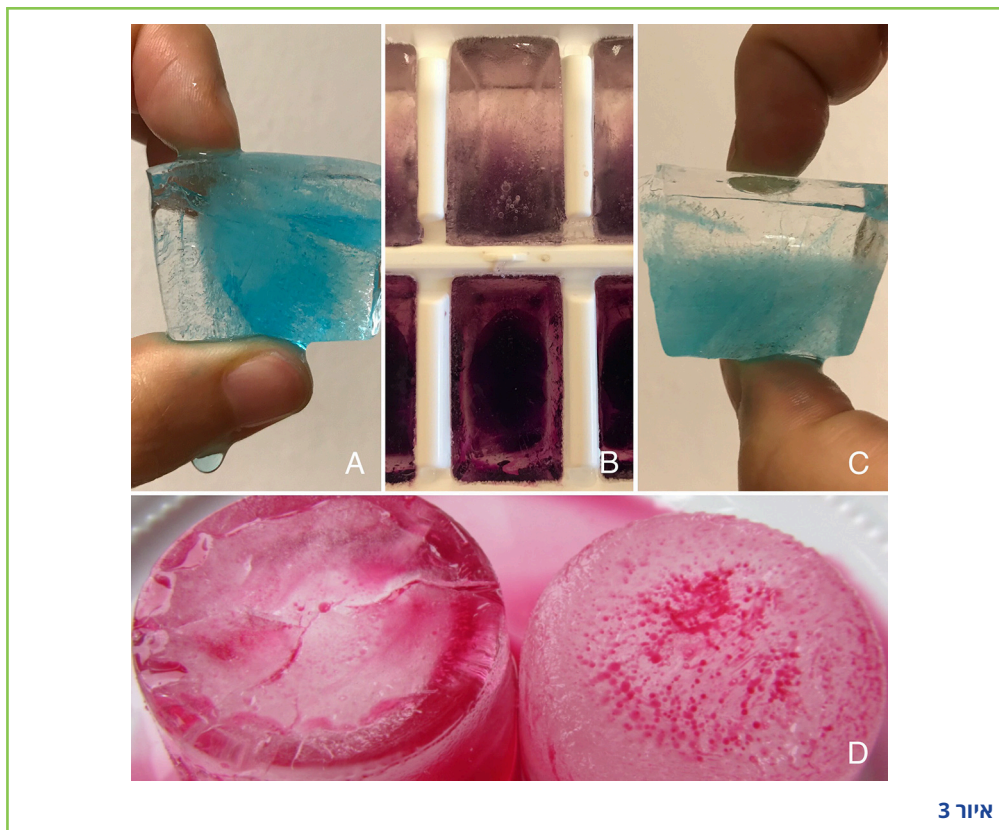
לעיתים אנו יכולים אפילו לראות שהקרח נוצר מלמעלה למטה. איור 2 מראה את פני השטח הקפואים של אגם, עם בועות אוויר בתוך הקרח. כיצד הבועות האלה הגיעו לשם? קרקעית הים היא בוצית ולעיתים בועות אוויר יוצאות מהבויץ ומבעבעות כלפי מעלה דרך המים, כל הדרך אל פני השטח. ברגע שישנה שכבת קרח דקה שמכסה את האגם, בועות האוויר לא יכולות לברוח מהמים והן נכלאות מתחת לקרח. בזמן שההתקררות מהאוויר שלמעלה ממשיכה, הקרח ממשיך לגדול כלפי מטה לתוך המים ומתגבש סביב לבועות, עד שהקרח בסופו של דבר עבה מספיק לעטוף את הבועות, אחת אחרי השנייה. ככל שיותר אוויר מבעבע כלפי מעלה, הבועות האלה גם נכלאות בתוך שכבת הקרח ההולכת ומתעבה מתחת לשכבת הבועות הראשונה.

קר בכל הכיוונים: קוביות קרח במקפיא שלכם

אם יש לכם מקפיא ישן, אולי אפילו מקפיא שבו אפשר לראות את הרכיב המקרר שצמוד לקיר הקרח האחורי, ייתכן שקוביות הקרח לא קופאות באותו האופן מכל הכיוונים. כדי לראות זאת, הוסיפו צבעי מאכל לקרח לפני שתשימו את מגש קוביות הקרח במקפיא. צבעי מאכל לא מתאימים למבנה הגבישי המאורגן שנוצר כאשר מים טהורים קופאים. הצבע מסולק מהמבנה

איור 3

ניסויים בהיווצרות של קרח.
(A) קוביית קרח שקפאה מכל הכיוונים, ולכן דחפה את הצבע לכיוון המרכז. **(B)** השורה העליונה של קוביות קרח במגש הקרח קפאה מצד אחד כלפי הצד השני, ודחפה את הצבע לצד אחד של הקוביות, והשורה התחתונה קפאה מהצדדים כלפי המרכז, מה שדחף את הצבע כלפי המרכז. **(C)** קוביית קרח שקפאה מלמעלה למטה, ודחפה את הצבע לכיוון התחתית. **(D)** קוביות קרח שקפאו ממים מתוקים (משמאל) וממים מלוחים (מימין) עם צבעי מאכל שטופטפו עליהן כדי לחשוף את המבנה שלהן (קדטי לתמונות: Mirjam S. Glessmer).



איור 3

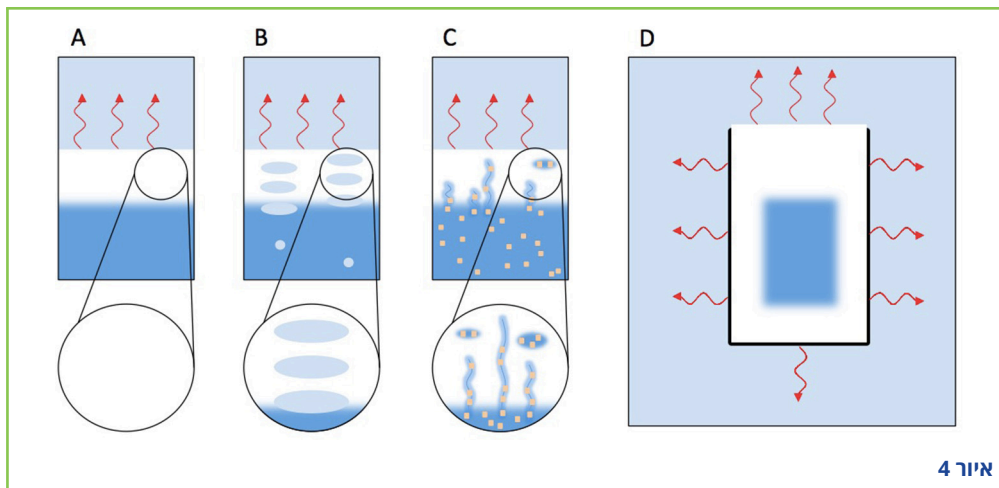
הגבישי וצובע רק את המים הנוזליים שנשארים בצבע רב יותר, מה שמקשה עליהם לקפוא. זה יכול להוביל לקוביות שנראות מעניינות כמו אלה שמוצגות באיור 3. באיור 3B, אתם יכולים לראות שקוביות הקרח שנמצאות בשורה שקרובה לאחורי המקפיא נראות שונות מאוד מאלה שנמצאות בשורה הקדמית, אף על פי שכולן נוצרו מאותם המים, נשפכו למגש הקוביות והוכנסו למקפיא באותו הזמן. בקוביות הקרח שנמצאות בתחתית המגש הקרח נוצר מכל כיווני הקוביה לכיוון המרכז, סילק את הצבע מהמבנה הגבישי שלו ודחף אותו כלפי המרכז. באיור 3A ובחלק העליון של השורה באיור 3B, אתם יכולים לראות שבצד אחד שכבת הקרח הצלול עבה יותר מבצדדים האחרים. זהו הצד שפנה כלפי הקיר האחורי של המקפיא שבו נמצא הרכיב המקרר, שם קפיאת הקרח הייתה המהירה ביותר. בקוביות קרח שנמצאו בחלק הקדמי של שורת המגש (איור 3C), שם הקירור התרחש קודם כל מהחלק העליון, הצבע קפא כלפי התחתית של קוביית הקרח, מה שהוביל לקרח צלול יותר בחלק העליון, ולקרח צבוע מתחתיו. התופעה הזו של "קירור מלמעלה" דומה לאופן שבו אגם או ים היו קופאים.

בואו נתבל את זה: מי ים הם מלוחים

מה שקרה בניסוי הקרח הזה עם צבעי המאכל דומה מאוד למה שקורה בים, וזה גם מסייע להסביר מדוע קשה יותר להקפיא את הים מאשר להקפיא קוביית קרח שעשויה ממי ברז. כמובן שמי ים לא מכילים צבעי מאכל, אולם הם מכילים מלח שמתפקד באופן דומה לצבעי המאכל. לרוע המזל, מלח בקרח ים אינו ניתן לצפייה באותה הקלות כמו צבעי מאכל, אולם בדרך כלל יש הרבה יותר קרח במי ים מאשר שהיו צבעי מאכל במים שהשתמשנו בהם ליצירת קרח באיור 3. כדי להכין מים עם כמות מלח גדולה כל כך כמו שיש במי ים, צריך להוסיף 7 כפיות מלחות של

איור 4

כיצד תהליכים שונים משפיעים על היווצרות קרח. צבע כחול בהיר מייצג אוויר קר, צבע לבן מייצג קרח וצבע כחול כהה מייצג מים נוזליים. (A) מים מתוקים שקופים מלמעלה למטה בשל אובדן החום (חיצים אדומים מסולסלים) לעבר האטמוספירה הקרה יותר באוויר שלמעלה. (B) מים מתוקים שקופים מלמעלה למטה בהדרגה עוטפים בעות אוויר שעולות מלמטה. (C) מים מלוחים שקופים מלמעלה למטה, אולם דוחפים מים מלוחים לתוך נקבוביות שנשארות כפגמים בקרח. הקרח מיוצג על-ידי נקודות צהובות. (D) קוביית קרח שקופה במגש של קוביות קרח. חום נאבד מכל הצדדים ולכן הקרח נוצר מכל הצדדים לכיוון המרכז.



איור 4

מלח לליטר אחד של מי ברז (כל כפית מחזיקה כ-5 גרם של מלח, ומי ים מכילים באופן טיפוסי כ-35 גרם של מלח בכל 1 ליטר של מים). הקפאת מי המלח האלה במגש של קוביות קרח מובילה לכמה תצפיות מעניינות. ראשית, ההקפאה לוקחת זמן רב יותר מאשר הקפאתם של מים מתוקים. שנית, קוביות מי המלח אינן שקופות כמו קוביות מי הברז. ושלישית, כשקוביית מי המלח מוצאת ממגש הקוביות ישנה סבירות גדולה לראות מים מלוחים מאוד שלא קפאו בתחתית המגש.

כדי להשוות את המבנים של קוביות קרח ממים מתוקים וממים מלוחים, אפשר לטפטף בזהירות כמות קטנה של צבעי מאכל לתוך קוביות הקרח (ראו איור 3D). לקרח שקפא מהמים המלוחים יש מבנה נקבובי, כמעט ספוגי, שדרכו הצבע מחלחל לתוך קוביית הקרח. אלה הנקבוביות שלתוכן מתנקזים מי המלח שנדחפו בזמן שהמים המתוקים יצרו קרח מכל הכיוונים. קוביית המים המתוקים לעומת זאת היא בלוק קשיח של קרח שצבעי המאכל פשוט זולגים מעליו.

כל כך קול: צפייה בקרח!

אם נסתכל על זה מקרוב, קרח מספר לנו הרבה על האופן שבו הוא נוצר. מרתק להסתכל על קרח ולחשוב על הסיבות לכך שהוא נראה בדיוק כפי שהוא נראה. האם הוא הופרע במהלך תהליך הקפיאה? מאיזה צד הגיעה ההתקררות? האם חומרים נוספים הומסו בתוך המים? איור 4 מראה תקציר של מה שלמדנו על היווצרות של קרח. בפעם הבאה שתסתכלו על קרח, אתם תוכלו לדעת כיצד הוא נוצר!

פורסם אונליין: 28 בינואר 2021

נערך על ידי: Mark A. Brandon, The Open University, United Kingdom

ציטוט: Glessmer MS (2021) כיצד קרח נוצר בים? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00079-he

תורגם והותאם:

Glessmer MS (2019) How Does Ice Form in the Sea? Front. Young Minds 7:79. doi: 10.3389/frym.2019.00079

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

COPYRIGHT © 2019 © 2020 Glessmer. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקר צעיר**FIN, גיל: 13**

בזמני הפנוי אני אוהב לקרוא ספרים (למעשה אני מנסה לקרוא ספרים בכל רגע פנוי שיש לי). אולם אני גם אוהב לעשות סקי עם חברים מבית הספר או ללכת לשחות.

הכותבת**MIRJAM S. GLESSMER**

Dr. Mirjam Glessmer למדה אוקיינוגרפיה פיזית. היא מרותקת על-ידי מים בכל צורותיהם: היא אוהבת ללכת "לצפות בגלים" על שלוליות, על זרמים או בים, או לערוך ניסויים על פיזיקה של האוקיינוס באמצעות פרטים ביתיים בלבד ("אוקיינוגרפיה של המטבח"). ל-Mirjam יש תשוקה רבה לשיתוף ההתרגשות שלה מכל הדברים שקשורים לפיזיקה של האוקיינוס, ואתם מוזמנים ליצור איתה קשר אם יש לכם שאלות!
*mglessmer@gmail.com www.mirjamglessmer.com/contact



Hebrew version
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

