

סיכומים לקורס הסביבה בה אנו חיים

ד"ר דיאנה לאופר, ד"ר שמואל מרקו, סמסטר ב' 2009

שיעור 1: אטמוספירה כדה"א

מושגים:

אטמוספירה: השכבה המגיעה עד גובה 100 ק"מ מהקרקע. הלחץ האטמוספרי בגובה פני הים: 1 אטמוספירה = 760 מ"מ כספית. האזור בו מתרחשים רוב תהליכי מזג האוויר הוא ההמוספירה, בערך 20 הק"מ הראשונים של האטמוספירה. **מזג אוויר:** תהליכים יומיומיים, חיזוי, טמפרטורה, לחץ, משקעים, ענני, רוחות. **אקלים:** תהליכים אזוריים, הסתכלות על טווח ארוך (30 שנה).

הרכב האטמוספירה:

- הרכב גזי: בערך 21% חמצן (O_2), 78% חנקן (N_2), ו-1% ארגון (Ar). 0.04% - גזים אחרים.
- חומרים נוספים: מים, קרח, אירוסולים טבעיים, חומרים מזהמים, אבק, מלח ים.
- המים באטמוספירה:** כמות המים באטמוספירה משתנה בין 0 ל-4 אחוז, ומקורם בתהליכי נידוף. מהווים מרכיב משמעותי בתהליכים אטמוספיריים ומאזן קרינה.
- אירוסולים באטמוספירה:** חלקיקים קטנים באטמוספירה, בעלי תפקיד חשוב בבניית עננים. מקורם הן בתהליכים טבעיים – אבק, הרי געש, נבגים, מקורות אורגניים, והן בתהליכים לא טבעיים – פעילות תעשייתית, שריפות.
- האוזון:** מרכיב האטמוספירה שעיקרו בגובה 25 ק"מ מהקרקע, חלק מקורו בזיהום תעשייתי. משתרע על פני רצועת גובה של 8 ק"מ.

מקור האטמוספירה והמים:

- שחרור מים וחומרים נדיפים בהתפרצויות וולקניות
- הגעת חומרים נדיפים ע"י שביטים ומטאוריטים במשך 3.8 מיליארד שנה – תהליך ה-*impact erosion*.
- שביט:** גוש קרח, אבק, גז, וחומרים אורגניים. מקורם בקצה מערכת השמש, שם נוצרו בטמפרטורות נמוכות לקפיאה ויצירת קרח. בהגיעם למערכת השמש מביאים עמם חומרים נדיפים. גודל גרעיני שביטים נע בין 10-300 ק"מ, הילה מגיעה עד קוטר של 10,000 ק"מ.
- מטאוריט:** סלעים / גושי מתכת הפוגעים בכדה"א. יכולים להכיל תרכובות פחמן, ובכך לתרום לחימום כדה"א. גודלם יכול להגיע לקילומטרים.
- מטאור:** גוף חולף שנשרף באטמוספירה, כולל כל גוף שקטן מכמה עשרות ס"מ.
- אסטרואיד:** נמצאים בחגורה בין מאדים לצדק, גודלם עד 1000 ק"מ.
- הרכב האטמוספירה שונה מהרכב פליטת הרי הגעש, מה שמעיד על כך שחייב להיות מקור חיצוני – שביטים. לא ידוע האם רוב המים בכדה"א הגיעו ממקור חיצוני או שהיו לכודים בסלעים שיצרו את כדה"א.

התפתחות האטמוספירה:

- החמצן הופיע באטמוספירה לפני כ-2 מיליארד שנה, ועמו הופיעו החיים מחוץ למים, על היבשה. בחיפוש חיים מחוץ לכדה"א, מחפשים בין היתר חמצן כאינדיקציה לחיים. תאריך הופעת החמצן באטמוספירה נעשה ע"פ תאריך שכבות סלע בהן נראו תהליכי חמצון.
- תרומת האדם: החל מהמהפכה התעשייתית (~1750) החל האדם לתרום לאטמוספירה, בעיקר מתעשיית הנפט והחקלאות.
- האטמוספירה מושפעת ומשפיעה: חיים, קרח, אוקיינוסים, פני השטח, צמחייה. גידול אוכלוסיית האדם, התיישבות בחופים, צריכת חומרי גלם – כל אלו גם כן גורמים משפיעים ישנו גידול אקספ' באוכלוסיית האדם החל מתקופת המהפכה התעשייתית.

גורמים המשפיעים על האקלים:

- דוח ה-*IPCC*: דוח הסוקר תרומת גורמים שונים להתחממות הגלובלית. ב-50 השנים האחרונות רואים עליה ממוצעת של חצי מעלה, וכמו כן עליה במזהמים: CO_2 , מתאן, אירוסולים.
- מיקום כדה"א סביב השמש: כדה"א סובב במסלול אליפטי סביב השמש, בו חלים שינויים קטנים המשפיעים על האקלים.
- פעילות השמש – *space weather*.
- התפרצויות הרי געש – המביאות לפיזור אבק ברחבי כדה"א.
- הצטברות גזי חממה – פעילות האדם.
- אירוסולים.
- שכבת האוזון.
- פגיעות שביטים ומטאוריטים.
- פעילות האדם: למשל חשש מחורף גרעיני בעקבות מלחמות, זריקת כמות אבק גדולה לאטמוספירה וחסידת קרינת השמש.
- שריפות.

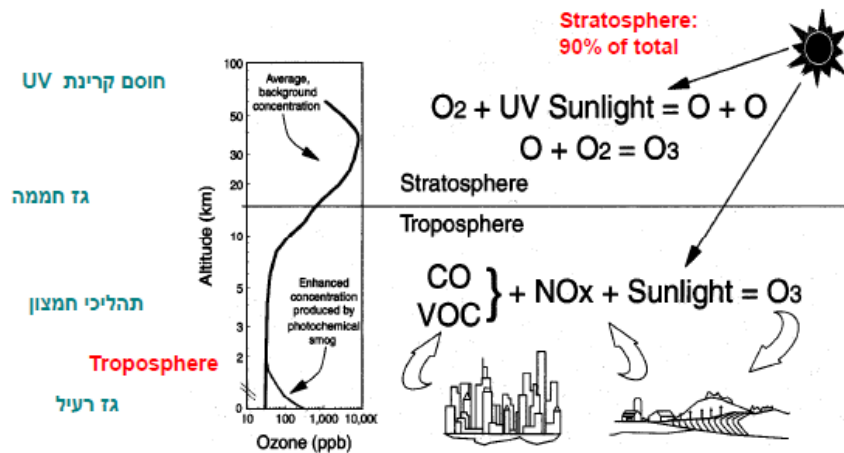
עוד על התחממות גלובלית:

- מעגל ההתחממות: עליה בטמפרטורה מביאה לעליה בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה, המביאה לעליה בטמפרטורה.
- השפעות:
- עליה בכמות החומרים המזהמים וריכוז ה- CO_2 .
- עליית מפלס הים בשל המסת קרחונים.
- נסיגות קרחונים.
- עליית כמות אדי המים באטמוספירה.

- מז"א קיצוני : עלייה בעוצמות סופות ההוריקן
- למשל.
- שינוי במשקעים . שינוי בהתפלגות הממטרים :
- אזורים מסויימים הופכים צחיחים בעוד אחרים מוצפים בגשם, משפיע על שינויים בצמחייה.
- לאורך ההיסטוריה של כדה"א רואים מחזוריות של פרקים של התחממות גלובלית, אך החשש כיום הוא שפעילות האדם תפגע במחזוריות והטמפ' לא יתאזנו בעתיד.
- עליית גזי חממה נוספים : מתאן, גופרית, תחמוצות חנקן.
- אפקט החממה : עליית ריכוז ה- CO_2 גורמת ל"אטימה" של החום ע"י האטמ' המביא להתחממות כדה"א.
- מקורות ה- CO_2 : תעשייה, כריתת יערות, שריפות. 46% נקלט באטמ', 29% בצמחייה ו-26% באוקיינוסים. עלייה בריכוז ה- CO_2 שנקלט באוקיינוסים משפיע על חומציות האוקיינוסים ובעלי החיים החיים בו
- פתרונות מוצעים בדוח ה-IPCC :**
- איסוף ה- CO_2 הנפלט מהתעשייה ולכידתו במלכודות תת קרקעיות או תת אוקייניות ישנם מחקרים על זמן חיים של CO_2 במלכודות כאלו.
- הפיכת CO_2 למתאן ושימוש לאנרגיה.
- הסכם קייטו (2005) : הסכמים בין מדינות הכוללים הגבלת פליטת גזי חממה , ייעור, שימוש במקורות אנרגיה פחות מזבמים כגון גז , אנרגיה סולרית ופיתוח טכנולוגיות חדשות לשם כך, טיפול בפסולת.
- השלכות עליית מפלס הים בישראל :**
- רוב ההתיישבות בארץ והפעילות התעשייתית היא לאורך החופים. נזקי עליית מפלס הים בישראל:
- התמוטטות מצוקים.
- הגברת תדירות הצפות.
- המלחת מאגרי מים.
- פגיעה בכלכלה (קרקעות, תשתיות, נמלים, אתרי תיירות).
- מחלות זיהומיות.
- שיעור 2 : תהליכי מזג אוויר :**
- מבנה האטמוספירה :**
- האטמ' מחולקת ל-4 חלקים עיקריים :
- טרופוספירה (הקרובה ביותר לקרקע) : איזור מזג האוויר, מכילה 80% ממסת האטמ', גובה בין 0-20 ק"מ, הטמפ' יורדת עד 50- מעלות (ככל שעולים הרחק מהקרקע).
- גבול : טרופופאוסה.
- סטרטוספירה : עד גובה 50 ק"מ, מכילה 20% מהגזים ומעט מים. הטמפ' קבועה עד גובה 25 ק"מ, שם עולה הטמפ' מ-50- ל-15- מעלות בשל בליעת קרינה אולטרא-סגולה מהשמש ע"י שכבת האוזון בגובה 25 ק"מ.
- גבול : סטרטופאוסה.
- מזוספירה : מ-50 עד 85 ק"מ, הטמפ' יורדת מ-15- ל-120- מעלות, לחץ נמוך (0.01 mb), עננים דלילים (noctilucent).
- גבול : מזופאוסה.
- תרמוספירה : עד גובה 700 ק"מ, שכבה זו בולעת את רוב הקרינה, זהר הקטוב מתרחש בה. אקסוספירה : עד 10,000 ק"מ.
- יונספירה :** שכבה שנטענת כתוצאה מפגיעה חלקיקים המגיעים מהשמש. שכבה זו עבה בצד היום ודלילה בצד הלילה, והיא זו המאפשרת שידורי רדיו בין קצוות שונים בעולם.
- 50% מהאטמ' עד גובה 5 ק"מ, 90% עד גובה 15 ק"מ.
- הטמפ' יורדת עם עלייה בגובה, והלחץ יורד אקספוננציאלית – אוויר דליל יותר (פחות חמצן וקשה לנשום).
- שכבת האוזון :**
- שכבת האוזון מגינה מפני קרינה אולטרא סגולה, היוצרת שכבה זו, ובכך מתאפשרים חיים בכדה"א. סוגי הקרינות :
- UVA : 320-400 ננומטר, לא נבלעת באוזון ומגיעה קצת עמוק יותר באטמ'.
- UVB : 280-320 ננומטר, קרינת ה-UV המגיעה מהשמש ונבלעת באוזון. קרינה זו גורמת נזק ל-DNA, מלנומה ומחלות עור אחרות.
- UVC : אורכי גל קצרים מ-280 ננומטר, קרינה הנבלעת ע"י חמצן מולקולרי ואוזון בשכבות הגבוהות יותר באטמ'.
- הבעיה :** צפיפות שכבת האוזון משתנה – ה"חור" באוזון.
- ירידה בצפיפות נגרמת מתהליכים טבעיים כגון שינויי עונות ופירוק האוזון כתוצאה מהתנגשות עם יוני OH המגיעים מהמים, ומפעילות האדם : נוזלי קירור למזגנים, תרכובות CFC הנלכדות בעננים ומפרקות את האוזון.

יצירת אוזון: יצירת מולקולות O_3 : היווצרות טבעית ע"י קרינת UV מהשמש – המפרקת את מולקולות החמצן לאטומים בודדים, ואלו מתחברים למולקולות חמצן שלמות ליצירת האוזון. היווצרות מלאכותית – תהליכים כתוצאה מזיהום, יצירת שכבת אוזון "רעה"; VOC – חומרים אורגניים נדיפים הנפלטות מדלקים, עצים וכו' הם חלק מהגורמים ליצירת אוזון רע.

Tropospheric and Stratospheric OZONE



חומרים אורגניים (volatile organic compounds) -VOC

14

הרס האוזון: פירוט תהליכים כימיים במצגת (שקופית 15 במצגת שיעור 2).

אקלים גלובלי:

מעבר אוויר מהאזורים החמים במשווה לכיוון הקטבים גורמים המשפיעים על הסירקולציה הגלובלית:

- מיקום על פני כדור הארץ.
- עונות השנה (מיקום כדור הארץ ביחס לשמש).
- כמות קרינת השמש.
- רוחות.
- כוח קוריאווליס של סיבוב כדור הארץ.
- תכולת המים באוויר.

רוב תהליכי המזג האוויר העיקריים נקבעים ע"י כמות אדי המים באוויר וכמות הקרינה.

טמפרטורת הארץ ואפקט החממה:

כדור הארץ קולט קרינה, שחלקה נר אית וחלקה אינפרא-אדום. ללא אטמוספירה כדור הארץ היה קר ונטול חום, בטמפרטורה של -27 מעלות. גזי החממה מביאים לעליית טמפרטורה ממוצעת של 15 מעלות.

אלבדו:

- מידת ההחזרה של קרינת השמש של משטח או גוף, היחס בין כמות הקרינה שגוף פולט לכמות שפגעה בו (נמדד באחוזים).
- יחס זה תלוי גם בזווית פגיעת הקרינה. למשל: שלג הוא בעל אלבדו של עד 90%, בעוד פני האוקיינוס – אלבדו נמוך. אלבדו ממוצע של כדור הארץ: 31-39% (כך כתוב במצגת, בשיעור אמרה 30% כולל האוקיינוסים), ירח: 12%. אלבדו של גופים לווייניים ואסטרואידים יכול להגיע על הרכב פני השטח שלהם (ביחוד תכולת קרח).

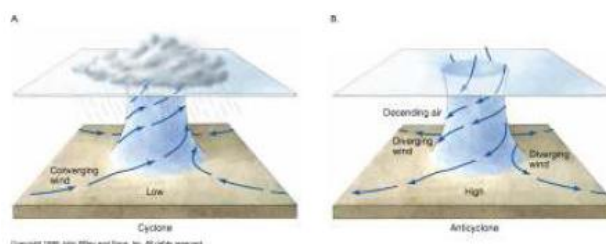
השפעות העננים: צפיפות עננים גבוהה יכולה להחזיר כמות גדולה של קרינה מהשמש, אך מצד שני גם יכולה למנוע מקרינה הנפלטת מכדור הארץ לעלות מעלה. לכן יכול להיות בהיר וקר – קרינה נפלטת לחלל, או מעונן וחם.

אפקט החממה: גזים מזהמים גורמים להחזר קרינה לכדור הארץ וגרימת חימום נוסף.

מדידות מזג האוויר: מדידות מזג האוויר נעשות ע"י לוויינים, מטוסים, תחנות מדידה, בלונים חיווי. לוויינים שונים מודדים גבהים שונים באטמוספירה. על הקרקע נמדדת כמות הגשם, לחות. מדידות ראדר לקצב התקדמות עננים – לא לשים דגש עם נקודות אלו.

עונות:

- קיץ הוא התקופה שהחלק הצפוני של כדור הארץ פונה לשמש, וחורף – החלק הדרומי. התפלגות הטמפרטורה שונה בין חורף לקיץ, כמו גם הזווית בה רואים את השמש: בחורף המש נמוכה, ובקיץ יותר גבוהה – נראית יותר זמן בשמים.
- אוויר חם דליל יותר מאוויר קר, ולכן עולה מעלה. כמו כן אוויר קר מחזיק יותר אדי מים.



האוויר נע מלחץ גבוה ללחץ נמוך.

שקע ברומטרי: אזור לחץ נמוך (מסומן באות L) שסביבו לחץ גבוה. האוויר מתכנס פנימה מאזור הלחץ הגבוה לאזור הלחץ הנמוך, ובשל כוח קוריוליס מוסט ימינה (מסתובב נגד כיוון השעון בחלק הצפוני של כדה"א), ותהליך זה גורם לעליית האוויר. עליית האוויר גורמת להתקררותו ויצירת עננים ומשקעים, רוחות חזקות, חזיתות (יפורט בהמשך).

רמה ברומטרי: אזור לחץ גבוה (מסומן באות H) שסביבו לחץ נמוך. האוויר יוצא החוצה מאזור הלחץ הגבוה לאזור הלחץ הנמוך, ובשל כוח קוריוליס מוסט ימינה (מסתובב עם כיוון השעון בחלק הצפוני של כדה"א), ותהליך זה גורם לירידת אוויר. ירידת האוויר גורמת להתחממותו ולכן עננים מתאדים ומז"א בהיר, רוחות חלשות, יבש.

אפיק ברומטרי: שולי השקע, אוויר קר.

רכס ברומטרי: שולי רמה, אוויר חם.

כוח קוריוליס: סיבוב כדה"א, המשפיע על השקעים והרמות

- השקעים נוצרים באזורי המפגש בין גושי אוויר חם שמקורם סובטרופי עם גושי אוויר קר המגיעים מהקטבים
- חיכוך עם הקרקע: ככל שעולים לגובה כך מהירות הדחף עולה, וזה משפיע על כיוון השקעים והתקדמותם.

צירקולציה גלובלית:

תאים: יחידות סגורות של סירקולציה של אוויר, נוצרים בגלל כוח קוריוליס.

- **תא הדלי (קווי רוחב 30-0):** אוויר חם עולה בקו המשווה, בעליה מתקרר, ובשל תנועת כדה"א יורד בקו רוחב 30. בירידה האוויר מתחמם חזרה ואז מונע:

○ צפונה ע"י רוחות מערביות (שנושבות מזרחה).

○ דרומה חזרה לקו המשווה ע"י רוחות מזרחיות (שנושבות מערבה).

כיוון שבקו רוחב 0 יש עליית אוויר, איזור זה מאופיין ביערות גשם. כיוון שבקו רוחב 30 יש ירידת אוויר, אזור זה מדברי.

- **תא פרל (60-30):** מפגש גושי אוויר קרים וחמים: אוויר חם שמגיע מקו רוחב 30 נפגש עם אוויר קר שמגיע מהקטבים בקו רוחב 60, ולכן האוויר עולה, ולפיכך אזור זה מאופיין ביערות עד.

- **תא פולרי (90-60):** מעל הקטבים האוויר השוקע זורם דרומה.

- **זרימה סילונית:** בגבולות התאים בגובה 6-10 ק"מ מתקבלת זרימת אוויר חזקה, מאופיין בעננות גבוהה ודלילה (ענני צירוס). הזרימה בקו רוחב 30 נקראת זרימה סילונית סבטרופית, ובקו רוחב 60 – זרימה סילונית פולארית.

מונסון: זרימות אוויר עונתיות קבועות באזור הודו ודרום אסיה בעקבות הפרשי טמפרטורה בין הים ליבשה. יכול להיווצר בעונה יבשה ועונה גשומה:

- בקיץ מתהווה מסת אוויר חם ביבשה ביחס לאוקיינוס, ולכן יש זרימת אוויר לח מהאוקיינוס ליבשה (מלחץ גבוה לנמוך). בעליית האוויר הלח לכיוון הימליה האוויר מתקרר ונוצרים גשמי מונסון.
- בעונת החורף תופעה הפוכה, אז מתהווה זרימת אוויר יבשה, קרה ודלה בלחות מהיבשה דרומה לאוקיינוס.

מזג האוויר בישראל:

- בקיץ – אפיק עונתי מהמפרץ הפרסי, שלוחה של מערכת המונסון ההודית
- בחורף – שקעים ורמות מהים, למשל שקע קפריסאי: שקע המתרכז באזור קפריסין, וישראל מקבל רק את שולי השקע – ומעט גשם.
- אביב וסתיו – אפיק ים סוף או שקעים שרביים מאזור לוב

תהליכי מז"א לא בכדה"א:

בצדק ושבטאי יש 10 תאי הדלי (תאי מז"א) וזאת כיוון שסיבובם מהיר מאוד (10 ש' ביממה).

מפגש בין גושי אוויר: חזית:

חזית נוצרת כאשר שני גושי אוויר (קר וחם) נפגשים:

- חזית קרה – האוויר הקר מתגבר על האוויר החם. האוויר החם עולה מעל הקר (בגלל שצפיפותו נמוכה), נוצרים עננים דלילים.
- חזית חמה – אוויר חם דוחף את האוויר הקר ומתערבב איתו – נוצרים עננים מרובים.
- מצב ביניים.

שיעור 3: אירוסולים ועננים:

השינוי במאזן הקרינה:

כמות הקרינה משתנה ככל שמצפיים מאזור המשווה – הקרינה מתפרשת על פני שטח רחב יותר ולכן ישנם שינויי טמפרטורה. הקרינה במשווה היא פי 2.5 מאשר בקטבים.

אקלים בישראל:

האקלים בישראל קשה לחיזוי כיוון שמושפעת הן מהצפון ומהים והן מהדרום המדברי. מרכז הארץ הוא אזור צחיח למחצה, ורוב תהליכי מז"א קורים בארץ מקו אשקלון צפונה.

צבע השמיים:

צבע השמיים מתקבל ע"י פיזור האור ע"י מולקולות וחלקיקים באוויר. אור כחול מתפזר בעוד השאר מוחזר או נבלע באוויר. כאשר האוויר מזוהם גם האור האדום עובר. בזמן שקיעה האור עובר תווך גדול יותר ולכן גלים ארוכים יותר עוברים מאשר בשיא היום, וכך השמים נצבעים אדום.

הילה: sundog, נוצרת סביב השמש או הירח, עקב עננים גבוהים בהם גבישי קרח המפזרים את קרני האור.

פיזור האור בעננים: קרני האור העוברים דרך ענן מתפזרות ע"י טיפות המים בענן.

אירוסולים:

- חלקיקים מוצקים ונוזליים באטמ' שאינם טיפות ענן וגשם, בעלי תפקיד חשוב ביצירת עננים
- נוצרים מתהליכים טבעיים, כגון: אבק, מלח מהים, התפרצויות הרי געש, שרפות, ומתהליכים מלאכותיים: תעשיות, שריפות מכוונות וכו.

השפעת האירוסולים:

זיהום הגורם לעלייה בכמות האירוסולים מביא להשפעה על בריאות הציבור, גשם חומצי, נשיאת חיידקים.

הצעות להקטנת הזיהום:

- קבירת CO_2 .
- עצים מלאכותיים לקליטת מזהמים.
- השמת קולטים ענקיים מעל כדה"א שיסיטו או יחזירו את קרינת השמש, ובכך תהיה פחות קרינה על כדה"א.
- פיזור SO_2 או עשן דליל מעל העננים כדי לחסום את קרינת השמש – פתרון זה לא רצוי כיוון שהורס את השכבה העליונה של האטמ'.

סוגי אירוסולים:

חלקיקי צמחים, אבק, מלח מהים. סולפטים מהרי געש, חלקיקים אורגניים למשל משריפות כ-20% בערך מקורם מפעילות האדם. גודל החלקיקים מגיע עד 10 מיקרון.

השפעה ישירה על האקלים:

- חסימה פיזית של הקרינה ע"י שכבות אירוסולים – יצירת אפקט חממה: גם חסימת קרינה המגיע מהשמש, וגם חסימת קרינה היוצאת מכדה"א והחזרתה לכדה"א. לכן ימים מאובקים הם בד"כ חמים.
- כניסת אבק לים ושקיעתו באוקיינוסים מכניס מינרלים לאוקיינוסים ומעודד צמיחת אצות פלנקטון הקולטות CO_2 .
- התפרצויות הרי געש הגורמות לזריקת אירוסולים רבים לאטמ' , גורמים לחסימת קרינה והתקררות. דוגמא: התפרצות פינטובו ב-91, שגרם להתפרצות SO_2 והתקררות גלובלית.

השפעה לא ישירה:

משפיעים על מבנה, סוג וזמן יצירת עננים: מצד אחד חיוניים ליצירת עננים, אך מצד שני יותר מדי אירוסולים וחום מונעים יצירת עננים אירוסולים רבים גורמים להרבה טיפות מים קטנות המתעבות על האירוסולים, נוצרים עננים רזים עם זמן חיים ארוך מאשר עננים עם הרבה מים. עננים כאלו דחוסים ועל כן חוסמים את קרינת השמש וקרינה מכדה"א לא יכולה לצאת. כך עננים אלו יוצרים התקררות, אך אדי מים המצטברים באטמ' יגרמו להתחממות. התפתחות עננים אחרים בסביבה יצרו עננים עם יותר מים בתוכם דבר שיביא ליותר גשם.

זיהום:

- מספר רב של טיפות, עד פי 8 מאשר כאשר אין זיהום.
- פחות גשם מאשר כשאינן זיהום.
- עננים צפופים לעומת עננים דלילים יותר.
- זמן חיים ארוך יותר מעננים ללא זיהום.

שובלי אוניות ומטוסים:

אוניות ומטוסים יוצרים בשריפות דלקים עננים דקיקים מעל היק הצוברים בנוסף לפיח אירוסולים ממלח הים. מעודד חסימת קרינת השמש.

גשם חומצי: כשמים מתעבים על האירוסולים, חלק מהחומרים מתמוססים במים ונוצר גשם חומצי, המזיק לצמחייה ולחיים בכדה"א.

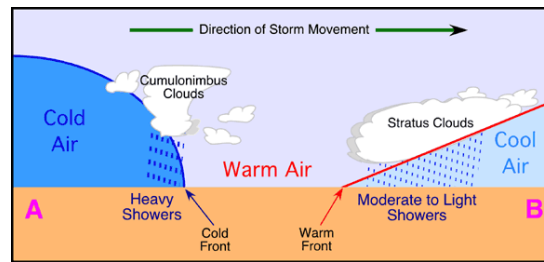
היווצרות עננים:

עננים הם אוסף טיפות מים זעירות, עם או בלי קרח ואדי מים, הנישאות על זרמי האוויר בגבהים 1-15 ק"מ. שלבי היצירה:

1. תהליך ההתעבות של אדי מים העולים מעלה ומתקררים. מצריך CCN – Clod Condensation Nuclei – גרעיני התעבות (אירוסולים). גודל: 0.1-10 מיקרון.

2. גידול טיפות ע"י התנגשויות והתלכדויות, יצירת cloud droplet, גודל 20 מיקרון. טיפות הגשם הם כבר בגודל 2000 מיקרון. בתהליך היווצרות הטיפות, יכולים להיווצר גבישי קרח אם הטמ' נמוכה, ואלו גדלים ע"י איסוף טיפות. בהתאם לטמ' יכול לרדת גשם/ברד/שלג. חלק מהטיפות נהרסות בהתנגשות ונוצרות טיפות יותר קטנות. תהליכים שונים ליצירת עננים:

- התנגשות גושי אוויר חם וקר ועלייתם לגובה.
- טופוגרפיה: עליית אוויר במעלה ההר וחיכוך עם השטח יגרום ליצירת ענן בצידו השני של ההר לא ייווצרו עננים.
- warm front: האוויר החם מתפרש על פני שטח רחב, ולכן פיזור העננים גדול יוצר גשמים קלים.
- cold front: עננים מתפתחים לגובה, כיוון שהאוויר נדחס על שטח קצר, ואף נוצרים ברקים. יוצר גשמים חזקים.

**גבישי קרח בעננים:**

הצורות השונות נוצרות כתוצאה מגידול הגבישים בטמפ' שונות. גביש אמורפי נוצר בטמפ' מתחת לטמפ' הקיפאון.

סיווג עננים לפי גובה וצורה (לא צריך לזכור את שמות העננים):

לפי צורה:

- ענני קומולוס – ערמתיים, עננים שמנמנים הנוצרים לגובה. זרמי אוויר אנכיים המסיעים את הלחות באוויר לגובה.
- ענני סטרטוס – ענני שכבה, נוצרים ב-warm front בשכבות הנמוכות של האטמוספירה.
- ענני צירוס – ענני נוצה.

לפי גובה:

- ענני צירוס – עננים גבוהים, מעל 6 ק"מ. צירוקומולוס, צירוסטרטוס, קומולונימבוס (אופייני לסערות).
- ענני אלטו – עננים בינוניים, 2-6 ק"מ. אלטוקומולוס, אלטוסטרטוס, סטרטונימבוס (ענן שכבתי בינוני, מוריד גשמי חקלאות).
- עננים נמוכים – עד 2 ק"מ. קומולוס, סטרטוס, נימבוסטרטוס (ענני גשם).

עננים המורידים גשם מכונים נימבוס.

ענני סערה: אוויר עולה מעלה ומתרחב ויוצר מבנה סדן.

ערפל: ענן הנוצר על פני הקרקע כאשר האוויר קר ורווי אדי מים.

היווצרות עננים על פסגות הרים: האוויר עולה במעלה ההר ואוסף לחות, מתקרר ונוצרים עננים. בצדו השני של ההר חם ולכן האוויר יבש ללא עננים.

היווצרות ברד: ברד נוצר בעננים ערמתיים וברוחות אנכיות חזקות. הטיפות עולות מעלה וקופאות. גרעין הקרח נופל בשל כוח המשיכה וצובר עליו טיפות מים שקופאות. ככל שהרוחות האנכיות חזקות יותר, כך טיפות הקרח חוזרות מעלה ועוברות תהליך זה שוב ושוב, ונוצרים גושי קרח יותר ויותר גדולים. צורת גושי הקרח שכבתית – מספר השכבות כמספר מחזורי הקפיאה.

שיעור 4: ברקים, מז"א חריג:**אירוסולים:**

האירוסולים משפיעים על יצירת עננים, חלקם ממקור טבעי כגון מדבריות ואוקיינוסים וחלקם ממקור מלאכותי. השפעת האירוסולים על העננים אינה ברורה לחלוטין. ישנו מעקב תמידי על התרכזות אירוסולים ברחבי העולם והשינויים העונתיים.

היווצרות עננים:

התעבות של מים לכדי שכבת עננים. עננים גבוהים לרוב יהיו דלילים, וענני סערה מתפתחים בגובה 15-20 ק"מ. ככל שמגביהים כך גם כמות הקרח והשאיבה מוגברת בתוך הענן, וכך נוצר גשם / ברד / שלג – תלוי כמות אדי המים והטמפ'. עננים נוצרים כאשר:

- טמפ' הקרקע עולה, אוויר עולה לאזור קר יותר, הלחות מתעבה ונוצרים עננים.
- התערבבות אוויר קר בחם.
- מפגש בין גושי אוויר קרים וחמים (חזית קרה וחזית חמה).
- טופוגרפיה: היווצרות עננים בפסגות הרים.

היווצרות ברקים:

- ברקים נוצרים בעננים עם הרבה קונבקציה בתוך הענן.
- נוצרים בענני סערה בגובה 15 ק"מ, בהם כמויות גדולות של מים וקרח. לא בעננים דלילים.
- טמפ': עד 30,000 מעלות; מתח: עד 200,000 וולט.
- בכדה"א יש כ-100 ברקים כל שניה באטמוספירה.
- ניתן למדוד את ההתקדמות הברק וכך את מיקומו.
- קצב ההתקדמות של הברק הוא 1.5 ק"מ (1 מייל) ב-5 שניות.
- בישראל 20-30 ימי ברקים בשנה.
- לברקים סף פריצה – סף כמות מטענים עבורו מתרחש הברק. באוויר רטוב: 4×10^5 וולט למטר.

סוגי ברקים:

- בתוך העננים.
- יצירת ערוץ ברק.
- בין הענן לקרקע.
- ברקים טעונים שלילי או חיובי.
- כדורי ברק (תופעה נדירה).

התפלגות ברקים עולמית:

כאשר ברק פוגע בקרקע, עיקר הפריקה נעשית דרכו. רוב הברקים מתרחשים באזור אפריקה, ארה"ב וצפון אמריקה הדרומית, ומעט באסיה. הסיבה לכך לא ברורה. בארה"ב ישנם עד כ-100 ימי ברקים בשנה. מחקר הברקים החל ב-1750, עם ניסוייו של בנגמין פרנקלין. ישנם מקרים נדירים בהם הברק יוצר טעינת הענן יוצרת טעינה מושרית של הקרקע ואז נוצר ברק מהקרקע לענן

יצירת ברקים:

כתוצאה מהחיכוך בין הטיפות והחלקיקים בענן נוצרים מטענים, כאשר מטענים חיוביים מתרכזים בחלקו העליון של הענן והשליליים בחלקו התחתון. על הקרקע נוצר מטען חיובי. כאשר המתח עובר ערך מסוים מתקבלת פריצה ונוצר הברק. כ-90% מהברקים הם פריקת מטען שלילי לקרקע וכ-5% הם פריקת מטען חיובי לקרקע. כאשר המטען השלילי נאגר בתחתית הענן, נוצר ערוץ פריצה, מעין ברק קטן היוצא מהענן לקרקע אך לא מגיע אליה – stepped leader. בכל פעם הוא מתקדם 50 מ' לעבר הקרקע. בשלב כלשהו עולה ניצוץ מעצמים גבוהים בקרקע – return stroke – וכשהשניים נפגשים יש פריצה והגברת המטען העובר בערוץ – streamer.

רעם: התפשטות מהירה של האוויר החם כתוצאה מהברק יוצר קול חזק. הרעם יכול להשמע עד טווח של 2 ק"מ, ואם הברק היה בתוך הענן – עד 25 ק"מ.

כיוון שהתפשטות הברק אינה בקו ישר אלא זיגזג, הצליל משנה את עוצמתו ותדירותו.

מוטות הארקה: משמש להגנה מפני ברקים, משתמשים בזה למשל לפני שיגורים של טילי חלל

כימיה של ברקים:

- הברקים הם המקור העיקרי של תחמוצות חנקן המפרקות את האוזון ויוצרות גשם חומצי טבעי. תרומת הברקים ליצירת תחמוצות חנקן גבוהה אף מתרומת האדם.
- לברקים השפעה על היווצרות החנקן: ברקים מרובים גרמו להיווצרות חומצות אמינו יחד עם קרינה אולטרא סגולה.
- ניסוי יורי-מילר, 1953: אמוניה, מימן ומתאן + התפרקות ברק יצרו חומצות אמינו (מולקולות אורגניות ראשוניות).

Sprites and Elves: שדונים ופיות

ברקים בגובה 60-80 ק"מ (בהרצאה אחרי זה כתוב 40-90 ק"מ) חלשים ומהירים מברקים רגילים, עד כדי שלא מספיקים לראותם. תופעה שנתגלתה בשנות ה-90. קורית מעל ענני סערה.

סוגים (חשוב לזכור עוצמה):

- Elve (שדון): נראה כמו חיפוף רחב ברדיוס עד 500 ק"מ.
- Blue jet: סילון כחול העולה מעלה מעל ענני סערה עוצמה: $10^6 W$.
- Sprite: עוצמה: $10^7 W$.
- לשם השוואה: ברק רגיל בעוצמה $10^9 W$, השמש: $10^{26} W$.

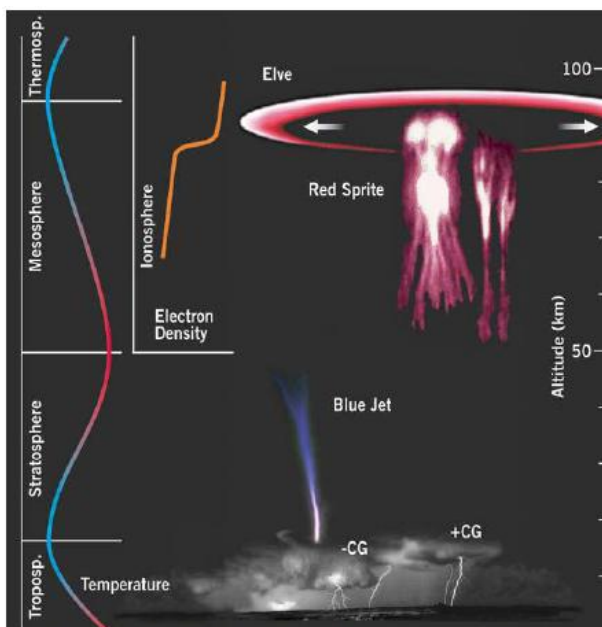
כיוון שתופעות אלו פחות אנרגטיות אין בהם תהליכים כימיים ולא ידועה תרומתם לכימיה של האטמוספירה. מדידות רבות של sprites & elves נעשו ע"י מעבורת החלל "קולומביה".

מדידות מהקרקע:

הברקים יוצרים גלים באטמ, וישנה רשת עולמית המודדת גלים אלו. בישראל יש מרכזי מדידה מהאוניברסיטה וממפעל רמון.

סופות ברקים בצדק:

מדידות ברקים נעשו גם על צדק ושבטאי ונמצא כי הברקים שם בעוצמה פי 1,000,000 מאשר בכדור הארץ.

מז"א חריג:

הדאגה העיקרית ממז"א חריג היא מהעובדה ש-50 מהאוכלוסייה שוכנת על החופים, שם מתרחשים תהליכים רבים של מז"א חריג.

טורנדו:

אוויר שחלקו לח וחלקו יבש, מלא אבק ואדי מים, מתערבב ויוצר אי יציבות, הגורמת לשאיבה של חומר מהקרקע. סופות אלו הן מערבולות, הקוטר של החלק העליון מגיע עד כמה מאות מטרים, ומהירותם 50-500 קמ"ש. עוצמה נמדדת בסולם פוגיטה (5-1). בארה"ב יש כ-1200 סופות טורנדו בשנה, בעיקר באביב ותחילת הקיץ. הרבה סופות טורנדו מלוות גשמים וברקים.

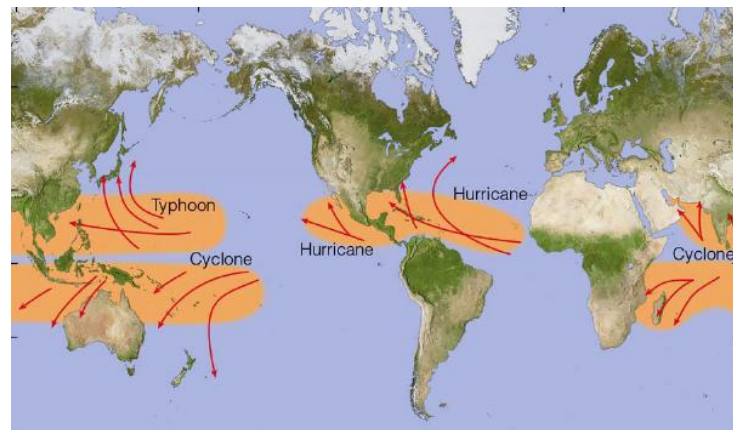
- תהליך ההיווצרות: אוויר קר בגובה נפגש עם אוויר חם ולח נמוך יותר, ונוצר שקע גדול בגובה.
- צורות שונות: משפך, רחב, חלש.

- זמן חיים: בין דקות לשעה (לסופות חזקות).
- טורנדו בארה"ב נוצרים בעיקר בגלל כניסת סוגי אוויר קר המגיע בשכבה העליונה ממערב, אוויר חם ולח המגיע בשכבה הנמוכה מהאוק' האטלנטי, ואוויר יבש המגיע מהמדבר בשכבת הביניים, יוצרים אזור מוכה טורנדו הקרוי Tornado Alley במרכז ארה"ב. קורה בעיקר בשעות אחה"צ, כאשר הקרקע חמה.
- טורנדו יכול להיווצר גם מעל הים וליצור נד מים

הוריקנים:

סופה טרופית באוקיינוס האטלנטי, שקע ברומטרי הנוצר באזורים טרופיים. מתחילה באוקיינוס באזור אפריקה ומתקדמת לכיוון אמריקה. אותה תופעה קרויה בשם טייפון באזור אסיה, או ציקלון באזור אוסטרליה הודו ודרום אפריקה. עיקר המחקר מתמקד בסופות ההוריקן, כאשר הדאגה העיקרית היא פגיעה בניו-יורק. כיום יודעים בערך לנבא סופות אלו.

- קוטר: בערך 500 ק"מ. גובה: עד 20 ק"מ.
- עין ברוב 20-50 ק"מ עם זרועות.
- תופעה שקורית כשטמפ' האוקיינוס 26 מעלות ומעלה.
- עונה: סוף יוני עד נובמבר.
- מאופיין ברוחות, גשמים חזקים וגלים גבוהים.



ההוריקן מגיע לצורת עין כאשר הרוחות מגיעות ל-200 עד 300 קמ"ש. שלבי ההתפתחות הם: שקע טרופי - סופה טרופית - הוריקן. יש בממוצע כ-20 סופות בשנה, הנקראות לפי סדר הא"ב.

להוריקנים תפקיד חשוב בפזיזת החום של האוקיינוסים מקו המשווה לקווי רוחה גבוהים יותר, והתחממות כדה"א גורמת לירידה בהפרש הטמפ' בין הקרקע לאוויר, ולכן לפחות סופות.

היווצרות: אוויר חם ולח עולה מהים, נפגש עם אוויר קר בגובה ונוצרת הסופה. במרכז ההוריקן יש כל הזמן לחץ נמוך השואב אוויר. בחתך ההוריקן ניתן לראות כי ישנם אזורים חלולים לגמרי, ולכן בהגעת הוריקן לחוף יש גשמים לסירוגין (הפסקה בחלקים החלולים). בחלקה התחתון של הסופה הטמפ' גבוהה.

עיקר ניתוב המעקב נעשה דרך לוויינים המודדים את מהירות וכיוון הסופה עוצמת הוריקנים נמדדת לפי סולם שפיר-סימפסון, כאשר 5 היא העוצמה החזקה ביותר.

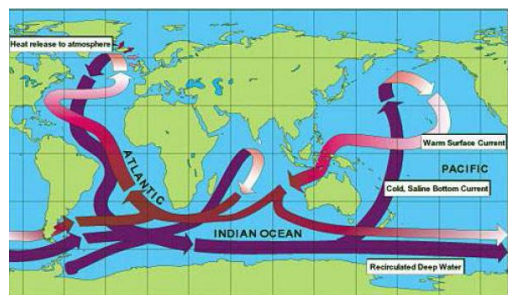
רוב ההוריקנים פוגעים בדרום מזרח ארה"ב.

הלחץ במרכז ההוריקן יכול להשתנות ולרדת מאוד, וכך ההוריקן מתכנס יותר ויותר.

שיעור 5: מז"א חריג – המשך, קשר שמש-כדה"א:

זרמים אוקייניים:

באוקיינוס יש זרמים אוקייניים כאשר הנחקר ביותר הוא זרם הגולף האטלנטי, המשפיע על האקלים בצפון אירופה ואמריקה – הסעת חום צפונה. פגיעה בזרם זה תגרום לירידה בטמפ' באזורים אלו. התחממות כדה"א הגורמת להמסת קרחונים משפיע על הזרם בכך שמי קרח פחות מליחים ממי האוקיינוס חודרים לזרם מצפון וגורמים להורדת תנועת זרם הגולף.



אל ניניו ואל ניניה:

אל ניניו: האקלים בדרום אמריקה קר לעומת מזרח אסיה שם חם וגשום. פעם בכמה שנים מתרחשת כניסה של אוויר חם לאזור דרום אמריקה, ריבוי גשמים באזור עם הפחתת גשמים באזור דרום מזרח אסיה, ועליית טמפ' האוקיינוסים בחצי מעלה.

אל ניניה: המצב ההפוך; אחת ל-2 עד 4 שנים יש יובש באזור דרום אמריקה וריבוי גשמים באזור דרום מזרח אסיה. ירידת טמפ' האוקיינוסים בחצי מעלה.

מחזוריות התופעות הנ"ל נעה בין 2 ל-7 שנים. השנה יוצאים מאל ניניה (יובש וטמפ' נמוכה בדרום אמריקה). התופעה משפיעה על החיים באוקיינוס, למשל על סוגי פלנקטון שונים. שינוי טמפ' האוקיינוס משפיע על אוכלוסיית הפלנקטון והחיים באוקיינוס בכלל.

קשר שמש-כדה"א: Space Weather:

מאז היווצרות כדה"א, עוצמת השמש עלתה בלפחות 20%.

מערכת השמש:

מערכת השמש מורכבת מפלנטות (כוכבי לכת) ופלנטות ננסיות, כאשר במרכז נמצאת השמש. כמו כן יש במערכת השמש גופים קטנים כגון ירחים, אסטרואידים, שביטים, אבק. פירוט על מערכת השמש בשיעור 11.

אריס (ננסי) | נפטון | אורנוס | שבתאי | צדק | קרס (ננסי) | מאדים | ארץ | נגה | חמה | שמש – פלנטה היא בעלת רדיוס $1500 \leq$ ק"מ, בעוד ננסית בעלת רדיוס קטן מכך.

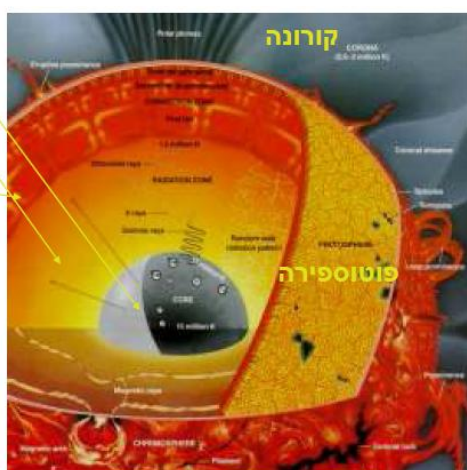
השמש:

- נפחה בערך פי מיליון מנפח כדה"א.
- השמש מסתובבת על צירה בממוצע כל 25 יום, ובקטבים לאט יותר.
- חשוב לזכור: טמפר' הליבה מגיעה כתוצאה מתהליכי היתוך גרעיניים ל-15 מיליון מעלות. פני השטח מגיעים ל-6000 מעלות, כאשר כתמי שמש – 4500 מעלות.
- צפיפות השמש מאוד נמוכה (1.4) והליבה מאוד מרוכזת, וכנראה סביבה יש אזור חלול.
- הרכב השמש הוא 92% מימן, הליום ו-2% מתכות.
- פני השטח אנם חלקים, מלאים כמו מחטי ענק שגודלם כגודל כדה"א.

המבנה הפנימי של השמש:

- **ליבה:** החלק הפנימי, תיאורטית חושבים שיש שם ריאקציות גרעיניות. מהווה בערך 20% מנפח השמש, אזור בעל צפיפות גבוהה.
- **איזור הקרינה:** אזור שנחשב להיות חלול.
- **איזור הקונבקציה:** האיזור הקרוב לפני השטח.
- **פני השטח:**

- הפוטוספירה: החלק הצהוב, מגיעה ל-6000 מעלות. אינה חלקה, תופעת גרנולציה. אזור בו יש כתמי שמש.
- מעליה הכרומוספירה – האיזור של המחטים (התפרצויות) המגיעים ל-14 אלף ק"מ לגובה, טמפר' עד 50 אלף מעלות. רק חלק קטן משכבה זו נראה לעין.
- מעל שכבה זו אזור הקורונה – אזור קרני השמש, טמפר' מגיעה עד 2 מיליון מעלות. טמפר' גבוהה זו ביחס למעטפת מעידה על מה שקורה בפנים – חומר בטמפר' גבוהה מאוד פורץ החוצה ומחמם את סביבת השמש – הקורונה.



- כתמי שמש יכולים להגיע לגודל של כדה"א, ונמצאים בד"כ באזור קו המשווה של השמש, ולא בקטבים.
- תופעת השדה המגנטי: חומר הפורץ מהשמש מושפע ע"י השדה המגנטי שלה והתפרצויות בכרומוספירה יוצרות צורת לולאות. הסיבה להתפרצויות היא הסיבוב המהיר של השמש ואי הציביות שלה. חלק מהחומר הפורץ חוזר בלולאה, וחלק נזרק החוצה לאזור הקורונה. כל לולאה כזו היא בעלת צפון ודרום מגנטי – כמו מגנט.
- רוח שמש: החומר שנזרק לחלל, המכיל פרוטונים, מימן, אלקטרונים והליום.
- עיקר התמונות מגיעות משתי חלליות הסובבות את השמש יחד עם כדור הארץ.

מחזוריות השמש:

פעילות השמש מתרחשת במחזוריות של 11 שנה. כיום השמש נמצאת כבר בשנתיים של תקופת מינימום. נראה כי יש השפעה של השמש על מזג האוויר בכדה"א, אך השפעה זו לא ברורה לחלוטין. ישנו קשר בין פעילות השמש לכמות כתמי השמש, ומצאו קשר בין כמות כתמי השמש לתקופות קרח ועירות: באזור השנים 1700 ו-1800, בהן לא נראו כלל כתמי שמש. למרות שכיום השמש במינימום פעילות טמפר' כדה"א עולה, ולא ברור אם כן למה.

רוח שמש:

החלקיקים שיוצאים מהשמש בהתפרצויות, חוצים את הקורונה ונכנסים לכדה"א דרך הקטבים. לחלקיקים היוצאים מהשמש בהתפרצות לוקח 3-4 ימים להגיע לכדה"א. מהירות החלקיקים 300-800 ק"מ לשנייה. בהגיעם נכנסים לשדה המגנטי של כדה"א ומוסטים אל הקטבים, ומתקבלת תופעת "זוהר הקוטב". השמש מאבדת מסה בצורה זו (3×10^{-14} ממסת השמש בשנה), וכך ניתן גם להעריך את גילה – כ-4.5 מיליארד שנה. כדה"א נמצא בהליוספירה של השמש: חלקיקי ג' ו-x מהתפרצויות כוכבים מחוץ למע השמש הנעים לכיוון מע השמש נעצרים בגבול ההליוספירה.

כדה"א:

משמש מגנט ענק הכולא בתוכו חלקיקים מהשמש ומהחלל. השדה המגנטי של כדה"א יוצר את חגורות ואן אלן – חגורות הכולאות מטענים חשמליים, ומגינות על כדה"א מפני קרינה מהשמש וקרינה קוסמית פרט לאזור הקטבים. יש להימנע מכניסת לווניים לחגורות אלו. ישנן 2 חגורות עיקריות.

תופעת זהר הקוטב:

תופעה המתרחשת בקטבים בגבהים של 100-300 ק"מ. חלקיקים המגיעים מהשמש ופוגעים באטמוספירה יוצרים צבע: חמצן – ירוק; חנקן – אדום. תופעה זו לא קורת כיום בגלל שהשמש בתקופה שקטה. תופעה זו קרויה *Aurora*, ומתרחשת מקו רוחב 67.

השפעת החלקיקים:

ישנה השפעה על תנועות הליווינים ופעילותם, כמו גם פעילות תחנות חלל,

הימצאות אסטרונאוטים מחוץ למעבורות או תחנות חלל; התפרצויות חזקות יכולות לגרום להפסקות חשמל בכדה"א, ותחנות כוח ממגנות מפני סופות שמש. יכולים להיווצר זרמים מושרים בצינורות נפט. כמו כן יכול לגרום לפגיעה בנדידת בע"ח המסתמכים על השדה המגנטי, והשפעה על תעופה בכדה"א – חשיפה לקרינה מרובה ופגיעות תקשורת בטיסות באזור הקטבים.

שיעור 6: גיאולוגיה:**גיאולוגיה:**

מדעי כדה"א. עיסוקי הגיאולוגיה:

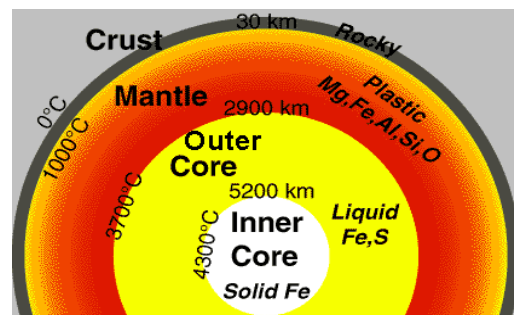
- הרכב ומבנה כדה"א.
- הראשית וההתפתחות בזמן: כדה"א דינאמי וחווה שינויים תמידיים, הגיאולוגיה עוסקת במקור שינויים אלו. למשל: מניין האנרגיה הגורמת להתיתוך בגרעין כדה"א, כיצד ישנם איזורים גבוהים לעומת נמוכים כאשר ידוע שאזורים גבוהים נשחקים עם הזמן.
- תהליכים והכוחות המניעים אותם: מהם מקורות התהליכים המתרחשים בכדה"א (למשל השמש).
- סכנות: רעידות אדמה, מפולות, שטפונות.
- ניתול משאבים: חקר האינטראקציה של האדם עם כדה"א וההשפעה עליו. למשל, עם הגידול האקספ' באוכלוסיית האדם מאז המהפכה התעשייתית, חלה עליה משמעותית בכמות ה- CO_2 , חנקן ומתאן באטמוספירה – שינוי משמעותי בהרכב האטמוספירה.

מאפייני פני השטח של כדה"א:

חלוקה ראשית: לשתי יחידות שטח עיקריות - אוקיינוסים ויבשות.

חלוקה משנית:

- רוב השטח מישורי, הן באוקיינוסים והן ביבשות.
- רצועות הרים: מפוזרות בסדר מסוים, הן ביבשה והן בתוך האוקיינוסים. ההשערה היא שישנם תהליכים מרכזיים המביאים לתופעות דומות ברחבי כדה"א, למשל יצירת שרשראות הרים.
- רצועות עמקים: בעיקר באוקיינוסים, בצמוד לרצועות הרים. לדוגמא: רצועת עמקים בעומק 7 ק"מ בצמוד לאנדים, לעומת 4 ק"מ את תוך מרכז האוקיינוס.

מבנה כדה"א:

- כדה"א מכיל גלעין שעשוי כולו בעיקר ברזל (90% ברזל, 10% ניקל וחומרים אחרים). חלקו הפנימי מוצק והחיצוני מותך. רדיוס כדה"א 6400 ק"מ, כאשר בעומק 2900 ק"מ מתחיל הגלעין.
- סביב הגלעין ישנה מעטפת, עשויה 30% סיליקון, חמצן, מגנזיום וברזל בעיקר.
- סביב המעטפת ישנו קרום כדה"א: אותם חומרים כמו המעטפת, אך המתכות העיקריות הן אשלגן, נתרן ואלומיניום. כמו כן יש הרבה סיליקון וחמצן.

הבנת הרכב זה תלויה בהבנת תהליך היווצרות מערכת השמש.

מערכת השמש:

- כדה"א הוא חלק ממערכת השמש, פירוט הפלנטות בשיעורים קודמים. הפלנטות מקיפות את השמש בערך על אותו משטח בשם מישור המלקה (מלשון ליקוי). כמו כן מקיפים את השמש באותו כיוון ומסתובבים סביב עצמם באותו כיוון.
- מאפיין נוסף של מערכת השמש: פלנטות גזיות וגדולות רחוקות מהשמש בעוד קטנות וסלעיות (טרסטריות) קרובות. הפלנטות הגזיות מורכבות מחומרים שעל כדה"א היו גזים או נוזליים, אך שם קפואים.
- לרוב הפלנטות יש ירחים, למשל יופיטר עם בערך 27 ירחים, חמה ללא ירחים. הירחים מסתובבים באותה מגמת סיבוב – גם סביב הפלנטות וגם סביב צירם.

- ונוס וכדה"א בערך אותו גודל, מאדים מחצית מגודל כדה"א. כדה"א היחיד המאפשר חיים שכן רק בו הטמפר' מתאימה למים נוזליים – בנוס 450 מעלות ובמאדים 50- מעלות. מים הם מרכיב חיוני לחיים.
- במרכז המערכת נמצאת השמש המהווה 99.85 ממסת המערכת. השמש דינאמית, יש בה איזורים חמים יותר ופחות. כמו כן בעלת שדה מגנטי חזק ושינויים והתפרצויות בשדה זה. הלחץ הנוצר בשל כוח הכבידה בשמש גורם לתהליכי היתוך ממך וייצור אנרגיה רבה.

היווצרות מערכת השמש:

תיאוריית קאנט: תחילה המערכת היתה ענן אבק וגז שאוחד ע"י כוח המשיכה. החומר שואף למרכז הענן, וכיוון שהמשיכה יחסית למסה הענן הולך ומצטמק. תוך כדי התנועה נוצר מסלול ספירלי. הכוח הצינטרפוגלי מנסה לזרוק את החומר לכיוון ה- מישור הניצב לסיבוב. לכן ענן זה מתכווץ ומקבל צורת דיסקית. אט אט אזורים בתוך הדיסקית הולכים ומתרכזים, ומנקים את סביבתם מחומר. לבסוף נוצרות פלנטות כשעיקר החומר מרוכז במרכז הדיסקית. החום הרב נוצר עקב האנרגיה הקינטית מהתנגשויות החומר.

מתיאוריה זו עולה כי הכל החל כתערובת חומרים, ולפיכך כדה"א היה בראשיתו כדור הומוגני, והחומר בו מסודר בצורה זהה. כיום המצב אינו כך, ומכאן שכדה"א עבר תהליך דיפרנציאציה – הפרדה. תהליך זה צורך אנרגיה, כדי ליצור התכה שתגרום לשקיעת חומרים כבדים והצפת חומרים קלים.

הלמידה על תהליך זה נעשתה לפי עקרון החלפת המימדים: במקום להסתכל על עדות אחת לאורך זמן, מסתכלים על עדויות רבות בזמנים שונים – למשל הסתכלות על ערפיליות או כוכבים (שמשות) אחרים עם פלנטות סביבם בשלבים שונים בתהליך המתואר לעיל, כהוכחה שהתהליך לעיל אפשרי. זאת נתמך בניסויי מעבדה וכלים נוספים.

האנרגיה הראשונית לתהליך ההפרדה בכדה"א באה כתוצאה מפגיעות מטאוריטים בתהליך הצטברות החומר, שגרמו לעליית טמפר'. עם הזמן כמות הפגיעות הלכה והתמעטה. עדויות לפגיעות ניתן לראות בעיקר בירח, עליו אין אטמ' ולכן אין תהליכים כמו בכדה"א שגרמו לשינוי פני השטח – אירוזה. היות וכדה"א גדול מהירח, ברור כי פגיעות קרו גם בו. ישנן עדויות בכדה"א, כמו המכתש באריזונה.

כיום תהליך הדיפרנציאציה ממשיך בפעילות וולקנית כאשר חומר רדיואקטיבי (אורניום, פלוטוניום, אשלגן רדיואקטיבי) מתפרק בפנים כדה"א ומפיץ חום. כמות החום המשתחרר קטנה יחסית לתהליכים הראשוניים, אך כמות החומר גדולה ולכן חום רב מתשתחרר וממשיך את תהליך ההפרדה. רוב החומר המתפרק נשאר בעומק כדה"א, ולכן חום רב מתרכז שם. פעילות וולקנית למעשה מווסתת את חום פנים כדה"א. בהשתחררות החום נוצר היתוך חלקי, וחומרים קלים יחסית (נתרן, אשלגן, חומר עשיר בסיליקה) פורצים החוצה, בעוד חומרים כבדים נשארים בעומק (כגון מגנזיום וברזל וחומרים פחות עשירים בסיליקה). גזים מתשחררים החוצה כאשר עם הזמן הטמפר' יורדת, ועדות לכך היא הופעת מים נוזליים.

מקורות המידע על הרכב כדה"א:

שני מקורות עיקריים:

- לקיחת הרכב השמש כמודל להרכב כדה"א: כל חומר פולט אור באורך גל שונה, וכך ניתן ללמוד על סוג החומר בשמש או בכוכבים ופלנטות אחרים ללא דגימה ממשית – ספקטרום הפליטה. שיטה הפוכה לזיהוי חומרים בגופים קרים, כגון ערפילים: במעבר אור דרך חומר קר, הוא בולע את אורכי הגל שהיה פולט אם היה חם – ספקטרום הבליעה. כך בהסתכלות על אור דרך ערפילים, אורכי הגל שלא רואים מעידים על הרכב הערפילים אורכי גל שכן רואים מעידים על חומר שלא קיים בערפיל
- גושי חומר שלא עברו דיפרנציאציה בשל גודלם הקטן, כגון מטאוריטים. ישנם שלושה סוגים של מטאוריטים המייצגים פנטות שהתרכסו לפני שעברו דיפרנציאציה שלמה:

- מטאוריטים ברזליים: נוצרו לאחר שהחלה היווצרות הגרעין.
- מטאוריטים ברזליים-סלעיים: נוצרו בתחילת הפרדת הברזל.
- מטאוריטים סלעיים: נוצרו בשלבים שונים של ההפרדה

סוג נוסף הוא מטאוריטים סלעיים-כונדריטיים, הפרמיטיביים ביותר שנוצרו לפני כל הפרדה שהיא. מטאוריטים אלו מכילים כונדורות – חומר נדיף. היות ומכיל חומרים נדיפים, מסיקים שלא עבר חימום (בדיפרנציאציה), אחרת החומר הנדיף היה מתנדף. כמו כן עשויים פירורים, מתאים לתיאורית קאנט. ניתן למדוד גיל סלעים בדרך הבאה: סלע מכיל כמויות מסוימות של אורניום ועופרת – תוצר פירוק האורניום. קצב תהליך הפירוק ידוע, וע"י מדידת כמות האורניום ביחס לכמות העופרת, ניתן לתארך. בשיטה זו נמצא שגיל מטאוריטים אלו הוא 4.6 מליארד שנה, ומכאן גיל כדה"א.

הרכב כדה"א:

- מאופן היווצרות מערכת השמש מסיקים שהרכב כדה"א הוא כמו של השמש ושל מטאוריטים.
- המודל הכונדריטי של כדה"א: בשתי שיטות בלתי תלויות נבדקו הרכב השמש והרכבי מטאוריטים בכדה"א, ונמצא דמיון מבחינת ההרכבים. מכאן מסיקים שהרכב זה הוא גם הרכב כדה"א.
- הרכבי מטאוריטים נסמכים על דגימות רבות מאזור אנטרקטיקה, שם נמצאו סלעים על פני הקרח, שמקורם היחיד חייב להיות מהחלל.
- פליטות גזים מהרי געש מלמדות על האטמ' הראשונית – הרבה CO₂, תרכובות חנקן ואדי מים. כיום האטמ' מורכבת בערך מ-80% חנקן, ו-20% חמצן (וגזים אחרים). מכאן שהיה תהליך שינוי באטמ', כאשר הופעת החמצן לפני 2.5 מליארד שנה הביא להתפתחות עולם החי – אאוקריוטיים.

ניצוד חוקרים את פנים כדה"א:**1. השדה המגנטי:**

השדה המגנטי של כדה"א מעיד על גרעין שעיקרו ברזל. השדה המגנטי מסודר בערך במקביל לציר הסיבוב של כדה"א, כאשר קו השדה עוברים מהדרום לצפון, כאילו יש מוט בין הקטבים. השדה המגנטי מאפשר חיים בכדה"א בשתי דרכים עיקריות:

- ע"י הסטת קרינה מסוכנת מהחלל אל הקטבים, שם נוצרת תופעת זוהר הקוטב – Aurora.
- דרך נוספת בה מיקום הברזל בגרעין מאפשרת חיים היא שאם הברזל לא היה מרוכז בגרעין, ללא תהליך הדיפרנציאציה, החמצן לא היה נשאר חופשי באטמוספירה. הברזל היה מתחמצן כך שלא היה חמצן באטמוספירה להתפתחות החיים.

שיעור 7: מחקר כדה"א – המשך:**2. גלים סייסמיים – גלי קול:**

גלים סייסמיים – גלים של מעוות, נוצרים במקום מסויים בכדור הארץ ומתקדמים במהירות שמשנתה על פי תכונות החומר – תכונות שניתנות לביטוי באמצעות מקדמי האלסטיות שלו והצפיפות סייסמולוגיה הוא תחום המחקר שעוסק בפיענוח תכונות החומר בעומק על פי הגלים הסייסמיים שנרשמים בסייסמוגרפים. כיוון שכל חומר מעביר את הגלים במהירות שונה, בתלות בהרכב צפיפות, טמפרטורה וכו', ניתן כך לזהות חומרים דרכם עובר הגל סוגי גלים סייסמיים:

- גל לחץ (P, Primary): מתקדם דרך החומר, דחיסה וריכוך לסירוגין, כמו גלי קול וכמו קפיץ. נע במהירות הגבוהה ביותר – 8 ק"מ בשניה. דומה לגל ההפרעה העובר דרך שולחן שמכים בו בקצה אחד וההפרעה מורגשת בקצה השני. החלקיקים נעים קדימה ואחורה ביחס לכיוון הגל. בשרטוט: P-waves.
- גל גזירה (S, Secondary): מתקדם דרך החומר, ההפרעה מתקדמת כמו בחבל, החומר לא מתקדם. מתרחש רק בחומר מוצק. נע במהירות 6 ק"מ בשניה. ברעידת אדמה תחילה יורגש גל לחץ ואז גל גזירה. החלקיקים נעים בניצב לכיוון הגל. בשרטוט: S-waves.
- גל שטח: גל המתקדם על פני השטח, כאשר השכבה התחתונה לא מרגישה את ההפרעה, כמו גלי ים (אינם מורגשים בתוך הים אלא רק על פני המים). נע במהירות 4-5 ק"מ בשניה.

בעזרת שליחת גלי הקול האלה לעומק כדה"א וקליטת האותו ע"י מיקרופונים ברחבי כדה"א, ניתן לפענח את החומר דרכו עוברים. מהירות הגלים משתנה בהתאם לחומר דרכו עוברים:

- גלי P מאיצים עם הגעה לגלעין המותך (החיצוני) ומאטים עם כניסתם לאזור הגלעין המוצק.
 - גלי גזירה לא עוברים דרך חומר מותך או נוזל ולכן לא עוברים בגלעין החיצוני – המותך.
- כך ניתן לפענח את המבנה הפנימי של כדה"א, ולהשתמש במידע זה למשל למיקום קידוחים.

3. השוואת הרכב הקרום לעומת כלל כדה"א:

ישנם שני מקורות מידע להרכב כדה"א:

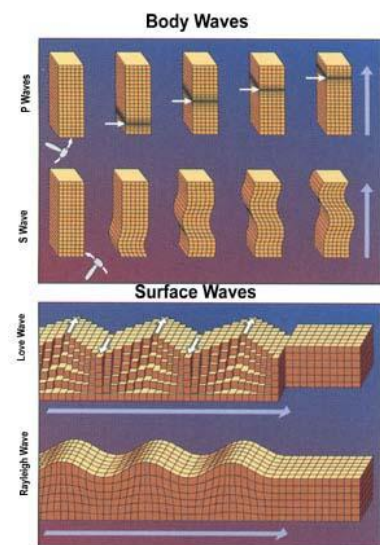
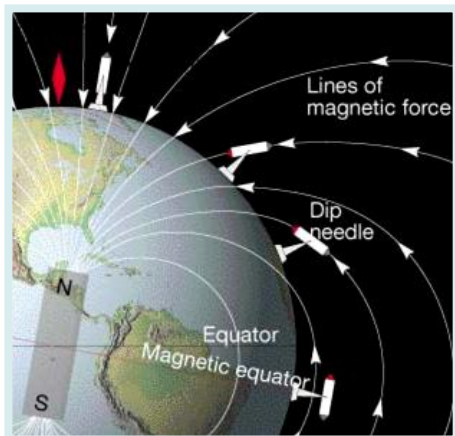
- השמש – כדה"א נוצר מאותם חומרים שנוצרה מהם השמש, ולכן ניתן ללמוד על הרכבו מהשוואה להרכב השמש (פרט למימן והליום שלא מוחזקים ע"י כדה"א בגלל גרביטציה נמוכה יחסית לשמש).
 - מטאוריטים כונדריטים – חומר פרמיטיבי שלא עבר דיפרנציאציה, ולכן הרכבו דומה להרכב כדה"א לפני הדיפרנציאציה.
- כאשר משווים את הרכב הקרום כדה"א להרכב כדה"א המחושב לעיל, ניתן ללמוד שמה שחסר נמצא בפנים כדה"א. למשל: כדה"א מורכב מ-35% ברזל, אך בקרום יש רק 6% ברזל, מלמד על אחוז גבוה של ברזל המרכיב את פנים כדה"א. לא צריך לדעת אחוזים, אלא איזה חומר מצוי יותר בקרום לעומת בפנים (באופן יחסי):

- ברזל – 35% סה"כ, בקרום 6%, מכאן שיותר ברזל מצוי בפנים.
- סיליקון – 15% סה"כ, בקרום 28%, מכאן שיותר סיליקון מצוי בקרום. חומר קל יחסית, ולכן עלה ברובו לקרום.
- מגנזיום – 13% סה"כ, בקרום 4%, מכאן שיותר מגנזיום מצוי בפנים.
- חמצן – 30% סה"כ, בקרום 46%, מכאן שיותר חמצן מצוי בקרום.

בקרום מצויים חומרים ומתכות קלים יותר בריכוזים גבוהים יחסית – חמצן, סיליקון, נתרן ואשלגן. בפנים מצויים יותר מתכות כבדות, כגון ברזל ומגנזיום. כדה"א מורכב מעל 99% מ-8 יסודות (מתוך 102 הידועים בטבע).

3. לכדה"א צורה פחוטה:

לכדה"א צורה פחוטה – המרחק בין הקטבים קטן מאשר קוטר רוחבי של כדה"א, וזאת בשל הכוח הצנטרפוגלי הפועל מסיבוב כדה"א. הצורה הפחוטה יכולה אם כן להיווצר רק אם כדה"א גמיש, ואילו היה קשיח הכוח לא היה משפיע על צורת כדה"א. לפיכך למדים שבפנים כדה"א יש חומר מותך ורק המאפשר גמישות לצורת כדה"א.



שיטות מחקר גיאופיזיות נוספות למחקר פנים כדה"א:

- גלים סייסמיים: הוזכר.
- מגנטיזם: מתכות כגון ברזל יורגשו ע"י מגנטר גם אם אינן חשופות. מדידות עם מגנטר על פני השטח מלמדות על הפנים.
- גרביטציה: שדה הגרביטציה תלוי מסה, ככל שיש יותר מסה, כך הגרביטציה חזקה יותר. מדידות גרביטציה על פני השטח יכולות להעיד על עודף מסה או חוסר במסה (מערות).
- שפיעת חום: מדידות באמצעות תרמומטרים של טמפ' יכולות להעיד על הימצאות חומר מותך. למשל בהרי געש – עליית טמפ' יכולה להעיד על הצטברות מגמה ועל התפרצות.

חלוקה של כדה"א:לפי מצב צבירה:

- ליתוספירה: מוצק ופריך (שביר). ליתו – סלע; ספירה – כדור.
- אסטנוספירה: פלסטית, מכילה גם חומר מותך.
- מזוספירה: מוצק.
- גלעין חיצוני: מותך.
- גלעין פנימי: מוצק.

לפי הרקב:

- קרום: יבשתי – גרייט; אוקייני – בזלת.
- גבול: מוהו (Moho).
- מעטפת: אולטרא-מאפית (עשירה במגנזיום וברזל).
- גבול: "D"
- גלעין: בעיקר ברזל, מעט ניקל.

אין חפיפה מושלמת בין החלוקות. הליתוספירה: כוללת את הקרום וחלקה העליון של המעטפת, הגלעין – כולל את הגלעין הפנימי והחיצוני.

זרימת הקונבקציה:

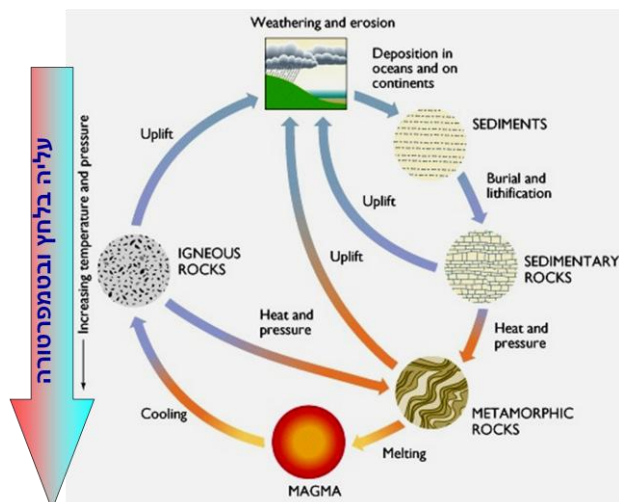
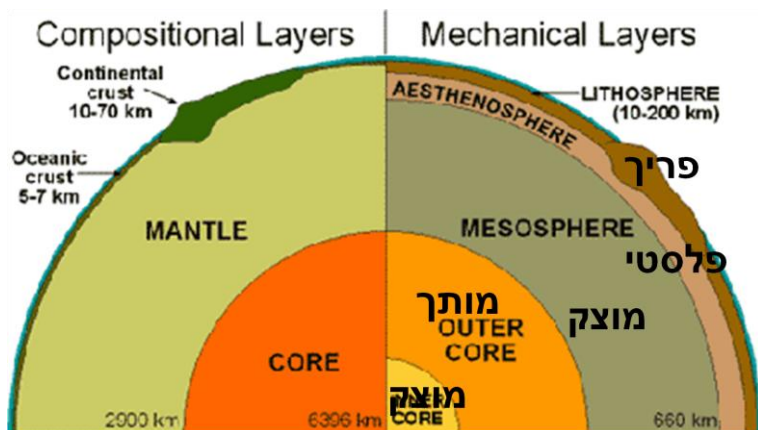
במעטפת ישנם חומרים רדיואקטיביים שהתפרקותם גורמת להתחממות וזרימה במעטפת – זרימת הקונבקציה. הפרשי הטמפ' גורמות לזרימה זו של חומר צמיגי מאוד, בקצב איטי. חומר חם עולה מעלה וחומר קר יורד מטה ותופס את מקומו בתהליך מחזורי. חומר חם נוטה להגדיל את נפחו, ולכן מעל אזורים חמים בהם הצפיפות נמוכה יותר נצפה לטופו ' גבוהה יותר לעומת מעל אזורים קרים. קרום כדה"א שבור ללוחות טקטוניים שבעקבות זרימת הקונבקציה נעים בקצב של מספר ס"מ בשנה.

סיפורי סלעים:סוגי סלעים:

- סלעים מגמתיים: סלע שמקורו בהתגבשות מגמה. מגמה – סלע מותך. מאופיינים בנוף לא שכבתי. ללא מבנה פנימי מסודר, בוניים בעיקר מגבישים סיליקטיים (סיליקה – צורן; סיליקט – תחמוצת צורן), המרכיבים מעל 90% מקרום כדה"א. או שנוצרים (מתקררים) תחת פני השטח לאט, או שמתפרצים החוצה ונוצרים מעל פני השטח.
- סלעי משקע (סדימנטיים): מאופיינים בנוף ש כבתי. סחף המובל ע"י מים שוקע, וכך עם הזמן מצטברות שכבות על גבי שכבות. השכבות העליונות צעירות מהשכבות התחתונות. ההבדלים בין השכבות נובעים מהבדלים בתנאי הסביבה שהיו בעת שנוצרו השכבות – אם תנאי הסביבה היו קבועים לאורך ההיסטוריה, לא היו נוצרות שכבות שונות.
- סלעים מטמורפיים.

מחזור סלעים:

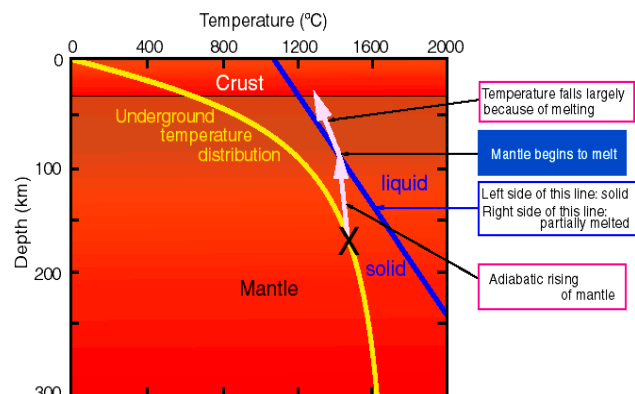
- סלעים מגמתיים: נוצרים מזליגת מגמה (סלעים מותכים) מהעומק – אזור לחץ גבוה, לאזור לחץ נמוך – פני השטח. כאשר המגמה מתקרר נוצרים סלעים מגמתיים. סחף ותנאי הסביבה גורמים לבליה –
- סלעי משקע נוצרים מעל פני השטח, כולל קרקעיות מאגרי מים, מבליה והשקעה של סלעים אחרים. עם הזמן מצטברות שכבות רבות והלחץ על השכבות התחתונות גדל –
- סלעים מטמורפיים: נוצרים במצב מוצק משינוי של סלעים אחרים בעקבות עלייה בלחץ ובטמפרטורה. השינויים יכולים להיות בהרכב המינרלים, בהרכב הכימי או בצורה. אם הטמפ' עולה מספיק עד התכת הסלע נוצרת מגמה, העולה מעלה לפני השטח וממחזרת את התהליך.



כל סלע יכול להתקבל מכל סלע אחר:

- סלע מגמתי שנקבר יכול תחת תנאי לחץ להיחפך למטמורפי. אם עובר בליה וסחיפה, יכול להחפך לסלע משקע.
- סלע מטמורפי שעובר התכה הופך למגמה ואח"כ לסלע מגמתי. בתהליכים גיאולוגיים בהם סלע מטמורפי (הנוצר בעומק) נחשף לפני השטח, הוא יכול להשחק ולהחפך לסלע משקע.
- סלעי משקע יכולים להחפך למגמתיים ע"י התכה או למטמורפיים ע"י עליה בלחץ וטמפ'.

היווצרות מגמה ב-300 ק"מ הראשונים:



התכה נוצרת בתנאי טמפ' גבוהה ו/או לחץ נמוך. הקו הצהוב מציג את הטמפ' כפונקציה של העומק – למשל בעומק 100 ק"מ יש טמפ' של 1200 מעלות. הקו הכחול מציג את גבול ההתכה של סלעים לפי עומק – מימין לו מותך, משמאל לו מוצק.

לפיכך, כדי ליצור מגמה בעומק זה יש צורך בהעלאת הטמפ' או הורדת הלחץ – לכן הרי געש, בהם מגמה (סלע מותך) נוצרים באזורים בהם תהליכי חימום או הקטנת לחץ – עליה אדיאבטית של החומר (עליה ללא החלפת חום עם הסביבה – כך הלחץ עולה והטמפ' נשארת, והחומר חוצה את גבול המוצק-מותך והופך למגמה).

דרך נוספת להתכה: שינוי תכונות החומר. למשל, סלע עם מים (מכיל הידרוקסילים – OH) או CO_2 הוא בעל טמפ' התכה נמוכה מסלע יבש. מכאן שלושת הדרכים להיווצרות מגמה: הורדת לחץ, העלאת טמפ' והוספת נוזלים.

לרוב סלעים מורכבים מחומרים שונים בעלי טמפ' התכה שונות, ולכן הסלעים יותכו בהדרגתיות כאשר בכל שלב בהתכה יופרדו חומרים מותכים מהסלע. לרוב ההתכה של סלעי המעטפת היא חלקית כאשר סולידוס – 100% מוצק הוא גבול תחילת ההתכה, וליקוידוס – 100% מותך הוא השלמת ההתכה.

גביש:

גביש הוא צורה בה מופיע חומר במצב צבירה מוצק באופן שבו האטומים שמרכיבים אותו מסודרים במבנה מרחבי קבוע, החוזר על עצמו. סלעים מגמתיים מאופיינים בכך שהם בנויים מגבישים, וממיינים לפי גודל והרכב הגבישים לכל חומר צורת התגבשות אופיינית לו. למשל, SiO_2 – סיליקון דו-חמצני, שהוא קוורץ. אם יותך ויתגבש בתהליך מהיר כך שלא יספיק ליצור גביש מסודר – תוצר זכוכית.

מבנה הסיליקטים:

החומרים הנפוצים ביותר. סיליקון בדומה לפחמן בעל 4 קשרים ומסוגל ליצור פולימרים אנאורגניים – שרשראות שיחידת המבנה שלהם היא טטראהדר – סיליקון קשור ל-4 חמצנים. הסיליקון יכול ליצור תרכובות מגוונות, למשל להיקשר למתכות אחרות. SiO_2X_2 – צורה בסיסית בעולם הגיאולוגיה.

זכוכית:

זכוכית היא כל חומר שלא התגבש, משום שעבר תהליך קירור מהיר. המושג זכוכית משמש כיום לתיאור זכוכית SiO_2 . דוגמא לזכוכית – אובסידיאן – זכוכית וולקנית הנוצרת ממגמה שהתקררה מהר ולא הספיקה להתגבש.

גבישים קטנים לעומת גדולים:

כאשר חומרים במגמה (מצב מותך) מתגבשים, נוצרים גבישים קטנים שמושכים אליהם עוד מולקולות ומתגבשים לאט. כאשר המגמה מתמצקת, הגבישים נשארים לכודים בגודל אליו הספיקו להגיע וכך:

- גבישים קטנים – מעידים על התקררות מהירה של המגמה.
- גבישים גדולים – מעידים על התקררות איטית.

מיון סלעים מגמתיים לפי גודל הגביש ים מלמד על מקום היווצרות הסלע – על פני השטח בהתקררות מהירה (גבישים קטנים) או מתחת לפני השטח בהתקררות איטית (גבישים גדולים).

כאשר מגמה (סיליקט נוזלי) מתקררת, החל ב-1700 מעלות מתחילים להתגבש חומרים. ככל שהטמפ' יורדת כך נוצרים יותר גבישים מיותר חומרים שטמפ' ההתגבשות שלהם נמוכה יותר. כיוון שעם התקדמות התהליך חומרים מתגבשים, כמותם במגמה משתנה ולכן הרכב המגמה משתנה עם ירידת הטמפ'. לבסוף מתקבלת מסת גבישים רציפה (ב-600 מעלות) ללא רווחים בסלע.

חומרים עשירים במגנזיום וברזל יהיו בעלי צבע כהה לעומת חומרים עשירים באשלגן, סידן ונתרן – בהירים.

שיעור 8: סלעים – המשך:

סלעים מגמתיים:

בזלת:

סלע מגמתי עשיר בברזל ומגנזיום (סלע מאפי) ודל בסיליקה. מתפרצת מהר געש או מסדק בקרקע. שפך הבזלת מתקרר על פני השטח במגע עם האוויר מצד אחד והקרקע מצד שני (קרים ביחס לטמפ' השפך המתפרץ ב-1100 מעלות). ההתקררות מהירה עד כדי שבועות אויר לא מספיקות



לחלחל החוצה, ותוצר בזלת בועית. לעומת זאת, כמה עשרות ס"מ תחת השפך הבזלת תתקרה לאט יותר, ובוועות האוויר יספיקו לצאת ויתקבל סלע ללא בועות אוויר.

עיקר הגזים היוצאים עם הבזלת הם CO_2 אדי מים, תרכובות נתרן. בעת הקירור יוצרו מבנים מוארכים בצורת משושים לפעמים נראים שפכים על גבי שפכים של בזלת – צורת שכבות. דוגמא: נחל תבור, שם שפכים תחתונים בני 19 מליון שנה, עליון – 3 מליון שנה. במאה ה-18 היו 2 גישות להיווצרות העולם: (1) הקטסטרופיסטיים, גישה דתית, שטען שכדה"א נוצר בתהליכים מהירים, (2) היוניפורמיסטיים, שטענו שישנה מחזוריות בתהליכים, ולפיכך קל להסביר את תופעת שכבת הבזלת.

סלעי מחדר מגמתיים:

- **Dike**: סדק לאורך שכבות הבזלת שהתמלא מגמה או שהסדק היה והתמלא מגמה, או שהסדק נוצר ע"י המגמה.
- **Pluton**: שם כולל לסלע מגמתי שהתקרה כמה ק"מ תחת פני האדמה, ונחשף ע"י ארוזיה של השכבה העליונה שמכסה אותו. מזוהה ע"י גבישים גדולים.
- דוגמא: דייק אל מול גרניט – סלעים אלו זהים בהרכבם אך שונים בגודל הגבישים. תופעה זו אפשרית ע"י התהליך הבא: תחילה נוצר הגרניט ממגמה שעלתה והתקררה לאט (בגבישים גדולים) תחת פני השטח. לאחר מכאן נחשף הגרניט מתהליכי ארוזיה של השכבה מעליו, וכאשר התקרר לחלוטין אפשר בכך פריצת מגמה דרכו שהתקרר מהר ועקב כך בגבישים קטנים – יצירת הדייק.



דייק

גופים מגמתיים:

- פלוטון – נוצר בהתקררות איטית וגבישים גדולים תחת פני השטח
- מגמה עולם מעלה דרך סדקים (שיוצרת או קיימים) ויכולה להתפרש לרוחב.
- סלעים פירוקלסטיים / אפר – נוצרים כתוצאה מהתפרצות והתקררות מהירה באוויר. פגישת מגמה עם מי תהום בעליה יכולה ליצור קיטור והתפוצצות שתעיף את הכיסוי. כאשר מגמה מתפרצת מתקרר באוויר נוצר טוף, וכאשר רסיסי המגמה המתפרצת מתקררים רק לאחר פגיעה בקרקע והתגבשות נוצר איגנמבריט. התפרצויות אלו הן שיוצרות את הצורה הקונית של הרי הגעש, לא התפרצות בזלת נוזלית.
- דייקים רדיאליים – סדקים רדיאליים סביב נקודת החדירה של המגמה (בדומה לסקים סביב נקודת פגיעת אבן בחלון).

גיל יחסי:

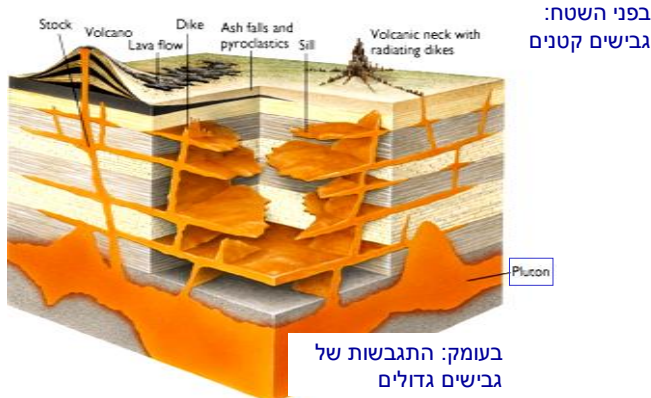
- סלעי מחדר מאוחרים לסלעי סביבה. למשל, פלוטון מאוחר לסלע אליו חדר שבו התקרר ונוצר.
- סלעי פרץ (וולקניים) מאוחרים לסלעים שתחתיהם. למשל הדייק שחדר לגרניט בדוגמא לעיל
- בתארוך סלעים מתבססים על תופעת הרדיואקטיביות: ישנו יסוד רדיואקטיבי המתפרק בקצב ללא תלות בתרכובת, טמפ' או לחץ, למשל אורניום המתפרק לתוריום. בידיעת קצב ההתפרקות, ניתן ללמוד את גיל הסלע אותו מתארכים ע"י מדידת כמות האורניום שנשארה בו וכמות התוריום בו. תהליך זה מורכב יותר כיוון שמושפע מתהליכים שונים. למשל: מים חודרים לסלע ומסלקים חלק מהאורניום – הסלע יכול להראות עתיק יותר ממה שהוא; מים מביאים אורניום זה לסלע אחר – יכול להראות חדש יותר ממה שהוא. לכן נדרשת הוכחת סגירות המערכת או תו מתארכים בשיטה זו (להראות שאורניום לא נכנס או עזב את המערכת).

סיכום מגמתיים:

- נוצר ע"י התגבשות סלע ממגמה, שהיא התכה של סלע אחר.
- גבישים גדולים – התגבשות איטית; גבישים קטנים – התגבשות מהירה.
- לא נדרש לדעת הרכבי סלעים!

סלעי משקע:

נוצרים בשכבות אופקיות, כאשר ההבדל בין השכבות הוא בגלל שינויי תנאים. השכבות מעידות על שינויי תנאי הסביבה, ומכאן מוטיבציה ללמוד על סלעים אלו: ניתן ללמוד על טמפ' הים, חומציות מים, חוזק רוחות וכו'. סלעים אלו נוצרו על פני השטח ומחקר עליהם נותן מידע על הסביבה לאורך זמן.



היווצרות סלעי משקע:

- סלעים נשחקים ונסחפים, ונוצרות שכבות שכבות. בין השכבות ישנם גם יצורים חיים ההופכים לחלק מהסלע – מאובנים. המאובנים מלמדים על הסביבה. היעדר מאובנים גם יכול להעיד על הסביבה, כמו ים המלח.
- אחרי ייבוש האגם או הים אליו נסחפו, נחשפות השכבות.
- השכבות נחשפות ע"י שחיקה של נחל, החושף לעומק את השכבות.
- דיאגנוזה – בוחן שעל הקרקעית מתייבש, מתרחשות ריאקציות כימיות, וכך הבוץ הופך לסלע משקע.

עיקרון האחידות:

אין הבדל מהותי בין התהליכים של היום לאלו של פעם התפיסה הדתית בעבר הקשתה קבלת תפיסה זו, שכן לפי הדת ישנו סיפור הבריאה – תהליך שקרה השונה ממה שהיום. עקרון האחידות אומר שההווה הוא מפתח לעבר. למשל, אם נראה מאובן של דג, נסיק שהסביבה היתה ימית, כיוון שדגים כיום גדלים במים.

דוגמאות לתהליכי בלייה:

- סדקים בגרניט הנוצרים בתהליך איטי ע"י מים. ריאקציות מים עם גרניט יוצרת חרסית, שנפחה גדל עם ספיחת מים – וכך הסדק מתרחב.
- דרדרת, מפולת סלעים: מאופיינת בכך שבראש הדרדרת הסלעים גדולים ואי רגולריים, ובתחתית קטנים וחלקים יותר (עקב שחיקה בהדרדרות). מציאת דרדרת מאובנת יכולה להעיד על הימצאות הר באותו מקום בעבר, שכן לא סלעים אלו מקורם בדרדרת ולא יכלו להסחף ע"י נחל (אחרת היו חלוקים).
- זרימת מים: על פני השטח נראים חלוקים, כתוצאה מסחף מים בעבר.
- דיונות חול: עדות להסעת חול יבש ע"י הרוח. כדי שיווצרו דיונות יש צורך באקלים מדברי. כאשר חול נדבק בדיונות נוצרת דיונה מאובנת – כורכר, אבן חול – סלע רך שיכול להתפורר וליצור מפולות קרקע הימצאות דיונות מעידה על אזור בו היה אקלים מדברי.
- הובלת גרגרים על ידי נחל: גרגרים הנשאבים בסחף מים נשחקים לאורך הסחף, ונהיים קטנים ועגולים יותר. מינרלים מתמוססים במים ומעלים את מליחותו, ולבסוף נשאבים חומרים שלא מגיבים למים, כמו זכוכית או קוורץ (הרכב הזכוכית בצורה גבישית). יצורים ימיים בונים את שלדם מלקיחת חומרים שונים שמתמוססים במים, כמו שוניות אלמוגים.
- רוב התהליכים איטיים מאוד, אך ישנם תהליכים מהירים מאוד כגון מפולת קרקע

היררכיה של מרכיבים:

- אטום בנוי ניוטרונים, פרוטונים ואלקטרונים.
- מספר אטומים בונים מולקולה, כאשר הרכבים קבועים מתוארים ע"י נוסחה כימית.
- ריבוי מולקולות יוצר מינרל. כאשר מומסים במים הם כבר לא מינרל למשל קלציט המתפרק לסידן ו- CO_3 .
- ריבוי מינרלים יוצר סלע

סוגי סלעי משקע נפוצים:

- סלעי משקע ימיים: גיר ודולומיט (בהירים, מצויים הרבה בנגב), צור (כהה). מאופיינים בהמצאות מאובני בע"ח בהם.
- סלעי משקע יבשתיים: למשל מלח על חוף ים המלח. מי הים ממיסים את הסלעים בסביבה ומשחררים מלחים. בגלל אקלים מדברי יש אידוי מרובה של המים והתגבשות מינרלים לכדי סלע אבפורטי (סלע הנוצר כתוצאה מאידוי). סלעים אלו מעידים על אקלים מדברי קיצוני, שכן לא יכולים להיווצר בסביבה אחרת

דוגמאות לסלעי משקע שונים:חילופי שכבות של גרגרים דקים ומשקע כימי:

סלע רימית – סלע המורכב שכבות מחזוריות. השכבות מעידות על עונות:

- חורף: שכבה כהה בשל סחף.
- קיץ: שכבה בהירה בשל אידוי מוגבר המביא לרוויה של המים ויצירת גיר או קלציט.
- דוגמא נוספת לכך ניתן לראות באקלים ארקטי:

- בחורף: האגם קפוא, חומר אורגני באגם לא מתחמצן ולכן נרקב ושוקע ונוצרת שכבה כהה.
- בקיץ: הקרח מפשיר, החומר האורגני באגם מתחמצן ונוצרת שכבה בהירה.

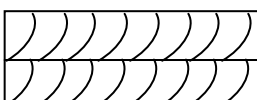
גלונים בדיונות חול: ישנה אסימטריה בצורת דיונות החול. ניתן לשחזר את כיוון הרוח: הרוח מגיע מהכיוון המתון ובקצה הערמה נופלת.

משקעים אגמיים:

גלים על המים משפיעים לעומק בערך באורך הגל. מכאן שגלונים מעידים על קרקעית רדודה של אגם במקום. ישנם סלעים עם שכבות עם גלונים ושכבות בלי גלונים, כאשר השכבות מעידות על עומק קרקעית האגם בתקופות שונות.

תופעות שונות מאפשרות הבנה של תופעות עלמאדים, למשל סלעי משקע ודיונות במאדים.

אבן חול עם שיכוב צולב: שכבה נוצרת בצורה אלכסונית עם הזמן. רוח מיישרת את השכבה, והתהליך חוזר על עצמו.



שכבות מצטלבות:

שכבות דקות ועדינות המשולבות עם שכבות עם חלוקים – הראשונות מעידות על משקע אגמי (עדות למפלס נמוך) והאחרונות על משקע נחלי (עדות למפלס גבוה).

התחתרות לעומק: ירידת מפלס הים גורמת להתחתרות לעומק של נחלים הנשפכים לים

שיעור 9: סלעי משקע – המשך:**מניפות סחף:**

כשסחף מגיע לאגן השפך של הנחל, נוצרת מניפת סחף. למשל סחף יבש – מניפת הערבה, או סחף לים – מניפת הנילוס. ההבדל בין סביבה יבשתית ומימית במניפות סחף: במניפת סחף מימית, גרגרים שוקעים לאורך המניפה לפי גודלם (גדולים בהתחלה, קטנים בסוף). לעומת זאת בסחף יבשתי הגרגרים יהיו מעורבבים בגודלם לאורך כל המניפה

שיכוב מדורג באבן חול: גרגרים גדולים בתחתית השכבה והקטנים למעלה מעיד על אירועי שיטפון לפי גדלי הגרגרים בשכבות

אבן חול צבעונית: מים המסיעים את צביעה לאבן חול וצובעים אותה

מרבצי פחם כעדות לאזורים טרופיים: באזורים טרופיים מרובי צמחיה על הקרקע יש הצטברות מתמדת של חומר אורגני. אם הוא נקבר טרם התחמצנותו, נוצר פחם. דוגמא: מכרה פחם במונגוליה – כיום אין בו עצים אך בעבר סביבה זו היתה טרופית

שוניות אלמוגים כעדות לאזורים טרופיים ימיים:

שוניות אלמוגים גדלות באזורים עם מים טרופיים שכן בונים את שלדם בסימביוזה עם אצות חד תאיות, המסייעות לאלמוגים לסנתז את שלדם מתוך המים. אצות אלו זקוקות לאור, ולכן האלמוגים ימצאו רק בסביבה פוטית (מלשון אור), ולא במים עכורים.

אינדיקציה נוספת היא מכך שאלמוגים חיים באזור בו המים בטמפ' 18~ מעלות כל השנה, ולכן מהווים אינדיקציה לאקלים הסביבה בה חיים.

ככלל יצורים ספציפיים בדרישות מהווים מאפיין טוב לגיאולוגים לאפיון תנאי הסביבה בה נמצא לעומת יצורים החיים בטווח תנאים.

שונית רודיסטים כאינדיקציה לאבולוציה: מלמדת על אבולוציה בעולם החי. רודיסטים הן צדפות שחיו לפני 100 מליון שנה וכיום נכחדו. ניתן לראות שוניות רודיסטים באזור הכרמל

סוגי סלעים כאינדיקציה למיקום שונה בים:

- בלוגנה המים רדודים יותר, פחות תחלופת מים ואיזוי מוגבר יותר, ולכן נוצרים בו סלעים שונים מאשר בעומק הים
- בקווי החוף גם ישנם סוגי סלעים ייחודיים ליבור המים עם היבשה
- במים עמוקים מאוד ישנם סלעים מחוזרים שאינם מחומצנים

פענוח ושחזור סביבת השקעה:

חתך סלעים באזור מסויים יכול לשחזר את תנאי הסביבה: קנגלומט (חלוקים המובלים בנחל), אחריהם אבן חול, חרסית וכי' :



שונית אלמוגים מאובנת:

תופעה זו ניתנת להסבר בשני אופנים:

- ירידת מפלס הים: בתקופות קרח מפלס הים יורד כיוון שמחזור המים נעצר בשלב השלגים, שלא נמסים חזרה וחוזרים לים. ישנו הפרש של 100-120 מ' במפלס הים בין תקופות קרח לתקופות בינקרחוניות
- תנועה מקומית של היבשה, עליית החוף.

ההבדל בין השניים: התופעה המוצגת בראשון צריכה להראות בכל העולם באזורים מאותה תקופה ולא רק מקומית. אם התופעה מקומית, הרי שזו תנועת יבשה מקומית.

פליאנטולוגיה:

חקר התפתחות החי ע"פ מאובנים. מאובן – כל שריד המעיד על קיום של בע"ח או צמח. דוגמאות: יצורים שנלכדו בענבר (שרף מאובן), קונכיות, טביעות עלים. מאובנים מעידים על תנאים, זמן, קטסטורפות ועוד.

דוגמא לשימוש במאובנים: קידוחי נפט – מציאת מאובנים מיקרוסקופיים בפירורי הסלע בקידוח מעידה על אופי השכבה אליה הגיע המקדח. ככל שהמאובנים קטנים יותר כך הם נפוצים יותר והאבולוציה שלהם מהירה יותר(לרוב).

תוצרי המחקר הפליאנטולוגי:

- חקר האבולוציה של החי.
- הגדרת שכבות – סטרטיגרפיה: תיאור שכבות הסלעים והגדרת זמן יחסי. מציאת מאובן בסלע מעידה שהסלע נוצר בתקופה לפני שהייצור שהתאבן נכחד.
- שחזור תנאי סביבה: למשל ע"י מאובני אבקנים. אבקנים הם ייחודיים לכל מין, ולכן מאפשרים הבדלה בין סביבה עצית לעשבונית. אבקנים עשויים מחומר עמיד שנשמר גם כשבסלע עובר שינוי כמו כן האבקן משנה צבעו לפי הטמפר, וכך ניתן ללמוד באיזו טמפר הסלע נוצר.

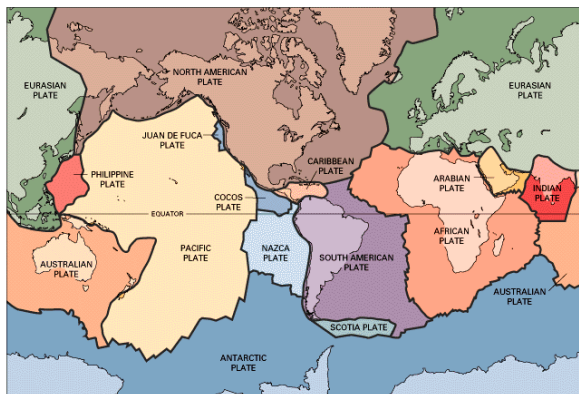
סיכום: משתמשים בסלעי המשקע להבנת עולם החי, ובעולם החי בעבר כדי להבין סביבות עבר.

מבוא לטקטוניקה:

עיקרי טקטוניקת הלוחות:

טקטוניקה – התורה המטפלת בתנועות בקנה מידה גדול של כדה "א. תורה זו אומרת שהליטוספירה (ליטו – סלע), השכבה החיצונית של כדה "א אינה מקשה אחת אלא עשויה לוחות. הלוחות יכולים להכיל גם אוקיינוסים וגם יבשות מעורב או בנפרד, וללא קשר לחלוקת הלוחות. הלוחות נמצאים כל הזמן בתנועה. התנועה היא ביחס לשכנו – לוחות יכולים להתנגש, להיפרד או לנוע בכיוונים מנוגדים. סדרי הגודל הם סנטימטרים בודדים בשנה, בדומה לזרימת הקונבקציה. למעשה זרימה זו גורמת לתנועת הלוחות. הלוחות קשיחים ונשארים קבועים לאורך זמן. תכונה זו מאפשרת לנו לשחזר את הרכב הלוחות לפני שהתפרק. פעילות געשית ורעידות אדמה קורים בגבולות בין הלוחות (לרוב). אין קשר בין גבולות הלוחות לגבולות בין אוקיינוסים ויבשות

תשבץ הלוחות בהווה:



מציאת הגבולות בין הלוחות ע"י תצפיות: תנועה בקנה מידה גדול, שולי היבשות מתאימים אחד לשני, אינדיקטורים שונים לתנועה. למשל: כאשר נראה סלע שנולד כשכבה אופקית לקרקעית הים וכעת הוא מקומט – מעין מזוגג – מעיד על התכווצות של סלע שהיה פרוס על פני שטח גדול יותר. פעילות מגמתית גם כן – חומר יוצא מהעומק, ואת מקומו בעומק תפס חומר אחר, וזה מחייב זרימה בעומק. הטמפ' הגבוהה בעומק מאפשרת זרימה זו (זו הקונבקציה).

עדויות לתנועת הלוחות:

- זרמי קונבקציה במעטפת - אותם זרמים מתחת לליטוספירה הגורמים לתנועת הלוחות. הלוחות נישאים על גבי הזרמים כמו רפסודות. חופי האמריקות דומים לחופי אפריקה ממש כמו פאזל. נתונים אלו ידועים כבר מהמאה ה-17. ההרים מסודרים ברצועות, כמו גם עמקים. פיזור פעילות כדוגמת הרי געש ורעידות אדמה – בשולי האגדים, יפן – כל אלו נמצאים באותם מקומות, כלומר קיים קשר בין התופעות. גם אמצע האוקיינוס מלא ברעידות אדמה (רצועה).
- מתצפיות בסלעים נראים סלעים שאינם נמצאים באזור אופייני להם. למשל, הימצאות סלע טרופי באזור הנגב (סלע עם מינרלים בלתי מסיסים שכן אזור טרופי רווי מים); במכתש רמון נמצאו מאובני צפרדעים. כדי שיתקבלו צריכים סביבה שטופה, טרופית. תופעה זו מוסברת כך שהאקלים היה אחר – או אקלים באותו מקום בתקופה אחרת, או שהאזור עצמו היה במקום אחר בו אקלים שונה מהמקום בו נמצא כעת. ישנם הרבה עדויות לסלעים שלא נמצאים באזור אקלים אופייני להם.
- שריטות של קרחונים באזורים שכיום אין בהם קרחונים. קרחון: מסה גדולה של קרח המחליקה למים והסלעים הכלואים בה משייפים את הסלעים בדרך. יש שריטות קרחונים במדברי הסהרה והקלהרי – עדויות לסלעים שלא נמצאים באזור האקלים שלהם.
- שכבות מלח בעיר זלצבורג בגרמניה (מלח נוצר באזורים יבשים, ולכן שכבות אלו נוצרו כשהיבשת היתה במקום אחר).

קרקעיות האוקיינוסים והשדה המגנטי:

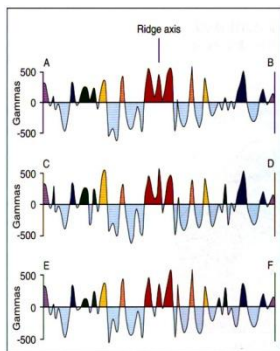
במרכז האוקיינוס נראה רכס הרים בנויים בזלת ועמק בשיא הרכס. תופעה זו אופיינית לכל האוקיינוסים – רכס גבוה עם עמק בראשו. נעשה מיפוי של השדה המגנטי בתקופת מלחה "ע השניה, ונמצא כי השדה המגנטי בעל תכונה (חתימה מגנטית) המופיעה בצורה סימטרית בשני עברי הרכס האוקייני.

השדה הגיאומטרי – הקשר לסלעים:

השדה המגנטי של כדה "א הוא דו קוטבי וגיאוצנטרי, כמעט מתלכד עם ציר הסיבוב של כדה"א, ומתרחשים בו שינויים כל הזמן. כל שנה השדה המגנטי זז בכמות מסוימת משפיע על חישובים מדויקים למרחקים ארוכים. שינוי נוסף: היפוכים מגנטיים. הסלעים בקידוח קרקעית האוק' נראו כרוכשים תכונות מגנטיות. ניתן לראות שכבה עם שדה מגנטי המצביע לצפון, תחתיה שכבה עם שדה מגנטי המצביע לדרום, וכן הלאה – נראה בכל העולם, ומצביע על היפוכים בשדה המגנטי של כדה"א. ההיפוכים אקראיים. ההיפוך האחרון היה לפני 780 אלף שנה. לא ידוע למה תופעה זו קורית או איך.

כיצד סלע מקליט את המגנט:

המינרלים בבזלת, כל זמן שהיא מותכת, יכולים לנוע בכל כיוון, אך השמת שדה מגנטי יסדרו את המינרלים בתוך הסלע בכיוון מסויים. ברגע קירור הבזלת ישארו המינרלים במקומם ויקליטו את השדה המגנטי. כמו כן מחטים קטנים (חתיכות מתכתיות של בזלת) השוקעים על הקרקע שוקעים בכיוון השדה המגנטי, ונשאר חותם. השכבה מעליה תהיה כבר בכיוון אחר, של רגע השקיעה המאוחר.



אם כן, הבזלת הפורצת מרכז ובונה שכבות לשני כיווני הרכס גורמת לחותם מגנטי סימטרי משני צידי הרכס. תופעה זו קורית באזור רכסים, כיוון ששם המגמה גולשת לשני הצדדים. תופעה זו יכולה תיאורטית ליצור טבעות בעלות חותם מגנטי זהה סביב הרי געש, אך בפועל המגמה לא פורצת בצורה שווה סביב הרי הגעש. עוצמת שדה נמוכה תואמת לתקופות פולריות הפוכות לתקופה הנוכחית

יצירת אוקיינוסים:

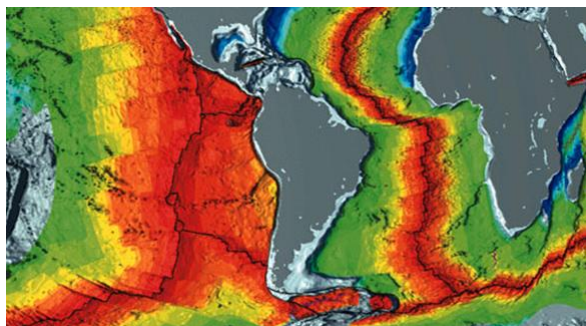
אוקיינוסים נוצרו באזור בו היבשה מתבקעת: המגמה דוחפת את היבשות משני הצדדים תוך סימטריה של שדות מגנטיים. בחיץ בין היבשות יוצר אוקיינוס. בזלת המתפרצת מתחת למים מתקררת מהר מאוד ויוצאת בצורת "כריות". החלק הפנימי של הבזלת היוצאת טרם התקררה, ולכן זולגת החוצה מהחלק שהתקרר ומתקררת וכן הלאה בצורה טלסקופית.

תופעה נוספת: מעיין מים שחור (black smokers) בטמפ' 350 מע' – המים נכנסים לסדקים, ממסים חלק מהסלע ומתחממים – ונוצר מעיין שחור. בעי"ח ניצלו סביבה חמה זו בקרקעית (בעומק רב) כדי ליצור סביבה אורגנית באמצעות כימוסינטזה – פירמידה אקולוגית שלמה באסוציאציה עם הרכסים האוקייניים בעזרת המעיינות החמים התת קרקעיים.

גם שאלת הרכב האוקיינוסים קיב לה תשובה – שכן עד כה השוו את תוכן האוקיינוסים עם מי גשמים, נחלים ונהרות. רק לאחר חיבור עם הרכב המלחים מהמעיינות הללו ידעו להסביר את הרכב האוקיינוסים

גיל קרקעית האוקיינוס האטלנטי:

גיל השכבות השוות מבחינה מגנטית צריך להיות זהה, וככל שנרחיק מרכז השוליים נראה קרקעית יותר ויותר עתיקה. התמונה הכללית של כדה "א כיום מהווה אימות מושלם לאופן יצירת האוקיינוסים. כך ניתן ליצור תמונות של העולם בתקופות שונות. הרצועה הרחבה האדומה בפסיפי מייצגת אותו זמן כמו הרצועה האדומה באטלנטי – מכאן שהפסיפי נפתח מהר יותר.



שיעור 10: תנועת הלוחות הטקטוניים – המשך:

כאשר החומר הפורץ מתרחק ממרכז הרכס האוקייני, הוא מתקרר ושוקע. לכן ככל שמתרחקים ממרכז הפריצה כך הקרקעית נמוכה יותר ונוצר רכס. עניין נוסף הוא כאשר הרכס יותר גבוה כך יש פחות מקום למים באוקיינוסים וישנן הצפות על היבשה. זו אחת הסיבות לשינוי מפלס הים. הסיבה השניה היא תקופות קרחוניות בהן המים לכודים בקרחונים ומפלס הים יורד. עדויות למפלס הים ניתן למצוא בהימצאות סלעים ימיים כדה"א לא קולט או מאבד חומר (פרט לכמויות קטנות של אבק המתקבל מהחלל). אם כן, לצד הגדלה של שטח במקום אחד ישנה הפחתה של שטח במקום אחר. מכאן כמות היווצרות הקרקעית האוקיינית צריכה להיות מפוצה ע"י הקטנת שטח אחר.

פנגיאה:

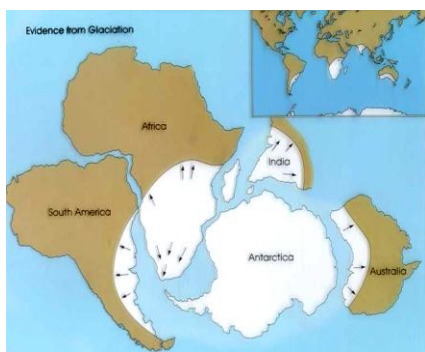
פאנגיאה – יבשת העולם לפני 200 מיליון שנה, בתקופה בה היתה מסת יבשה רציפה. הטקטוניקה משפיעה על אבולוצית עולם החי, וזאת ניתן לראות לפי תפוצת בע"ח שונים. למשל, בעי"ח שהתפתחו לפני ביקוע הפנגיאה הנפוצים בכל העולם, לעומת אוכלוסיות שהתפתחו לאחר הביקוע (כמו קקטוסים באמריקה, או קואלות באוסטרליה, לעומת עצי שיטה שהתפתחו לפני הביקוע ולכן נפוצות בכל היבשות פרט לאנטרקטיקה שאינה מתאימה מבחינת אקלים).

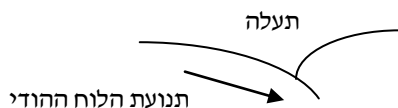
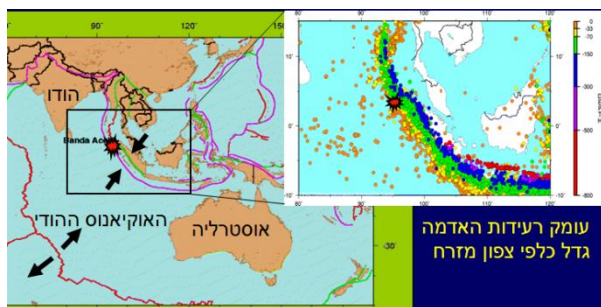
המאובנים הם עדות לתמונת פנגיאה. למשל, מאובן של מין כלשהו שנמצא בשני מקומות רחוקים מאוד אחד מהשני – ההסבר עולה מחיבור פנגיאה שכן נמצא רצף יבשתי בין האוכלוסיות שנמצאו להן עדויות במקומות שונים. קרחוני פנגיאה – שרידי קרחונים שנותקו מאנטרקטיקה של היום ונשארו על היבשות האחרות, הן הסבר לכיצד הגיעו קרחונים ליבשות אלו מלכתחילה

הרי געש פעילים ורצועות רעידות אדמה:

רעידת אדמה:

מבטאת שבירה של קרום כדה "א. מאמץ סייסמי - פיסה בקרום אוגרת מאמץ על ידי מעוות אלסטי עד שבירה. כשקרום כדה"א נקרע הוא נקרע קודם בנקודה קטנה ממנה הקרע מתפשט. נקודה זו נקראת מוקד. מהמוקד מתפשט הקרע ונגרמות בשולי הקרע רעידות משנה. עוצמת הרעידה (מגניטודה, המומנט הסייסמי) מחושבת ע"י שטח ההעתק (השטח שזז) $\times$ מידת התזוזה (כמה זז השטח) $\times$ החיכוך. רעידות השוליים מופיעות בקצוות וכך ניתן לזהות את מוקד הרעידה.





כל תנועה של הלוחות אם כן צריכה להיות מלווה בהרבה רעידות אדמה. על כן רעידות האדמה ממפות את הגבולות בין הלוחות. דוגמא: גבול לוחות בדרום מזרח אסיה. באמצע האוקיינוס ההודי יש רכס אוקייני ממנו מתרחקים הלוחות, כך שאמורה להיות התנגשות לוחות באזור המדובר. עומק רעידות האדמה גדל ככל שמתקדמים צפון מזרחה. מה שלמדים מכך זה תמונה של משטח שבירה: הלוח של האוקיינוס ההודי נכנס מתחת ללוח הצפון מזרחי המסומן במפה. אזור זה קרוי אזור ההפחתה. הקרום עובר כפיפה ולידו הקרקעית האוקיינית יוצרת תעלה. נמצאו המקומות בהם יש הפחתה של שטח, במקביל ליצירת השטח באוקיינוסים. כך ניתן לקבל תמונה של ההתרחשויות בקליפת כדור הארץ.

הרכסים האוקייניים:

מקום בו עולה מגמה המצטרפת ללוח מימין וללוח משמאל. מתישהו הקרקעית מתנגשת עם לוח אחר ויורדת כלפי מטה, ונוצרות רעידות אדמה באזור זה. כדי ליצור וולקניזם באזור הרכס האוקייני יש צורך בהתכה של המעטפת. מההתרחשויות מקבלים רק בזלת. הבזלת היורדת באזורי ההפחתה מתחילה להתחמם ונוצרת מגמה רק מחלק מהבזלת שמותך, חלק זה קרוי גרניט ופורץ החוצה. כך מתקבל קרום יבשתי גרניטי. קרום כדור הארץ – יבשתי מול אוקייני:

יבשתי	אוקייני
• לרוב בעובי כ-35 ק"מ. • בנוי בעיקר מגרניט. • נוצר מהתכה חלקית של בזלת באזורי ההפחתה. • צפיפות 2.7 גרם לסמ"ק.	• לרוב בעובי 5-7 ק"מ. • בנוי בעיקר בזלת. • נוצר מהתכה חלקית ברכסים אוקייניים (אזורי פתיחה). • צפיפות גבוהה יותר – 3.3 גרם לסמ"ק.

בכל המקומות בהם יש אזור הפחתה, חלק מהחומר שיוורד מטה עובר התכה, המגמה עולה מעלה ונוצרים שרשראות הרי געש. מיפוי רעידות האדמה מצביע על הגבולות בין הלוחות. כל הפעילות הטקטונית מרוכזת בגבולות בין הלוחות

טקטוניקה ו- CO_2 :

בע"ח באוקיינוסים שמתים עוברים הפחתה יחד עם הקרקע, ובשריפת שלד / שרידיהם מתהליך החימום משתחרר CO_2 , ולכן בהרי געש משתחרר CO_2 רב לאטמוספירה. עיקר ה- CO_2 הוא מתהליך זה. לולא היה מתרחש תהליך זה, כדור הארץ לא היה מתחמם ופני השטח היו קופאים. אם כן תהליך ההפחתה אחרי על ויסות הטמפרטורה על כדור הארץ.

לפני שהסלעים ניתכים בתהליך ההפחתה, הם נעשים חמים ולחוצים עקב שכבת סלעים עבה מעליהם. כך נוצרים סלעים מטמורפיים, ואלו ניתכים כאשר מגיעים לאזור חם מספיק, והופכים לסלעים מגמתיים. אם כן סלעים מטמורפיים נוצרים באזורי הפחתה.

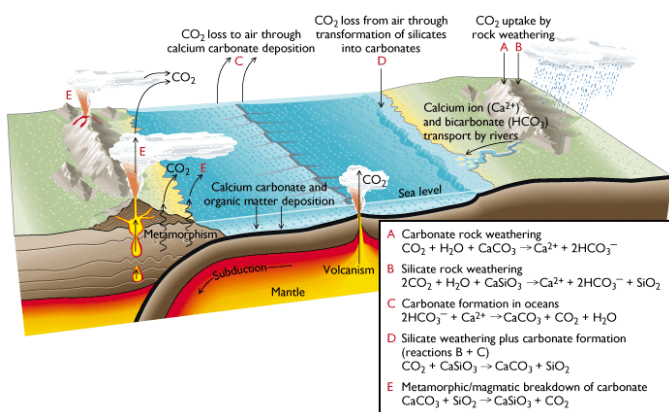
סיכום סוגי התנועות בין הלוחות:

- פתיחה – במקומות בהם הלוחות מתרחקים. בעיקר באוקיינוסים, נוצר שטח חדש.
- התנגשות – או התנגשות לוחות יבשתיים היוצרת קימוט ושרשראות הרים, או הפחתה – ירידת לוח אחד תחת השני.
- טרנספורם – תנועה ללא שינוי בשטח, תנועה מקבילית של לוחות.
- אלכסונית – שילוב של טרנספורם עם אחת מהשתיים הראשונות

מערכת איכון מלווינים – GPS:

במערכת זו יש כ-30 לוויינים המשדרים את מיקומיהם לכדור הארץ. מכשירי GPS יכולים לזהות מיקום בדיוק מוחלט של עד ס"מ. מכשירים מושמים על לוחות שונים כדי לבדוק האם תהליך תנועת הלוחות מתרחש גם כיום. כך ניתן לראות את תנועת הלוחות כמעט בזמן אמיתי. מדע מדידת פני השטח קרוי גיאודזיה, ובאמצעותו אימתו את המודל הגיאולוגי של תנועת הלוחות. ישנם מקומות בהם יש סטייה שמקורה בבחירת מיקומים לסימוני נקודות עוגן ל-GPS, השפעות מתופעות מקומיות. למשל, באנדים העוברים מעוות מקומי יש סטייה גדולה. כל סטייה כזו ניתנת להסברה ומתקבלת תמונה זהה לתמונה הגיאולוגית.

הלוחות במזרח התיכון:



ניתן לראות התאמה בקו החוף ה- מזרחי והמערבי של ים סוף. המשולש ש"מפריע" להתאמת קו החוף בדרום הים מוסבר ע"י רכס ימי שנוצר, המתאים לפער הנוצר במקום.

סיכום טקטוניקת הלוחות:

- הליתוספירה של כדור הארץ שבורה ללוחות.
- לוח יכול לכלול קרום אוקיאני, קרום יבשתי או שניהם.
- הלוחות נמצאים בתנועה מתמדת, כל לוח נע ביחס לשכניו.
- קצבי התנועה הם מסדר גודל של סנטימטרים בשנה.
- הלוחות קשיחים, עיקר הדפורמציה מתרחשת בגבולות שבין הלוחות. רעידות אדמה ופעילות מגנטית שכיחים לאורך הגבולות בגבולות חלה **התרחקות** (נוסף שטח, לרוב נוצר קרום אוקיאני) או **התנגשות** (מופחת שטח) או תנועה **במקביל** (אין שינוי בשטח). בחלק מהגבולות יש תנועה אלכסונית - שילוב של תנועה במקביל עם התנגשות או התרחקות.
- יש בסך הכל איזון בין ההיווצרות להפחתה של שטח הלוחות.
- מדידות גיאודטיות באמצעות GPS מאשרות את המודל הגיאולוגי.

שיעור 11: עדויות לשינויי אקלים בעבר:

אקלים:

אנו חלק ממערכת השמש ולכדה "א שני שכנים: הפלנטה מאדים – בערך 50- מעלות בממוצע, אין מים; הפלנטה ונוס הקרובה יותר לשמש – 450 מעלות טמפר' ממוצעת על השטח. המקום היחיד בו יש מים נוזליים – כדה"א, וזהו המקום היחיד בו נמצאו חיים. החיים תלויים באטמוספירה והאקלים. האקלים נקבעים ע"פ מסת הפלנטה, מרחק מהשמש והרכב האטמוספירה.

האקלים אינו קבוע מהסיבות:

- שינויי מרחקים מהשמש, מסלול ההקפה משתנה.
- אפקט החממה.
- שינויים ביכולת כדה"א להחזיר קרינה – אלבדו.
- פיזור החום על פני כדה"א נעשה ע"י מעבר מים באוקיינוסים, למשל זרם הגולף המחמם את דרום אנגליה. ישנם שינויים בזרמים.
- שינויים בפליטת השמש.
- טקטוניקת הלוחות – שינויי מיקומי היבשות.

חלוקה לאזורי אקלים של כדה"א:

- האזור הטרופי משווני עם רצועת עננים – גם חם וגם גשום
- לאחריו איזור מדברי, יבש, מעט עננים.
- לאחר מכן אזורים ממוזגים.
- בקטבים – אקלים ארקטי.

הסיבה היא שקרני השמש המגיעות בערך במקביל לכדה"א, וקרן הפוגעת במשווה מתפזרת על שטח קטן יותר מאשר בקטבים, והמסלול עד לפגיעה ארוך יותר בקטבים. לכן אוויר חם ולח מאידוי עולה במשווה, ואז יש גשמים רבים ולחות גבוהה. האוויר שהתקרר יורד בשוליים, ובירידת האוויר הטמפר' עולה. אוויר חם ויבש יוצר מדבר – ולכן משני עברי האזור המשווני הטרופי יש רצועות מדבריות. בקיצור, יש רצועות די קבועות של אקלים על פני כדה"א.

שינויים בעוצמת הקרינה מהשמש מאז היווצרותה:

מדוע טרוויאלי שיש שינויי אקלים על פני פרקי זמן ארוכים? קרינת השמש הלכה ועלתה מאז היווצרותו לפני 4.5 מיליארד שנים. לאורך כל הזמן תמיד היו על כדה"א מים נוזליים ותמיד התקיימו חיים. טמפר' כדה"א לעומת זאת, הלכה וירדה, וכמות ה- CO_2 הלכה וירדה גם כן. כיום אנו בתקופת מינימום מבחינת עוצמת הקרינה של השמש. ניתן לראות מחזוריות מסויימת ואין קורלציה בין נתונים אלו לשינויי האקלים

אפקט החממה:

הקרינה עוברת באטמ' וכמעט ולא עושה אינטראקציה איתה, בחזרת חלק נשאר אגור באטמוספירה. ככל שיש יותר גזי חממה כך חם יותר, וככל שיש פחות גזי חממה יותר קרינה יכולה לצאת החוצה מכדה"א.

גזי חממה באטמוספירה:

הגזים CO_2 , מתאן ואדי מים – הגזים העיקריים. האחרים בעלי כמות קטנה כך שאינם משמעותיים. כאשר מסתכלים על כלל הגורמים המשפיעים על מאזן הקרינה בכדה"א, ניתן לחלק זאת במספר אופנים:

1. מה גורם לחימום ומה גורם לקירור.
 2. גורמים טבעיים מול גורמים בשליטת האדם.
- ה- CO_2 גורם חימום, כמו גם אירוסולים היוצרים צל. ישנה אי ודאות לגבי חלק מהגורמים המביאים לקירור, עד כמה מביאים למאזן את טמפר' כדה"א. מסקנת ה-IPCC – גוף החוקר את שינויי האקלים, היא שבסה"כ הטמפר' במגמת חימום, והתרומה לכך מהאנושות.

גורמים טבעיים:

• **התפרצות הרי געש:** לאחר התפרצויות הרי געש היתה ירידה בטמפ'. אפר מגיע לאטמ' וחלק גדול מהקרינה נחסם – משפיע על מזג האוויר בעולם. אבל, לא תמיד מושפע מזג האוויר (אקלים – מזג אוויר על גבי פרק זמן ארוך) מהרי הגעש. בכל זאת, נראה כי השנים שאחרי ההתפרצות קרות יותר מאשר השנים שלפני ההתפרצות (דוגמא: חורף 1991).

• **תהליכים גיאולוגיים:** למשל, הודו נדדה מדרום לקו המשווה עד התנגשות עם אסיה (יצירת הרי ההימליה) – תהליך של 70 מיליון שנה. במהלך שינויים אלו הודו עברה דרך מספר אזורי אקלים שונים ניתן לראות עדות לכך בסוגי סלעים שונים

עדויות לשינויי אקלים בעבר:

- שינויים בישה: תפוצת קרחונים, גודל האגמים (יותר גשום – אגם יותר גדול, אידוי גם כן משפיע), עוצמת זרימה בנחלים, סוגי צמחיה ותפוצתה, בע"ח.
- שינויים באוקיינוסים: מפלס, זרמים, בע"ח, סדימנטיים (סלעי משקע).

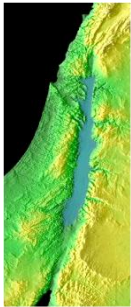
גיאולוגיה:

אגם הליסאן (השתרע על פני אזור רצועת ים המלח-כנרת):

סלעים באזור ים המלח בעלי מאפיינים של משקעים שנוצרו על קרקעית אגם – לפי הרכבם ולפי כך שאין עדות ליצורים (שכן אין יצורים על קרקעית עמוקה). אזור זה השתרע על פני רצועה ארוכה, 170- מ' מפני הים (הרבה מעל ים המלח כיום). מאגם זה נותרו הכנרת וים המלח.

תצורת הסלע שקעה בצורה שונה בחורף ובקיץ:

- בקיץ שקעה הרצועה הלבנה. בקיץ היה אידוי רב, ונוצרו גבישים רבים – לבן.
- בחורף – משקעים ושיטפונות צבעו את השכבה בחום.



בתוך רצף השכבות רואים תקופות בהם משקעי החורף היו דומיננטיים, ותקופות של משקעים בערך מאוזנים של חורף וקיץ. כלומר נראה שינוי באקלים – שינוי מז"א לאורך זמן רב.

עדויות נוספת: גלונים הנוצרים כשהמפלס נמוך, והקרקעית מרגישה את הגלים על פני המים. בעומק של למעלה מכמה עשרות ס"מ הגלונים לא נוצרים. לכן גלונים מעידים על ירידת מפלס – מפורש כאידוי מוגבר ופחות גשם. המדרגות בקו החוף הן ירידה שנתית של מפלס האגם. ים המלח מאבד כיום כמטר ממפלסו מדי שנה.

מפלסי הכנרת וים המלח:

נבחן האם יש השפעה של שינויי המפלס = שינויי האקלים על ההיסטוריה האנושית באזור. מהתצפית עולה שכאשר השלטון והחקלאות הביזנטית נחלשו, שבטים של ערבים מחצי האי ערב הגיעה לאזור, באותו זמן היה שינוי דרסטי באקלים.

קורלציה עם אירועי היינריך מהאוקיינוסים:

רואים שינויים משמעותיים במפלס לאורך 45 אלף שנה, כאשר השיא היה לפני 26 אלף שנה. כאשר משווים את השינויים עם מפלס האוקיינוסים, רואים כי התופעה אינה מקומית אלא גלובלית. היינריך תיעד את השינויים בעזרת קידוחים בקרקעית האוקיינוס. נמצאו גושי סלע יבשתיים באמצע האוקיינוס. התיאוריה היא שקרחונים נפלו לים, צפו וכשנמסו הסלעים שהיו על הקרחון שקעו לקרקעית

שינויי נפח קרחונים ועליית קו הקרח:

נמצאו שרידי קרחונים במקום בו כיום אין קרחונים: משטחי סלע שכאילו הוחלקו ע"י פצירה. ההסבר: כשהיה קרחון, הוא נוצר בהר למעלה. הקרחון כלא בתוכו אבנים וגושי סלע כאשר הקרחון מחליק במורד, האבנים בו שורטות את הסלע ומשייפות אותו בצורה מובהקת

שינויי נפח קרחונים:

- *Grey glacier*: עמק ענק מלא קרח, קרחונים הגולשים מההרים ויוצרים קרחון ענק (1980). שנת 2000 – הקרח כבר נעלם.
- ניתן לזהות עד היכן הקרח הגיע פעם: כשהקרחון גולש הוא דוחף את האדמה, וכשנמס נשארים עקבות בשטח – מורנה.
- תופעה נוספת: עמק בצורת *U* הנוצר כאשר קרחון גולש, לעומת צורת *V* שנוצרת ע"י שחיקת מים.
- *Erratics* מרפסודות קרח – סלעי ענק הנמצאים על מישור ענק, שאין להם מהיכן להגיע וברור שהתגלגלו מהיכן שהוא. סלעים אלו הגיעו לאזור ע"י רפסודות קרח – קרחון שהגיע לעמק גדול, נמס, והאבנים שהיו עליו נשארו על המישור.

השינויים במסת הקרחונים בעולם:

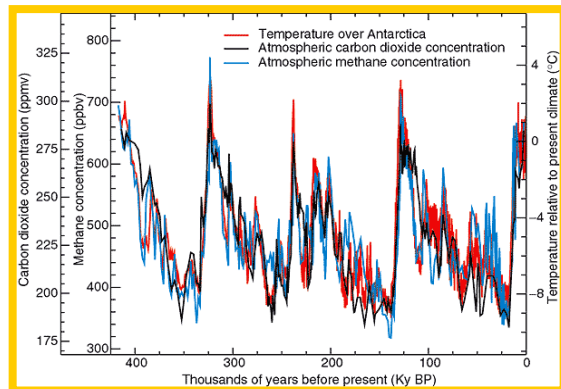
ישנם אזורים מרובים שפעם היו מכוסים קרחונים בצפון קנדה, סיביר, סקנדינביה. מיפוי תופעות כאלה נותן את תפוצת הקרחונים. נראים שינויים דרמטיים במסת הקרחונים – ירידה משמעותית.

שיא תפוצת הקרחונים בפלייסטוקן:

לפני כ-18 אלף שנה, סקנדינביה, צפון אמריקה ואזורים נרחבים רבים היו מכוסים קרח, כמו גם קרח הים. כשקרח מאופסן בכמויות כה גדולות על היבשה, מפלס הים נמוך. בתקופה בין קרחונית מפלס הים גבוה. כיום אנו יוצאים מתקופת הקרח הזו. עדויות לעליית מפלס הים – באר חפורה המכוסה במים בימי גאות מהווה עדות לכך שמפלס המים היה נמוך יותר, והבאר היתה למים מתוקים שירדו מהכרמל ונספגו בחול מכאן התבונה: שינויים כאלו של עליית/ירידת מפלס מורגשת בצורה איטית ומתונה, ולא באופן דרסטי.

שיטה נוספת:

הדמיית לוויין של פני שטח מסויים בסהרה המציג נהרות מאובנים הסהרה היתה כמו הסוואנה באפריקה כיום, ירוקה ומרובת חיים. דוגמאות לאטמוספירה קדומה: שלג הופך לקרח אט אט. שלג מכיל מעט מים ואוויר רב, וקיפאון והפשרה לסירוגין יוצר קרח המכיל קצת בועות אוויר. בועות אלו נשארות כלואות בקרח כל זמן שלא מפשירים את הקרח. אם כן, בדיקת גלעיני קרח ע תיק ע"י אנליזה כימית יכולה ללמד על הרכבי אוויר קדום. קידוחים כאלו נעשו בגרינלנד ואנטרקטיקה, והתקבל רקורד של מאות אלפי שנים. שכבות בקרחון: פסים כהים בקרחון הם למעשה אבק ואפר וולקני שניתן לתארו. מופו תכולת המתאן, תכולת ה- CO_2 והטמפר' שחישבו לפי מודל כלשהו על תכולת הגזים, וניתן לראות לאורך 400 אלף שנה מספר מאפיינים:



- הצורה הכללית היא שיניים.
 - עלייה תלולה וירידה פחות תלולה עם עליות מקומיות לאורך הירידה
 - נקודות המינימום והמקסימום פחות או יותר באותו טווח.
- כיום אנו נמצאים באזור נקודת מקסימום קיצונית ביותר, החורגת מהטווח שראו במדידות של מאות אלפי שנים, גם מבחינת כמות CO_2 באטמוספירה.
- שינוי בטמפר':**
- בעמדת מדידת כמות CO_2 החל משנת 55 בהוואי רואים מגמת עליה ברורה, וזאת בקורלציה לטמפר'.

שינויים בריכוז גזי החממה:

מאז המהפכה התעשייתית רואים גידול משמעותי בכל הגורמים המביאים לעליית הטמפר'. למשל: גידול האוכלוסיה, מתאן, CO_2 .

שיטה נוספת לאפיון הסביבה:

ישנן מולקולות מים עם חמצן כבד O_{18} או חמצן קל יותר O_{16} (איזוטופים של חמצן). מולקולות עם חמצן קל מתאדות בקלות, כלומר לאחר אידוי העננים מועשרים חמצן קל והמים חמצן כבד. כמו כן כשיוצרים גשם – הענן משיל יותר מולקולות מים עם חמצן כבד. מינים שונים שצריכים תנאים מאוד ספציפיים מסייעים באפיון הסביבה והתקופה בה נמצאו, למשל, יצורים שבונים את השלד מהמים. בין היתר ניתן לבדוק בהרכבי השלדים את ההרכב האיזוטופי של המים (מולקולות עם חמצן כבד או קל). לפי זה ניתן לדעת מה היה הרכב המים. הרבה גשם נוצר באזור המשווה שכן יש הרבה אידוי. נשארים "עודפי ייצור" של עננים, ועננים שאיבדו את הגשם הכבד (נותרו עם איזוטופים קלים) מגיעים לקטבים, שם מורידים גשם קל. הקרח בקטבים לפיכך הוא קרח "קל" (חשוב לזכור!), האיזוטופים הכבדים אבדו כבר באזור המשווני. בתקופת הקרח נוצר קרח רב, ואז בתקופה הבינקרונית קרח רב מומס ומי האוקיינוסים מתמלאים במים קלים. שורה תחתונה: לפיכך הייצורים הקטנים יכילו בשלדם בתקופת קרח יותר איזוטופים כבדים ובתקופה בינקרונית איזוטופים קלים (פחות כבדים). בדיקת קרקעית האוקיינוס באותה שיטה: נראית גם שם אסימטריה של יחס איזוטופי חמצן כבד מול קל, ודגם שיניים לאורך 500 אלף שנים, וזאת בסינכרון למקורות אחרים (כגון קידוחי הקרח).

מה מכתוב את המחזוריות:

מחזוריות כדה"א לעתים יותר מעגלית ולעתים יותר אליפטית (אקצנטר), במחזוריות של מאה אלף שנה. במסלול האליפטי יותר רחוקים מהשמש ולכן יותר קר. כמו כן, בהקפת כדור הארץ נוצר מישור המלקה, וזווית סיבוב כדה"א סביב עצמו היא בזווית של 24 מעלות ביחס למישור המלקה. זווית הנטיה משתנה במחזוריות של בערך 40,000 שנה ומשפיעה על האקלים. תנועה נוספת הגורמת לשינוי: פרצסיה, שינוי במחזוריות של 20 אלף שנה. כל אחת מהתנועות הנ"ל יכולות לגרום להפחתה או הגברה בחום, וכששלוש התופעות מתחברות לחום – מקבלים תקופה חמה, ולקור – תקופה קרה. אלו גרמו לתקופות הקרח. מחזורים אלו קרויים מחזורי מילנקוביץ.

עידני קרח (ללא קשר למחזורי מילנקוביץ):

לפני 4 מיליארד שנה ועד היום, היו רק חמישה עידני קרח בכדה"א כך שהצטברו לכדי קרחונים. במצב הרגיל של כדה"א כל הקרח בכדה"א נמס בקיץ. מה גרם לעידני הקרח להופיע ולהיעלם לא ידוע מחזורי מילנקוביץ' מסבירים מחזוריות תקופה קרחונית ובין קרחונית בתוך עידני הקרח, אך סיבת תחילתם וסופם של עידני הקרח לא ידועה. כיום אנו נמצאים בעידן קרח, ביציאה מתקופת קרח, אנו נמצאים בתקופה בינקרונית.

צפי לעתיד:

בבדיקת שינויי הטמפרטורה הממוצעת ניתן לראות שמשנות ה-80 ישנה עליה מתמדת בטמפר' ביחס לממוצע שהוא בסביבות 15 מעלות. ב-2000 השנים האחרונות לא היה אף פרק זמן חם כמו כיום. בהסתכלות על 250 השנים האחרונות ניתן לראות כי מ-1980 הטמפר' הממוצעת הגלובלית נמצאת במגמת עליה ולא יורדת מתחת ל-15 מעלות.

עליית טמפרטורה חזויה: בשנת 99 העריך ה- $IPCC$ את עליית הטמפר' לפי מודלים שונים. ב-2007 פורסם דוח נוסף והסתבר שבפועל עליית הטמפר' עברה את המודלים המחמירים ביותר משנת 99, ולכך השלכות גדולות. למשל, רוב אוכלוסיית האנושות נמצאת ליד הים. מפלס הים עלה עד להתייבשות לפני כ-5000 שנה, ומסתבר שהחלה עלייה מחודשת במפלס הים. ישנם גם אזורים בעולם העוברים התקררות, אך סך הכל כדה"א עובר תהליך התחממות.

דוגמאות להתחממות: כל שנה ים המלח יורד במטר, ניתן לראות את קו החוף של השנים האחרונות. תהליך זה החל בראשית המאה ה-20. כתוצאה מכך מגיעים מים מתוקים למקומות בהם היו קודם מים מלוחים. שכבות מלח תחת פני השטח נמסות, המלח מסולק וכל מה שמעליהם קורס – תופעת הבולענים.

לקראת המבחן יש להסתכל באתר IPCC. במצגת מוצגת טבלה המחלקת את גורמי החימום וגורמי הקירור לפי השפעת האדם או גורמים טבעיים. למשל, אירוסולים (חלקיקי רסס ואבק באטמוספירה): חלק מהאירוסולים, למשל כתוצאה מהרי געש, גורמים לקירור, וחלק לחימום. בנטו מתקבל שרוב הגורמים גורמים להתחממות. כדאי להסתכל בתקציר המנהלים של הדוח השלם של ה-IPCC.

שיעור 12: מערכת השמש:

טלסקופים:

הטלסקופ החדש ביותר כיום נמצא בצ'ילה, שמו VLT (very large telescope). כמו כן יש באיים הקנריים, צרפת, אריזונה, הוואי – הטלסקופ הגבוה ביותר. עדשות בקטרים של 5-8 מ'. הטלסקופ המפורסם ביותר הוא PR (פורטו ריקו), מחפש אותות מהחלל.

בנוסף ישנם טלסקופים בחלל, האבל הוא המפורסם ביותר, Spitzer IR, Chandra, ו-CYGNUS המחפש אותות בחלל. יכולת התצפית של טלסקופים אלו גדולה יותר מאשר מכדה "א". תחנת החלל הבינ"ל גם כן תורמת לתחום, ומשמשת לפיתוח טכנולוגי במטרה ליישום בכדה "א". לא הייתה בתחום זה פריצת דרך טכנולוגית.

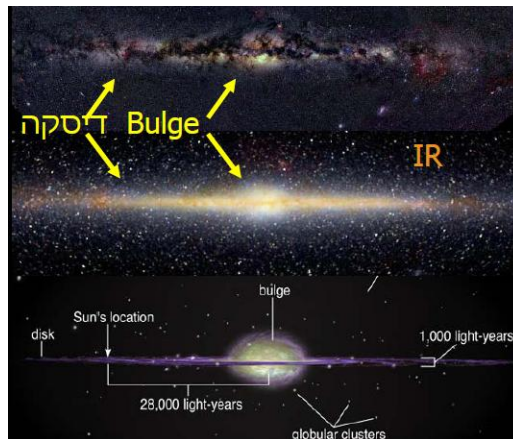
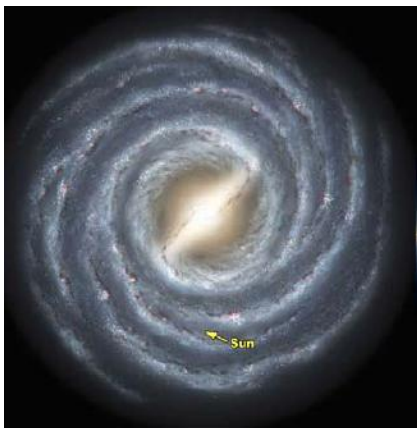
מעבורות חלל:

בעיקר משמשות היום למשימות לתחנת החלל, להבאת ציוד וחלקים. אורכה 26 מ' ומשמשת בין היתר לתצפית על כדה "א". תחנת החלל Soyuz – תחנת חלל רוסית. מדינות נוספות נכנסות למירוץ לחלל כגון סין והודו. ישראל נמצאת במקום 8-9 מבחינת טכנולוגיית חלל.

מה חוקרים:

- מטאוריטים המגיעים לכדה"א.
 - השוואת נופי פלנטות לנופי כדה"א: מנסים להבין תהליכים בכדה"א על סמך תצפיות.
 - איסוף דגימות מהתווך הבינפלנטרי ומכוכבי שביט, ומבצעים עליהם מחקר.
 - מעבדות לחקר תהליכים.
- רוב המחקר כיום תיאורטי מתמטי בו מציבים את כל הנתונים המתקבלים מהדגימות והמחקר במעבדות.

גלקסיית שביל החלב:



גלקסיה – קבוצה מסודרת של מיליארדי כוכבים. גלקסיית שביל החלב מכילה 200 מיליארד כוכבים.

מערכת השמש שייכת לגלקסיית שביל החלב. הגלקסיה היא קישורית – דיסקה עם מעין מוט במרכזה. מערכת השמש נמצאת כ-28 אלף שנות אור ממרכז הגלקסיה, ה-bulge.

מערכת השמש החדשה:

בעקבות התצפיות החדשות עברה מערכת השמש אנליזה מחודשת וכיום מחולקת באופן הבא: השמש, פלנטות ופלנטות ננסיות. מרחק כדה"א מהשמש מוגדר כ-1 יחידה אסטרונומית שהיא 150 מיליון ק"מ (8.3 דקות אור). פלנטה – גדולה מ-1500 ק"מ רדיוס, ננסית – פחות מכך. מצדק הרחק מהשמש – פלנטות גז ענקיות.

5 פלנטות ננסיות:

- קרס (צ'רס) במערכת השמש הפנימית – אסטרואיד ליד מאדים.
- פלוטו, בעל 3 ירחים.
- ארס – בעל ירח.
- מקמקה
- חומיה (צורה של ביצה עם שני ירחים).



את הפלנטות במערכת השמש ניתן לראות די בבירור כיוון שהן קרובות לכדה "א" (יחסית). האסטרונומיה העתיקה סיווגה את הכוכבים לפי צורות, והאסטרונומיה המודרנית ממשיכה דרך זו, שכן דרך זו נוחה לזיהוי קבוצות כוכבים. ניתן לראות את כוכבי הלכת על קו אחד, זהו מישור המלקה. השמש מכילה 98% ממסת מערכת השמש. בהשוואת כדה"א ליתר הגופים במערכת השמש יש חלוקה לפלנטות ארציות לעומת גזיות: צדק ושבתאי – פלנטות גזיות ענקיות; אורנוס ונפטון – פלנטות קרח ענקיות.

רוב הגופים במערכת השמש מאוד קטנים, וכיום גבול הראיה של גוף הוא 4 ק"מ (כגון ירחים של צדק). מערכת השמש הפכה למערכת מאוד מורכבת לעומת כפי שהוגדרה בעבר.

מדידת גיל מערכת השמש:

נקבע ע"פ גיל סלעים הנמדד לפי תכולת גז הארגון ^{40}Ar . כמות הגז מעידה על כמה פוטסיום 40 (חומר רדיואקטיבי) היה בסלע שהתפרק לארגון 40, וכך נקבע הגיל. סלעים בכדה"א הם בני בערך 4 מיליארד שנה, על הירח בממוצע – 4.4 מיליארד שנה, מדידת סלעים ממטאוריטים – 4.6. התאוריה היא שהשמש נוצרה בהתחלה ומהשאריה שלה – ערפילית – נוצרו שאר הפלנטות.

כוכב ופלנטה – הגדרות והשוואה:

כוכב	כוכב לכת - פלנטה
- גרם שמיימי גדול המורכב בעיקר ממימן והליום - טמפי' ולחצים גבוהים המאפשרים היתוך גרעיני במרכז. - פולטים אור וחום.	- מסתובב סביב כוכב. - גורם שמייס קטן יחסית. - מחזיר את אור השמש. - אין תהליכים של היתוך גרעיני אך יש תהליכי פירוק גרעיני כגון פוטסיום.

הרכב השמש: בעיקר מימן, הליום ועד כה הצליחו לזהות כ-60 יסודות מוכרים בשמש.

מרחקים מהשמש: הפלנטות הארציות מאוד קרובות לשמש, בעוד הענקיות רחוקות יותר. אוראנוס ונפטון – כמעט זהים בהרכבם וגודלם, אך במרחק מאוד גדול אחד מהשני.

מבנה פנימי של הפלנטות:

- הפלנטות הארציות מכילות ליבה מותכת, יתכן שגם הירח נכלל בהגדרה זו, מעטפת וקרום. בכוכב חמה חושבים שיש ליבה מאוד גדולה, אך לא בטוחים בכך.
- הפלנטות הענקיות בעלי ליבה סלעית ענקית (בגודל כמה כדורי ארץ), מעל זה מעטפת מימן מתכתי בעל תכונות מתכת, שדה מגנטי גדול. על פני זה מעטפת גזית ונוזלית. אוראנוס ונפטון – מעטפת קרח עבה וגז מתאן הנותן את הצבע הכחול. צדק ושבתאי – הרכב דומה לשמש, בעיקר מימן והליום.

צירי סיבוב: אינו אחיד בין הפלנטות. טוענים כי גוף זר שהגיע אחרי היווצרות הכוכבים גרם לנטיות השונות של הפלנטות

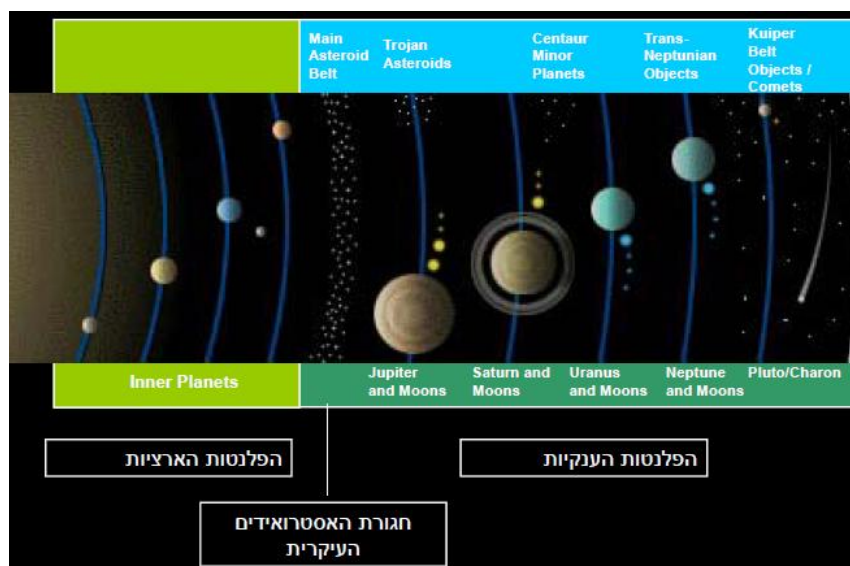
מבנה מערכת השמש (מפנימה החוצה):

- השמש.
 - הפלנטות הארציות.
 - חגורת האסטרואידים.
 - הפלנטות הגזיות הענקיות.
 - חגורת קויפר – פלנטות ננסיות, כוללת שביטים.
 - עננת אורט – עננה כדורית המקיפה את כל מערכת השמש.
- נכון להיום מוכרים 348 פלנטות מחוץ למערכת השמש. מחפשים פלנטה תואמת לכדה"א, כאשר הקריטריונים הם חיפוש פלנטה ביחס לשמש שם מים יכולים להתקיים במצב נוזלי – כתנאי הכרחי לחיים. רצועת החיים – רצועה היקפית במרחק מסוים סביב השמש המתאימה למים במצב נוזלי. מרחק רצועת החיים מהכוכב תלויה בגודל הכוכב ככל שיותר גדול כך הרצועה רחוקה יותר.

ירחים:

גופים הנעים סביב פלנטות. לכדה"א – 1; למאדים – 2 (גופים קטנים שנלכדו במסלול; לאחרים ישנה חגורת אסטרואידים, שלאחריה צדק ולו יש כ-100 ירחים, כאשר החשובים ביותר הם אלו שגלילאו גילה גדולים מהירח של כדה"א. אירופה – ירח צדק שחושבים שיש בו אוקיינוס תת קרקעי. ההבדל בין ירח לפלנטה – סביב מה חג (פלנטה מול כוכב).

גופים נוספים במערכת השמש:



טבלת יחסים בין הפלטות לכדה"א:

הערה: לא צריך לזכור נתונים בע"פ, אך כן צריך לדעת יחסיות של הפלטות מבחינת נתונים

נפטון	אוראנוס	שבתאי	צדק	מאדים	ירח	כדה"א	נוגה	חמה	מרחק מהשמש (יחידות אסטרונומיות)
30.1	19.2	9.5	5.2	1.5		1	0.72	0.39	
165	84	29.4	11.9	1.9		1	0.61	0.24	זמן מחזור (בשנת כדה"א)
17.2	14.5	95	318	0.11	0.012	1	0.82	0.056	מסה
1.66	1.29	0.69	1.34	3.3	3.35	5.55	4.2	5.4	צפיפות מים
-220	-220	-180	-130	+20/-140	+130/-170	+50/-50	+480	+450/-180	טמפי' מיני/מקסי
0.16.03	0.17.14	0.10.39	0.9.50	0.24.37	29	1	243	58	זמן סיבוב ציר (day.hour.min)
2	98	25	1	24	6	23	2	7	זווית נטיה

הרכב פלטות ארציות – חשוב:

הסיבה שמאדים ונוגה, למרות היותם ברצועת החיים, שונים מכדה"א הוא הרכב האטמוספירה:

- נוגה:** CO_2 96% באטמוספירה, אפקט חממה מוגבר – אין מים נוזליים, 90 ק"ג לס"מ לחץ אטמוספירה, לעומת 1 בכדה"א. בנוסף יש בנוגה עננים של חומצה גופריתית מרוכזת. חלליות שביקרו שם נמסו עקב ענני החומצה היוצרים גשם חומצי.
- מאדים:** הלחץ האטמוספירי מאית מכדה"א. האטמוספירה מכילה 95% פחמן דו חמצני, אך לא מספיק לאפקט חממה בפלנטה זו. מרובה קרח, מים, שלג ורוחות. שכבות פחמן דו חמצני וקרח מים. בגלל ריחוק מהשמש רוב האטמוספירה קפואה.
- נוף:** חמה – אין אטמוספירה, נראה כמו הירח. נוגה – עננים צפופים. מאדים – שמים צהובים.

כוכב חמה (Mercury):

ביקרו בו 2 חלליות. דומה במבנהו שלו לירח. הוא מסתובב מהר מאוד סביב השמש ולאט מאוד סביב הציר, דבר הגורם להפרשים גדולים מאוד בין צד היום לצד הלילה. בצד הלילה – 180 מעלות, בצד השמש – 450 מעלות. בתמונות מ-2008 מקסינג'ר רואים עדויות לפגיעות גופים בפלנטה, שהביאו חומר חדש אליה.

בקטבים נראים כתמים שיתכן ואלו קרח מים כיוון שאזורים אלו תמיד בצל. מקורו מגופי קרח שביטים שנפלו על פני השטח של כוכב חמה בקטבים, או שפרצו מבפנים וקפאו בקטבים.

מכתשים:

נראים לכל אורך מערכת השמש. ככל שהם יותר ברורים וקטנים הם יותר צעירים. ניתן לראות למשל מכתש גדול שבתוכו קטנים – צעירים יותר מהגדול. עומק המכתשים ניתן להערכה לפי הצל מהשוליים זו הוכחה לכיצד נוצרה מערכת השמש.

כאשר גוף פוגע, אם הפגיעה חזקה, ניתן לראות גלים, כתוצאה מסלע מותך. תופעה נוספת: שברי וחתיכות גופים שנשברו בפגיעה

נוגה (Venus):

עטופה עננים – פני השטח לא נראים. הגוף הזוהר ביותר בשמי הלילה. הטמפי' בנוגה קבועה בגלל המעטה הצפוף של העננים – 480 מעלות ללא הבדל יום ולילה. העננים נמצאים בגובה 50 ק"מ. נגה נחשבת התאום של כדה"א. בשנות ה-60 חשבו שיש חיים ויערות טרופיים, אך זאת טרם המידע על החומציות בפלנטה זו. נגה מסתובבת סביב הציר הפוך מכדה"א – הזריחה במערב. משך היממה ארוכה מהשנה (!) – שנה היא 225 יום, משך יממה 243 יום.

הרכב אטמוספירי: צריך לזכור בע"פ – הרכב עיקרי CO_2 ויש עננים של חומצה גופריתית מרוכזת

תכונות בהשוואה לכדה"א: תכונות דומות אך בנוגה אין מים.

הנוף בנוגה: מתקבל מעיבוד תמונה של מדידת גובה והערכות זרימת לבה מהרי געש. במשך הקפת חללית את נגה לא נראתה פעילות טקטונית או התפרצות הרי געש, אך רואים מכתשים כעדות לפגיעות כיום ליד נגה יש חללית המודדת את הרכב האטמוספירה – ונוס אקספרס (צרפתית).

כדה"א (Earth):

הגוף הצפוף ביותר במערכת השמש. המבנה הפנימי של כדה"א: פורט בשיעורים קודמים.

הירח:

הגוף השמימי הקרוב ביותר לכדה"א, והיחיד שאליו הגיע האדם. בצד הקרוב אלינו היו כל הנחיתות של אפולו. הירח מלא אזורים כהים הקרויים ימות. כמו בכוכב חמה גם על הירח יש עדויות של פגיעות – מכתשים.

הרכב פני השטח: הרכב הירח דומה להרכב קרום ומעטפת כדה"א. הגיעו להבנה לתהליך שיצר את מערכת השמש: גוף בגודל מאדים פגע בקרום כדה"א בשלב ההפרדה, פגע כנראה באזור האוקיינוס ההודי, ומההתנגשות נוצר כדה"א והירח.

הירח נראה במופעים – הוא מקבל כל פעם אור מזוית אחרת. הירח מסתובב כך שרואים כ-60% ממנו. תנועה זו של הירח סביב כדה"א התייצבה, ותמיד רואים את הירח מול כדה"א (את אותו חלק של הירח). מצב שיווי משקל עם כוכב הלכת הוא תכונה ידועה של ירחים עם כוכבי הלכת שלהם. הירח מתרחק מאיתנו 3.8 ס"מ בשנה. המשמעות: עם הזמן לא ניתן יהיה לראות ליקוי ירח מלא כי הירח יראה קטן מדי ביחס לשמש מכדה"א.

בביקורים בירח הובאו סלעים, ולפי אנליזה של אלו נקבע גיל הירח והתאוריה המיל להיווצרות הירח.

תמיד רואים את הצד המואר של הירח. זוית הירח היא 5 מעלות ביחס לכדה"א. מדי יום רואים את הירח שעה יותר מאוחר.

מטאוריטים ומטאורים:

במהלך ההיסטוריה פגעו גופים שונים בכדה"א. חלוקה:

- מטאוריד: גוף החולף על פני כדה"א במרחק גדול מ-85 ק"מ (טרמוספירה) ולא פוגע בו.
- מטאור: גוף החולף על פני כדה"א במרחק 50-85 ק"מ (מזוספירה) ולא פוגע בו.
- בוליד: גוף החולף על פני כדה"א במרחק 12-50 ק"מ (סטרטוספירה) ולא פוגע, מתפוצץ וזוהר מאוד.
- מטאוריט: גוף הפוגע בכדה"א.

ישנם מטאוריטים שונים, חלקם מתכתיים וחלקם סלעיים. חושבים שהשביטים והמטאוריטים הביאו את החומר הבסיסי, ויחד עם התנאים בכדה"א הביאו את החיים בכדה"א.

שביטים:

גופי קרח אבק וגז שכאשר מתקרבים לשמש מתחילים להתחמם ולפלוט חלק מהחומר בגרעין. הגרעין קטן – 100 ק"מ, אך הזנב יכול להגיע ל-100 מליון ק"מ.

מטר מטאורים: מדי פעם כדה"א עובר דרך זנבות שביטים ורואים מטאורים, "כוכבים נופלים". כל חודש יש מטר מטאורים. ממטרים אלו הצליחו לאסוף חלקיקים גרגריים מזנבות המטאורים ולהבין ממה מורכבים השביטים. גופים יותר גדולים שפגעו בכדה"א גרמו למכתשים, כגון מכתש אריזונה – בקוטר של 1.2 ק"מ. בגלל המבנה הגיאולוגי המיוחד של כדה"א, כמעט לא רואים פגיעות של מכתשים, אך יש עדיין כ-200 פגיעות של גופים מהחלל. אירוע טונגוסקה (צפון סיביר) – גוף שהתפוצץ באוויר וחרך את העצים במקום, 1908.

מדוע הפגיעות נחקרות:

ישנה תיאוריה שלפני 65 מליון שנה פגע מטאוריט באזור מקסיקו שגרם להכחדת הדינוזאורים. ניסו לקטלג את דרגת האסונות שיכולות להגרם ע"י פגיעת אסטרואידים. כיום מנסים לגלות גופים שעלולים לה תקרב יותר מדי לכדה"א עם פוטנציאל לפגיעה, ודרגת הגילוי במגמת עליה. כיום יש גופים רבים סביבת כדה"א שעלולים לפגוע בו. בינתיים אין סיכון ממשי ידוע, אך יש גופים שרואים ברגע האחרון. כל שנה מתגלים יותר ויותר גופים שעלולים לפגוע בכדה"א.

שיעור 13: מערכת השמש – המשך:**מאדים:**

הגוף הכי נחקר במערכת השמש כיום, גם בגלל דמיון תנאים לכדה"א וגם בגלל קלות יחסית להגיע למאדים (9 חודשים מסע). כיום משגרים חלליות למאדים, בתקווה שב-2036 אדם ינחת על מאדים. מאדים מאוד בולט בשמים ביחס לשאר הכוכבים, הוא אדום מאוד ויש לו קטבים כמו בכדה"א המשתנים לפי עונות השנה.

צפיפות מאדים היא 3.3 לעומת 5.5 של כדה"א והוא בערך חצי מגודל כדה"א. אטמוספירה דלילה, בערך מאית מזו של כדה"א, מכילה בעיקר פחמן דו חמצני, מעט חמצן ומעט CO. למרות דלילותה עדיין יש עננים וסופות אבק. משקל מאדים תשיעית מכדה"א. למאדים שני ירחים שהם אסטרואידים לכודים במסלול של מאדים:

- פובוס – זורח פעמיים ביום. מרוחק 9380 ק"מ ממאדים, זמן הקפה 7 שעות וגודלו 14×10 ק"מ.
- דימוס – מרוחק 23,460 ק"מ ממאדים, זמן הקפה 30 שעות וגודלו 8×6 ק"מ.

ישנן משימות מוצלחות למחקר מאדים. למשל, MRO המקיפה את מאדים ומצלמת. המטרה למצוא מים על מאדים, כאינדיקציה לתנאים לחיים.

אטמוספירת מאדים לעומת כדה"א:

אטמוספירה צהובה בגלל אבק (סופות אבק), עננים דלילים של קרח מים ופחמן דו חמצני והרבה אבק. בהשוואה לנוהג: שם עננים מרובים חומצתיים וצפיפות גבוהה. סופות האבק במאדים יכולות להקיף את כל הפלנטה. ב-2001 היתה סופה שכסתה את כל הפלנטה באבק, תופעה שלא מתרחשת בארץ. גם מכדה"א ניתן לראות לפעמים את הבדלי פני השטח כשיש סופת אבק (נוף חלק) וכשלא.

הטמפ' במאדים ביום חם היא 15 מעלות, וביום קר -120, -130 ליד הקטבים, קיץ נדיר.

טופוגרפיה:

פני השטח – שברים רבים המעידים על תהליכי סחף בעבר, מאדים היה עשיר במים. נוף דומה לנוף כדה"א.

אולימפוס מונס: הר געש שגובהו 27 ק"מ ושטחו בשטח מדינת אריזונה.

קרוס מאדים הוא מאוד עבה ואין פעילות טקטונית.

מים:

- יש פעילות תת קרקעית המעידה על קיום מים תת קרקעיים. יתכן שהמים נמצאים מתחת לפני השטח בעומק של 1 מ', ואולי בתנאי חום יש שם חיים. החללית ביגל 2 שהיתה צריכה לבדוק זאת התרסקה.
- ניתן לראות נוף סלעי משקע ממש כמו בכדה"א, מעיד על עבר עשיר במים ותהליכים גיאולוגיים עצם הבליה מעידה שבעבר היו מים במאדים.
- במאדים נמצא מינרל שנקרא מאטיט שנוצר בסביבה מימית, מצוי גם בכדה"א - הוכחה נוספת לקיום מים במאדים.
- חללית פניקס ב-2008 נחתה קרוב לקוטב הצפוני של מאדים, וביצעה חפירה. נראה עיבוי של מים על רגל החללית ועדות נוספת מחפירה המעידה על אדי מים באטמ' של מאדים – גושי קרח שלקח להם כמה ימים להתנדף, עדות לכך שזהו קרח מים ולא קרח יבש.

שדה מגנטי:

יש שדה מגנטי חלש באזור הדרומי, באזור הצפוני לא מדדו.

חיים במאדים:

ב-1984 מצאו בקוטב הדרומי של כדה"א סלע שמקורו כנראה ממאדים, ובו נמצא משהו שנראה כמו עדויות לנובוקטריה, אך יתכן וזה רק גביש שהתגבש בצורה מסוימת הדומה לאותה נובוקטריה.

חגורת האסטרואידים:

בין מאדים לצדק נמצאים רוב האסטרואידים. התיאוריה המקובלת כיום היא שאלו לא התלכדו לפלנטה כי צדק נוצר וכוח המשיכה שלו מנע זאת. גופים אלו קטנים וגדולים, הגדול ביותר הוא צרס – בקוטר של 1000 ק"מ. קוטלגו 443 אלף גופים, ויש סדרת גופים נוספים ברצועת צדק, קרויים אסטרואידים טרויאניים (מזרחיים ומערביים), מופו בערך 3000. יש חשש שהאסטרואידים ילכדו במסלול של כדה"א ויפגעו בו. בהסתכלות על קרס והגופים לידו נראה שהם בעלי אותו הרכב, ולכן כנראה נוצרו מגוף גדול יותר שהתפרק.

גופים אלו מהווים סכנה לכדה"א ולכן נחקרים הרבה ונמצאים במעקב האסטרואידים מסודרים בחגורה באופן לא אקראי: מרווחים אלו קשורים באינטראקציה גרוויטציונית עם צדק ונקראים מרווחי קירקוד. המרווחים הוכחו מתצפיות.

קרס הוא האסטרואיד הגדול ביותר, כיום מוכר כפלנטה ננסית. לא ידוע עליו הרבה אך ב-2011 תגיע אליו חללית.

לחלק מהאסטרואידים יש ירחים ופני שטח מלאי מכתשים כמו הירח וכוכב חמה. אסטרואיד איידה – בעל ירח, אורכה 56 ק"מ, הירח שלו רק 1.2 ק"מ וגם עליו יש מכתש. בשנת 2001 נחתה חללית על אסטרואיד, ופני השטח נראו דומים לאלו של הירח. הנחיתה היתה על אסטרואיד בגודל 30 ק"מ.

פלנטות ענקיות:

- צדק, שבתאי – פלנטות גזיות ענקיות.
 - אורנוס ונפטון – פלנטות קרח ענקיות.
- בכל אחד מ-4 הפלנטות הללו יש ליבה סלעית.

הרכב הפלנטות:

בצדק ושבתאי: ליבת סלעית עטופה במימן מתכתי; אחרי הליבה יש איזור של מימן נוזלי (לא ברור אם מולקולרי או אטומי); אח"כ מעטפת גזית. בגלל ליבת המימן המתכתי לגופים אלו יש שדה מגנטי מאוד חזק, הכי גדול במערכת השמש. באורנוס ונפטון: ליבתם כנראה קרח מימן יחד עם מתאן, וישנה מדידת מתאן ואמוניה באטמוספירה שלהם. צדק גדול פי 10 מכדה"א, שבתאי פי 9, השניים האחרונים פי 4. הם נראים דומים והרכבם דומה, אך מרחקם מכדה"א שונה מאוד. מעלה שאלות על היכן נוצרו ומה היה הרכב הערפילית מהם נוצרו. הרכב צדק ושבתאי דומה לשמש, אך אורנוס ונפטון שונה. המרכיב העיקרי של כל הפלנטות הענקיות הוא מימן והליום. בהסתכלות על הרכב העננים, גם בצדק וגם בשבתאי 3 שכבות עננים. בצדק: התחתונה ביותר – ענני מים; מעליה – אמוניה והידרוסופט; השכבה העליונה – ענני אמוניה. מעל העננים יש שכבת אבק ומימן הנותנת את הצבע הכתום. גם בשבתאי זה כך רק שהעננים יותר מרווחים. באורנוס ונפטון בעיקר ענני מתאן. רוב המדידות בפלנטות הענקיות הן מחלליות Voyager. כיום ישנה חללית סינית ליד שבתאי. בנפטון יש רוחות חזקות.

השדה המגנטי – לא חשוב, דילגה עליו.

לכל הפלנטות הענקיות יש טבעות, רק את של שבתאי רואים מכדה"א. טבעות צדק דלילה ובקושי נראית. טבעות אורנוס ניצבות לקטבים – כאשר הקטבים הנתפכו והפכו לקו המשווה. הטבעות הן בעיקר קרח מים.

צדק:

הגוף הכי גדול מבין הפלנטות במערכת השמש. משך סיבוב סביב השמש 11 שנים, יממה – 10 שעות. על צדק יש סופות רבות, כאשר הכתם האדום של צדק הוא סופה שגודלה פי 3 מכדה"א. הרכב צדק: בעיקר מימן והליום.

ב-2006 נוסף לכתם האדום כתם אדום ג' 'וניור – נוצר כאשר הרבה סופות מתלכדות יחד. ב-1994 שביט שומייקר לוי התקרר יותר מדי לצדק, התפרק ל-21 חלקים והתפרק בתוך צדק. יצר הפרעות אבק, שבכדה"א היו מכסות את כל הפלנטה.

לצדק 63 ירחים מקוטלגים וההערכה היא שיש 100 ירחים. הפסיקו לחפש כי הגיעו לסדרי גודל של 2-4 ק"מ, ושם הפסיקו. יש לו 4 ירחים מעניינים כאשר באחד מהם, אירופה, יתכן ויש תנאים שמאפשרים חיים. כל הירחים שונים אחד מהשני ועשויים בעיקר קרח. גלילאו גיליי צפה בירחים אלו ותצפיתו תרמה להבנת מבנה מערכת השמש 4 הירחים (מכונים ירחי גלילאו, לפי גודלם):

- גנימד – הירח הגדול ביותר.
- קליסטו.
- IO – משקעי לבה וגופרית על פני השטח הרי געש פעילים, השפעת כבידה חזקה מצדק וירחים אחרים הגורמים להתפרצויות הרי געש מרובים
- אירופה – ירח קרח. מה שמיוחד בו זה פגיעות המשתנות עם הזמן עם שוליים שקועים, מעיד שתחת פני השטח יש כנראה אוקיינוס תת קרקעי. יתכן אם כך שיש שם חיים. לא ידועה עובי השכבה העליונה, והאם יש תחת זה אוקיינוס או פשוט קרח רך – האם הטמפ' גובהה מספיק ליצירת מים נוזליים. יכול להיות שכמו באזורים בכדה"א נטולי אור, ייווצרו צורות חיים.

שבתאי:

מהווה נושא מרכזי למחקר כיום, יחד עם מאדים. כיום נראה שטבעות שבתאי ניצבות ולא בזוית, קורה פעם ב-15 שנה. מצילומי חללית נראים עננים וסופות מרובות בשבתאי. חללית קסיני חגה כיום סביב שבתאי. לשבתאי זוהו עד כה כ-63 ירחים מקוטלגים:

- טיטאן: אטמ' מורכבת בעיקר חנקן (95%). פני השטח קרח ואטמ' דומה לשל כדה"א, רק לחץ פי 1.5 מכדה"א והאטמ' מגיעה לגובה של 1000 ק"מ (לעומת בערך 100 בכדה"א). לא רואים את פני השטח בגלל חלקיקי אובק אורגנים שנוצרים באטמ' בגלל קרינת UV מהשמש. חלליות הצליחו לצלם אגמים של מתאן ואתאן בעיקר (לא מים) - המקום היחידי במערכת השמש בו יש גם נחלים וגם אגמים. העננים גם מורכבים אתאן ומתאן.
- אנצלדוס: קוטרו 500 ק"מ ובחלקו הדרומי של גייזרים – סילוני מים בעיקר.

אוראנוס ונפטון:

הכי רחוקים והכי פחות ידועים. בעלי צבע תכלת בגלל המתאן שנמצא באטמ'. בהשוואה בין השניים הרכב האטמ' דומה – מימן, הליום ומתאן.

אוראנוס:

משך שנה באוראנוס היא 84 שנים. ציר הסיבוב סביב הקטבים. הירחים נמצאים בטבעות של אוראנוס.

נפטון:

נפטון רחוק עוד יותר, משך שנה כ-164 שנות כדה"א. יש לו ענני קרח ומתאן. כיוון שמהירות הסיבוב גבוהה ישנן רצועות עננים ארוכים. יש לו ירח מיוחד בשם טריטון, קטן יחסית אך יש בו פעילות גיאולוגית – גיזרים של חנקן.

רצועת פלנטות ננסיות:

פלטו, ארס, מקמקה וחומיה – גופים חדשים.

שיעור 14: מערכות שמש:

היווצרות מערכות שמש:

מכתשים נראים על גופים במערכת השמש כתוצאה מפגיעות. הופעת המכתשים חיזק את ההבנה של היווצרות מערכת השמש, וזו עדות התומכת בתיאורית ההיווצרות. התיאוריה המקובלת היום היא שמערכת השמש נוצרה מערפילית, ולאט לאט הפלנטות התלכדו לפלנטות שכיום מרכיבים את מערכת השמש.

הרכב מערכת השמש:

99.85% מהמסה היא השמש עצמה, הפלנטות – 0.135% וכל יתר הגוף זניחים מאוד לעומת השמש. התיאוריה הנוכחית: השמש נוצרה ראשונה ולאחריה מהשארייות שסביב השמש נוצרו הפלנטות.

ערפיליות:

מערכת השמש היא חלק מגלקסית שביל החלב, כאשר אנו נמצאים בקצה הגלקסיה. בהסתכלות מהצד על הגלקסיה רואים הרבה אבק, מעיד על כך שאיננו מערכת השמש היחידה. דוגמא: איזור ערפילית Eagle הנמצאת גם כן בגלקסית שביל החלב. הערפיליות היחידות שרואים הם מהגלקסיה שלנו. ניתן לראות בתמונות היווצרות של כוכבים.

דוגמא נוספת של היווצרות ערפילית : בתוך ערפילית אוריון ישנם 4 כוכבים גדולים ממערכת השמש שלנו . אפשר לראות שסביב כוכבים אלו יש הילת אבק. השלב בו סילון עוקף את הכוכב קרוי טיטאורי, ושלב זה מעיד שהכוכב בשלב היווצרות. חושבים שבעתיד מהאבק שסביב הכוכב ייווצרו פלנטות (מהאבק של הטיטאורי).

גופים קטנים במערכת השמש:

חגורת אסטרואידים, אסטרואידים בסביבת כדה"א וגופים קטנים נוספים הצפים במערכת השמש, המפוזרים במערכת השמש. אלו שאריות שלא התלכדו לפלנטות.

מערכות השמש ופלנטות בגלקסיה:

רוב הפלנטות במערכות שמש מחוץ למערכת השמש שלנו (אקסו-פלנט) מאוד קרובים לכוכב המרכזי. הסקאלה של שאר מערכות השמש לא מתאימה למערכת השמש שלנו, בה מרחקי הפלנטות גדולים בהרבה מהשמש. מערכת $\alpha Centauri$: מספר כוכבים – לא רק אחד, הפלנטות קרובות לכוכבים. נשאלת השאלה כיצד יכולים להיווצר שני כוכבים וכיצד פלנטות קרובות לכוכב לא נמשכות אליו. נכון להיום ישנן 350 פלנטות מחוץ למערכת השמש שלנו, כאשר הרבה ממערכות השמש החדשות הן בעלות מבנה שונה משל מערכת השמש שלנו. פלנטות אלו קרויות אקסופלנט. קשה לזהות פלנטות מחוץ למערכת השמש ולמדוד אותן, אך לא נדון בכך. רוב הפלנטות – צמודות לכוכב. ישנן 30 מערכות שמש, ומספר זה משתנה כל הזמן כיוון שמצוי במרכז המחקר, ושתי חלליות מוקדשות למחקר זה. כל שנה מתגלות יותר ויותר מערכות שמש מחוץ למערכת שלנו.

היווצרות כוכב:

- ענן בינוכבי מתחיל לקרוס – לא בדיוק ברור למה.
- במרכז נוצר כוכב בשלב הטיטאורי – סילוני אבק.
- אם יש מספיק חומר מסביב בדיסקה, ייווצרו גם פלנטות.

נשאלת השאלה האם פלנטות שיתגלו יהיו בעלות תנאים להיווצרות חיים חללית קפלה חוקרת את איזור קבוצת הברבור בגלקסיה.

גרגרי אבק שמקורם בשביטים:

מהסביבה הקרובה של כדה"א נאספו גרגרים שמקורם שביטים. הגרגרים הם אוסף של חומר שחלקו גבישי וחלקו אמורפי – כלומר חלק מהחומר עבר חימום וחלק לא. רואים ערבוב של חומרים רבים בגרגרים אלו (IDPs) שמקורם בשביטים. גודלם ההתחלתי של גרגרים אלו הוא סד"ג של 1 מיקרון.

Deep impact: בתוך שביטים יש גם גרגרים גבישיים, כלומר חלקם עברו חימום בטמפ' של 1500 מעלות. זו עדות לכך שגבישים נוצרים גם בקצה מערכת השמש.

ריאקציה בדיסקה:

כוכב וערפילית שבה התרחשו תהליכים: הטמפ' נמוכה במרכז הענן הרחוק מהכוכב (בשרטוט) וחלק אחר מקבל קרינה חזקה מהכוכב. החלקיקים נעים מהאזור הקר לחם וחזרה במחזוריות, והחל ממרחק מסוים החומר הגבישי מוצק. במערכת השמש קו זה הקרוי קו הקרח הוא 5 יחידות אסטרונומיות. כך מתקבל חומר גבישי ואמורפי יחד.

מקור החומרים במערכת השמש:

- בפאזה גזית בסביבה של כוכבים.
- פאזה גזית בעננים בינוכביים.
- ראקציות פני שטח על גרגרים – כאשר חשופים לקרינת הכוכב יש ראקציות ויצירת חומרים חדשים
- כימיה בזמן היווצרות מע' השמש, כגון יצירת CO, מים וכו'.
- כימיה בשביטים.
- כימיה אטמוספירית בפלנטות – יצירת תחמוצות, פולימרים וכו', גם לאחר שנוצרה הפלנטה.
- יצירת חומרים אורגניים פרהביוטיים ויצירת חיים אם התנאים מתאימים לכך.

היווצרות פלנטות מהערפילית הסולרית:

בשלב מסוים סביבת הכוכב חמה, והסביבה שרחוקה היא בטמפ' נמוכה, תחת 150 מעלות קלווין – קפאון מים, קפאון גזים שונים. יש מפל טמפ' השונה מגוף לגוף. אם הכוכב המרכזי גדול, קו הקרח יהיה מרוחק. אם קטן, הקו יתקרב למרכז. אם מסתכלים על סולם הטמפ', תחילה התגבשו מתכות, לאחר מכן סלעים ולבסוף תרכובות הקרח השונות – קרח מים, קרח אמוניה, קרח מתאן. ככל שנתרחק מהכוכב המרכזי, הפלנטות יהיו יותר עשירים בקרח.

היווצרות הפלנטות הארציות:

אבק הופך לפלנטסימיליים, שהפכו לגופי ביניים ולבסוף לפלנטות. כמעט ולא רואים גופים בשלב גופי ביניים, ולא ידוע מדוע מספרם של הפלנטות הארציות נמוך ומדוע הם קטנים. גרגרי אבק בגודל מיקרוני נראים הרבה, וגופים גדולים יותר בגדלים של ס"מ וק"מ בקושי נראים – לא ברור למה.

קו הקרח: האזור שקרוב לכוכב המרכזי יותר עשיר בסלעים, והאיזור שרחוק עשיר בקרח.

שלבים בהתפתחות פלנטות:

אט אט מסלעים או סלעים עם קרח מתחילים להיווצר הפלנטות. יש מעבר של חומר מאיזור הקרח לאיזור הקרוב יותר. קו הקרח מוגדר ע"י הקו שמעבר לו נמצאות הפלנטות הקרחיות. פלנטות גזיות: נאספים גופים וקרח, לבסוף מצטברת פלנטה גזית ענקית הלוכדת בקלות את הגזים בסביבה. כנראה שתהליך זה מתרחש מהר מאוד – 1000 שנים, אך לא ידוע באמת. פלנטות ארציות סלעיות קרובות יותר לשמש. בקצה מערכת השמש, כגון בחגורת קויפר, יש גופי קרח כיוון שאזור זה לא מקבל את חום השמש.

קצב היווצרות:

חשוב לזכור! הפלנטות הענקיות יוצרו מהר יותר מהפלנטות הארציות.

ממבני הפלנטות הענקיות נראה שצדק ושבתאי נוצרו יחד כמו גם אורנוס ונפטון, ולאחר מכן התקדמו במקומות שונים במערכת, אך אין זה ודאי. העובדה שהפלנטות לא מסתובבות סביב צירם באופן סימטרי מעיד על תהליך שהמערכת עברה לאחר היווצרותו. עדיין מתרחשות התנגשויות (כגון יצירת הירח לאחר שנוצרה כבר מערכת השמש, מהתנגשות גוף בכדה"א).

שלב ההתנגשות הגדולה – לאחר היווצרות הדיסקה והפלנטות נכנסו שביטים ומטאוריטים ונוצרו התנגשויות כך נוצר הירח – גוף בגודל מאדים פגע בכדה"א ויצר את המערכת של כדה"א והירח. לפי מדידת גיל הסלעים מהירח – 4.4 מליארד שנה, רואים שהוא עתיק יותר מכדה"א. הסלעים העתיקים ביותר על פני השטח של כדה"א הם רק 4.1 מליארד שנה. זה מעיד על כך שכשהגוף פגע ויצר את הירח, הוא פגע בכדה"א כשהיה מותך אך עם ליבה. כיוון שכדה"א גדול יותר ומתגבש יותר לאט, אז סלעי כדה"א יותר צעירים מאשר בירח – שם התגבשו מהר יותר.

התפתחות האטמוספירה:

המים שקעו, המתאן והאמוניה נעלמו והאטמוספירה נשארה עם חנקן, מים ופחמן דו חמצני. בערך לפני 2.5 מליארד שנה עלה החמצן, וזאת נראה במדידת סלעים. לא רק באטמוספירה כדה"א נוצרים חומרים חדשים, גם בפלנטות אחרות. באטמוספירה יש יצירת תחמוצות חנקן, אירוסולים וכו'. בשבתאי – נוצרים חומרים אורגניים שונים.

אי יציבות בדיסקה:

כיצד מוסברת תופעת קרבת פלנטות גדולות לכוכב המרכזי במערכות שמש אחרות : פלנטות ענקיות (גזיות) נוצרות הרחק מהכוכב, ואז מגיעות לסביבת הכוכב בתהליך הקרוי מיגרציה (נדידה) תוך שהן אוספות חומרים נדיפים, תוך כדי היווצרות הכוכב. לתהליך זה קוראים אי יציבות בדיסקה, ובו לא ניתן ליצור פלנטות ארציות מאותה דיסקה יכולים להיווצר מספר גופים.

תהליך קריסת ערפילית: תואר קודם, נוצר כוכב וסביבו פלנטות.

שביטים:

שביטים מצויים בקצה מערכת השמש, מכילים חומרים אורגניים ואחראים להבאת מים רבים לכדה"א. כוכב שעבר בקרבת מערכת השמש גרם להפרעה גרביטציונית, וגופים אלו הגיעו למערכת השמש הפנימית.

מטאוריטים: גם כן מכילים חומרים אורגניים, והביאו חומרים אלו לכדה"א בתהליך שקרוי ההפצה הגדולה. מכילים מעט מים.

מבנה מערכת השמש:

התחילה מדיסקה, לאט לאט נוצרו פלנטות ולבסוף הגופים הקטנים מקיפים את המערכת בחגורת קיפר ועננת אורט. אם פלנטות עומדות לבדן לא ליד כוכב, לא ניתן יהיה לראותם.

תרכובות אורגניות במערכת השמש:

לאחר יצירת המערכת השמש, החיים נוצרו מהר בכדה"א. החיים הופיעו תחילה כיצורים חד תאיים. גיל משוער: 3.7 מליארד שנה. הגיל הודאי, מציאת חומר אורגני המעיד על חיים בתוך סלע – 3.5 מליארד שנה – כחצי מליארד שנה מהתגבשות כדה"א לצורה בה היום. נשאלות שאלות לגבי הטמפרטורה ששררה בכדה"א כשנוצרו החיים. החיים התפתחו בצורה אבולוציונית. חיים עברו הכחדות כתוצאה מפגיעות מטאוריטים. כיום גם כן החיים עוברים שינויים – פגיעות האדם, התחממות גלובלית.

סוף מערכת השמש שלנו:

לא ידוע בודאות, אבל בסוף כדה"א יבלע בתהליך "ענק אדום" – כשהמימן מסיים את חייו על השמש, רוב המימן הופך להליום בליבת השמש. השמש תהפוך לענק אדום. לבסוף כנראה השמש תהפך לננס לבן – כוכב במרכז – וערפילית פלנטרית.

סופרנובה: כוכבים במסה מעל 8 מסות שמש יהפכו לסופרנובה – פיצוץ גדול ואנרגטי שבמרכזו נשאר הכוכב המרכזי.