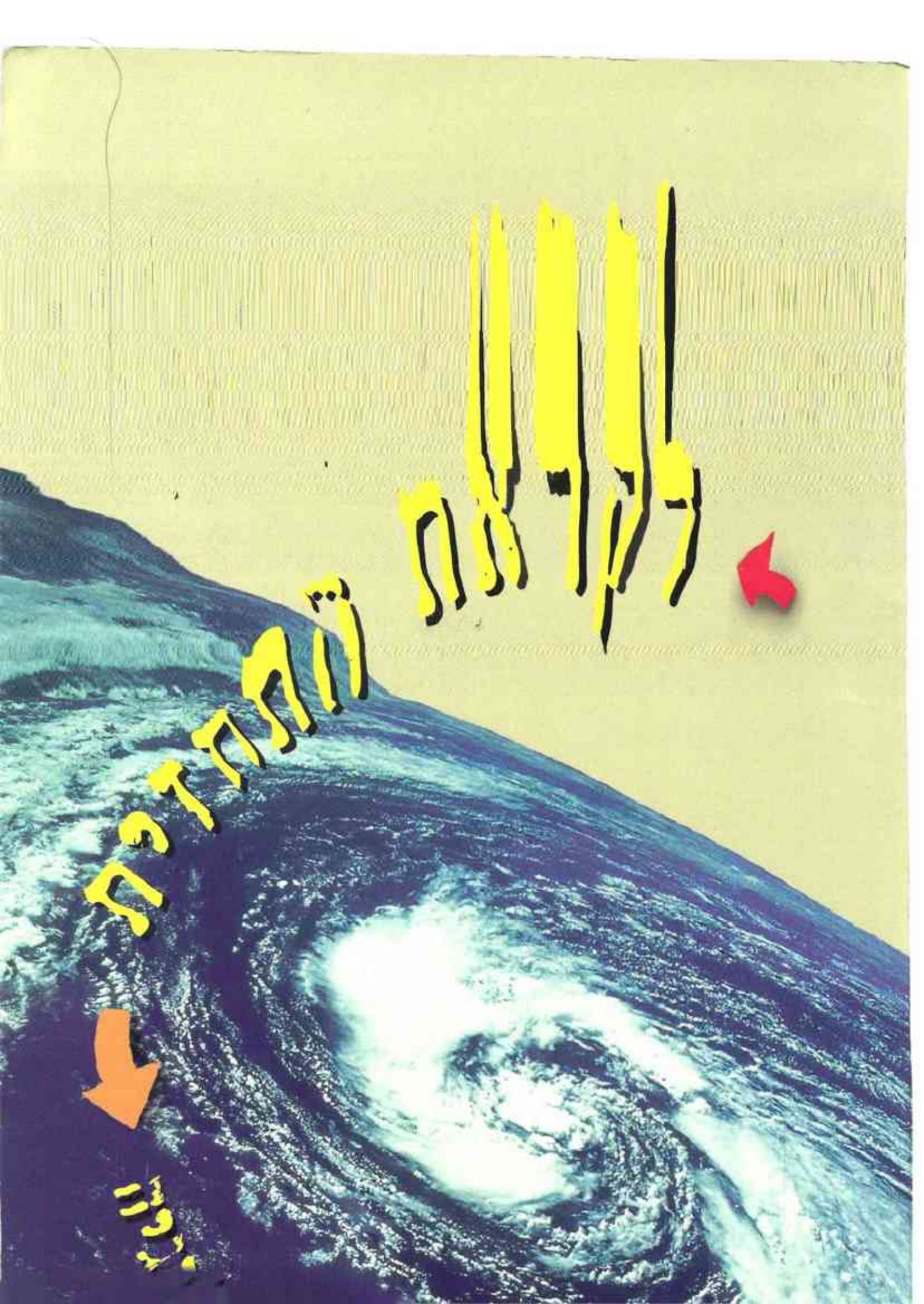






משרד החינוך המזכירות הפדגוגית האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים

מטה המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי ע"ש עמוס דה שליט

המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים

זאב שטסל	כתיבה ועריכה:
ציפי ויינברג	כתיבה:
פרופ' דני רוזנפלד	ייעוץ מדעי:
דוד סלע	הערות והצעות:
גיר סתיו	
עדי רוזן	
ד"ר מיכאל גרינצוויג	
ד"ר צחי מילגרם	
שולה פוקס	
צביקה אריא	
עטרה סמואל	עריכת הלשון:
ליאורה הרציג	
גדעון דן, אסתי שלנג - סטודיו דן	עיצוב גרפי ואיורים:
אורלי קצוביץ	טיפול בזכויות יוצרים:
ארט פלוס בע"מ	סדר, סריקות ולוחות:

את שלב מהדורת הניסוי ריכז ד"ר צחי מילגרם, ובעיצוב התכנים היו שותפים פנחס בן רובי ויאיר בן ארי.

עיצוב גרפי ראשוני: נאוה מוסקו.

אנו מודים לאנשי השירות המטאורולוגי על העזרה ועל שיתוף הפעולה עמנו.



יצא לאור במימון האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים במשרד החינוך ומטה המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי ע"ש עמוס דה שליט © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך, ירושלים, התשס"ב – 2002

"מעלות" הוצאת ספרים בע"מ

פתח דבר

מזג האוויר הוא תופעת טבע שאנו חווים כל העת. הוא משפיע על תחומים רבים בחיינו וקובע במידה רבה את אורחות חיינו של האדם ברחבי העולם. בספר זה נמיר פרקים עיקריים במדע המטאורולוגיה, העוסק בחקר התופעות שיוצרות את מזג האוויר. תופעות רבות מהמתוארות בספר יהיו מוכרות לכם מחיי היומיום, תוכלו לצפות בהן וכך תהפוך הלמידה למוחשית ומעניינת. אם יש בביתכם מנתח מטאורולוגי תוכלו לשלב בלמידה גם מדידות מטאורולוגיות.

את פרקי הספר מלווים קטעי הרחבה שבהם מוסברים מושגי יסוד שונים (בעיקר מתחום הפיזיקה), הדרושים להבנת התופעות המטאורולוגיות. בקטעי הרחבה אחרים נידונות תופעות מטאורולוגיות מיוחדות. כמו כן, כולל הספר גם הצעות לניסויים הממחישים תופעות מטאורולוגיות. קטעי ההרחבה מודפסים על דף צרועי ולהצעות לניסויים מסגרת מיוחדת.

בשנים האחרונות יש לכל אחד מאיתנו גישה למידע מטאורולוגי באמצעות רשת האינטרנט. מפות מזג אוויר ותחזיות לווין עדכניות, המופיעות ברשת, פותחות ממד מעמיק נוסף לתצפית במזג האוויר ולחקירתו בזמן אמת. כדי להקל את הגישה למידע זה, מלווה את הספר אתר אינטרנט ובו הפניות למבחר אתרים ולפעילויות המתבססות על המידע המצוי ברשת.

בפרקי הספר שילבנו חלק מפעילויות אלה, בפעילויות טימנו בצבע כחול "מילים חמות" באתר, "המילים החמות" מקשרות את הפעילות למידע המטאורולוגי ברשת.

הגישה לאתר מהכתובות האלה:

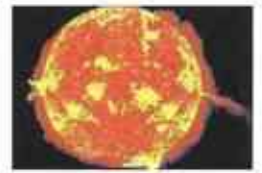
dev2.cet.ac.il/gifted/activities/meteor/index.html

www1.education.gov.il/tochniyot_limuclim/madim_technology.htm

www.telam.openm.ac.il/mutav/

תוכן הצניינים

9	השמש	פרק 1
9	מהי השמש	
12	מערכת השמש	
15	כדור הארץ והשמש	פרק 2
15	סיבוב כדור הארץ סביב עצמו והיממה	
17	הקפת כדור הארץ את השמש ועונות השנה	
27	האטמוספירה וקרינת השמש	פרק 3
27	הרכב האטמוספירה	
33	שכבות האטמוספירה	
40	קרינת השמש וחימום האטמוספירה	
47	צבעים בשמים	
53	לחץ האוויר והרוחות	פרק 4
55	לחץ האוויר	
60	היווצרות הרוח	
70	שקעים ורמות - מבט תלת־ממדי	
73	לחות, עננים ומשקעים	פרק 5
73	הלחות באוויר	
82	עננים	
90	משקעים	
97	ברקים ורעמים	



פרק 6

מצרכת הרוחות והאקלים בצולם 103

- 103 היווצרות אזורי האקלים בכדור הארץ
- 112 גורמים המשפיעים על האקלים
- 120 מערכות מזג האוויר באזורי האקלים הממוזג

פרק 7

סופות חמורות - טורנדו והוריקן 127

- 127 טורנדו
- 131 הוריקן (טיפון, ציקלון)

פרק 8

מזג האוויר בישראל

- 135 אזורי האקלים בישראל
- 138 מזג האוויר על פי עונות השנה

פרק 9

חיזוי מזג האוויר

- 157 שיטות ואמצעים לחיזוי מזג האוויר
- 167 שיקולים בקביעת התחזית

נספח 1

- 173 מנגנונים עיקריים היוצרים שקעים

נספח 2

- 176 טבלה למציאת הלחות היחסית באמצעות תרמומטר יבש ותרמומטר לח

מילון מונחים
ביבליוגרפיה נבחרת
אתרי אינטרנט
מפתח

- 177
- 186
- 186
- 192



פרק 1

השמש

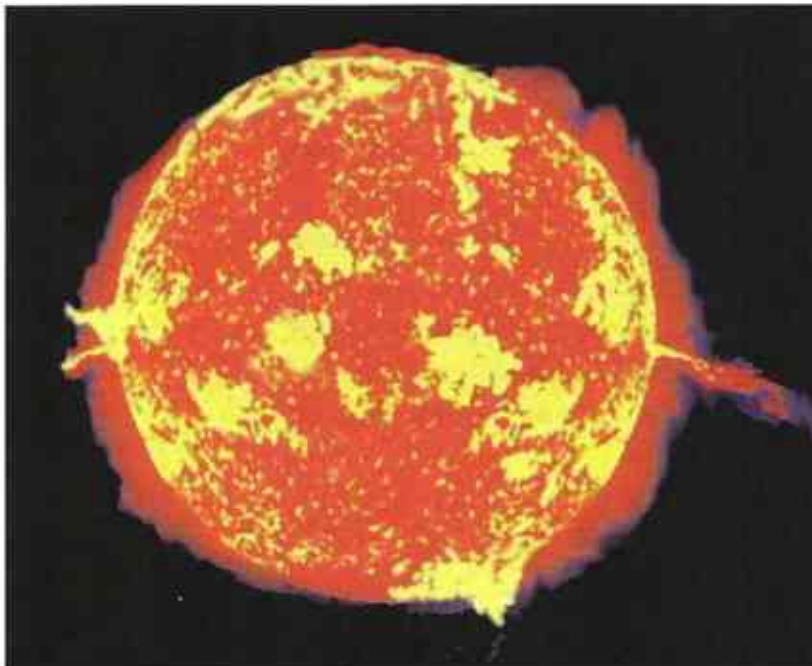
השמש היא מקור האנרגיה העיקרי של כדור הארץ. תופעות טבע כמו גלי הים, הרוחות, ענני הגשם ומצל לכול – הצמחים ובעלי החיים, לא היו מתרחשות אלולא הייתה שמש. בפרק זה נעשה עמה היכרות קצרה.

מהי השמש?

השמש היא **כוכב** אחד מכ-100 מיליארד הכוכבים המרכיבים את **הגלקסיה** שלנו. כוכב (מלבד כוכבי הלכת שידובר בהם בהמשך) הוא גוף שמימי שמתרחשים בו תהליכים הגורמים לו להאיר. יש כוכבים בגדלים שונים, ולכל גודל צבע האופייני לו. כוכבים גדולים מאירים בעיקר בצבע כחול וכוכבים קטנים ובינוניים מאירים בצבע צהוב. השמש (הכוכב "שלנו") נחשבת

לכוכב בינוני, וצבעה הנראה לעינינו הוא צהוב. רוב החוקרים סבורים כי השמש בוערת כבר 4.5 מיליארדי שנים, וככל הנראה תמשיך לבעור עוד כ-5 מיליארדי שנים.

כמו רוב גרמי השמים, השמש היא גוף כדורי. רובה עשוי מגז המימן, ומסתה 2×10^{30} ק"ג (הספרה 2 ו-30 אפסים אחריה!). השמש פולטת אור בכמויות גדולות מאוד, יותר מכל מקור אנרגיה אחר המוכר לנו על פני כדור הארץ. האור הוא סוג של **אנרגיה**. מה מקורה של אנרגיה זו? מהם התהליכים הפיזיקליים המתרחשים בשמש הגורמים לפליטת אנרגיה בכמות כה גדולה?



השמש

חלון אל האנרגיה והחומר

קשה להגדיר את המושג אנרגיה. אין לו הגדרה אחת המוסכמת על הכול. יש אומרים כי כאשר לגוף יש אנרגיה, הוא עשוי לבצע עבודה, או להעביר חום לגוף אחר. ידועים סוגים שונים של אנרגיה. מזכיר כמה דוגמאות: לגופים נעים יש אנרגיית תנועה, וגופים כגון תנורים מספקים לנו אנרגיית חום. סוג אחר של אנרגיה הוא הקרינה האלקטרומגנטית שנוצרת, לדוגמה, בשמש ובמנורות החשמל וגורמת לתופעת האור. במכשירי המיקרוגל גורמת הקרינה האלקטרומגנטית לחימום המזון. סוג נוסף הוא אנרגיה כימית האצורה בדלק שבו משתמשים להנעת המכוניות.

אנרגיה יכולה להתגלגל מצורה אחת לצורה אחרת, אך כמות האנרגיה (במערכת סגורה) נשמרת. כאשר מדליקים אור במנורת החשמל, אנרגיה חשמלית מתגלגלת לאנרגיית אור ולאנרגיית חום. כמות האנרגיה החשמלית שבה משתמשים שווה לסך כל כמויות האנרגיה של האור ושל החום שהפיקה הנורה.

חומר הוא מושג מוחשי יותר מאנרגיה. כל חומר מורכב מחלקיקים זעירים ביותר הנקראים אטומים. בטבע קיימים 92 סוגי אטומים הנקראים **יסודות**, ומהם מורכבים החומרים. יסודות נוספים נוצרים במעבדה באופן מלאכותי.

האטומים קטנים מאוד ואי אפשר לראותם בדרכים הרגילות. למשל, ליצירת שורה של אטומי מימן שאורכה 1 ס"מ, נחוצים 100,000,000 אטומים. לכל אטום גרעין המורכב מ**פרוטונים** הנושאים מטען חשמלי חיובי, ו**מניטרונים** שהם נייטרליים מבחינה חשמלית. מסביב לגרעין נעים אלקטרונים בעלי מטען חשמלי שלילי. באטום נייטרלי מבחינה חשמלית, מספר האלקטרונים שווה למספר הפרוטונים. הסוג של האטום (היסוד) נקבע על-פי מספר הפרוטונים שבגרעין. לכל אטום יש סימון המורכב מאות אחת או שתיים בהתאם לשם הלועזי של היסוד. לדוגמה: חמצן נקרא בלועזית Oxygen, ולכן אטום החמצן מסומן באות O.

כאשר אטומים אחדים מכמה סוגים או מאותו סוג מתחברים, נוצרת **מולקולה**. מולקולות המים היא דוגמה למולקולה שבה התחברו שני יסודות שונים – שני אטומי מימן ואטום אחד של חמצן. הסימול של מולקולה זו הוא H_2O . מולקולת החמצן O_2 היא דוגמה למולקולה המורכבת רק מיסוד אחד, במקרה זה משני אטומי היסוד חמצן.

מקרא:

מימן

חמצן



מולקולת חמצן



מולקולת מימן



מולקולת מים



דקני צפנת

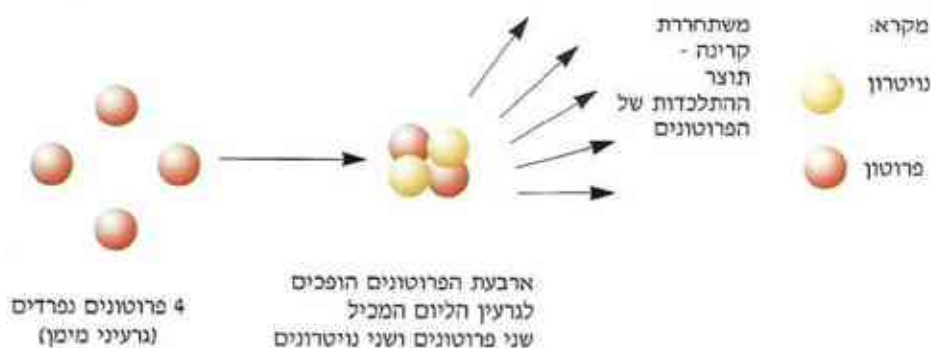
איור 1

מולקולות של מים, מימן וחמצן

שאלות?

1. כתבו את סוגי האנרגיה של הגופים האלה:
 - א. מכנית נוסעת
 - ב. כיכר לחם
 - ג. כוכב.
2. לאילו סוגים של אנרגיה מתגלגלת האנרגיה שבדלק כאשר המכנית נוסעת?
3. הנוסחה הכימית של מי חמצן היא H_2O_2 . אילו יסודות יש במולקולה זו וכמה אטומים מכל יסוד?
4. מה מבדיל יסודות שונים זה מזה?

שאלת מקור האנרגיה של הכוכבים, והשמש בכללם, נותרה ללא מענה עד להתפתחות הפיזיקה הגרעינית. אז הוצעה התאוריה המקובלת עד היום, שלפיה התהליך הגורם לשחרור אנרגיה מהכוכבים הוא תהליך של **היתוך תרמוגרעיני**. בתהליך כזה, המתרחש בתנאים של לחץ ובטמפרטורות גבוהות מאוד, אטום של חומר אחד הופך לאטום של חומר אחר. התהליך העיקרי המתרחש בשמש הוא הפיכת מימן להליום. הלחץ והטמפרטורה הגבוהים השוררים במרכז השמש גורמים לכך שאטומי המימן, שכל אחד מהם מכיל פרוטון אחד, מתקרבים זה לזה. ארבעה אטומים של מימן מתמזגים, שניים מארבעת הפרוטונים הופכים לניוטונים, ונוצר גרעין חדש. בגרעין זה שני פרוטונים ושני ניוטרונים – זהו גרעין של אטום ההליום. מסתו של גרעין ההליום שנוצר, קטנה ממסתם הכוללת של ארבעת גרעיני המימן. לאן "נעלמה" המסה החסרה? מסתבר כי מסה זו הפכה לאנרגיית הקרינה היוצרת את אור השמש.



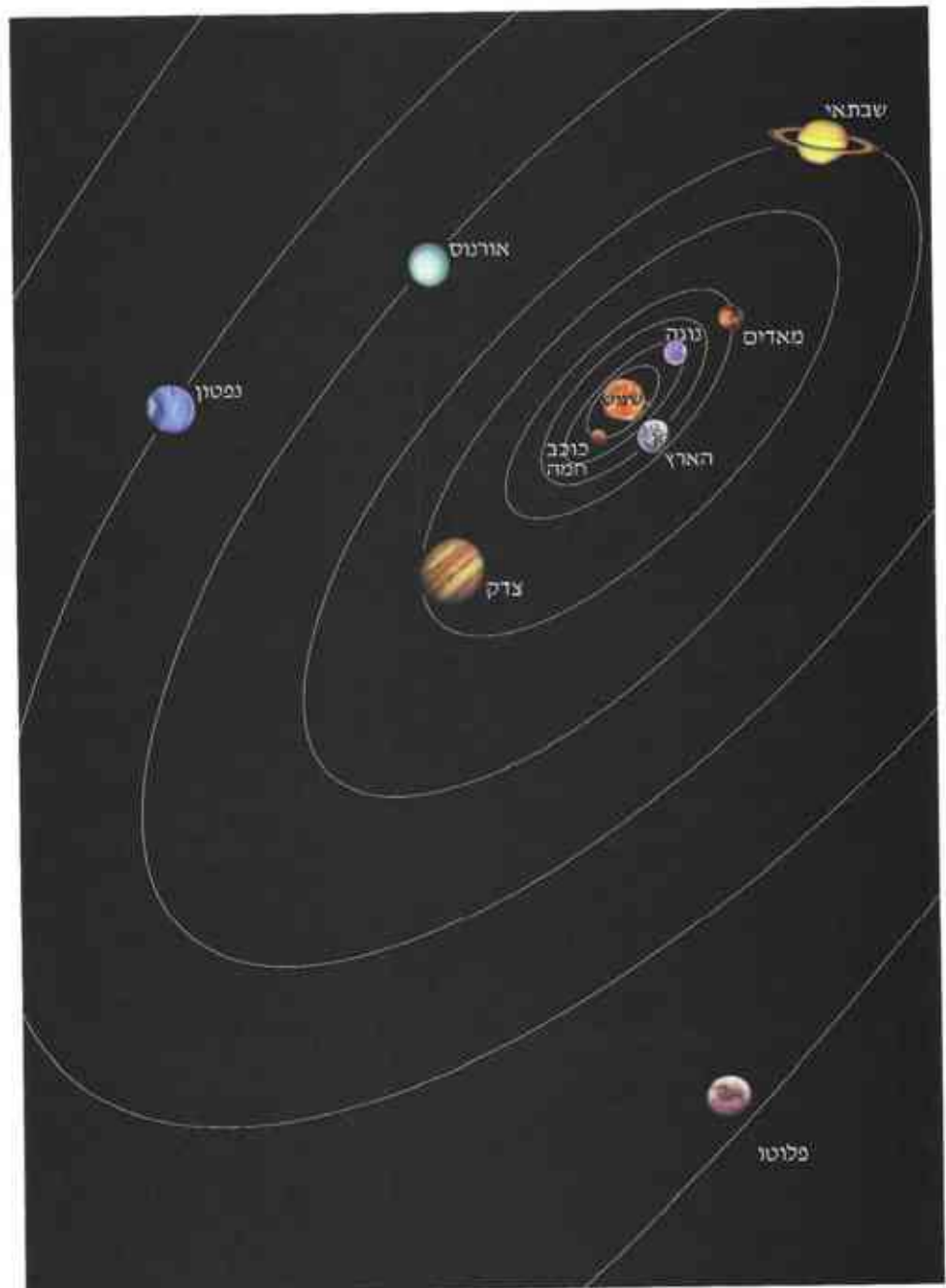
איור 2. תהליך יצירת החלום בשמש

מערכת השמש

מסביב לשמש חגים תשעה גופים גדולים; אלה הם **כוכבי לכת**. כוכבי לכת, בשונה מן השמש, אינם מאירים מעצמם. האור המתקבל מהם הוא קחזר של אור השמש הפוגע בהם. ארבעת

כוכבי הלכת הקרובים לשמש: כוכב חמה, נוגה, כדור הארץ ומאדים, נקראים "כוכבי הלכת הארציים" מכיוון שהמעטפת שלהם מוצקה כמו פני השטח בכדור הארץ. ארבעת כוכבי הלכת האלה: צדק, שבתאי, אורנוס ונפטון, נקראים "ענקי הגז" – אין להם פני שטח מוצקים, והם עשויים מתערובת של גזים שונים. כוכב הלכת התשיעי, פלוטו, אף הוא בעל אופי "ארצי".

לכל כוכב לכת במערכת השמש שתי תנועות עיקריות: סיבוב סביב עצמו ותנועה סביב השמש. לדוגמה: כדור הארץ משלים הקפה אחת סביב צירו ב־24 שעות והקפה סביב השמש בשנה אחת.



שאלות?

1. מדוע מתקבל מהשמש אור שעוצמתו גדולה בהרבה מעוצמת האור של שאר הכוכבים?
2. בתנאים רגילים לא מתרחשים על פני כדור הארץ תהליכים תרמוגרעיניים. מדוע?
3. תארו והסבירו כיצד נוצרת האנרגיה בשמש.
4. מהו מקור האור של כוכבי הלכת?

סיכום



השמש היא כוכב אחד ממיליארדי כוכבים המרכיבים את הגלקסיה שלנו. מקור האנרגיה של הכוכבים הוא תהליך היתוך תרמוגרעיני. בתהליך זה הופכים אטומי מימן לאטומי הליום תוך פליטת אנרגיה רבה. השמש ניצבת במרכזה של מערכת השמש, וסביבה חגים תשעה כוכבי לכת, שכדור הארץ הוא אחד מהם. כוכבי הלכת אינם מאירים מעצמם, והם נראים לעין משום שהם מחזירים את אור השמש הנופל עליהם.



דבני צפנה



פרק 2

כדור הארץ והשמש

היוונים הקדמונים היו הראשונים ששיערו כי הארץ היא כדור. במאה ה־4 לפני הספירה הצלה הראקלידס את ההשערה כי הארץ סובבת סביב צירה. אריסטרכוס (310–230 לפנה"ס) הוסיף על כך כי הארץ סובבת גם סביב השמש. תפיסות אלו לא התקבלו, ותפיסת הצולם המקובלת הייתה של אריסטו (384–322 לפנה"ס) ותלמי (המאה ה־2 לספירה) שסברו כי כדור הארץ עומד ללא נוע במרכז היקום, ואילו השמש, הירח וכוכבי הלכת סובבים סביבו. תפיסה זו הייתה מקובלת במשך כ־1400 שנה עד המאה ה־15 לספירה.

במאה ה־15 ניסה האסטרונום הפולני ניקולאס קופרניקוס (1473–1543) לשפר את יכולות הניבוי של תנועת כוכבי הלכת, ולשם כך חזר והצלה את המודל שלפיו השמש נמצאת במרכז, וכוכבי הלכת, ובכלל זה הארץ, סובבים סביבה. בכך פתח קופרניקוס את העידן המודרני של האסטרונומיה. כיום אנו יודעים כי השמש שלנו היא אחד ממיליארדי כוכבים המרכיבים את גלקסיית שביל החלב, שגם היא רק אחת ממספר בלתי ידוע של גלקסיות (צבירי כוכבים) המרכיבות את היקום.

סיבוב כדור הארץ סביב עצמו והיממה

כדור הארץ סובב סביב ציר דמיוני העובר דרך הקטבים. הוא משלים סיבוב כזה ב־24 שעות. כיוון הסיבוב הוא ממערב למזרח, וכתוצאה ממנו אנו עדים לתנועתם המדומה של השמש והכוכבים – הזורחים במזרח והשוקעים במערב. הסיבוב הוא הגורם לקיום יום ולילה ולהבדלי שעות בין ארצות שונות על פני כדור הארץ. כאשר אנו בצד הפונה לשמש, אצלנו יום, וכאשר אנו בצד החשוך – אצלנו לילה.

איור 4 יום ולילה בכדור הארץ



אור השמש מוקרן אל חציו הימני של כדור הארץ שם יום.



לאחר שעות אחדות מוקרן אור השמש אל האזורים שהיו קודם בעלטה.

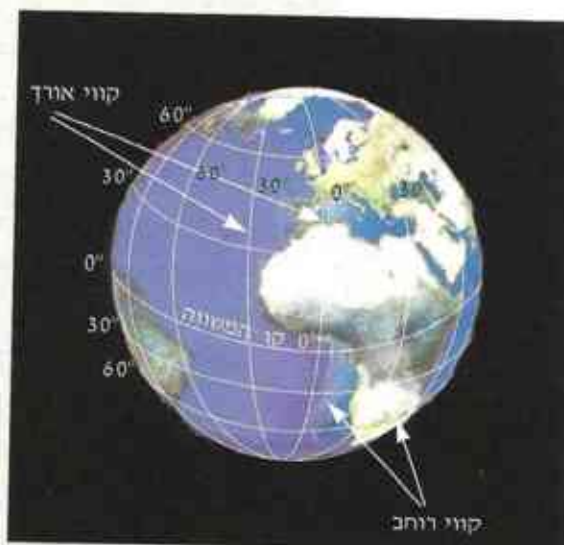
קווי האורך והרוחב

דרך מקובלת להגדיר את מיקומן של נקודות על פני כדור הארץ היא באמצעות רשת של קווי אורך ורוחב דמיוניים (קואורדינטות).

קווי הרוחב הם מעגלים דמיוניים המקיפים את כדור הארץ בכיוון מערב-מזרח. קו המשווה הוא קו הרוחב העובר באמצע הדרך בין הקוטב הצפוני והקוטב הדרומי. יתר הקווים מקבילים לקו המשווה וממוספרים ביחידות של מעלות, בטווח שבין 0° בקו המשווה ל- 90° בכל אחד מהקטבים. קווי הרוחב העוברים מצפון לקו המשווה מסומנים לצד מספרם באות N (North-צפון), והקווים העוברים מדרום למשווה מסומנים לצד מספרם ב-S (South-דרום). למעשה, קווי הרוחב מציינים בכמה נקודה כלשהי היא צפונית או דרומית ביחס לקו המשווה. לדוגמה: ירושלים נמצאת על קו רוחב 32° N וניו יורק בקו רוחב 42° N.

קווי האורך הם קווים דמיוניים המקיפים את כדור הארץ בכיוון קווי האורך צפון-דרום נפגשים בשתי נקודות: הקוטב הדרומי והקוטב הצפוני.

קו האפס של קווי האורך מוגדר שרירותית כקו העובר בעירה גריניץ' בבריטניה. קווי האורך הנמצאים ממזרח לקו האפס, יסומנו לצד מספרם באות E (East-מזרח), ואילו אלה הנמצאים ממערב לו יסומנו לצד מספרם באות W (West-מערב). לדוגמה: ירושלים נמצאת סמוך לקו אורך 35° E, וניו יורק נמצאת על קו אורך 74° W.



איור 5 קווי אורך וקווי רוחב

? שאלות (היעזרו באטלס)

1. ציינו את מקומן של הערים הבאות בעזרת קווי אורך וקווי רוחב:

א. אילת

ב. מוסקבה

ג. לונדון

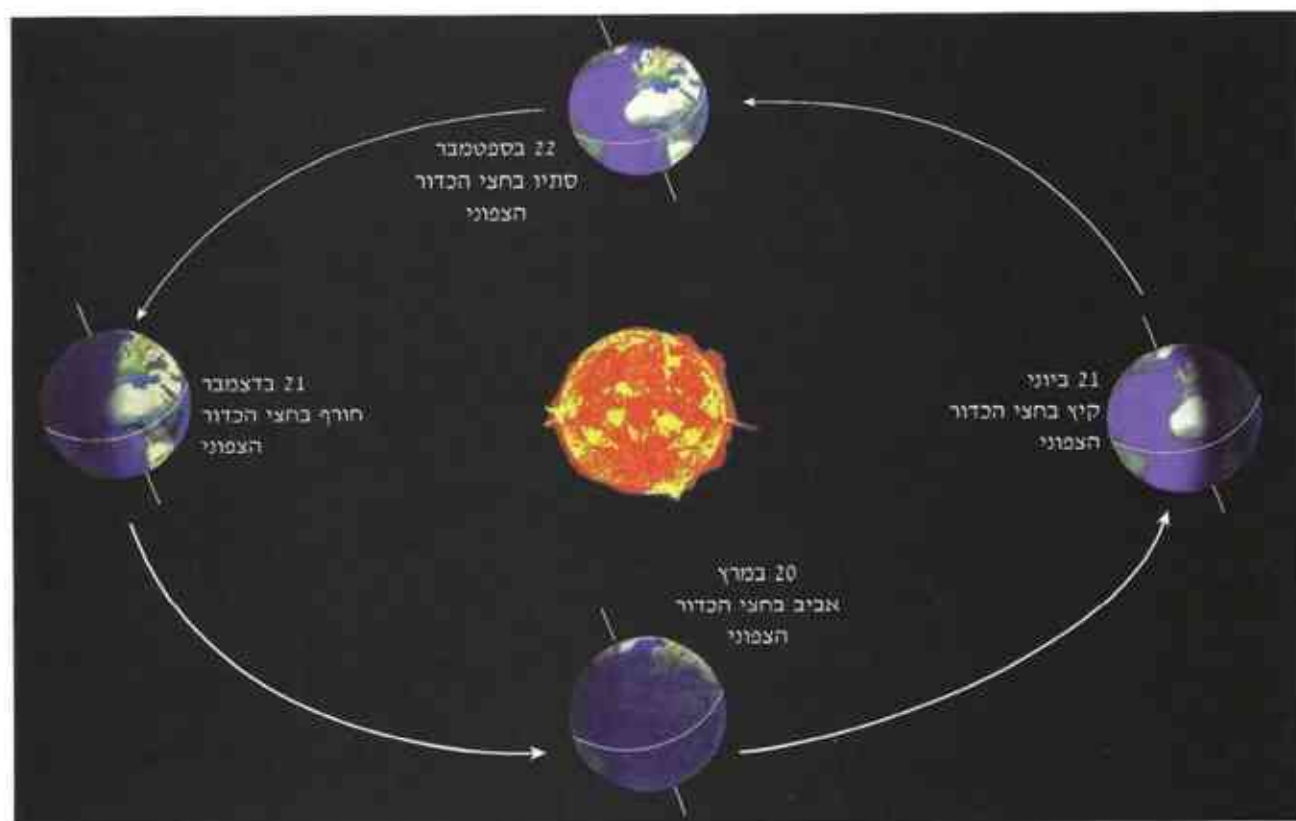
2. אילו ערים ממוקמות בנקודות אלה:

א. 36° N 140° E

ב. 23° S 43° W

הקפת כדור הארץ את השמש ועונות השנה

כדור הארץ מקיף את השמש במשך שנה במהירות של כ־30 ק"מ בשנייה. מסלולו – אליפסה הקרובה מאוד למעגל. יוצא אפוא שמרחק כדור הארץ מהשמש אינו קבוע, אלא משתנה בהתאם למיקומו על פני מסלול ההקפה. ב־3 בינואר מדי שנה מגיע כדור הארץ לנקודה הקרובה ביותר לשמש, ואז מרחקו ממנה הוא כ־147 מיליון ק"מ. כעבור חצי שנה, ב־4 ביולי, נמצא כדור הארץ בנקודה הרחוקה ביותר מן השמש, ומרחקו ממנה הוא כ־152 מיליון ק"מ. שימו לב! דווקא ב־4 ביולי, כאשר בחצי הכדור הצפוני קיץ, כדור הארץ מגיע לנקודה הרחוקה ביותר מהשמש! משמע, הסיבה לקיום עונות השנה אינה קשורה לשינויים במרחק הארץ מהשמש כפי שרבים נוטים לחשוב, אלא בסיבה אחרת כפי שנראה מיד.

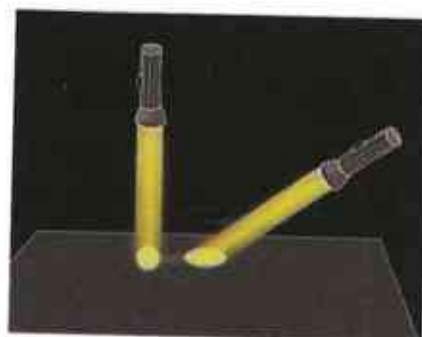


איור 6 מסלול כדור הארץ סביב השמש

המישור (הדמיוני) שבו כלול מסלול ההקפה של הארץ נקרא **מישור המלקה**. הציר הדמיוני שסביבו מסתובב כדור הארץ נוסה כלפי מישור המלקה בזווית 66.5° נטייה זו גורמת לכך שעוצמת הקרינה המתקבלת במקום מסוים על פני כדור הארץ משתנה במהלך השנה. נסביר זאת באמצעות איור 7 שבו מתואר מצבו של כדור הארץ ב־ $21/6$ (שיאו של הקיץ בחצי הכדור הצפוני). כפי שניתן לראות, חצי הכדור הצפוני נוסה כלפי השמש. לכן, הקרינה הנופלת על קווי הרוחב שבו היא ישירה יותר ועל כן היא חזקה יותר מהקרינה על אותם קווי רוחב בחצי הכדור הדרומי. קרינה הנופלת בזווית ישירה או קרובה לה – מחממת יותר, שכן אותה כמות קרינה מחממת שטח קטן בהשוואה לשטח שמחממת קרינה בזווית חדה.



איור 7 כדור הארץ במצב של קיץ צפוני, עוצמת הקרינה הנופלת על קווי הרוחב בחצי הכדור הצפוני גדולה מזו הנופלת על אותם קווי רוחב בחצי הכדור הדרומי



איור 8 זווית ההארה של הפנס קובעת את עוצמת החימום של המשטח

אפשר להדגים תופעה זו באמצעות פנס. כאשר הפנס מאיר משטח מסוים במאונך, האור פוגע בשטח קטן ולכן עוצמת ההארה גבוהה. לעומת זאת, אם נאיר משטח בפנס מלכסן, יתפזר האור על־פני שטח גדול, ועוצמת ההארה שתתקבל ליחידת שטח תהיה נמוכה.

סיבה נוספת לקיום קיץ בתאריך זה בחצי הכדור הצפוני היא ששעות האור בחצי הכדור הצפוני רבות משעות האור בחצי הכדור הדרומי. שעות אור רבות יותר גורמות, כמובן, לחימום רב יותר.

בהמשך השנה משנה כדור הארץ את מצבו ביחס לשמש, ואזורים אחרים עליו מקבלים את מרב הקרינה. ב־ $22/9$ שווים היום והלילה באורכם בכל כדור הארץ, ובתקופה זו שורר סתיו בחצי הכדור הצפוני, ואביב – בחצי הכדור הדרומי. ב־ $21/12$ הוא היום הקצר ביותר בחצי הכדור הצפוני, והיום הארוך ביותר – בחצי הדרומי. זוהי תקופת החורף הצפוני והקיץ הדרומי. פחות קרינה מגיעה לחצי הכדור הצפוני ויותר קרינה מגיעה לחצי הכדור הדרומי. ב־ $20/3$ שוב משתווה אורכם של היום והלילה. בתאריך זה, בחצי הכדור הצפוני שורר אביב, ובדרומי – סתיו.

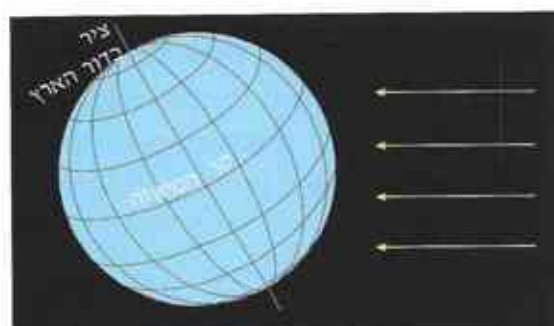
לסיכום נוכל לומר כי **הקיץ** נוצר כתוצאה מעוצמת הארה גדולה במשך שעות אור רבות. **חורף** הוא תוצאה של עוצמת הארה נמוכה במשך שעות אור מועטות.

שאלות?

- עיינו באיור 7, בעמ' 18.
א. על איזה משני חצאי הכדור עוצמת הקרינה רבה יותר?
ב. כיצד קובע הדבר על העונה שתהיה בכל אחד מחצאי הכדור?
2. ציינו איזו עונה מתוארת בחצי הכדור הצפוני, ואיזו עונה מתוארת בחצי הכדור הדרומי בכל אחד מהמצבים שבאיור 9:



מצב ב



מצב א

- הסבירו מדוע שעות הבוקר קרירות יותר משעות הצהריים. (רמז - במהלך היום משנה השמש את גובהה בשמים).

שינויים אקלימיים בתולדות כדור הארץ

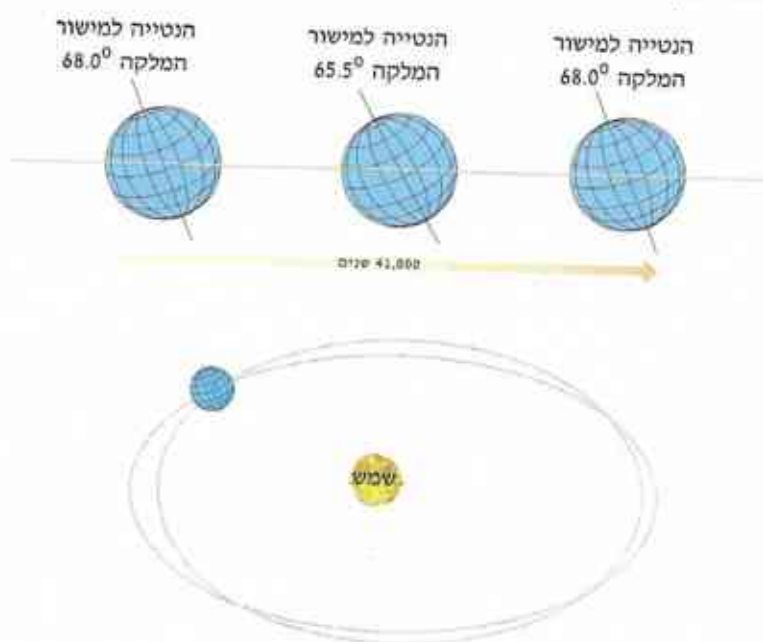
מבדיקת ממצאים גאולוגיים, כגון סלעים בקרקעית הים וקרחונים עתיקים בקטבים, ניתן להסיק על **אקלים**¹ כדור הארץ בעבר הרחוק. מסתבר כי אקלים כדור הארץ אינו קבוע, אלא נתון לשינויים מחזוריים הכוללים בין השאר תקופות קרח. מתברר כי מדי כמה עשרות אלפי שנים פקדו את כדור הארץ כמה תקופות קרח, שהתאפיינו באקלים קר יותר ובהתפשטות כיפות הקרח מן הקטבים וסביבותיהם אל עבר קווי הרוחב האמצעיים.

הסיבות לשינויי האקלים אינן ברורות. אחת התאוריות של מדען סרבי בשם מילנקוביץ מסבירה את התופעה בשינויים באופן שבו מסתובב כדור הארץ מסביב לשמש. שינויים אלה גורמים לשינויים בקרינת השמש המגיעה לכדור הארץ.

1. אקלים - תנאי מזג האוויר הממוצעים, לאורך השנה, במקום מסוים. (מזג אוויר - תנאים אטמוספיריים כגון: טמפרטורות, לחות, משקעים, עננות ורוחות במקום מסוים, בזמן נתון.)

שינוי אחד הוא בנטיית ציר כדור הארץ למישור המלקה. כיום נוטה הציר למישור המלקה בזווית של 66.5° , אולם מסתבר כי נטייה זו אינה קבועה. בתנועה מחזורית שאורכה כ-41,000 שנים, משנה ציר כדור הארץ את נטייתו בין זווית של 66.5° לזווית של 68.0° . הטענה היא שכאשר הציר נוטה פחות, החורף והקיץ נעשים מתונים (חורף קר פחות וקיץ חם פחות), ולכן שלג שנערם בחורף אינו מספיק להפשר בקיץ. כך גדלה אט-אט כמות הקרח בכדור הארץ.

שינוי אחר הוא מידת האליפטיות של מסלול תנועת כדור הארץ. בתחילת פרק זה הזכרנו כי צורת מסלול כדור הארץ סביב השמש היא אליפסה הקרובה מאוד למעגל. מסתבר כי במחזור שאורכו 100,000 שנים, צורת המסלול הופכת אליפטית יותר ואחר כך שוב אליפטית פחות. במסלול שהוא אליפטי בהרבה מזה הקיים כיום, תשפיע צורת המסלול על עונות השנה ואקלים כדור הארץ.



איור 10 שינוי בזווית הנטייה של כדור הארץ למישור המלקה ושינוי במידת האליפטיות של מסלול כדור הארץ סביב השמש, עשויים לגרום לשינוי אקלימי בכדור הארץ

שאלות?

1. כאשר נטיית ציר כדור הארץ למישור המלקה קטנה, קטנים ההבדלים בין עונות השנה. מדוע?
2. מה יקרה לעונות השנה אם האליפטיות של כדור הארץ תגדל במידה ניכרת?
3. על פי התאוריה של מילנקוביץ, באילו תנאים עלולה להיווצר תקופת קרח קשה במיוחד?

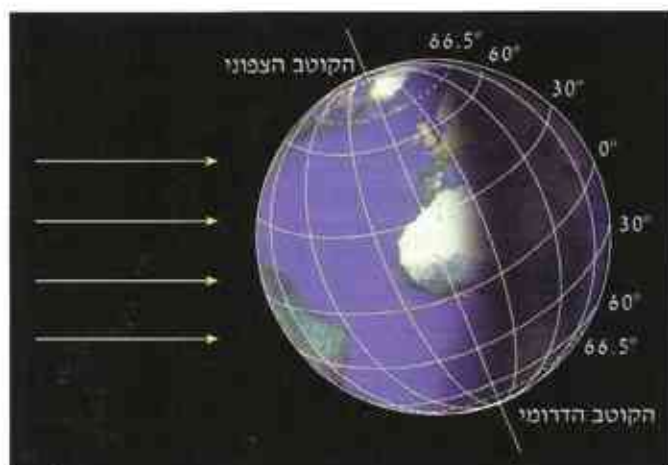
המהלך השנתי של הקרינה באזור קו המשווה ובקטבים



איור 11 שמש בזנית

כפי שראינו, יש חשיבות רבה לזווית שבה קרני השמש נופלות על פני כדור הארץ. מצב שבו השמש היא בזווית של 90° מעל האופק (בדיוק מעל הראש), נקרא **זנית**. בכל תאריך במהלך השנה, בשעת הצהריים, השמש נמצאת בזנית בקו רוחב אחר. בשיאו של הקיץ הצפוני, בתאריך 21/6, השמש בזנית בקו רוחב 23.5° צפון. קו רוחב זה נקרא "חוג הסרטן". בשיאו של הקיץ הדרומי, בתאריך 21/12, השמש בזנית בקו רוחב 23.5° דרום. קו רוחב זה נקרא "חוג הגדי". בשאר ימות השנה, השמש נמצאת בזנית בשעת הצהריים בקווי רוחב אחרים שבין חוג הסרטן וחוג הגדי. רצועת כדור הארץ התחומה בין שני קווי רוחב אלה, מקבלת אפוא את עוצמת הקרינה הגבוהה ביותר במשך השנה כולה. השמש לעולם אינה מגיעה לזנית, מחוג הסרטן צפונה ומחוג הגדי דרומה.

תופעה חשובה נוספת מתרחשת באזור הקטבים. איור 12 מתאר את הקיץ הצפוני. שימו לב לאזור שבין קו הרוחב $66.5^\circ N$ לבין הקוטב הצפוני: שום חלק מן ה"כיפה" התחומה על ידי קו רוחב זה אינו נמצאת באף אחד מחלקיה באזור החשוך, כלומר בכל האזור שורר יום. אם תסובבו בדמיונכם את כדור הארץ, תבחינו כי שום נקודה ב"כיפה" לא תיכנס לתחום החשוך. מכאן שבתאריך 21/6 השמש אינה שוקעת כלל בתחום קווי הרוחב האלה ולא יהיה בהם לילה. (לעומת זאת, באזור שמדרום לקו הרוחב $66.5^\circ S$ לא תיראה השמש כלל ולא יהיה בו יום בתאריך זה.)



איור 12 ב-21/6 בקיץ צפוני, האזורים שמצפון לקו הרוחב $66.5^\circ N$ מוארים בכל שעות היממה, לעומת זאת, לאזורים שמדרום לקו הרוחב $66.5^\circ S$ לא מגיע אור בכלל.

ככל שמתרחקים מה-21/6 אל עבר הסתיו, מתחיל לילה קצר מצפון לקו רוחב $66.5^\circ N$. תחילה נוצר הלילה באזורים הקרובים לקו רוחב $66.5^\circ N$ ואחר כך גם באזורים צפוניים יותר. עם הזמן מתארך הלילה, וב-21/12 לא תאיר עוד השמש מצפון לקו רוחב $66.5^\circ N$. הקוטב הצפוני עצמו מואר חצי שנה (מ-21/3 עד 21/9) וחשוך חצי שנה (מ-21/9 עד 21/3).

חשוב לציין כי למרות היום הארוך מאוד באזורי הקטבים בקיץ, גובהה של השמש בשמים הוא נמוך, ולכן סך כל האנרגיה שמגיעה לאזור, קטנה.

ההבדלים בעוצמת קרינת השמש באזור קו המשווה ובאזור הקטבים, גורמים לכך שאזור קו המשווה מתחמם יותר מאזורי הקטבים. עובדה זו היא גורם מרכזי בהיווצרות מערכות מזג האוויר והאקלים בעולם כולו, ובכך נעסוק בהרחבה בהמשך.



השמש זורחת
לראשונה לאחר
ארבעה חודשי
חושך בחורף
באזור הקוטב
בצפון קנדה

שיאם של הקיץ והחורף

ראינו כי ביום 21/6 השמש מכה בכל עוז על חצי הכדור הצפוני: בתאריך זה פגיעת קרני השמש היא הישירה ביותר ושורר שם היום הארוך ביותר. היינו מצפים כי יום זה יהיה החם ביותר בחצי הכדור הצפוני; בפועל אין הדבר כך. שיא הקיץ, המלווה בטמפרטורות הגבוהות ביותר, מגיע רק בחודשים יולי – אוגוסט. הסיבה העיקרית לפער הזמנים היא כי אנרגיה רבה, שהצטברה בימים ובאוקיינוסים בימי יוני ויולי הארוכים, מוסיפה להיפלט לאוויר במשך כחודשי חודשיים לאחר היום הארוך ביותר. עקב זאת ממשיכות הטמפרטורות לעלות. תופעה מקבילה מתרחשת גם בחורף. בתאריך 21/12, חימום השמש בחצי הכדור הצפוני הוא מינימלי, אולם זו איננה עדיין התקופה הקרה ביותר. בישראל, לדוגמה, קורה לא פעם שבחודש דצמבר "עוד לא התחיל החורף" – הטמפרטורות עדיין גבוהות יחסית וכמות **המשקעים** מועטה. הטמפרטורות הנמוכות ביותר מגיעות אלינו רק בחודשים ינואר-פברואר. הסיבה לכך היא שחום מהקיץ שחלף עדיין אצור בימים ובאוקיינוסים, והוא ממשיך להיפלט ולמנוע את ירידת הטמפרטורות למינימום ב־21/12. תופעה דומה ניכרת לרוב גם במהלך היום: אמנם השמש מגיעה לשיא גובהה בשמים בסביבות



דקלני ציפית

השעה 12.00 בצהריים, אולם השעה החמה ביותר במקרים רבים היא 15.00 בקירוב. הסיבה לפער הזמנים היא, שחולף זמן עד שהחום הנפלט מכדור הארץ מחמם את המסה הגדולה של האוויר הנמצאת מעליו.

הדגמות – עונות השנה והשתנות אורך היום והלילה

כלים וחומרים

נר או נורה קטנה (שאינה מטילה אור רב מדי), גלובוס, חדר חשוך

1. עונות השנה

הוראות ביצוע

- ✦ הדליקו את מקור האור (שמייצג את השמש) ומקמו את הגלובוס ביחס לנר באופן שיתאים לתאריך 21/6. (רצוי למקם את הגלובוס כך שציר כדור הארץ יפנה אל אחד המפגשים של קיר החדר עם התקרה).
- ✦ היזו את הגלובוס נגד כיוון השעון על המסלול המעגלי שבו סובב כדור הארץ סביב השמש (הנר). כך שכדור הארץ יבצע חצי מהסיבוב. הקפידו לשמור שציר כדור הארץ יפנה באותו הכיוון שבו מיקמתם אותו בתחילה.

שאלות ומשימות?

1. כיצד השתנתה חלוקת האור עליפני הגלובוס בעת שהזזתם אותו? מה קרה בקטבים?
2. כמה זמן "עבר" בחצי הסיבוב שעשיתם?
3. באיזו עונה התחלנו את ההדגמה ובאיזו עונה סיימנו אותה?
4. מקמו את הגלובוס על מסלול הסיבוב סביב השמש. הקפידו שהציר יפנה כל העת באותו הכיוון, כך שיתקבלו:
 - א. אביב צפוני
 - ב. קיץ צפוני
 - ג. חורף צפוני
 - ד. קיץ דרומי
 - ה. סתיו דרומי.

2. השתנות אורך היום במהלך השנה

הוראות ביצוע

- ✦ הדביקו על הגלובוס שתי מדבקות נייר קטנות האחת בנקודה 45°N 30°E והאחרת בנקודה 45°S 30°E .
- ✦ הציבו את כדור הארץ במצב של קיץ צפוני, שבו שתי המדבקות נמצאות בצדו החשוך של הגלובוס.
- ✦ סובבו לאט את הגלובוס סביב עצמו ושימו לב מתי מתחילה כל אחת מהמדבקות להיות מוארת ומתי היא נכנסת שוב לאזור החשוך.

? שאלות

1. איזו מדבקה הוארה זמן רב יותר?
2. איזו מדבקה תואר זמן רב יותר במצב של חורף צפוני?

תצפית - מעקב אחר זווית השמש מעל האופק הדרומי



כלים וחומרים

עמוד (רצוי עמוד שקבוע בקרקע, כגון עמוד של גדר), סרט מדידה

הוראות ביצוע

- בצעו את התצפיות 3 פעמים, **בכל פעם באותה השעה** בהפרש של שבוע לפחות. מדדו בסרט מדידה את אורך הצל שהעמוד מטיל על המשטח. רצוי לסמן את קצה הצל בכל מדידה בתקיעת מסמר עם התאריך בקרקע. רשמו את התוצאות בטבלה:

תאריך	שעה	אורך הצל

שאלות?

1. מהו הקשר בין אורך הצל וזווית השמש מעל לאופק?
2. מה הייתה מגמת השינוי באורך הצל בתקופה שבה ערכתם את התצפיות?
3. מדוע חלים השינויים באורך הצל?
4. מה הייתה מגמת השינוי באורך הצל אילו ערכתם את התצפיות חצי שנה לאחר מכן?
5. מדוע חשוב שכל התצפיות יתקיימו לפי אותו שעון (שעון קיץ או שעון חורף)?

שאלות?

1. א. מהי המשמעות האקלימית של גובה השמש בשמים בצהריים?
ב. במה יתאפיין האקלים באזורים שבהם השמש מגיעה לזנית?
2. באילו קווי רוחב מגיעה השמש במהלך השנה לזנית בשעת הצהריים?
3. באיזה קו רוחב, בשעת צהריים, לא יטיל גופכם כל צל בתאריכים אלה:

א. $21/6$ ב. $21/9$ ג. $21/12$

4. א. היכן, בשעת צהריים, יטיל גופכם צל ארוך יותר: בקו רוחב 30° או בקו רוחב 60° ?
ב. באיזה אזור, קו רוחב 30° או קו רוחב 60° , הטמפרטורות בשעת הצהריים נמוכות יותר?
5. מה קורה ב־ $21/6$ בחצי הכדור הדרומי בין קו רוחב $66.5^\circ S$ לקו רוחב $90^\circ S$ מבחינת אורך היום ואורך והלילה?



דקדקי הצפוד

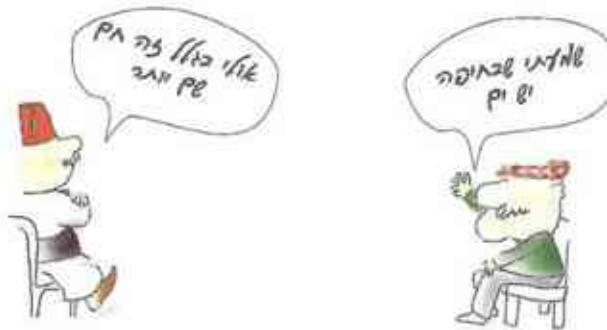
שאלות סיכום?

1. מהן שתי התנועות העיקריות של כדור הארץ ולאיילו תופעות הן גורמות?
2. דמיינו כוכב לכת שציר הסיבוב שלו מאונך (90°) למישור המלקה.
א. סרטטו עבורו איור הדומה לאיור 12 בעמ' 21.
ב. מה יקרה בכוכב לכת זה לעונות השנה?
ג. כיצד ישתנה אורך היום בכוכב זה במהלך השנה?
3. ענו שוב על סעיפים א' – ג' בשאלה 2, ביחס לכוכב לכת שנטיית ציר הסיבוב שלו למישור המלקה היא 0° .

סיכום



היום והלילה נוצרים כתוצאה מסיבוב כדור הארץ סביב ציר. עונות השנה נוצרות בעת סיבוב כדור הארץ סביב השמש. נטיית ציר כדור הארץ למישור המלקה גורמת לכך שבמהלך השנה משתנה כמות קרינת השמש על כל אחד מחצאי כדור הארץ (החצי הצפוני והחצי הדרומי). בחצי הכדור שבו כמות הקרינה רבה יותר, קיץ, ובחצי הכדור השני – חורף. שיאי הטמפרטורות בקיץ (הטמפרטורות הגבוהות) ושיאי הטמפרטורות בחורף (הטמפרטורות הנמוכות) מתרחשים רק כחודשי-חודשיים לאחר התאריך שבו מגיעה הקרינה לשיאה הגבוה או הנמוך. הסיבה לעיכוב היא שגם בקיץ וגם בחורף, קרינה שנקלטה באוקיינוסים ובימים לפני תאריכי השיא, ממשיכה להיפלט לאוויר ולחמם אותו.



פרק 3

האטמוספירה וקרינת השמש

דמיינו כוכב לכת קפוא בלילות ולוהט בימים, שצבע שמיו שחור גם כאשר השמש בשמים. כך היה נראה כדור הארץ שלנו אלמלא הוקף באטמוספירה. למזלנו יש לכדור הארץ אטמוספירה, ובזכותה קיימים בו תנאים המאפשרים חיים. בפרק זה נכיר את הרכב האטמוספירה ואת האופן שבו היא מושפעת מקרינת השמש.

הרכב האטמוספירה

האטמוספירה היא תערובת של גזים, שאינם יוצרים כמעט תרכובות כימיות זה עם זה. ההרכב הכימי של האטמוספירה נשמר כמעט ללא שינוי עד לגובה של 100 ק"מ, אם כי כמויות הגזים הולכות וקטנות עם הגובה.

הגז	סימון הכימי	שכיחות בנפח אוויר יבש (שאינו מכיל אדי מים)*
חנקן	N_2	78.08%
חמצן	O_2	20.95%
ארגון	Ar	0.93%
פחמן דו־חמצני	CO_2	0.035%
ניאון	Ne	0.0018%
אוזון	O_3	0.0012%

טבלה 1
הרכב האטמוספירה

* כאשר האוויר מכיל אדי מים (H_2O), שכיחותם מגיעה עד 4% מנפח האוויר.

נזכיר בקצרה את תכונות הגזים העיקריים:

חנקן – החנקן הוא היסוד השכיח ביותר. הוא חיוני לכל היצורים החיים כאחד היסודות שמהם בנויים חלבונים וחומצות גרעין. למרות שכיחותו הגבוהה באוויר, הוא נצרך ישירות מהאוויר רק

על ידי סוגי חיידקים מעטים, ואילו שאר היצורים החיים מקבלים אותו רק דרך מזונם בצורה של תרכובות חנקן. מאז תחילת המאה ה-20 מנצלים את החנקן שבאוויר לייצור דשנים המשמשים בחקלאות, ובזכותם גדל באופן משמעותי ייצור המזון בעולם. חנקן חוזר לאוויר באמצעות מיקרואורגניזמים שונים שמפרקים תרכובות חנקן.

חמצן - בלעדי החמצן לא היו מתאפשרות רוב צורות החיים על פני כדור הארץ. החמצן מהווה כ-21% מכלל האוויר באטמוספירה, והוא חיוני לנשימת מרבית היצורים החיים ולתהליכי הבעירה השונים. מאזן החמצן נשמר בזכותם של הצמחים הפולטים חמצן לאוויר בתהליך הפוטוסינתזה.

ארגון - ארגון הוא גז אציל, שאינו מגיב ואינו מתרכב עם שום חומר אחר.

פחמן דו-חמצני - פחמן דו-חמצני (CO_2) הוא תוצר לוואי של כל תהליכי הבעירה, לרבות הנשימה בבעלי החיים ובצמחים. הפחמן הדו-חמצני נקלט מהאוויר על ידי הצמחים בתהליך הפוטוסינתזה. למרות כמותו הזעירה, לגז זה השפעה רבה על היווצרות אפקט החממה (ראו עמ' 41).

אוזון - האוזון הוא מולקולה המורכבת מ-3 אטומי חמצן. חשיבותו הגדולה היא בשכבת הסטרטוספירה¹, בגובה שבין 20 ל-40 ק"מ מעל פני הקרקע, שם הוא מגיע לריכוז מרבי. האוזון בשכבה זו בולע קרינה אולטרה-סגולה (UV), ומונע ממנה להגיע לפני כדור הארץ. לקרינה זו השפעות מזיקות על יצורים חיים. בתחילת שנות ה-80 נתגלה כי חומרים שונים בשימוש האדם הנפלטים לאוויר, גורמים להידלדלות שכבת האוזון, ועקב כך גוברת חדירתה של הקרינה האולטרה-סגולה לפני כדור הארץ.

האוזון מצוי גם סמוך לקרקע; שם הוא נוצר בעת סערות ברקים ובמהלך פירוקם של חומרים מזהמים הנוצרים בעת פעולתם של כלי רכב ומפעלי תעשייה. אוזון בריכוז גבוה מסוכן ליצורים חיים הבאים עמו במגע.

נוסף לגזים אלו, האטמוספירה מכילה גם אדי מים. אדי המים הם מרכיב שריכוזו אינו קבוע, אלא הוא משתנה בהתאם לאזור ולמזג האוויר. מקור אדי המים באטמוספירה הוא התאדות מי האוקיינוסים והתאדות מים ביבשה - מנהרות, מאגמים ומצמחים. אדי המים הם הגז העיקרי הגורם להיווצרות אפקט החממה, שעליו נלמד בהמשך הפרק.



זכרי צלפת

1. סטרטוספירה - שכבת האוויר בגבהים שבין 12 ק"מ ל-50 ק"מ (ראו להלן בעמ' 33)

הידלדלות שכבת האוזון

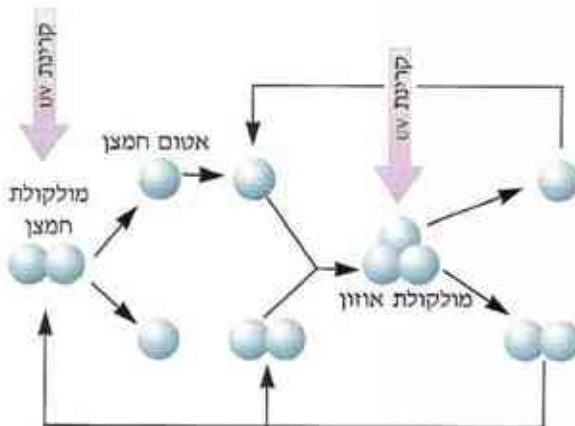
משלחות מחקר, ששהו באנטארקטיקה בשנות ה־70 ועסקו במדידת ריכוזי האוזון בסטרטוספירה מצאו שמדי שנה בתקופת האביב יורד ריכוז האוזון בקוטב הדרומי במידה ניכרת. לתופעה זו הן קראו "החור באוזון". מעקב רבישנתי שהתקיים מאז העלה, כי עם השנים גוברת הירידה בכמות האוזון בתקופת האביב. מדידות אוזון בשאר חלקי העולם העלו, כי הידלדלות האוזון בסטרטוספירה קיימת לא רק באנטארקטיקה אלא גם באזורים אחרים בעולם, אם כי במידה פחותה בהרבה.

תהליכים טבעיים בשכבת האוזון

פירוק ויצירה של אוזון מתקיימים בסטרטוספירה כל העת באופן טבעי. כשקרינה אולטרה־סגולה נבלעת במולקולות האוזון והחמצן.

נפרט תהליכים אלה:

פירוק האוזון מתרחש כאשר הוא בולע קרינת UV, הגורמת לכך שהוא מתפרק למולקולות חמצן ולאטום חמצן. במקביל, מתרחש תהליך הפוך של יצירת אוזון, כאשר מולקולות חמצן בולעות קרינת UV ומתפרקות לשני אטומי חמצן. אטומים אלה מתנגשים עם מולקולות חמצן ויוצרים מחדש אוזון. בין שני התהליכים הללו, הפירוק והיצירה, קיים שיווי משקל וכך כמות האוזון בסטרטוספירה נותרת קבועה.

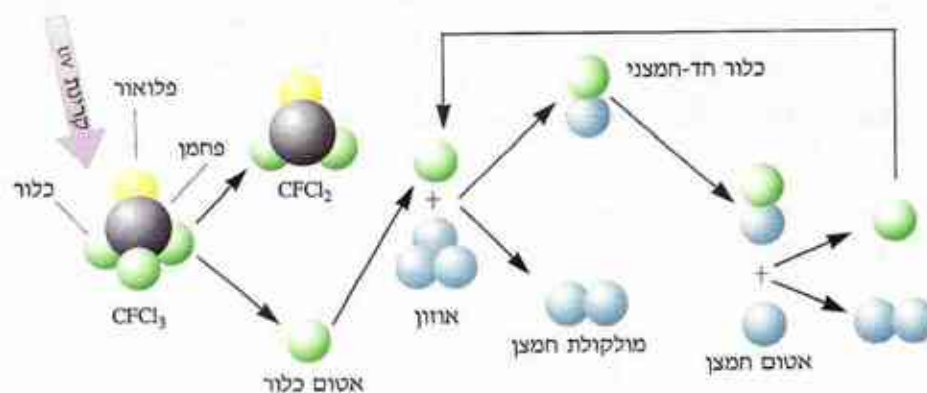


איור 13. הרכבה ופירוק טבעי של מולקולות אוזון בסטרטוספירה

כיצד מחללית שכבת האוזון?

גורם הפגיעה העיקרי באוזון הם גזים המורכבים מאטומי כלור, פלואור ופחמן והנקראים **פְּרָאוֹנִים** ובקיצור CFC. הפראונים הם חומרים סינתטיים חסרי ריח ובלתי רעילים. נעשה בהם שימוש רחב. גז הפראון משמש במערכות קירור (מקררים ומזגנים), במכלי תרסיס (כחומר הודף), וכן בייצור גומי, קלקר ועוד.

כאשר מולקולות ה־CFC מגיעות לסטרטוספירה, הן מתפרקות על ידי הקרינה האולטרה־סגולה המגיעה מהשמש, ולאוויר משתחררים אטומי הכלור. הכלור מגיב עם האוזון, ונוצרים חמצן וכלור חד־חמצני. הכלור החד־חמצני אינו יציב; הוא מגיב במהרה עם אטום של חמצן, ונוצרים מולקולה של חמצן ואטום של כלור. כך "מתפנה" אטום הכלור לפרק מולקולות אוזון נוספת. אטום אחד של כלור מסוגל לפרק 100,000 מולקולות אוזון בטרם יתרכב עם חומר אחר שיוצר תרכובת יציבה עם אטום הכלור. כאשר אוזון נהרס מהר יותר מאשר הוא נוצר, מופר שיווי המשקל שבין קצב יצירת האוזון לקצב פירוקו (איור 14).



איור 14 פירוק של
אוזון בסטרטוספירה
על ידי מולקולות CFC

יש חומרים נוספים (חלקם ממקורות טבעיים) שמפרקים את האוזון בדרך דומה, בהם מתילברומיד המשמש בחקלאות לחיטוי מפני מזיקים. חומר זה הוא אחד ממוצרי הייצוא החשובים של מפעלי ים המלח בישראל.

מדוע נוצר "חור באוזון" דווקא בקוטב הדרומי?

היווצרותו של ה"חור באוזון" קשורה לתנאים המיוחדים השוררים בקוטב הדרומי בתקופת החורף. בתקופה זו הטמפרטורות בסטרטוספירה שמעל לאנטארקטיקה נמוכות מאוד: -80° ואף פחות. בתנאים אלה נוצרים עננים המכילים, חוץ מגבישי מים, גם חומצה חנקתית קפואה. כאשר עננים אלה באים במגע עם התרכובות היציבות של הכלור, אותן תרכובות שהזכרנו כמי שאינן משתתפות עוד בהרס האוזון, מתרחשות תגובות כימיות המשחררות מולקולות של (Cl_2) . מולקולות הכלור אינן פוגעות באוזון.

במקביל מתקיימת בקוטב הדרומי תופעה נוספת. מסביב לקוטב, באזור קו רוחב 60° , נושבות רוחות מערביות חזקות, הגורמות לכך שהאוויר באנטארקטיקה מבודד מסביבתו ואינו נמהל עם האוויר אחר שצפון לאנטארקטיקה. כתוצאה מכך כל מולקולות הכלור שמשתחררות מצטברות מעל לקוטב הדרומי. עם בוא האביב כאשר מופיע השמש מתפרקות מולקולות הכלור (Cl_2) שהצטברו במשך החורף לאטומי כלור (Cl) , ואלה מפרקים את האוזון וגורמים לירידה ניכרת בריכוזו.

במשך האביב מסתיים בידוד האוויר מעל אנטארקטיקה והוא נמהל באוויר שמצפון. מיהול האוויר גורם לירידה חדה בריכוז האוזון גם באזורים הסמוכים לאנטארקטיקה, כלומר בניוזילנד ובדרום אמריקה. במדינות אלה קיימות על כן פעולות הסברה נרחבות על ההכרח להתגונן מפני קרינת השמש. ריכוז האוזון מעל אנטארקטיקה שב ועולה בקיץ.

גם בקוטב הצפוני ישנה הידלדלות מסוימת של אוזון באביב אך היא פחותה בהרבה מזו המתרחשת בקוטב הדרומי. הסיבה לכך היא שרוחות מערביות שנוצרות מסביב לקוטב



שכבת האוזון על פי תפיסתו של ילד (הופיע בבול בריטי)

הצפוני מופרעות על ידי היבשות שמסביבו וכך נמנע בידודו של האוויר. עקב כך הטמפרטורות בסטרטוספירה של הקוטב הצפוני גבוהות בהשוואה לסטרטוספירה בקוטב הדרומי ובמידה שנוצרים תנאים שבהם משתחררים אטומי כלור מהתרכובות היציבות, הם מתפזרים ונמהלים בכל האוויר של חצי הכדור הצפוני.

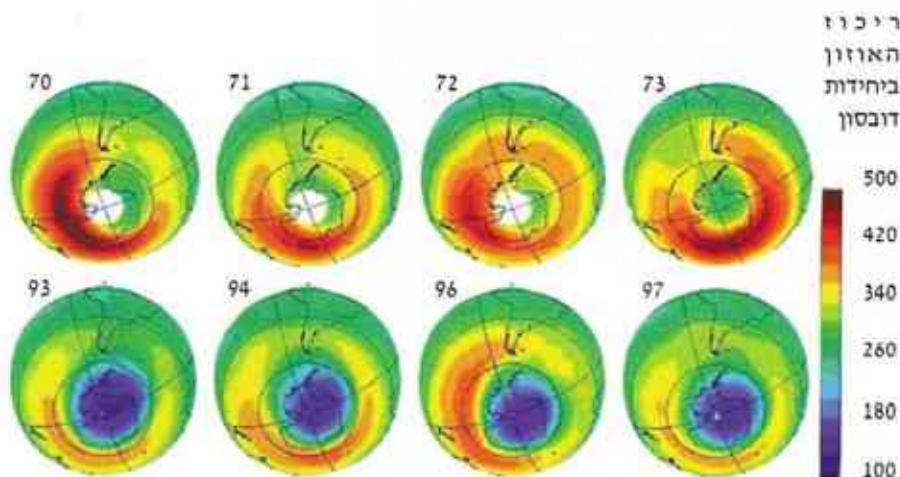
השפעות ביולוגיות

ירידה בכמות האוזון בסטרטוספירה מגדילה את כמות הקרינה האולטרהסגולה המגיעה לפני כדור הארץ. חשיפה רבה לקרינה זו עלולה לגרום לסרטן העור ולמחלת הקטרקט (מחלת עיניים שעלולה לגרום לעיוורון). כמו כן סבורים כי קרינת UV מוגברת גורמת לפגיעה בתהליך הפוטוסינתזה של האצות באוקיינוסים, שעליהן מבוססת שרשרת המזון הימית. ביבשה עלולים להיפגע יבולים חקלאיים הרגישים לקרינת UV.

התארגנות עולמית

במהלך שנות ה-80 וה-90 התכנסו כמה ועידות בינלאומיות לדון בצמצום השימוש בפראונים ובחומרים אחרים הפוגעים באוזון. בוועידות אלו קיבלו על עצמן המדינות המתועשות, ובכללן ישראל, להפסיק לחלוטין את השימוש בפראונים עד שנת 2000. עם הצמצום בייצור הפראונים, פותחו חומרים חלופיים ונערכו גם פעולות הסברה לעידוד

השימוש במוצרים ידיותיים לסביבה שאינם פוגעים באוזון. למרות פעולות אלו, עלולה כנראה הידלדלות האוזון להימשך עד אמצע המאה ה-21. מפני שלמולקולות הפריאון משך חיים ארוך מאוד באטמוספירה, וגם מולקולות שנפלטו בעבר עדיין ממשיכות לפגוע באוזון.



תצלומי לוויין של ריכוז האוזון מעל הקוטב הדרומי בשנות ה-70 ובשנות ה-90

שאלות?

1. מהו התהליך הגורם להידלדלות שכבת האוזון?
2. אילו פעולות ניתן לנקוט לשמירה על שכבת האוזון ומהם, לדעתכם, הקשיים ביישום פעולות אלו?
3. כיצד, לדעתכם, צריכה ממשלת ישראל להגיב על דרישתם של ארגוני איכות הסביבה בארץ ובעולם להפסיק את ייצור המתילברומיד?
4. כיצד תפעלו, כל אחד מכם, לצמצום הפגיעה בשכבת האוזון?
5. כיצד תתגוננו מפני הידלדלות שכבת האוזון?

פעילויות באינטרנט

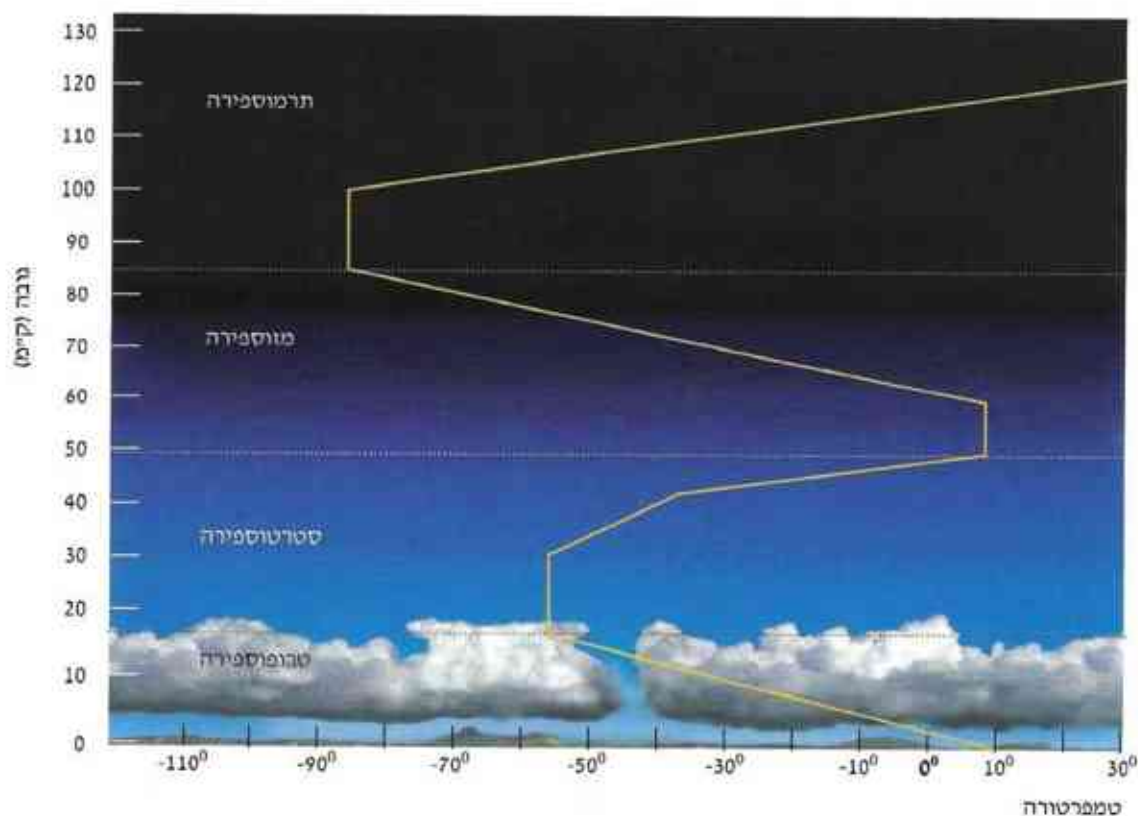
מצב האוזון בעולם ובישראל

1. באתר [זה](#) תוכלו למצוא מפה עולמית של מדידות ריכוז האוזון בכדור הארץ בכל יום מאז 1978. שימו לב, מדידת ריכוז האוזון באמצעות לוויינים אפשרית רק בשעות האור ולכן אין במפות מדידות מתקופת החורף בקטבים.
 - א. בחרו ב־4 תאריכים במהלך השנה, בחודשים: ינואר, אפריל, יולי ואוקטובר. עיינו במפות ותארו את השתנות ריכוז האוזון במהלך השנה בכדור הארץ. התייחסו במיוחד לאזורי הקטבים ולישראל.
 - ב. בחרו בשנה כלשהי שחלפה, ובצעו שוב את הבדיקות לפי סעיף א. האם מגמות השתנות האוזון לאורך השנה דומות בשנים שונות?
2. צפו באנימציה של השתנות האוזון באביב [מעל לקוטב הצפוני ומעל לקוטב הדרומי](#) ותארו את ההבדלים בין הקטבים.



שכבות האטמוספירה

מקובל לחלק את האטמוספירה לשכבות על פי קשתנות הטמפרטורה עם העלייה בגובה:



איור 15

שכבות האטמוספירה
והשתנות הטמפרטורה
עם העלייה בגובה

השכבה הסמוכה לפני הקרקע ב 10° – 18° הקילומטרים הראשונים נקראת **טרופוספירה**. בשכבה זו יורדת הטמפרטורה עם הגובה בשיעור ממוצע של 6.5° לקילומטר. זאת בשל האופן שבו האוויר מתחמם בחלק זה של האטמוספירה. קרני השמש חודרות דרך מרבית האטמוספירה כמעט בלי לחמם אותה, ורק לאחר שהן מחממות את הקרקע, הקרקע מחממת את האוויר שמעליה (את התהליך נסביר בהמשך). בטרופוספירה מתחוללים השינויים במזג האוויר, עננים, משקעים, סופות וכדומה. זו השכבה שבה נעסוק בלימודי המטאורולוגיה. הטרופוספירה מסתימת במקום שבו הטמפרטורה מפסיקה לרדת עם העלייה בגובה, זו תחילתה של שכבת ה**סטרטוספירה**.

בחלקה התחתון של הסטרטוספירה, הטמפרטורה נשארת קבועה, ובהמשך היא עולה עם העלייה בגובה. הטמפרטורות הגבוהות יחסית בסטרטוספירה הן תוצאה של בליעת הקרינה האולטרה-סגולה על ידי מולקולות האוזון, שריכוזן המקסימלי באטמוספירה הוא בשכבה זו.

חלק מהאנרגיה שבקרינה הנבלעת הופך לאנרגיית חום, והטמפרטורות עולות. בין הטרופוספירה לסטרטוספירה אין כמעט תחלופה של אוויר, ולכן רוב מזהמי האוויר הנפלטים בפני כדור הארץ נותרים בשכבת הטרופוספירה. מעל גובה של 50 ק"מ ועד גובה של כ-85 ק"מ משתרעת **המזוספירה**. בתחתיתה הטמפרטורה אינה משתנה עם הגובה, ומעליה מתחילה שוב ירידת טמפרטורה עם העלייה בגובה. בשכבת המזוספירה גורמת קרינת השמש להוצאת אלקטרון אחד או יותר ממולקולות האוויר, וכתוצאה מכך נוצרים יונים¹. תופעה מעניינת המתרחשת במזוספירה מפעם לפעם, היא זוהר הקוטב – חלקיקים המגיעים מהשמש וחוזרים למזוספירה, בעיקר באזור הקטבים, מתנגשים במולקולות האוויר ויוצרים בשמים אור מרצד בצבעי אדום וירוק.

מעל המזוספירה מתחילה **התרמוספירה**, ובשכבה זו הטמפרטורה עולה עם העלייה בגובה. הסיבה לעלייה בטמפרטורה היא בליעה של קרינת השמש על ידי מולקולות חמצן. שיעור העלייה אינו קבוע, אלא תלוי במידה רבה באופי פעילות השמש. בתקופות שבהן השמש פעילה יותר, היא משחררת כמות רבה יותר של קרינה. קרינה זו היא שמעלה את הטמפרטורה בתרמוספירה, לעתים עד 1500° . מעניין לציין כי אם נעלה לתרמוספירה, לא נחוש את הטמפרטורה הגבוהה משום שהאוויר דליל מאוד ומספר המולקולות שיפגעו בנו יהיה קטן. האנרגיה של כל מולקולה תהיה אמנם גבוהה מאוד, אך סך כל האנרגיה שתפגע בנו תהיה מועטה, ולכן לא נחוש בה.



זוהר הקוטב

1. יון – אטום של מולקולה שיש בו עודף או חוסר של אלקטרון אחד או יותר. על כן לאטומים אלה יש מטען חשמלי.

שאלות?

1. עיינו באיור 15 בעמ' 33.
 - א. ציינו את הגבהים שבהם הטמפרטורה עולה עם העלייה בגובה.
 - ב. ציינו את הגבהים שבהם הטמפרטורה אינה משתנת עם העלייה בגובה.
2. מה משמעות "הנתק" בין הטרופוספירה לסטרטוספירה מבחינת פיזור חומרים מזהמים באוויר?
3. מדוע מעדיפים להטיס מטוסים בסטרטוספירה ולא בטרופוספירה?
4. מדוע דלילות האוויר בתרמוספירה תמנע מאתנו לחוש בטמפרטורה של 1500°C ?



מה ההבדל בין טמפרטורה וחום?

המושגים "טמפרטורה" ו"חום" משמשים אצלנו בערבוביה. פעמים רבות אנו משתמשים במושג "חום" כאשר מדובר למעשה במידות של טמפרטורה. נבהיר את ההבדלים בין מושגים אלה:

טמפרטורה היא מדד לאנרגיית התנועה הממוצעת של האטומים או המולקולות שמהם בנוי החומר. לכל גוף טמפרטורה כלשהי מעל לאפס המוחלט (0°K). האטומים או המולקולות שמהם הגוף עשוי רועדים ורוטטים, וככל שקצב הרעד או הרטט גובר, הטמפרטורה של הגוף גבוהה יותר.

החום הוא תהליך של מעבר אנרגיה. כאשר נקרב את ידנו לתנור נרגיש שהיא מתחממת, כלומר חל מעבר של אנרגיה מהתנור אל היד, והטמפרטורה שלה עולה. בין שני גופים בעלי טמפרטורות שונות, הקרובים זה לזה, יהיה מעבר חום עד להשתוות הטמפרטורות שלהם, כלומר עד למצב שבו למולקולות של שני הגופים תהיה אותה אנרגיית תנועה. שימו לב! אנו מדברים על חום רק כאשר מתרחש מעבר של אנרגיה מגוף לגוף.

חשוב לזכור כי הטמפרטורה אינה מבטאת את סך כל האנרגיה של גוף מסוים, אלא את האנרגיה הממוצעת של מולקולות הגוף. עקב כך, כאשר גז הוא דליל, ייתכן מצב שבו הטמפרטורה תהיה גבוהה, אך מכיוון שמספר מולקולות הגז קטן, סך כל האנרגיה של הגז תהיה מועטה.

שאלות?

1. מחקו את המיותר במשפט: כאשר אנו נוגעים בכוס חמה, החום עובר מהכוס ליד שלנו והחום/הטמפרטורה של היד עולה.
2. כתבו שני משפטים שבהם יופיעו המילים "חום" ו"טמפרטורה" בהקשרן הנכון.

מעברי אנרגיה – חולכת, הסעת, קרינה

קיימות כמה דרכים של מעבר אנרגיה ממקום למקום:

חולכה – העברת אנרגיית חום דרך חומר. אם תחזיקו קצה של מסמר בתוך להבה, תחושו בתוך זמן קצר שהוא מתחמם. כיצד קורה הדבר? המולקולות שבאו במגע עם האש קיבלו אנרגיה שהגדילה את קצב תנועתן. (הטמפרטורה בקצה המסמר עלתה). מולקולות אלו מסרו חלק מאנרגיית התנועה שלהן למולקולות הסמוכות, שהמשיכו ומסרו אנרגיה עד שזו הגיעה לקצה השני של המסמר. מכאן עבר חלק מהאנרגיה לידכם, וחשתם שהמסמר התחמם.

יעילות חולכת החום תלויה בחומר שדרכו הוא עובר. ברזל, לדוגמה, הוא מוליך חום טוב ועץ הוא מוליך חום גרוע; לכן ברזל יתחמם מהר יותר מעץ. גזים ונוזלים הם בדרך כלל מוליכי חום גרועים.



איור 16 חולכה

הסעה – העברת אנרגיית חום על ידי זרימה של החומר ממקום למקום. תהליך זה מתקיים רק בנוזלים ובגזים. כאשר מחממים למשל סיר עם מים על להבת גז, מבחינים בזרם של מים העולה מתחתית הסיר אל פני המים. הסיבה לכך היא שאנרגיית התנועה של המים בתחתית הסיר גדלה (הטמפרטורה שלהם עולה), והם מתפשטים ומגדילים את נפחם. עקב כך קטנה צפיפותם, הם נעשים קלים יותר מהמים שסביבם ועולים למעלה בזרם הסעה.

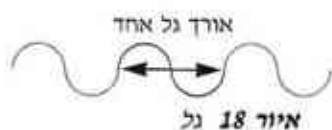


איור 17 הסעה

קרינה – העברת אנרגיה באמצעות תנודות של שדות אלקטרומגנטיים. הקרינה האלקטרומגנטית מוכרת לכולנו היות שאנו נתקלים בה, לסוגיה, בחיי היומיום. הסוג המוכר ביותר הוא קרינה בתחום האור הנראה. היא נוצרת בכל הגופים שהטמפרטורה שלהם גבוהה, כגון השמש ונורות חשמל. למרבית הגופים סביבנו טמפרטורה נמוכה יחסית, ולכן הקרינה הנפלטת מהם היא קרינה בתחום האינפרא-אדום. בעזרת מכשור



תצלום שנעשה באמצעות סרט הרניש לאור אינפרא-אדום. מקומות קרים נראים כחולים ומקומות חמים אדומים.



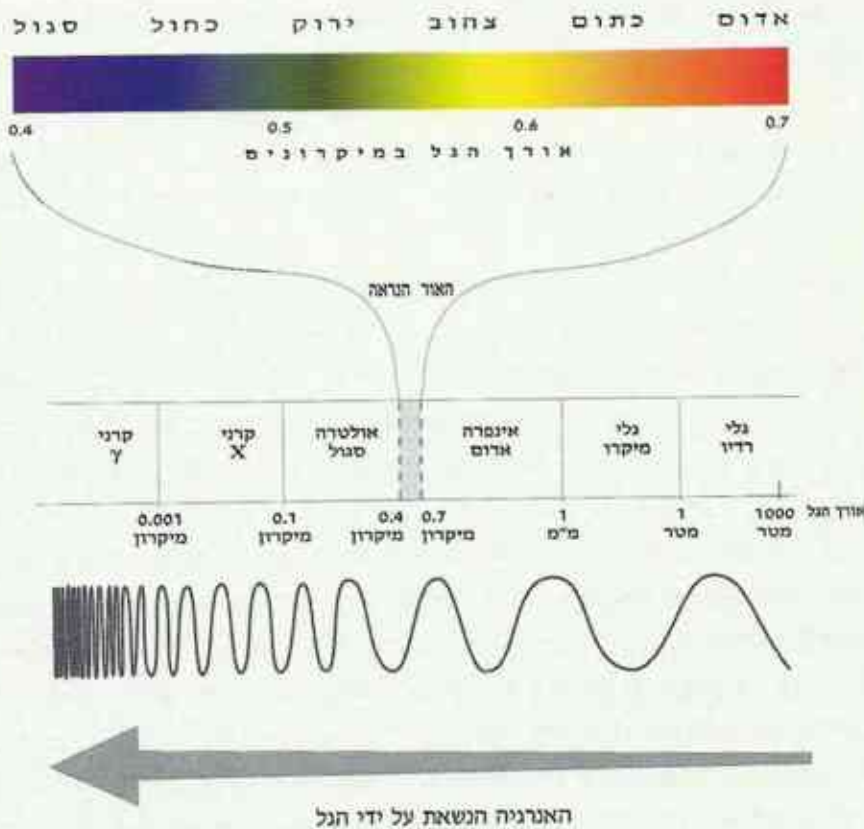
מתאים ניתן לקלוט גם קרינה זו ולהבחין בגופים גם בלילה. אנו מכירים גם סוגים אחרים של קרינה כגון: קרינה אולטרה-סגולה הגורמת לשיוזף, קרינת רנטגן המשמשת לצילומים רפואיים וקרינת רדיו המשמשת להעברת שידורי רדיו וטלוויזיה.

בשונה ממנגנוני העברת אנרגיה בהולכה ובהסעה, שמתקיימים רק באמצעות תווך העשוי מחומר, קרינה יכולה לעבור גם דרך חלל ריק מחומר. כך עוברת בחלל קרינת השמש.

הקרינה היא אנרגיה המתקדמת בצורת **גל**. מהירות ההתקדמות של גל אלקטרומגנטי בריק היא הגבוהה ביותר הקיימת בטבע: 300,000 ק"מ בשנייה. מהירות זו ידועה בשם **מהירות האור**. במהירות זו יכול האור, או כל גל אלקטרומגנטי אחר, להקיף בשנייה אחת את כדור הארץ שבע פעמים וחצי, או להגיע מכדור הארץ לירח.

מרחק בין שני שיאים של הגל מוגדר כ**אורך-הגל**. ההבדל בין סוג אחד של קרינה אלקטרומגנטית לסוג אחר נובע מההבדלים באורך הגל. כך, לדוגמה, לקרינת רדיו אורך גל של עשרות ומאות מטרים, לקרינת מיקרו אורך-גל של סנטימטרים אחדים ולקרינה אינפרא-אדומה אורך-גל של מיקרונים אחדים (מיקרון הוא אלפית המילימטר). אורך-הגל של האור הנראה נע בין 0.4 ל-0.7 מיקרון. בתחום זה נחלק האור לצבעים השונים: כך, למשל, קרינה באורך-גל של 0.5 מיקרון יוצרת צבע ירוק וקרינה באורך-גל של 0.6 מיקרון יוצרת צבע כתום. כאשר מקרינים את כל גלי האור (כלומר כל הצבעים) יחד, מתקבל צבע לבן. רצף של כל הקרינות האלקטרומגנטיות השונות נקרא **הספקטרום האלקטרומגנטי**. ככל שאורך הגל קצר יותר, הקרינה נושאת עמה אנרגיה רבה יותר. למשל, לקרינת רנטגן אנרגיה רבה יותר מאשר לקרינה בתחום האור הנראה, וזוהי הסיבה שטכנאי הרנטגן יוצאים מחדר הצילום בעת הצילום כדי לא להיחשף שלא לצורך לקרינה החזקה.

כל גוף פולט קרינה בהתאם לטמפרטורה שלו. ככל שטמפרטורת הגוף גבוהה יותר, הוא יפלוט קרינה שאורך הגל שלה קצר יותר. השמש, שטמפרטורת פני השטח שלה היא כ- 6000° , מאירה באור שרובו צהוב, כלומר באורך-גל של כ-0.58 מיקרון. גופנו, שהוא בטמפרטורה של 37° , יפלוט לעומת זאת קרינה בתחום האינפרא-אדום. שאורך-גל שלה הוא כ-10 מיקרון.



איור 19 הספקטרום האלקטרומגנטי

מעבר קרינה – כאשר קרינה עוברת ממקום למקום עשוי להתרחש אחד התהליכים האלה:

מעבר ללא הפרעה – הקרינה עוברת ללא הפרעה, למשל אור נראה עובר דרך חלון.

בליעה – מולקולות של חומר שבו פוגעת הקרינה, בולעות אותה ומגבירות את קצב תנועתן. הביטוי לכך הוא עלייה בטמפרטורה של החומר. כך קורה, למשל, כאשר אור השמש פוגע בכביש ומחמם אותו.

החזרה – מולקולות שבהן פוגעת קרינה, מחזירות אותה. במקרה זה ממשיכה הקרינה בדרכה, אך כיוונה משתנה, בדומה לכדור הפוגע בקיר ומוחזר ממנו. דוגמה לתהליך זה היא החזרת אור ממשטח שלג.



צבעים

מה שיקרה לקרינה מסוימת הפוגעת בחומר תלוי באורך-הגל של הקרינה ובתכונות החומר שבו היא פוגעת. לדוגמה: תכונות החומר של צלופן שקוף, צהוב, הן כאלה שאור בצבע צהוב יעבור דרכו, ואורות בצבעים אחרים ייבלעו בו ויעלו את הטמפרטורה של הצלופן.

אשר לחומרים שצבעם לבן, כל קרינת האור הפוגעת בהם חוזרת, ולכן החומר אינו מתחמם כמעט. לעומת זאת, כאשר החומר שחור, כל קרינת האור נבלעת בו, וטמפרטורת המשטח עולה. חומר שצבעו אינו לבן או שחור, יבלע קרינה באופן חלקי, כלומר, ייבלע בו כל הצבעים מלבד הצבע של החומר. (למשל, חומר כחול בולע את כל הצבעים למעט הצבע הכחול שחוזר ממנו).

שאלות?

1. אם נמזוג משקה חם לכוס פלסטיק ולכוס מתכת, איזו כוס יהיה נוה יותר להחזיק? הסבירו.
2. הסבירו בליווי דוגמאות מה קורה כאשר קרינה נבלעת בחומר.
3. מדוע קולטי שמש הם שחורים?
4. מדוע נהוג לסייד גגות בלבן?
5. א. כאשר משהים מסמר בתוך להבה, הוא פולט אור אדום. מדוע?
ב. האם המסמר פולט קרינה גם לפני שמחממים אותו?
6. מדוע חם כשעומדים בשמש?
7. לפניכם אירועים של העברת אנרגיה. ציינו והסבירו אילו תהליכים של מעבר אנרגיה (הולכה, הסעה או קרינה) מתרחשים בכל אחד מהם:
 - א. מנורה מאירה בתוך חדר
 - ב. סיר מים מתחמם על גזייה
 - ג. מכונית עומדת בשמש
 - ד. רוח חמה נושבת
 - ה. אדם שידו קרה, מחזיק בכוס חמה.

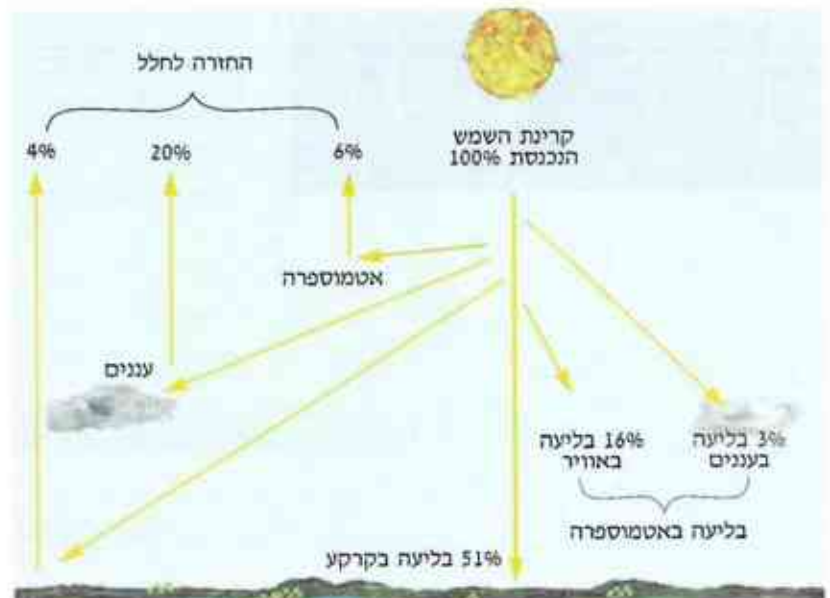
קרינת השמש וחימום האטמוספירה

קרינת השמש מכילה רצף של אורכי גל. מרבית הקרינה היא בתחום האור הנראה ובתחום האינפראאדום. נעקוב אחר מה שקורה לקרינה זו בהגיעה לכדור הארץ:

30% מקרינת השמש חוזרת אל החלל מהאטמוספירה ומפני כדור הארץ מבלי לגרום לחימום כלשהו. מידת ההחזרה גדלה ככל שהמשטח שבו פוגעת הקרינה בהיר יותר. לכן, עננים, אזורים מכוסים בשלג ואזורי מדבר בהירים מחזירים קרינה רבה.

19% מקרינת השמש גורמת ישירות לחימום האטמוספירה על ידי כך שהקרינה נבלעת בעננים ובאוויר.

51% מקרינת השמש (רוב הקרינה!) עוברת את כל האטמוספירה בלי לחמם אותה. קרינה זו פוגעת בקרקע ובים, נבלעת בהם וגורמת לחימום. האנרגיה שנבלעה בקרקע ובים היא המקור העיקרי לחימום האוויר מפני כדור הארץ כלפי מעלה.



איור 20. התפלגות קרינת השמש הנכנסת לכדור הארץ

חימום האוויר על ידי פני כדור הארץ מתרחש באמצעות כמה תהליכים הקשורים זה בזה:

הולכה – בתהליך זה נמסרת אנרגיית התנועה של מולקולות הקרקע למולקולות האוויר הסמוכות, וכתוצאה מכך מתחממת שכבת האוויר הסמוכה לקרקע. היות שהאוויר הוא מוליך חום גרוע, מתחממת רק שכבת האוויר הנוגעת בקרקע.

הסעה – גוש אוויר שחומם על ידי הקרקע בתהליך ההולכה, מתפשט, ועקב כך צפיפותו יורדת. בעקבות זה הוא נעשה קל מסביבתו ומתחיל לעלות ולהעביר חום כלפי מעלה. תוך כדי עלייתו, הוא מתפשט עקב ירידת הלחץ מסביבו, וכתוצאה מהתפשטותו הוא מתקרר¹. זו הסיבה לכך שטמפרטורת האוויר בטרופוספירה יורדת עם העלייה בגובה. לתהליך זה חשיבות רבה, משום שבאמצעותו עולים למעלה אדי המים שיוצרים את העננים.

1. הסבר לתהליך, ראו בעמ' 85.

תהליך הסעה אחר מתרחש באמצעות בליעה או פליטה של **חום כמוס**¹ - כ-70% מאנרגיית השמש שנבלעת בפני כדור הארץ משמשים לאידוי מים. בתהליך זה, המים שמתאדים קולטים אנרגיה. כאשר האדים עולים למעלה בתהליך ההסעה הם מתקררים עם האוויר, ובגובה מסוים הם מתעבים ושבים להיות מים נוזליים; כך נוצרים עננים. בתהליך העיבוי נפלט החום הכמוס מאדי המים לסביבה, והיא מתחממת.



איור 21 אפקט החממה



איור 22 התגברות אפקט החממה

קרינה ואפקט החממה - הזכרנו כי רוב קרינת האור (גלים קצרים) המגיעה מהשמש עוברת את האטמוספירה בלי לחמם אותה; במילים אחרות, האטמוספירה שקופה במידה רבה לאור נראה. כאשר קרינת האור הנראה פוגעת בפני כדור הארץ ונבלעת בו, מתחממת הקרקע ופולטת קרינה אינפרא אדומה בהתאם לטמפרטורה שלה. האטמוספירה אינה שקופה לחלק מהקרינה האינפרא אדומה ארוכת הגל, וחלקה נבלעת בעיקר על ידי מולקולות של פחמן דו-חמצני ואדי מים. המולקולות שקולטות את האנרגיה מתחממות ומחממות את האוויר סביבן. במקביל הן שבות ופולטות קרינה אינפרא אדומה, שחלקה אמנם יוצא לחלל, אולם חלקה חוזר לפני כדור הארץ ומחמם שוב את הקרקע, וחוזר חלילה. תופעה זו נקראת "**אפקט החממה**", והיא בעלת חשיבות רבה ביותר. חישובים שונים מראים שאלמלא 'אפקט החממה' הייתה הטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ 18° - (לעומת 15° בפועל). רוב צורות החיים לא היו מתקיימות בטמפרטורה זו.

מקור השם "אפקט החממה" הוא הדמיון שבין תופעה זו לבין המתרחש בחממה, שבה אנרגיית אור קצרת גל חודרת דרך קירותיה השקופים והופכת לחום שנשאר לכוך בתוכה. בעבר סברו שהחממה גם מתחממת בדומה להתחממות האטמוספירה, כלומר הקרינה האינפרא אדומה שנוצרת בחממה אינה יכולה לעבור דרך קירותיה. כיום ידוע שהסיבה העיקרית לחימום החממה היא שהאוויר החם שנוצר בה אינו יכול להיפלט מתוכה בגלל קירותיה.

מאז המהפכה התעשייתית, ובעיקר במאה ה-20, הולכת וגדלה בהתמדה כמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה כתוצאה משרפת חומרי דלק (פחם ונפט). הגידול בכמות הפחמן הדו-חמצני גורם להגברת אפקט החממה. יותר קרינה אינפרא אדומה הנפלטת מפני כדור הארץ נבלעת באטמוספירה, ופחות קרינה יוצאת אל החלל. משום כך סבורים מרבית המדענים שכדור הארץ הולך ומתחמם.

1. חום כמוס - אנרגיה הנקלטת על ידי חומר בעת שהוא משנה את מצב הצבירה שלו ממוצק לנוזל או מנוזל לגז, ללא שינוי הטמפרטורה שלו. אנרגיה זו נפלטת כאשר חומר משנה את מצב הצבירה שלו מגז לנוזל או מנוזל למוצק. (הסבר על חום כמוס, ראו בעמ' 74).

מדוע נוהגים למדוד את הטמפרטורה בצל?

אם נשים תרמומטרים¹ בשמש ובצל נגלה ביניהם הפרשי טמפרטורה גדולים מאוד. כאשר התרמומטר בצל, הטמפרטורה של הכספית מבטאת רק את טמפרטורת האוויר. טמפרטורת האוויר באה לידי ביטוי בתרמומטר כאשר מולקולות האוויר פוגעות בו וגורמות לטמפרטורה של הכספית להשתוות לטמפרטורת האוויר.

אם נשים את התרמומטר בשמש, הוא יתחמם לא רק על ידי האוויר אלא גם על ידי קרינת השמש, ולכן הטמפרטורה שנמדדת תהיה גבוהה בהרבה. משום כך מדידה של טמפרטורת האוויר חייבת להתבצע בצל. בתחנות מטאורולוגיות שמים את התרמומטרים בתוך סוכה לבנה עם פתחים שדרכם יכול אוויר להיכנס, אך לא קרינה ישירה של השמש.



סוכה מטאורולוגית

שאלה ?

1. מדוע צבועה הסוכה המטאורולוגית בלבן?

טמפרטורות קיצוניות שנמדדו בעולם ובארץ

הטמפרטורה הנמוכה בעולם, -89.5° , נמדדה באנטארקטיקה, ב־12 ביולי 1983.
הטמפרטורה הנמוכה ביישוב קבע, -68° , נמדדה בכפר אומיאקון, שבסיביר ב־1933.
הטמפרטורה הנמוכה בישראל, -13° , נמדדה בבקעת בית נטופה, ב־6 בפברואר 1950.
הטמפרטורה הגבוהה בעולם, 58° , נמדדה באל־עזיזה בלוב, ב־13 בספטמבר 1922.
הטמפרטורה הגבוהה בישראל, 54° , נמדדה בטירת צבי בעמק בית שאן, ב־21 ביוני 1946.

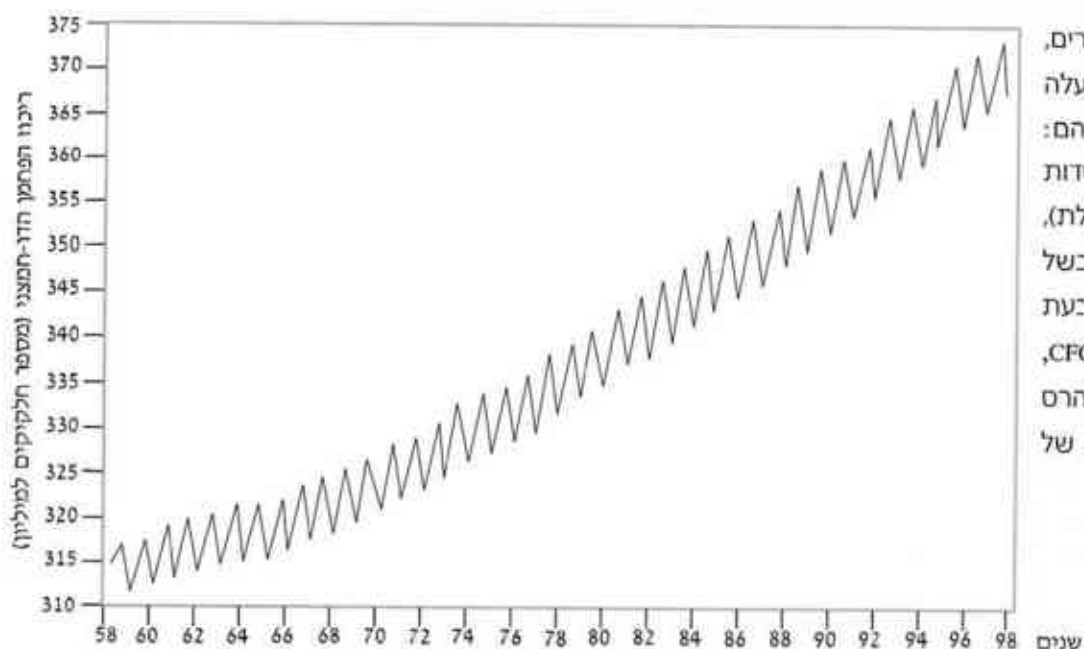


1. בלשון היוסיום משתמשים בשם מדיחום. שימוש זה אינו תקין מבחינה מדעית. כי בתרמומטר מודדים טמפרטורה, ולא חום.

אפקט החממה ועליית הטמפרטורה בכדור הארץ

תיאור הבעיה – מראשית שנות ה־80 עוסקים מדענים רבים בחקר השפעת האדם על אפקט החממה. הנושא מעסיק גם את הפוליטיקאים ואת הציבור הרחב. מאז תחילת המאה ה־20 עולה בהתמדה כמות הפחמן הדו־חמצני באטמוספירה. שני הגורמים העיקריים לכך:

- השימוש בפחם ובנפט להפקת אנרגיה – תהליך שבו נפלט פחמן דו־חמצני לאוויר.
- כריתת היערות ברחבי העולם המקטינה את כמות הפחמן הדו־חמצני שנקלטת על ידי הצמחייה בתהליך הפוטוסינתזה.



גם ריכוזם של גזים אחרים, שגורמים לאפקט החממה, עלה מאוד בשנים האחרונות. ביניהם: גז המתן (CH_4) (נפלט משדות אורז, מִבְּקָר ומערימות פסולת), תחמוצות חנקן (נוצרות בשל הטמפרטורות הגבוהות בעת שרפת הדלקים) וגזי ה־CFC, הידועים כגורם העיקרי להרס האוזון אך להם גם תכונות של גז חממה.

איור 24 העלייה בכמות הפחמן הדו-חמצני כפי שנמדדה בהוואי. השניניים השנתיים בכמות הפחמן הדו-חמצני נובעים מההבדלים בקצב הפוטוסינתזה בין הקיץ לחורף.

מרבית המדענים סבורים כיום כי העלייה בכמות גזי החממה מגבירה את אפקט החממה ותביא במהלך המאה ה־21 לעלייה של 1.5° עד 4.5° בטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ. לעליית הטמפרטורות עשויה להיות השפעה בתחומים רבים. נזכיר כאן את החשובים שבהם:

- צופים כי בעולם חם יותר יעלה מפלס הים בעשרות סנטימטרים. (תחזיות קיצוניות צופות עלייה של מטר). זאת, עקב ההפשרה של חלק מהקרחונים בקטבים וכן עקב התפשטות של מי האוקיינוסים, שיהיו חמים יותר ויתפסו אפוא נפח גדול יותר. באזורים הנמוכים בקרבת הים חיים מיליוני בני אדם, ששטחי מגוריהם מועדים להצפה.

בהם שטחי הדלתה של הנילוס במצרים, שטחים נרחבים בהולנד ובבנגלדש וערים כגון לונדון ובומבי. העלייה במפלס הים תגרום גם להמלחת מי תהום מתוקים הנמצאים בקרבת החוף בשל חדירת מי ים.

- במהלך המאה ה-21 צפויות התרחשויות תכופות יותר של אירועי מזג אוויר קיצוניים, כגון שטפונות וסופות הוריקן, מכיוון שלאטמוספירה ולאוקיינוסים שיהיו חמים יותר תהיה יותר אנרגיה להניע סופות הרסניות. במקביל צפויה עלייה בתדירות ובעוצמה של אירועי בצורת.
- הטמפרטורות באזורים שונים ישתנו וכך גם המשקעים. במקצת האזורים עשויה כמות המשקעים לגדול ובאחרים - לקטון. כך עלולים להיפגע אזורים המספקים כיום כמויות משמעותיות מהמזון בעולם, כגון אזורי גידול החיטה בארצות הברית. באזורים אחרים עשויים תנאי החקלאות להשתפר.
- בעולם חם יותר עשויות מחלות להתפשט ביתר קלות, שכן חיידקים, חרקים ויצורים אחרים מחוללי מחלות מתפתחים טוב יותר בטמפרטורות גבוהות. מיליוני בני אדם במדינות המתפתחות צורכים מי שתייה שאיכותם ירודה ושאינם עוברים טיפול לסילוק חיידקים וטפילים; איכותם של מים אלו תרד עוד יותר אם יצורים מזיקים יתפתחו בהם ביתר קלות.

פתרונות – השאלה כיצד להתמודד עם בעיית ההתחממות היא מורכבת ביותר ומחייבת שיתוף פעולה בין כל מדינות העולם.

פתרון מתבקש הוא צמצום הפליטה של גזי החממה. רוב הפליטה היא תוצאה משרפת דלקים. הוצע כי המדינות המפותחות, שהן צרכניות האנרגיה הגדולות, יצמצמו את פליטת גזי החממה על ידי מציאת מקורות אנרגיה חלופיים ועל ידי התייעלות וצמצום השימוש באנרגיית הדלקים. פתרונות אלה קשים ליישום. השימוש במקורות אנרגיה חלופיים, כגון אנרגיית שמש ואנרגיית רוח, אינו יכול, כיום, לספק חשמל בכמויות גדולות. חלופה אחרת, שימוש באנרגיה גרעינית, שנויה במחלוקת ציבורית בשל הסכנות הכרוכות בה, וספק אם זהו הפתרון הראוי.

צמצום השימוש באנרגיה קשה אף יותר כי הוא כרוך בפגיעה ברמת החיים. גם אם יצליחו המדינות המפותחות לצמצם את פליטת הפחמן הדו-חמצני, אין לצפות לירידה בסך הכול של הפליטה, כי צריכת האנרגיה גדלה עם הגידול באוכלוסייה והמגמה הכללית היא של עלייה ברמת החיים.



פתרון אחר הוא נטיעת עצים והפחתת כריתת היערות. גם כאן הבעיות רבות מאוד, שכן חלק גדול מיערות העולם הם במדינות המתפתחות שבהן שיווק העצים הוא מקור הכנסה. בעיה אחרת במדינות אלו היא פיתוח מהיר של שטחים חקלאיים ויישובים חדשים לאוכלוסייה הגדלה, וזה הנעשה על חשבון היערות.

דרך אחרת להתמודד עם הבעיה היא להתכונן לקראת עולם חם יותר, למשל על ידי פיתוח גידולים חקלאיים העמידים בפני חום, התחשבות בעלייה הצפויה במפלס הים בעת תכנון הבנייה בחופים ועוד.

מכונת המונעת באמצעות תאי דלק. טכנולוגיה שהשימוש בה יכול להפחית את פליטת NO_x החממה.

האם כל זה נכון והאם זה כבר קורה? – ספקות וגורמים נעלמים רבים מלווים את מחקר אפקט החממה. העדויות כיום לתופעת ההתחממות אינן חד־משמעיות. לעתים, במידה והתופעות שנמנו קודם נצפות בפועל, קשה להוכיח שהתרחשותן אכן נובעת מהתגברות אפקט החממה ולא מתנודות אקלימיות טבעיות. רוב המחקרים מצביעים על כך שמאז תחילת המאה ה־20 ועד לשנות ה־90 אכן עלו הטמפרטורות הממוצעות בכדור הארץ ב־0.3°–0.6°. העשור האחרון של המאה ה־20 היה החם ביותר מאז החלו ברישום המטאורולוגי בעולם. במקומות שונים באזורי הקטבים יש עדויות על הפשרת קרחונים. יש המייחסים לתופעת ההתחממות גם אירועי מזג אוויר קשים שהתרחשו בשנים האחרונות.

התחזיות לעתיד מבוססות בעיקר על מודלים ממוחשבים של אקלים כדור הארץ במצב שבו כמות גזי החממה גדולה יותר. יש טוענים כי מודלים אלה אינם מביאים בחשבון גורמים רבים שעשויים למתן, ואפילו לבלום, את ההתחממות. כך, למשל, סבורים מדענים כי תרכובות גופרית הנפלטות מזיהום תעשייתי ומהרי געש גורמות להחזרה של קרינת שמש לחלל וממתנות את ההתחממות.

טענה אחרת היא שאם תחול התחממות, יגדל קצב האידוי ממקורות מים ומהצמחייה וייווצרו יותר עננים. כסות עננים נרחבת יותר תגדיל את כמות קרינת השמש המוחזרת ישירות מכדור הארץ לחלל מבלי לחמם אותו, וההתחממות תפחת.

איהודאות באשר לחומרת התופעה וקשיים ביישום פעולות למניעתה מעכבים קבלת החלטות בנוגע לצעדים שיש לנקוט. לכן נודעת חשיבות רבה להמשך המחקר והמעקב אחר אקלים כדור הארץ.

שאלות?

1. א. מה ההשפעות הצפויות, לדעתכם, בישראל מהתחממות כדור הארץ?
 ב. כיצד אנו, בישראל, תורמים להתגברות אפקט החממה?
 ג. אילו מהפעולות שנזכרו כאן, להפחתת התגברות אפקט החממה, עלינו ליישם לדעתכם בישראל?
 ד. איך עלינו להיערך בישראל לקראת עולם חם יותר?
2. א. מדוע תרומתן של המדינות המפותחות להתגברות אפקט החממה גדולה בהרבה מחלקן היחסי באוכלוסיית העולם?
 ב. באילו ממדינות העולם עלולים התושבים להיפגע יותר מהתחממות כדור הארץ?
 3. תארו את הקשיים שעלולים להתעורר ביישומם של פתרונות להפחתת אפקט החממה.
4. מה עשויים להיות טיעוני הנגד של מדינה מתפתחת שיש בה יערות רבים, אם תידרש לנקוט צעדים שיקטינו את חלקה בהתגברות אפקט החממה?

שאלות?

1. היכן תוחזר לחלל קרינה רבה יותר, איזה מקום יתחמם פחות:
 א. מגרש חניה מאספלט או מגרש חולי?
 ב. אזור מושלג או אזור שאינו מושלג?
2. מהן הדרכים שבהם מתחממת האטמוספירה?
3. היכן ישפיע יותר החום הכמוס על חימום האטמוספירה: באזור מדברי או באזור טרופי?
4. מה היה קורה אם לכדור הארץ לא הייתה אטמוספירה? (התייחסו לטמפרטורה הממוצעת שהייתה שוררת בו ולהבדלי הטמפרטורות בין היום והלילה.)
5. א. מדוע יום מעונן קר יותר מיום בהיר?
 ב. מדוע לילה בהיר ללא עננים קר יותר מלילה מעונן?
6. כיצד נוצר אפקט החממה ומהי חשיבותו?
7. בתוך מכונית החונה בשמש חם יותר מאשר מחוץ למכונית. מדוע?
8. כוכב הלכת נוגה הוא השני מבין כוכבי הלכת בקרבתו אל השמש. לכוכב זה אטמוספירה צפופה במיוחד, המורכבת בעיקר מפחמן דו-חמצני (90%). מה תוכלו להסיק מכך על הטמפרטורה הממוצעת של נוגה?

צבעים בשמים

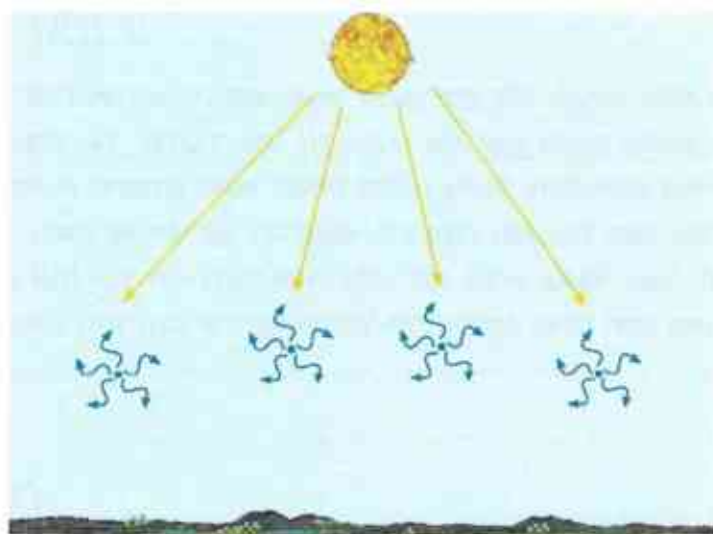
שמים כחולים

כאשר יש החזרה או שבירה של גל אלקטרומגנטי (למשל אור בצבע מסוים) הגל ממשיך לנוע מכיוון תנועתו המקורית לכיוון אחר. אולם כאשר ההחזרה היא מחלקיקים קטנים מאוד, כמו חלקיקי אוויר, ההחזרה אינה מתרחשת בכיוון אחד, אלא הגל מתפצל ומתפזר באופן אקראי לכל הכיוונים. תופעה זו נקראת **פיזור**.

לרוב חלקיקי האוויר התכונה לפזר אור כחול יותר מאשר אור בצבעים אחרים. מכיוון שפיזור הכחול רב יותר – השמים כחולים ביום. כשהאוויר נקי, הכחול בשמים חזק ועמוק, לעומת זאת, כאשר האוויר מכיל חלקיקים גדולים, כמו אבק מדברי או מזהמי אוויר, מתקבל גוון כחול בהיר יותר הנוטה ללבן, משום שחלקיקים גדולים מפזרים את כל אורכי הגל במידה שווה, פיזור כל אורכי הגל במידה שווה יוצר צבע לבן.



איור 25 פיזור האור הכחול
על ידי מולקולות האוויר



צבע השמש

צבעה של השמש משתנה במהלך היום: בזריחה היא כתומה, לאחר מכן צהובה ובצהריים לבנה. (אסור בשום פנים ואופן להסתכל ישירות בשמש כי אור השמש בעוצמה רבה עלול לגרום לעיוורון.) לקראת שקיעה, השמש מקבלת שוב צבע כתום. השמש לבנה בצהריים, כי כאשר היא נמצאת ברום השמים, הדרך שקרניה עוברות באטמוספירה היא קצרה, ורק חלק קטן יחסית ממרכיבי האור הלבן המגיע ממנה מפוזר על ידי האוויר. לקראת שקיעה, כאשר השמש מנמיכה, עוברת הקרינה דרך ארוכה יותר באטמוספירה, והאור הכחול שבה מתפזר לכל הכיוונים ונגרע מהלבן. אור לבן שנגרע ממנו כל הרכיב הכחול, הופך לאור כתום. גריעה חלקית של הרכיב הכחול הופכת אותו לצהוב. לכן ככל שהשמש מנמיכה, צבעה משתנה מלבן לצהוב ומצהוב לכתום. שקיעות וזריחות אדומות מתרחשות כאשר באוויר מצויים ריכוזים גדולים של חלקיקי אבק קטנים, הבולעים את כל גלי האור למעט האור האדום שעובר באטמוספירה ומגיע לעינינו.



איור 26 דרכה של קרן שמש באטמוספירה בשעות שונות של היום

צבע העננים

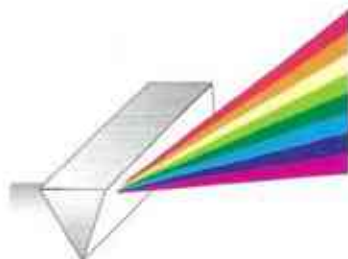
כאשר ענן מואר באור השמש, מוחזר מהענן חלק גדול מקרינת השמש בכל אורכי הגל ומתקבל צבע לבן. עננים שמביטים עליהם מלמעלה (ממטוס) או מהקרקע כאשר השמש מאירה עליהם מהצד, ייראו אפוא לבנים. במבט מן הקרקע, כשהשמש היא מצדו השני של הענן, ככל שהענן עבה יותר הוא נראה אפור יותר. זאת, מכיוון שהאור עובר אז דרך ארוכה בתוך הענן, יותר אור מתפזר לכל הכיוונים ופחות ממנו מגיע לעינינו.



עננים כפי שצולמו ממטוס

הקשת

הקשת היא התופעה המרהיבה והצבעונית ביותר הקשורה למזג האוויר. תהליך התהוותה קשור לתופעה הפיזיקלית הזאת: כאשר אור לבן פוגע בגופים בעלי צורות גאומטריות מסוימות, בזוויות מסוימות, כל אחד ממרכיבי האור (הצבעים השונים) נשבר ומוחזר מהם בזווית אחרת.



איור 27 מנסרה

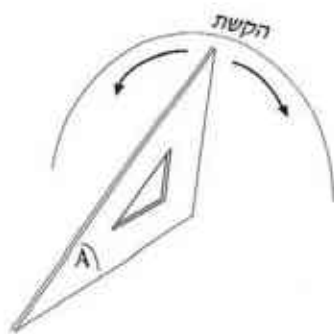
כתוצאה מכך אנו רואים כל צבע בנפרד. לתופעה זו קוראים **נפיצה** וניתן להדגימה יפה באמצעות מנסרה משולשת מזכוכית.

כדי שתיווצר קשת, צריך לרדת גשם בצד אחד של השמים בעוד השמש נמצאת בצד הנגדי; כלומר, כשמתבוננים בקשת, השמש היא מאחורי גבנו. צבעי הקשת הם תוצאה של שבירה והחזרה של אור השמש מטיפות הגשם; כל טיפה פועלת כמו מנסרה קטנה שמתרחשת בה תופעת הנפיצה. אם מסתכלים על הטיפה מהזווית המתאימה, רואים אחד מהצבעים שיוצאים ממנה. כל צבע מצבעי הקשת שאנו רואים, מתקבל מטיפות גשם שונות. לזווית המתאימה לראיית צבע מסוים, נקרא A, קרן אחת של הזווית A היא קו דמיוני שהוא המשכה של קרן האור המגיע אלינו מהשמש (איור 28). הקרן האחרת של A מכוונת לכיוון צבע אחד מצבעי הקשת. לדוגמה, אור אדום רואים כאשר נוצרת בין שתי הקרניים הללו זווית של 42° . אור סגול מתקבל, כאשר הזווית היא של 40° . צבעים אחרים מתקבלים בזוויות שבין 40° ל- 42° . לפיכך בקשת המתקבלת, האור האדום הוא הגבוה ביותר והאור הסגול הוא הנמוך ביותר.

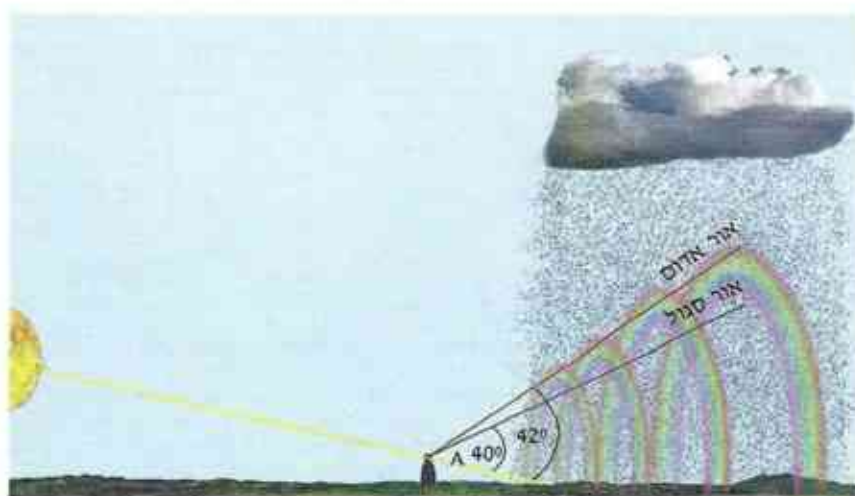
כיצד מתקבלת הצורה העגולה של הקשת?

התבוננו באיור 29. האיור ממחיש את המשולש הדמיוני הנוצר ליד עינינו. הזווית שבקודקוד המשולש היא הזווית שקראנו לה A. גודלה הוא בין 40° ל- 42° , בהתאם לצבע שאנו רואים אם נסובב בדמיונו את המשולש, תישמר הזווית A וייווצר קטע של חרוט ששפתו היא הצורה העגולה של הקשת.

ככל שהחרוט הדמיוני שנוצר, חוצה אזור גשם רחב יותר (שבו טיפות גשם רבות יותר), נראית קשת ברורה יותר. במקרים נדירים רואים בשמים בו בזמן שתי קשתות זו מעל זו. הקשת השנייה היא תמיד עמומה יותר וסדר הצבעים בה הפוך. תהליך היווצרותה מורכב יותר, ולא נפרט אותו כאן.



איור 29 חרוט המשולש הדמיוני שנוצר בעת שאנו מתבוננים בקשת



איור 28 היווצרות הקשת



שאלות?



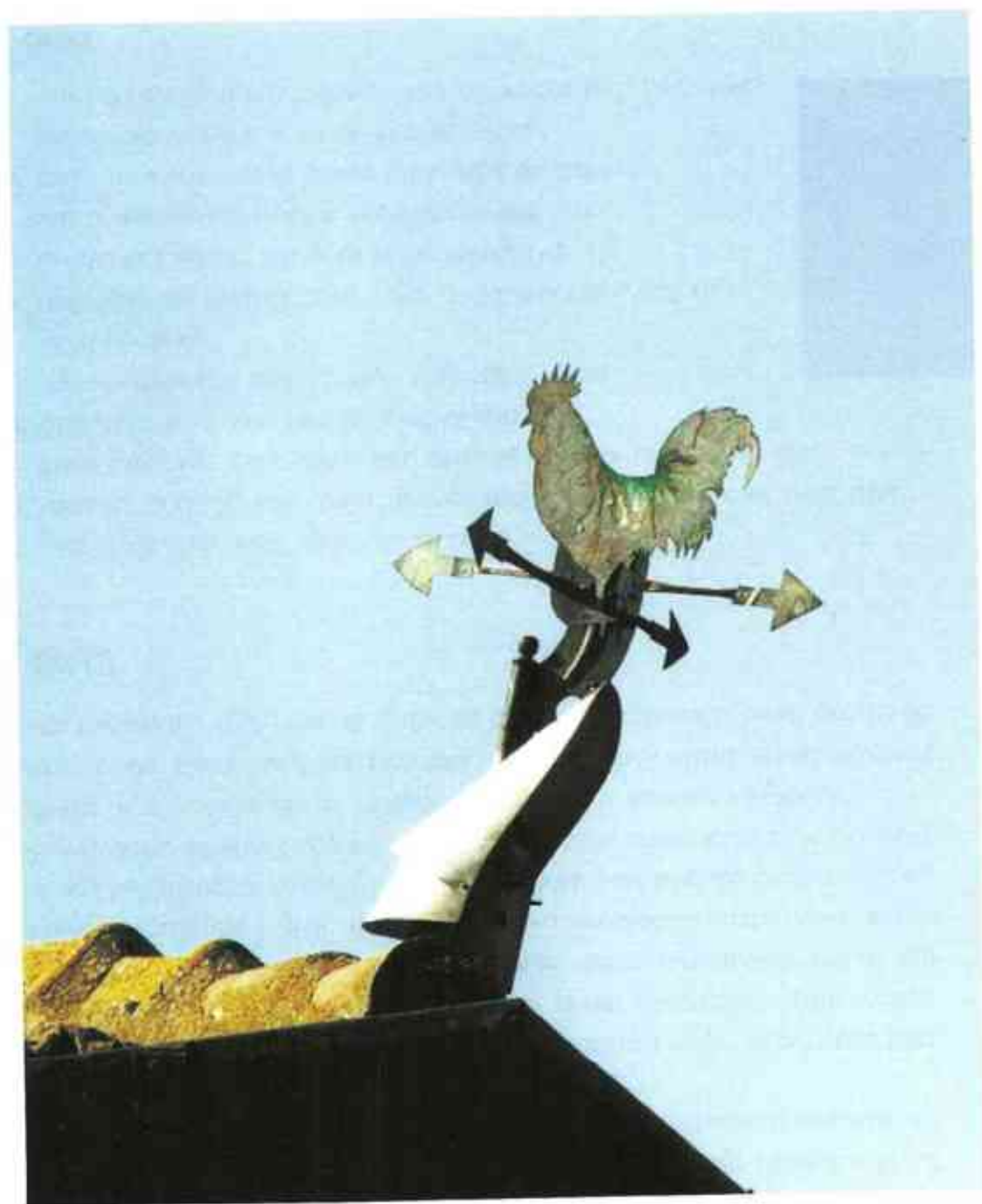
צילום השמים ממטוס שטס בגובה רב

1. מתי השמים כחולים יותר בישראל - ביום קיץ או ביום חורף לאחר גשם? היכן השמים כחולים יותר - בעיר או בכפר? הסבירו.
2. בעמוד זה תמונה שצולמה ממטוס בגובה של כ־10 ק"מ. הסבירו מדוע השמים מתכהים ככל שמביטים גבוה יותר.
3. מה היה צבע השמים ביום לו לא הייתה אטמוספירה?
4. מדוע צבעה של השמש בשקיעה כתום, ובימים שיש באוויר אבק רב - הצבע הוא אדום?
5. ממטוס הנמצא מעל העננים, העננים נראים לבנים. מדוע?
6. מדוע עננים שיורד מהם גשם רב נראים שחורים?
7. באיזה כיוון תיראה קשת בשעות אחר הצהריים? מדוע היא תיראה דווקא שם?
8. תארו לפי הסדר את צבעי הקשת מלמעלה למטה: הסבירו מדוע סדר זה יישמר תמיד.
9. האם תיתכן קשת כאשר השמש ניצבת בזנית?

סיכום



הרכב האטמוספירה נשאר אחיד עד לגובה של כ־100 ק"מ. טמפרטורת האוויר משתנה עם העלייה בגובה. מקובל לחלק את האטמוספירה לשכבות לפי השתנות הטמפרטורה. סדר השכבות מלמטה למעלה הוא זה: טרופוספירה, סטרטוספירה, מזוספירה ותרמוספירה. הקרינה המגיעה מהשמש כוללת בעיקר קרינה בתחום האור הנראה ובתחום האינפרא־אדום. רק 19% מקרינת השמש גורמים לחימום ישיר של האוויר. 30% מהקרינה מוחזרים לחלל בלי להוסיף חום לכדור הארץ. 51% מהקרינה עוברים את האטמוספירה, שרובה שקופה לקרינה בתחום האור הנראה, בלי לחמם אותה, נבלעים בקרקע ובים וגורמים לחימוםם. הקרקע והים שבים ופולטים את האנרגיה שנבלעה בהם וגורמים לחימום האטמוספירה מלמטה למעלה. פליטת האנרגיה מהקרקע ומהים מתרחשת באמצעות תהליכים האלה: הולכה, הסעה (כולל העברת חום כמוס) וקרינה. בעת פליטת הקרינה מפני כדור הארץ, נוצר אפקט החממה. האטמוספירה שאפשרה את פניסת הקרינה בתחום האור־הנראה, מאפשרת פליטת אנרגיה בתחום האינפרא־אדום רק באופן חלקי. כתוצאה מכך עולה טמפרטורת האטמוספירה ומגיעה ל־15° בממוצע עולמי. הצבעים המתקבלים בשמים, בעננים ובקשת הם תוצאת תהליכים שונים של פיזור, שבירה והחזרה של האור־הנראה ממולקולות האוויר ומטיפות המים.



פרק 4

לחץ האוויר והרוחות

אחת התופעות העיקריות באטמוספירה הקשורות עם מזג אוויר היא הרוח. אנו מכירים סוגים שונים של רוחות, החל ברוח הנעימה הנושבת מן הים אל החוף בחודשי הקיץ, עד רוחות ההוריקנים והטורנדו ההרסניות. אנו חשים ברוח בכל עונות השנה כמעט בכל יום. הרוחות מגיעות מכיוונים שונים ואופיין משתנה. הן צשויות להיות קרות, או חמות, יבשות או לחות, ויש להן השפעה מכרעת על מרכיבי מזג האוויר האחרים. הגורם העיקרי בהיווצרות הרוחות הם השינויים בלחץ האוויר, ובנושא זה נפתח את הפרק שלפנינו.

חלון אל הלחץ

המילה "לחץ" מוכרת לכולנו: מדברים על לחץ אוויר בגלגלי המכונית, אנו לוחצים ידיים זה לזה, וכשנפעיל כוח על שולחן בעזרת כף ידנו, נדבר על הפעלת לחץ על השולחן. בתחזית מזג האוויר שומעים לעתים קרובות את המושגים "שקע ורמה" שהם אזורים שלחץ האוויר בהם נמוך וגבוה.

הגדרת הלחץ היא זו: כוח הפועל על יחידת שטח; לדוגמה - הכוח הפועל על ס"מ מרובע אחד.

$$\text{לחץ} = \frac{\text{כוח}}{\text{שטח}}$$

נבהיר הגדרה זו באמצעות דוגמה זו: נדמה לעצמנו שני כיסאות - בכיסא אחד מסמרים רבים שחודם כלפי מעלה, בכיסא האחר מסמר אחד שחודו כלפי מעלה. האם אפשר לשבת על הכיסאות האלה? התשובה היא: ייתכן שנוכל לשבת על הכיסא עם המסמרים הרבים; לא כדאי לשבת על הכיסא בעל המסמר הבודד.

איור 30

על איזה כיסא ייתכן שנוכל לשבת?



מהי הסיבה לכך? כשיושבים על כיסא, מפעילים עליו כוח. כוח זה שווה בגודלו למשקלנו. אם נשב על כיסא בעל מסמרים רבים, יתחלק משקלנו בין מסמרים רבים. על ראשו של כל מסמר יפעל אפוא חלק קטן בלבד ממשקלנו, כלומר הלחץ יהיה קטן, ולכן לא נחוש כאב. אם נשב על כיסא שתקוע בו מסמר בודד, יתמקד כל משקל גופנו בשטח ראשו של אותו מסמר יחיד, והוא יכאיב לנו מאוד.

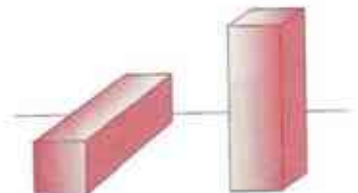
דוגמה נוספת: כיצד בודקים את לחץ האוויר בצמיג של אופניים? לוחצים על הצמיג באצבע וחשים את תגובתו - האם הוא "נסוג" פנימה או שהוא "מתנגד" ללחיצתנו? במקרה הראשון אין די אוויר בצמיג, משמע האוויר שבתוכו אינו מפעיל די לחץ על דופנות הצמיג. במקרה השני יש די אוויר בצמיג, והוא מפעיל לחץ גדול יותר על הדופנות. מהיכן נובע לחץ האוויר בצמיג? תשובה: מהתנועה האקראית של מולקולות האוויר בתוך הצמיג, שנועות לכל עבר ופוגעות בדפנותיו.

כיצד נוכל להגדיל את לחץ האוויר בצמיג? כמובן, על ידי שימוש במשאבה שדוחסת אוויר לתוך הצמיג. כאשר יש בצמיג אוויר רב (האוויר צפוף יותר) - יותר חלקיקים מפעילים כוח על דפנות הצמיג ולחץ האוויר גדל.

דרך אחרת להגדלת לחץ של גז היא באמצעות חימום. כאשר מחממים גז, מגבירים את אנרגיית התנועה של חלקיקי הגז. אם הגז כלוא בתוך כלי - פגיעתם של חלקיקי הגז תפעיל כוח רב יותר על דופנות הכלי, הלחץ יעלה והוא עלול להביא לפיצוץ הכלי.

שאלות?

1. מתי מופעל לחץ גדול יותר: כשיושבים על כיסא עם הרבה מסמרים או עם מסמר אחד?
2. איזו משתי הלבנים הזחות שבאיור 31 תפעיל לחץ גדול יותר על המשטח?
3. קל לעשות חור בנייר קרטון באמצעות חודו של המסמר, וקשה - באמצעות ראש המסמר. מדוע?
4. כיצד מסוגלים פקירים הודים לשכב על מיטת מסמרים?



איור 31

לחץ האוויר



היד באוויר



היד במים

איור 32 איננו חשים בלחץ האוויר שסביבנו כשם שאיננו חשים בלחץ המים שבשקית כאשר אנו אוחזים בה בתוך מים

את קיום האטמוספירה אנו חבים לכוח המשיכה המופעל על ידי כדור הארץ: לולא כוח זה היו כל גזי האטמוספירה "בורחים" לחלל. כוח המשיכה מחזיק את גזי האטמוספירה סמוך לפני כדור הארץ. עובי האטמוספירה ביחס לכדור הארץ הוא קטן מאוד – כיחס בין קליפת התפוח לתפוח. רוב המסה של האטמוספירה מרוכזת מתחת לגובה של 8,000 מ' (נפחות מגובהו של הר האוורסט). ככל שנעלה יותר באטמוספירה, תקטן צפיפות האוויר, וזו הסיבה לכך שבהרים גבוהים מרגישים מחסור בחמצן.

אנו חיים בתחתית האטמוספירה, ומעל ראשו של כל אחד מאתנו מצויים כמה מאות קילוגרמים של אוויר! עמודת אוויר זו מפעילה עלינו לחץ גדול. מדוע איננו חשים בלחץ זה? הסיבה לכך היא שהאוויר שבגופנו מפעיל לחץ דומה נגד האוויר שסביבנו. נוכל לחוש בתופעה דומה אם נמלא שקית במים. כאשר נניח את השקית על כף ידנו המצויה באוויר נרגיש את לחץ המים שבתוכה (משקלה). לעומת זאת כאשר נכניס את שקית המים המונחת על כף ידנו לתוך מים, לא נחוש בלחץ שהיא מפעילה, משום שלחץ המים שבתוך השקית שווה ללחץ המים.

השתנות הלחץ עם הגובה – הלחץ האטמוספרי נובע ממשקל של האוויר באטמוספירה. באיור 33 בעמוד 57 מתוארות שתי עמודות אוויר: האחת מעל פני הים והאחרת מעל הר גבוה.

היכן יהיה הלחץ האטמוספרי נמוך יותר? עמודת האוויר מעל ההר קטנה יותר מזו שמעל הים ולכן משקלה קטן יותר והלחץ מעל ההר יהיה נמוך יותר. רבים מאתנו יכולים לחוש באוזניהם את הבדלי הלחץ שבין מקומות גבוהים לנמוכים כאשר נוסעים ביניהם. הסיבה לכך היא שעובר זמן עד שלחץ האוויר בחלל האוזן משתווה ללחץ הסביבה. בעת עלייה, מצוי בחלל האוזן לחץ המתאים למקום הנמוך, והלחץ באוזן הוא כלפי חוץ. בעת ירידה, הלחץ שאנו חשים הוא כלפי פנים.

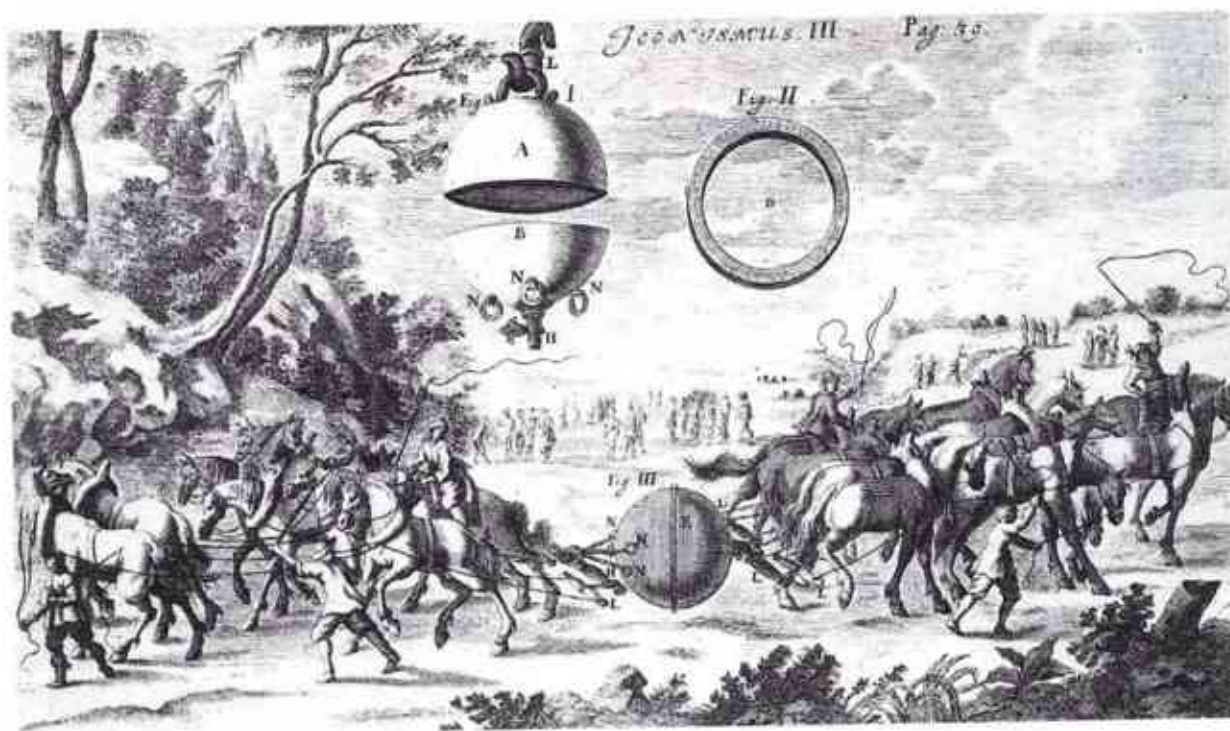
היחידה למדידת הלחץ המקובלת במטאורולוגיה היא מיליבר. הלחץ הממוצע בגובה פני הים הוא 1013 מיליבר.

הוכחת קיומו של לחץ אוויר – חצאי הכדורים של פון־גריקה

ב־1654 התקיים בעיר מגדבורג שבגרמניה אירוע מיוחד במינו. ראש העיר פון־גריקה, שהיה גם מדען, ערך ניסוי במעמד קהל רב כדי להוכיח את קיומו של לחץ האוויר ואת עוצמתו. הוא הצמיד שני חצאים של כדור מתכת זה לזה ושאל מתוך הכדור את האוויר. לכל אחד מחצאי הכדור נרתמו שמונה סוסים שניסו ללא הצלחה למשוך ולנתק את חצאי הכדור.

שאלה?

מדוע לא הצליחו הסוסים לנתק את חצאי הכדור?



הניסוי שערך פון-גריקה ב-1654 להוכחת קיומו של לחץ אוויר

עמודת אוויר
מעל הרעמודת אוויר
מעל הים

איור 33 גובה של עמודת האוויר של האטמוספירה שונה מעל פני הים ומעל לחר. כתוצאה מכך שונה הלחץ בכל אחד מהמקומות.

? שאלות

1. כשיוֹרְדִים בנסיעה מהר גבוה מרגישים לחץ באוזניים. מה הסיבה לכך?
2. א. מה יקרה לשקית חטיף, שנארזה ונאטמה בתל אביב, בדרך לירושלים?
ב. מה יקרה לאותה שקית כאשר נרד אותה מתל אביב לים המלח?
3. מדוע השיזוף בים המלח מסוכן פחות מהשיזוף בחרמון?
4. מהו תפקידה של חליפת הלחץ שלובשים האסטרונאוטים המגיעים לירח?



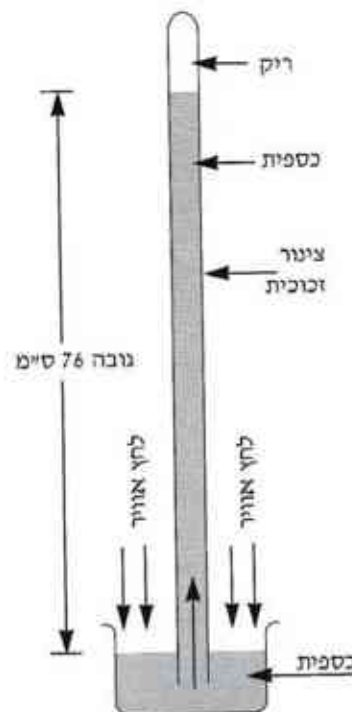
מכשירים למדידת לחץ (ברומטרים)

ברומטר כספית – הברומטר הומצא ב־1643 על ידי מדען איטלקי בשם אווגליסטה טוריצ'לי. טוריצ'לי לקח צינור סגור שאורכו כמטר ומילא בו כספית. אחר כך הפך את הצינור המלא והשקיע את פיו בקערה מלאה כספית. עמוד הכספית ירד עד לגובה 76 ס"מ. (הניסוי נערך בגובה פני הים).

מדוע לא נשפכה כל הכספית לקערה? כי, כאשר גובה הכספית בצינור היה 76 ס"מ ומעליה לא היה אוויר, האוויר שמחוץ לצינור לחץ על הכספית שהייתה בקערה בלחץ ששווה ללחצו של עמוד הכספית שבצינור. אם לחץ האוויר בחוץ יגדל, יגדל הלחץ על הכספית בקערה, ועמודת הכספית בצינור תעלה. אם לחץ האוויר בחוץ יקטן, יתרחש תהליך הפוך, ועמודת הכספית בצינור תרד.

ברומטר אנדרואיד – ברומטר זה מורכב ממכל שרוקנו ממנו חלקית את האוויר. המכל מחובר למחט. כאשר לחץ הסביבה עולה, המכל נמער מעט ומזיז את המחט בכיוון המעיד על עליית הלחץ. כאשר הלחץ יורד, המכל מתרחב, והמחט נעה בכיוון ההפוך.

לאחר המצאת הברומטר, התברר שקיים קשר בין לחץ האוויר ומזג האוויר, והברומטרים הפכו למכשיר שבאמצעותו ניתן לחזות את מזג האוויר, כפי שנלמד בהמשך.



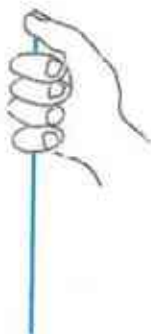
איור 34 ברומטר כספית



ברומטר אנדרואיד



איור 35



איור 36



איור 37

לחץ האוויר

כלים וחומרים:

קערה, כוס, צינורית או קשית לשתיה

ניסוי א

הוראות ביצוע

- הרכיבו את המערכת המתוארת באיור 35.

שאלה?

מדוע המים בכוס אינם נופלים עד לגובה המים שבקערה?

ניסוי ב

הוראות ביצוע

- מלאו את הצינורית במים וסתמו באצבע את חלקה העליון, כמתואר באיור 36.
- הסירו את האצבע מהצינורית.

שאלות?

- המים לא נשפכו כאשר סתמתם את הצינורית באצבע. מדוע?
- מה קרה כאשר הסרתם את האצבע מחלקה העליון של הצינורית? הסבירו.

השפעת הגובה על הלחץ

כלים וחומרים:

בקבוק קנקל, קערה

הוראות ביצוע

- נקבו שלושה חורים בבקבוק, בגבהים שונים כמתואר באיור 37. העמידו את הבקבוק בכיר ומלאו אותו מים.

שאלה?

- תארו והסבירו מה קרה.

שאלות?

1. א. מה מכיל קצהו העליון של הצינור באיור 34 מעל עמודת הכספית? הסבירו.
ב. מדוע צריך להשתמש בצינור שחלקו העליון סגור?
2. להכנת ברומטריקספית דרוש צינור שאורכו כ-0.8 מטר. גובה הכספית בצינור ישתנה מסביב ל-0.76 מ'. להכנת ברומטרימים נדדקק לצינור שאורכו כ-1.1 מ'. גובה המים בצינור ישתנה מסביב ל-10.3 מ'. מדוע נחוץ צינור כה ארוך לברומטרימים. (רמז: זכרו שהכספית היא נוזל צפוף יותר ממים).
3. מה היה קורה אילו טוריצ'לי היה מכין את הברומטר שלו על הר גבוה?
4. מה יקרה אם יישאב כל האוויר מתוך המכל שבברומטראנדרואיד?
5. כיצד ברומטר יכול לשמש למדידת גובה?

היווצרות הרוח

ההשתנות האופקית של הלחץ

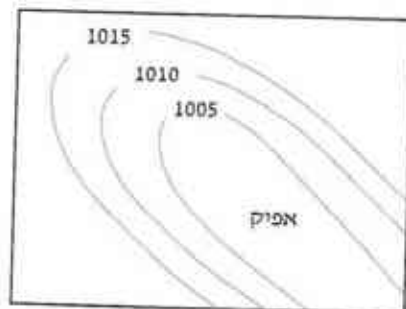
עד כה דיברנו על שינויי הלחץ האנכיים, אולם קיימת גם השתנות אופקית של הלחץ. כלומר לחץ שונה עשוי להימדד בשני מקומות שגובהם זהה.
דוגמה: הלחץ בתל אביב עשוי להיות שונה מהלחץ באשקלון, למרות ששתיהן נמצאות בגובה פני הים. (על הסיבות להיווצרות הפרשי לחץ אופקיים תוכלו לקרוא בנספח 1, בעמ' 173).



רוח

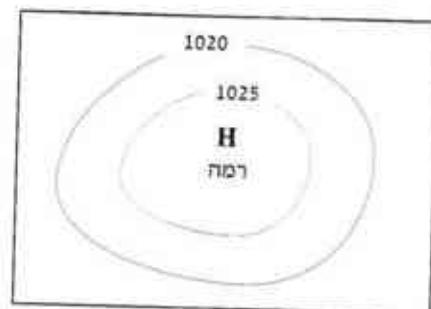
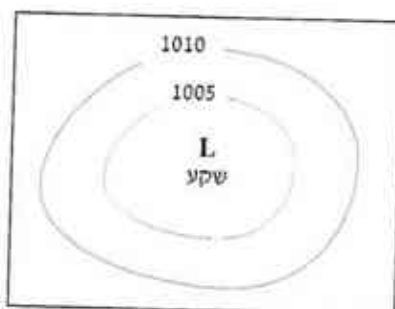
מפת לחץ – את ההשתנות האופקית של הלחץ ניתן לבטא באמצעות מפה. מפת הלחץ דומה מאוד למפת גובה טופוגרפית: המפה הטופוגרפית מבטאת את גובה פני השטח, ומפת הלחץ מבטאת באופן דומה את ערכי לחץ האוויר בשטח בזמן מסוים.¹ כיצד ממפים את הלחץ? ברחבי העולם פזורות תחנות מדידה מטאורולוגיות המספקות את קריאות הלחץ. כל קריאת לחץ מצוינת כנקודה על גבי המפה הגאוגרפית של האזור. לאחר שהנקודות צוינו במפה, מועברים ביניהן קווים שווים לחץ שנקראים **קווי לחץ** או **איזוברים**. כל קו מבטא לחץ בערך מסוים; כלומר, לכל אורך הקו הלחץ זהה. על קווי הלחץ מסומנים ערכי לחץ האוויר ביחידות מיליבר (מ"ב).

בדומה למפה טופוגרפית שבה נראים מקומות גבוהים ומקומות נמוכים, גם במפת לחץ נראים אזורים שהלחץ בהם גבוה ואזורים שהלחץ בהם נמוך. אזור שבו לחץ האוויר גבוה מהלחץ באזורים הסמוכים לו, נקרא **רמה** (רמה מסומנת בחלק ממפות הלחץ באות H (High)). אזור שבו לחץ האוויר נמוך מהלחץ באזורים הסמוכים לו נקרא **שקע** (שקע מסומן בחלק ממפות הלחץ באות L (Low)). לחלק של שקע שצורתו מוארכת (כמו ואדי במפה טופוגרפית) קוראים **אפיק**, ולרמה מוארכת קוראים **רכס**.



איור 38

רמה, שקע ואפיק



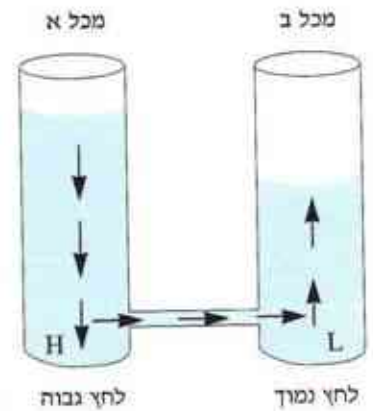
תיקון הלחץ – מפת לחץ שמכנים על בסיס דיווחי הקרקע של התחנות המטאורולוגיות, מתארת את נתוני לחץ האוויר בגובה פני הים. מאחר שמרבית התחנות המטאורולוגיות אינן בגובה פני הים, צריך להביא את הנתונים למכנה משותף כדי שאפשר יהיה להשוות ביניהם. על כן, לגבי תחנות שאינן בגובה פני הים, מחשבים מה היה הלחץ אילו היו בגובה פני הים. חישוב זה נקרא **תיקון הלחץ**. כלומר, ללחץ הנמדד מוסיפים לחץ של עמודת אוויר שעוביה כהפרש בין גובה התחנה לגובה פני הים. לכל 100 מ' גובה של אוויר בשכבות הנמוכות של האטמוספירה מוסיפים 10 מיליבר ללחץ האוויר. לדוגמה, אם בירושלים, שגובהה כ-800 מ' מעל פני הים, נמדד לחץ של 930 מ"ב, מוסיפים לערך זה 80 מ"ב, השווים ללחץ של עמודת אוויר שגובהה 800 מ'. יוצא אפוא, שאילו הייתה ירושלים בגובה פני הים, היה נמדד בה לחץ של 1010 מ"ב.

1. מפת לחץ האוויר משתנה כל העת משום שלחצי האוויר משתנים, בשונה ממפה טופוגרפית שנשארת קבועה לאורך זמן.

היווצרות הרוח וצומתה

הבדלי לחץ האוויר בין אזורים שונים גורמים לכך שאוויר שואף לנוע מאזור שהלחץ בו גבוה לאזור שהלחץ בו נמוך. תנועת אוויר זו היא הרוח. הכוח הגורם לתנועת האוויר נקרא **מפל-הלחץ**, וגודלו הוא שקובע את מהירות הרוח. ככל שההפרש בין הלחצים בשתי נקודות, שהמרחק ביניהן קבוע, גדול יותר, מפל-הלחץ יהיה גדול יותר ותיווצר רוח חזקה יותר. ממפת לחץ ניתן להפיק מידע על עוצמת הרוחות באזורים המתוארים בה: באזורים שבהם קווי הלחץ קרובים זה לזה, מפל-הלחץ גדול והרוחות חזקות; באזורים שבהם קווי הלחץ רחוקים זה מזה, מפל-הלחץ קטן והרוחות חלשות.

ניתן להשוות את מפת הלחץ למפה טופוגרפית: ככל שהקווים שוויו הגובה קרובים זה לזה, מדובר במדרון תלול יותר. אם נגלגל כדור במדרון כזה, הוא יגיע למהירות גבוהה יותר מאשר במדרון מתון יותר.



איור 39 מפל לחצים
הדגמה בשני מכלי מים

מפל-לחץ

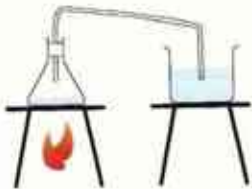


כלים וחומרים:

בקבוק ארלנמיייר, כוס, צינור גומי, פקק עם צינור זכוכית, גזייה

הוראות ביצוע

- הכינו את המערכת המתוארת באיור 40, מלאו מים בכוס, ומעט מים - בבקבוק (רק בכמות שתמנע את שרפת הכלי).
- הדליקו אש והניחו לה לבעור דקות ספורות.
- כבו את האש.



איור 40

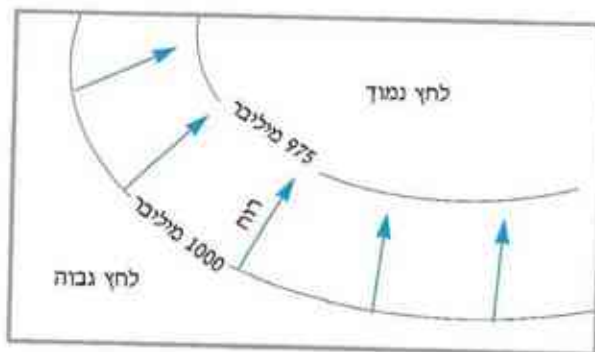
שאלות?

1. תארו והסבירו את התופעות שהתרחשו כאשר האש דלקה.
2. תארו והסבירו מה קרה לאחר שהאש כובתה.
3. איזו תופעה מטאורולוגית מתרחשת בגלל סיבה דומה לזו שגרמה לתופעות שראיתם?

שימו לב: בהדגמה זו מילאנו מים בכוס כדי שתבחינו במתרחש, ומילאנו מעט מים בבקבוק כדי למנוע את שרפתו. התופעות שראיתם היו מתרחשות באופן דומה גם אם הכלים היו ריקים בלי המים.

כיוון הרוח

היינו מצפים שכיוון הרוח יהיה זהה לכיוון מפליהלחץ, כלומר שכיוונה יהיה ניצב לקווי הלחץ (איור 41). אולם למעשה הרוח אינה נושבת כך, משום שפועלים שני כוחות נוספים המסיטים אותה ממסלול זה. הכיוון שבו תנשוב הרוח לבסוף הוא כיוון שקול הכוחות של כל הכוחות הפועלים עליה. הכוחות המסיטים את הרוח ממסלולה המקורי הם: **כוח קוריוליס** שמשפיע תמיד, ו**כוח החיכוך** המשפיע רק על רוחות בקרבת הקרקע. נתאר את מהותם של כוחות אלה, אך בשל מורכבות העניין נימנע מתיאור הדרך שבה נוצר שקול הכוחות.



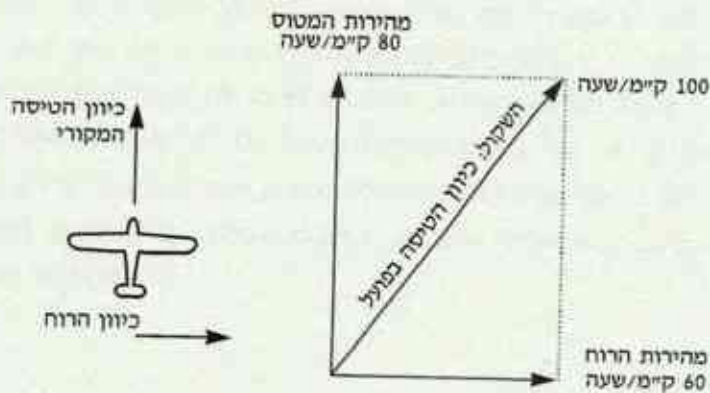
איור 41 כיוון הרוח כפי שניתן היה לצפות בהתחשב במפל הלחץ בלבד

שקול כוחות

כאשר במערכת כלשהי פועלים כמה כוחות, הכוח הסופי הוא כוח שקול של כל הכוחות נדגים זאת על ידי שקול של מהירויות: אם לדוגמה מטוס טס בכיוון מסוים (איור 42) ונושבת רוח אל אחד מצדיו, תוספת תנועת המטוס באופן שבו יבואו לידי ביטוי שתי המהירויות בהתאם לעוצמתן.



איור 42 מהירותו השקולה של מטוס כאשר נושבת רוח מצידו



כוח קוריוליס – כוח קוריוליס נובע מהתנועה הסיבובית של כדור הארץ. כדי להבין את מהותו, נתבונן באיור 43, ובו שני ילדים יושבים על סחרחרת (קרוסלה). ילד א זורק כדור אל ילד ב. כאשר הסחרחרת במנוחה, יגיע הכדור ישירות אל ילד ב, אולם כאשר הסחרחרת מסתובבת נגד כיוון השעון, יגיע הכדור לנקודה הנמצאת מימין לילד ב. לצופה הנמצא על הסחרחרת ומסתובב עמה נראה כאילו פעל על הכדור כוח שגרם לסטייתו ימינה. כוח זה הוא כוח קוריוליס. (מומלץ לנסות זאת בגן משחקים).



הקרוסלה מסתובבת. לצופה הנמצא על הקרוסלה הכדור נראה סוטה ימינה ממסלולו כאשר הסיבוב הוא מנגד לכיוון השעון.

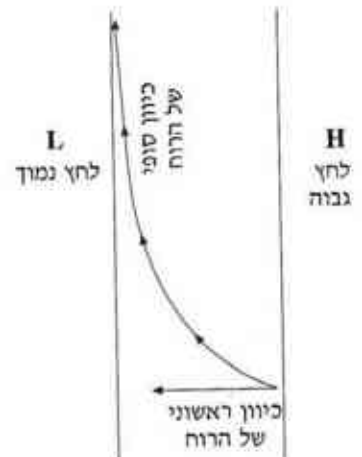


הקרוסלה במנוחה, הכדור עובר בקו ישר מילד א לילד ב.

איור 43 הדגמת כוח קוריוליס באמצעות קרוסלה

כיוונו של כוח קוריוליס משתנה במעבר מחציו הצפוני של כדור הארץ לחציו הדרומי. בחצי הכדור הצפוני מוסט הגוף הנע באוויר ימינה מכיוון התנועה המקורי, ובחצי הכדור הדרומי הוא מוסט שמאלה מכיוון התנועה המקורי. עוצמתו של כוח קוריוליס גדלה ככל שמתרחקים מקו המשווה לעבר הקטבים.

נבחן כעת את השפעת כוח קוריוליס על הרוח. באיור 44 מתוארת מפת לחץ ברום האטמוספירה בחצי הכדור הצפוני. במצב זה הרוח תשאף לנשוב ממזרח למערב, אולם ברגע שיתחיל האוויר לנוע, יפעל עליו כוח קוריוליס ימינה מכיוון התנועה המקורי; כך תוסט הרוח לכיוון צפון ותנשוב במקביל לקווי הלחץ ולא בניצב להם כפי שמכוון כוח מפלהלחץ. השפעתו של כוח קוריוליס ניכרת על כל גוף שנע למרחקים גדולים. לכן יש להתחשב בו, למשל, כאשר משגרים טילים. לא ניתן להבחין בו כשהגופים נעים למרחקים קטנים, כמו למשל בעת משבי רוח מקומיים, או כאשר מים זורמים לאביקי¹ האמבטיה. (המים מסתובבים באביק האמבטיה לא בגלל כוח קוריוליס).

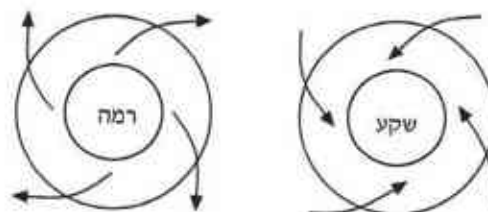


איור 44 שינוי בכיוון הרוח עקב כוח קוריוליס

1. אביק – הפתח באמבטיה שדרכו מתנקזים המים.

כוח החיכוך – על רוחות שנושבות סמוך לקרקע פועל גם כוח החיכוך. כוח זה מוכר לנו מחיי היומיום. אם ננסה להחליק גוף על הרצפה על ידי הדיפה ביד, הוא ייעצר כעבור זמן מסוים. ככל שהרצפה חלקה יותר, כוח החיכוך קטן יותר והגוף מחליק למרחק גדול יותר. כוח החיכוך פועל תמיד בכיוון הפוך לכיוון התנועה וגורם להאטה.

כאשר רוח נושבת סמוך לקרקע היא מתחככת בה. עקב כך קטנה מהירות הרוח וחל גם שינוי בכיוונה בהשוואה לרוח שנושבת ברום. ברום נושבות הרוחות תמיד במקביל לקווי הלחץ, לא כך סמוך לקרקע. סמוך לקרקע – כאשר הרוח נושבת מסביב לשקע היא מוסטת לכיוון מרכזו וגורמת למילוי השקע באוויר, ואילו כאשר נושבת רוח מסביב לרמה היא מוסטת ממרכז החוצה, וגורמת לסילוק אוויר מהרמה. זרימת אוויר בכיוון מרכזו של שקע נקראת **התכנסות**. זרימת אוויר החוצה ממרכז של רמה נקראת **התבדרות**. מידת ההסטה של הרוח מזרימתה במקביל לקווי הלחץ היא בין 30° ל- 40° בממוצע. ככל שהחיכוך גדול, ההסטה רבה יותר.



איור 45

תנועת הרוח בהשפעת כוח החיכוך
בחצי הכדור הצפוני

לסיכום:

- כיוון הרוח ועוצמתה נקבעים כשקול כוחות של כל הכוחות הפועלים עליה.
- על עוצמת הרוח ניתן ללמוד מהמרחק בין קווי הלחץ, ככל שקווי הלחץ קרובים זה לזה, עוצמת הרוח גדולה יותר.
- זרימת הרוח סביב שקע בחצי הכדור הצפוני תהיה נגד כיוון השעון, והזרימה סביב רמה – בכיוון השעון. בחצי הכדור הדרומי יהיו כיווני הזרימה הפוכים.
- רוח הנושבת ברום תנשוב במקביל לקווי הלחץ.
- רוח הנושבת בסמוך לקרקע: במצב של שקע הרוח נוטה אל פנים השקע, ובמצב של רמה היא נוטה אל מחוץ לרמה.

מכשירים למדידת רוח

הרוח מאופיינת על ידי שני משתנים: **כיוון ועצמה**.

שבשבת מודדת את כיוון הרוח. כאשר הרוח משנה את כיוונה, החץ של השבשבת מסתובב ומצביע אל הכיוון שאליו נושבת הרוח. כאשר מדווחים על כיוון הרוח, מציינים את הכיוון שממנו היא באה; לדוגמה, רוח הנושבת מצפון לדרום נקראת רוח צפונית.

אנומטר מודד את עוצמת הרוח. למכשיר זה כמה כפות קעורות המסתובבות על ציר. ככל שהרוח חזקה יותר, הכפות מסתובבות מהר יותר. בלוח התצוגה של המכשיר מתורגמת מהירות הסיבוב למהירות הרוח.



אנומטר כפות ושבשבת

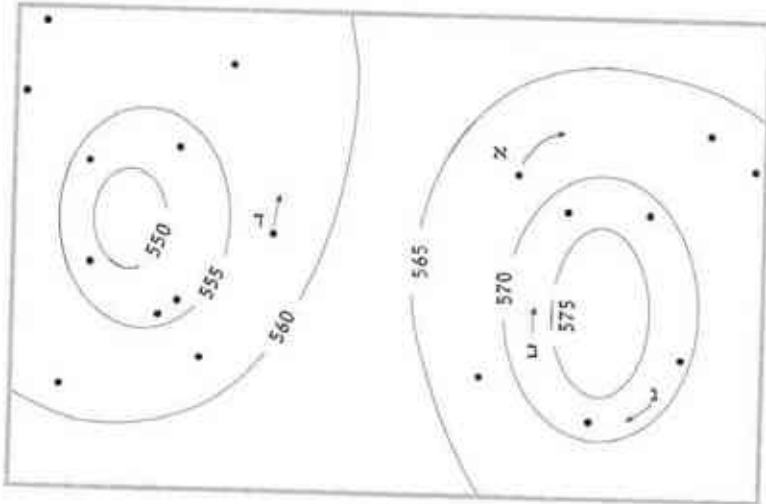
? שאלות

- מה יהיה לחץ האוויר המתקן לגובה פני הים במקרים אלה:
 - בבאר שבע, שגובהה כ־300 מ' מעל פני הים נמדד לחץ של 990 מיליבר.
 - בים המלח, שגובהו 400 מ' מתחת לפני הים נמדד לחץ של 1060 מיליבר.
- א. כיצד מכינים מפת לחץ?
ב. איזה מידע ניתן להפיק ממפת לחץ?
- ניתן להדגים את כוח קוריוליס באמצעות שתי מזרקות מים הניצבות זו מול זו על גבי דיסק (איור 46). כאשר הדיסק במנוחה, שני זרנוקי המים היוצאים מהמזרקות נפגשים. כאשר הדיסק מתחיל להסתובב, זרנוקי המים נפרדים וכל אחד נוטה לכיוון אחר. עיינו באיור 46 וציינו באיזה כיוון מסתובב הדיסק, עם כיוון השעון או בניגוד לכיוון השעון.

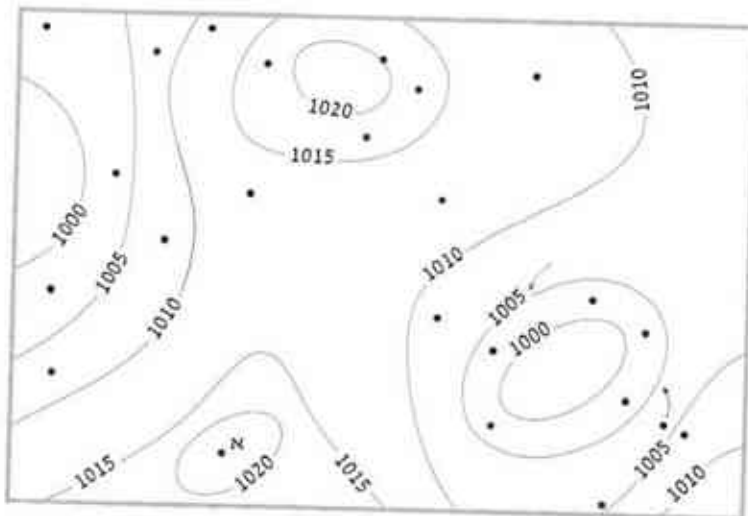


איור 46

- כוח החיכוך הפועל על רוח סמוכה לקרקע, חזק יותר מכוח החיכוך ברום. מדוע?
- היכן חזק יותר כוח החיכוך – מעל ים או מעל יבשה? (רמז: חשבו מהי עוצמתו של כוח החיכוך כאשר גוף נע על משטח חלק, ומהי העוצמה כאשר גוף נע על משטח מחוספס).

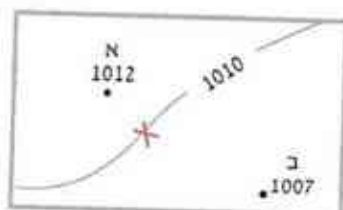


איור 47 מפת לחץ ברום



איור 48 מפת לחץ בגובה פני הים

6. א. מה קובע את עוצמת הרוח?
ב. מה קובע את כיוון נשיבת הרוח?
7. באיור 47 מפת לחצים ברום:
א. ציינו באמצעות המילים "שקע" ו"רמה" את מרכזיהם של השקע והרמה המסומנים במפה.
ב. בנקודות אחדות במפה צוין כיוון הרוח. ציירו את כיוון הרוח בשאר הנקודות.
ג. השוו בין הרוח בנקודה א' לרוח בנקודה ב'. היכן עוצמתה גדולה יותר ומדוע?
ד. כתבו במילים מהו כיוון הרוח בכל אחת מהנקודות א-ד. (זכרו - כיוון הרוח מציין את האזור שממנו נושבת הרוח, למשל רוח צפונית היא רוח שבאה מצפון).
8. באיור 48 מפת לחץ בגובה פני הים:
א. ציינו באמצעות המילים "שקע" ו"רמה" את מרכזיהם של שקעים ורמות במפה.
ב. ציירו את כיוון הרוח בנקודות המצוינות על המפה.
ג. סמנו במפה אזור שבו עוצמת הרוח גבוהה, ואזור אחר שבו עוצמת הרוח נמוכה.
ד. מה מעיד על כך שמפה זו היא מפת קרקע? (השוו למפת הרום באיור 47)



איור 50 דוגמה למקום שבו עובר קו לחץ 1010. הסימן X מציין מקום שבו הלחץ 1010. ממקום זה יש להתחיל לטע כדי לסרטט את קו לחץ 1010.

הנחיות לסימון קווי לחץ במפה

קווי לחץ עוברים דרך כל הנקודות שלחצן שווה. (למשל, קווי הלחץ של 1000 מיליבר עוברים דרך כל הנקודות שלחצן 1000 מיליבר.) במפה זו עליכם להעביר קווי לחץ בהפרשים של 5 מיליבר. (הערכים הם תמיד מספרים המתחלקים ב-5, למשל: 1000, 1005, 1010, 1015 וכן הלאה.) לשם כך בצעו את הפעולות האלו:

- בחרו בערכו של קו הלחץ שאמור להופיע במפה (למשל, קו לחץ 1010).
- מצאו מקום שבו מתקיים לחץ זה; סביר להניח שהמקום אינו מסומן במפה אלא אם כן נמדד ערך זה באחת התחנות. לכן מקום כזה ימצא בין שתי נקודות א ו ב, שערכי הלחץ בהן מקיימים בדוגמה שלנו את התנאי הזה:
ערך הלחץ בנקודה א גבוה מ-1010 וקטן מ-1015.
ערך הלחץ בנקודה ב נמוך מ-1010 וגדול מ-1005.
(בדוגמה באיור 50: קו 1010 יעבור בין שתי הנקודות 1007 ו-1014).
- סמנו את הנקודה והתחילו לנוע ממנה תוך סימון קו שיעבור שוב בין שתי נקודות שערכן כפי שצוין בסעיף ב.
- אם לא תטעו, כלומר לא תעבירו את קו הלחץ בין נקודות שהוא אינו יכול לעבור בהן (למשל קו 1010 לא יכול לעבור בין הנקודות 1002 ו-997), תגיעו עם הקו שלכם אל מסגרת המפה או שהוא יחזיר אתכם לנקודת ההתחלה (כלומר, תיווצר לולאה סגורה).
- אם הקו שלכם הגיע למסגרת, עליכם לחזור לנקודת ההתחלה שלו ולצייר אותו בכיוון המנוגד.
- לאחר שסיימתם את הקו הראשון, בצעו את הפעולות שתיארנו גם לסימון קווי הלחץ האחרים.

כללים חשובים

- קווי לחץ **לעולם** אינם חוצים זה את זה.
- כל קו **חייב** להיסגר ללולאה או להיגמר במסגרת המפה.
- במפה יכולים להיות כמה קווי לחץ באותו ערך.

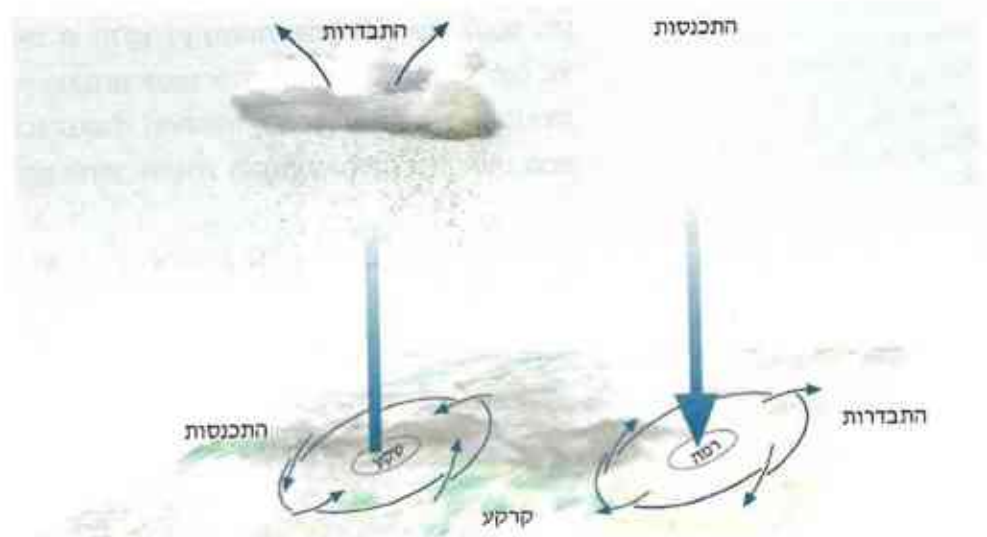
פעילות במפה שהכנתם

- ציינו באמצעות המילים "שקע" ו"רמה" את מרכזיהם של שקעים ורמות במפה.
- ציירו את כיוון הרוח בנקודות שונות לאורך קווי הלחץ.
- סמנו במפה אזור שבו עוצמת הרוח גבוהה, ואזור שעוצמת הרוח בו נמוכה.

שקעים ורמות – מבט תלת־ממדי

האטמוספירה היא תלת־ממדית, ומערכות לחץ שונות יכולות להתקיים מעל לאותם מקומות בגבהים שונים. למשל: ייתכן שבמקום מסוים יהיה שקע קרוב לקרקע, אך מעל אותו מקום בגובה 5 ק"מ תהיה רמה. מערכות הלחץ בקרקע וברום מושפעות זו מזו כל העת. דוגמה לקשר זה מתוארת באיור 51: אפשר לראות כי קרוב לקרקע מצויה רמה שממנה מתפזר אוויר כלפי חוץ, בעקבות זאת שוקע אוויר מן הרום שתופס את מקומו של האוויר שיצא מן הרמה. כתוצאה מכך נוצר ברום מעל למקום זה, שקע. בו בזמן מתכנס אוויר במקום אחר אל תוך שקע בקרקע, הצטברות האוויר בשקע גורמת לעלייתו, ומעל לשקע נוצרת ברום רמה. כל עוד מתקיים המצב הזה, ימשיכו להתקיים השקע והרמה הקרובים לקרקע. הם עשויים להיעלם אם מסיבה כלשהי לא יוכלו להיווצר ברום. מערכות הלחץ שיאפשרו את קיומם. אם לדוגמה לא תוכל להיווצר רמה ברום, במקום שמעל לשקע בקרקע – לא יתאפשר סילוק יעיל של האוויר העולה מהשקע, וכתוצאה מכך הוא יתמלא באוויר ויחדל להתקיים.

לשקעים ולרמות השפעה רבה מאוד על הסיכויים להיווצרות עננים ומשקעים. בדרך כלל ישרור מזג אוויר מעונן וגשום כאשר מתקיים שקע, ומזג אוויר נאה – כאשר יש רמה. הסיבה לכך היא שבשקע תנועת האוויר היא כלפי מעלה, הוא מתקרר, ואם יש בו לחות ייווצרו עננים. לעומת זאת, ברמה האוויר נע כלפי מטה, הוא מתחמם ואין אפשרות להיווצרות עננים. (נלמד על כך ביתר פירוט בפרק הבא.)



איור 51 רמה ושקע – מבט תלת ממדי

שאלות?

1. הסבירו כיצד מערכת הלחץ ברום משפיעה על היווצרות שקעים ורמות בקרקע.
2. במצב של שקע, קיימת אפשרות להיווצרות עננים, וכאשר יש רמה, השמים בהירים בדרך כלל. הסבירו מדוע.

סיכום

לחץ האוויר במקום מסוים הוא משקל עמוד האוויר שנמצא מעל מקום זה. עם העלייה בגובה, פוחתת כמות האוויר שמעלינו ועל ידי כך פוחת גם לחץ האוויר. קיימים גם שינויים אופקיים בלחץ האוויר, והם הגורם המרכזי לתופעות מזג האוויר. כאשר במקום מסוים הלחץ קטן יותר מאשר במקום סמוך בגובה זהה, הפרש הלחצים יוצר תנועה של אוויר שהיא הרוח. אזור שבו הלחץ נמוך מסביבתו נקרא שקע, ואזור שבו הלחץ גבוה מסביבתו נקרא רמה. התפרוסת המרחבית של שקעים ורמות מתוארת במפות לחץ אוויר על ידי קווים שווי לחץ. עוצמת הרוח נקבעת על פי הפרש הלחצים באזור שבו היא נושבת. ככל שהפרשי הלחץ גדולים יותר, עוצמת הרוח גדלה. כיוון הרוח הוא שקול כוחות של כמה כוחות הפועלים עליה. בגבהים שבהם תנועת האוויר אינה מושפעת מהחיכוך עם הקרקע, פועלים **כוח מפל-הלחץ** ו**כוח קוריוליס**. השקול של כוחות אלה גורם בחצי הכדור הצפוני להסתת הרוח ב- 90° ימינה מכיוון כוח מפל-הלחץ (בחצי הכדור הדרומי ההסטה היא שמאלה). לפיכך נושבות הרוחות ברום במקביל לקווי הלחץ. סמוך לקרקע פועל על הרוח גם **כוח החיכוך**. כתוצאה מכוח זה, במצב של שקע תנשוב הרוח סביב השקע בהסטה קלה לכיוון מרכזו. עקב כך יתכנס אוויר למרכז השקע, יעלה מעלה ויווצרו תנאים לעננים ולמשקעים. במצב של רמה, תנשוב הרוח מסביב לרמה בהסטה קלה החוצה ממרכז הרמה. האוויר יתפזר ממרכז הרמה כלפי חוץ, את מקומו יתפוס אוויר שיורד מלמעלה, ויווצרו תנאים למזג אוויר נאה ללא עננים.





פרק 5

לחות, עננים ומשקעים

רק 0.0003% מהמים בעולם מצויים באוויר, אך חשיבותם רבה מאוד. החיים על פני כדור הארץ תלויים בהם, ועל כן תופעת המשקעים היא תופעת מזג האוויר החשובה ביותר. בפרק זה נעקוב אחר המים באטמוספירה, נכיר את צורותיהם השונות ואת התהליכים שבהם הם מצורבים.

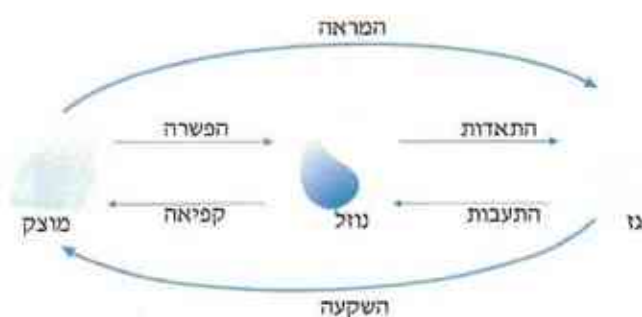
הלחות באוויר

מצבי הצבירה של המים באטמוספירה

כמעט בכל מקום באוויר נוכל למצוא אדי מים, כלומר מים בצורתם הגזית. אדי המים הם בלתי נראים, ומה שאנו מכנים בחיי היום-יום **אדים** בעת שאנו מרתיחים מים, אינו אלא קיטור, כלומר טיפות זעירות שנוצרו מהתעבות האדים בבואם במגע עם הסביבה הקרה. המים מצויים באוויר גם כטיפות זעירות, שמהן עשויים העננים, וכטיפות גדולות יותר שהן **הגשם**. כמוצק הם מופיעים בצורת **גבישי קרח** זעירים, היוצרים גם הם עננים, וכגבישים גדולים יותר שהם **השלג והברד**.

באטמוספירה חלים כל העת מעברים בין מצבי הצבירה השונים:

- אדי מים הופכים לנוזל בתהליך **ההתעבות**, ולעתים הם הופכים ישירות למוצק (קרח) בתהליך הנקרא **השקעה**.
- מים נוזלים הופכים לאדי מים בתהליך **ההתאדות** או קופאים לקרח בתהליך של **קפיאה**.
- קרח מפשיר לנוזל (**הפשרה=התכה**), או הופך ישירות לאדי מים בתהליך הנקרא **המראה**.



לתהליכי ההתאדות, ההפשרה וההמראה דרושה אנרגיית חום. אנרגיה זו נלקחת מהסביבה ויכולה לגרום לירידה בטמפרטורה שלה. זהו **החום הכמוס** שהזכרנו בעמוד 41 בפרק 3. כאשר מתרחשים התהליכים ההפוכים – **עיבוי, קפיאה והשקעה** – נפלט החום הכמוס לסביבה ויכול להעלות את הטמפרטורה שלה.

שאלות?

- השלימו את המילים (אדי מים, מים נוזלים, קרח) ומחקו את המילה המיותרת בהמשך המשפט.
 כאשר מים נוזלים **מתאדים**, נוצרים **אדי מים**, חום כמוס מושקע/נפלט בתהליך.
 כאשר אדי מים **מתעבים**, נוצרים _____, חום כמוס מושקע/נפלט בתהליך.
 כאשר מים נוזלים **קופאים**, נוצר _____, חום כמוס מושקע/נפלט בתהליך.
 כאשר קרח **מפשיר**, נוצרים _____, חום כמוס מושקע/נפלט בתהליך.
 כאשר קרח **ממריא**, נוצרים _____, חום כמוס מושקע/נפלט בתהליך.
 כאשר אדי מים **שוקעים**, נוצר _____, חום כמוס מושקע/נפלט בתהליך.
- מהו מקור אנרגיית החום המשמשת לאידוי המים בטבע?



תהליך האידוי - הרמה המולקולרית

כאשר מים הם במצב נוזלי, קיימים כוחות משיכה חשמליים בין המולקולות, המחזיקים אותן קרובות זו לזו. במקביל נעות המולקולות לכל הכיוונים. בגבול שבין המים והאוויר גובר חלק ממולקולות המים על כוחות המשיכה שביניהן והן יוצאות אל האוויר כמולקולות בודדות (כלומר, המים הופכים לאדים). ב־בזמן מתרחש תהליך הפוך שבו מולקולות הגז חוזרות לתוך הנוזל. כך יכול להיווצר מצב של שיווי משקל, שבו מספר המולקולות העוזבות את הנוזל בפרק זמן נתון, שווה למספר המולקולות המצטרפות אליו, וכמות הנוזל נותרת קבועה.

כאשר בפרק זמן נתון מספר המולקולות ההופכות לגז גדול יותר מאלו המצטרפות לנוזל, שולט תהליך האידוי, ואפשר להבחין שכמות הנוזל פוחתת. תהליך זה יכול להתרחש בשתי דרכים:

- העלאת הטמפרטורה של המים, שמשמעה הגדלת אנרגיית התנועה של מולקולות המים. כאשר למולקולות המים אנרגיה רבה יותר, יותר מולקולות יכולות להתגבר על כוחות המשיכה החשמליים שביניהן ולצאת אל האוויר כאדים.
- הקטנת צפיפות אדי המים שמעל למים הנוזלים. כתוצאה מההקטנה, מספר קטן יותר של מולקולות מים מצטרפות לנוזל בהשוואה למספר המולקולות שעוזבות אותו. כאמור, אם יתקיים אחד מתהליכים אלו, או אם יתקיימו שניהם במקביל, יגבר האידוי. זאת, עד שצפיפות אדי המים באוויר, תהיה כזו שיווצר שוב שיווי משקל חדש שבו שווה מספר המולקולות שיוצאות מהנוזל למספר המולקולות שמצטרפות אליו. ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר, נחוצה צפיפות גדולה יותר של מולקולות מים באוויר על מנת להפסיק את האידוי.

שאלה?

- מים התאדו מכוס וקמותם בה פחתה. הסבירו מה קורה ברמה המולקולרית.
- מדוע תיפסק ההתאדות אם ניכנס עם הכוס לסאונה?
- כיצד מונע כיסוי הכוס את התאדות המים?



אדי המים באוויר

כפי שלמדנו בפרק 3, כמויות אדי המים באוויר איננה קבועה. אוויר יבש לחלוטין אינו מכיל אדי מים, וכנגד זאת – יכולים אדי המים באוויר לתפוס עד כ-4% מנפחו. לכמות אדי המים באוויר חשיבות רבה, שכן זה המדד ליכולתו של האוויר ליצור עננים.

כמות אדי המים שהאוויר יכול להכיל מוגבלת, והיא תלויה בעיקר בטמפרטורת האוויר. אוויר חם יכול להכיל יותר אדי מים מאוויר קר. המסה המקסימלית של אדי המים שיחידת נפח של אוויר יכולה להכיל בטמפרטורה מסוימת, נקראת **לחות הרוויה**. לדוגמה: לחות הרוויה של מטר מעוקב (מ"ק) אוויר בטמפרטורה של 20° היא 17 גרם אדי מים (כלומר, מטר מעוקב אוויר יכול להכיל 17 גרם אדי מים לכל היותר). בטבלה 2 מובאים ערכי לחות הרוויה בטמפרטורות שונות.

טמפרטורת האוויר	לחות הרוויה בגרמים	טמפרטורת האוויר	לחות הרוויה בגרמים
0°	5	25°	23
5°	7	30°	30
10°	9	35°	40
15°	13	40°	51
20°	17	50°	88

טבלה 2 ערכי לחות הרוויה במטר מעוקב אוויר בטמפרטורות שונות

כאשר נוצר באוויר מצב של **על רוויה**, כלומר כמויות האדים היא מעל לכושר ההכלה של האוויר, עודף האדים מתעבה והופך לנוזל. אם הטמפרטורה נמוכה מ- 0° האדים יכולים להפוך ישירות לגבישי קרח. בדרך זו נוצרים **הטל והכפור**, ובשילוב גורמים נוספים – גם העננים. טל נוצר כאשר הטמפרטורה היא מעל ל- 0° ואדי המים מתעבים על הקרקע. כפור נוצר כאשר הטמפרטורה נמוכה מ- 0° ואדי המים קופאים על הקרקע.

מסת אדי המים שהאוויר מכיל בפועל ברגע נתון ביחידת נפח, נקראת **הלחות המוחלטת**. מושג זה מאפשר להגדיר מדד חשוב שמרבים להשתמש בו, והוא **הלחות היחסית**. זו מוגדרת כיחס באחוזים בין הלחות המוחלטת לבין לחות הרוויה, כלומר היחס בין כמויות אדי המים המצויים באוויר בפועל לבין הכמות המרבית שהאוויר יכול להכיל בטמפרטורה מסוימת.

$$\frac{\text{לחות מוחלטת}}{\text{לחות רוויה}} \times 100 = \text{לחות יחסית}$$

לדוגמה: טמפרטורת האוויר היא 20° וכמות אדי המים במ"ק אוויר היא 8.5 גרם. מהי הלחות היחסית?

מטבלה 2 אנו למדים כי בטמפ' של 20° , לחות הרוויה היא 17.0 גרם במ"ק אוויר. לפיכך:

$$\frac{8.5}{17.0} \times 100 = 50\%$$

זאת אומרת הלחות היחסית היא מחצית מלחות הרוויה, כלומר 50%.

האוויר יכול להגיע לרוויה (כלומר, ללחות יחסית של 100%), בשתי דרכים:
א. תוספת אדי מים לאוויר.

ב. ירידת טמפרטורת האוויר. כאשר יורדת טמפרטורת האוויר, לחות הרוויה נמוכה יותר. במצב זה, אף שכמות אדי המים באוויר (הלחות המוחלטת) אינה גדלה, גדל חלקם של אדי המים ביחס לכמות המרבית של אדי המים שהאוויר יכול להכיל.

לדוגמה: 8.5 גרם אדי מים, שבטמפרטורה של 20° יוצרים לחות יחסית של 50%, יגרמו ללחות יחסית של 94% בטמפרטורה של 10° , שהרי:

$$\frac{8.5}{9.0} \times 100 = 94\%$$

הטמפרטורה שאליה יש לקרר אוויר, כדי שיגיע ללחות רוויה נקראת **נקודת הטל**.

לדוגמה: טמפרטורת האוויר היא 25° והוא מכיל 7 גרם אדי מים. מה תהיה נקודת הטל? על פי טבלה 2, נקודת הטל של אוויר המכיל 7 גרם אדי מים למ"ק היא 5° ; במילים אחרות זוהי הטמפרטורה שאליה צריך לקרר את האוויר כדי שתחול התעבות. נקודת הטל היא נתון חשוב שבעזרתו יודעים איזו טמפרטורה נדרשת להיווצרות עננים, טל, או כפור.



הלחות היחסית והרוח

רוח מסייעת להתאדות: כביסה וכל דבר אחר מתייבשים מהר יותר כשיש רוח. הסיבה לכך היא שלחות יחסית גבוהה, מחלישה את ההתאדות משום שהאוויר יכול לקלוט פחות אדי מים. רוח מסלקת את האדים מעל לשטח שמתאדה, וכך נמנעת העלייה המקומית בלחות היחסית שמגבילה את המשך ההתאדות.

מדידת הלחות היחסית

כדי לחשב את הלחות היחסית, יש למדוד תחילה את הלחות המוחלטת. מדידה זו אינה פשוטה, ולכן מדידת הלחות היחסית מתבצעת באופן עקיף בדרך זו: משתמשים בשני תרמומטרים – הראשון נקרא **תרמומטר יבש**, והוא תרמומטר רגיל המודד את טמפרטורת האוויר. התרמומטר השני נקרא **תרמומטר לח**: גולת הכספית של תרמומטר זה מכוסה בשרוול בד. קצהו האחד של הבד טבול בכלי מים מזוקקים. המים נספגים בבד ושומרים דרך קבע את גולת התרמומטר רטובה. המים המקיפים את גולת התרמומטר הלח מתאדים באמצעות חום שהם קולטים מהתרמומטר. כתוצאה מכך יורדת הטמפרטורה שמראה התרמומטר הלח בהשוואה לתרמומטר היבש.

כאשר הלחות היחסית נמוכה, האוויר יכול לקלוט אדי מים רבים. אידוי המים "גוזל" חום רב מהתרמומטר הלח, וכתוצאה מכך הטמפרטורה שלו יורדת במידה ניכרת. לעומת זאת, כאשר הלחות היחסית גבוהה, קצנה יכולת האוויר לקלוט אדי מים, ופחות מים מתאדים מהתרמומטר. במצב זה, הטמפרטורה של התרמומטר הלח יורדת רק מעט. את הערכים המדויקים של הלחות היחסית מחשבים באמצעות טבלה (ראו נספח 2 בעמ' 176), שבה רשומים ערכי טמפרטורות של התרמומטרים הלח והיבש וערכי הלחות היחסית המתאימים לכל צירוף של טמפרטורות.



מדידת הלחות
היחסית
באמצעות
תרמומטר לח
(מימין)
ותרמומטר יבש
(משמאל)

דרך אחרת למדוד את הלחות היא בעזרת **היגרומטר**. מכשיר זה מנצל את התופעה שאורכן של שערות משתנה לפי שיעורי הלחות באוויר (באוויר לח השער מתארך ובאוויר יבש מתקצר). השערות מחוברות למחוג הנע על גבי לוח שעליו מסומנות השנתות של הלחות היחסית. בדרך כלל משתמשים לצורך זה בשערות סוס שאינן נקרעות בקלות.

היגרומטרים מודרניים מבוססים על מעגלים חשמליים שאחד ממרכיביהם מושפע מהלחות.



היגרומטר

לחות האוויר ותחושת הנוחות

כמו אצל יונקים אחרים, טמפרטורת גופו של האדם היא קבועה. אחד המנגנונים החשובים לשמירה על טמפרטורת גוף קבועה הוא מנגנון ההזעה המופעל בעת שהגוף מתחמם. אנו מזיעים כאשר הסביבה חמה יותר מגופנו, או כאשר גופנו מנצל אנרגיה עקב מאמץ (למשל ריצה), וזו מתגלגלת לאנרגיית חום. 99.5% מהזיעה הם מים, המכסים את גופנו ומצננים אותו על ידי כך שהם קולטים חום מהגוף וצורכים אותו להתאדות. קליטת החום על ידי המים מצננת את הגוף.

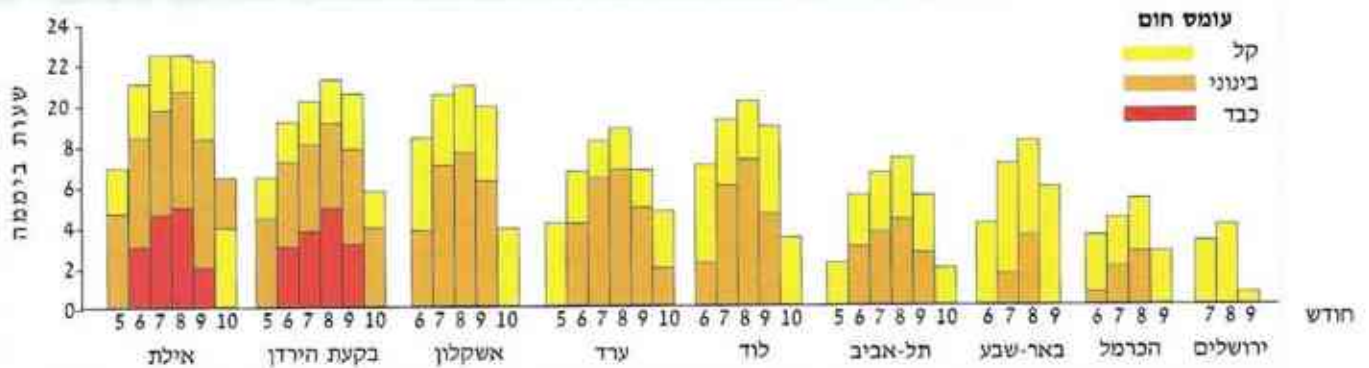
כאשר הלחות היחסית גבוהה, יכולת האוויר לקלוט אדי מים קטנה. לכן קצב אידוי הזיעה קטן, ואנו חשים ש"החום מעיק". לעומת זאת, במצב של לחות יחסית נמוכה שבו האוויר מסוגל לקלוט אדי מים רבים, קצב האידוי מהיר ומנגנון צינון הגוף על ידי הזיעה יעיל. ייתכנו מצבים שבהם לא נחוש מועקה למרות שהטמפרטורה גבוהה משום שהלחות היחסית נמוכה (למשל באילת); לעומת זאת, ייתכנו טמפרטורות יותר גבוהות שבהן נרגיש חום רב בגלל הלחות היחסית הגבוהה (למשל בתל אביב). מדד **עומס חום** מביא בחשבון את שני הגורמים ומבטא את ההרגשה הצפויה במצבים שונים של טמפרטורות ולחות יחסית. עומס החום מחושב על פי נוסחה זו:

$$\text{מקדם אי-הנוחות} = \frac{\text{טמפרטורת תרמומטר יבש} + \text{טמפרטורת תרמומטר לח}}{2}$$

לאחר חישוב מקדם אי-הנוחות, בודקים בטבלה 3 את עומס החום המתאים לערך זה.

מקדם אי-נוחות	הרגשה
פחות מ-22.0	נוח ונעים
22.0 – 24.0	חום קל
24.1 – 28.0	חום בינוני
יותר מ-28.0	חום כבד

טבלה 3 מדד עומס חום



איור 53 עומס חום ביישובים שונים בחודשי הקיץ

שאלות?

1. חסרוננו של מדד עומס החום הוא בכך שאין הוא מביא בחשבון את הרוח, איך יכולה הרוח להשפיע על הרגשתנו ומדוע?

2. ביום קייצי נמדדו הערכים האלה:

תל אביב: תרמומטר יבש 31° תרמומטר לח 29°
ירושלים: תרמומטר יבש 33° תרמומטר לח 21°

א. באיזה מקום חם יותר?

ב. היכן עומס החום גדול יותר?

3. ביום קיץ נמדדו הערכים האלה:

צפת	חיפה
טמפרטורה 30°	חיפה 30°
לחות יחסית 40%	לחות יחסית 80%

היכן יהיה עומס חום גדול יותר?

4. עיינו בתרשימי עומס החום באיור 53. בחרו בשני יישובים.

תארו את ההבדלים ביניהם בעומס החום באחד מחודשי הקיץ ונסו להסביר את הסיבות להבדלים אלה.

מעבדה - מציאת נקודת הטל



כלים וחומרים

כוס זכוכית, תרמומטר, מים, קרח

הוראות ביצוע

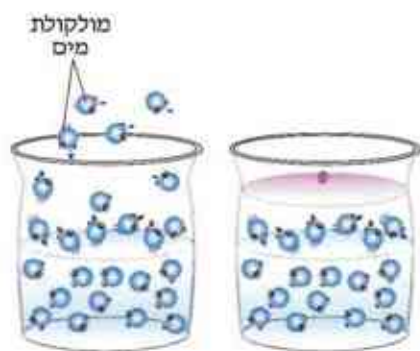
מלאו מים בכוס, הכניסו לתוכה את התרמומטר והוסיפו קרח. ערבבו את המים עד שתבחינו בטיפות מים על דופנות הכוס. אם יש לכם ספקות, נסו "לצייר" באצבע על הכוס; אם תצליחו, משמע שיש טל על הכוס. הטמפרטורה שמראה התרמומטר ברגע שהטל התחיל להיווצר, היא בקירוב נקודת הטל.

שאלות?

1. הסבירו מדוע התעבו מים על הכוס.
2. הסבירו מדוע טמפרטורת המים מבטאת בקירוב את נקודת הטל.

שאלות?

1. אם נשאיר את שני הכלים שבאיור 54 מספר שעות, תקטן כמות המים בכלי ללא המכסה.



איור 54

2. הסבירו את התופעה תוך שימוש במושגים שלמדתם בפרק זה.
3. לפיכם נתונים אלה:

ירושלים	תל אביב
25°	25°
40%	80%

4. באיזו עיר תהיה נקודת הטל גבוהה יותר? מדוע?
5. הסבירו מדוע הרוח מזרחית את תהליך ההתאדות.
6. לפיכם שלושה מצבי מזג אוויר, שבהם נתלתה כביסה. סדרו את המצבים על פי המהירות שבה הכביסה מתייבשת:

- א. יום קיץ חם ויבש עם רוח.
 - ב. יום חורף קר ולח בלי רוח.
 - ג. יום קיץ חם ויבש בלי רוח.
- הסבירו את תשובתכם.

6. קמתם בבוקר וראיתם שהאדמה מכוסה בטל. אילו מהתנאים מתקיימים קרוב לוודאי? (מחקו את המיותר).

- הלחות היחסית גבוהה/נמוכה.
 - נקודת הטל קרובה/רחוקה מהטמפרטורה הנמדדת.
 - מהירות הרוח גבוהה/נמוכה.
7. השלימו את הטבלה (היעזרו בטבלה בנספח 2 בעמוד 176)

מקום א	מקום ב	מקום ג	
10°	35°	20°	תרמומטר יבש
9°	20°	15°	תרמומטר לח
			לחות יחסית

8. הסבירו: במה דומה התהליך המתרחש בתרמומטר הלח לתהליך המתרחש בגופנו כאשר אנו יוצאים מהמים בברכה?

- אם נשטוף את הרצפה ביום קיצי חם, נחוש הקלה בחום. הסבירו מדוע.
- מדוע אין הבדל בין הטמפרטורה שמראה התרמומטר היבש לטמפרטורה שמראה התרמומטר הלח במקרים אלה?
- הלחות היחסית היא 100%.
- ב אין מים במכל של התרמומטר הלח.



צננים

העננים הם אחד הביטויים היפים של תופעות מזג האוויר. הם מורכבים מטיפות מים, או מגבישי קרח זעירים המרחפים באוויר או משניהם יחדיו. מרגע שנוצר, הם משנים את צורתם ללא הרף עד שלבסוף הם נמזגים ונעלמים. הצורות השונות והמגוונות שניתן לזהות בעננים, מבטאות את התנאים האטמוספריים שבהם העננים נוצרים.

היווצרות עננים

ענן נוצר כאשר אוויר המכיל אדי מים, מתקרר ומגיע לרוויה. במצב זה מתחילה התעבות של אדי מים סביב חלקיקים זעירים המרחפים באוויר. החלקיקים נקראים **גרעיני התעבות**. מסתבר שבהיעדר גרעיני התעבות (אוויר נקי לחלוטין) יכול האוויר להגיע ללחות יחסית של 500% לפני שתחל התעבות. בדרך כלל אין בטבע מחסור בגרעיני התעבות מכיוון שבאוויר

מרחפים חלקיקים רבים: חלקיקי אבק הנוצרים מבליית סלעים, גבישי מלח הנוצרים בעת התאדות של טיפות רסס מי הים וגרעיני האבק של צמחים. רוב גרעיני ההתעבות באזורים המיושבים הם חלקיקים מוצקים (כגון פיח) שנפלטו לאוויר כתוצאה מזיהומו בידי האדם. אם הטמפרטורה בענן נמוכה מ- 0°C , עשויות טיפות המים לקפוא לגבישי קרח, ולעיתים יתרחש תהליך שבו אדי מים ישקעו ישירות לגבישי קרח. אולם בניגוד למצופה, טמפרטורה נמוכה מ- 0°C אינה מבטיחה קיפאון מכיוון שגם תהליך זה מחייב הימצאות חלקיקים מוצקים, שמסביבם יכולים המים לקפוא. חלקיקים אלה נקראים **גרעיני קיפאון**, הם יכולים לרחף בענן או להיות בתוך טיפה נוזלית.

במקרים רבים יש בעננים מחסור בגרעיני קיפאון, בין השאר, מכיוון שחלק מהמוצקים שמשמשים גרעיני התעבות (כגון גבישי מלח), מתמוססים בטיפות שנוצרות סביבם. בהיעדר גרעיני קיפאון, מוצאים בעננים, לצדם של גבישי הקרח, גם טיפות מים נוזליים הנקראות **טיפות בקירור יתר**. טיפות אילו יכולות להתקיים עד לטמפרטורה של -38°C . ככל שהטמפרטורה נמוכה יותר, חלקיקים רבים יותר בענן יכולים לשמש גרעיני קיפאון, והסיכוי שהטיפות יקפאו גדל. מתחת ל- -38°C , הטיפות קופאות גם בהיעדר גרעיני קיפאון.



טיפת ענן ובתוכה גרעין
התעבות גירני (CaCO_3)
התמונה צולמה באמצעות
מיקרוסקופ אלקטרוני סורק
בהגדלה של 25,000.
(צילום: פרופ' אלימנור גנור,
אוניברסיטת תל אביב)

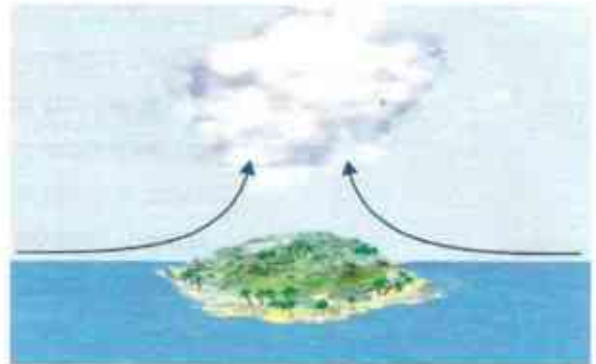
רוב העננים נוצרים כאשר גושי אוויר מתרוממים, מתפשטים כתוצאה מירידת לחץ האוויר ומתקררים.

תהליך זה יכול להתרחש בדרכים אלו:

- אוויר הסמוך לקרקע במקום מסוים, מתחמם יותר מאשר באזורים הסמוכים למקום.
האוויר החם מתפשט, צפיפותו קטנה, הוא נעשה קל מסביבתו, עולה למעלה ומתקרר.
תהליך זה יכול להתרחש, למשל, כאשר אוויר שנמצא מעל לאי מתחמם במשך היום, יותר מהאוויר הנמצא מעל לים, וכך נוצרים עננים מעל לאי.
- כאשר רוח נושבת לעבר הר, האוויר נדחף במעלה ההר וכך הוא מתקרר.
- כאשר קיים שקע ברומטרי, אוויר מצדי השקע מתכנס למרכזו, עולה כלפי מעלה ומתקרר. (על שקעים ברומטריים, ראו פרק 4 ובמיוחד באיור 51 בעמ' 70)
- כאשר השקע הוא חזיתי, גוש האוויר הקר שבו דוחף כלפי מעלה את גוש האוויר החם וגורם לו להתקרר. (על התהליכים המתרחשים בשקע חזיתי נלמד בפרק 6, ראו איורים בעמ' 121).

גם בלי עליית האוויר יכולים להיווצר עננים, תוך כדי התקררות מקומית של האוויר. למשל, בעת שאוויר סמוך לקרקע קרה נוגע בה ומתקרר.

במקרים רבים, נוצרים עננים בדרכים מקבילות. דוגמה: בארץ נוצרים לא פעם עננים ומשקעים כשקיים באזורנו שקע ברומטרי, שבו אוויר עולה, ובו בזמן נושבות רוחות מערביות ההודפות אוויר ימי לעבר אזור ההרים (הרי הגליל, יהודה ושומרון).



איור 55 היווצרות עננים תוך כדי התחממות מקומית.



איור 56 היווצרות עננים כאשר רוח נושבת לעבר ההר

התקררות והתחממות של אוויר שחלחץ שלו משתנה

תהליכים רבים המתרחשים באטמוספירה נוצרים בגלל התקררות אוויר כתוצאה מהתפשטותו או בגלל התחממות אוויר כתוצאה מדחיסתו. גם בחיי היומיום נוכל להבחין בתופעות אלו.

בהתקררות גז כתוצאה מהתפשטותו אפשר לחוש בעת השימוש במכל גז לטיולים ("אמגזית"). כאשר מבעירים אש, מאפשרים לגז לצאת ועקב כך קטן לחץ הגז במכל. אם ניגע אז במכל, נרגיש שהוא התקרר. כיצד מתרחשת תופעה זו? תוך כדי התפשטותו, הגז שיוצא מהמכל מוסר לאוויר שמסביבו אנרגיה שמקורה באנרגיית התנועה של מולקולות הגז. משמעות הדבר היא שאנרגיית התנועה של מולקולות הגז קטנה, והביטוי לכך הוא התקררות – ירידה בטמפרטורת הגז.

תהליך הפוך – התחממות של גז – מתרחש לדוגמה, כאשר משתמשים במשאבת אופניים לדחוס אוויר לתוך הגלגל. דחיסת הגז מעבירה אליו אנרגיה ומגדילה את אנרגיית התנועה של המולקולות שלו; הדבר מתבטא בעליית הטמפרטורה של הגז – כלומר בהתחממות.

באטמוספירה, כאשר עולה גוש אוויר, מתרחשת התפשטות אוויר כי לחץ האוויר בגובה נמוך יותר. בעת ההתפשטות, גוש האוויר מוסר אנרגיה לאוויר שמסביבו ומתקרר. כשגוש אוויר יורד מרום האטמוספירה לקרקע, האוויר שמסביבו מפעיל עליו לחץ, גוש האוויר קולט אנרגיה ומתחמם.

מעבדה - הדגמת עלייה של אוויר



כלים וחומרים

אקווריום, 2 צבעי מאכל שונים, 2 כוסות זכוכית, מים קרים (קרוב לנקודת הקיפאון), מים רותחים

קיימות תופעות פיזיקליות דומות רבות בנוזלים ובגזים. ננצל עובדה זו כדי להדגים, באמצעות מים, תנועות של אוויר באטמוספירה. המים באקווריום מדגימים את האטמוספירה. המים בכוסות מדגימים גושי אוויר בטמפרטורות שונות.

הוראות ביצוע (איור 57)

- ◀ מלאו את האקווריום במים.
- ◀ מלאו מים רותחים בכוס אחת ובאחרת – מי קרה.
- ◀ הוסיפו צבע מאכל שונה לכל אחת מהכוסות.
- ◀ הכניסו את הכוסות לתוך האקווריום, הניחו אותן על הקרקעית והוציאו את ידכם מהמים בזהירות בלי לערבב אותם.
- ◀ התבוננו באקווריום מלפנים (כאשר עיניכם בגובה אחד עם המים שבאקווריום) ושימו לב לתופעות המתרחשות בתוכו.



איור 57

שאלות?

1. תארו מה קרה בתוך האקווריום ונסו להסביר את התופעות שהתרחשו.
2. המים באקווריום מדגימים את האטמוספירה. המים בכוסות מדגימים גושי אוויר בטמפרטורות שונות. מחקו את המיותר במשפט: אם גוש אוויר חם מכיל לחות רבה, יש/אין סיכוי רב שייווצרו ממנו עננים.

סוגי עננים

לעננים מגוון רב של צורות הנוצרות ומשתנות כל העת. צורת הענן היא תוצאה של תנאי מזג אוויר שונים, כפי שנסביר בהמשך. כאשר מסווגים את העננים על פי צורתם, מתקבלות שלוש צורות עיקריות: **ענני קומולוס** (ענני ערמה), **ענני סטרטוס** (עננים שכבתיים), **ענני צירוס** (ענני נוצה).

ענני קומולוס נוצרים כאשר באטמוספירה קיימת תנועה חזקה של אוויר כלפי מעלה באזורים קטנים יחסית, למשל בחזית קרה בשקע (ראו עמ' 121). כאשר האוויר מגיע לגובה שבו הטמפרטורה קרה די הצורך להתחלת התעבות (**רום העיבוי**), מתחיל להיווצר ענן. בתהליך ההתעבות משתחרר חום כמוס שמחמם את האוויר העולה, גורם לו להיות חם מסביבתו ועקב כך להמשיך לעלות. התהליך חוזר שוב ושוב (עליית האוויר, עיבוי, פליטת חום כמוס, ושוב עליית האוויר). בדרך זו מתפתח ענן דמוי כרובית שניתן לזהות בו גידול כלפי מעלה. עוביו של ענן קומולוס, מבסיסו ועד לפסגתו, יכול להגיע לקילומטרים אחדים. בדרך כלל נפסקת התפתחות הענן בגובה שבו משתווה הטמפרטורה בפסגת הענן לטמפרטורת הסביבה ועליית האוויר כלפי מעלה נפסקת.





קומולונימבוס



קומולוס



נימבוסטרטוס



סטרטוס



צירוס

ענני סטרטוס נוצרים כאשר גוש אוויר עולה ומתקרר במתינות על פני שטחים גדולים, למשל מעל לחזית החמה בשקע (ראו עמ' 121). מנגנון אחר ליצירת ענן כזה הוא התקררות מקומית של אוויר עד לנקודת הטל, למשל במהלך הלילה. לענני סטרטוס צורה שטוחה, ולעתים ניתן לזהות בהם מבנה של שכבות.

הסוג השלישי הם **ענני צירוס**, המכונים ענני נוצה. אלה הם עננים גבוהים הנוצרים עקב השקעה מקומית של אדי מים לגבישי קרח. במקרים רבים, נפילת גבישי הקרח ממקום היווצרותם בענן והיסחפותם עם הרוח, יוצרת את המראה הסיבי האופייני לענני צירוס. משקעים יכולים לרדת מענני קומולוס או מענני סטרטוס. כאשר ענן ממטיר גשם, מוסיפים לשמו את המילה 'נימבו'; כך אפוא, ענן סטרטוס הממטיר גשם ייקרא **נימבוסטרטוס** וענן קומולוס הממטיר גשם – **קומולונימבוס**.

פעילות – צילום עננים



העננים בשמים משתנים כל העת ויוצרים מגוון גדול של צורות שיכולות להיות נושא מרתק לצילום. מומלץ לנסות לזהות בתמונות את סוגי העננים ולתאר את מזג האוויר ששרר בעת היווצרותם.

שאלות?

1. א. מהם התנאים להיווצרות עננים?
ב. באילו מצבים בטבע נוצרים תנאים ליצירת עננים?
2. מדוע, בדרך כלל, לא נוצרים עננים במצב של רמה ברומטרית?
3. באילו אזורים, לדעתכם, יהיו גרעיני התעבות בשפע והיכן ייתכן מחסור?
4. כיצד קורה שבענן שבו הטמפרטורה היא -5° – "מצאו אלה לצד אלה טיפות מים וגבישי קרח?
5. מדוע ענני קומולוס נפוצים יותר ביום מאשר בלילה?
6. בעת עליית גוש אוויר, מה קובע את הגובה שבו יתחיל להיווצר ענן?
7. בעמ' 84 מפורטות הדרכים שבהן נוצרים עננים. נסו לשער אילו סוגי עננים ייווצרו בכל אחד מהמצבים.

ערפל

ערפל הוא ענן שבסיסו סמוך לקרקע. לערפילים השפעה רבה, בעיקר על התעופה, שכן מגבלות הראות שערפל יוצר עלולות לשבש את תנועת המטוסים ולגרום לאסונות תעופה. סמיכותו של הערפל תלויה בלחות האוויר ובכמות גרעיני ההתעבות המצויים באוויר. ערפל יכול להיווצר בכמה דרכים:

ערפל קרינה נוצר כאשר בשעות הלילה פולטת האדמה חום בקרינה אינפרא-אדומה, כתוצאה מכך היא מתקררת ומקררת גם את האוויר הסמוך לקרקע. אם הקירור יביא את האוויר לרוויה ויהיו בו גרעיני התעבות ייווצר ערפל. תנאים המתאימים ליצירת ערפל קרינה הם: לילה בהיר המאפשר מעבר קרינת החום מהקרקע, לחות יחסית גבוהה ורוח חלשה שאין בכוחה לפזר את הערפל. ערפל קרינה שכיח בעמקים ובמקומות הנמוכים, שבתוכם שוקע אוויר קר מההרים במשך הלילה.



ערפל קרינה בתוך עמק

סוג אחר של ערפל הוא **ערפל הסעה**. ערפל זה נוצר כאשר אוויר חם ולח מוסע מעל לפני שטח קרים וכתוצאה מכך הוא מגיע לרוויה. ערפל מסוג זה נפוץ בקרבת הים בתקופת החורף כאשר היבשה קרה מהים ואוויר חם ולח מגיע מהים ליבשה ומתקרר עד לרוויה.

סוג שלישי הוא **ערפל הרים**: זהו למעשה ענן שבסיסו נמוך מפסגת ההר.

שאלות?

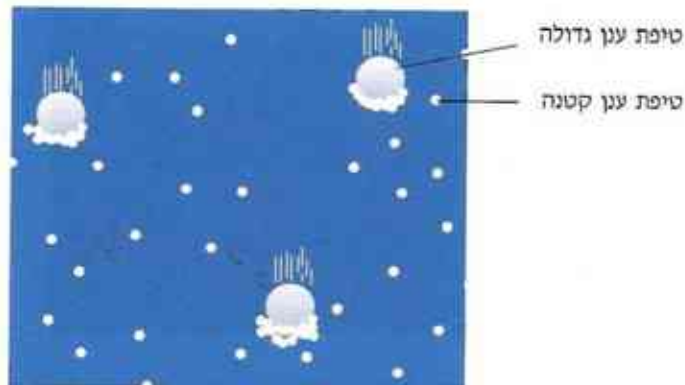
1. באיזו שעה ביממה, יגיע לדעתכם, ערפל קרינה לשיאו?
2. הסבירו איזה תהליך מתרחש בערפל כאשר הוא מתפזר.
3. מדוע באוויר מזהה יש תנאים להיווצרות ערפל סמיך יותר? (ערפל באוויר מזהה נקרא ערפיני).
4. בשני מקומות, עירוני וכפרי, שווים הלחות היחסית והטמפרטורות. מדוע הסיכויים להיווצרות ערפל באזור עירוני גדולים יותר?

משקעים

כפי שהסברנו, עננים מורכבים מטיפות מים או מגבישי קרח זעירים או משניהם יחדיו. כוח המשיכה אינו מצליח להביא אותם לארץ מכיוון שטיפות הענן מתחככות עם מולקולות האוויר שהן פוגשות בדרכן מטה ותנועתן מואטת מאוד. כשהטיפות וגבישי הקרח האלה נופלים מתחת לרום התעבות הענן הם מתאדים. על מנת שיווצרו משקעים, טיפות המים וגבישי הקרח צריכים לגדול במידה ניכרת, כדי שיהיו כבדים במידה כזו, שיוכלו להתגבר על כוחות החיכוך ולהגיע לקרקע כגשם, שלג או ברד. לדוגמה: כדי שתיווצר טיפת גשם, קוטר של טיפת ענן ממוצעת צריך לגדול פי מאה, ומסתה – פי מיליון.



איור 59 גדלה של טיפת ענן ממוצעת בהשוואה לטיפת גשם ממוצעת



איור 58 תהליך היווצרות טיפות גשם באמצעות התלכדות טיפות ענן

בתהליך ההיווצרות של משקעים מבחינים בין **עננים חמים** המורכבים מטיפות מים בלבד ובין **עננים קרים** שיש בהם גבישי קרח. לעתים ביחד עם טיפות מים. מעננים חמים יכול לרדת רק **גשם**. בתחילת תהליך היווצרות הגשם, גדלות הטיפות בעיקר על ידי המשך התעבות. אדי מים על טיפות הענן. בהמשך, כאשר הטיפות גדולות דיין, הן מתחילות ליפול באטיות. תוך כדי נפילה הן ממשיכות לגדול, בעיקר עקב התנגשויות והתלכדויות עם טיפות קטנות מהן. יעילותו של תהליך זה גדלה כאשר בענן יש זרמים עולים, ההודפים טיפות קטנות כלפי מעלה לעבר הטיפה הנופלת. כאשר הטיפה גדולה וכבדה די הצורך, היא נופלת מהענן ויורדת כגשם.



פתית שלג

מעננים קרים יכולים לרדת גשם, שלג וברד.

השלג נוצר כאשר גבישי הקרח הזעירים, המרכיבים את הענן גדלים, והם כבדים די והותר על מנת ליפול מהענן. כאשר הטמפרטורה נמוכה מ- 15°C , פתיתי השלג נוצרים בעיקר בתהליך של השקעה, שבו אדי מים קופאים ישירות לגבישי קרח. בתהליך זה גדלים הגבישים באופן מסודר ויוצרים מגוון רב של צורות. גבישי הקרח, לצורתיהם, כוללים חללי אוויר רבים, ולכן פתיתי השלג קלים בהשוואה לטיפות גשם או לאבני ברד.

כאשר הטמפרטורות גבוהות יותר, גדלים פתיתי השלג בעיקר בתהליך התלכדות. גבישי הקרח נעים בענן מתנגשים זה בזה, ונדבקים תוך שהם מניחים ביניהם חללי אוויר. בפתיתי שלג כאלה לא ניתן להבחין עוד במבנה הגבישי המסודר.

אם מתחת לבסיס הענן שוררת טמפרטורה הגבוהה מ- 0°C , יפשיר השלג ויגיע לאדמה **כגשם**. מסתבר שרוב הגשם באזורים הממוזגים מקורו בעננים קרים, ולמעשה הוא נוצר מהפשרה של פתיתי שלג בדרכם לקרקע.

ברד הוא גוש קרח שאין בו חללי אוויר כמו בשלג. הוא נוצר כאשר גביש קרח נופל דרך ענן שיש בו טיפות בקרויר יתר, אוסף אותן, ואגב כך הן קופאות סביבו. לפני היווצרות הברד נוצרים בדרך כלל חלקיקי משקעים הנקראים **גראופל**, שבהם הטיפות הנאספות קופאות ונדבקות באופן מידי סביב גביש הקרח, בלי לאבד את צורתן הכדורית. בדרך זו יכולים להיווצר צבירים של טיפות ענן קפואות שקוטן מגיע עד ס"מ אחד. בגראופל מצויים חללי אוויר בין כדורי הטיפות הקפואות. כמחצית מהמשקעים בארץ נוצרים מהפשרה של חלקיקי גראופל, שמגיעים לעתים לקרקע גם בלי להפשיר.

כאשר הגראופל ממשיך לגדול מעל לקוטר של ס"מ אחד, גדל קצב ההתנגשות בינו לבין הטיפות. במצב זה הטיפות קופאות רק לאחר שהן נזלו על פני הגראופל, ובדרך זו לא נותרים חללי אוויר, והגראופל הופך לברד. קוטרה הממוצע של אבן ברד בעננים הוא כ-2 ס"מ ומסתה כ-4 גרם. אולם במקרים מסוימים עשויים גושי ברד להיות גדולים יותר ולהגיע למסה של כ-0.5 ק"ג ואף יותר. אבני הברד הגדולות נוצרות בעננים שיש בהם זרמים אנכיים מפותחים, המסיעים את הברד מעלה ומטה פעמים מספר, ומאפשרים את גידולו המהיר תוך התנגשויות רבות עם טיפות מקוררות ביותר. באבני ברד אלה אפשר לזהות מבנה שכבתי הדומה לקליפת בצל. גם הברד יכול להפשיר בדרכו למטה ולהפוך לגשם.



ברד



גראופל

מן העיתונות

עיר בלבן

לקראת השעה אחת בצהריים נפלה פתאום השכח על העיר. עננים כיסו את השמים, ובתוך שניות החל לרדת ברד כבד. מאות אזרחים דיווחו על קילטי שמש שנופצו כתוצאה מהברד הכבד ועל דודי שמש שהועפו ברוח העזה. "הרגשנו שסוף העולם הגיע לבאר שבע. חתיכות הברד שנפלו מהשמים היו בגודל של ביצה, והרעש היה גורא", תיארו תושבי באר שבע.

שלשום עוד סבלו תושבי באר שבע מהשרב הכבד. אתמול בצהריים כיסו לפתע עננים שתורים וכבדים את העיר וכדורי ברד גדולים היכו בכל מי שהעז לצאת מהבית. מי שראה בסוף השבוע את רחובותיה של באר שבע, התקשה להאמין שהעיר נמצאת בלב המדבר. בשעת צהריים שטפה את העיר סופת ברד פתאומית. תוך שניות כוסתה העיר בלבן. ביום שישי בבוקר עוד היה שרב בבאר שבע. השמש זרחה ובשמים נראו רק מעט עננים אפורים.

דיווח אחרונות, 19.10.1997





היווצרות גשם	היווצרות שלג	היווצרות ברד
עננים חמים טיפות ענן גדלות על ידי התעבות אדי מים עליהן ועל ידי התנגשות והתלכדות עם טיפות אחרות.		
עננים קרים הפשרה של שלג גראופל או ברד בדרכם לקרקע.	כשהטמפרטורה מתחת ל-15°C, התהליך העיקרי הוא זה: גבישי קרח המרכיבים את הענן, גדלים על ידי קפיאת אדי מים בתהליך של השקעה. כשהטמפרטורה מעל ל-15°C, התהליך העיקרי הוא זה: גבישי קרח בענן גדלים על ידי התנגשות והתלכדות עם גבישי קרח אחרים. חללי האוויר שבגבישים נשמרים.	גבישי קרח בענן מתנגשים עם טיפות מקוררות ביותר שקופאות מסביב לגביש.

טבלה 4

תהליכי היווצרות משקעים

מידת משקעים

המשקעים – גשם, שלג וברד נמדדים על פי גובה עמודת המים הנוצרת מעל לשטח מסוים שאינו מחלחל. כל כלי שצורתו גליל, תיבה או קוביה יכול לשמש מדגשם. מציבים את מדהגשם ומודדים במ"מ את גובה עמודת המים שהצטברה בכלי. לדוגמה: אם באירוע גשם מסוים ירדו 50 מ"מ, גובה המים בכלי המדידה יהיה 50 מ"מ.



מד-גשם

שאלות?

1. תארו את התהליכים שבעקבותיהם ענן מוריד גשם.
2. מאילו סיבות **לא** יורד גשם מענן?
3. מהם התנאים ההכרחיים לירידת שלג? מדוע בארץ השלג נדיר יחסית?
4. מדוע עננים שמורידים שלג בירושלים אינם מורידים שלג בתל אביב?
5. ידוע כי מהירות הנפילה של גופים אינה תלויה במסתם. מדוע אם כן, פתיתי השלג נופלים לאט יותר מטיפות גשם ומברד?
6. מהם ההבדלים בין תהליכי היווצרות הברד לבין תהליכי היווצרות השלג?
7. הסיכויים לירידת ברד גדולים יותר בענן שהטמפרטורה שלו קרובה ל- 0°C , לעומת ענן שהטמפרטורה שלו היא עשרות מעלות מתחת ל- 0°C . הסבירו מדוע.
8. מה משמעות המשפט "בירושלים יורדים 550 מ"מ גשם בממוצע, מדי שנה".

הגברת הגשם

צריכת המים הגוברת בעולם והמחסור במים הנוצר בעקבות כך באזורים שונים הביאו את האדם לחפש פתרונות לבעיה זו. הגברת הגשם היא ניסיון להתערב בתהליכים המתרחשים בתוך העננים כדי להגדיל את כמויות הגשמים היוורדים מהם, שיטות ההתערבות בעננים חמים ובעננים קרים שונות זו מזו:

בעננים חמים, רק טיפה אחת מתוך מיליון גדלה לטיפת גשם. בעזרת מטוס מנסים להוסיף לבסיס הענן החם חלקיקי מלח, שסופחים מים ויוצרים טיפות גדולות יותר מטיפות הענן הרגילות שנוצרות. הטיפות המוגדלות אוספות את מי הענן והופכות בסופו של דבר לטיפות גשם.

בעננים קרים מנסים להגביר את המשקעים מעננים מעורבים, כלומר מעננים שיש בהם גם גבישי קרח וגם טיפות מקוררות-ביתר. הסיכוי לגשם בעננים אלה מותנה במידה רבה

בריכוזם של גבישי הקרח, שיכולים לגדול בתהליך של השקעה (כלומר, בהיפכות ישירה של אדי מים לקרח) וליצור משקעים האופייניים לעננים קרים. לכן מנסים להפוך את הטיפות המקוררות ביותר לגבישי קרח, וזאת בכמה דרכים:

אפשר לזרוע את הענן בקרח יבש, שהוא פחמן דו-חמצני מוצק שהטמפרטורה שלו -78°C . הקרח ממריא לגז (הופך ישירות ממוצק לגז בתהליך של המראה) ותוך כדי כך הוא קולט חום כמוס מהסביבה שמתקררת במידה כזו שהטיפות המקוררות ביותר, קופאות.

שיטה אחרת היא החדרת חומרים בעלי מבנה גבישי הדומה לקרח, המשמשים גרעיני קיפאון לטיפות המקוררות ביותר. שימוש נרחב נעשה לצורך זה בחומר יודיד הכסף (AgI). יודיד הכסף מביא את הטיפות לקיפאון כבר בטמפרטורה של -4°C . הוא זול, ואפשר להחדירו לענן באמצעות מטוסים או באמצעות תנורים המוצבים על הקרקע ופולטים אותו לאוויר. דרך נוספת היא זריעת חלקיקי מלח בענן הקר בשיטה שעושים זאת בעננים החמים.



מטוס לזריעת עננים

למרות שניסיונות להגברת גשם נעשו בעולם כבר בסוף שנות ה-40 של המאה העשרים, רבים עדיין סימני השאלה באשר לדרכים היעילות לביצוע התהליך שבסופו תגדל במידה משמעותית כמות הגשמים.

בישראל פועל מאז שנות ה-60 פרויקט להגברת הגשם. בפרויקט זה נעזרים במכ"ם מטאורולוגי¹ המזהה את העננים המתאימים לזריעה, ובהתאם לכך מופעלים תנורים ומטוסים. ניתוח התוצאות מראה שכמות הגשמים בתקופת הזריעה גברה בצפון הארץ בכ-12%, בעוד שבמרכז לא הורגשה השפעתה. הסיבות לכך עדיין אינן ברורות לגמרי. ב-1998 החלו בארץ ניסויים לזריעת עננים בחלקיקי מלח.

שאלות?

1. מדוע עננים בלתי מפותחים אינם מתאימים ליצירת גשם באמצעים מלאכותיים?
2. איזה תהליך מרכזי ביצירת טיפות הגשם מנסים לחקות ביצירת "גשם מלאכותי"?

1. על מכ"ם מטאורולוגי ראו בעמ' 164.

משקעים חומציים

משקעים חומציים הם אחת התוצאות הסביבתיות של זיהום האוויר. מקורם של המשקעים החומציים הוא בתחמוצות גופרית ותחמוצות חנקן שמתמוססות בטיפות ענן גשם ויוצרות חומצות. תחמוצות הגופרית והחנקן נפלטות לאוויר בעיקר כתוצאה משריפת דלקים כבדים, כגון המזוט המשמש בתעשייה ובתחנות החשמל. מקור אחר הוא התפרצות הרי געש. כך נוצרים גשם ושלג חומציים הפוגעים במערכות אקולוגיות ביבשה ובמים. יערות ואגמים רבים ברחבי אירופה ובצפון אמריקה נפגעו קשה ממשקעים חומציים.

משקעים חומציים פוגעים בצמחים וגורמים לעליהם להצהיב. הצמחים נפגעים גם מתהליכים כימיים שונים בקרקע, שמתרחשים בעקבות ירידת גשם חומצי. תהליכים אלה גורמים למחסור בחומרי הזנה ולשחרור מתכות מזיקות (בעיקר אלומיניום). מי הקרקע שהועשרו במתכות אלו, זורמים לאגמים ולנהרות ופוגעים בצמחי המים ובדגים.

בעיה חמורה אחרת היא פגיעה של מים שהפכו לחומציים בצינורות מי השתייה תוך שחרור מתכות מזיקות אל המים. הגשם החומצי גורם נזקים גם למבנים ולפסלים שנאכלים ונפגעים. כך למשל נפגעו בשנים האחרונות הפנתאון באתונה והטאג' מהאל בהודו.

מידת החומציות של תמיסות ובכלל זה טיפות הגשם מבוטאת על ידי סולם ה-pH. למים מזוקקים pH 7. תמיסות שה-pH שלהן נמוך מ-7 הן חומצות, ואלה שה-pH גבוה מ-7 הן בסיסיות. כל ירידה בשלב אחד בסולם ה-pH משמעותה עלייה פי 10 במידת החומציות. כלומר תמיסה בעלת pH 4 חומצית פי 10 מתמיסה בעלת pH 5.

בניגוד לצפוי, גם מי גשם טהורים באזור שאינו מזוהם, אינם נטרליים אלא בעלי pH ממוצע של 5.6. זאת, משום שפחמן דו-חמצני מתמוסס במי הגשם ויוצר חומצה פחמתית חלשה. כאשר ה-pH של הגשם נמוך מ-5.6, מתחילים להתייחס אליו כאל גשם חומצי.

משקעים חומציים אינם מכירים בגבולות מדיניים. הרוחות עשויות להסיע את תחמוצות החנקן ואת העננים החומציים למרחק אלפי קילומטרים ממקורות הזיהום. כך למשל סובלות ארצות סקנדינביה מגשם חומצי שנוצר בגלל התעשייה בבריטניה.

ומה בארץ? מחקר שנעשה בתחילת שנות ה-80 מצא שה-pH הממוצע של 130 אירועי גשם היה 6.5. הסיבה לכך, קרוב לוודאי, היא האבק הרב באוויר שמקורו בעיקר במדבריות הסמוכים. אבק זה מורכב בעיקר מתוצרי הבלייה של סלעי גיר והוא מנטרל את חומציות הגשם. עם זאת נמדדו בארץ אירועי גשם רבים שבהם ה-pH היה קרוב ל-4. משערים שרוב האירועים הללו מקורם בזיהום אוויר שנוצר באירופה והגיע לאזורנו.



איור 61 סולם ה-pH ו-pH של חומרים שונים



גשם חומצי בבול בריטי



יער שגפגע מגשם חומצי

שאלות?

1. מהם התהליכים שבהם נוצרים משקעים חומציים?
2. מדוע נחשבים משקעים חומציים לבעיה סביבתית בינלאומית?
3. הציעו דרכים להפחתת היווצרות המשקעים החומציים.
4. מדוע מתקשים חוקרים לקבוע מהם המקורות לאירועי גשם חומצי בארץ?

ברקים ורעמים



ברק

הברקים והרעמים הם תופעות אטמוספריות מרהיבות, רבות-עצמה ולעתים מסוכנות. בתרבויות שונות התפתחו אמונות רבות בהקשר לתופעה זו. כך, למשל, האמינו היוונים כי הברק הוא נשקו של זאוס מלך האלים. ברומא העתיקה האמינו שהברק הוא נשקו של האל יופיטר ושהאל וולקן מכין עבורו את הברקים בתוך הר הגעש אתנה. בנפאל מאמינים שאלת הברק היא בחורה ביישנית, וכדי למנוע את פגיעת הברקים נוהגים אפוא לקשט את המקדשים בפסלים ארוטיים שיגרמו לאלה לברוח מהם במבוכה.

כיום אנו יודעים שהברקים נוצרים בענני קומולונימבוס, שבהם מצטברים מטענים חשמליים מנוגדים. בבסיס הענן מתרכזים מטענים שליליים, ובפסגתו – מטענים חיוביים. במצב זה, חלקה העליון של הקרקע ועצמים הבולטים ממנה (כגון עצים, ועמודים) נטענים במטענים חיוביים. זאת מכיוון שחלק מהאלקטרונים החופשיים בגופים אלה (מטענים שליליים) נדחים לתוך הקרקע בגלל המטען השלילי שקיים בענן.

המטען החשמלי

בעמוד 10 תיארנו מהו חומר. חומר שבו מספר האלקטרונים באטום שווה למספר הפרוטונים, הוא נייטרלי מבחינה חשמלית. כאשר נרחיק אלקטרונים מהאטום, יהיו בו יותר פרוטונים מאלקטרונים והוא יהיה בעל **מטען חשמלי חיובי**. אם לאטום יתווספו אלקטרונים, יהיו בו יותר אלקטרונים מפרוטונים והוא יהיה בעל **מטען חשמלי שלילי**. אלקטרונים שאינם קשורים חזק לאטומים, נקראים אלקטרונים חופשיים, והם היוצרים את מרבית התופעות החשמליות.

האוויר הוא חומר מבודד שאינו מעביר כמעט זרם חשמלי, על כן מטענים מנוגדים יכולים להמשיך ולהצטבר בו. רק כאשר כמות המטענים גדולה מאוד, נוצרת התפרקות בין המטענים החשמליים ונגרם קבוצה שהוא הברק. מרבית הברקים הם תוצאה של התפרקות חשמלית בתוך ענן, ומקצתם נוצרים בין בסיס הענן לקרקע.

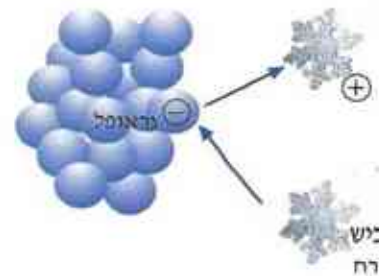
עד היום לא ידוע בוודאות מה גורם לחשכול העננים. אחת ההשערות היא שכאשר חלקיקי הגראופל שבעננים מתנגשים עם גבישי קרח זעירים, גבישי הקרח נטענים במטען חיובי, והגראופל – במטען שלילי. החלקיקים הטעונים במטען חיובי קלים יותר מהגראופל ומוסעים בקלות עם הזרמים העולים בענן אל פסגתו, ואילו הגראופל הטעון במטענים שליליים, נופל לתחתית הענן. כך מתקבלת הפרדת מטענים בענן.



איור 62 הצטברות מטענים חשמליים מנוגדים בענן ובקרקע

הבזקי הברק החזקים הם בדרך כלל אלה המתרחשים בין הקרקע לעננים. בתחיל הזרם של אלקטרונים שפורץ לעבר הקרקע ובדרך כלל אי אפשר להבחין בו. במרחק של כמה עשרות מטרים מהקרקע, נמשכים מטענים חיוביים אל תוך האוויר, וכאשר הם פוגשים את זרם האלקטרונים, נוצר זרם חשמלי חזק המעביר מטענים חיוביים אל הענן במסלול שיצר זרם האלקטרונים. כך נוצר הבזק הברק שאנו רואים, שכיוונו מהקרקע אל הענן. בדרך כלל המסלול הראשי של הברק שהגיע לקרקע מנוצל שוב על ידי אלקטרונים נוספים, היוצרים דרכו אל הקרקע; תהליך עליית המטענים החיוביים מהקרקע במסלול זה חוזר פעמים מספר, בהפסקות של 50 אלפיות השנייה. תהליך הברק כולו אורך פחות משנייה, ולכן איננו מסוגלים להבחין בעובדה שכיוון ההבזק הוא מהקרקע לשמים.

בעת התפרקות הברק, מתחמם האוויר במסלול הברק לכ- $30,000^{\circ}\text{C}$. עוצמתו של הזרם החשמלי היא כה גדולה, שאילו היה אפשר לנצלו, היה אפשר לספק את תצרוכת החשמל של כל ארצות הברית בזמן ההבזק.



איור 63 כאשר גביש קרח מתנגש בכד נטען גביש הקרח במטען חיובי והכד במטען שלילי



ג



ב



א

התחממות האוויר גורמת להתפשטות המהירה ולהיווצרות רעם. הרעם הוא גליקול הדומה לבום העליקולי של מטוסים העוברים את מהירות הקול. לעתים קרובות הרעם ממושך, כי אנו שומעים תחילה את הרעם הנוצר בחלקי ברק הקרובים אלינו ורק אחר כך מגיע לאוזנינו הרעם מחלקי

איור 64 מנגנון יצירת הברק

הברק הרחוקים יותר. קולם של הרעמים נשמע עד למרחק של כ-25 ק"מ. הרעמים מגיעים אלינו תמיד לאחר ברק משום שמהירות הקול (כ-330 מ' בשנייה) נמוכה בהרבה ממהירות האור.

ברקים עלולים להיות קטלניים. אנשים רבים נהרגים מדי שנה ברחבי העולם מפגיעת ברק, וגרמים נזקים נוספים, כגון שרפות ופגיעות במערכת החשמל. עם זאת, לברקים תפקיד חשוב מאוד ביצירת תרכובות שונות באטמוספירה, בהן תרכובות חנקן המזמסות במי הגשמים ומהוות מרכיב חיוני בהזנת הצמחים.

שאלות?

1. מדוע איננו מבחינים בכל שלבי הברק?
2. המדען בנג'מין פרנקלין חקר את תופעת הברקים באמצע המאה ה-18. כדי להוכיח שתופעת הברק היא זרם חשמלי, הוא הציע לבנות מתקן שלתוכו ייכנס אדם ויחזיק מוט ברזל, באורך 10 מ' מחובר למתקן ומזדקר ממנו. כך יוכל האדם המחזיק במוט לחוש בזרם החשמלי המגיע מהברק. הקמת המתקן התעכבה ולא יצאה אל הפועל. נסו לשער מה היה קורה אילו היה הניסוי מתבצע.
3. מדוע נפוץ הברק יותר כאשר האוויר לח?
4. כיצד ניתן להסיק, על פי הפרש הזמנים שבין הברק לרעם, את מרחקו מאתנו?
5. מהו מרחקו של ברק מאתנו אם שומעים את הרעם הנוצר בעקבותיו לאחר 5 שניות?

סיכום



כמות אדי המים שהאוויר יכול להכיל מוגבלת, והיא תלויה בעיקר בטמפרטורת האוויר. ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר, האוויר יכול להכיל יותר אדי מים. אם כמות אדי המים באוויר עולה מעבר לנקודת הרוויה, יתעבה עודף האדים לטיפות; בטמפרטורות נמוכות ישקעו האדים העודפים לגבישי קרח.

העננים מורכבים מטיפות מים זעירות או מגבישי קרח זעירים או משניהם יחדיו. הם נוצרים כאשר האוויר רווי באדי מים ומתרחשת התעבות אדים מסביב לגרעיני התעבות או שמתרחשת קפיאת (השקעת) אדים על גרעיני קיפאון.

רוב העננים נוצרים כתוצאה מהתקררותו של האוויר המכיל אדי מים. ההתקררות נגרמת בדרך כלל כאשר אוויר עולה כלפי מעלה. תהליך זה מתרחש בעיקר בתנאים האלה:

- כאשר מתרחשת התחממות מקומית של אוויר הגורמת להתפשטותו ועלייתו.
- כאשר אוויר נהדף במעלה הר.
- כאשר נוצר שקע ברומטרי שבו אוויר מתכנס ועולה.
- כאשר נוצר שקע ברומטרי עם חזיתות.

ענן יכול להיווצר גם כאשר חלה התקררות מקומית של האוויר.

משקעים נוצרים כאשר טיפות המים וגבישי הקרח המרכיבים את העננים, גדלים במידה מספקת על מנת להתגבר על התנגדות האוויר וליפול מטה. בהתאם לטמפרטורה ולעוצמת הזרמים האנכיים בענן, ייווצרו שלג, ברד או גשם.

ברקים נוצרים כשבתוך הענן או בין הענן לקרקע מצטברים מטענים חשמליים מנוגדים. כאשר כמות המטענים גדולה, נוצרת התפרקות חשמלית ונגרם הבזק ברק. הרעם הוא תוצאה של התפשטות האוויר המתרחשת לאורך מסלולו של הברק.



כמויות חומר ציפים קיצוניות

שנמדדו בעולם ובארץ

המקום הגשום ביותר בעולם הוא העיירה **מאסינרם בהודו**, שבה ממוצע הגשמים השנתי הוא **11,873 מ"מ**.

המקום הגשום ביותר בישראל הוא היישוב **חרשים שבגליל העליון**, ממוצע הגשמים השנתי שם הוא **960 מ"מ**.

המקום בעולם שבו נרשמה במהלך שנה אחת כמות המשקעים הרבה ביותר הוא העיירה **צ'רפונג' בהודו**, בשנה שבין: 1/8/1860 לבין 31/7/1861, ירדו שם **26,461 מ"מ**. המקום בארץ שבו נרשמה כמות המשקעים השנתית הרבה ביותר הוא **רחובות -** בשנת המשקעים 1991/2 ירדו שם **1540 מ"מ**.

כמות המשקעים הרבה ביותר שנרשמה בפרק הזמן הקצר ביותר בעולם היא **205 מ"מ**, כמות זו ירדה **בקורטיאה דה ארגש שברומניה** בתוך 20 דקות. כמות המשקעים הרבה ביותר שנרשמה בפרק הזמן הקצר ביותר בארץ היא **52 מ"מ**, כמות זו ירדה במאי 1934 **בטבריה** בתוך 30 דקות.

המקום הצחיח ביותר בעולם הוא **אריקה שבצ'ילה** שם ממוצע הגשמים השנתי הוא **0.8 מ"מ**. המקום שבו כמות המשקעים השנתית הממוצעת הנמוכה ביותר בארץ הוא **אילת**, ממוצע הגשמים השנתי שם הוא **32 מ"מ**.



ענני גשם בשקע ברומטרי

פרק 6

מערכת הרוחות והאקלים בעולם

האקלים הוא תנאי מזג האוויר הממוצעים השוררים במקום מסוים לאורך השנה. תנאי האקלים הם גורם מרכזי בקיומם ובהתפתחותם של צמחים ובעלי חיים, והשפעתם רבה גם על האדם. מדוע נוצר בסהרה אקלים מדברי בעוד באירופה האקלים ממוזג וגשום? מדוע חווים תושבי אירופה וצפון אמריקה שינויים ניכרים במזג האוויר מיום ליום, בעוד מזג האוויר באזורים אחרים בעולם יציב במשך ימים רבים? מדוע אצלנו חלים שינויים משמעותיים במזג האוויר בחורף, בעוד מזג האוויר בקיץ "משעמם"? בשאלות אלו נעסוק בפרק זה.

היווצרות אזורי האקלים בכדור הארץ

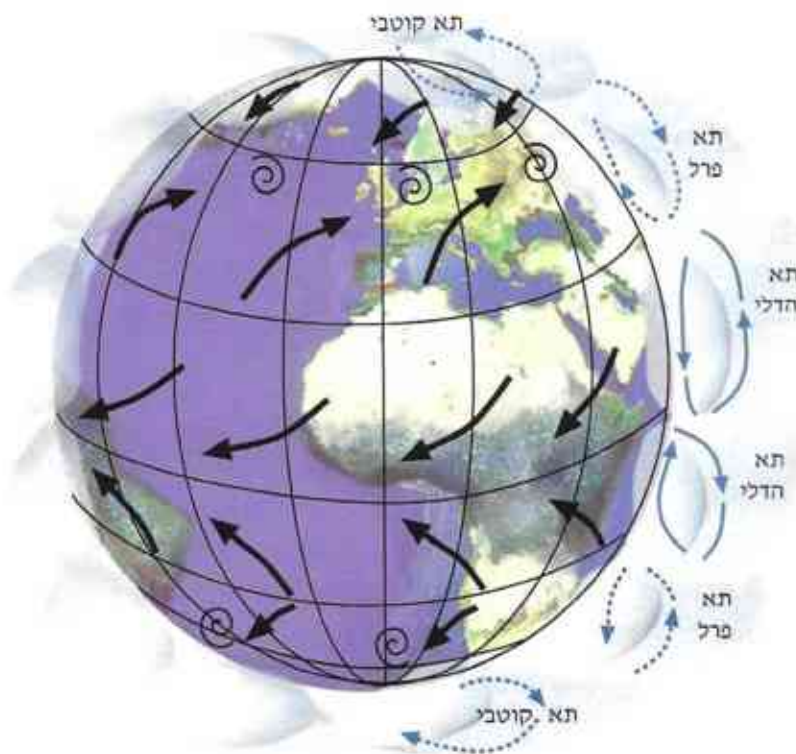
גורם מרכזי ביצירת האקלים ותופעות מזג האוויר הם זרמי האוויר באטמוספירה וזרמי הים באוקיינוסים. מערכות זרימה אלו נוצרות עקב ההבדלים בכמות קרינת השמש המגיעה לאזור קו המשווה, לעומת זו המתקבלת בקטבים (ראו פרק 2). זרמי האוויר והים מעבירים אנרגיית חום מקו המשווה לקטבים כדי לאזן את חוסר שיווי המשקל בהתפלגות אנרגיית החום בכדור הארץ.



מודל פשוט למערכת הסעת החום באטמוספירה הוצע במאה ה-18 על ידי המטאורולוג האנגלי ג'ורג' הדלי. על פי מודל זה, האוויר באזור קו המשווה מתחמם, מתפשט, נעשה קל מסביבתו ועולה למעלה עד לפסגת הטרופוספירה. בטרופוספירה מוסע האוויר צפונה ודרומה תוך שהוא מקרין חום לחלל ומתקרר. האוויר הקר שוקע בקטבים ומוסע בחזרה, סמוך לקרקע, לקו המשווה.

איור 65 מערכת הסעת החום באטמוספירה על פי התאוריה שהוצעה על ידי גורג' הדלי במאה ה-18

בפועל, כאשר חוקרים את מערכת הרוחות בכדור הארץ, מתקבלת תמונה מורכבת יותר מזו שהציע הדלי. ב־1855 תיאר המטאורולוג האמריקאי ויליאם פֶּרְל מודל ובו שלושה תאי זרימה בכל אחד מחצאי כדור הארץ. הסיבה לקיומם של שלושה תאים במקום אחד היא כוח קוריוליס (ראו עמ' 64), המסיט את זרמי האוויר מכיוון תנועתם המקורי. נתאר את תאי הזרימה על פי המודל של פרל כפי שהם מתקיימים בחצי הכדור הצפוני (איור 66), וגם איור 69 בעמ' 109).



איור 66 מערכת הסעת החום באטמוספירה ולפי מה שידוע היום).

התא הראשון במודל זה נקרא **תא הדלי** והוא מתקיים בין קווי הרוחב 0° – 30° . בדומה למה שהציע הדלי. בתא זה מתחמם האוויר בקו המשווה, מתפשט ועולה למעלה תוך שהוא נושא עמו לחות רבה, היוצרת עננים המורידים גשמים רבים מדי יום. כך נוצרת באזור קו המשווה רצועה של **אקלים טרופי** חם ולח בכל עונות השנה. כתוצאה מכך האזור מכוסה יערות גשם עשירים בצמחייה ובעלי חיים. התחממות האוויר והתפשטותו יוצרת באזור קו המשווה לחץ אוויר נמוך. ברום נתקל האוויר בשכבת הסטרטוספירה המהווה מעין מחסום¹, שגורם לו לנוע צפונה ודרומה תוך שכוח קוריוליס מסיט אותו מזרחה. תוך כדי תנועתו לצפון ולדרום מאבד האוויר חום בקרינה לחלל ומתקרר.

1. בסטרטוספירה האוויר חם יותר מאשר בשכבות העליונות של הטרופוספירה, ולכן האוויר חקר, שהוא כבד יותר, אינו יכול לחדור לאוויר החם והקל שמעליו.



נוף באזור אקלים טרופי

מעל לאזור של קווי הרוחב 25° - 30° האוויר, שהתקרר ונעשה צפוף יותר, מתחיל לשקוע תוך שהוא יוצר רמה ברומטרית הנקראת **הרמה הסובטרופית**. בשקיעתו מתחמם האוויר ולחותו היחסית יורדת - מצב זה מונע היווצרות עננים ומשקעים. כתוצאה מכך נוצרת רצועת **אקלים מדברי**, שאליה משתייכים מדבריות, כגון: מדבר סהרה, מדבריות חצי האי ערב, מדבר קלהרי בדרום אפריקה, מדבריות מרכז אוסטרליה וגם הנגב שלנו.

באוקיינוסים גורמת הרמה הסובטרופית לכך שבאזור קווי הרוחב 25° - 30° , הרוחות בדרך כלל חלשות מאוד. ספינות מפרש שהפליגו באזור גאוגרפי זה היו לעתים נתקעות לפרקי זמן ארוכים בגלל היעדר רוח. הספנים כינו את האזור בשם **רחבי הסוסים**, מכיוון שבמצב זה, כאשר אזל המזון בספינות, היו אוכלים סוסים שהיו בספינות או שהיו משליכים אותם לים כדי להקל את תנועת הספינה.

באזורים שמדרום לקו הרוחב 25° , נושבות סמוך לקרקע רוחות המחזירות חלק מהאוויר לקו המשווה והסוגרות את תא הדלי. רוחות אלו מוסטות על ידי כוח קוריוליס לדרום-מערב, ובהן השתמש קולומבוס בדרכו לגילוי אמריקה. מאוחר יותר נוצלו רוחות אלו על ידי ספינות שסחרו עם "העולם החדש", ומשום כך הן כונו **רוחות הסחר**.



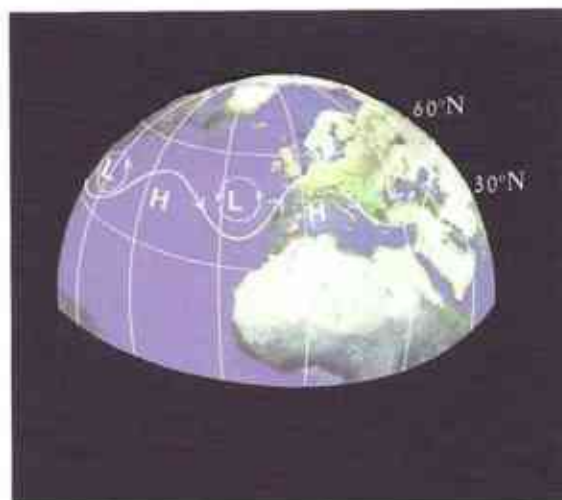
נוף באזור אקלים מדברי

התא השני נקרא **תא פרל** והוא מתקיים בין קווי הרוחב 30° – 60° . באזור קו רוחב 30° , חלק מהאוויר ששוקע ברמה הסובטרופית יוצר רוחות הנושבות סמוך לקרקע בכיוון צפון־מזרח, לכיוון הקוטב. במקביל נושבות לאזור רוחות קרות מאוד מהקוטב. בין קווי רוחב 30° – 60° נפגשים גושי האוויר החמים מדרום עם גושי האוויר הקרים מצפון. גושי האוויר נוגעים זה בזה, אך כמעט שאינם מתערבבים. קו המגע בין גושי האוויר העומדים כך נקרא **חזית**. החזית שנוצרת באזור זה נקראת **החזית הקוטבית**.

לאורך החזית הקוטבית נוצרים שקעים ברומטריים חזיתיים (על השקע החזיתי, ראו עמ' 120) המאפיינים את **האקלים הממוזג**. בשקעים אלה עולה אוויר כלפי מעלה, וכאשר האוויר הוא לח, נוצרים תנאים מתאימים להתפתחות עננים ומשקעים. השקעים נעים בדרך כלל מזרחה עם הרוחות המערביות המנושבות ברום. בין שקע אחד למשנהו מצויה רמה ברומטרית. משום כך חלים באזורים אלה שינויים תכופים במזג האוויר – לעתים הוא נאה ולעתים מעונן וגשום. המשקעים קיימים באזור בכל עונות השנה, ויש הבדלים ניכרים בטמפרטורה בין הקיץ לחורף. חלק מהאוויר שעולה באזור זה למעלה, נע ברום בכיוון דרום־מערב ושוקע בחזרה לקרקע באזור "רחבי הסוסים". כך נסגר מהלך האוויר בתא פרל.

התא השלישי, **התא הקוטבי**, מתקיים מצפון לקו הרוחב 60° ועד לקוטב. חלק מהאוויר שעלה מהאזור הממוזג, נע ברום לעבר הקוטב, ושם הוא שוקע ויוצר רמה ברומטרית הגורמת למיעוט משקעים. **האקלים הקוטבי** קר ויבש במשך כל ימות השנה, וכמות המשקעים באזור דומה לכמויות המשקעים באזורים המדבריים. מהקוטב נושבות רוחות בכיוון דרום־מערב המשלימות את התא הקוטבי.

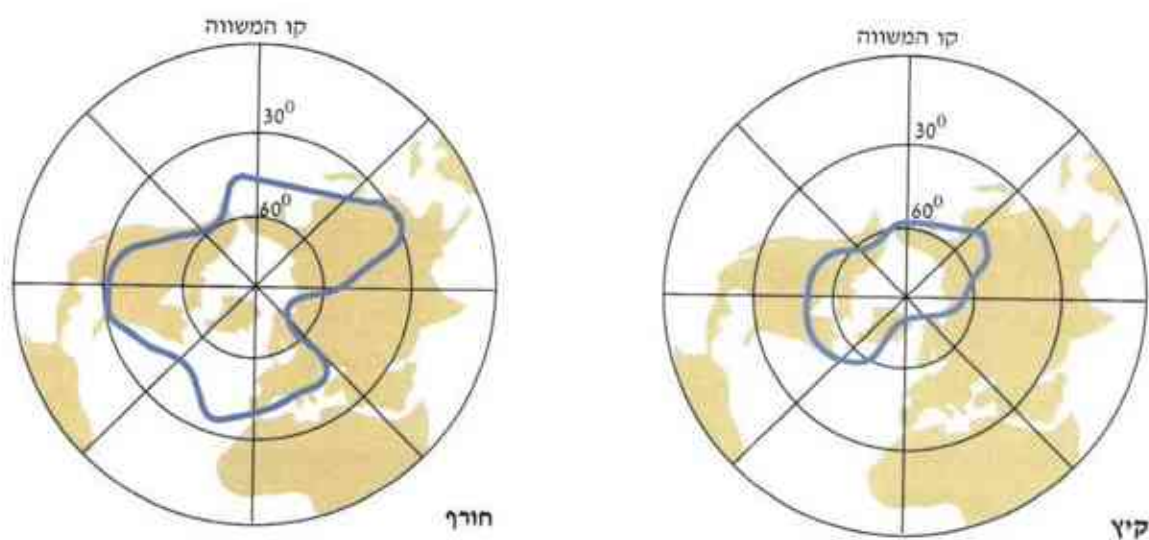
מערכות הלחץ העולמיות שתיארנו אינן קבועות במקומן. במשך השנה ניצבת השמש בזנית בכל פעם בנקודה אחרת מצפון לקו המשווה ומדרום לו, ומערכות הלחץ זזות עמה. כך למשל, בשיא הקיץ, כאשר השמש בזנית מעל לחוג הסרטן, הרמה הסובטרופית נעה צפונה לקו הרוחב 30° , ולכן בקיץ אין גשמים בישראל. בחורף נעות מערכות הלחץ דרומה, ואז נמצאת גם ישראל תחת השפעת האזור הממוזג.



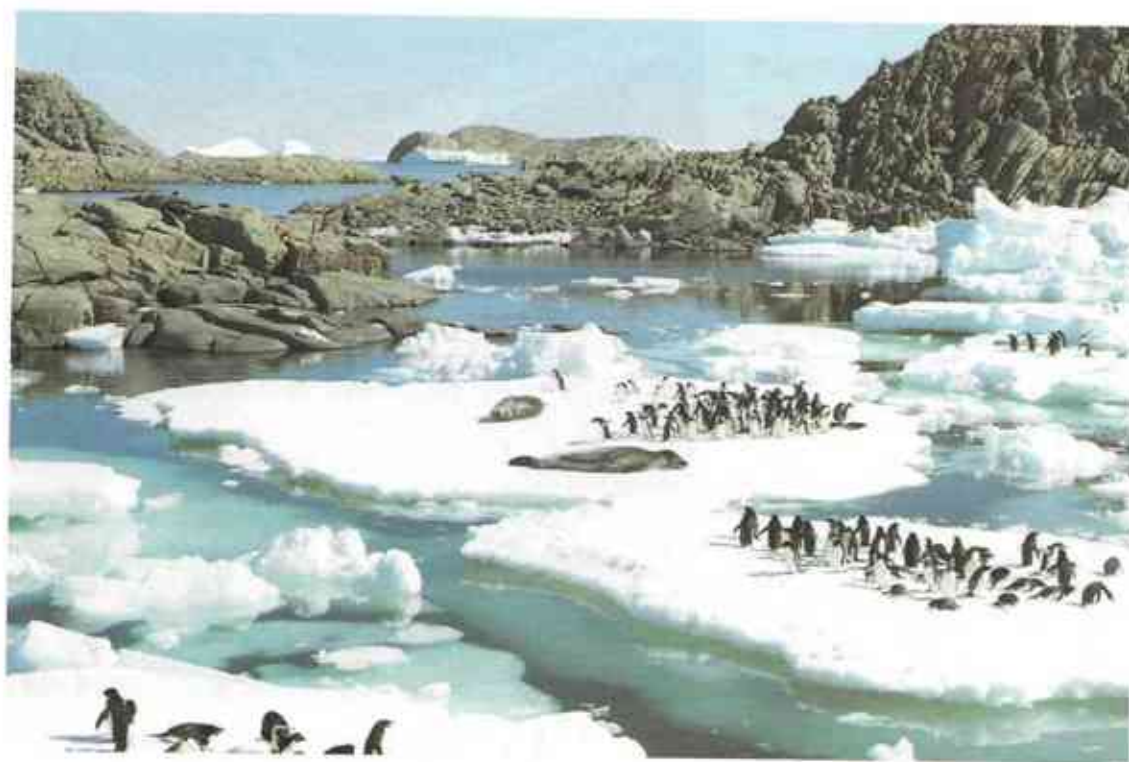
איור 67 שקעים ורמות באזור האקלים הממוזג



נוף באזור אקלים ממוזג



איור 68 דוגמה למיקום החזית הקוטבית ביום קייצי וביום חורפי. מיקומה בחורף מדרים בהשוואה לקיץ.



נוף באזור
אקלים קוטבי

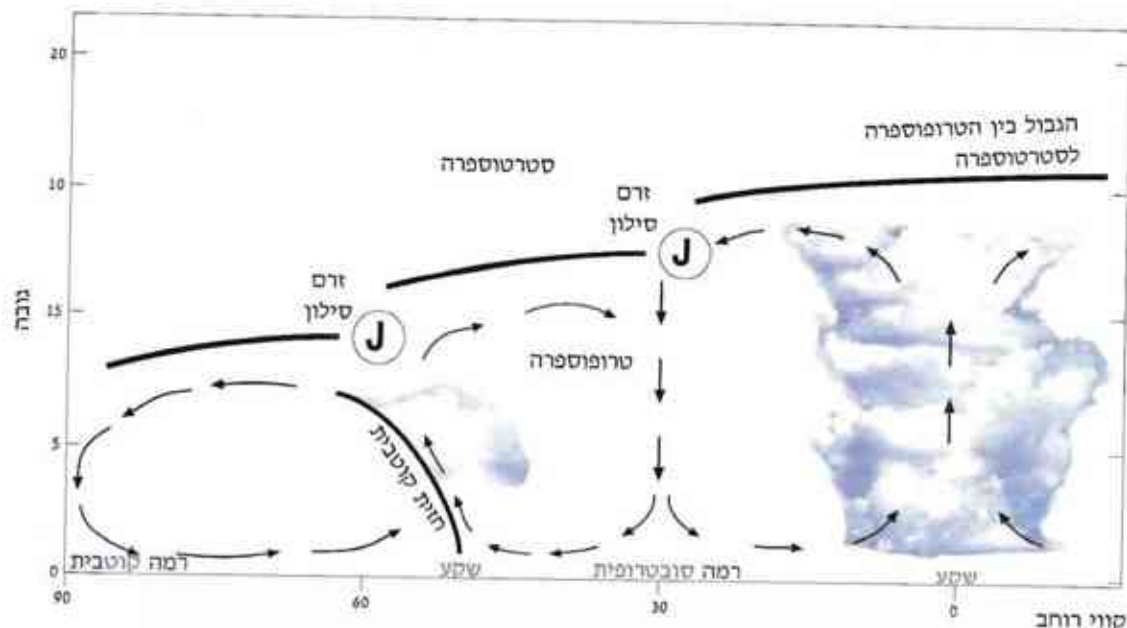
זרם הסילון

טייסים שטסו בגובה רב במהלך מלחמת העולם השנייה, גילו שבגובה של כ־10 ק"מ נושבות רוחות מערביות חזקות מאוד, שהגבירו במידה ניכרת את מהירות המטוסים שטסו עם כיוון הרוח. לאחר המלחמה נחקרו רוחות אלו וכונה בשם **זרם הסילון**. זרם הסילון הוא רצועת רוחות בצורת גליל שרוחבו עד כ־500 ק"מ. רוחות אלו נושבות בגובה של כ־10 ק"מ ועוצמתן גבוהה מאוד – כ־185 קמ"ש בממוצע, ולעיתים היא מגיעה עד קרוב ל־500 קמ"ש. גם כיום נעזרים מטוסים ברוח הסילון כאשר הרוח נושבת בכיוון הטיסה, וזמן הטיסה מתקצר.

היווצרותן של רוחות הסילון קשורה לכך שגובה הטרופוספירה קטן ככל שמתרחקים מקו המשווה בכיוון הקטבים. בקו המשווה חם יותר מאשר בקטבים, ולכן שכבת הטרופוספירה מתפשטת ומתנשאת לגובה רב יותר; בקטבים האוויר קר וצפוף יותר, ולכן שכבת הטרופוספירה נמוכה יותר. עובי הטרופוספירה אינו משתנה ברציפות, אלא במעין 'מדרגות' הממוקמות באזור קו הרוחב 30° מעל לרמה הסובטרופית, באזור קו הרוחב 60° מעל לחזית הקוטבית, ולעיתים גם במקומות אחרים. במקום שבו יש 'מדרגה', קיים גם שינוי גדול בלחץ הברומטרי. בחצי הכדור הצפוני מצוי לחץ גבוה מצפון ל'מדרגה', ולחץ גבוה מדרום לה. מפל הלחצים הגדול יוצר רוח חזקה, המוסטת מערבה על ידי כוח קוריוליס.



תצלום לוויין שבו נראית עננות הנוצרת במקום שבו נמצא זרם הסילון. בתצלום נראים ים סוף ומצרים.



איור 69 זרמי הסילון
ומערכות הלחץ העולמיות
מבט מהצד

לזרמי הסילון השפעה על עוצמת השקעים באזורי האקלים הממוזג. כאשר מעל לשקעים נושבת רוח סילון, גוברת עוצמתם והם נעשים עמוקים יותר. (התהליך מורכב ולא נסביר אותו כאן.) חשיבות רבה נודעת לזרמי הסילון גם בגלל יכולתם להעביר במהירות כמויות גדולות של אוויר ממקום למקום, ולהשפיע בכך על מזג האוויר במקומות המרוחקים זה מזה.

? שאלות

1. מתי כדאי למטוסים הטסים בקו התעופה תל אביב ניו־יורק להיעזר בזרם הסילון?
2. באיזה כיוון תנשוב רוח הסילון בחצי־הכדור הדרומי? הסבירו.

מעבדה - הדגמת תא זרימה



כלים וחומרים

אקווריום, צבע מאכל, כוס, מים רותחים, קוביות קרח

תופעות פיזיקליות רבות דומות בנוזלים ובגזים. נצל עובדה זו על מנת להדגים באמצעות מים תנועות אוויר באטמוספירה. המים באקווריום מדגימים את האטמוספירה, המים בכוס מדגימים גוש אוויר.

הוראות ביצוע

- ◀ מלאו מים באקווריום.
- ◀ מלאו את הכוס במים רותחים והוסיפו צבע מאכל.
- ◀ שימו קוביות קרח בצדו הימני של האקווריום.
- ◀ הכניסו את הכוס לאקווריום והניחו אותה בצדו השמאלי. הוציאו בזהירות את היד מהאקווריום בלי לערבב את המים שבתוכו.
- ◀ התבוננו באקווריום מהצד כשעיניכם בגובה המים.



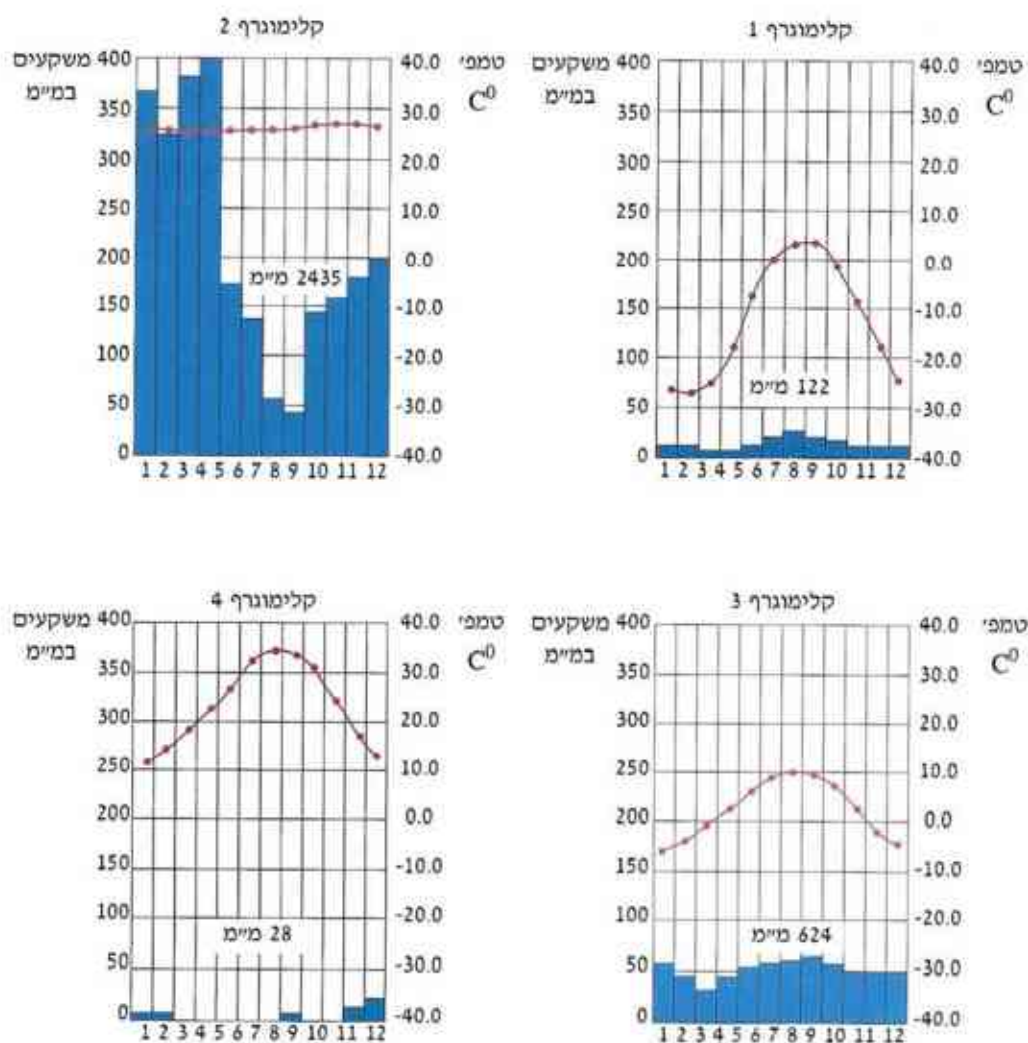
איור 70

שאלות?

1. תארו את התופעות שהתרחשו בתוך האקווריום ונסו להסבירן.
2. אילו אזורים בכדור הארץ מייצגים צד ימין וצד שמאל של האקווריום? מה מייצגים המים הצבעוניים?

שאלות?

1. עיינו באיור 66 בעמ' 104 וציינו באילו קווי רוחב נוצרות רמות ובאילו נוצרים שקעים. הסבירו מדוע.
2. מה משותף לאקלים המדברי ולאקלים הקוטבי?
3. במהלך השנה זזות מערכות הלחץ העולמיות. הסבירו מדוע, ומהי השפעתה של תזוזה זו על מזג האוויר באזורים שונים בעולם.
4. קלימוגרף הוא תרשים המתאר את ההשתנות השנתית הממוצעת של הטמפרטורות והמשקעים במקום מסוים. לפניכם קלימוגרפים מארבעה אזורים אקלימיים שונים. לאיזה אקלים מתאים כל קלימוגרף? הסבירו את ההתאמה.

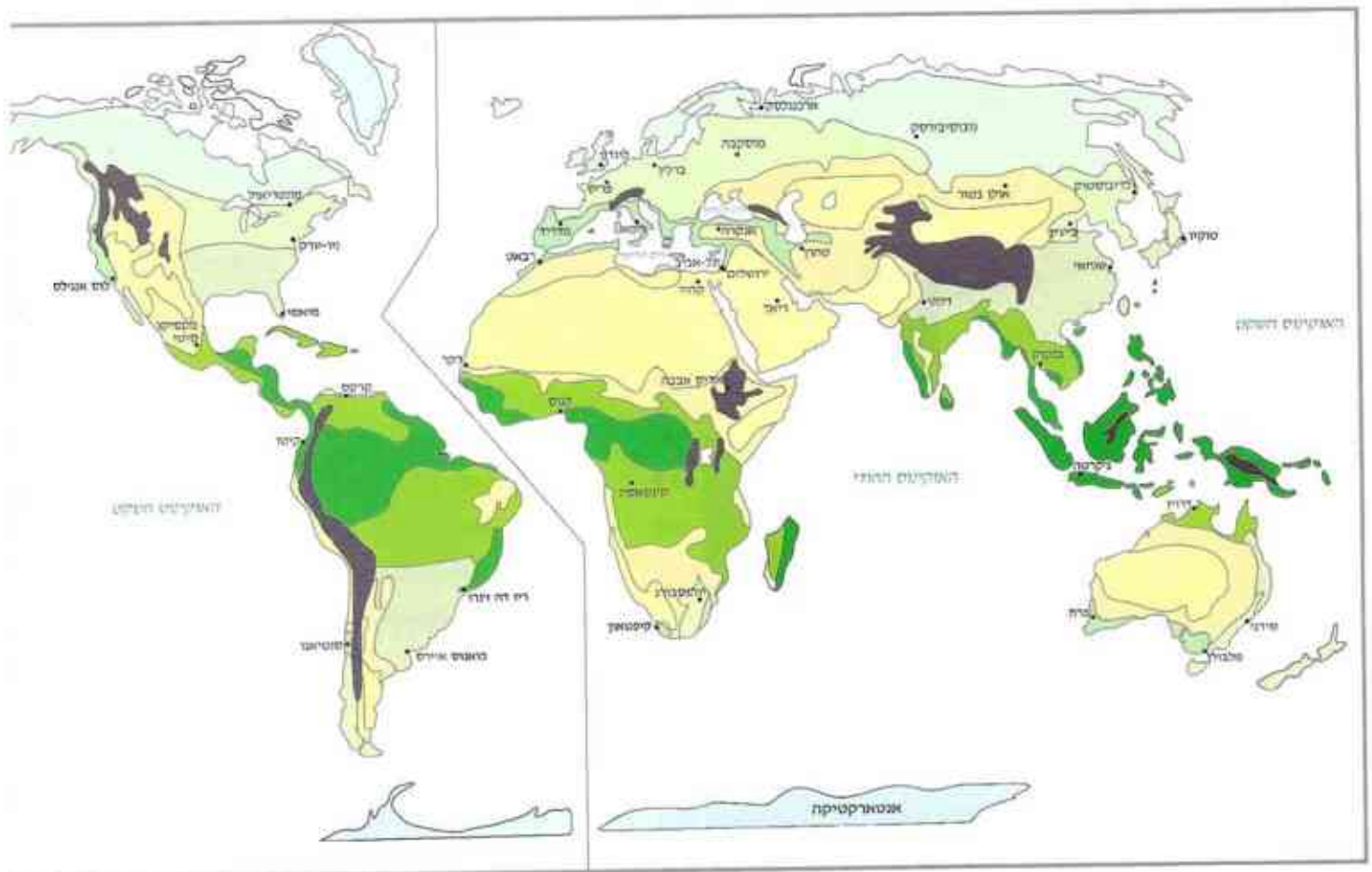


גורמים המשפיעים על האקלים

התבוננות במפת אזורי האקלים העולמית מגלה כי במקרים רבים מוסטות רצועות האקלים דרומה או צפונה מקווי הרוחב שתיארנו. סיבה עיקרית לכך היא השפעת הים על אזורי היבשה הסמוכים אליו. גם התבליט¹ המקומי משפיע על האקלים.

איור 72

אזורי האקלים בכדור הארץ



אקלים קוטבי	אקלים ממוזג	אקלים יבש	אקלים טרופי
תת קוטבי קוטבי אקלים חרים	ממוזג ים תיכוני ממוזג חם ממוזג ממוזג קר	מדברי למחצה/ערבתי מדברי	טרופי גשום כל השנה טרופי עם עונה יבשה

1. תבליט – צורת פני השטח (הרים, גבעות, מישורים וכדומה).

השפעת הים

תגובת היבשה לחימום ולקירור מהירה בהרבה יחסית לים (ראו בעמוד הבא). לכן עם בוא החורף, היבשה מתקררת במהירות בעוד הים מתקרר לאט ונשאר חם יחסית. לקראת הקיץ היבשה מתחממת במהירות והים שמתחמם לאט, נשאר קר יחסית. תהליך דומה מתרחש גם במהלך היממה במעבר מהיום ללילה. לתכונות אלו שתי השפעות חשובות על האקלים:

היווצרות שקעים ורמות תרמליות – כאשר הים או היבשה חמים מסביבתם, מתפתח מעליהם **שקע תרמלי**¹, וכאשר הם קרים מסביבתם – מתפתחת מעליהם **רמה תרמלית**. מסיבה זו מוצאים לא פעם רמות או שקעים במקומות שאינם מתאימים למודל אזורי האקלים שתיארנו.



מונסון בהודו

דוגמה לכך היא **השקע המונסוני** בהודו בעונת הקיץ שקע זה גורם לירידת משקעים רבים בקווי רוחב שבהם אמורים היו להיווצר מדבריות. השקע נוצר עקב התחממות הרבה של חצי האי ההודי לעומת האוקיינוסים שמסביב. אל תוך השקע מתכנס האוויר הימי הלח מהאוקיינוסים, וכך נוצרים גשמי המונסון. יש מקומות בהודו שבהם כמות המשקעים השנתית מגיעה ליותר מ-10,000 מ"מ. (לשם השוואה, באזורים הגשומים ביותר בישראל כמות המשקעים השנתית הממוצעת היא כ-800 מ"מ). בחורף לאחר ההתקררות המהירה של היבשה יחסית לאוקיינוס שמסביבה, נוצרת מעל הודו רמה שמונעת היווצרות משקעים.

אקלים מתון יותר בקרבת הים – הבדלי הטמפרטורות בין היום והלילה ובין הקיץ והחורף קטנים יחסית במקומות הקרובים אל הים. כאשר חלה התקררות והיבשה מתקררת במהירות לעומת הים שנשאר חם יחסית, התקררות האוויר ביבשה ממותנת על ידי אוויר חם שמגיע מהים. כאשר מתרחשת התחממות, עולה טמפרטורת היבשה יותר מזו של הים, אך עלייה זו ממותנת על ידי אוויר קר שמגיע מהים. כך, למשל, בסיאטל – בארצות הברית – השוכנת ליד הים, הטמפרטורה הממוצעת בחודש ינואר היא 3⁰. לעומת זאת, בעיירה פרגו, הנמצאת באותו קו רוחב, במדינת צפון-דקוטה במרכז ארצות הברית, רחוק מהים, מגיעה הטמפרטורה הממוצעת ל-15⁰ -.

ריבוי משקעים בקרבת הים – אזורים הקרובים לים גשומים יותר מכיוון שאוויר המגיע מהים נושא איתו לחות. כך, למשל, בסיאטל, שליד הים, יורדים מידי שנה 990 מ"מ, ולעומת זאת בפרגו השוכנת באותו קו רוחב, אבל רחוקה מהים, יורדים רק 475 מ"מ.

1. שקע תרמלי – שקע שנוצר עקב התחממות מקומית. תוכלו לקרוא עליו עוד בנספח 1, בעמ' 173.

ים ויבשה - הבדלים בתגובה לחימום

אם ניקח אדמה ומים בטמפרטורה זהה ונחשוף אותם לאור השמש, נמצא שהקרקע התחממה מהר בהרבה מהמים. כאשר ייפסק אור השמש, תתקרר הקרקע במהירות. תופעה זו מתרחשת בממדים גדולים ביבשה ובים. תוכלו להבחין בה בחוף הים בקיץ בשעת השקיעה. מיד עם היעלמות השמש מתקרר החול, שהיה חם כל היום, במידה ניכרת; לעומת זאת, טמפרטורת הים אינה משתנה כמעט, והמים חמים יחסית לחול. תופעה זו נובעת מכמה סיבות:

כאשר קרינת השמש פוגעת ביבשה, נבלעת הקרינה רק בשכבת הקרקע העליונה, שעוביה סנטימטרים ספורים, והיא המתחממת במידה ניכרת. לעומת זאת, את המים השקופים הקרינה מחממת עד עומק של כ-25 מטרים. תהליכי ערבול בים מפזרים את החום לעומק רב עוד יותר. כך מתחממת שכבת מים עבה, אך טמפרטורות המים עולה רק מעט. סיבה חשובה נוספת היא ההבדל בין **החום הסגולי** של הקרקע לחום הסגולי של המים. חום סגולי מוגדר ככמות החום הנדרשת לשינוי הטמפרטורה של יחידת מסה של חומר במעלה אחת. אם ניקח לדוגמה מסה זהה של מים ושל שמן ונחמם אותן במשך אותו פרק זמן על להבות גז שוות בעוצמתן, נגלה שהטמפרטורה של השמן עלתה יותר מזו של המים. זאת, מפני שלהעלאת הטמפרטורה של המים נחוץ להשקיע אנרגיה רבה יותר מזו הנחוצה להעלאת הטמפרטורה של השמן, כלומר – למים חום סגולי גבוה יותר מאשר לשמן.

מכיוון שהחום הסגולי של המים גבוה בהרבה מזה של הקרקע, דרושה אנרגיה רבה יותר כדי לשנות את טמפרטורת המים. לכן, אם קרינה שווה של שמש תחמם קרקע ומים, יתחממו המים פחות. חשוב לציין כי הבדלי החום הסגולי ניכרים גם כאשר חומרים מתקררים. המים, בעלי החום הסגולי הגבוה יותר, יתקררו לאט יותר מהקרקע שהחום הסגולי שלה נמוך.

שאלות?

1. מוט עשוי מכסף מתחמם מהר יותר מאשר מוט מברזל.
 - א. לאיזה משני החומרים חום סגולי גבוה יותר?
 - ב. איזה חומר מתקרר מהר יותר?
2. באזור יבשתי רחוק מהים, הבדלי הטמפרטורות בין היום והלילה גדולים בהרבה בהשוואה לאזור הסמוך לים. הסבירו מדוע.
3. האם טמפרטורת הים בסתיו תהיה גבוהה, נמוכה או שווה לטמפרטורת הים באביב? הסבירו.



השפעת זרמי הים על האקלים – כפי שצוין בתחילת פרק זה, גם זרמי הים משתתפים בהעברת אנרגיית חום מאזור קו המשווה לקטבים, ובמקביל יש תנועה של זרמי ים קרים מהקטבים לעבר קו המשווה. כאשר זרם חם עובר ליד היבשה, הוא משפיע על האוויר שמעליו. למשל, **זרם הגולף**, המעביר חום מקו המשווה צפונה ועובר ליד החופים המערביים של אירופה, מעלה את הטמפרטורות באזור זה במידה ניכרת בהשוואה לאזורים אחרים הנמצאים באותם קווי רוחב. לעומתו, **זרם פרו**, המזרים מים קרים לאורך החופים המערביים של דרום אמריקה, מצנן את האזור. בניגוד לצפוי, תופעה זו גורמת להיווצרות מדבריות לאורך חלק גדול מהחוף המערבי של דרום אמריקה. הסיבה לכך היא שהאוויר הקר, הנוצר מעל לים, צפוף וכבד, ולכן הוא אינו נוטה לעלות וליצור עננים.

מעבדה - שינוי טמפרטורה במים ובחול

כלים וחומרים

שלושה כלים שווים בגודלם (כגון: כוס כימית גדולה או אקווריום)
שלושה תרמומטרים

הוראות לביצוע

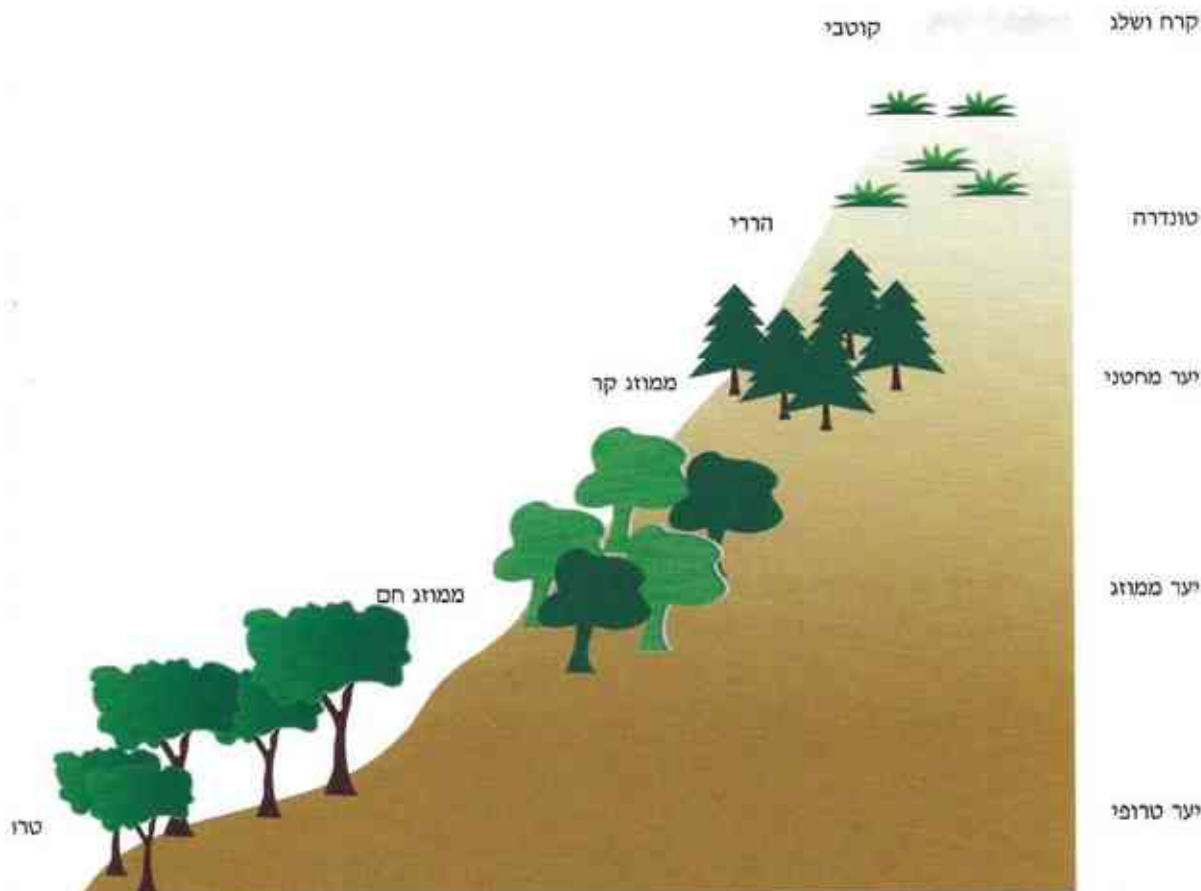
- ◀ את הכלי הראשון מלאו במים
- את הכלי השני מלאו במים עד חציו
- את הכלי השלישי מלאו בחול
- ◀ הניחו את הכלים בחדר מוצל לכמה שעות.
- ◀ מדדו את הטמפרטורה של תכולת הכלים בעומק של כ-2 ס"מ ובעומק של 10 ס"מ.
- ◀ הוציאו את הכלים מהחדר והניחו אותם בשמש. חזרו על מדידת הטמפרטורה כעבור 10 דקות, כעבור 30 דקות וכעבור שעה.

? שאלות ומשימות

1. סכמו את המדידות בטבלה.
2. הסבירו את התוצאות.
3. איזו תופעה כלל-עולמית הודגמה בניסוי זה?
אילו השלכות יש לתופעה זו על האקלים במקומות שונים?

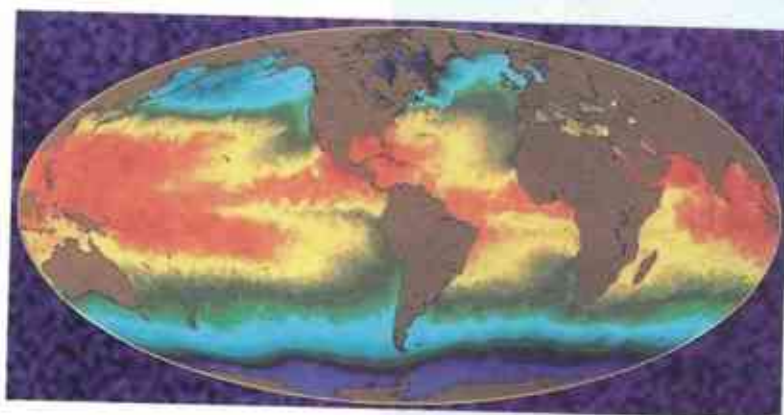
השפעת התבליט (צורת פני השטח)

האקלים משתנה גם עם העלייה בגובה: ככל שעולים מגובה פני הים, יורדת הטמפרטורה וכמות המשקעים עולה. אם מטפסים, למשל, על הר גבוה באזור הטרופי, עוברים במהלך הטיפוס דרך כמה מאזורי האקלים שכמותם מוצאים במעבר מאזור קו המשווה לקטבים. אקלים טרופי יהיה בתחתית ההר ואקלים קוטבי - בפסגתו. תבליט הררי יכול להשפיע על מסלולי הרוחות ועל החשיפה של אזורים שונים לגושי אוויר הבאים מהים. למשל, בארץ נוצר אקלים מדברי בדרום בקעת הירדן ובמדבר יהודה מכיוון שהרי יהודה חוסמים את דרכו של האוויר הלח מהים התיכון.



זרמי הים ותופעת 'אל ניני'

כאשר נושבת רוח מעל לים זמן רב באותו הכיוון, היא מתחככת במים וגורמת לסחיפתם. כך נוצרים זרמי ים קבועים באזורים שבהם נושבות רוחות קבועות. אולם כיוונם של הזרמים אינו ככיוון הרוחות בגלל כוח קוריוליס המסיט את זרם המים מכיוונו המקורי בחצי הכדור הצפוני ימינה מכיוון הרוח ובדרומי – שמאלה מכיוון הרוח.



זרמי הים כפי שהם נראים
בתצלום לוויין באור אינפרא-
אדום. אפשר להבחין בזרמי
הים על פי ההבדלים
בטמפרטורת מי הים.

הסטת זרם המים מהכיוון המקורי של הרוח יוצרת תופעה מעניינת וחשובה בקרבת חופים שבהם נושבת הרוח במקביל לחוף. במקרים שבהם מוסטים המים מהחוף לכיוון הים הפתוח, עולים מעומק הים מים התופסים את מקומם של המים שהוסטו. מים אלה קרים ובדרך כלל עשירים בחומרי דשן העולים ממעמקים. חומרי דשן אלה מאפשרים התפתחות של שרשרת מזון עשירה והופכים אזורים אלה לאזורי דיג עשירים ובעלי חשיבות כלכלית רבה.

חופי פרו ואקוודור בדרום אמריקה זכו בדגה עשירה בזכות התהליך שתיארנו. באזור נושבת רוח דרומית הגורמת להסטה של המים מהחוף מערבה ולעליית מים עשירים בחומרי דשן ממעמקים. בכל שנה בסביבות חודש דצמבר, מפסיקה הרוח הדרומית לנשוב, ואת מקום המים הקרים שעלו ממעמקים תופסים מים חמים הזורמים לעבר אמריקה ממרכז האוקיינוס השקט. מים אלה דלים בחומרי דשן, ובעקבות זה חלה תמותה רבה של האצות במים ושל הדגים הניזונים מהן.

בגלל סמיכות תופעה זו לחג המולד, היא מכונה בפי הדייגים המקומיים **"אלי-ניני"** שפירושה בספרדית "הילד" (הכוונה לישו הנוצרי).

בדרך כלל נמשכת התופעה שבועות ספורים ולאחר מכן חוזר המצב לקדמותו. אולם מדי כמה שנים מתארכת תקופת אלי-ניני – היא עשויה להופיע מוקדם יותר ולהימשך חודשים לאחר חג המולד. מקרה כזה מכונה 'אירוע אלי-ניני' ויש לו השלכות רבות. התמותה הרבה של הדגים גורמת למשבר חמור בענף הדיג המפרנס את תושבי האזור. במקביל, בגלל הטמפרטורה הגבוהה של המים, מתחמם האוויר שמעליהם ועקב כך גדלה במידה ניכרת נטייתו לעלות וליצור עננים ומשקעים. העלייה בכמות הגשם גורמת לשיטפונות חמורים. האירוע משפיע גם על צדו השני של האוקיינוס השקט. באזור אוסטרליה ואינדונזיה קטנה כמות המשקעים במידה ניכרת (את הסיבה נסביר בהמשך). יבולים נפגעים מבצורת וביערות הטורפיים פורצות שרפות.



איור 74 תופעות המתרששות בעת אירוע אל-ניניו

הגורם הישיר להיווצרותו של אירוע אל-ניניו הוא השתנות מערכת הלחצים הברומטריים באוקיינוס השקט. במצב הרגיל מתקיימת רמה ברומטרית מדרום לקו המשווה, מעל לאוקיינוס השקט, בעוד שבמערב האוקיינוס, בצפון אוסטרליה ובאינדונזיה, מתקיים שקע. הרוחות הנושבות מהרמה לשקע מסיעות מים ממזרח האוקיינוס למערב. עקב כך גבוה מפלס הים באזור צפון אוסטרליה ואינדונזיה בחצי מטר בקירוב מזה שבחופי דרום אמריקה. בדרכם מערבה, מתחממים המים על ידי קרינת השמש, וכך באזור השקע שבמערב האוקיינוס השקט מתאימים התנאים לירידת משקעים רבים במשך כל השנה. אירוע אל-ניניו נוצר כאשר הלחץ הברומטרי יורד במזרח האוקיינוס ועולה במערב. הרוחות שהסיעו את המים מערבה, מפסיקות לנשוב, ולכן המים החמים שהצטברו במערב האוקיינוס זורמים בחזרה לחופי אמריקה וגורמים, כפי שכבר הזכרנו, להגברת המשקעים ולשיטפונות באזור. במערב האוקיינוס, בצפון אוסטרליה ובאינדונזיה, שבהן עלה הלחץ הברומטרי, קטנה כמות המשקעים באופן משמעותי.

השינוי במערך האקלים באוקיינוס השקט משפיע גם על אזורים מרוחקים יותר. במחקרים לבדיקת מזג האוויר בשנים שבהן היה אירוע אל-ניניו, מצאו, למשל, שכמות הגשמים בעת המונסון בהודו קטנה, ובאפריקה הייתה בצורת באזורים שונים, באירופה ובמערב ארצות הברית נרשמו שנים גשומות מהרגיל.



בעת אירוע אל-ניניו ב-1998
התרחשו שיטפונות בדרום
אמריקה (מימין).
מאידך-ניסא קטנה מאוד
כמות המשקעים במערב
האוקיינוס השקט, עקב כך
ירדו מפלסי הנהרות
בפפואה וספינות ששטות
בהם נתקעו (משמאל).

הסיבות לתופעות אלה מעסיקות כיום את המחקר המטאורולוגי, המקדיש בין השאר מאמצים רבים לחזות אירועי אל-ניניו כדי לאפשר היערכות בעוד מועד למדינות המועדות להיפגע.

שאלות?

1. באיזה כיוון ייווצרו זרמים בים בחצי-הכדור הדרומי כאשר הרוח הקבועה היא צפונית?
2. הסבירו במה שונה שנה שיש בה אירוע אל-ניניו משנה רגילה.
3. מערכות הלחץ משני צדי האוקיינוס השקט משפיעות על זרמי הים בחופים המערביים של דרום אמריקה ועל היווצרות אירועי אל-ניניו. הסבירו כיצד.

שאלות?

1. א. מהו האקלים הצפוי בהודו על פי מיקומה בעולם? האם מתקיים שם אקלים זה?
ב. מדוע הקיץ בהודו גשום והחורף יבש?
2. מהי השפעת זרמי הים על האקלים בחופי האוקיינוסים?
3. לפניכם (בעמ' הבא) נתונים גאוגרפיים על כמה מקומות. תארו את האקלים הצפוי בכל אחד מהמקומות. התייחסו למשתנים האלה:
 - כמות המשקעים (רבה או מועטה)
 - תפוסת המשקעים לאורך השנה.
 - הטמפרטורות (גבוהות או נמוכות).
 - ההבדלים הצפויים בין הטמפרטורות ביום ובלילה.
 - הבדלי הטמפרטורות בין הקיץ והחורף.

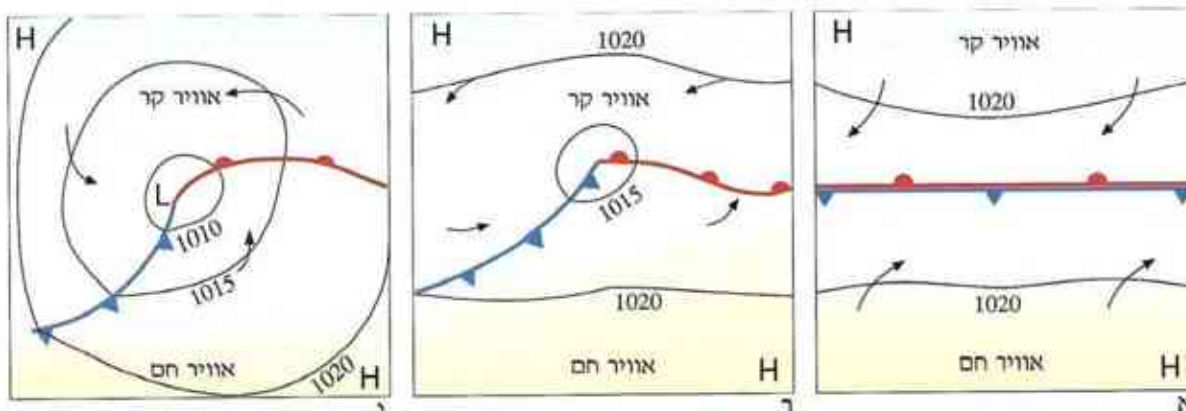
- א. קו רוחב 50° , הים במרחק 2000 ק"מ, גובה מעל פני הים 300 מ'
 ב. קו רוחב 25° , הים במרחק 1000 ק"מ, גובה מעל פני הים 300 מ'
 ג. קו רוחב 50° , המקום ליד האוקיינוס
 ד. קו רוחב 32° , גובה ביחס לפני הים 200- מטר, המרחק מן מים 70 ק"מ, שרשרת הרים מפרידה בין המקום לים. (איזה מקום בארץ מתאים לנתונים אלה?)
 ה. קו רוחב 0° , מרחק מהים 300 ק"מ, גובה מעל פני הים 5,000 מ'.

מערכות מזג האוויר באזורי האקלים הממוזג

בתחילת הפרק תיארנו בקצרה את אזורי האקלים בעולם. כעת נתאר בהרחבה רבה יותר את האקלים הממוזג בין קווי הרוחב 30° - 60° . ישראל שוכנת על גבולו של אזור זה (בין קווי הרוחב 29° - 33°) ומזג אוויר המאפיין את האקלים הממוזג משפיע עלינו בתקופת החורף.

השקע החזיתי

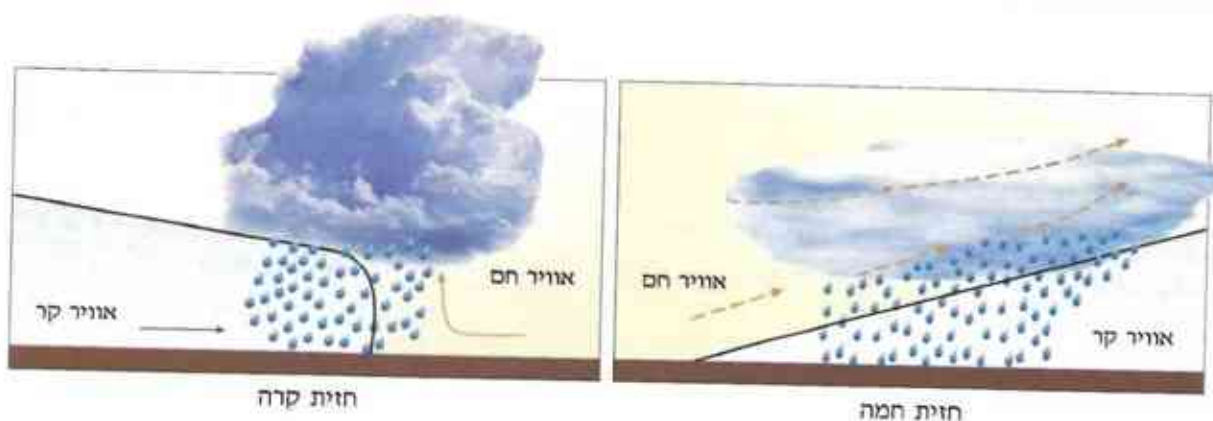
כאשר גושי אוויר בעלי תכונות שונות – האחד קר והאחר חם – באים במגע, הם אינם נוטים להתערבב זה בזה. הגבול בין גושי האוויר נקרא **חזית**. במצב ראשוני מצויה החזית בתוך אפיק רדוד בין שתי רמות המשתרעות משני צדיה, מצפון ומדרום, לכן האוויר נע משני צדי החזית במקביל, בכיוונים מנוגדים (איור 75א). במצב זה, קו החזית נשאר קבוע במקומו, והחזית נקראת **חזית נייחת**. בתנאים מסוימים נוצרת הפרעה בזרימת האוויר. קו החזית מתחיל לנוע, ונוצרת תנועה של גושי האוויר; האוויר הקר נע דרומה והאוויר החם נע צפונה. במרכז שסביבו נעים גושי האוויר, יורד הלחץ הברומטרי ונוצר שקע (איור 75ב) שהולך ומעמיק עם הזמן (איור 75ג).



איור 75 מהלך התפתחותו של שקע חזיתי

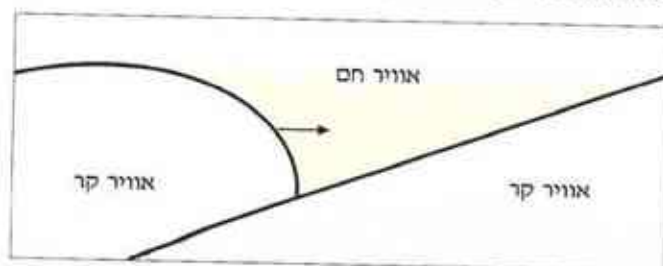
1. שקע החזיתי הוא שקע דינמי, סיבות להיווצרותו מתוארות בנספח 1 עמ' 173.

בשלב זה ניתן להבחין בחלקו המערבי של השקע, בתנועתו של האוויר הקר, הנע לעבר האוויר החם. מצב זה, שבו גוש אוויר קר נע לעבר גוש אוויר חם, נקרא **חזית קרה**, והיא המסומנת במפה בקו כחול עם משולשים המצביעים על כיוון התנועה של החזית. בחלקו המזרחי של השקע, האוויר החם נע לעבר האוויר הקר, ונוצרת **חזית חמה**, המסומנת במפות בקו אדום עם חצאי מעגלים. במבט מהצד (איור 76), ניתן להבחין במאפיינים של החזית החמה והקרה.



איור 76 חזית חמה וחזית קרה - מבט מהצד

בחזית הקרה, שצורתה תלולה, דוחק האוויר הקר והצפוף כלפי מעלה את האוויר החם והקל. גוש האוויר החם מתקרב בעלייתו, וכאשר הוא מכיל די לחות, נוצרים בקדמת החזית הקרה ענני קומולונימבוס מפותחים, המורידים גשמים חזקים מלווים בברקים ובסופות רעמים. בחזית החמה, האוויר החם מטפס באטיות על גבי האוויר הקר במסלול ששיפועו מתון. אם האוויר החם, המתקרב בעלייתו, מכיל די לחות, נוצרים באזור זה ענני נימבוסטרטוס, המכסים שטחים רחבים ומורידים גשמים שהם לרוב מתונים וממושכים. החזית הקרה נעה מסביב למרכז השקע במהירות גדולה יותר מאשר החזית החמה. זאת, משום שהאוויר הקר והצפוף הודף בקלות את האוויר החם והקל שלעברו הוא נע לעומת זאת.



איור 77 חזית התלכדות - מבט מהצד

האוויר החם אינו מצליח כמעט להדוף קדימה את האוויר הקר. כתוצאה מכך, החזית הקרה משיגה לבסוף את החזית החמה ונוצרת **חזית התלכדות** (חזית אוקלוזיה), המסומנת במפות בקו סגול עם משולשים וחצאי מעגלים המצביעים על כיוון תנועתה של החזית. במצב זה, אוויר קר בקרבת הקרקע תופס את כל שטחו של השקע.

כפי שציינו, השקעים החזיתיים נפוצים בקווי הרוחב 30° - 60° . קוטרם נע בין מאות קילומטרים עד קרוב ל-2000 ק"מ. השקעים הנוצרים נעים עם הרוחות המערביות ברום, בכיוון כללי ממערב למזרח. מהירותו הממוצעת של שקע חזיתי היא כ-40 ק"מ לשעה, ומשך קיומו - ימים בודדים עד שבוע.

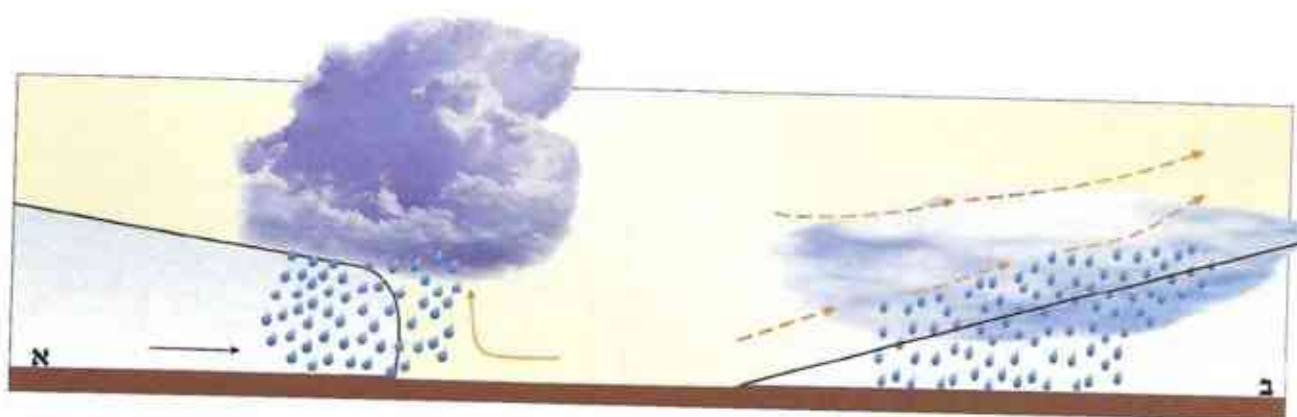
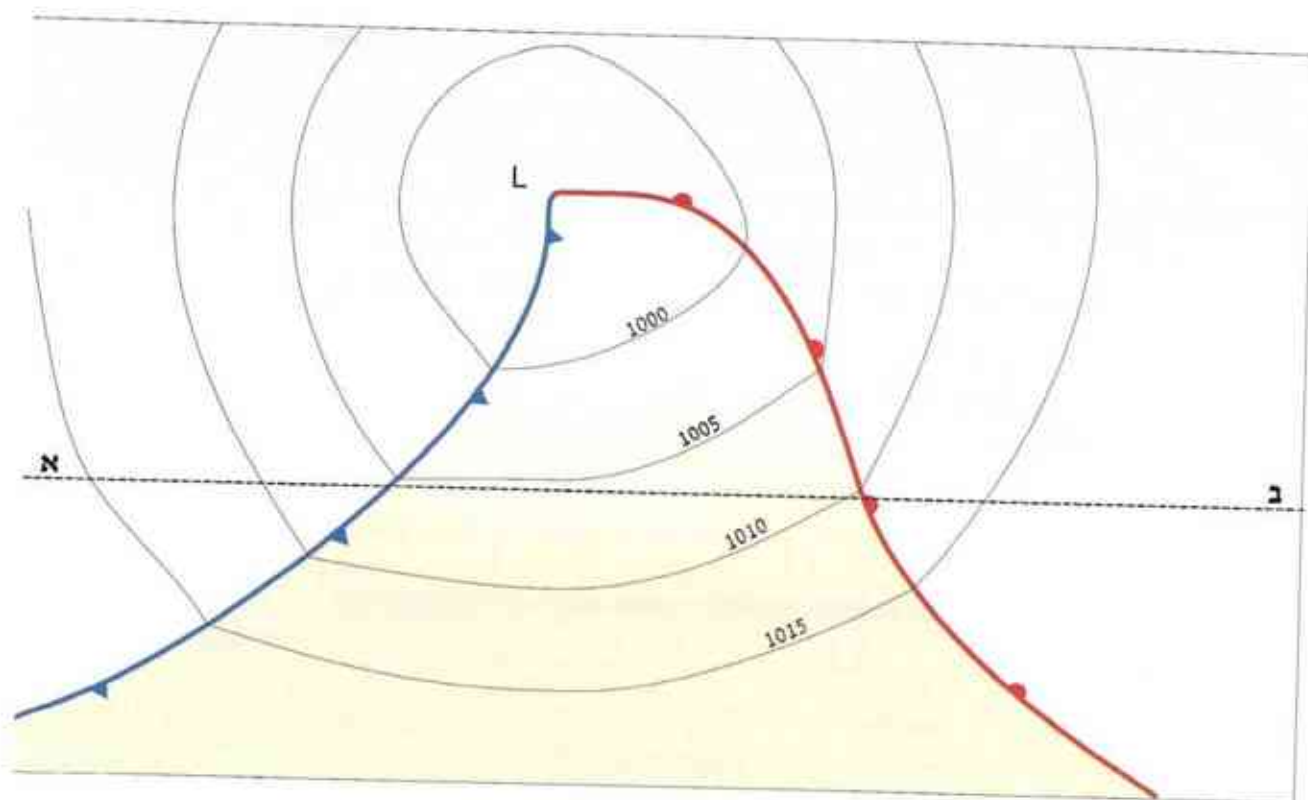
מדג האוויר האופייני לשקע החזיתי

אדם השוהה במקום מסוים שבו חולף שקע חזיתי, חווה שינויים במזג האוויר בזמן מעבר השקע. ננסה לבדוק שינויים אלה על ידי עיון באיור 78. תנועה לאורך הקו, מנקודה א לנקודה ב, תהיה דומה לתנועתו של השקע מזרחה (כך קל יותר לעקוב אחר האיור). בתחילת דרכנו לאורך קו זה, אנו נמצאים בחלק הקר של השקע. הטמפרטורות נמוכות, ובשמים מופיעים ענני צירוס, הלחץ הברומטרי הוא במגמת ירידה, והרוחות נושבות מכיוון דרום-מזרח. ככל שנתקדם מערבה, לעבר החזית החמה, יופיעו ענני סטרטוס גבוהים ואחריהם ענני נימבוסטרטוס שימטירו גשם קל ומתמשך.

אחרי שחצינו את החזית החמה, ניכנס לחלק החם של השקע. הטמפרטורות יעלו מעט, העננות תפחת והרוח תשנה את כיוונה ותיעשה דרומית. ככל שנתקרב אל החזית הקרה שבמערב, ימשיך הלחץ לרדת, ונוכל להבחין במערב בענני קומולוס וקומולונימבוס. הרוח תחוג ותיעשה דרום-מערבית.

אחרי שנחצה את קו החזית, ניכנס שוב לחלק הקר. הטמפרטורות ירדו במידה ניכרת, ענני הקומולונימבוס יהיו עתה מעלינו וימטירו גשם חזק מלווה בסופות רעמים ולעיתים בברד. הלחץ הברומטרי יתחיל לעלות, הרוח תשנה את כיוונה ותיעשה מערבית וצפון-מערבית. לאחר שנתרחק מעט מהחזית הקרה, ייפסק הגשם, ובשמים יופיעו ענני קומולוס שיילכו ויתמעטו, הלחץ הברומטרי ימשיך לעלות והרוח תחוג ותיעשה צפונית.

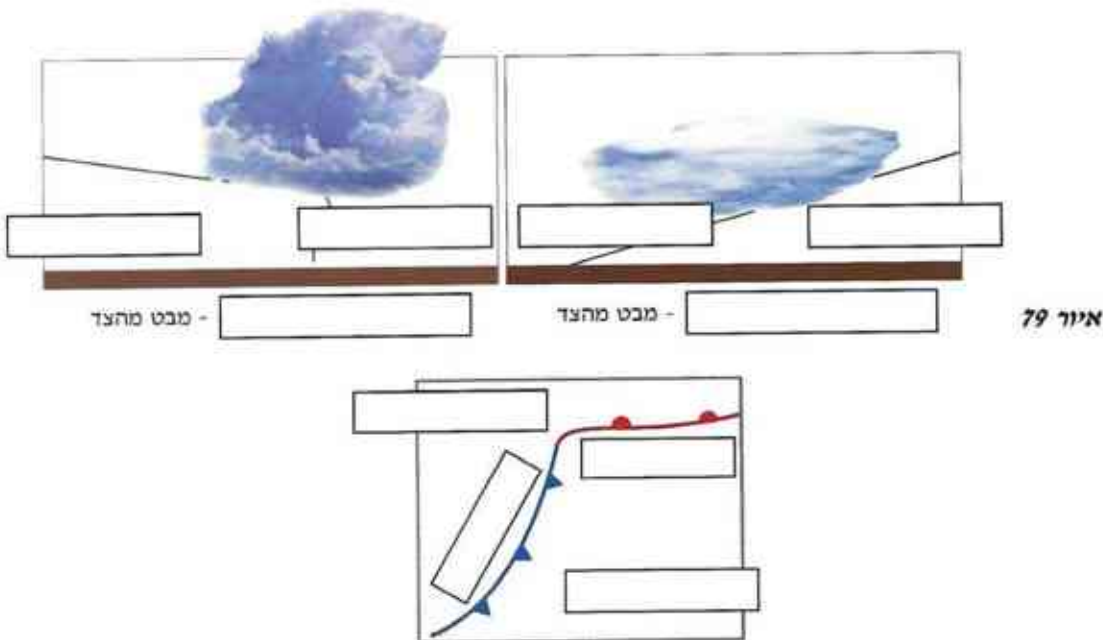
תהליך זה אופייני למעבר שקעים חזיתיים במקומות רבים בעולם, אך אינו מתקיים בכל שקע חזיתי. תנאים מקומיים יכולים לגרום לסטיות מתהליך זה. כך, למשל, היעדר לחות באוויר יכול למנוע התפתחותם של עננים. מאידך גיסא, תנאים טופוגרפיים או השפעה של הים עשויים לגרום לעננות ולמשקעים גם בחלקים של השקע שאמורים להיות ללא משקעים. כך קורה לא פעם בשקעים הפוקדים את ישראל בתקופת החורף, כפי שנראה בפירוט בפרק 8.



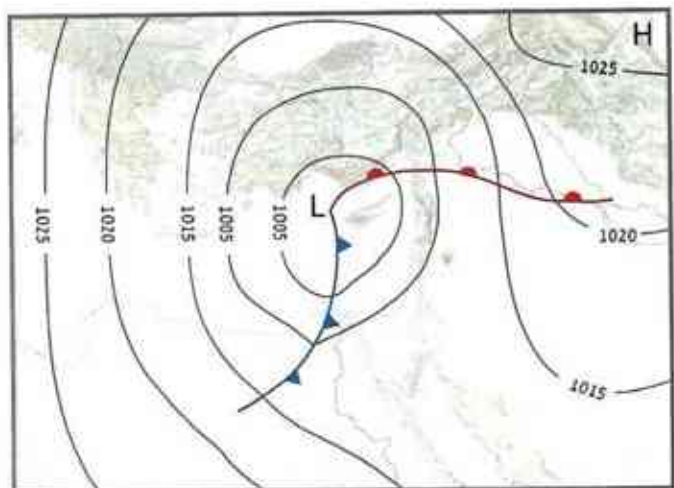
איור 78 שקע חזיתי: בחלק העליון – מבט מלמעלה (מפה). בחלק התחתון – מבט מהצד כאשר עוברים במפה מנקודה א לנקודה ב

שאלות?

1. א. מדוע מתפתחים עננים באזור החזית?
ב. אילו עננים נוצרים בחזית החמה ואילו בחזית הקרה? מדוע?
2. א. העתיקו את הסרטוטים שבאיור 79 למחברתכם וסמנו בציורים ובמפה את המונחים האלה: אוויר חם, אוויר קר, חזית חמה וחזית קרה.
ב. תחמו על גבי המפה את האזור שבו צפויים להופיע עננים מפותחים.



3. עיינו במפה באיור 80 וענו:
א. מהו, לדעתכם, מזג האוויר בישראל על פי מפה זו?
התייחסו למשתנים האלה:
טמפרטורות (גבוהות או נמוכות),
עננות (רבה או מועטה),
סיכויים לגשם (גדולים או מועטים),
כיוון הרוח.
- ב. מהו מזג האוויר הצפוי בישראל 24 שעות לאחר המצב המתואר במפה שבאיור 80?



איור 80



פעילות באינטרנט

מזג האוויר בעולם

עיינו במפת הטמפרטורות העולמית המעודכנת לשעות האחרונות והשיבו על השאלות האלה:

1. מהם האזורים החמים ביותר כרגע על פני כדור הארץ? לאיזו רצועת אקלים שייכים אזורים אלה?
2. האם תוכלו להבחין במפה באזורי אקלים נוספים? הסבירו כיצד.
3. מצאו אזורים שיש בהם עננים. האם תוכלו לזהות תופעות עונתיות על פי העננים?
4. היכן מצויים העננים שהטמפרטורה בפסגתם היא הנמוכה ביותר? כיצד תסבירו את הטמפרטורות הנמוכות בפסגות העננים באזורים שציינתם?
5. במפת הטמפרטורות המעודכנת לשעה מסוימת, מה עלינו להביא בחשבון בעת שמשוויים בין אזורים במזרח כדור הארץ לאזורים במערב?
6. בחרו בעיר גדולה בכדור הארץ. בעזרת האטלס מצאו את מקומה במפת הטמפרטורות העולמית. בדקו את הטמפרטורות ואת מצב העננים בעיר זו, ורשמו אותן. לאחר מכן היכנסו לאתר מזג האוויר של CNN ובדקו אם מזג האוויר שמצאתם על פי המפה תואם למזג האוויר של עיר זו המוצג באתר ה־CNN.

מזג האוויר בעולם: השוואה בין העונות (להפעלה בחורף)

עיינו במפת הטמפרטורות העולמית המעודכנת לשעות האחרונות וכן במפת הטמפרטורות העולמית מתקופת הקיץ.

1. בחרו בכמה אזורים והשוו בשתי המפות את מצב כיוון העננים ואת הטמפרטורות. כתבו את ההבדלים שבין האזורים.
2. אילו תופעות אקלים, הקשורות לעונות השנה, אפשר לזהות בעזרת ההשוואה בין המפות?

איתור שקעים ברומטרים בעזרת תמונות לוויין



1. לפניכם **תמונת לוויין** ובה שקע ברומטרי, **וסרטון** המתאר את תנועתו של שקע זה במשך שלושה ימים. אילו מאפיינים של שקע אתם יכולים לזהות בתמונה ובסרטון?
2. עיינו בתמונות לוויין מעודכנות של אחרנו - **גם באזור נראה ו-גם באזור אינפרה-אדום**, ובתמונות של אזור איטליה - **גם באזור נראה ו-גם באזור אינפרה-אדום**. האם אתם מבחינים במקומות שיש בהם שקעים ברומטריים? אם כן, היכן? הדפיסו את הדמיית הלוויין וסמנו בהדפסה את מקומם של השקעים.
3. איזו תחזית מזג האוויר בישראל תוכלו להציע על פי תמונות אלו?
4. השוו את התחזית שהכנתם **לתחזית מזג האוויר** ברשת האינטרנט. בדקו אם יש הבדל בין התחזית שלכם לתחזית המתפרסמת ברשת. מה יכולות להיות הסיבות להבדלים בין התחזיות?
5. עקבו אחר מזג האוויר ביממה הקרובה ובדקו אם התחזית שלכם התאמתה.



סיכום



ההבדלים בכמות קרינת השמש המגיעה לאזור קו המשווה, לעומת זו המגיעה לקטבים, יוצרים מערכת שבה חום מוסע מקו המשווה לעבר הקטבים בכמה תאי זרימה. הבדלי הקרינה ומערכת הסעת החום יוצרים בכדור הארץ ארבעה אזורי אקלים עיקריים: אקלים טרופי, אקלים מדברי, אקלים ממוזג ואקלים קוטבי.

במקרים רבים מוסטות רצועות האקלים דרומה או צפונה מקווי הרוחב הממוצעים שבהם הן משתרעות. הסיבה העיקרית לכך היא השפעת הים על אזורי היבשה שסמוכים אליו. גם התבליט המקומי משפיע על האקלים.

באזורי האקלים הממוזג נפגשים גושי אוויר חמים, המגיעים מאזור האקלים המדברי והטרופי, עם גושי אוויר קרים, המגיעים מאזור האקלים הקוטבי. במפגש בין גושי האוויר נוצרת חזית באקלים ממוזג נוצרים לסירוגין שקעים חזיתיים ורמות. מערכות לחץ אלו נעות מזרחה וגורמות לשינויים תכופים במזג האוויר. בעת היווצרות שקע חזיתי עשויים להיווצר משקעים רבים באזור החזית החמה ובאזור החזית הקרה.

פרק 7

סופות חמורות – טורנדו והוריקן

טורנדו והוריקן (המכונה בארצות מזרח אסיה ובאוסטרליה בשם טייפון, ובאוקיינוס ההודי - ציקלון) הן הסופות החמורות ביותר על פני האדמה. אנשים רבים מקפחים את חייהם באירועים אלימים אלה של מזג האוויר, ולכן חקירתן המדעית של הסופות יכולה לסייע בהגנה מפניהן. בפרק זה נתאר תופעות אלו.

טורנדו

טורנדו הוא הסופה האלימה ביותר הקיימת בכדור הארץ. מהירות הרוח בטורנדו עלולה להגיע ל-550 קמ"ש, והיא שואבת פנימה וכלפי מעלה את כל העומד בדרכה. מדידה ישירה של הרוח אינה אפשרית. מפני שמכשירי המדידה נהרסים כשהטורנדו פוגע בהם. לכן מעריכים את מהירות הרוח באמצעות מכשירי מכ"ם ועל פי עוצמת הנזקים שהסופה גורמת. הלחץ הברומטרי במרכז הטורנדו הוא נמוך עד כדי 10% מזה שבסביבתו (כ־100 מיליבר פחות). משום כך, כאשר סופת טורנדו חולפת סמוך למבנה, כל מה שנמצא בתוכו נשאב החוצה והמבנה עצמו עלול להתפוצץ בגלל הפרש הלחצים בין פנים המבנה והחוץ. במקום הנפגע מטורנדו נגרם נזק כבד ביותר. מדי שנה נספים בסופות אלו עשרות אנשים כמעט כולם במרכז ארצות הברית, באזור מישורי שבין טקסס לנברסקה. באזור זה שכיחות הסופות בחודשי האביב גבוהה ביותר ועוצמתן היא הגדולה בעולם. עם זאת, פגיעת הטורנדו היא מקומית, כי קוטר הסופה אינו עולה על מאות מטרים אחדות, וכך קורה לעתים שצדו האחד של רחוב נפגע ואילו הצד השני אינו סובל נזק ממשי. (זאת, בניגוד לסופות הוריקן שקוטרן מגיע למאות קילומטרים).

המנגנון היוצר את סופות הטורנדו אינו ברור דיו, אך ידוע כי הסופות נוצרות מתחת לענני קומולונימבוס מפותחים. על פי אחת התאוריות המקובלות, תנאים להיווצרות סופות טורנדו נוצרים כאשר:

- האוויר ברום קר בהרבה מזה שבשכבות התחתונות,
- עם העלייה בגובה בתוך הענן, משנה הרוח את כיוונה.

סופת טורנדו בקנזס

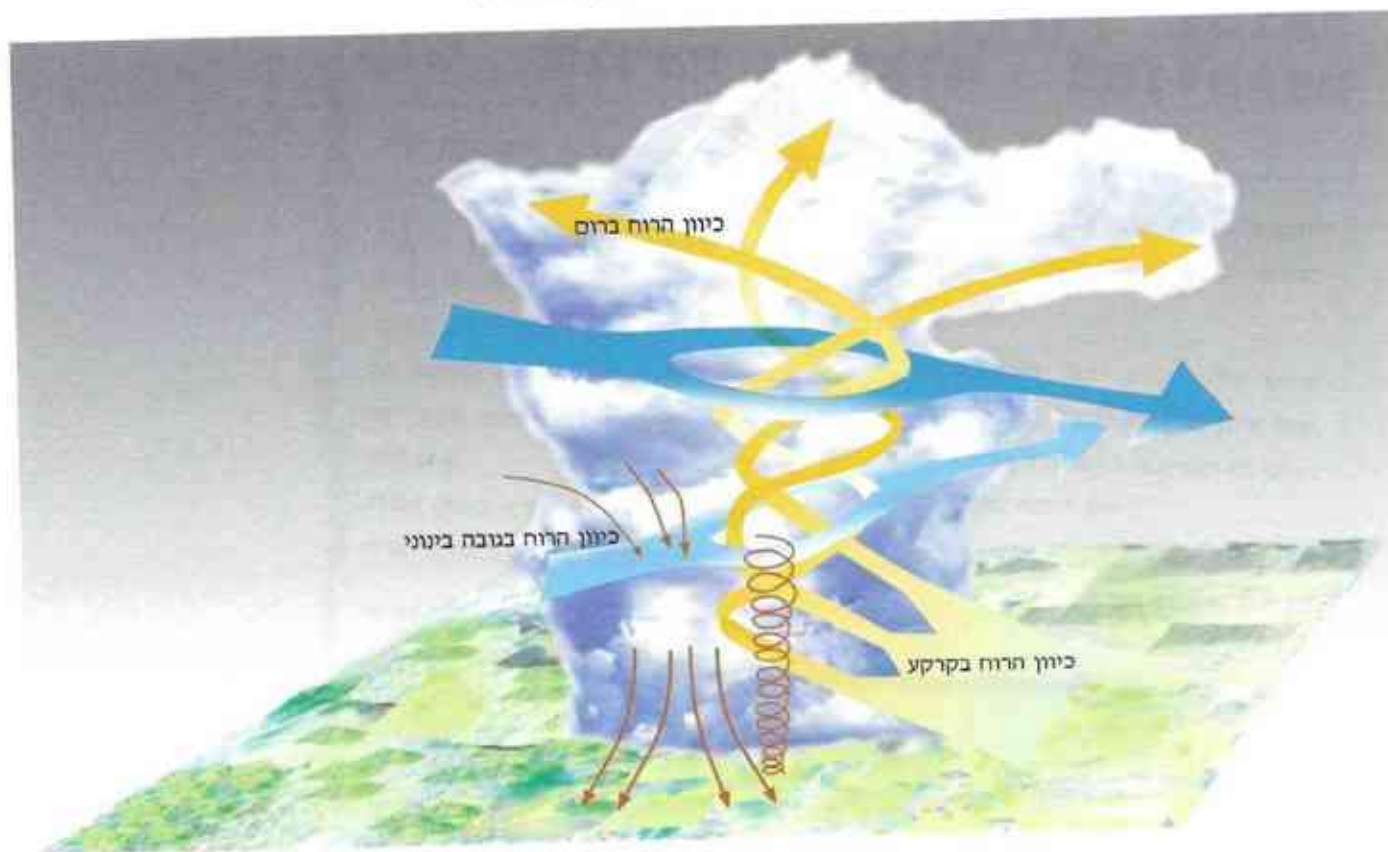
באחת העדויות הנדירות של מי שחזו מקרוב בסופת טורנדו, מספר ויל קלר, חוואי במדינת קנזס שבארצות הברית: "ב־22 ביוני 1928 יצאתי עם משפחתי לשדה החיטה שלי בבתנו. כאשר נשאתי עיניי לשמים הבחנתי כי מדרום־מערב מתקדם לעברנו ענן בצורת מטרייה. שיערתי שענן כזה יכול להיות מלווה בסופת טורנדו. תוך זמן קצר התאמת חשדי; מתחת לבסיס הענן השתוללו זו ליד זו שלוש סופות טורנדו. בלי לאבד רגע, רצתי עם משפחתי למקלט הטורנדו שלי בבתנו. משפחתי נכנסה למקלט ואני עמדתי בדלת והחלטתי להעיף מבט נוסף בסופה. האזור מסביב היה מישורי, ודבר לא הסתיר את המראה. ירד מעט גשם, שני הטורנדו הרחוקים נראו כחבלים עבים שהשתלשלו מהענן, הטורנדו הקרוב דמה למשפך גדול אלים ומאיים, שראשו בענן וצדו הצר בקרקע. לפתע פנה טורנדו זה לעברי, וקצהו התחתון התרומם מהקרקע בהדרגה מעליי. למשך שניות ספורות היה המשפך מעל לראשי משמיע שריקה רועשת. הבטתי למעלה, המשפך היה חלול וקוטרו כ־30 מ', קירותיו נבנו מענן ומאבק שהסתובבו נגד כיוון השעון. בפנים נצנצו ברקים שעברו כל העת מצד לצד."



סופת טורנדו

כתוצאה מתנאים אלו בתוך הענן, במקום שבו מצויים זרמים עולים, מתחילה מערבולת שקוטר בין 5 ל-10 ק"מ, ובמרכזה נוצר לחץ ברומטרי נמוך. מסיבות שאינן ברורות דיין, מתכווץ לעתים אזור הלחץ הנמוך, כלפי מטה, מתחת לענן, נשלחת ממנו שלוחה צרה דמוית משפך. האוויר הנשאב במשפך פנימה מתפשט עקב ירידת הלחץ ומתקרר, וכך נוצרת ההתעבות הבונה את הענן מסביב למשפך.

הסופה יכולה להיות נייחת, אך במרבית המקרים היא מתקדמת במהירויות שבין 35 קמ"ש ל-75 קמ"ש. הסופה נחלשת עם הזמן עקב חיכוך הרוח עם הקרקע והתמלאות השקע באוויר. משום כך פגיעתו של הטורנדו רבה יותר באזורים מישוריים פתוחים. משך סופה ממוצעת הוא דקות אחדות, שבהן היא עוברת כ-10 ק"מ. אולם נצפו גם עננים שיצרו במשך שעות שרשרת של סופות טורנדו, אשר השתוללו לאורך מאות קילומטרים במסלול התקדמות הענן.



איור 82 התפתחות סופת טורנדו. סופת טורנדו יכולה להתפתח כאשר בגבהים שונים נושבות רוחות בכיוונים שונים.

בשל אופיה המקומי של הסופה ומשך הזמן הקצר שהיא אורכת, קשה ביותר לחזות אותה מראש. עם זאת, כאשר חוזים תנאים אטמוספריים שבהם עלולות להתפתח סופות, מזהירים את האוכלוסייה להישאר בקרבת המקלטים ומדווחים באמצעי התקשורת על סופות שנוצרו באזור.

גם בישראל נרשמים אירועי טורנדו כמעט בכל שנה, אם כי למזלנו עוצמתם קטנה מאוד בהשוואה לסופות שבארצות הברית. כך, למשל, נהרסו בסופות טורנדו עמודי מתח גבוה בבאר שבע, התהפכו כלי רכב חונים בהרצליה ונעקרו עצים וגגות בבנימינה.

מן העיתונות

גגות עפו ועצים נעקרו בסופה עזה שגרמה לבהלה בבנימינה

מהמיטה וניגשתי אל החלון בחדרי כדי לסגור, אולם משב רוח חזק לא אפשר לי זאת. לא הבנתי מה מתרחש, חשבתי שאולי מדובר ברעידת אדמה.

ביישובים אחרים באזור נגרמו נזקים כבדים לשטחים חקלאיים. בקיבוץ מעיין צבי נגדעו מטעי בננות, במושב בית חנניה ובמושב בת-שלמה נעקרו ממקומן חממות פרחים.

ידיעות אחרונות, 1.4.1980

סופה שהשתוללה שלשום לפנות בוקר באזור בנימינה השאירה אחריה הרס רב וגרמה נזקים בעשרות מיליוני שקלים בשטחים חקלאיים ובמבני מגורים.

ביום ו', סמוך לשעה רבע לשתיים, החרידו רעמים את המושבה. רוח עזה סחפה עמה גגות בתים, דודי שמש, אנטנות וגזעי עצים שהתפזרו על פני שטח נרחב.

הסופה נמשכה כ-15 דקות. לאחר ששככה יצאו תושבי המושבה מבתיהם מבוהלים והמומים.

ישראל תשובה התעורר לשמע הרעמים. "קטתי

שאלות?

1. מדוע קשה לחזות סופת טורנדו?
2. נסו לשער, מדוע סופות טורנדו בישראל אינן חמורות?

הוריקן (טייפון, ציקלון)



טקי הוריקן בפורטוריקו,
23 בספטמבר 1998

הוריקן, ציקלון וטייפון הם שמות זהים לאותה הסופה, במקומות שונים בעולם (באמריקה הוריקן, במזרח אסיה ובאוסטרליה – טייפון, באוקיינוס ההודי – ציקלון). זוהי סופה טרופית הבאה לידי ביטוי בגשמים וברוחות חזקים בעצמה שבין 130 ועד 350 קמ"ש. הסופה פוגעת בעיקר באזורי החוף, שבהם עיקר הנזקים נגרמים בגלל הצפה של מי ים הנדחפים ליבשה על ידי הסופה. פני הים יכולים לעלות בזמן הסופה ב־8 מ', ולהטביע ערים שלמות. סופות מסוג זה זורעות הרס רב יותר מכל סופה אחרת המתרחשת בכדור הארץ. אמנם עוצמתן של הרוחות

בסופות הטורנדו גדולה יותר, אך בעוד שקוטרה של סופת טורנדו מגיע לכמה מאות מטרים, קוטרה של סופת הוריקן הוא מאות קילומטרים, ולכן נפגעים ממנה יותר אנשים. מעריכים שבמאה ה־20 נהרגו בסופות מסוג זה מאות אלפי אנשים ונגרמו נזקים במאות מיליארדי דולרים.

סופת ההוריקן בגלוסטון

בשחר ה־8 בספטמבר 1900 הבחין אייזק קליין, חזאי העיר גלוסטון שלחוף מפרץ מכסיקו, ברוח צפונית ובכך שפני הים עולים בהתמדה. יום קודם כבר התריע השירות המטאורולוגי האמריקאי על סופה טרופית המתקרבת לאזור; הסימנים העידו כי היא עלולה לעבור בגלוסטון. החזאי יצא על סוסו להזהיר את התושבים להתרחק מהים ולמצוא מחסה. לקראת הצהריים התחזקו הרוחות, התחיל לרדת גשם בעוצמה רבה ומי הים החלו מציפים את העיר. בשעה 4 אחר הצהריים נמדדה רוח שמהירותה 160 קמ"ש והלחץ הברומטרי ירד ל־982 מיליבר. ב־8 בערב הגיעה מהירות הרוח ל־200 קמ"ש והלחץ הברומטרי הגיע ל־945 מיליבר. במצב זה החלו בתים בעיר להתמוטט, ושבריהם התעופפו באוויר. העיר הייתה מוצפת מי ים ואנשים רבים טבעו ונסחפו אל האוקיינוס. בלילה שככה הסופה ובבוקר נותר רק ההרס הנורא שזרעה. כ־7000 איש מצאו את מותם, והעיר נהרסה לחלוטין.

סופת הוריקן (וכך גם הציקלון והטייפון) יכולה להתפתח מעל לים הפתוח באזור שבין קווי רוחב 5° – 20° מצפון ומדרום לקו המשווה, כאשר טמפרטורת המים גבוהה מ- 26° . באזור זה ההתאדות מרובה, ונוצרים כל העת ענני קומולונימבוס המורידים גשמים רבים. לעתים, בעקבות תנאים המתפתחים ברום, נוצרים באזור מוקדים של שקעים קטנים הנקראים סופות טרופיות. בשקעים אלו מתכנס אוויר לח למרכז השקע, עולה למעלה, ונוצרים עננים מפותחים במיוחד. התעבות אדי המים היוצרת את העננים, משחררת לאוויר חום כמוס המחמם את האוויר שבשקע. אוויר זה מתפשט, והשקע מעמיק. התהליך מזין את עצמו – ככל שהשקע מעמיק, גוברת עליית האוויר, גדלה כמות החום הכמוס שמשחרר, השקע מעמיק עוד יותר וחוזר חלילה.

תנאים שונים ברום גורמים לרוב הסופות להסתיים בטרם הפכו לקטלניות. אולם כ-10% מהסופות ממשיכות להתפתח, ועוצמת הרוחות בהן עולה על 130 קמ"ש – מעל למהירות זו הן מוגדרות כסופות הוריקן. הרוח המתכנסת למרכז ההוריקן, מגבירה את עוצמתה ככל שהיא קרובה למרכז. האוויר מתחיל לעלות במהירות, ובמרחק של כ-20 ק"מ ממרכז ההוריקן, זרימת האוויר היא אנכית לגמרי. משום כך נותר האזור במרכז ההוריקן שקט ללא רוחות וללא עננים, זוהי "עין הסערה" של ההוריקן. אדם שיימצא ב"עין הסערה" יראה סביבו חומות של עננים, השמים שמעליו נקיים והרוח אינה נושבת. אולם בתוך זמן קצר הוא עתיד לחוות את ההוריקן במלוא עוצמתו, שכן הסופות הטרופיות, ובכללן סופות ההוריקן, נעות עם רוחות הסחר בכיוון מערב-צפון-מערב בחצי הכדור הצפוני ובכיוון מערב-דרום-מערב בחצי הכדור הדרומי.



איור 83 הוריקן - מבט מהצד

פגיעתו החמורה של ההוריקן היא בעת שהוא מתקרב ועולה על היבשה. הרוחות העזות יוצרות גלי ענק שגובהם מעל 10 מ'. בגלל הלחץ הנמוך במרכז ההוריקן, נמשכים מי הים כלפי מעלה, ומפלס הים עולה. ביישובים שגובהם מעל פני הים פחות מ-10 מ', תיבים התושבים להתפנות מאזור החוף. שעם זאת, המפגש עם היבשה הוא גם סופה של הסופה. בהיעדרם של מי האוקיינוס החמים, נגדע מקור האנרגיה של הסופה, והיא נמוגה במהירות.



תמונת לוויין של ההוריקן
פלוד ב-14 לספטמבר
1999, בעת שעיין ההוריקן
חולפת מעל לאיי בהמה.

באזורים המזעדים לפגיעה של סופות חמורות, מתקיים מעקב קפדני אחר היווצרותן והתקדמותן כדי לתת התראה מוקדמת ולאפשר היערכות שירותי הצלה ופינוי תושבים. מאזורים שעלולים להיפגע, לשם כך נעזרים בלוויינים, במכשירי מכ"ם ובמודלים ממוחשבים.

החזאים מכנים כל הוריקן בשם. בתחילה היו אלו שמות נשים בלבד, אולם מאז 1977 מתקיים שוויון בין המינים, והוריקנים נושאים גם שמות של גברים.

שאלות?

1. סופות הוריקן בחצייהכדור הצפוני מתרחשות בעיקר בתקופת הקיץ. מה הסיבה לכך, לדעתכם?
2. הסבירו מדוע סופת הוריקן "מסיימת את חייה" כאשר היא עוברת מהים ליבשה.
3. אתם נמצאים בחצייהכדור הצפוני, במקום שבו עומדת לחלוף סופת הוריקן כולל עין ההוריקן. תארו כיצד ישתנו, בעת מעבר הסופה, הגורמים האלה: הלחץ הברומטרי, כיוון הרוח ועוצמתה, העננות, המשקעים.
4. הוריקנים מתפתחים רק כאשר טמפרטורת פני הים גבוהה מ- 26° . בקיץ מגיעה טמפרטורת המים בים התיכון ל- 29° . מה הסיבות לכך שהוריקנים אינם נוצרים בישראל? (רמז: אחת הסיבות קשורה למערכת הרום באזורנו, אחרת - לגודלו של הים התיכון.)

סיכום



סופות הטורנדו וההוריקן הן הסופות החמורות ביותר בכדור הארץ. טורנדו היא סופה קשה מאוד, קוטרה כמה מאות מטרים. סופת הטורנדו מתפתחת מתחת לענני קומולונימבוס מפותחים, כאשר ברום האוויר קר בהרבה מאשר סמוך לקרקע, ובשכבות שונות של האטמוספירה נושבות רוחות בכיוונים שונים. הוריקן היא סופה חזקה שקוטרה כמה מאות קילומטרים. סופות ההוריקן מתפתחות מעל לאוקיינוסים באזורים הטרופיים בקרבת קו המשווה. הסופה מתפתחת כאשר חלק מהשקעים הטרופיים שנוצרים באזור מעמיקים מאוד; הסופות נעות ממזרח למערב ופוגעות באזורי החוף שבדרך.



חומת העננים שיוצרת את עין ההוריקן כפי שצולמה ממטוס מחקר שטס בתוך ההוריקן ג'ורג'ס ב-25 בספטמבר 1998.

פרק 8

מדג האוויר בישראל

בפרק 6 תיארנו את מערכת הרוחות ואת אזורי האקלים בצולם. בפרק זה נבחן ביתר פירוט את תופעות מדג האוויר המיוחדות את ישראל. בין השאר נצטוק בשאלות אלה: מדוע אין משקעים בקיץ? מהם המנגנונים היוצרים את המשקעים בחורף? מתי צשוי לרדת שלג בהרים? מדוע עונות המצבר מתאפיינות במדג אוויר הפכפך?

אזורי האקלים בישראל

ישראל ממוקמת על הגבול בין האזור המדברי והאזור הממוזג. דרום הארץ מושפע בכל עונות השנה מהרמה הסובטרופית ולכן שורר בו **אקלים מדברי**. אקלים זה מאופיין במיעוט משקעים (פחות מ-200 מ"מ בשנה) ובהבדלים גדולים בין טמפרטורות היום והלילה. אקלים מדברי שורר גם בדרום בקעת הירדן ובמדבר יהודה, כי אזורים אלה מופרדים מהים התיכון על ידי שרשרת הרי יהודה והרי שומרון. ההרים גורמים להתפוגגות ענני הגשם המגיעים לאזור מהים ממזרח לפסגותיהם (ראו פירוט בהמשך).

מרכז הארץ וצפונה מושפעים בקיץ מהרמה הסובטרופית, ובחורף – בעיקר ממערכות מדג האוויר הממוזג. כתוצאה מכך, מתקיים באזורים אלה אקלים הנקרא **אקלים ים תיכוני**. אקלים זה מאופיין בהבדל חד בין עונת הקיץ לעונת החורף. הקיץ חם ויבש, והחורף קר



נוף באזור אקלים מדברי בנגב



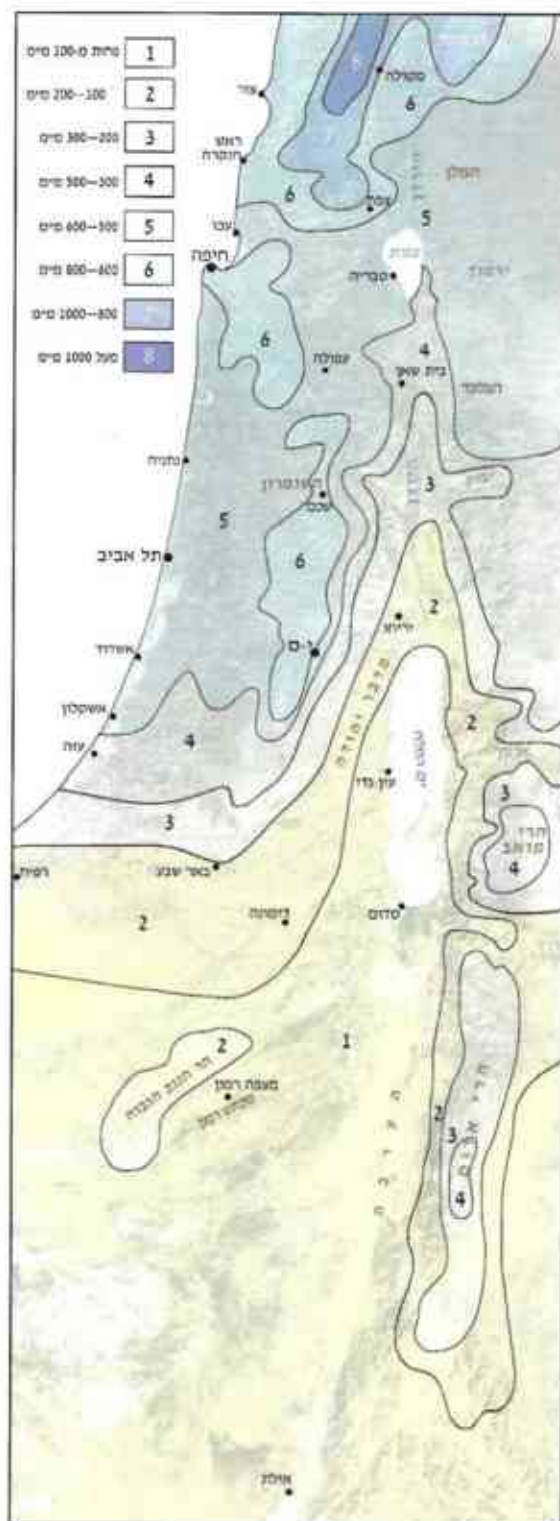
נוף באזור אקלים ים תיכוני בגליל

וגשום (מעל 400 מ"מ בשנה).

בין שני האזורים קיימת רצועה צרה של אקלים צחיח למחצה, שכמות המשקעים השנתית בו היא 400-200 מ"מ.

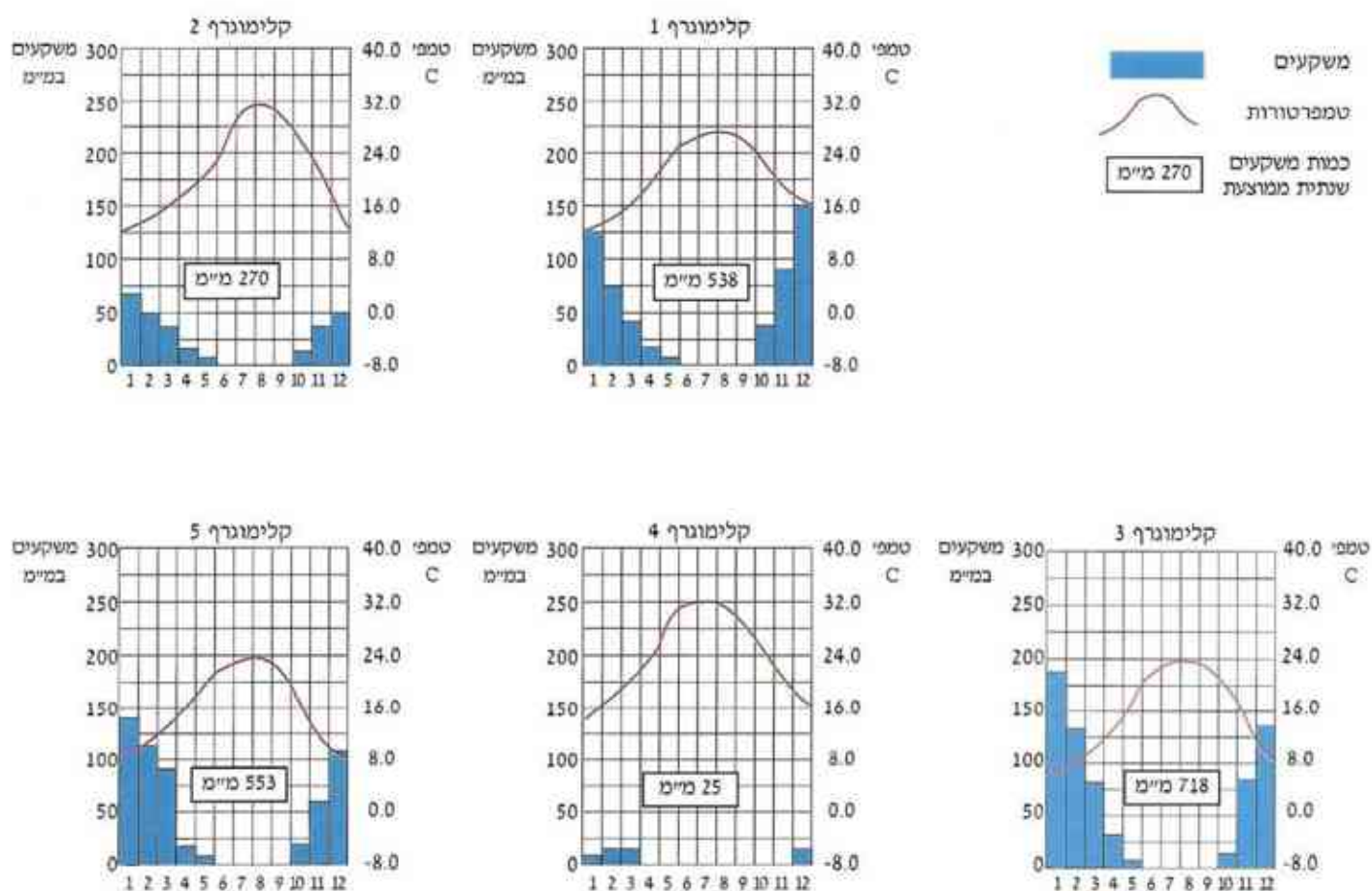
כמות המשקעים במקום מסוים היא צירוף של גורמים אחדים:

- כמות המשקעים פוחתת מצפון לדרום. זאת, מכיוון שגשם יורד בארץ כאשר חולפים באזורנו שקעים שמרכזם, בדרך כלל, הוא מצפון לנו, ולכן השפעתם מורגשת יותר בצפון הארץ.
 - כמות המשקעים עולה ככל שהמקום גבוה יותר והיא פוחתת ככל שמתרחקים מהים.
- כמות המשקעים פוחתת כאשר המקום "נסתר" מענני הגשם. מסיבה זו יש אקלים מדברי במדבר יהודה ובדרום בקעת הירדן ("מדבר בצל הגשם"), וכמויות המשקעים בעמק הירדן נמוכות יחסית.
- הסיבה לפיחות המשקעים באזורים אלה היא זו: כשקיים שקע חורפי, האוויר הלח שמגיע מהים נדחף במעלה המדרונות המערביים של הרי הגליל, השומרון ויהודה. כתוצאה מכך מתקרר האוויר ונוצרים עננים מפותחים שמורידים גשמים. כאשר אוויר זה ממשיך לנוע מזרחה, הוא שוקע במדרונות המזרחיים של ההרים וכתוצאה מכך הוא מתחמם והעננים מתאדים.



שאלות?

1. אילו אזורי אקלים קיימים בישראל ומה גרם להיווצרותם?
2. תארו את תפוסת המשקעים בישראל והסבירו כיצד היא נוצרה.
3. לפניכם 5 קלימוגרפים ממקומות אלה: אילת, טירת צבי (עמק הירדן), ירושלים, צפת ותל אביב. כתבו איזה קלימוגרף שייך לכל מקום ובאיזה תחום אקלימי הוא מצוי. נמקו את קביעתכם.



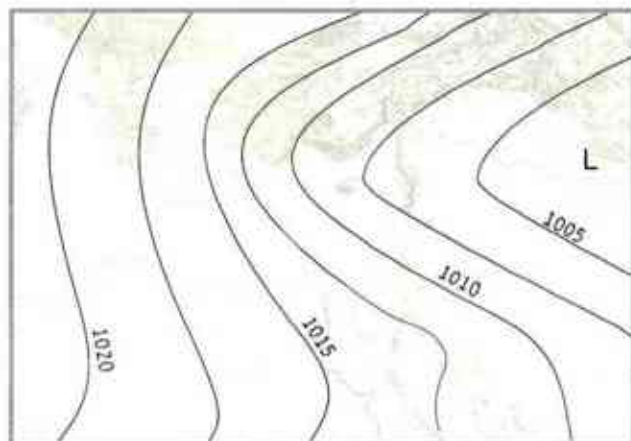
מזג האוויר על פי עונות השנה

קיץ

שתי מערכות עיקריות משפיעות על מזג האוויר בקיץ: **הרמה הסובטרופית והאפיק הפרסי**. באזורים המושפעים מהרמה הסובטרופית (ראו גם בפרק 6 בעמ' 105), שוקעים ארצה זרמי אוויר שעלו בקו המשווה והוסעו צפונה. מזג האוויר באזורים אלו חם ויבש וללא עננים. תהליך שקיעת האוויר מהרם נקרא **התמוככות**.

בתקופת הקיץ בישראל האוויר המתמוכך אינו מגיע לרוב עד הקרקע, אלא רק לגובה שבין 500 ל-2,000 מ' מעל פני הים. הסיבה לכך היא שבקרקע קיימת מערכת לחץ אחרת הנקראת **האפיק הפרסי**. אפיק זה הוא שלוחה של השקע המונסוני הקיים מעל יבשת הודו בקיץ. קיומו של האפיק הפרסי בשכבות הנמוכות של האטמוספירה גורם לכך שסמוך לקרקע נושבות בישראל רוחות מערביות, המחדירות אוויר קריר ולח מהים.

כך נוצרות שתי שכבות אוויר: האחת קרירה יחסית ולחה המגיעה עד לגובה של כמה מאות מטרים, ומעליה שכבה חמה ויבשה הנוצרת כתוצאה מהתמוככות אוויר מן הרום¹. המאפיין החשוב של מצב זה הוא שהאוויר הקריר והכבד נשאר סמוך לקרקע ואינו מתערבב עם שכבת האוויר החמה והקלה שמעליו. משום כך מוגבלת תנועת האוויר כלפי מעלה ונמנעת היווצרותם של עננים מפותחים. האוויר הלח שמגיע מהים נותר "כלוא" בשכבות הנמוכות של האטמוספירה, עד לגובה שכבת הגבול שבין שני גושי האוויר.



איור 86 מפת לחץ במצב של אפיק פרסי עמוק

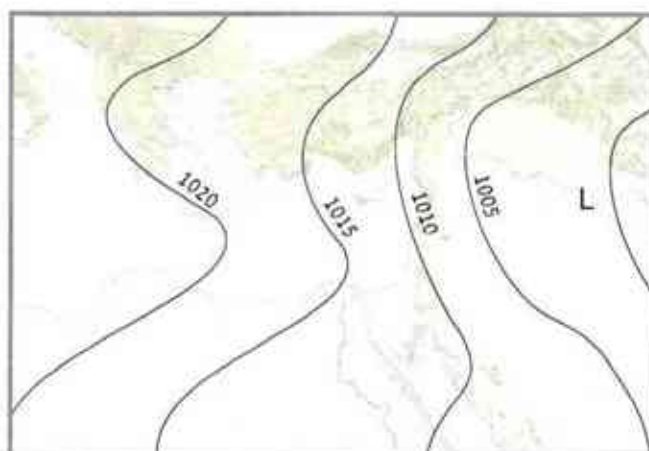


איור 87 מבט מכיוון דרום במצב של אפיק פרסי עמוק

1. באזור המפגש שבין שכבות האוויר נוצר מצב שבו, בשונה מהרגיל, הטמפרטורה עולה עם העלייה בגובה. תופעה זו נקראת **אינברסיה**.

השינויים היומיים במזג האוויר בקיץ קטנים. מרביתם תלויים בשינויים בגובה שבו מתחילה שכבת האוויר החמה. כאשר האפיק הפרסי עמוק (הפרש לחצי האוויר בין מרכז השקע לשוליו גדול) והוא מגיע עד לים האגאי ויוון גוברת הרוח המערבית, ובסיסה של שכבת האוויר החם יגבה (איורים 86 ו'87). במצב זה, לאדי המים הכלואים בשכבת האוויר הקריר למטה, נפח גדול יותר לערבול, ולכן הלחות היחסית בשכבה הקרירה תקטן, ובמישור החוף תורגש הקלה בחום ובלחות. במקביל, אוויר ימי לח יגיע גם לאזורי ההרים שבפנים הארץ, תוך שהוא מתחמם ומתייבש במידת מה בעוברו מעל ליבשה החמה.

אם האפיק הפרסי רדוד (הפרש הלחצים בין מרכז השקע לשוליו קטן) והוא מגיע רק עד תורכיה (איורים 88 ו'89), זרימת האוויר אלינו תהיה צפונית ויבשה. השכבה החמה תנמך, ובמישור החוף ייכלא האוויר הלח בנפח קטן. עקב כך תעלה הלחות היחסית ויגדל עומס החום במישור החוף, ולעומת זה בהרים תורגש השפעה ישירה של הרמה הסובטרופית. כתוצאה מכך לא תגיע אליהם זרימה מהים ויחולו בהם עלייה בטמפרטורות וירידה בלחות. זהו מצב המאפיין שרב בקיץ.



איור 88 מפת לחץ במצב של אפיק פרסי רדוד



איור 89 מבט מדרום במצב של אפיק פרסי רדוד

מזג האוויר הקיצי וזיהום האוויר

זיהום האוויר הוא בעיה סביבתית קשה באזורים עירוניים רבים. השפעת הזיהום גוברת כאשר הפיזור והמיהול של המזהמים באוויר הוא קטן. במצב השורר בתקופת הקיץ, האוויר הקריר והכבד הסמוך לקרקע אינו מתערבב עם האוויר החם שמעליו. במצב זה, מזהמים הנפלטים לאוויר נשארים לכודים בין הקרקע לבסיס שכבת האוויר החמה שמעליו, ככל ששכבה זו נמוכה, גדל ריכוז המזהמים סמוך לקרקע.

העיר חיפה היא דוגמה למקום שבו המבנה הטופוגרפי המיוחד מחריף את הבעיה. בחיפה ריכוז גדול של מפעלי תעשייה כבדה ליד חוף הים, במפרץ חיפה. רוב אזורי המגורים הם על הר הכרמל, באזור שגובהו 200–250 מ'. כאשר בסיס שכבת האוויר החמה נמוך ורוחות נושבות מאזור התעשייה בכיוון הכרמל, המזהמים המגיעים לאזורי המגורים של חיפה נלכדים בשכבת אוויר, שבמקרים מסוימים איננה עבה מ־100 מ' בקירוב. במצב זה עלול להיווצר על הכרמל זיהום אוויר חמור מזה שנוצר באזור התעשייה במפרץ, ששם הזיהום נמהל בנפח גדול יותר של אוויר.

מצב רגיל

אוויר חם ויבש

מצב שבו נוצר זיהום אוויר חמור

אוויר חם ויבש

אוויר קריר ולח



איור 90 השפעת המצב הסינופטי על פיזור מזהמי אוויר בחיפה

שאלות?

1. אילו הוטל עליכם לתכנן את תפרוסת שימושי הקרקע בחיפה, מה הייתם ממליצים לעשות כדי למנוע בעיות חמורות של זיהום אוויר?
2. הסבירו מדוע ארובות גבוהות, שהאוויר נפלט מהן בלחץ ובטמפרטורה גבוהה, יכולות להפחית את זיהום האוויר כאשר בסיס שכבת האוויר החמה הוא נמוך. (ארובות כאלו, שגובהן מעל הקרקע הוא 350 מ', נבנו בתחנות החשמל החדשות של חברת החשמל בחדרה ובאשקלון).



קיץ בישראל

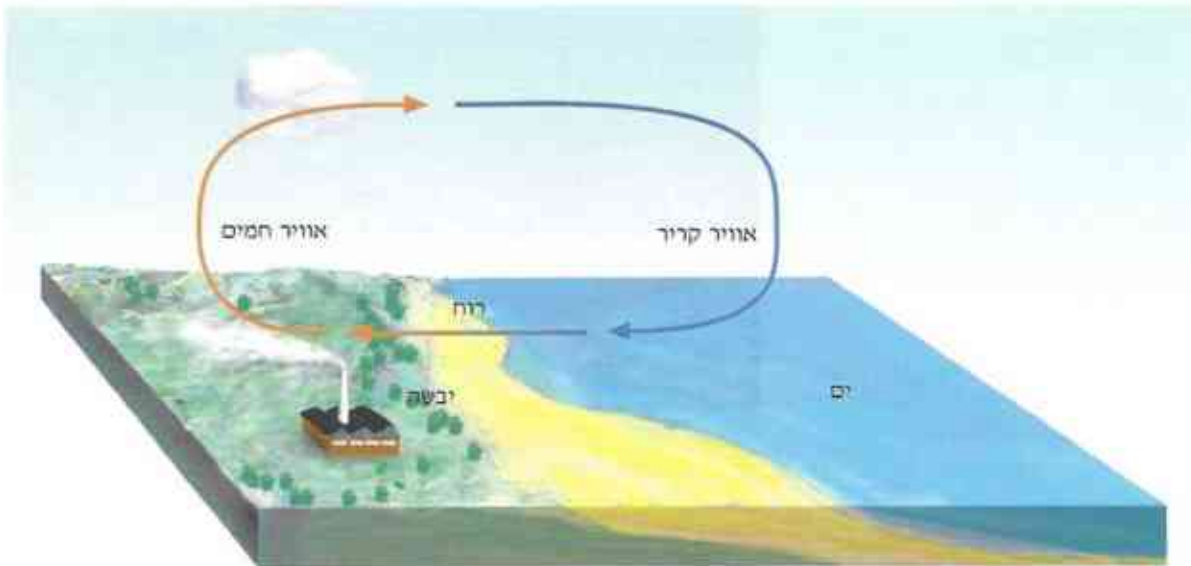
בריזה

בריזה היא רוח הנושבת מהיבשה אל הים (בריזה יבשתית) או מהים אל היבשה (בריזה ימית). הבריזה מתעוררת כתוצאה מהבדלי טמפרטורות הנוצרים במהלך היממה בין הים והיבשה, בעיקר בעונת הקיץ. בשעות היום היבשה מתחממת מהר ומגיעה לטמפרטורות גבוהות יותר מאשר הים. היבשה החמה מחממת את שכבת האוויר שמעליה, ועל כן נוצר מעל היבשה לחץ אוויר נמוך (שקע), ומעל הים – לחץ אוויר גבוה (רמה). כתוצאה מכך מתקיימת בשעות היום תנועת אוויר מהים ליבשה¹. בלילה המצב הפוך: היבשה והאוויר שמעליה מתקררים במהירות, לחץ האוויר שמעל היבשה עולה ביחס לזה שמעל הים, ורוח מתחילה לנשוב מהיבשה לים.

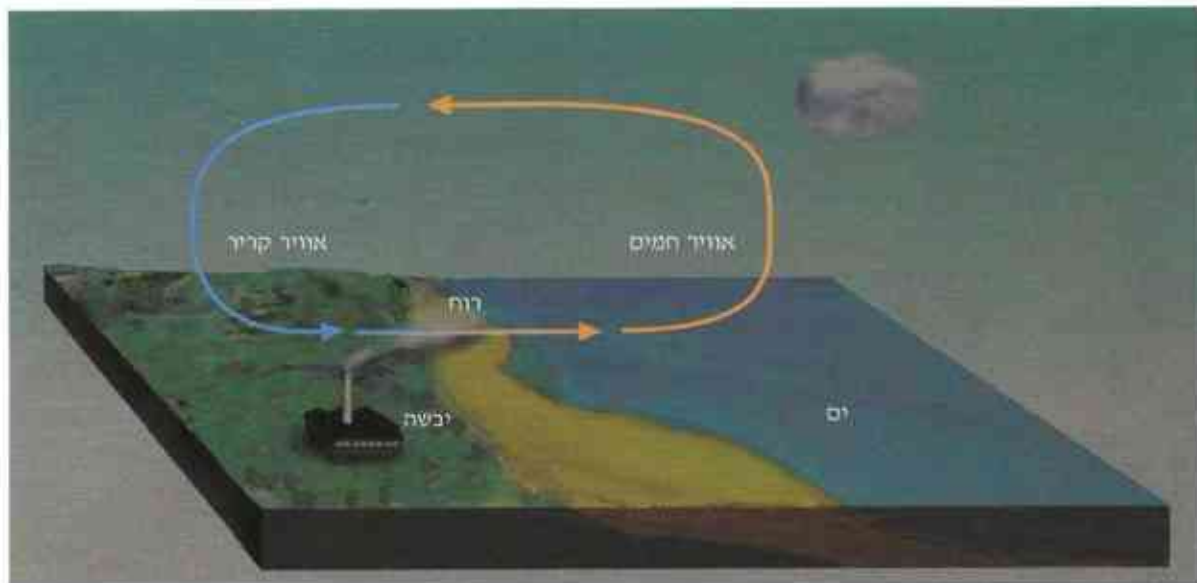
בארץ, בתקופת הקיץ, הבריזה ביום מתלכדת עם הרוח המערבית של האפיק הפרסי, וכך השפעתה מורגשת ביתר שאת. לבריזה זו תפקיד חשוב בהקלת עומס החום במישור החוף ובאזורי ההרים בשעות אחר הצהריים. לעומת זאת, בלילה השפעתה של הבריזה כמעט אינה מורגשת מאחר שכיוון הבריזה הלילית הוא ממזרח, בניגוד לכיוון הרוח של האפיק הפרסי.



1. בגלל המרחק הקצר שהרוח עוברת, יש לכוח קוריוזים השפעה מעטה בלבד על כיוונה של הבריזה. לכן כיוון הבריזה זהה לכיוון מפל הלחץ שיוצר אותה.



איור 91 הבריזה ביום



איור 92 הבריזה בלילה

עננות קיץ



עננות קיץ בחוף הים

כפי שהזכרנו, הרמה הסובטרופית מונעת היווצרות עננים מפותחים ומשקעים. העננות שנוצרת, מוגבלת לשכבת האוויר התחתונה, הלחה והקרירה יחסית. בדרך כלל העננות היא תוצאה של מצב הבריזה. רוב העננות נוצרת בשעות הלילה מעל לים, היות שהים בשעות אלו חם יותר מהיבשה ונוצר מעליו שקע רדוד. בשקע זה עולה אוויר ימי לח, שמתקרר ויוצר את העננים. עננות זו מוסעת מן הים אל תוך היבשה עם תחילת הבריזה היומית ומופיעה באזור החוף בשעות הבוקר. עם העלייה בטמפרטורה, העננים מתפוגגים ונעלמים.

בשעות אחר הצהריים מגיע לשיאו המצב ההפוך, שבו היבשה חמה מן הים, ומעליה נוצר שקע רדוד הגורם לעליית אוויר. במצב זה נוצרת לקראת הערב עננות קלה, באזור החוף ומעל ליבשה. עננות זו מפותחת פחות מעננות הבוקר.

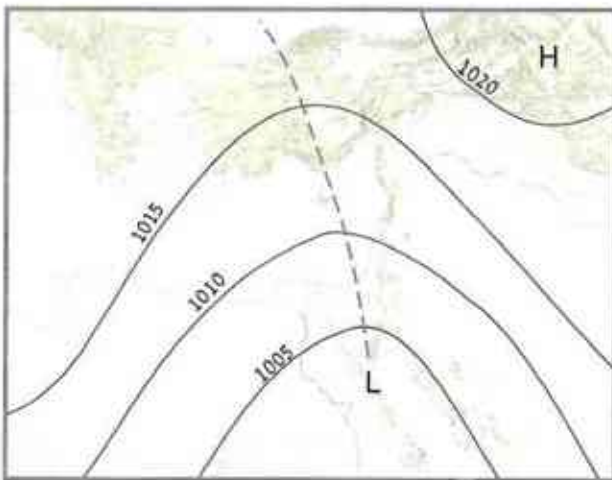
שאלות?

1. התבוננו באיור 86 בעמ' 138 וזהו במפה את האפיק הפרסי. מהו כיוון הרוחות השולטות במצב זה ומהן תכונותיו של האוויר המוסע לעבר ישראל?
2. מדוע לא נוצרים בארץ משקעים בקיץ?
3. התבוננו באיורים 86 ו'88 בעמ' 138-139:
א. מהו כיוון זרימת האוויר לישראל בכל אחת מהמפות?
ב. באיזה איור מתואר מצב שבו מורגשת הקלה בעומס החום במישור החוף? הסבירו.
ג. מה קורה במצב זה באזורי הים?
ד. באיזה איור מתואר מצב שבו נכון לומר "הביל" במישור החוף וחס ויבש בהרים ובפנים הארץ? מה קורה לאפיק הפרסי במצב זה?
4. איזה מזג אוויר היה שורר במישור החוף בעונת הקיץ ללא קיומו של האפיק הפרסי?
5. מדוע עננות אחר הצהריים מפותחת פחות מעננות הבוקר?
6. הסבירו את תופעת הבריזה הימית והיבשתית. איזו בריזה חזקה יותר בקיץ ומדוע?
7. מתי נצפה למצוא עננות מפותחת יותר: במצב של אפיק פרסי עמוק או רדוד? מדוע?

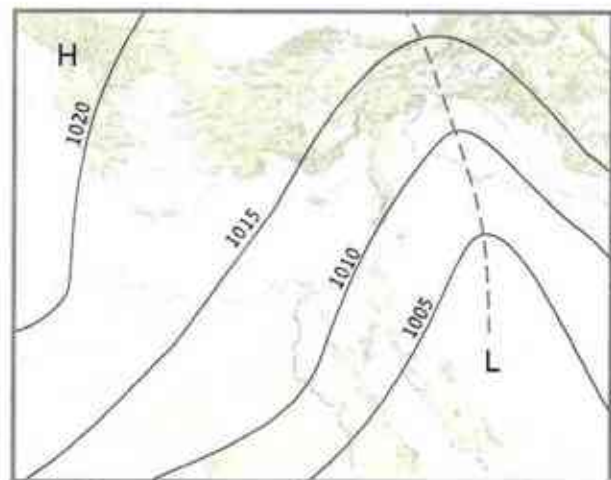
סתיו

סתיו הוא עונת מעבר המתחילה בארצנו לרוב אחרי חגי תשרי. עם בוא הסתיו מתחילה הרמה הסובטרופית לסגת בהדרגה דרומה. במצב זה נוצרת מדי פעם, לימים אחדים, מערכת מזג אוויר הנקראת **אפיק ים סוף**. אפיק זה משתרע מים סוף צפונה, והוא חלק משקע שמרכזו במרכז אפריקה.

כאשר קו האפיק (קו העובר לאורך האפיק במרכזו) נמצא ממערב לישראל, הוא מכונה אפיק ים סוף עם ציר מערבי. במצב זה נושבות בישראל רוחות דרומיות-מזרחיות חמות ויבשות, ולעתים גם מוסעת לחות מהאזורים הטרופיים. לחות זו יוצרת עננים מפותחים שעשויים לגרום למשקעים מקומיים עזים ולשיטפונות פתאומיים, בעיקר בדרום הארץ. מטיילים המתכננים טיול בסתיו בדרום הארץ, חייבים להתעדכן בתחזית מזג האוויר הצפוי בימי הטיול. כאשר הציר של אפיק ים סוף הוא מזרחי, הזרימה המתקבלת בישראל היא צפונית עד צפונית-מערבית: עקב כך חלה ירידה קלה בטמפרטורה וקיים סיכוי מסוים למשקעים. אפיק ים סוף מופיע לעתים גם בתקופת החורף, כפי שנפרט בהמשך.



איור 94 אפיק ים סוף עם ציר מערבי



איור 93 אפיק ים סוף עם ציר מזרחי



החזאים: הזהרנו מהסכנה

מן העיתונות

מאוד, באופן ממוקד, נקודתי, במדבר יכול להתרחש מצב שבו במקום מסוים יורד גשם ולעפות, ופחות מקילומטר משם - יבש".
ואמנם, אתמול בחר הנגב ירדו 21 מ"מ בפרק זמן קצר מאוד, וגרמו לשיטפון גדול. ארבע תחנות למדידת גשם, המרוחקות מהתחנה בחר הנגב פחות מ-5 ק"מ, דיווחו שבאזורן ירדו פחות מ-4 מ"מ גשם באותו פרק זמן.
הגשם שפקד את הערבה והנגב הגיה מדרום, וכך היה שונה מגשמי החורף הרגילים באזורנו המגיעים ממערב. "ההתפתחות הקיצונית הזו היא תוצאה של חוסר יציבות רבה באטמוספירה", הסביר החזאי.

מסריב, 19.10.1997

"מזג אוויר אליים" - הגדירו החזאים את סערות השבת. אוויר חם בשכבה נמוכה התנגש באוויר קר בשכבה גבוהה יותר, וכך נוצרו חוסר היציבות והסערות הפתאומיות.
"מזג אוויר אליים" - כך הגדיר חזאי השירות המטאורולוגי, רוברט אולינסקי, את מה שאירע בסוף השבוע, בעיקר בדרום הארץ ובערבה.
מקומות שונים בערבה ובדרום ספגו מהלומות גשם פתאומיות. באילת, למשל, ירדו ב-36 שעות 25 מ"מ גשם, כאשר הממוצע השנתי שם הוא 31 מ"מ. אולינסקי ציין כי גשמי פתע אופייניים לאזורי המדבר, ו"יורדות שם כמויות גדולות

? שאלות

- עיינו במפות שבאזורים 93 ו'94. איזה מזג אוויר צפוי בארץ על פי מפות אלו? בתשובתכם התייחסו לטמפרטורה שתשרור (גבוהה/נמוכה), למצב העננות, לכיוון הרוח, לסופות חול ולאובך.
- באיזה משני המצבים האפשריים של אפיק ים סוף ייתכנו שיטפונות פתאומיים? הסבירו מדוע.



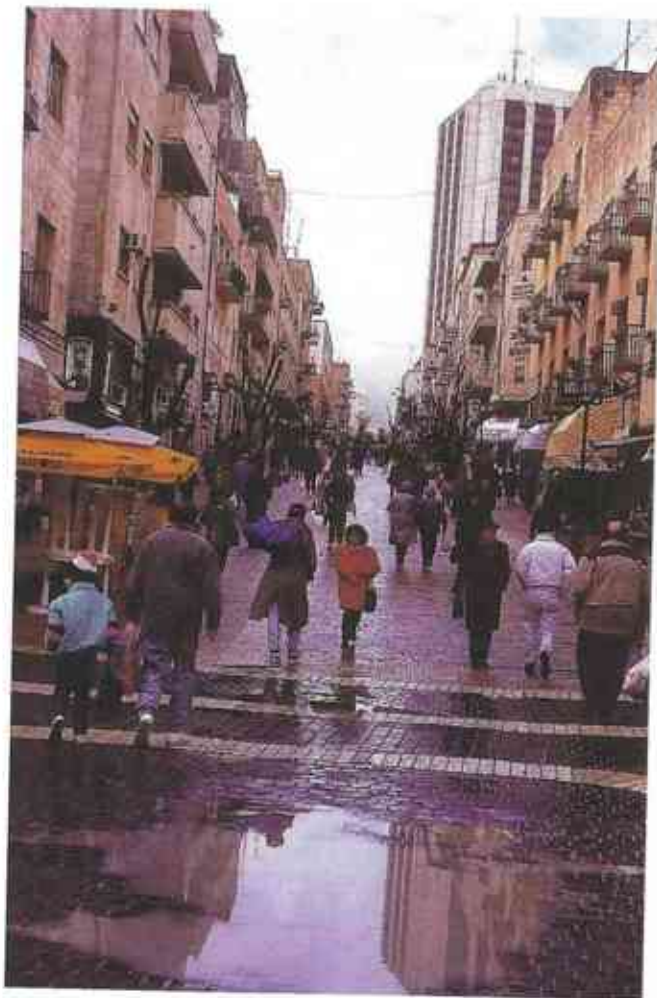
שיטפון בנחל צאליים בנגב

חורף

לעומת הקיץ, שבו מערכת הלחצים ומזג האוויר כמעט ואינם משתנים, בחורף מורגשים שינויים משמעותיים. בחלק מהימים מעונן וגשום, ובימים אחרים נאה. בחורף נוצרים שינויי מזג אוויר משום שבתקופה זו מדרים מסלולן של מערכות הלחץ (שקעים ורמות), המאפיינות את האקלים הממוזג, והן משפיעות גם על ישראל. השקעים שנוצרים נעים מאזור היווצרותם בכיוון מזרח וצפון-מזרח ומשפיעים בעיקר על צפון הארץ ומרכזה. חלק מהשקעים הם שקעים חזיתיים.

בחלק מהמקרים כאשר האוויר הזורם מאירופה אל השקע קר מאוד. השקע, עשוי להעמיק, זאת, מפני שהמגע בין האוויר הקר למי הים החמים יותר גורם להתפשטות האוויר ולירידת הלחץ.¹ העננים המתפתחים בשקע כזה עשויים לגרום לכמויות גשם גדולות מצפון הארץ עד לצפון הנגב. שנים שבהן עוברים מעל לישראל שקעים רבים מסוג זה, הן שנים גשומות. לעומת זאת, בשנים שבהן השקעים נעים במהירות בלי שתהיה להם שהות להעמיק בעת שזורם אליהם אוויר קר, או כאשר מסלולם של השקעים עובר מצפון לישראל – הן שנים שחונות.

גם בתקופת החורף, מושפעת ישראל לעתים מאותו אפיק ים סוף שהזכרנו בסקירת מזג האוויר בסתיו, במצב זה עשוי לרדת גשם, בעיקר בדרום הארץ. בעקבות אפיק ים סוף, עשוי להתפתח מול חופי ישראל. שקע שמרכזו במזרח הים התיכון, שקע כזה יכול לגרום לירידת גשמים בכל חלקי הארץ.



חורף בישראל

1. במקרים רבים זהו שקע שהחל כשקע חזיתי, הנוצר מסיבות דינמיות, והוא ממשיך להתקיים ולהעמיק בגלל סיבות תרמליות. הסבר על הסיבות להיווצרות שקעים תוכלו לקרוא בנספח, עמ' 173.

מהלך שקע המגיע מהים התיכון

בעמ' 120 בפרק 6 תיארו את מהלכו התאורטי של שקע חזיתי. הזכרנו כי נודעת חשיבות רבה לאזורים שמהם מגיעים זרמי האוויר לשקע: אוויר צפוני הוא קר בדרך כלל, אוויר מן הים הוא לח, אוויר מהמדבר הוא חם ויבש. כן נודעת חשיבות לטופוגרפיה של האזור שמעליו השקע חולף. בעזרת סדרת איורים שבעמודים הבאים, נתאר כעת מהלך אופייני של שקע חזיתי שנע מעל לים התיכון מזרחה לעבר ישראל. שקע כזה נקרא **שקע קפריסאי**.

בשלב הראשון (איור 95) נכנסת לאזורנו החזית החמה. כניסת החזית מלווה בזרימת אוויר חם ויבש מכיוון ירדן וסעודיה, המעלה את הטמפרטורות. היעדר הלחות באוויר מונע היווצרותם של עננים מפותחים באזור החזית החמה. אם נוצרים עננים, אלו ענני צירוס (ענני נוצה) גבוהים.

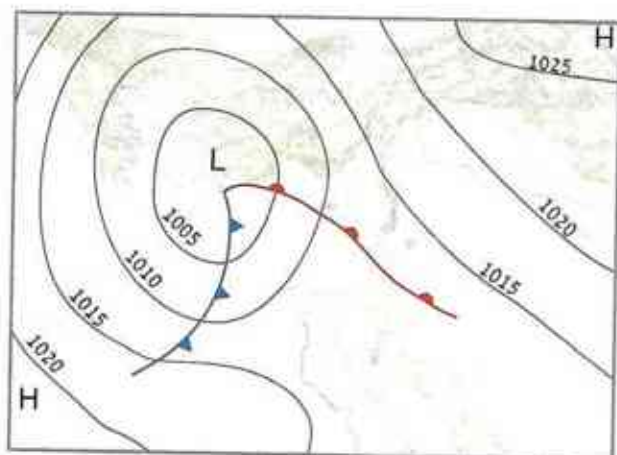
בשלב השני (איור 96) נמצאת ישראל בתוך הגזרה החמה. הלחץ במגמת ירידה, והטמפרטורה נותרת גבוהה יחסית. כיוון הרוח הופך לדרום-מערבי. בצפון הארץ ייתכן גשם משום שהאוויר המגיע לאזור עובר מעל לים וסופג לחות. בדרום הארץ גורמת הרוח לסופות חול.

בשלב הבא (איור 97) חולפת בישראל החזית הקרה, והטמפרטורה יורדת במידה ניכרת. אחד הסימנים הבולטים לכניסת חזית קרה הוא שינוי בכיוון הרוח ובעוצמתה. הרוח נהיית מערבית עד צפון-מערבית, העננות מתגברת, ואת מקום העננים הגבוהים תופסים עננים נמוכים מסוג קומולוס וקומולונימבוס. בצפון הארץ מתחילים ממטרים חזקים מלווים בסופות רעמים, והם מתפשטים בהדרגה למרכז.

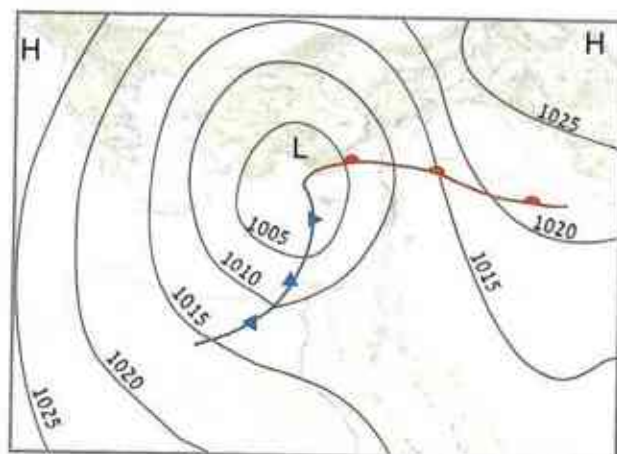
לאחר מעבר החזית הקרה, ישראל נמצאת בגזרה הקרה. הטמפרטורה נמוכה, נושבות רוחות חזקות מערביות עד צפון-מערביות והממטרים נמשכים. מהלך זה שונה מהמהלך התאורטי של שקע, שבו בשלב כזה אמור מזג האוויר להתבהר. הסיבה לכך היא שהרוח המערבית והצפון-מערבית מביאה לאזורנו אוויר קר מאירופה, שעובר בדרכו מעל הים התיכון וסופח אליו לחות. עם כניסתו של אוויר זה לארץ, הוא נדחף כלפי מעלה כתוצאה מהמפגש עם האוויר הקר יותר שנמצא מעל ליבשה ובהמשך מהמפגש עם ההרים. בשלב זה עשוי השקע להעמיק מחדש בצדו המערבי, זאת בשל האוויר הקר המגיע אל השקע מאירופה. אוויר זה מתחמם ומתפשט עקב מגעו עם הים החם. במצב זה כמויות הגשמים יהיו גדולות (איור 98).

כאשר השקע ממשיך מזרחה (איור 99), הרוח נחלשת, ועל האזור מתחילה להשתלט רמה. הגשמים פוסקים ומזג האוויר מתבהר.

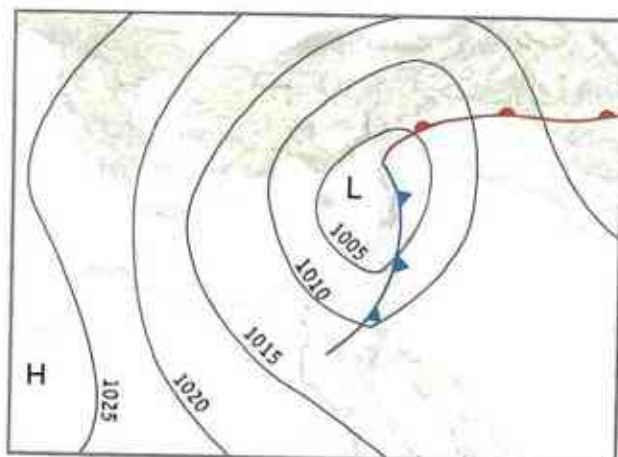




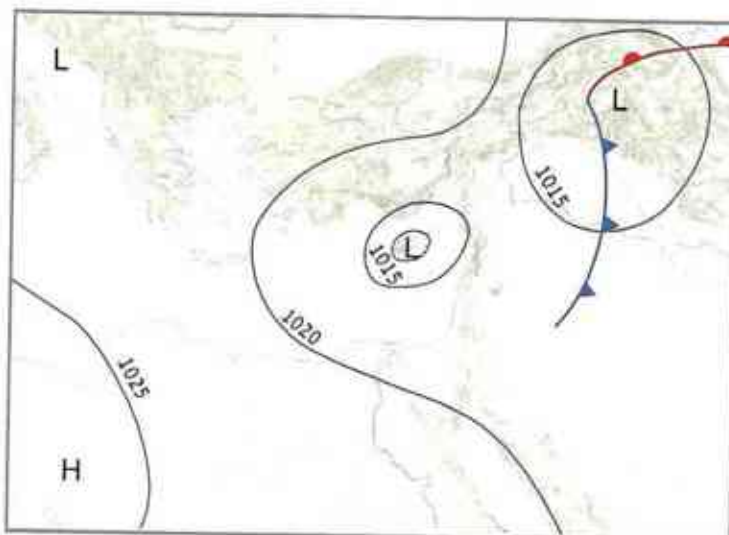
איור 95 החזית החמה נכנסת אל ישראל



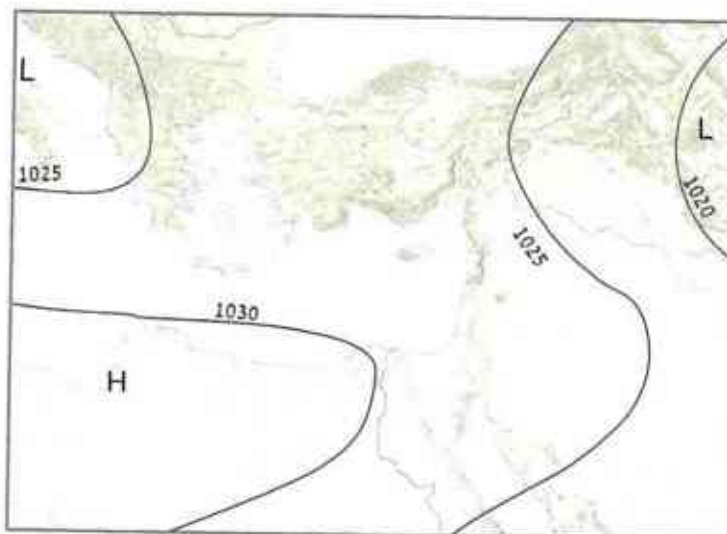
איור 96 ישראל בגזרה החמה



איור 97 החזית הקרה נכנסת לישראל



איור 98 שקע תרמלי מתפתח ממערב לישראל

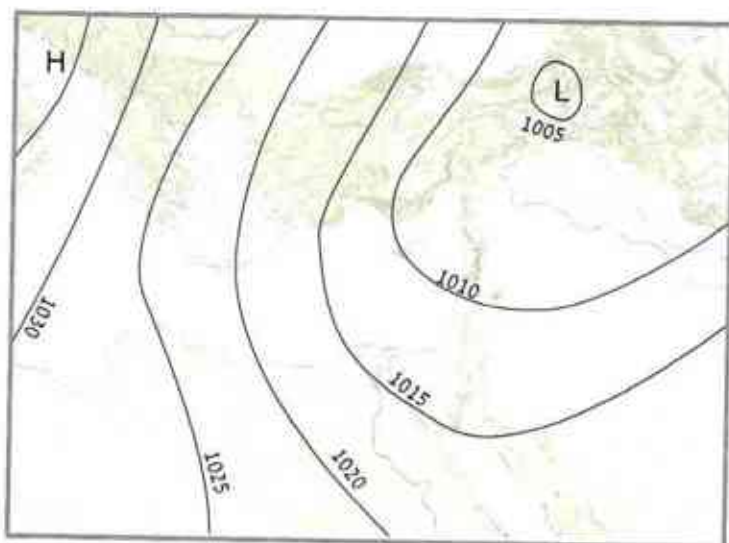


איור 99 רמה מתחילה להשפיע על ישראל



שלג

כדי שירד שלג, נחוץ אוויר קר במיוחד. ברוב המקרים, האוויר המגיע אלינו מצפון-מערב אינו קר דיו, שכן הוא מתחמם בעוברו מעל הים התיכון. אולם כאשר מתפתח שקע עמוק מאוד באזור סוריה (איור 100), זורם לאזורנו מכיוון צפון אוויר קר מאוד ויבש יחסית. אוויר זה עובר מעל הים התיכון במסלול קצר מאוד ובמהירות גבוהה (בשל עומקו של השקע). במצב זה אין לאוויר שהות להתחמם, אך עם זאת הוא מספיק לקלוט לתוכו לחות. כאשר האוויר מגיע לישראל הוא קר דיו להוריד שלג במקומות הגבוהים. אירועי שלג רחבי היקף במאה ה-20 התרחשו בחורפי השנים 1920, 1950 ו-1992.



איור 100

מפת לחץ של מצב היכול לגרום שלג בישראל



שלג בירושלים

קטעי העיתונות שלפניכם הם מ־1950. השלג ב־1950 ירד בתקופה שבה הגיעו מאות אלפי עולים חדשים למדינת ישראל הצעירה. מחמת המחסור בדיוור, רבים מהם התגוררו באוהלים ובמעברות. השלג המלווה בטמפרטורות הנמוכות ביותר שגרשמו אי־פעם בישראל, החמיר פי כמה את תנאי החיים הקשים ששררו ממילא במחנות העולים.

מן העיתונות

סופות השלג "הפכו סדרי עולם"

בתופעתו המפתיעה, אך מאידך גיסא נתעוררה דאגה רצינית בחוגי החקלאים ומגדלי הפרי לגורל היבול והפרי.

סיכומי השירות המטאורולוגי

מהשירות המטאורולוגי מוסרים לנו:

בחופה הגיע השלג בסביבות שדה התעופה לגובה 17 ס"מ.

בירושלים הגיעה שכבת השלג ל־50 ס"מ. מכיוון שהשלג מוסיף לרדת, יש לתניח שבינתיים עלה גובה השלג.

בתל אביב וחסיבת, לרבות לוד, הגיעה שכבת השלג ל־10 ס"מ בממוצע, ובמקומות מסוימים עד 15 ס"מ.

הטמפרטורה בירושלים הייתה חמש מעלות מתחת לאפס, בתל אביב - אפס, בלוד - אחת מתחת לאפס.

מערב, 6.2.1950

התחבורה משותקת - דאגה רבה ליושבי המחנות. סופות השלג שהשתוללו במשך כל הלילה ובשעות הבוקר בכל חלקי הארץ, בשפלה ובהר, "הפכו סדרי עולם".

התחבורה בכל חלקי הארץ שותקה כמעט כליל ורק לדרום מתנהלת תחבורה במידה מצומצמת.

דאגה מיוחדת מעורר מצב העולים במחנות. במשך כל הלילה עסקו עובדים, שגויסו לצורך זה, בסילוק השלגים מגגות הצריפונים והאוהלים.

מראש העין נודע כי כמה אוהלים התמוטטו הלילה, אך שוכניהם יצאו בשלום והועברו למקומות אחרים. בכל המחנות חולקו הבוקר אלפי שמיכות נוספות לעולים. גם כמות גדולה של שמיכות שהגיעה הבוקר לנמל חיפה, פורקה מיד וחולקה עוד במשך היום במחנות.

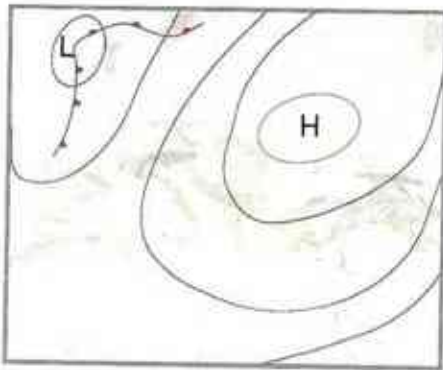
סופרינו בחלקים השונים של הארץ מודיעים אמנם על עליצות ומצב רוח של שמחה שעורר השלג



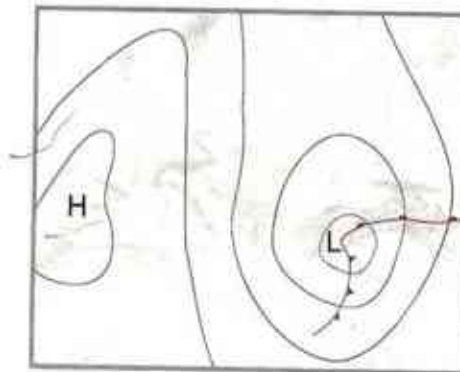
שלג במעברה בראש העין.
5 בפברואר 1950

שאלות?

1. מדוע יורדים בישראל משקעים רק בתקופת החורף?
2. עיינו במפות שבאיורים 101 ו-102. תארו את מזג האוויר בישראל במצבים סינופטיים אלה. (התייחסו לטמפרטורות, לכיוון הרוח, ללחות, לעננות, למשקעים ולתופעות מיוחדות כגון סופות חול).

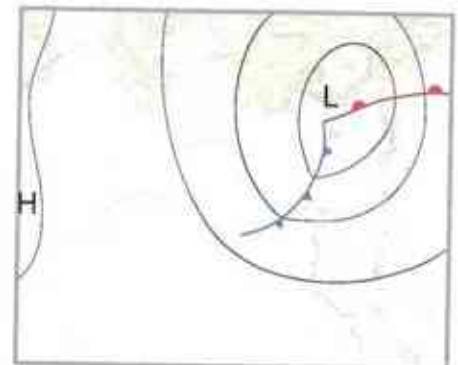


איור 102 שקע צפוני

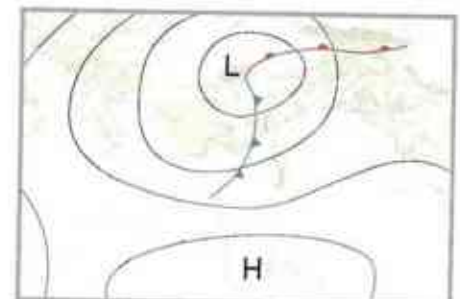


איור 101 שקע מעל אירופה

3. עיינו באיור 103:
 - א. באיזו גזרה (חמה או קרה) נמצאת ישראל?
 - ב. מהו מזג האוויר במצב זה בישראל? התייחסו לגורמים אלה: טמפרטורות, כיוון הרוח, לחות, עננות, משקעים, סופות חול. כמו כן התייחסו להבדלים אפשריים בין צפון הארץ לדרומה. (שימו לב להבדלים בתכונות האוויר המגיע לצפון הארץ בחשואה לזה שמגיע לדרומה).
4. עיינו באיור 104:
 - א. הסבירו מדוע נקבעה על פי המפה, תחזית זו: "ייתכן גשם בצפון הארץ. במרכז יהיה מעונן חלקית ובדרום יהיה נאה".
 - ב. הסבירו מדוע מרבית המשקעים בישראל יורדים לאחר מעבר החזית הקרה.
 - ג. מהי חשיבותם של ההרים בצפון הארץ ובמרכז לירידת הגשמים?
 - ד. מדוע מועטים הגשמים בנגב?
5. מהו ההבדל בין פעילות החזית החמה בישראל לזו המתוארת בעמ' 122 בפרק 6? ממה נובע הבדל זה?
6. מהו המקום בארץ שבו יורדת כמות השלגים הרבה ביותר במהלך החורף? מדוע דווקא שם?



איור 103 גזרה חמה



איור 104 רמה מעל אירופה

אביב

אביב הוא עונת מעבר המאופיינת בשינויי מזג אוויר: ימים שרביים, חמים ויבשים וימים גשומים וקרירים. המערכת הבולטת באביב היא **השקע השרבי**. כשהוא מופיע לראשונה, אנו מתפתים להוציא מן הארונות את בגדי הקיץ, אולם כעבור ימים מעטים עשוי להופיע שוב שקע חורפי ולהזכיר לנו כי הקיץ טרם הגיע.



פריחה אביבית בגליל

שקעים שרביים הם שקעים חזיתיים המתפתחים מעל צפון אפריקה ונעים מזרחה. החזית שבעקבותיה מתפתח השקע, נוצרת בשל הפרש הטמפרטורות הקיים בעונה זו בין גוש האוויר שמעל למדבר סהרה ובין גוש האוויר שמעל הים התיכון. בעוד הים התיכון קריר עדיין מעונת החורף ומקרר את האוויר שמעליו, הקרקע המדברית מתחממת במהירות ומחממת במידה ניכרת את האוויר שמעליה.

האיוורים שבעמוד הבא מתארים את מהלך השפעתו של השקע השרבי על ישראל. כאשר מרכז השקע נמצא בלוב (איור 105), נושבות בארץ רוחות מזרחיות המעלות את הטמפרטורה. באזור החזית החמה עשויים להיווצר עננים גבוהים.

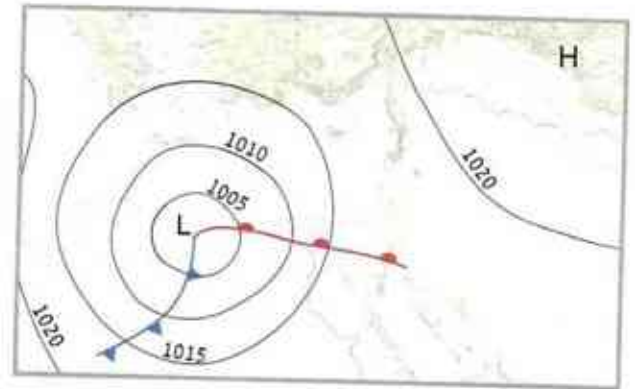
כאשר מרכז השקע המתקרב אלינו, נמצא במצרים (איור 106), עוברת אותנו הגזרה החמה ואנו חשים בשרב. הרוחות מתחזקות, הופכות לדרומיות-מערביות וגורמות לאובך, לסופות חול ולעלייה נוספת בטמפרטורות. במקרים קיצוניים מגיעה הטמפרטורה במצב סינופטי זה ל-45°C.



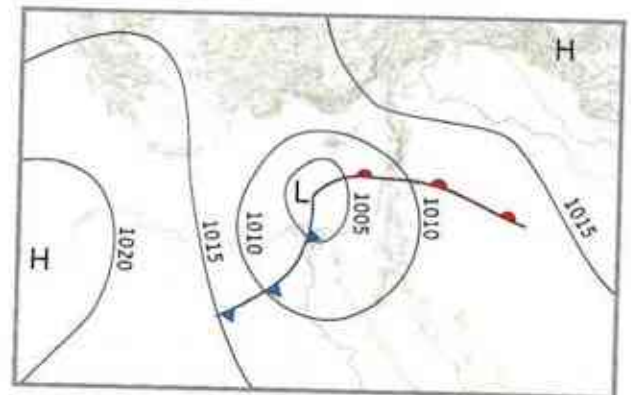
אובך בירושלים כתוצאה משקע שרבי

כאשר מרכז השקע מגיע לחופי ישראל (איור 107), עוברת אותנו החזית הקרה, ועם כניסתה הרוח משנה את כוונה לצפון-מערבית תוך שהיא מחדירה אוויר קריר ולח לארץ. במצב זה עשויים להיווצר עננים וייתכן גם מעט גשם – השרב נשבר. שבירת השרב עשויה להיות כה קיצונית עד כי הטמפרטורה יורדת לעתים, בתוך שעה ביותר מ-15°C.

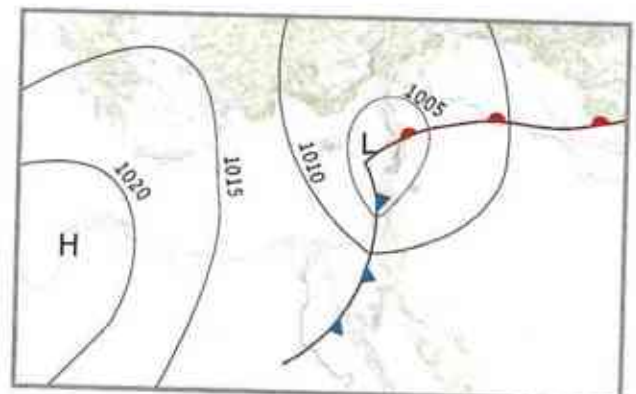
לעתים מתפתח בעונה זו שרב דומה לשרב הקיצי, כלומר, כתוצאה מהתמוככות האוויר כאשר מעל לישראל מצויה רמה. בשונה מהשקע השרבי אין שרב זה מלווה ברוחות חזקות ולא ניתן להצביע על הישברותו.



איור 105 שקע שרבי במצרים



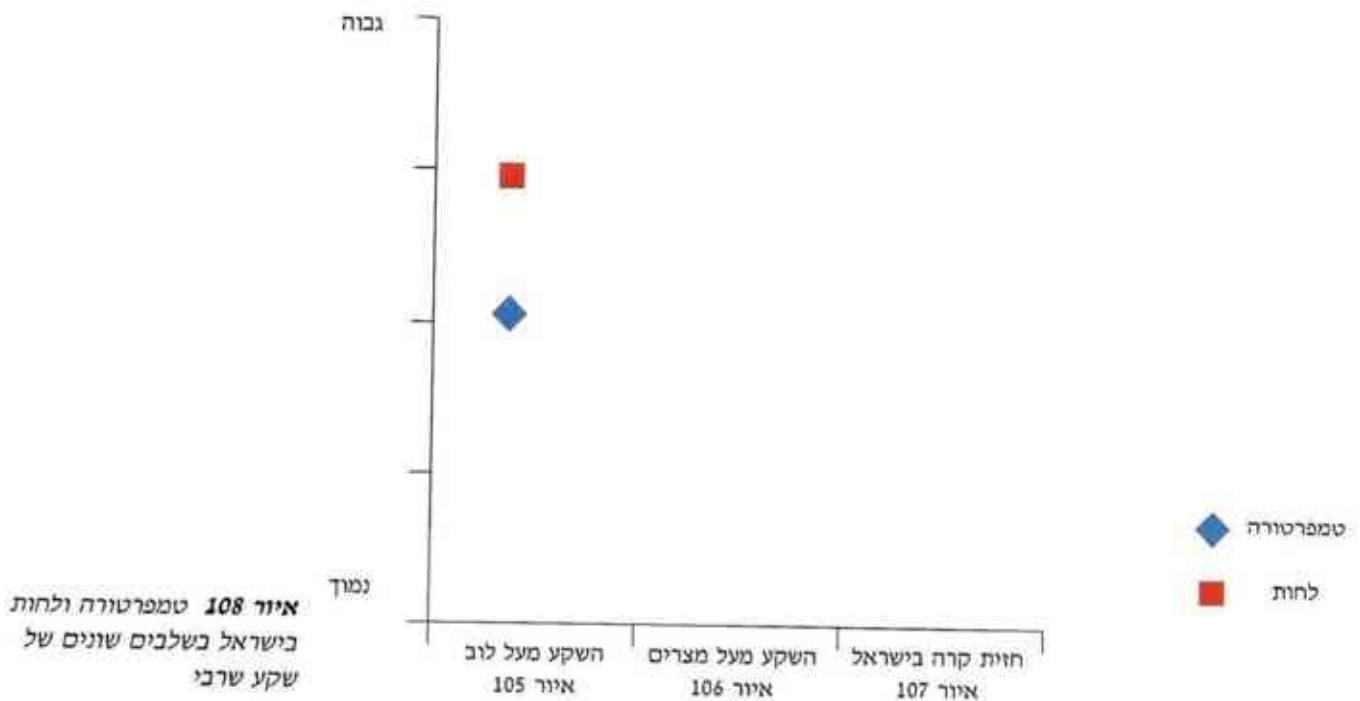
איור 106 השרב משפיע על ישראל



איור 107 החזית הקרה נכנסת לישראל והשרב נשבר

שאלות?

1. בתקופת האביב, האוויר מעל הים קריר בהרבה מהאוויר שמעל המדבר. מהי הסיבה לכך?
2. באיור 108 תרשים, ובו מצוינים ערכי הטמפרטורות והלחות בישראל כאשר מרכזו של שקע שרבי נמצא בלוב. (המפה שבאיור 105 בעמ' 154 מתאימה למצב זה). ציינו בתרשים את ערכי הטמפרטורות והלחות הצפויים בשלבים הבאים בהתקדמות השקע. (לדוגמה: אם בשלב הבא, שבו נמצא השקע במצרים, צפויה הטמפרטורה לעלות, ציינו בתרשים נקודה עבור טמפרטורה שערכה גבוה).



שאלות נוספות המתייחסות למזג האוויר בישראל ופעילויות באינטרנט –
בסוף פרק 9 בעמ' 169

סיכום



בישראל שני אזורי אקלים עיקריים: אקלים ים־תיכוני ואקלים מדברי.

במהלך השנה ניתן להבחין בכמה מערכות לחץ בולטות, היוצרות את מצבי מזג האוויר האופייניים לעונות השנה:

קיץ – הרמה הסובטרופית, הנמצאת מעל לאזורנו בתקופת הקיץ ברום האטמוספירה, מונעת היווצרות משקעים. סמוך לקרקע שולטת מערכת הלחץ של האפיק הפרסי, המחדירה לישראל אוויר קריר ולח מהים, הממתן את הטמפרטורות. בימים שבהם האפיק הפרסי נסוג, חלות בהרים עלייה בטמפרטורות וירידה בלחות ובמישור החוף – עלייה בטמפרטורות ועלייה בלחות. הבריזה הנושבת מהים בשעות הצהריים ואחר הצהריים תורמת להתמתנות הטמפרטורות בקיץ.

סתיו – הסתיו הוא עונת מעבר שבה נסוגה הרמה הסובטרופית דרומה. במצב זה נוצר בסתיו מדי פעם אפיק ים סוף. אפיק ים סוף עם ציר מערבי גורם לעלייה בטמפרטורות ולעיתים לגשמים ולשיטפונות מסוכנים בדרום הארץ.

חורף – בחורף מסלולם של שקעים המאפיינים אזורים ממוזגים כולל את ישראל. שקעים אלו נעים ממערב למזרח, ולפיכך חלים במזג האוויר שינויים רבים. בימים שבהם ישראל נמצאת תחת השפעת רמה מזג האוויר נאה, ובימים שבהם משפיע שקע – מזג האוויר מעונן וגשום. לעיתים יורדים גשמים גם בעקבות הופעת אפיק ים־סוף.

אביב – באביב מתחילה עלייה בטמפרטורות ומופיעים שקעים שרביים. שקעים אלה מתפתחים מעל צפון אפריקה ונעים מזרחה. עם הגיעם לישראל, נושבות רוחות דרומיות הגורמות לעלייה ניכרת בטמפרטורות. השרב נשבר כאשר הרוח נהיית למערבית, ולישראל חודר מהים אוויר קריר הנמצא בגזרה הקרה של השקע. לעיתים נוצר מזג אוויר שרבי כתוצאה מהתמוככות אוויר ברמה.



פרק 9

חיזוי מזג האוויר

מזג האוויר מעסיק מפעם לפעם את כולנו. אנו שואלים את עצמנו "כיצד להתלבש?", "האם נוכל לצאת לטיול בלי להירטב מגשם?", "האם לא יהיה חם מדי ללכת לים?". מזג האוויר החזוי מצניין גורמים רבים נוספים – טייסים וימאים חייבים לדעת את התחזית כדי להתכונן לקראת סכנות צפויות הקשורות במזג האוויר; חקלאים מתכננים את עבודתם על פי התחזיות. הצלחה בחיזוי צשויה להציל חיים ולמנוע הפסדים כספיים.

שיטות ואמצעים לחיזוי מזג האוויר

כבר בימי קדם הביאה תלותו של האדם במזג האוויר לניסיונות חיזוי שונים. על פי רוב התבסס החיזוי על היכרות עם תופעות מזג האוויר ומציאת קשר בין התופעה הנצפית לבין מזג האוויר שיבוא בעקבותיה. כך, למשל, קוראים בתנ"ך (מלכים א' יח, מג-מה) על אליהו הנביא ששלח את גערו לצפות מהר הכרמל אל הים. הגער חזר ובפיו הבשורה: "הנה עב קטנה ככף איש עלה מים" בעקבות זאת אומר אליהו לאחאב: "אֶסֶר ורד ולא יעצרכה הגשם..." כלומר רתום את הסוסים וצא לדרך לפני שירד גשם חזק. בהמשך אנו קוראים: "והשמים התקדרו עבים ורוח ויהי גשם גדול" התחזית הייתה נכונה. כיצד חזה אליהו את הגשם? ייתכן שזיהה את העננה הקטנה כסוג ענן המופיע בקדמת החזית הקרה המורידה משקעים. שיטת חיזוי זו הייתה מקובלת במשך אלפי שנים. לאחר המצאת הברומטר באמצע המאה ה־17, הוסיפו העוסקים בחיזוי לתצפיותיהם מכשיר זה שבעזרתו אפשר להבחין בירידת לחץ אוויר, ולחזות את התקרבות השקע הברומטרי לפני שמופיעות התופעות המלוות אותו.

חיסרון מרכזי בשיטת החיזוי הפשוטה שתיארנו הוא שהחזאי אינו רואה אלא את מזג האוויר שבמקום הימצאו. אנו יודעים שמרבית תופעות מזג האוויר אינן מקומיות, אלא הן חלק ממערכות גדולות של מזג אוויר הנעות ממקום למקום על פני מאות ואלפי קילומטרים. לכן חשוב לראות במפה את תמונת מזג האוויר בתפרוסתה הכוללת, הכנת מפות מזג אוויר התאפשרה לראשונה בארצות הברית באמצע המאה ה־19 עם המצאת הטלגרף.

ברחי ארצות הברית הוקמו אז מאות תחנות מטאורולוגיות, שביצעו תצפיות במזג האוויר והעבירו אותן בטלגרף בשעות קבועות למרכז מטאורולוגי בושינגטון. שם הוכנו מפות, שעל פיהן פורסמה מידי יום ביומו תחזית מזג האוויר.

מתוך: ילדי רב החובל גרנט מאת ז'ול וורן

"החושש אתה ממזג אוויר גרוע?" שאל גלנרבאך ובחן את השמים, אשר למן קו האופק ועד לנקודת הצוהר עדיין היו נקיים מעננים.
 "כן," השיב רב החובל.

"ובכן פועל אתה בתבונה, אך במה העניין?"

"סיכויים ודאיים למזג אוויר גרוע, אל תלך שולל אחר מראה השמים, מילורד. אין דבר מטעה יותר, זה יומיים שמדהלחץ יורד באופן מדאיג, כרגע הגיע לעשרים ושבע אצבעות." זוהי אזהרה שאסור לי להתעלם ממנה. אני חושש מאד מזעפו של הים הדרומי, שכן התנסתי בו."

"ג'ון," השיב גלנרבאך, "דנקן היא כלי שיט איתן, ורב החובל שלה הוא יורד ים מיומן. אם תבוא סערה, נדע לעמוד כנגדה!"

בהביעו את חששותיו ציית ג'ון לחוש השישי שלו כיורד ים. ירידתו המתמדת של מד הלחץ הניעה אותו לנקוט את כל אמצעי הזהירות הנדרשים. הוא צפה סופה נוראה, שאמנם השמים עדיין לא הצביעו על בואה, אך מכשיר המדידה המושלם שלו לא יכול להטעותו. זרמי האוויר אצים מן האזור שבו עמודת הכספית גבוהה לאזור שבו העמודה הולכת ומתכווצת.

* לחץ של 27 אצבעות כספית שווה ללחץ של 730 מ"מ כספית. גובהה הרגיל של הכספית בברומטר הוא 760 מ"מ (1013 מיליבר).

1. תרגום מיכה פרנקל, ספריית מעריב, הסדרה הקלאסית 1994, עמ' 201 – 202.

מערכות חיזוי דומות לזו שהוקמה בארצות הברית במאה הקודמת, הוקמו עם הזמן במדינות נוספות. ב־1950 הוקם באו"ם ארגון המטאורולוגיה העולמי (WMO). בארגון חברות כמעט כל מדינות העולם, והן שולחות את תצפיותיהן המטאורולוגיות לכמה מרכזים בינלאומיים. התצפיות בכל העולם נערכות באותה שעה בכל 3 שעות, החל בשעה 00:00 על פי **הזמן הבינלאומי (UTC)**.¹

1. בישראל מקדימים את הזמן הבינלאומי בשעתיים. למשל, כאשר השעה היא 14:00 לפי זמן UTC, בישראל השעה היא 16:00. בחודשי שעון הקיץ, מקדימים את הזמן הבינלאומי בשלוש שעות.



כ־10,000 תחנות מטאורולוגיות פזורות ברחבי העולם. באופן סדיר מתבצעות בהן המדידות והתצפיות הללו: לחץ האוויר, טמפרטורה, עוצמת הרוח וכיוונה, לחות, ראות, כמות המשקעים, כמות העננים וסוגיהם, תופעות מזג אוויר מיוחדות.

נתונים מרום האטמוספירה נמדדים באמצעות מכשיר הנקרא **רדיוסונדה**. הרדיוסונדה מורכבת מבלון הממולא בגז קל (הליום או מימן), שאליו מחוברת תיבה ובה חיישנים לטמפרטורה, לחץ וללחות. חיישנים אלה משדרים לקרקע את הנתונים הנאספים בדרכו של הבלון למעלה. מעקב אחר היסחפותו של הבלון עם הרוח מאפשר לדעת גם את כיוון הרוח ועוצמתה. בגובה כ־35 ק"מ מתפוצץ הבלון והתיבה יורדת לארץ באמצעות מצנח. לרוב נופלת התיבה במקום מרוחק, ואין מוצאים אותה, לכן השימוש ברדיוסונדה הוא חד־פעמי. בגלל מחירה הגבוה של הרדיוסונדה, לא בכל התחנות המטאורולוגיות נבדקים נתוני הרום. בתחנות שבהן משתמשים ברדיוסונדה עושים זאת רק פעמיים ביממה.

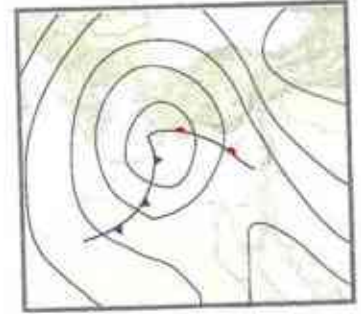
תצפיות נוספות באזורים שאין בהם תחנות מטאורולוגיות, נעשות על ידי אניות בלב ים וכן על ידי מצופים בים שאליהם מחוברים חיישנים מתאימים המשדרים באופן אוטומטי את הנתונים המטאורולוגיים. ניתן לקבל נתונים מהרום גם באמצעות חישה מרחוק בעזרת לוויינים מטאורולוגיים.



שימוש ברדיוסונדה למדידות מטאורולוגיות ברום האטמוספירה

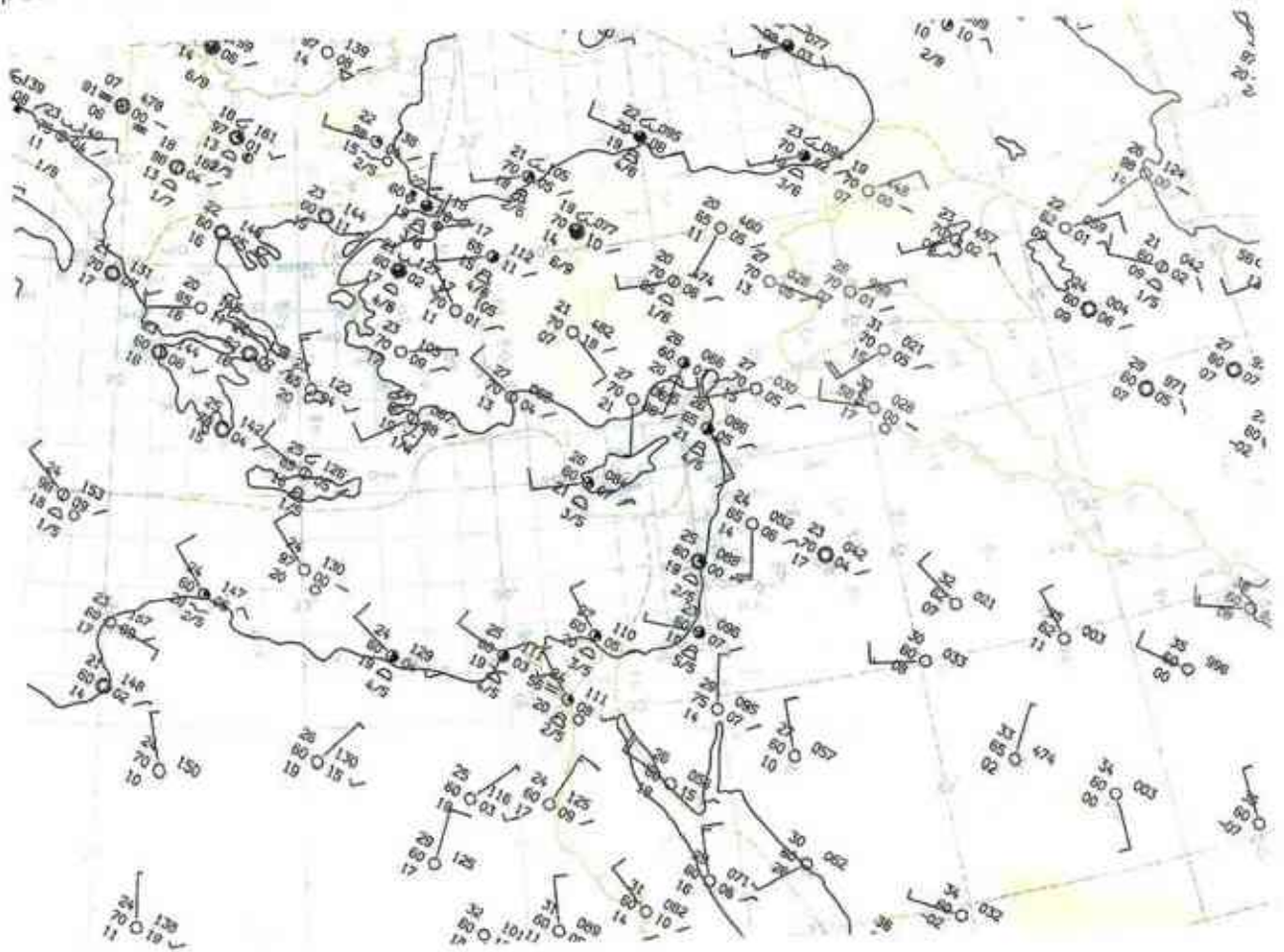
חיזוי סובייקטיבי

הנתונים המגיעים למרכזים האזוריים נרשמים על גבי **מפה סינופטית** (סינ = בזמן, אופטי = לראות). קיימות מפות נפרדות לקרקע ולמפלסים שונים ברום האטמוספירה. על פי נתוני הלחץ שהתקבלו מהתחנות השונות, מסורטים על המפה קווים שווי לחץ ההופכים את המפה למפת לחץ (כפי שלמדנו בפרק 4). יחד עם נתוני הטמפרטורות, כיווני הרוחות והעננים אפשר לקבוע את מקומן של חזיתות קרות וחמות.



איור 109

עד שנות ה-60 התבסס החיזוי על ניתוח המפות העדכניות. שיטת חיזוי זו נקראת **חיזוי סובייקטיבי**. אם בפני החזאי בישראל עמדה אז המפה שבאיור 109 הוא העריך על סמך הכרתו את מזג האוויר המתואר במפה, שהשקע שמרכזו כרגע בקפריסין עתיד לנוע מזרחה. לפיכך, בעוד כיממה תגיע לישראל החזית הקרה, הטמפרטורות ירדו וצפויים משקעים.



מפה סינופטית ובה תצפיות מזג אוויר שהתקבלו מהתחנות המטאורולוגיות במזרח הים התיכון.



מסופי המחשבים לחיזוי מזג האוויר במרכז החיזוי של השירות המטאורולוגי בבית דגן

חיזוי מספרי

עם התחלת השימוש במחשבים, התרחשה מהפכה גדולה בחיזוי. המחשבים מאפשרים ליצור **מודל** של האטמוספירה ולהדמות בעזרתו את התהליכים המתרחשים בה. המחשבים מוזנים בנתוני התצפיות המטאורולוגיות. בשלב ראשון מייצר המחשב את המפה הסינופטית העכשווית ובהמשך ניתן לקבל מפות סינופטיות חזויות לימים הקרובים. שיטת חיזוי זו נקראת **חיזוי מספרי** (חיזוי נומרי). מאחר שכמות החישובים לחיזוי מספרי היא עצומה, דרושים לשם כך 'מחשבי'על' בעלי יכולת חישוב גדולה מאוד. בשל העלויות הגדולות בפיתוח מודלים וברכישת מחשבי'על, רק מרכזים מטאורולוגיים מעטים בעולם מריצים מודלים המדמים את מזג האוויר. תוצרי המודלים (מפות סינופטיות חזויות) מועברים באמצעות תקשורת מחשבים אל מרכזי החיזוי במדינות השונות. חלקם זמין כיום גם עבור הציבור הרחב ברשת האינטרנט.

כאשר החזאי ניגש לערוך את התחזית, הוא מקבל באמצעות תקשורת מחשבים תוצאות הרצה של מודלים אחדים. החזאי משווה בין המודלים השונים (שלרוב יש ביניהם הבדלים) ומחליט על פי ניסיונו והיכרותו את האזור שבו הוא עובד איזו תחזית לפרסם. בהחלטותיו מסתייע החזאי בשני אמצעים עיקריים נוספים, תמונות לוויין ומכ"ם מטאורולוגי, שיתוארו בהמשך.

כיצד פועל מודל של חיזוי מספרי

מודל החיזוי המספרי מבוסס על כך שבאמצעות נוסחאות מתמטיות, המתארות את חוקי הפיזיקה, אפשר לחשב את השינויים הצפויים באטמוספירה. כך, למשל, אם יודעים את נתוני לחץ האוויר בנקודה מסוימת ונקודות סמוכות, אפשר לחשב מה יהיה הלחץ במקום כעבור פרק זמן מסוים. הבעיה היא שאי אפשר לייצג את כל הנקודות באטמוספירה. לכן מחלקים את האטמוספירה לנקודות שריג שהמרחק ביניהן הוא בין עשרות ק"מ ל־200 ק"מ בקירוב (בהתאם למידת הדיוק של המודל). היות שהאטמוספירה היא תלת־ממדית, נקבעים משטחים של נקודות שריג במפלסי גובה שונים, וכל נקודת שריג מייצגת את האטמוספירה באזור הסמוך אליה (איור 110).

על פי התצפיות המטאורולוגיות, קובעים תחילה לכל נקודה את התנאים המטאורולוגיים השוררים בה (לחץ, טמפרטורה, לחות ועוד). היות שבמרבית הנקודות אין תצפיות מטאורולוגיות, מחושבים ערכים אלה על פי מדידות שנעשו בתחנות הקרובות לאזור. בסיומו של שלב זה מתקבל שריג המתאר את האטמוספירה בעת עריכת התצפיות.



איור 110 נקודות השריג שבאמצעותן מיוצגת האטמוספירה במודל חיזוי

בשלב זה יש לפתור את הנוסחאות המתמטיות ולחשב את הערכים החדשים שיתקבלו בכל נקודת שריג כעבור פרק זמן מסוים – בדרך כלל דקות אחדות. התוצאה המתקבלת מהחישוב משמשת נתוני-פתיחה לחישוב פרק זמן נוסף, וכן הלאה. הנוסחאות הן מסובכות מאוד וכמות החישובים לכל תא היא עצומה. ניסיון לחזות את מזג האוויר של יום המחר באמצעות מודל מתמטי ללא מחשב, מצריך עבודה של כ־60,000 מתמטיקאים במשך 24 שעות. על אף העלאת הרעיון התאורטי ליצור מודל מתמטי לחיזוי כבר בתחילת המאה, ניתן היה ליישמו רק עם התפתחות המחשבים.

מעניין לציין כי אחד מהוגי הרעיון, מדען אנגלי בשם ריצ'רדסון, לא המתין להמצאת המחשב. בתחילת המאה הוא עשה ניסיון להוכיח שרעיון החיזוי המספרי אפשרי. לשם כך הוא עבד כמה חודשים כדי לחזות בדיעבד את מזג האוויר ב־20 במאי 1910. התוצאות שקיבל היו רחוקות מאוד מהמציאות. הלחץ הברומטרי, שלא השתנה כמעט באותו היום, היה אמור לרדת על פי חישוביו ב־145 מיליבר – הרבה יותר מירידת הלחץ בסופת הוריקן חמורה. ההוכחה כי חיזוי מספרי הוא ברביצוע המתינה עד 1950. השנה שבה הריצו את המודל הממוחשב הראשון. כיום מתקבלות תחזיות מספריות טובות עד לטווח של כ־5 ימים.

האם ועד כמה ניתן יהיה לשפר בעתיד את המודלים? שאלה זו מעסיקה את אנשי המדע בגלל מורכבות האטמוספירה לא תיתכן כנראה, הגדלת טווח החיזוי ליותר מ־10 ימים. הסיבה העיקרית לכך היא שלעולם לא נוכל לתאר במדויק את מצבה הנוכחי של האטמוספירה המשמש בסיס לחיזוי. טעויות קטנות בנתוני ההתחלה הופכות לאידיויקום גדלים והולכים ככל שמריצים במחשב שלבים רבים יותר. ככל שנתרחק בזמן מנקודת ההתחלה, יצטברו הטעויות עד למצב שבו לא יהיה עוד ערך לתחזית.

שאלות?

1. הסבירו כיצד יכולים האמצעים האלה לשפר את יכולת החיזוי:
 - א. הגדלת מספר התחנות המטאורולוגיות בעולם
 - ב. שיפור הבנת תהליכים המתרחשים באטמוספירה
 - ג. שיפורים ביכולת החישוב של המחשבים.
2. א. מרחק קטן בין נקודות שריג במודל (כ־10 ק"מ) מקובל רק במודלים המתארים אזורים קטנים. במודלים עולמיים, המרחק בין נקודות שריג הוא כ־100 ק"מ. הסבירו מדוע.
- ב. איזו בעיה עלולה להתעורר אם נשתמש במודל עולמי לחיזוי מזג האוויר בישראל?
3. הסבירו מדוע אי-אפשר לתאר במדויק את האטמוספירה ברגע נתון, במודל ממוחשב.

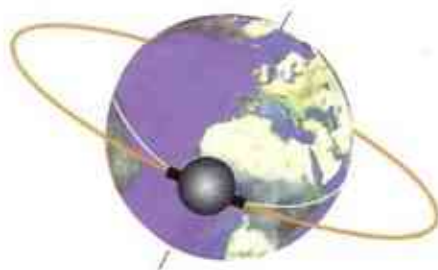


לוויינים מטאורולוגיים

לוויינים מטאורולוגיים עומדים לרשות החזאים מסוף שנות ה־60 ומהווים מקור מידע נוסף, המסייע בגיבוש התחזית ובמחקר המטאורולוגי. קיימים שני סוגי לוויינים:

א. **לוויינים גאוסטציונריים** – לוויינים אלה ממקמים מעל לקו המשווה ומקיפים את כדור הארץ במהירות הסיבוב של כדור הארץ סביב עצמו. משום כך נשאר הלוויין כל הזמן מעל לאותה נקודה מעל קו המשווה. לוויינים אלה סובבים בחלל בגובה 36,000 ק"מ בערך ומצלמים בקביעות את חצי הכדור שניתן לראות מהם. תמונות מעודכנות שצולמו מלוויינים נגישות לציבור הרחב באינטרנט.

ב. **לוויינים פולאריים** – לוויינים אלה סובבים במסלול העובר דרך הקטבים, וחולפים בכל רגע מעל לנקודה אחרת. יתרונם הוא בכך שהגובה שבו הם סובבים נמוך יחסית, כ־850 ק"מ, ולכן מתקבלות מהם תמונות איכותיות יותר. הלוויינים הפולאריים מכסים בדרך כלל כל נקודה בכדור הארץ פעמיים ביממה.

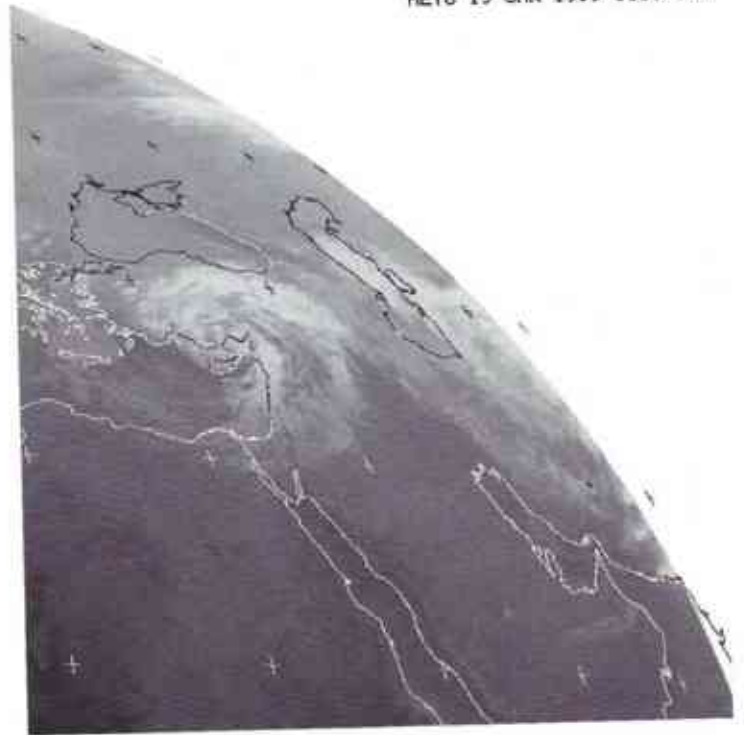


מסלול לוויין גאוסטציונרי



מסלול לוויין פולארי

MET6 19 JAN 1999 1500 IR1



תמונת לוויין באור אינפרא-אדום. מעל לאזורנו ניתן להבחין בעננות שצורתה כעין ספירלה. זהו שקע חורפי שמרכזו מצפון לקפריסין.

הלוויינים משדרים לכדור הארץ תמונות משני סוגים:

תמונות באור נראה - תמונות אלו דומות למה שאנו מצלמים במצלמה רגילה בסרט שחור-לבן. מאחר שאין אפשרות לצלם בעזרת "פלש" (מבזק) מהחלל - ניתן לצלם תמונות לוויין באור נראה רק ביום. בתמונות האור הנראה אפשר לזהות בקלות עננים ואזורים המכוסים בשלג.

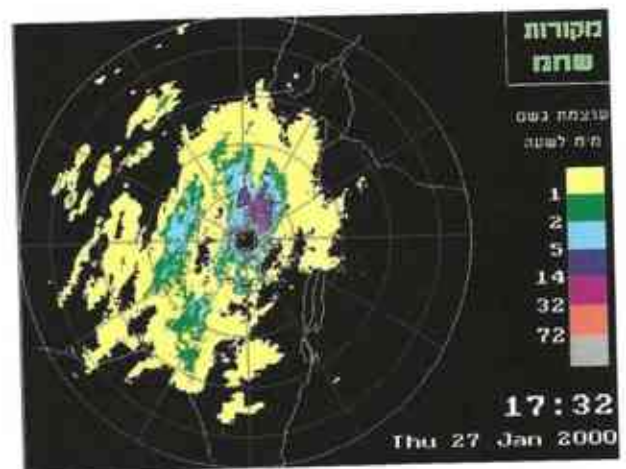
תמונות באור אינפרא-אדום - אלה הן למעשה תמונות של הטמפרטורה. בתמונות אלו, אזורים חמים הם כהים, ואזורים קרים - בהירים. עננים ייראו בהירים בדרך כלל, שכן הלוויין מצלם את פסגת הענן שנמצא בגובה רב, במקום שהטמפרטורות נמוכות. מאחר שכדור הארץ פולט חום לחלל בכל שעות היממה, הלוויין יכול לצלם תמונות באור אינפרא-אדום כל שעות היממה.

מתמונות הלוויין המתקבלות בזו אחר זו, ניתן ליצור סרטון וכך להבחין במגמת התקדמותם של השקעים הברומטריים ושל הסופות.

החזאים נעזרים בתמונות הלוויין בעיקר בחיזוי לטווח קצר. הלוויינים מאפשרים לזהות את סוגי העננים המתקרבים, ועל פי צורתם ניתן לאתר שקעים ברומטריים וחזיתות בשקעים.

מכ"ם מטאורולוגי

המכ"ם המטאורולוגי משלים את תמונת העננים הנמצאים באזור החיזוי. המכ"ם משדר קרינת רדיו לעבר העננים וקולט את הקרינה המוחזרת. על פי הקרינה המוחזרת, החזאי יכול לזהות את סוגי המשקעים הנוצרים בעננים (גשם, שלג, ברד) ואת עוצמתם, וכך לחזות את המשקעים הצפויים בשעות הקרובות.



תמונה שהתקבלה במכ"ם מטאורולוגי ובה ניתן להבחין בעננים שיוור מהם גשם

1. מכ"ם (מגלה כיוון ומרחק) - מכשיר לגילוי כיוון ומרחק של עצמים באוויר. מכשירי המכ"ם משמשים בעיקר לגילוי מטוסים.

שאלות?

1. הסבירו, בליווי דוגמאות כיצד תעזור תחזית מזג האוויר –
 - א. למטוסים ולספינות,
 - ב. לחקלאים,
 - ג. לכם באופן אישי.
2. האם מוכרות לכם תופעות מזג אוויר המאפשרות לבצע חיזוי לטווח קצר כפי שעשה אליהו הנביא?
 3. מדוע חשוב שהתחזית בכל העולם יערכו באותה שעה?
 4. מנו סיבות אפשריות לתחזית שגויה?
 5. א. קראו בעמ' 160 את התחזית שהציע החזאי על פי איור 109 נניח שהתחזית לא התממשה. נסו להעלות סיבות שבגללן היא לא התממשה.
 - ב. כיצד יכול היה חזאי לשפר את התחזית אם היה מעיין במפות שקדמו בזמן למפה שבאיור 109 (כלומר היה מעיין במפות של השעות הקודמות)?
 6. מהו ההבדל בין לוויין גאוסטציונרי ללוויין פולארי?
 7. מהו ההבדל בין תמונת לוויין בערוץ האור הנראה לתמונת לוויין בערוץ האינפראאדום?



זקני צפת

פעילויות באינטרנט

פירוש תמונות לוויין באור נראה ובאור אינפראאדום

לפניכם תמונות לוויין מעודכנות של אזורנו (אזור קוד 30), באור נראה ובאור אינפראאדום.

אדום.

1. היעזרו באטלס וזהו את מקומם של: ישראל, חצי האי ערב, תורכיה, מצרים, קפריסין, הים השחור, הים הכספי, המפרץ הפרסי, ים סוף.
2. באיזו שעה צולמו התמונות לפי שעון ישראל?
3. באיזה גוון נראים עננים בתמונות אינפראאדום? מדוע?
4. מהו הגוון של החלל בכל אחת מהתמונות? הסבירו מדוע.
5. מצאו וכתבו: אילו אזורים גאוגרפיים מכוסים בעננים?

האם החזאים מדייקים

(פעילות זו מיועדת לבתי ספר העורכים מדידות בתחנה מטאורולוגית).
בדף המעקב שבאתר תוכלו לראות מהו מזג האוויר שנחזה במקום מגוריכם בכל אחד מהימים בחודש האחרון. תוכלו להשוות מידע זה למזג האוויר שהיה בפועל, על פי הנתונים המטאורולוגיים שמדדתם בתחנה שלכם.

הכינו בעזרת Excel תרשימי השוואה בין מדידות מזג האוויר שביצעתם בתחנה בפועל לבין התחזיות לימים אלה. (התחזית מצוינת **בדף המעקב** שלנו).
 תרשימים אפשריים:

- טמפרטורת מינימום חזויה לעומת טמפרטורת מינימום בפועל
- טמפרטורת מקסימום חזויה לעומת טמפרטורת מקסימום בפועל
- כיסוי עננים חזוי לעומת כיסוי עננים בפועל (סמנו שמים מעוננים במספר "1", שמים מעוננים חלקית ב"0.5" ושמים ללא עננים ב"0").
- משקעים בפועל לעומת תחזית המשקעים (סמנו בתרשים יום גשום במספר "1" ויום ללא משקעים ב"0").

שאלות?

1. החליטו על אמות מידה שעל פיהן תקבעו את מידת הצלחתה של תחזית מזג האוויר.
2. בדקו, בעזרת אמות המידה שקבעתם, את מהימנות התחזית בכל אחד מימי החודש שבדקתם.
3. העריכו, בעזרת ההשוואות בין התרשימים, את מידת הצלחתם של החזאים בפרק הזמן שבדקתם.



דקני צפנת

שיקולים בקביעת התחזית

כל חיזוי הוא תיאור של שינוי המצב הנוכחי שיתרחש בעתיד. לכן חלק בלתי נפרד מהתחזית הוא תיאור השינוי, למשל עלייה בטמפרטורות או ירידה בלחות. בשלב נוסף (לפי האמצעים העומדים לרשות החזאי), התחזית מאפשרת לקבוע לחלק מהמשתנים גם ערכים מוחלטים, כגון הטמפרטורות הצפויות. נפרט כעת שיקולים עיקריים בקביעת מרכיבי התחזית:

רוחות

מהמפות הסינופטיות החזויות ניתן ללמוד על כיוון הרוח הצפוי ועל עוצמתה כפי שלמדנו בפרק 4. בחצי הכדור הצפוני, הרוחות מסביב לשקע ינשבו נגד כיוון השעון, ומסביב לרמה עם כיוון השעון. ככל שקווי הלחץ קרובים זה לזה, ייווצרו רוחות חזקות יותר. מעיון במפה הסינופטית החזויה ניתן להסיק מהיכן צפויה הרוח לנשוב, ועל פי כיוון הרוח ועונות השנה אפשר לשער את תכונות האוויר (החזאים בודקים לצורך זה גם את מפות הרום).

חיזוי טמפרטורות

- טמפרטורות האוויר ישתנו כאשר יגיע לאזור אוויר חם יותר או קר יותר. במפה הסינופטית החזויה ניתן לראות מהיכן צפויה הרוח לנשוב. על פי כיוון הרוח הצפויה ועונות השנה ניתן לשער את תכונות האוויר. בארץ אפשר להסיק בדרך כלל את המסקנות המפורטות בטבלה:

עונות השנה				כיווני רוחות
קיץ	סתיו	חורף	אביב	
חם מאוד	חם מאוד	חם מאוד	חם מאוד	רוח דרומית
קריר	חמים	קריר	קר	רוח מערבית
חם	קריר	קר מאוד	קריר	רוח צפונית
חם מאוד	חם	קר	חם	רוח מזרחית

טבלה 5 תכונות האוויר שמגיע לישראל באמצעות הרוחות ביחס למוצא העונתי

- כאשר נבחין במפה בשקע חזיתי הצפוי להגיע לאזורנו, נדע שבהשפעת החלק החם של השקע צפויות אצלנו טמפרטורות גבוהות יחסית, וכאשר יגיע לאזור החלק הקר של השקע צפויה ירידה ניכרת בטמפרטורות.

- כיסוי העננים ישפיע באופן שונה ביום ובלילה: ביום בהיר יהיו הטמפרטורות גבוהות יותר מאשר ביום מעונן. לעומת זאת בלילה בהיר יהיו טמפרטורות נמוכות מאשר בלילה מעונן, זאת מכיוון שבלילה האדמה מתקררת ופולטת קרינה אינפרא-אדומה, שחלקה נלכד על ידי העננים הפולטים אותה בחזרה לכיוון הקרקע.
- לילה שקט, בלי רוח, יהיה קר יותר מאשר לילה עם רוחות. הסיבה היא שהקרקע והאוויר הסמוך אליה מאבדים חום בקרינה כלפי מעלה. כאשר רוח אינה נושבת, אין ערבול של האוויר ולא מוסע לעבר הקרקע אוויר חם יותר, המצוי בשעות הלילה בשכבות גבוהות יותר של האטמוספירה הנמוכה.
- באזור מכוסה שלג צפויות טמפרטורות נמוכות. זאת, משום שהשלג הוא לבן ומחזיר חלק גדול יותר מהקרינה בהשוואה לקרקע החשופה, שהיא כהה יותר.
- במקומות גבוהים הטמפרטורות יהיו בדרך כלל נמוכות מאשר במקומות נמוכים.
- במקומות הקרובים לים ובמקומות המקבלים זרימת אוויר מהים הבדלי הטמפרטורות בין היום והלילה יהיו קטנים.

לחות ומשקעים

- רוח הנושבת מאזור יבשתי תגרום לירידה בלחות, ורוח מהים – לעלייה בלחות.
- גשמים צפויים כאשר יש שקע ברומטרי (מצב של עליית אוויר), ואוויר שבו לחות גבוהה מגיע אל האזור שהתחזית מתייחסת אליו. בארץ נוצרים תנאים אלה בעיקר כאשר חולפת מעל ישראל החזית הקרה וכאשר אנו נמצאים תחת השפעת החלק הקר של השקע.
- שלג ירד כאשר הטמפרטורה בקרקע קרובה ל- 0°C . השלג ייערם אם הטמפרטורה תהיה 0°C ופחות. אירועי שלג מתרחשים בארץ כאשר שקע ברומטרי מזרים לאזורנו מצפון אוויר קר במיוחד, שמסלולו מעל לים התיכון קצר ומחיר מכדי שיוכל להתחמם בדרך.

תופעות מיוחדות

שיטפונות – שיטפונות בוואדיות ובמקומות נמוכים צפויים כאשר חולפים באזורנו שקעים חורפיים עמוקים שמסלולם עובר מעל לים התיכון, או כאשר ישראל מושפעת מאפיק ים סוף עם ציר מערבי.

סופות חול – רוח חזקה מכיוון דרום-מערב תגרום לסופות חול בנגב.



כפור

קרה – בלילות חורף בהירים ללא רוח (ראו חיזוי טמפרטורות בעמ' 167) עשויה להיווצר קרה כאשר הטמפרטורה סמוך לקרקע יורדת מתחת ל- 0°C . אם הלחות היחסית גבוהה, ייווצר על הקרקע כפור. קרה עלולה לגרום נזקים חמורים לגידולים חקלאיים. חיזוי מצב של קרה מאפשר לחקלאים לנקוט אמצעים למניעת נזקים אלו.

שאלות?

1. לפניכם טבלאות ובהן נתונים על מזג האוויר השורר בישראל בימים שונים וכן פרטים חלקיים על תופעות הצפויים ביממה הקרובה. השלימו את החסר במזג האוויר החזוי (היעזרו גם בפרק 8).

מזג האוויר הצפוי בלילה				מזג האוויר ביום ב־12 בצהריים
תופעות מיוחדות (שטפונות, סופות חול, קרה)	לחות, עננים ומשקעים	טמפרטורות	רוחות	
	התבהרות מלאה של השמים. לחות גבוהה		חלשות, מקומיות	1. יום מעונן וקר
	מעונן וגשום		מערביות, חזקות	2. יום מעונן, קר וגשום
			מערביות, חזקות. החזית הקרה עוברת את ישראל	3. יום חורפי, טמפ' גבוהות יחסית לעונה, עננות גבוהה מועטה. רוחות דרום-מערביות חזקות, סופות חול בדרום.
		ירידה קלה בטמפרטורות	אין שינוי משמעותי בכיוון הרוחות, בעוצמתן ובמיקום השקע	4. יום חורף מעונן וגשום. טמפ' נמוכות (קרוב ל- 0°C בהרים). רוחות צפון-מערביות חזקות. הנושבות סביב שקע עמוק שמרכזו במזרח תורכיה.

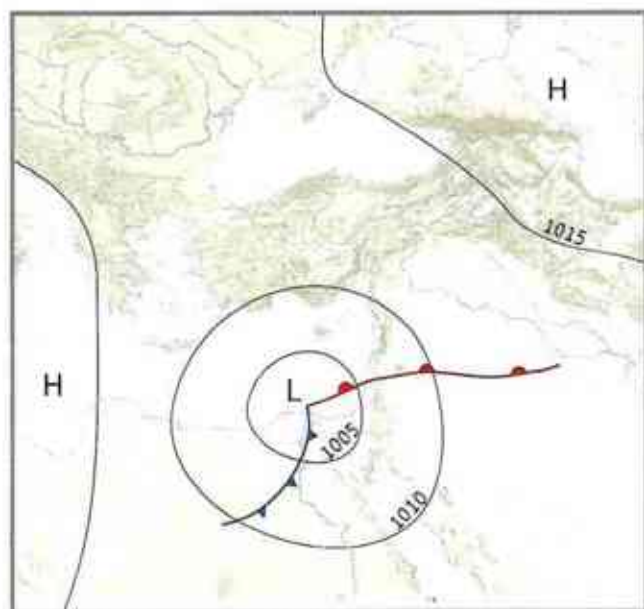
מזג האוויר הצפוי בלילה				מזג האוויר ביום ב־12 בצהריים
תופעות מיוחדות (שטפונות, סופות חול, קרה)	לחות, עננים ומשקעים	טמפרטורות	רוחות	
			דרומיות-מערביות חזקות שהן חלק משקע	1. יום חורפי נאה טמפרטורות רגילות
				2. יום אביבי נאה. שקע שמרכזו בגבול מצרים-לוב נע לעבר ישראל
			התחזקות הרוחות הדרומיות	3. סתיו. אפיק ים סוף עם ציר מערבי. רוחות דרומיות. טמפ' גבוהות מעט לעונה.
			מערביות	4. אביב. רוחות דרומיות. טמפ' גבוהות בהרבה מהממוצע. לחות נמוכה מאוד

אביב עונות

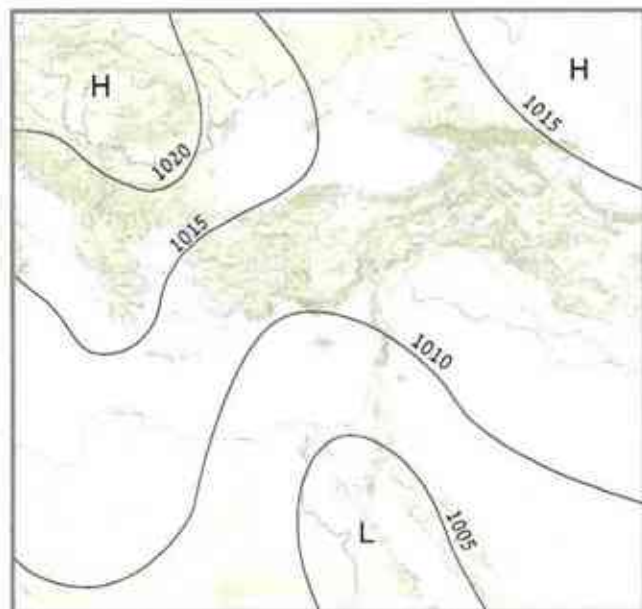


2. לפניכם מפות סינופטיות שונות.

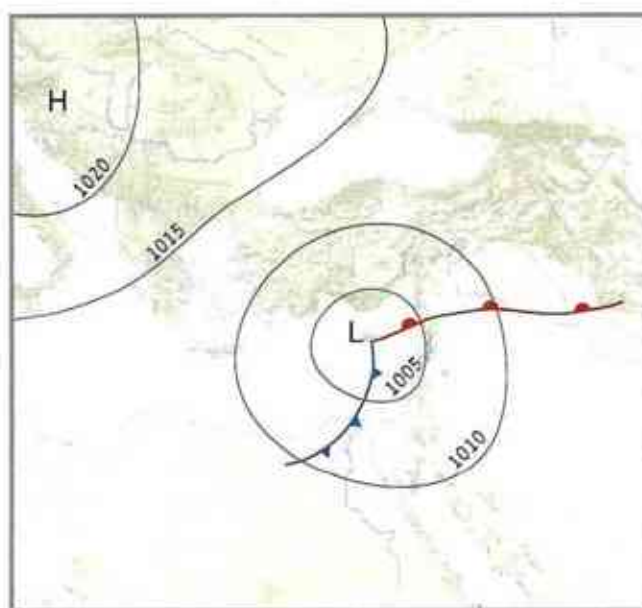
- א. מהו מזג האוויר המתואר במכל אחת מהמפות. התייחסו לפרטים האלה: כיוון הרוח, עוצמת הרוח, כיוון עננים, משקעים, לחות, טמפרטורות, תופעות מיוחדות.
- ב. נסו להכין תחזית שתכלול את הפרטים שבסעיף א עבור היום שלמחרת (24 שעות קדימה).



איור 112



איור 111



איור 113

פעילויות באינטרנט

חיזוי מזג האוויר בזמן-אמת

1. ערכו תצפית על מזג האוויר השורר כעת בחוץ. התייחסו לפרטים האלה:
 - כיוון הרוח
 - עוצמת הרוח (חזקה או חלשה)
 - כיסוי עננים (איזה חלק של השמים מכוסה בעננים?)
 - משקעים (רבים, מעטים או שאין משקעים כלל)
 - לחות (גבוהה או נמוכה)
 - טמפרטורות (נמוכות או גבוהות יחסית לעונה)
2. נסו להסביר את המצב הסינופטי שגורם למזג האוויר השורר כעת בחוץ. לשם כך היעזרו **במפה הסינופטית של היום** ובתמונות הלווין של היום (**אור רגיל** ו**אור אינפרא-אדום**).
3. עיינו במפות האלה: **מפה של היום**, **מפה חזויה ל-24 שעות**, **מפה חזויה ל-48 שעות**, **מפה חזויה ל-72 שעות**, **מפה חזויה ל-96 שעות**, **מפה חזויה ל-120 שעות**, **מפה חזויה ל-144 שעות**. (מומלץ להדפיס את המפות.) ערכו תחזית מזג אוויר לששת הימים הקרובים אפיינו את התחזית לפי הנקודות שנמנו בשאלה 1.
4. עקבו בימים הקרובים אחר מזג האוויר ובדקו אם צדקתם בתחזית. (מומלץ להדפיס מידי יום את המפה הסינופטית היומית.) אם גיליתם טעויות, שערו ממה הן נובעות.

סיכום

כדי לחזות את מזג האוויר, נאספים בתחנות מטאורולוגיות נתונים על מזג האוויר. עד להתפתחות המחשבים שימשו נתונים אלו לחיזוי סובייקטיבי – בשיטה זו מסתמך החזאי על ניסיון העבר. מזג האוויר הצפוי במצב מסוים הוא זה שיתפתח כאשר ישררו תנאי מזג אוויר דומים לאילו השוררים בעת שהחזאי מכין את התחזית. כיום מקובלת שיטת החיזוי המספרי. בשיטה זו מזינים את המחשב בנתוני מזג האוויר שבעת עריכת התחזית ומריצים מודל ממוחשב; המודל מדמה את השינויים המתרחשים במזג האוויר עם הזמן. החזאים משווים תוצאות הרצה של מודלים אחדים וקובעים את התחזית. לוונינים מטאורולוגיים ומכ"ם מטאורולוגי מוסיפים מידע המאפשר לחזאים לשפר את תחזיותיהם.



מנגנונים עיקריים היוצרים שקעים

בפרקי הספר דיברנו רבות על מערכות הלחץ (שקעים ורמות). בנספח זה נתאר את הדרכים העיקריות שבהן נוצרים שקעים: דרך אחת היא תוצאה של הפרשי טמפרטורות בין שתי עמודות אוויר; שקעים הנוצרים בדרך זו נקראים **שקעים תרמליים**. דרך אחרת היא היווצרות שקעים כתוצאה ממערכות לחץ עולמיות ברום האטמוספירה, שיש להן השפעה על היווצרות שקעים בקרקע; שקעים הנוצרים בדרך זו נקראים **שקעים דינמיים**.

שקעים הנוצרים מסיבות תרמליות

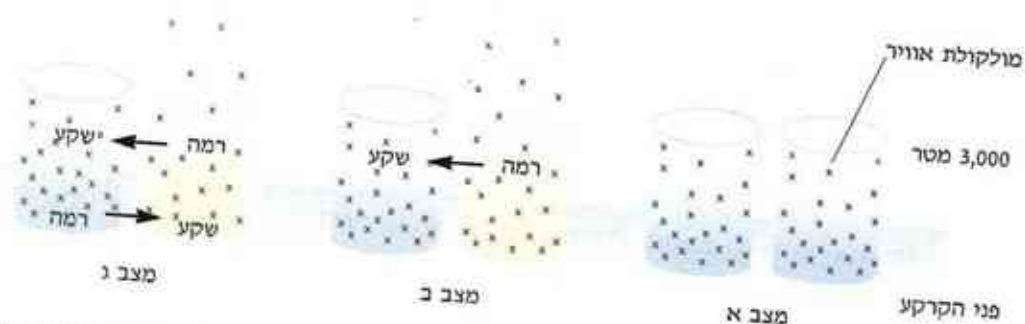
בפרק 4 בעמ' 55 דנו בלחץ האטמוספרי ואמרנו כי לחץ זה נובע ממשקל עמודת האוויר שמעלינו. ככל שהמקום שבו נמצאים נמוך יותר, עמודת האוויר שמעלינו גבוהה יותר, מכילה יותר מולקולות אוויר ולכן משקלה רב יותר. כתוצאה מכך, הלחץ שהיא מפעילה על הקרקע גדול יותר.

נדמין שתי עמודות אוויר סמוכות זו לזו, המגיעות לגובה רב מעל פני הקרקע. מה יקרה אם נחמם אחת מהן ונעלה את הטמפרטורה שלה? כאשר מחממים חומר, המולקולות שלו נעות מהר ומתרחקות זו מזו, צפיפותו קטנה והוא מתפשט. מאחר שההתפשטות לצדדים באטמוספירה מוגבלת כי האוויר בצדדים צפוף יותר, תחול התפשטות לגובה בלבד. עמודת האוויר תגבה, והמרחק בין המולקולות שלה יגדל.

נבחן כעת מה קורה במצב זה ללחצים בשתי עמודות האוויר (איור 114 בעמוד הבא). בקרקע הלחץ לא ישתנה מאחר שמספר המולקולות בשתי העמודות נותר זהה. אולם ברום, בגובה 3,000 מ', מצויות מעל לעמודה החמה, יותר מולקולות מאשר בעמודה הקרה. לפיכך, בגובה זה – בעמודה החמה יש רמה ובעמודה הקרה יש שקע.

במצב זה יתחיל אוויר ברום לנוע מן הלחץ הגבוה ללחץ הנמוך, כלומר מהעמודה החמה לקרה. כתוצאה מכך, מספר המולקולות שיוותר בעמודה החמה יהיה קטן מזה שבעמודה הקרה בקרקע, בתחתית העמודה החמה, ייווצר אפוא שקע, ובתחתית העמודה הקרה – רמה.

המצב שתיארנו מתרחש במקרים שבהם אזור אחד מתחמם יותר מאזור הסמוך לו, כך, למשל, נוצר השקע של תא הדלי באזור קו המשווה – אזור זה מקבל את קרינת השמש הרבה ביותר בעולם והוא מתחמם יותר מאזורים שמדרום ומצפון לקו המשווה. גם הבריזה היא תופעה דומה, הנוצרת בשל הבדלי טמפרטורות שבין הים והיבשה.



איור 114 היווצרות שקע תרמלי

שאלות?

- התבוננו באיור 114 בעמודת האוויר שחוממה (מצב ב באיור). אילו מן הגורמים הבאים השתנו בהשוואה לאותה עמודת אוויר במצב א באיור?
 - הלחץ בגובה פני הקרקע
 - נפח העמודה
 - גובה העמודה
 - צפיפות העמודה
 - מסת העמודה
 - משקל העמודה
 - המרחק בין המולקולות בעמודה.
- נתונות שתי עמודות אוויר סמוכות זו לזו, עמודה קרה ועמודה חמה. הסבירו מה יקרה במשך הזמן ללחץ בסמוך לקרקע.
 - בתחתית העמודה הקרה,
 - בתחתית העמודה החמה?
- הסבירו מה המשותף לתא הדלי ולמונסון בהודו.

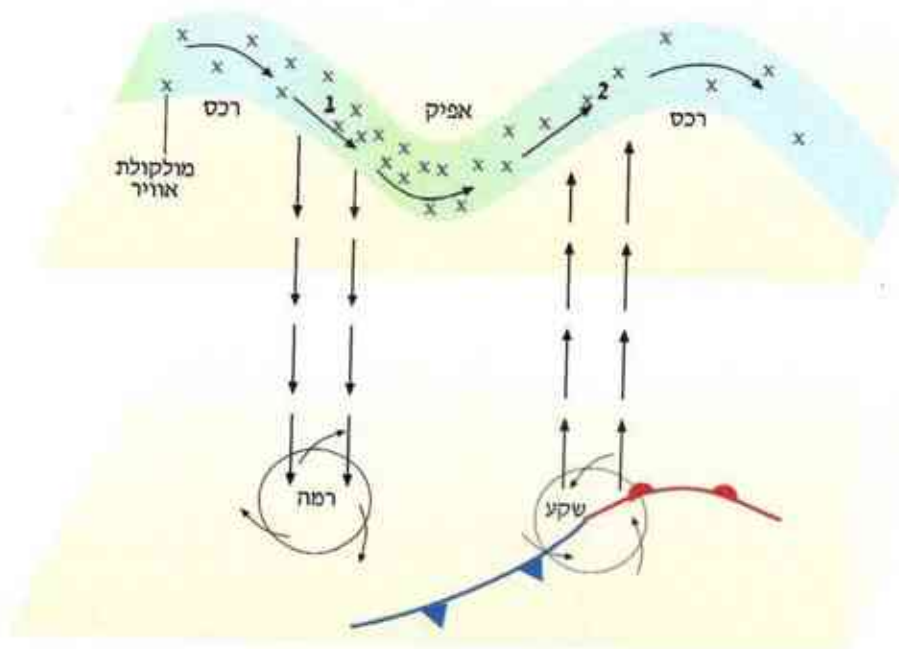
שקעים הנוצרים מסיבות דינמיות

שקעים דינמיים נוצרים כתוצאה מזרימה של אוויר במסלול עקום. מצב נפוץ של היווצרות שקע כזה מתרחש באזורי האקלים הממוזג, שבהם נוצרים ברום האטמוספירה אפיקים ורכסים שמסביבם נע האוויר במסלול עקום. עקב השפעת סיבוב כדור הארץ, עבור מפל לחץ נתון, האוויר זורם מהר יותר מסביב לרמה מאשר מסביב לשקע. לכן, כאשר האוויר משנה את אופי הזרימה שלו מזרימה מסביב לרכס לזרימה מסביב לאפיק (נקודה 1 באיור 115) הוא מאט את תנועתו ומצטופף. (הדבר דומה למה שמתרחש למכוניות הנעות בכביש הן מצטופפות כאשר הן נאלצות להאט). כאשר האוויר עובר שוב לזרימה מסביב לרכס הבא (נקודה 2 באיור 115) הוא מאיץ את תנועתו ובאזור נוצרת הידלדלות אוויר. כתוצאה מהמצב שתיארנו ממערב לאפיק באזור התכנסות האוויר ברום שוקע חלק ממנו לקרקע ויוצר רמה בקרקע. לעומת זאת בצדו המזרחי של האפיק ברום, במקום שהאוויר מתבדר (נעשה דליל) נוצרים תנאים ל"שאיבת" אוויר כלפי מעלה ובקרקע נוצר שקע. שקע זה הולך ומעמיק כל עוד ההתבדרות ברום שואבת כלפי מעלה כמות אוויר גדולה יותר בהשוואה לכמות האוויר שהרוחות שמסביב לשקע מחדירות לתוכו בקרקע. כאשר ה"שאיבה" ברום אינה די חזקה, השקע בקרקע מתמלא באוויר המתכנס אליו, והשקע נמוג.

נוסיף ונציין כי בהשפעת סיבוב כדור הארץ, מערכות הלחץ שתיארנו ברום, נמצאות כל העת בתנועה מזרחה, וכך נעות עמן גם מערכות הלחץ בקרקע.

שאלות?

- א. ממערב לאפיק רום, צפויה להתפתח בקרקע רמה. הסבירו מדוע.
- ב. ממזרח לאפיק הרום, יתפתח בקרקע שקע. הסבירו מדוע.
- כאשר ברום לא קיים מצב שבו אוויר מתבדר (מתפזר), השקע בקרקע נמוג בתוך זמן קצר. הסבירו מדוע.



נספח 2

טבלה למציאת הלחות היחסית באמצעות תרמומטר יבש ותרמומטר לח

הוראות שימוש בטבלה

- מצאו בעמודה השמאלית או הימנית את השורה שבה רשומה הטמפרטורה היבשה שמודדתם.
- מצאו בשורה העליונה את העמודה המציינת את ההפרש שבין התרמומטר הלח לתרמומטר היבש. לדוגמה: אם התרמומטר היבש מראה 19° והתרמומטר הלח 15° , ההפרש הוא 4° ($19^{\circ} - 15^{\circ} = 4^{\circ}$).
- מצאו את המשבצת שבה נפגשת השורה של התרמומטר היבש (השורה שבחרתם בשלב 1 והעמודה שבחרתם בשלב 2). המספר שכתוב במשבצת זו הוא הלחות היחסית.

תרמומטר יבש			הפרש בין המדידה בתרמומטר היבש למדידה בתרמומטר הלח																														תרמומטר לח																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
0	90	79	69	59	49	39	30	20	10	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</

אדים – חומר במצב צבירה גזי, במצב צבירה זה אדי מים אינם נראים לעין.

אוזון – מולקולה המורכבת משלושה אטומי חמצן (O_3). בסטרטוספירה מצוי אוזון בריכוז גבוה, יחסית, והוא בזלע את רוב הקרינה האולטרה-סגולה המזיקה המגיעה מהשמש. אוזון בריכוז גבוה הנוצר כתוצאה מזיהום האוויר סמוך לקרקע הוא מזהם הפוגע בייצורים חיים.

אורך גל – המרחק בין שני שיאי גל, הסמוכים זה לזה.

אטמוספירה – שכבת האוויר המקיפה את כדור הארץ.

איזובר (קו שווה לחץ) – קו המחבר, במפת לחץ, נקודות בעלות ערך לחץ זהה.

אינברסיה (היפוך) – מצב באטמוספירה שבו הטמפרטורה עולה עם העלייה בגובה, השונה מהמצב הרגיל שבו הטמפרטורה יורדת עם העלייה בגובה.

אל ניניו – עליה עונתית של הטמפרטורות ליד חופי פרו ואקוודור הנמשכת כמה שבועות באמצע החורף. לעיתים מתמשכת העליה בטמפרטורות חודשים אחדים והתופעה מכונה 'אירוע אל ניניו'. למצב כזה השפעה נרחבת - בדרום אמריקה נגרמים שיטפונות חמורים ובמזרח אסיה פוחתת כמות המשקעים.

אלקטרון – חלקיק יסודי בחומר, טעון במטען חשמלי שלילי, המצוי ב"קליפת האטום".

אנומוטר – מכשיר למדידת מהירות הרוח.

אפיק – שקע במפת הלחץ, שצורתו מוארכת (כמו ואדי בטופוגרפיה).

אפיקים סוף – אפיק המתפתח מים סוף צפונה בתקופת הסתיו ולעיתים גם בחורף. כאשר ציר האפיק עובר ממערב לישראל נושבות רוחות דרום-מזרחיות חמות ויבשות מלוות בסופות חול. לעיתים ייתכנו גשמים ושטפונות פתאומיים בעיקר בדרום הארץ. כאשר ציר האפיק עובר ממזרח לישראל נושבות רוחות צפוניות או צפוניות-מערביות, חלה ירידה קלה בטמפרטורה וייתכן גשם.

אפיק פרסי – אפיק המתקיים בתקופת הקיץ באזור המפרץ הפרסי ומגיע עד לים התיכון. השפעתו על ישראל מתבטאת בחדירת אוויר קריר ולח מהים. הממתן את טמפרטורות הקיץ בארץ.

אפקט החממה – תופעה באטמוספירה. קרינה קצרת גל מהשמש (בעיקר אור נראה) עוברת דרך האטמוספירה מבלי לגרום כמעט לחימומה. קריני השמש פוגעות בפני כדור הארץ ונבלעות בקרקע ובים. הקרקע והים פולטים קרינה אינפרא-אדומה בחזרה לאטמוספירה, והיא נבלעת בחלקה על ידי גזי חממה: בעיקר פחמן דו-חמצני ואדי מים המצויים באוויר. עקב כך מתחממת האטמוספירה.

אקלים - תנאי מזג האוויר הממוצעים לאורך השנה במקום מסוים.

אקלים טרופי - אקלים באזור קו המשווה, המאופיין לאורך כל השנה בטמפרטורות גבוהות מ¹⁸ ובנשמים מרובים.

אקלים ים תיכוני - אקלים המאופיין בקיץ חם ויבש ובחורף קריר וגשום. האזורים שבהם מצוי אקלים זה הם אזורי המעבר בין האקלים המדברי לאקלים הממוזג.

אקלים מדברי - אקלים המאופיין במשקעים מועטים, ובטמפרטורות גבוהות. אקלים מדברי מצוי בעיקר מצפון ומדרום לאזור האקלים הטרופי.

אקלים ממוזג - אקלים המאופיין בהבדלים גדולים בין טמפרטורות החורף וטמפרטורות הקיץ ובשינויים תכופים במזג האוויר היומי. המשקעים יורדים בכל עונות השנה.

אקלים קוטבי - אקלים המאופיין בטמפרטורות נמוכות בכל עונות השנה ובמשקעים מועטים. הטמפרטורה הממוצעת החודש החם ביותר פחותה מ¹⁰.

ב

בליעה - קליטת קרינה על ידי חומר. כתוצאה מקליטת הקרינה עולה הטמפרטורה של החומר.

ברד - גוש קרח בקוטר של חצי ס"מ לפחות, שאין בו חללי אוויר.

בריזה - רוח מקומית הנושבת מהים אל היבשה בשעות היום (בריזה ימית) או מהיבשה אל הים בשעות הלילה (בריזה יבשתית). הבריזה נוצרת כתוצאה מהבדלי טמפרטורות, הנצרים במהלך היממה בין הים והיבשה.

ברק - זרם חשמלי רביעוצמה באוויר, הגורם גם להבזק אור. הברק נוצר כתוצאה מהתפרקות מטענים חשמליים מטגדים. בדרך כלל מצטברים מטענים שלילים בבסיס הענן ומטענים חיוביים בפסגתו ובקרקע. לפיכך נוצרים הבזקי ברק בתוך הענן או בין הענן והקרקע.

ג

גדי חממה - גזים שגורמים לאפקט החממה: בעיקר מים ופחמן דו-חמצני.

גזרה חמה - האזור בשקע חזיתי, שבו מצוי אוויר חם.

גזרה קרה - האזור בשקע חזיתי, שבו מצוי אוויר קר.

גלקסיה - צביר כוכבים.

גראפל - חלקיק משקעים, המצר כאשר טיפות מקוררות ביתר, קופאות על גביש קרח בענן מבלי לאבד את צורתן הכדורית.

גרעיני התעבות - חלקיקים זעירים המרחפים באוויר (כגון: אבק, פית, גבישי מלח וגרעיני

אבקה של צמחים) שעליהם מתחילים אדי המים שבאוויר להתעבות לטיפות וליצור עננים.
גרעיני קיפאון – חלקיקים מוצקים המרחפים בעננים (כגון: גבישי קרח, אבק ופיח), שעליהם יכולות לקפוא טיפות בקירור יתר או אדי מים יכולים לשקוע לגבישי קרח.

ה

הולכה – העברת חום דרך חומר, שבמהלכה מולקולות החומר מזוהרות זו לזו אנרגיית תנועה.

הוריקן (נקרא גם ציקלון או טיפון) – סופה בעוצמת רוח של 130 קמ"ש לפחות, הנצרת בעת דחפתחות שקע עמוק מאוד באוקיינוסים שבאזורים הטרופיים. קוטרה של הסופה הוא מאות קילומטרים. היא מתפתחת ונעה בדרך כלל מערבה. חסופה מאבדת מכוחה ונמוגה כאשר היא מתחילה לנוע מעל לאזורי יבשה. משום כך עיקר מקרה באזורי החוף.

החזרה – שינוי מסלול של קרן אלקטרומגנטית כתוצאה מפגיעת בפני השטח של חומר. החזרה מתרחשת אם הקרן אינה חודרת לחומר.

היגרומטר – מכשיר למדידת לחות, הפועל למשל באמצעות מדידת אורך המשתנה של שערות המתפשטות ומתכווצות עם שינוי הלחות.

היתוך תרמוגרעיני – ההליך שבו גרעיני אטומים קלים מתמזגים לגרעין אטום כבד תוך כדי שחרור אנרגיה.

המראה – הפיכת מוצק, כגון קרח, ישירות לאדים.

הסעה – העברת חום בנוזל או בגז תוך כדי זרימת החומר ממקום למקום.

הפשרה – הפיכת מוצק לנוזל. לדוגמה: הפיכת קרח למים נוזליים.

השקעה – הפיכת אדים ישירות למוצק. לדוגמה: השקעה של אדי מים לקרח.

התאדות – הפיכת נוזל לאדים. לדוגמה: התאדות מים נוזליים לאדי מים.

התבדרות – זרימת אוויר מאזור אחד לכמה כיוונים, בדרך כלל מאזור של רמה ברומטרית כלפי חוץ.

התכנסות – זרימת אוויר מכמה כיוונים לאזור אחד, בדרך כלל לתוך שקע ברומטרי.

התמוככות – שקיעת אוויר מהרום לכיוון הקרקע במצב של רמה ברומטרית.

תתעבות – הפיכת אדים למזל, לדוגמה התעבות אדי מים למים במצב צבירה נוזל.

ז

זמן בינלאומי (C.T.D.) – הזמן בקו אורך 0° (שעובר בעירה גריניץ בבריטניה). בישראל אומנו מקדימים את הזמן הבינלאומי בשעתיים. למשל כאשר השעה 14:00 לפי זמן U.T.C בישראל השעה היא 16:00. כאשר נוחג שעון קיץ בארץ אנו מקדימים בשלוש שעות את זמן C.T.D.

זנית - הנקודה בשמים "הנמצאת" בדיוק מעל לראשנו.

זרם הסילון - רצועה של רוחות חזקות מאוד המופיעות בגובה 10 ק"מ בקירוב, בצורת גליל שרוחבו עד כ-500 ק"מ. זרם הסילון נוצר בעיקר מעל לרמת הסובטרופית ומעל לחזית הקוטבית. לעיתים נוצר זרם סילון גם במקומות אחרים.

ח

חום כמוס - אנרגיה הנקלטת על ידי חומר בעת שהוא משנה את מצב הצבירה שלו ממוצק למזל או מנוזל לגז, מבלי לשנות את הטמפרטורה שלו. אנרגיה זו נפלטת לסביבה כאשר החומר משנה את מצב הצבירה שלו בחזרה מגז למזל או מנוזל למוצק.

חום סגולי - כמות החום הנדרשת לשינוי הטמפרטורה של יחידת מסה של חומר במעלה אחת.

חזית - קו המגע בין שני גושי אוויר שהטמפרטורות שלהם שונות.

חזית התלכדות - מצב שבו התלכדו החזית החמה והקרה, ודחקו את האוויר החם מפני הקרקע כלפי מעלה. כתוצאה מן ההתלכדות משתלט בקרקע אוויר קר על כל השקע.

חזית חמה - מצב שבו גוש אוויר חם נע בשקע לעבר גוש אוויר קר. האוויר החם עולה על האוויר הקר ובאזור החזית החמה יכולים להתפתח ענני ניםבוסטרטוס מפותחים המורידים גשמים. במפות סימפטיות מסומנת החזית החמה בקו אדום ובחצאי מעגלים המורים על כיוון התנועה של החזית.

חזית קוטבית - חזית הנצרת בגבול שבין אוויר קוטבי לאוויר חם יותר, באזור קווי רוחב 30° - 60° .

חזית קרה - מצב שבו גוש אוויר קר נע בשקע לעבר גוש אוויר חם ותופס את מקומו. האוויר הקר דוחף את האוויר החם כלפי מעלה ובאזור החזית הקרה יכולים להתפתח ענני קומולונימבוס מפותחים המורידים גשמים רבים. במפות מסומנת החזית הקרה בקו כחול ובמשולשים המורים על כיוון התנועה של החזית.

חיזוי מספרי - חיזוי מזג האוויר באמצעות מודל, כלומר, תוכנת מחשב המדמה את השינויים הצפויים להתרחש באטמוספירה עם הזמן.

חיזוי סוביקטיבי - חיזוי מזג האוויר על ידי הסקת מסקנות ממפה סינפטיות עכשווית.

ט

טורנדו - סופה קשה מאוד בצורת מערבולת, שקוטרה כמה מאות מטרים. הטורנדו נוצר מתחת לענני קומולונימבוס מפותחים. כאשר ברום האוויר קר בהרבה מאשר סמוך לקרקע ובשכבות שונות של האטמוספירה נשבות רוחות בכיוונים שונים זה מזה.

טייפון - ראו הוריקן.

טיפות בקירור יתר – טיפות מים בעגנים המתקיימות כחזל בטמפרטורה נמוכה מ⁶°C.

סל – התעבות אדי מים מהאוויר על גופים מוצקים.

טרופוספרה – שכבת האוויר שבין הקרקע והסטרטוספירה, אשר עוביה בין 10 ל-18 ק"מ. בשכבה זו מתרחשות תופעות מזג האוויר שאנו מכירים בחיי היומיום.

כ

כוח קוריוזליס – כוח הפועל עקב סיבוב כדור הארץ, וגורם להסטת כיוון התנועה של גופים הנעים באוויר או במים. בחצי הכדור הצפוני ימינה מכיוון תנועתם המקורי ובחצי הכדור הדרומי שמאלה מכיוונם המקורי.

כוכב (כוכב שבת) – גוף שמיימי המורכב מגזים ופולט אנרגיה שמקורה בתגובות תרמוגרעיניות. לדוגמה, השמש היא כוכב.

כוכב לכת – גוף שמיימי הנע מסביב לכוכב שבת. כוכב לכת נראה הודות לאור כוכב השבת המחזיר מפניו. לדוגמה: מאדים הוא כוכב לכת הנע מסביב לשמש.

כפור – קפיאה של אדי מים לקרח שמצטבר על פני השטח כשהטמפרטורה נמוכה מ⁶°C.

ל

לווין גאוסטציארי – לווין הממוקם מעל לקו המשווה ומקיף את כדור הארץ במהירות הסיבוב של כדור הארץ סביב עצמו. משום כך נשאר הלווין כל הזמן מעל לאותה נקודה.

לווין פולארי – לווין הסובב במסלול שעובר דרך הקטבים. לווין כזה חולף רכל רגע מעל לנקודה אחת.

לחות יחסית – היחס באחוזים בין לחות מוחלטת, לבין לחות רוויה במילים אחרות – היחס בין כמות אדי המים המצויים באוויר בפועל, לבין כמות אדי חמים שהאוויר יכול להכיל בטמפרטורה הנתונה.

לחות מוחלטת – כמות אדי המים שמכילה יחידת נפח של אוויר.

לחות רוויה – הכמות המקסימלית של אדי מים, שיחידת נפח של אוויר יכולה להכיל בטמפרטורה מסוימת.

לחץ – הכוח המופעל על יחידת שטח.

לחץ האוויר (באטמוספירה) – הכוח שמפעיל האוויר על יחידת השטח שמעליה הוא נמצא.

מ

מדבר בצל הגשם – מדבר, הנוצר באזור שישנה בו שרשרת הרים המפזירה בינו לבין הים.

מודל (בתהליך חיזוי) - מערכת הדמיה ממוחשבת של תהליכים אטמוספריים באמצעות המודל אפשר לחשב את המפות הסינופטיות והחזויות, ולהפיק בעזרתן תחזיות מזג אוויר.

מחספסה - שכבת האוויר מגובה 50 ק"מ בקירוב עד כ-85 ק"מ. בשכבה זו מתרחשים תהליכי יינון תוצרים בין השאר את זוהר הקוטב.

מיליבר - יחידה מקובלת במטאורולוגיה למדידת לחץ אוויר.

מיקרון - אלפית (1/1000) המילימטר.

מישור המלקה - המישור הורמיוני שעליו סובב כדור הארץ מסביב לשמש.

מפה סינופטית (סינ = בו-זמנית, אופטי = לראות) - מפה הכוללת נתונים על מזג האוויר כפי שנצפו ונמדדו בזמן זהה במקומות שונים המסומנים במפה. על פי נתונים אלה ניתן לסרטט בין השאר מפות סינופטיות המתארות את מערכות הלחץ באמצעות קווים שווי לחץ ואת הטמפרטורות באמצעות קווים שווי טמפרטורות.

מפל הלחץ - הפרש הלחצים בין שתי נקודות.

מפת לחץ - מפה המתארת את לחצי האוויר במרחב.

משקעים - שם כולל לכל מופעי המים (גשם, שלג, ברד וגראופל) הנופלים מן העננים.

]

מיטרון - חלקיק חומר יסודי בלי מטען חשמלי, המצוי יחד עם הפרוטון בגרעין האטום.

נימבוסטרטוס - ענן סטרטוס המוריד גשם.

נפיצה - פיצול קרני האור הלבן לצבעים המרכיבים אותו.

נקודת הטל - הטמפרטורה שאלה יש לקור אוויר (תוך שמירה על לחץ קבוע) על מנת שיגיע ללחות רוויה.

0

סטרטוס - סוג של ענן המצוי בתנאים שבהם גוש אוויר עולה באיטיות ומתקרר במתינות על פני שטחים גדולים, או כאשר אוויר, שאיננו נע, מתקרר במקום הימצאו ומגיע לנקודת הטל.

סטרטוספירה - שכבת האוויר מגובה 18 ק"מ עד כ-50 ק"מ. בשכבה זו מצוי ריכוז גבוה יחסית של גז האוזון, הכולע את חר הקרינה האולטרהוורטגולה המזיקה שמגיעה מהשמש ומונע ממנה להגיע אל פני כדור הארץ.

ספקטרום אלקטרומגנטי - רצף אורני הגל של הקרינה האלקטרומגנטית.

צ

עומם חום - מדד המבטא את התחושה הצפויה של האדם בצירופים שונים של טמפרטורה ושל לחות יהסית.

על-רוויה - מצב שבו כמות האדים באוויר עולה על לחות הרווית במצב זה יכולה להתרחש התעבות של עודף האדים שיהפכו לנוזל, או השקעה של עודף האדים שיהפכו לקרח.

עננים חמים - עננים המורכבים מטיפות מים בלבד.

עננים קרים - עננים שיש בהם חלקיקי קרח.

ערפל - ענן שרסיסו על פני הקרקע.

ערפל הסעה - ערפל הנוצר כאשר אוויר חם ולח מוסע מעל לפני שטח קרים, וכתוצאה מכך הוא מתקרר ומגיע לרוויה.

ערפל הרים - ענן שבסיסו נמוך מפסגת ההר.

ערפל קרינה - ערפל הנוצר בשעות הלילה כתוצאה מהתקררות האוויר הסמוך לקרקע, עקב פליטת חום מהקרקע על ידי קרינה.

פ

פיזור - החזרת קרינה מחלקיקי אוויר קטנים שבמהלכה הקרינה מתפזרת, באופן אקראי, לכל הכיוונים.

פראונים - שם כולל לתרכובות סינתטיות המורכבות מאטומי כלור, פלואור ופחמן ומשמשות בעיקר במערכות קירור ובמכלי תרסיס. הפראונים שמשותחררים לאוויר מגיעים לסטרטוספירה, מתפרקים, ואטומי הכלור שבהם גורמים להרס שכבת האוזון.

פרוטון - חלקיק יסודי הסעון מסען חשמלי חיובי. הפרוטון המצוי יחד עם הנויטרון בגרעין האטום.

צ

צירום (ענן נוצה) - סוג של ענן גבוה המורכב מגבישי קרח בלבד.

ק

קו שווה לחץ (איזובר) - במפת לחץ חלקו המהכר, מקווינו בעלות ערך לחץ זהה.

קווי אורך - קווים דמיוניים המחברות בין הקוטב הצפוני לקוטב הדרומי.

קווי רוחב - קווים דמיוניים מקבילים, המקיפים את כדור הארץ בכיוון מזרח למזרח.

קומולוס - סוג של ענן המצור כאשר אוויר עולה כלפי מעלה. ענן קומולוס אינו מוריד גשם.

קומולונימבוס - סוג של ענן המצור בתנאים שיש בהם עלייה חזקה של אוויר כלפי מעלה. ענן כזה יכול להגיע להתפתחות אנכית של יותר מ-10 ק"מ ולגרום למטרים כבדים ולסופות רעמים.

קפיאה - הפיכת מים נוזליים לקרח.

קרה - מצב שבו טמוך לקרקע יורדת הטמפרטורה מתחת ל-0°C.

קרינה (אלקטרומגנטית) - העברת אנרגיה באמצעות גלים אלקטרומגנטיים.

ך

רדיוסונדה - מכשיר למדידת נתונים מטאורולוגיים ברום תאטמוספירה. הרדיוסונדה מורכבת מבלון הממלא בגז קל (הליום או סיאמן), שאליו מחוברת תרבה נגד משורר וחיישנים לטמפרטורה, לחץ וללחות. את הבלון משחררים לאוויר והנתונים שנמדדים על ידי החיישנים, בדרכו של הבלון למעלה, משודרים לקרקע.

רוחות הסתר - כימי לרוחות הנושבות מאזור קו רוחר 25° לעבר קו המשווה.

רום העיבוי - הגובה שאליו יש להעלות את האוויר כדי שיתקדר לטמפרטורה שבה מתחילים להתעבות אדי המים וליצור עננים.

רחבי הסוסים - כימי לקווי רוחב 25° - 30° שבהם הרוחות חלשות מאוד בגלל השפעת הרמה הסובטרופית.

רכם - במפת לחץ, רמה שצורתה מוארכת.

רמה - אזור שבו לחץ האוויר גבוה מסביבתו.

רמה סובטרופית - רמה ברומטרית המוצרת בקווי רוחב 25° - 30° בכל עומת השנה עקב שקיעתו של אוויר, שעלה באזור קו המשווה זרם אל האזור ברום. הרמה הסובטרופית גורמת להימצאות אוויר חם ויבש באזורים אלה ומנועת היווצרות משקעים. עקב כך נוצרים מדבריות (כגון הנגב). באזורים צפוניים לנגב (כגון מרכז ישראל וצפונה), המושפעים מהרמה הסובטרופית רק בקיץ, מונעת הרמה הסובטרופית היווצרות משקעים בעונה זו.

רמה תרמלית - רמה הנוצרת כאשר לחץ האוויר עולה עקב התקררות האזור שבו נוצרת הרמה.

רעם - גל קול הנוצר בעקבות התחממות והתפשטות האוויר במסלול היווצרות הברק.

ש

שבשבת - מכשיר למדידת כיוון הרוח.

שלג – צבירים של גבישי קרח, השומרים באופן חלקי או מלא על צורתם ויורדים אל הארץ מהעננים. בגלל צורת גבישי הקרח יש בפתיתי השלג חללי אוויר וצפיפותם נמוכה.

שקע – אזור שבו לחץ האוויר נמוך מזה שבסביבתו.

שקע דינמי – שקע הנוצר כתוצאה מזרימה של אוויר במסלול עקום.

שקע חדיתי – שקע שבו שני גישי אוויר – גוש חם (גזרה חמה) וגוש קר (גזרה קרה).

שקע מונסוני – שקע המתפתח מעל היבשות, באזור קווי הרוחב הקרובים לקו המשווה. השקע המונסוני נוצר בעונת הקיץ עקב ההחממות ניכרת של היבשה בהשוואה לים. כתוצאה משקע זה יורדים בעונת הקיץ בדרום-מזרח אסיה גשמים בכמויות גדולות.

שקע קפריסאי – שקע המתפתח בתקופת החורף במזרח הים התיכון ומשפיע במקרים רבים על ישראל בעת תנועתו מזרחה. העננים המתפתחים בו גורמים למרבית המשקעים בישראל.

שקע שרבי – שקע חזיתי המתפתח באביב מעל לצפון-אפריקה ונע מזרחה. השפעתו על ישראל מתבטאת ברוחות דרומיות הגורמות עלייה ניכרת בסמפרטורות. לאזור מעבר החזית חלנה נשבר השרב, ולישראל תוזר אוויר קריר מהים, הגורם לירידה חדה בסמפרטורות.

שקע תרמלי – שקע שנוצר עקב ההחממות מקומית הגורמת להתפשטות האוויר ולירידת הלחץ באזור.

שרב – מהג אוויר יבש וחסם מהרגיל בעונה.

ת

תא הדלי – אזור זרימת אוויר המתקיים בין קווי הרוחב 0° – 30° .

תא פרל – אזור זרימת אוויר המתקיים בין קווי הרוחב 30° – 60° .

תא קוטבי – אזור זרימת אוויר המתקיים בין קווי הרוחב 60° – 90° .

תיקון הלחץ – חישוב שנעשה לאחר מדידת הלחץ במקומות שאינם בגובה פני הים כדי לקבוע מה היה הלחץ בהם, לו היו נמצאים בגובה פני הים.

תרמוספירה – שכבת האוויר מגובה של 85 ק"מ ומעלה. בשכבה זו האוויר דליל מאוד והסמפרטורות גבוהות מאוד.

ביבליוגרפיה נבחרת

- יואב יאיר ברוך זיו, (1993) **מבוא למטאורולוגיה**, האוניברסיטה הפתוחה.
דוד גרשון בני חניק, (1995) **מזג האוויר**, ספריות מעריב.
פנחס בן חובי, (1995) **יסודות המטאורולוגיה ומזג האוויר**, ש. זק.
C. Donald Arrens, (2000) **Meteorology Today** Brooks/cole.

אתרי אינטרנט

אפשר לגלוש לאתרי האינטרנט שבושימה זו דרך האתר שמלווה את הספר. הגישה לאתר זה היא דרך אחת מהכתובות האלה:

<http://dev2.cet.ac.il/gifted/activities/meteor/index.html>
http://www.education.gov.il/techniyot_limudini/malim_techunology.html
www.telem.open.ac.il/mutay/

ידע במטאורולוגיה

ספרים וקורסים במטאורולוגיה ברשת

<http://www.usatoday.com/weather/wfront.htm>
אתר מצוין של USA Today. באתר ספר (www.usatoday.com/weather/wworks0.htm)
המציג נושאים במטאורולוגיה. לעיתים בליווי אנימציות הממחישות את ההסברות.
אפשר לחפש בספר על פי אינדקס (www.usatoday.com/weather/index/windex.htm)
חאתר כולל גם תחזיות מזג אוויר ברחבי העולם ואפשר להפנות בו שאלות לממחה.

<http://www.geog.unc.bc.ca/physgeog/contents/table.html>
אתר של אוניברסיטת אוקנגן בקנדה ובו ספר מקוון בגאוגרפיה פיזית פרוק 7 עוסק במטאורולוגיה.

[http://www2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/home.xml](http://www2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/home.xml)
אתר של אוניברסיטת אילינוי הסוקר מגוון רחב של נושאים במטאורולוגיה. האתר מיועד לתלמידים ולמורים. יש בו פעילויות רבות.
(http://www2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/crcim/act/home.xml)

<http://archive.ncsa.uiuc.edu/Edu/RSE/RSErod/WeatherHome.html>

אתר נוסף של אוניברסיטת אילינוי, הכולל קורס ובו שישה שיעורים במטאורולוגיה, המלווים בפעילויות לתלמידים.

<http://www.cet.ac.il/science/seawind> ע

אתר 'רוח ים' של מט"ח. באתר טקורת נושאים שונים במטאורולוגיה ואפשרות להפנות שאלות למומחים.

<http://web.mscc.huji.ac.il/synlab/About/AboutSYNTAB.files/frame.htm> ע

אתר של האוניברסיטה העברית ובו מידע רב בנושאים שונים במטאורולוגיה וקישורים למידע מטאורולוגי המתמקד באזורם.

<http://www.noaa.gov>

אתר של המכון הלאומי של ארצות הברית לאטמוספירה ולאוקיינוסים (NOAA). אתר עשיר ביותר הכולל הסברים על תופעות מזג אוויר, מוזיקים חדשים ונתונים על מזג האוויר בארצות הברית ובעולם.

אתרים בנושאים שונים לפי סדר הופעתם בספר

הנחשו

http://www.yarden.ac.il/bloss/apod/index_sun.htm ע

אתר של "פרחי מדע" במכללת עמק הירדן ובו מידע ופעילות מיוחדת בנושא השמש

(<http://www.yarden.ac.il/bloss/IAS/huni118/sunspot0.htm>)

<http://umbra.nascom.nasa.gov>

אתר המרכז לניתוח נתוני השמש בנאס"א.

עונות השנה

http://www.yarden.ac.il/bloss/IAS/huni112/open_season.htm ע

אתר "פרחי מדע" במכללת עמק הירדן ובו פעילות בנושא עונות השנה.

<http://kids.msfc.nasa.gov/News/1999/News-equinox.asp>

אתר חינוכי של נאס"א, ובו נושא עונות השנה כולל אנימציה ופעילויות.

שינוי האקלים

<http://aviv.org.il/ecology/green1.htm> **y**

אתר של **רשת אורט** ובו פעילות לימודית בנושא **אפקט החממה**. בנושא זה ישנו חלק באנגלית, הסכיל מידע נוסף בנושא: (http://aviv.org.il/ecology/eac2_t2.htm)

http://www.epa.gov/students/global_warming_us.htm **y**

אתר של **הסוכנות האמריקאית לשמירה על הסביבה (EPA)** ובו נושא **התחממות כדור הארץ**.

<http://www.sitewave.net/pproject/s33p36.htm>

אתר של **מכון אורגון למדע ורפואה**. באתר מידע ותרשימים שונים הממחישים את **התגברות אפקט החממה**.

<http://www.greenpeace.org>

אתר של **הארגון הסביבתי greenpeace** הכולל קריאה **לפעולה למען בלימת שינוי האקלים**, וכן מידע בנושא זה.

אודון סטרטוספירי

<http://web.mac.com/98.ac.il/~oizang/earth/ozone/ozone.htm> **y**

אתר של **מכללת קיי בבאר שבע** ובו קורס הכולל **פעילויות בנושא האוזון**.

http://see.gsfc.nasa.gov/edu/SEES/strat/class/S_class.htm

אתר של **נאס"א** ובו ספר אלקטרוני **בנושא האוזון**.

<http://toms.gsfc.nasa.gov/ozonid/ozonid.html>

אתר של **נאס"א** ובו נתוני **המעקב אחר שכבת האוזון**.

<http://www.atm.ch.cam.ac.uk/tour/>

אתר של **אוניברסיטת קמברידג'**, בבריטניה ובו קורס **בנושא האוזון**.

<http://www.websites.noaa.gov/guide/sciencess/atmo/ozone.html>

אתר של **NOAA** ובו נושא **האוזון**.

עננים

<http://vortex.plymouth.edu/clouds.html>

האתר של קולג' פלימות' בארצות הברית, ובו תמונות של סוגי עננים.

<http://www.atmos.washington.edu/gcg/301/atlas.html>

האתר של אוניברסיטת וושינגטון ובו אטלס עננים.

אל-ניניו

http://www.pmel.noaa.gov/ao/el_nino/nino-home.html

אתר של NOAA, ובו חלק המסביר את תופעת האל-ניניו בליווי נתונים עדכניים.

<http://nsipp.gsfc.nasa.gov/enso>

אתר של נאס"א העוסק בתופעת האל-ניניו כולל הסבר המועד לתלמידים.

(<http://kids.earth.nasa.gov/archive/nino/intro.html>)

מדג אוויר קיצוני – הוריקן, טורנדו וצונד

<http://kids.earth.nasa.gov/archive/hurricane>

אתר של נאס"א בנושא ההוריקן. האתר כולל הסברים, אנימציות של היווצרות הוריקן ותצלומי לוויין של הוריקנים.

<http://www.ncdc.noaa.gov/ol/climate/extremes/2001/hurricanes/hurricane2001.html>

אתר של NOAA ובו מידע ומעקב אחר הוריקנים.

<http://www.crh.noaa.gov/mkx/owlie/owlie.htm>

אתר של NOAA ובו הסברים ודוגמאות לצימור, כיצד לנהוג במצבי מזג אוויר מסוכנים כגון: טורנדו, הוריקן, שטפונות וברקים.

<http://www.tornadopproject.com>

אתר מסתרי ובו מידע רחב היקף בנושא טורנדו.

מפות מזג אוויר, תמונות לוויין ונתונים אקלימיים

להלן אתרים המתמקדים באזורנו או במידע כלל-עולמי.

תמונות לוויין

<http://www.sat.dundee.ac.uk>

אתר של אוניברסיטת דנדי בבריטניה. באתר גישה לתמונות לוויין עדכניות, באיכות גבוהה, מכל רעולם, כולל מאזורנו.

<http://www.nottingham.ac.uk/meteosat>

אתר של אוניברסיטת נוטינגהם בבריטניה. באתר גישה לתמונות לוויין עדכניות מכל העולם, כולל מאזורנו.

<http://www.nemoc.navy.mil/cgi-bin/movie.pl?sat+jpg+10min+600+800+med+vis>

אתר המרכז המטאורולוגי והאוקיינוגרפי של אירופה ובו אנימציה של תמונות לוויין, באור נראה, מאירופה ומאזורים ביממה האחרונה.

<http://www.ssec.wisc.edu/data>

אתר של אוניברסיטת וסקונסין-מדיסון, ארצות הברית. באתר תמונות לוויין שונות כולל עיבוד התמונות למפת טמפרטורות עולמית המתעדכנת מידי שש שעות.
(http://www.ssec.wisc.edu/data/cumip/latest_cmoll.gif)
בולקן אחר באתר מפה מיוחדת של טמפרטורת מי הים, המתעדכנת מידי יום.
(http://www.ssec.wisc.edu/data/sst/latest_sst.gif)

מפות

<http://www.arl.noaa.gov/ready-bin/arlplot1.pl?mcldata=MRP+191+km>

אתר של NOAA, ובו מפות מזג אוויר חזויים מעדכנות, לכל מקום בעולם. בקנה מידה על פי בחירה.

<http://www.uni-koeln.de/mash-nat-fak/geomet/meteo/winfus/wetterkarten.htm>

אתר של המכון העולמי לסביבה וחברה, מריילנד ארצות הברית ובו מפות מזג אוויר עכשווי וחזוי, גם של אזורנו, על פי מודל MRF.

<http://forecast.uoa.gr/forecastimg.html>

אתר של אוניברסיטת אתונה ובו מפות מזג אוויר, עכשוי וחזוי של אזורנו.

<http://www.uni-koeln.de/math-nat-fak/geomet/ueteg/winfos/wetterkarten.htm>

אתר של אוניברסיטת קולן בגרמניה ובו מפות מזג אוויר עכשוי וחזוי, גם של אזורנו.

http://www.cnn.com/WEATHER/Europe/forecast_map.html

אתר ה-CNN ובו מפה סינופטית חזויה ליום שלמחרת.

תחזיות מזג אוויר

<http://www.ims.gov.il> y

אתר של השירות המטאורולוגי הישראלי ובו תחזית ליממה הקרובה וכמות גשם מצטברת מתחילת העונה.

<http://www.weather.co.il> y

אתר פורטל וואלה ובו תחזית מזג האוויר.

<http://asia.cnn.com/WEATHER>

אתר ה-CNN ובו מזג אוויר נוכחי ומזג אוויר תחזי בערי העולם.

אקלים

<http://www.worldclimate.com>

נתונים אקלימיים על 85,000 מקומות בעולם.

<http://www.cbs.gov.il/shnatonhnew.htm> y

אתר הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה הכולל את השנתון הסטטיסטי של ישראל ובו נתונים אקלימיים ונתוני זיהום אוויר בארץ. כמו כן אפשר למצוא נתונים אקלימיים ונתונים על עונות המשקעים האחרונות בחלק אחר של האתר בכתובת:

<http://www.cbs.gov.il/lmsh.cgi>

א

אדים 78-73, 41

אחון 43, 33-27

אורך גל 37

אטמוספירה 70, 84, 81, 63, 51-27, 18

73, 86-85, 99, 103, 129, 168, 183-168

176-173

איזבור (קו שווה לחץ) 61

אינברסיה (היפוך) 128

אל-גניני 117-119

אנמוצקט 66

אפיק 175, 120, 61

אפיק ים סוף 814, 144

אפיק פריס 141, 139-128

אפקט החממה 48-43, 41, 28

אקלים 132-135, 117-103, 19

אקלים טרופי 116, 104

אקלים ים תיכוני 136

אקלים מדברי 136, 105

אקלים ממוזג 120, 106

אקלים קוטבי 116, 106

ב

בלעה 40, 38, 34

ברז 92-91

ברומטר 168, 68

בריזה 173, 41, 142-1

ברק 68-67

ג

גד חממה 44

גראופל 98, 93, 91

גרעיני התעבות 89, 83-82

גרעיני קיפאון 95, 83

גשם 101, 98-90, 38, 73, 48

גשם חומצי (ראו משקעים חומציים) 68

גשם מלאכותי (ראו הגדרת הגשם)

ה

הגברת הגשם 96-84

הולכה 40, 38

הריון 134-131

החזרה 49, 47, 45, 3842

הידרומטר 70

היתך תרמו-גרעיני 11

המראה 95, 74-73

הסעה 40, 38

הפשרה 74-73, 43

השקעה 93, 91, 88, 74, 73

התאדות 132, 83, 76-79, 75-73, 28

התבדדות 175, 70, 85

התכנסות 176, 70, 86

התמוככות 158, 136

התעבות 74-73, 77, 84-82, 88, 90-89

131, 128, 83

ז

זמן בינלאומי (UTC) 158

זנית 108, 21

זרם הנלף 115

זרם הסילון 109-100

זרם טרו 116

ח

חום כמס 122, 96, 74, 41

חום סגולי 114

חזית 106, 64, 124-120, 148-146, 148-143

175, 187, 164

חזית התלכדות 121

חזית חמה 160, 124-121

חזית נייחת 120

חזית קוטבית 108

חזית קרה 154, 153, 149-147, 124-121

160

חיזוי מספרי 188, 162-101

חיזוי מאביקסירי 180

ט

טאנח 130-127

טיימן (ראו הוריקן)

טיפות בקיור-יתר 83

טל 75

טמפרטורה 46-33

טרופוספירה 108, 39

כ

כוח החיכוך 175, 129, 90, 65, 83

כוח קורנוליס 84-62, 105-104, 108, 108

141, 117

כוכב (כוכב שבת) 9

כוכב לכת 12, 8

כסר 189, 77-78

ל

לזין גאוסטצברי 163

לזין פולארי 183

לחות יחסית 82-76

לחות מוחלטת 77-78

לחות רדפה 89, 77-76

לחץ 56-63

לחץ אזור 161, 169, 85-84, 80-55

מ

מדבר בצל הגשם 138

מודל חיזוי 182-161, 133, 45

מחשפה 34

מיליבר 162, 168, 131, 127, 51, 55

מישור העלוקה 20, 13

מכ"ם מטאורולוגי 164, 96

מפה סימפטית 167, 181-160

מפל הלחץ 62-61

מפת לחץ 160, 69-68, 64, 32-61

משקעים 101, 97-90, 76, 44, 33, 22

138-135, 122, 116, 117, 113, 108, 106

י

נימבוסטרטוס 122-121, 88-87

נפיצה 49

נקודת הסל 77, 81

כ

כסדרטוס 122, 88-87

כטרטוספירה 104, 83, 30-28

סופות חול 147, 168

ספקטרום אלקטרומגנטי 57

ע

עומס חום 80-79

על-רוויה 76

עננים 88-82, 70, 48, 45, 41-40, 33, 30, 114, 115, 113, 104-106, 98-87, 96-90

147-146, 144-143, 138, 132, 129, 122

168, 164-163, 160-159

עננים חמים 94-93, 90

עננים קרינו 93, 90-81

ערפל 89

ערפל הסעה 68

ערפל הרים 69

ערפל קרינה 88

פ

פיזור 89

פראונים 28

צ

צירוף (ענן נוצה) 147, 122, 88-87

ק

קו שונה לחץ ואיזובר 68, 61

קווי אורך 18

קווי רוחב 16

קומולונימבוס 122-121, 87, 87-86

147, 132, 127

קומולוס 67-88

קפיאה 93, 81, 74-73

קרה 169

קרינה [אלקטרומגנטית] 41, 37-36

קשת 49-48

ר

רדיוסונדה 169

רוח 106-105, 84, 78, 88, 82, 44, 30

108, 113, 117, 128, 1301-132, 138, 141

106-167, 158, 147, 144

"רוחות הסחר" 106

רום העיכוי 88

"רוחבי תאונים" 106

רכס 175, 61

רמה 113, 108-105, 70, 65, 61, 53

167, 154, 147, 141, 118

רמה סובטרופית 147-146, 138, 108

רמה תרמלית 113

רעם 98, 97

ש

שבשבת 88

שיטפונות 168, 144

שלג 88, 84, 83, 91-90, 74, 40, 38, 74

168, 164-163, 161-160

שקע 118, 109, 84, 70, 66, 53

144, 143, 141, 139-138, 138, 132, 129

168-167, 163, 160, 157, 150, 147-146

175-173

שקע דינמי 175, 146, 120

שקע ודחית 146, 123-120, 106, 86, 84

153, 147

שקע מונסוני 138, 113

שקע קפריסאי 147

שקע שרבי 164-163

שקע תרמלי 174-173, 146, 113

שורב 154-153, 139

ת

תא הדלי 104

תא פרל 108

תא קוטבי 108

תיקון הלחץ 61

תרמוספירה 34

רשימת המקורות לתצלומים

תודם נתונה לצלמים ולמוסדות על הרשות להשתמש בתצלומים בספר זה.
כל הזכויות לתצלומים שייכים לצלמים ולמוסדות.

אלעזר גנור	83
אנה סוריאנו	27 (למעטה)
ברוך גיאן	141, 148, 153 (למעלה)
דאב שטסל	6 (רביעי מלמעלה), 42, 48, 51, 52, 58, 66, 72, 78, 87 (באמצע), 93 (משמאל), 94, 106 (למעלה), 108, 143, 150, 153 (למטה), 159, 161, 169, 170 (ראשון מימין) 105 (למעלה)
נטע עזרי	7 (שלישי מלמעלה), 39, 87 (למעלה מימין), 89, 170 (רביעי מימין)
צ'פי פסחוביץ	
לשכת העיתונות הממשלתית	93, 135, 145, 151, 170 (שלישי מימין)
נאס"א	8 (שני מלמעלה), 14, 31, 108, 117
רוטרם ישראל	7 (שני מלמעלה), 22, 45, 113, 118, 131, 133, 134
שח"ם מקורות	95, 164 (למטה)
ASAP/BETTMANN CORBIS	56
ASAP/SPL	37, 91, 97 (למעלה)
CORBIS	6 (שלישי מלמעלה וחמישי מלמעלה), 50, 87 (למעלה משמאל), 92, 97 (למטה), 128
DGITAL VISION	7 (ראשון מלמעלה), 9, 107
PHOTO DISC	עטיפה, 8, (ראשון מלמעלה), 8, 34, 102
ROYAL MAIL	30, 86
THE UNIVERSITY OF NOTTINGHAM	7 (רביעי מלמעלה), 164 (למעלה)

מזג האוויר הוא תופעת טבע שאותה חווה האדם כל העת ואורחות חייו מושפעות ממנו. בספר לקראת התחזית כלולים פרקים נבחרים במדע המטאורולוגיה, העוסק בחקר תופעות מזג האוויר. דגש מיוחד מושם בספר על מזג האוויר בישראל, יחד בו פרק לנושא "חיזוי מזג האוויר", וניתנים בו לתלמידים כלים הדרושים לפירוש מידע מטאורולוגי ולהבנת תחזית מזג האוויר.

את פרקי הספר מלווים קטעי הרחבה. בחלקם מוסברים מושגי יסוד שונים (בעיקר מתחום הפיזיקה), הדרושים להבנת תופעות מטאורולוגיות, ובקטעי הרחבה אחרים מתוארות תופעות מטאורולוגיות מיוחדות. הספר כולל גם הצעות לניסויים הממחישים תופעות מטאורולוגיות, וכן פעילויות באינטרנט ושאלות.

הספר נועד לתלמידי בית הספר העל-יסודי הלומדים את המקצוע מדע וטכנולוגיה בחברה (תוכנית הלימודים מוטיב).

עיצוב העטיפה: גדעון דן

בחזית העטיפה: ענני גשם בשקע ברוחמרי מעל האוקיינוס (צילום לווין)



"מעלות" הוצאת ספרים בע"מ



0 01820001156 6
דאנאקוד 182-1156