

פרויקט 18

יבשות נעות ותאוריות מתנגשות

פרופ' ניר אוריון, יוזם הפרויקט – ראש קבוצת מדעי כדה"א במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן.

פרופ' ירון להבי – מנהל המרכז, מעורב בתכנון הכנס ואחראי על הפעלתו המסודרת.

פרופ' עידית ירושלמי - יועצת מדעית, ראש קבוצת הפיזיקה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן.

צוות פיתוח: רון בן-שלום, פרופ' ניר אוריון וכרמל גורני

כתובת להורדת החומרים: <https://stwww1.weizmann.ac.il/geogroup/?p=57>

מרכז המורים מופעל על ידי המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, עבור משרד החינוך
במסגרת מכרז מס' 22/11.2020: הקמה והפעלה של מרכזי המורים הארציים במקצועות הבאים:
מדעים, טכנולוגיה ומתמטיקה.

יבשות נעות ותאוריות מתנגשות

<הערות למורה מופיעות בסוגריים משולשים ובצבע כתום>

פרק א: האם קיים מנגנון פעולה בכדור הארץ?

שעור 1 - פתיחה

<פתיחה (1)> הרי געש, רעידות אדמה והאינטרנט

צאו למסע ברחבי הרשת וחפשו אתרים העוסקים ברעידות אדמה ובהרי געש בעולם, נסו לדלות פרטים לגבי שכיחות, תפוצה ומיקום של התופעות.

1. כל כמה זמן מתרחשת רעידת אדמה לדעתכם? _____
בחנו את [המפה האינטראקטיבית](#) המציגה רעידות אדמה ברחבי העולם



כמה רעידות התרחשו ביום האחרון? _____ בשבוע האחרון? _____ בחודש האחרון? _____

2. כל כמה זמן מתרחשת התפרצות געשית (ברחבי העולם) לדעתכם? _____

בחנו את אחת המפות המציגות פעילות של הרי געש ברחבי העולם

https://volcano.si.edu/gvp_currenteruptions.cfm

<https://www.volcanoesandearthquakes.com>

כמה התפרצויות געשיות התרחשו בשבוע האחרון? _____ בשנה האחרונה? _____

3. האם הנתונים מפתיעים אתכם? הסבירו

<מהלך שעור 1> רכסי הרים, הרי געש ורעידות אדמה

> תצפיות ושאלות<

1. רכסי ההרים הגבוהים בעולם לא פזורים באופן אקראי על פני כל הכדור.

התבוננו במפה הבאה וענו על השאלה.

מפת רכסי הרים



שאלה:

היכן ממוקמים רכסי ההרים הגבוהים בעולם?

האם אפשר לאפיין דגם השתרעות שלהם?

רכס הרים גבוה

2. במפה שלפניכם אפשר לראות מקומות בהם אירעו רעידות אדמה בשנים האחרונות (מיקום מוקדי רעידות אדמה).

שאלה:

מפת מוקדי רעידות אדמה בעולם



האם רעידות אדמה מתרחשות במקומות אקראיים

על פני הכדור?

אפיינו את השתרעות מוקדי רעידות האדמה

בעולם.

● מקום בו ארעה רעידת אדמה
בשנים האחרונות

3. במפה שלפניכם מוצגים הרי הגעש הפעילים בעולם.

שאלה:

מפת הרי געש פעילים בעולם



א. האם פיזור הרי הגעש על פני כדור

הארץ אקראי? אפיינו אותו.

ב. שוליו של האוקיינוס השקט מכונים "חגורת

האש". מדוע?

▲ הר געש עפיל

4. האם הבחנתם בקשר בין מיקומי רכסי ההרים הגבוהים, הרי הגעש הפעילים ורעידות האדמה?

מהן התצפיות הבולטות לגבי תפוצת רעידות אדמה, רכסי הרים והרי געש?

> שליחה אל לוח שיתופי בו אפשר 'לשחק' עם חפיפה של 3 המפות הללו<

סיכום שיעור 1

<סיכום 1> (שיעור 1) – השערה

העלו השערה להסבר התצפיות (האם לדעתכם קיים מנגנון שאחראי להשתרעות התופעות?)

<סיכום 2> (שיעור 1) – שרטוט מפה

לפניכם מפת היבשות - סמנו על גבי המפה את אזורי החפיפה בין התופעות השונות



* לצפיה במפת תבליט מוגדלת: [GEBCO](#) או כאן : [NOAA](#)

מה לדעתכם הקשר בין רעידות אדמה להרי געש?



מסתבר שבכוכב הלכת ארץ חיים בני אדם. חלקם אף עוסקים בחקר כוכב הלכת שבו הם חיים. המדענים החוקרים את הגאוספרה (מערכת הסלע) של הכוכב נקראים גאולוגים, הם מנסים להבין את התהליכים המתרחשים בו ואת מנגנון פעולתו. לאורך ההיסטוריה האנושית התפתחה ההבנה המדעית של כדור הארץ, בד בבד עם התפתחות הכלים ושיטות המחקר. בפעילויות הבאות נצא למסע חשיבתי בעקבות ההבנה המדעית את כדור הארץ.

פרק ב: אלפרד וגנר – התצפיות והנתונים

שעור 2 – התצפיות והנתונים של אלפרד וגנר

<פתיחה (1)> חופי האוקיינוס האטלנטי



המפה שלפניכם מציגה את רוב שטחו של האוקיינוס האטלנטי.

התבוננו בה ובחנו את צורת היבשות אפריקה ודרום אמריקה, ואת צורתן של האוקיינוס האטלנטי המפריד ביניהן.

1. האם ישנה תופעה בולטת לעין הקשורה בצורת היבשות והאוקיינוס? אם כן מהי התופעה?
2. האם תוכלו להעלות השערה המסבירה תופעה זו?
3. כיצד אפשר לבחון השערה זו?
4. האם ישנן נקודות חלשות בהשערותיכם הדורשות בחינה נוספת? אם כן מהן?

> למורה: לשים לב לצורת הפאזל ולשאול מה עוד צריך להתאים בפאזל חוץ מהצורה, להוביל לכך שגם ה'תמונה' המצויירת על חלקי הפאזל צריכה להתאים – ואז לשלוח אותם לתצפיות הנוספות. <

<פתיחה (2)> טקסט

אלפרד וגנר (Alfred Wegener) – אסטרונום ומטאורולוג גרמני

ב-1910 הבחין וגנר בהתאמה בין קווי החוף של אפריקה ושל דרום אמריקה. הוא שם לב שההתאמה בין קצות מדפי היבשת (אזור המצוי מתחת לפני הים) של שתי היבשות טובה הרבה יותר מההתאמה שבין קווי החוף.

ב-1911 נתקל וגנר בדוח פלאונטולוגי (=חקר מאובנים) שהראה דמיון בין מאובנים בברזיל ובאפריקה. תגליות אלו עוררו אצל וגנר עניין רב והוא החל בעבודת מחקר רחבת היקף שבמהלכה בחן נתונים רבים שליקט מעבודות מחקר של חוקרים רבים.



וגנר אסף נתונים מתחומי המחקר השונים של מדע הגאולוגיה, כגון: סטריגרפיה, גאופיזיקה, פלאונטולוגיה, פלאו-אקלים.

הנתונים שאסף וגנר הובילו אותו לפתח תאוריה והוא פרסם אותה לראשונה ב-1912 בשם "מקור היבשות". תאוריה זו הפכה לציון דרך בהתפתחות הגאולוגיה המודרנית.

בהמשך היחידה תכירו טוב יותר את האיש ואת רעיונותיו.

<מהלך שעור 2> חלק א – התצפיות של וגנר

בפעילות זו תבחנו בעצמכם חלק מהנתונים אשר עוררו את סקרנותו של וגנר ותנסו למצוא להם הסבר.

במשימות הבאות שלפניכם תמצאו שבע תצפיות שערך וגנר. בחנו מספר תצפיות (לפחות שתיים-שלוש*) וענו על השאלות המתייחסות אליהן.

* אתם מוזמנים כמובן להעיף מבט גם בתצפיות שלא בחרתם.

- תצפית מספר 1: מאובני צ'ינוגנתוס (Cynognathus)
- תצפית מספר 2: אזורי אקלים קדומים
- תצפית מספר 3: מאובני גלוסופטריס (Glossopteris)
- תצפית מספר 4: רכסי הרים בצפון אמריקה, בבריטניה ובסקנדינביה
- תצפית מספר 5: מאובני ליסטרוזאורוס (Lystrosaurus)
- תצפית מספר 6: מאובני מזוזאורוס (Mesosaurus; מילולית: "לטאה אמצעית")

> למורה: אם לא בחרת לבצע את הפתיחה הראשונה (חופי האטלנטי), אפשר להשתמש בה כתצפית מספר 7 <

בנספח מצורפים דפי העבודה – כל תצפית עם המפה המתאימה לה ושאלות כאלו:

1. האם ישנה "בעיה" כלשהי בנוגע לתצפית של תפוצת המאובנים משני עברי האוקיינוס האטלנטי?
2. האם תוכלו להעלות השערה שתסביר כיצד אפשר "לגשר" על בעיה זו?
3. כיצד אפשר לבחון השערה זו?
4. האם ישנן נקודות חלשות בהשערותיכם הדורשות בחינה נוספת? אם כן מהן?

סיכום חלק א – השוואה בין העדויות השונות של וגנר

> למורה: כדאי לערוך השוואה בין העדויות – תלמידים מוזמנים לשתף ולענות על השאלות <

- האם העדויות מתיישבות זו עם זו?
- מה אתם מסיקים לאחר שבחנתם מספר עדויות שונות?

חלק ב – התפתחות המדע

ענו על השאלות על סמך המידע על אלפרד וגנר (Alfred Wegener) ועל תאוריית נדידת היבשות שפיתח על סמך העדויות והנתונים שאסף.

1. האם הייתם מצפים שתאוריית נדידת היבשות של וגנר תתקבל בקרב אנשי המדע?

הממסד המדעי בעולם דחה בזלזול את תאוריית נדידת היבשות כשהציע אותה וגנר לראשונה. אנשי המדע טענו שהתאוריה לא ראויה כיוון שהמנגנון שהציע וגנר לתנועת היבשות אינו סביר. עם זאת חשוב לציין שלא התעורר ויכוח בנוגע לתצפיות ולעדויות שאסף וגנר.

2. האם המנגנון הבעייתי שהציע וגנר לנדידת היבשות היווה לדעתכם עילה מספקת לדחיית התאוריה?
הסבירו:
3. האם לדעתכם ייתכן ששיקולים שאינם מדעיים השפיעו על הממסד המדעי בשפטו את התאוריה של וגנר?
הסבירו:
(היעזרו בפרטי המידע לגבי וגנר האיש. זכרו: הממסד הגיאולוגי בימיו של וגנר היה בבריטניה השמרנית).
4. מה אפשר להסיק על האופן שבו מתפתח ומתקדם המדע, מסיפור אי קבלתה של תאוריית נדידת היבשות?

<סיכום (1)> שיעור 2 – תאוריית נדידת היבשות של וגנר

לוח שיתופי לעמדות ודעות על התאוריה של וגנר
ודיון בכיתה על תאוריית נדידת היבשות של וגנר

<סיכום (2)> שיעור 2 – תאוריית נדידת היבשות של וגנר – סרטון אנימציה



סרטון חביב שמציג את וגנר האיש ופועלו (כ-7 דקות)

<אפשר להפעיל את הכתוביות עם התרגום האוטומטי – הוא די סביר>

<https://youtu.be/RgJZ0ySEKYg>

<סיכום (3)> שיעור 2 – תאוריית נדידת היבשות של וגנר – סרטון



הבחור האנגרטי [בסרטון](#) מסכם יפה את העקרונות הללו:

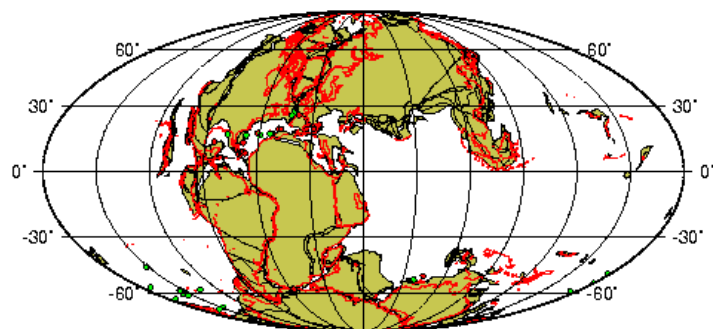


והנה עוד אנמיציה קצרה המראה את התפרקות פנגאה והגעת היבשות למיקומן הנוכחי.

<יש כמובן המון – אבל לעיתים חלקן לא פועלות>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pangea_animation_03.gif

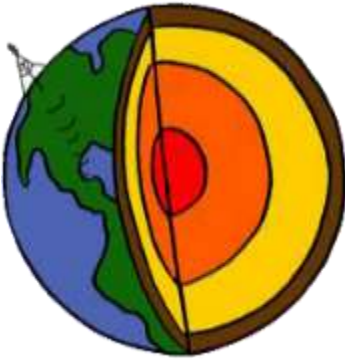
<https://www.youtube.com/watch?v=OGdPqpzYD4o>



150 My Reconstruction

פרק ג: מבנה כדור הארץ

שעור 3 – מידע על פנים כדור הארץ



כדי להבין את התפתחות תאוריית הלוחות עלינו להכיר את המבנה ואת ההרכב של כדור הארץ.

<פתיחה (1)> מידע ומקורותיו

קראו את התצפיות הבאות (1-4) וענו על השאלה:

איזו מסקנה אפשר להסיק על מבנה כדור הארץ לאור התצפיות הללו?

תצפית מספר 1: פני כדור הארץ אינם אחידים. ישנם אזורים מורמים לעומת אזורים שקועים.

ישנן שתי קבוצות עיקריות של שטחים:

האחת בקרקעית האוקיינוס בעומק של 5-6 קילומטרים תחת פני הים,

והאחרת ביבשות בגובה של מספר מאות מטרים עד כקילומטר אחד מעל פני הים.

תצפית מספר 2: הצפיפות הממוצעת של כדור הארץ (כ-5 גרם/סמ"ק) גבוהה בהרבה מהצפיפות הממוצעת של

סלעי קליפתו החיצונית (כ-3 גרם/סמ"ק).

תצפית מספר 3: ליסוד ברזל מסה סגולית גבוהה והוא נדיר יחסית בסלעי קרום כדור הארץ.

תצפית מספר 4: אל פני כדור הארץ מגיעים מטאוריטים שמקורם במערכת השמש.

כ-30% מהמטאוריטים שנופלים על כדור הארץ בנויים מיסודות מתכתיים ובעיקר מברזל.

<פתיחה (2)> מקורות מידע על פנים כדור הארץ

השיעור הבא יוקדש לדיון חי ותוסס לגבי הקישקעס* של כדור הארץ.

הכינו עצמכם לדיון – גבשו עמדות לגבי הנקודות הבאות, הכינו כרטיסיות עם

הטיעונים שלכם והתכוננו להגן עליהם ולשכנע את שאר הכיתה.

הנה כמה שאלות למחשבה, כהכנה לדיון:

1. האם המבנה וההרכב הפנימי של פנים כדור הארץ ידועים לעוסקים בחקר כדור הארץ?

2. האם ידע זה וודאי?

3. אילו בעיות עומדות בפנינו בבואנו ללמוד על המבנה ועל ההרכב של פנים כדור הארץ?

4. כיצד אפשר ללמוד על המבנה ועל ההרכב של פנים כדור הארץ? רעיונות?

*זה סלנג קלאסי שבא מידיש - קרביים, מעיים, מה שבפנים.

<פתיחה (3)> מקורות מידע על פנים כדור הארץ

רשמו את כל השאלות שהייתם רוצים לשאול גאולוג מומחה למבנה כדור הארץ.

כתבו ליד כל שאלה – מדוע לדעתכם חשוב לדעת את התשובה לשאלה הזו.



מקור חשוב נוסף לידע על פנים כדור הארץ הוא רעידות אדמה. ברעידות אדמה משתחררת אנרגיה אשר עוברת בכדור הארץ בצורת גלים. גלים אלו נקלטים בסיסמוגרפים הפזורים על פני כדור הארץ. גלים סיסמיים (סיסמוס = רעידה ביונית) עוברים דרך כדור הארץ ומושפעים ממבנה הכדור, ולכן נושאים עמם מידע על המבנה הפנימי של כדור הארץ.

בפעילויות הבאות תכירו גלים סיסמיים ותראו כיצד אפשר להסיק מהם על פנים כדור הארץ.

<מהלך שעור 3> גלים סיסמיים

צפיה במצגת צילומים מאתרים שהורגשו בהם רעידות אדמה

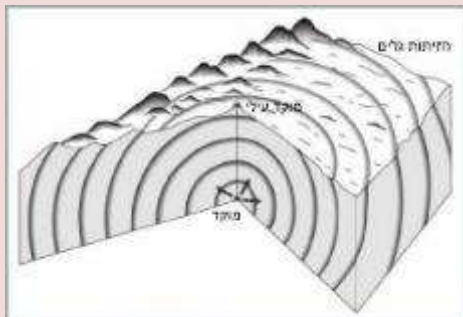


תוצאות רעידת אדמה ביפן 2011 [צילומים נוספים מהאירוע]

מהן רעידות אדמה



רעידות אדמה מתרחשות כאשר החומר הסלעי הקשיח בקרום כדור הארץ נע ומתארגן מחדש בהשפעת כוחות פנימיים הפועלים עליו. תנועה זו של חומר מתרחשת על גבי שברים. אם כוחות פועלים על גופי סלע לאורך זמן, הסלעים מתעוותים ונאגרת בהם **אנרגיה פוטנציאלית אלסטית** (בדומה לאנרגיה הנאגרת בקפיץ או בגומי ההולך ונמתח). כאשר האנרגיה עוברת סף מסוים מתרחשת רעידת אדמה: הסלעים נשברים ומתרחשת תנועה לאורך מישורי השבירה (בדיוק כמו גומי שנמתח מדי ונקרע).



האנרגיה הפוטנציאלית האצורה בסלעים משתחררת בעת רעידת אדמה והופכת ל**אנרגיה קינטית** – אנרגיה של תנועה. האנרגיה המשתחררת בעת רעידת אדמה מתפשטת בכדור הארץ כולו. האנרגיה מתפשטת בצורת גלים, המכונים **גלים סיסמיים** (סיסמוס = רעידה ביונית).

האיור מציג את חזיתות הגלים הסיסמיים המתפשטות ממוקד רעידת אדמה (המקום התת קרקעי שבו מתרחשת רעידת אדמה).

מהם גלים

רעידת אדמה היא שחרור עצום ופתאומי של אנרגיה שנאגרה בסלעי כדור הארץ הקשיחים במשך זמן רב. תופעת התפשטות האנרגיה מתוארת במדע באמצעות המושג **גלים**. מקורות ספרות רבים מגדירים גל כ"הפרעה במרחב". ההפרעה שמתרחשת היא בחומר עצמו. לדוגמה רעידות אדמה גורמות ל"הפרעה" בסלעים. ההפרעה מתחילה במוקד מסוים ומשם היא מתפשטת לכל הכיוונים דרך הסלעים. באופן כללי ניתן להגיד שהסלעים עצמם לא זזים אלא "מופרעים" כלומר התפשטות האנרגיה אינה תנועה של הסלע עצמו אלא התקדמות ומעבר של אנרגיה דרך הסלעים. אבל אין זה מדויק לחלוטין כי בחלקיק השני שבו עובר הגל הסלע נע ומתארגן מחדש (כל חלקיק וחלקיק סלע מתערער לרגע קצר וחוזר למקומו), אחרת לא היינו מרגישים רעידות אדמה כלל.

נכיר את **סוגי הגלים** הנוצרים בעקבות רעידות האדמה וכיצד הם משפיעים על סלעי כדור הארץ. אפשר להבחין בשלושה סוגים של גלים סיסמיים: גלי P, גלי S וגלי שטח.

<ניסוי> חלק א – המחשת גלי P באמצעות קפיץ "סלינקי"

גלי P – גלים ראשונים

נקראים כך כיוון שהם גלים מהירים ולכן הם הראשונים הנקלטים על ידי הסיסמוגרפים. הם נקראים גם **גלי לחץ** (Primary – ראשון, Pressure – לחץ).

1. הניחו את קפיץ ה"סלינקי" על השולחן לפניכם.



שימו לב, אם קיבלתם קפיץ חדש שלא היה מעולם בשימוש, יכול להיות שהוא מודבק לעצמו ועדיין נוקשה. לפני הניסוי, "פתחו אותו" פעם ראשונה – משכו קצה אחד בעדינות על מנת לשחרר את הקפיץ מההדבקה ולאפשר לו לנוע בגמישות.

2. צפו בסרטון ובצעו לאחר מכן את הניסוי בעצמכם:

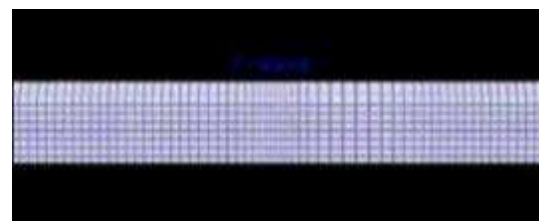
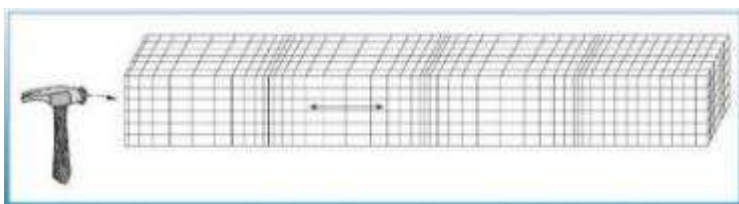
א – מתחו את הקפיץ קלות.

ב – דחפו קלות קצה אחד של הקפיץ לכיוון הקצה האחר.

ג – תארו את המתרחש:

ד – התבוננו באיור הבא הממחיש את אופן התקדמות גלי P

בחומר מוצק ובסרטון שאחריו.



3. מדוע לדעתכם נקראים גלי P גם גלי לחץ? (העזרו בהמחשת הקפיץ, באיור ובסרטון).
4. מהו כיוון התנודות של גלי P יחסית לכיוון התקדמות הגלים? יש לבחור תשובה אחת: מקביל או ניצב?

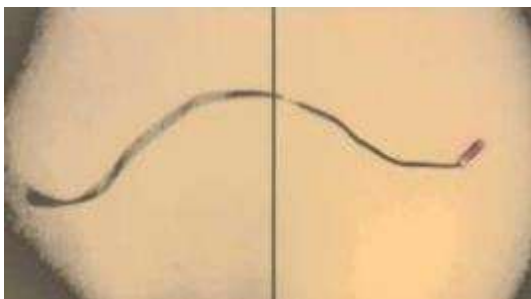
אנרגיית התנועה (האנרגיה הקינטית) שהקנתה היד הדוחפת לקצה הקפיץ התקדמה כגל P לאורך הקפיץ. במעבר גלי P בחומר חלות בו תנודות עקב התכווצות החומר וחזרתו למצבו



<ניסוי> חלק ב – המחשת גלי S באמצעות חבל

גלי S – גלים שניים

נקראים כך כיוון שהם גלים מהירים פחות מגלי P ולכן נרשמים שניים בסיסמוגרפים. הם נקראים גם גלי גזירה (Secondary – שני, Shear – גזירה).



א. קחו כעת את השרוך וקשרו לקצהו משקולת. הניחו אותו על השולחן לפניכם.

ב. צפו בסרטון ובצעו לאחר מכן את הניסוי בעצמכם:

א – מתחו את השרוך קלות.

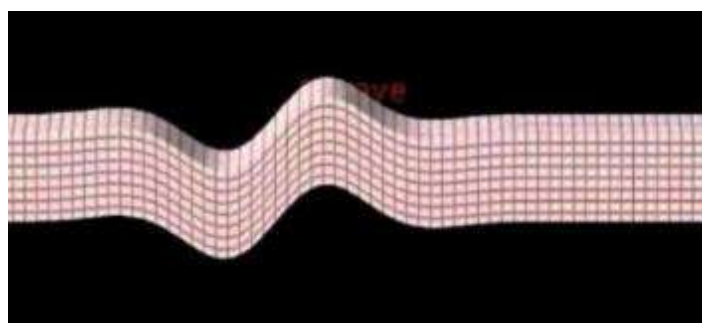
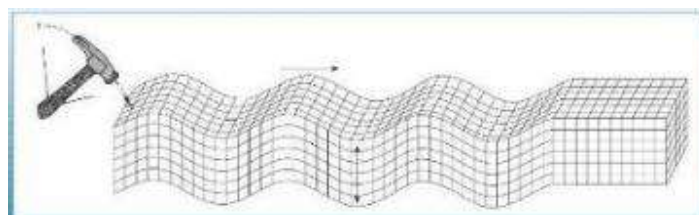
ב – נערו קצה אחד של החבל ימינה ושמאלה.

ג – תארו במחברת את המתרחש.

אנרגיית התנועה (האנרגיה הקינטית) שהקנתה היד המנערת לקצה החבל התקדמה כגל S לאורך החבל. במעבר גלי S בחומר חלות בו תנודות עקב תנועת החומר וחזרתו למצבו המקורי.



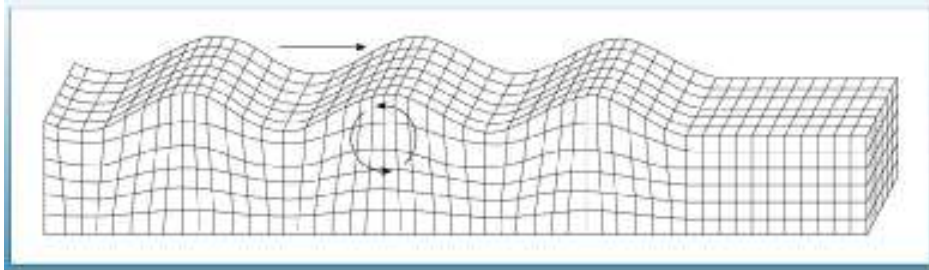
5. התבוננו באיור הבא הממחיש את אופן התקדמות גלי S בחומר מוצק ובסרטון שאחריו.



מהו כיוון התנודות של גלי P יחסית לכיוון התקדמות הגלים? יש לבחור תשובה אחת: מקביל או ניצב?

חלק ג – גלי שטח

גלי שטח: גלים העוברים רק בפני השטח של כדור הארץ. אלו הם גלים איטיים יותר מגלי P ומגלי S. הם עשויים להיות הגלים הקטלניים ביותר (ראו איור):



6. במעבר גלי שטח בחומר חלול בו תנודות כתוצאה מתנועת החומר וחזרתו למצב המקורי. מהו כיוון התנודות של גלי השטח יחסית לכיוון התקדמות הגלים? יש לבחור תשובה אחת: מקביל, ניצב או שילוב של ניצב ומקביל?

גלי P וגלי S הם גלים העוברים בפנים כדור הארץ, מושפעים מתכונות החומר בו, ולכן חשובים להבנת מבנה כדור הארץ. הפעילויות הבאות עוסקות בגלים אלו.



חלק ד – מהירויות של גלים סיסמיים

לאחר רעידת אדמה מסוימת נרשמה הגעת גלי P וגלי S לתחנות סיסמולוגיות במרחקים שונים ממוקד הרעידה. בטבלה שלפניכם נתונים מרווחי הזמן שעברו מהתרחשות רעידת האדמה עד להגעת הגלים לתחנות סיסמולוגיות הנמצאות במרחקים שונים מהמוקד

מרחק התחנה ממוקד (ק"מ)	זמן עד להגעת גלי P (שניות)	זמן עד להגעת גלי S (שניות)
1,500	200	350
3,000	350	650
5,000	500	900
8,500	700	1,300
10,500	800	1,450

7. שרטטו את שני הגרפים הבאים:

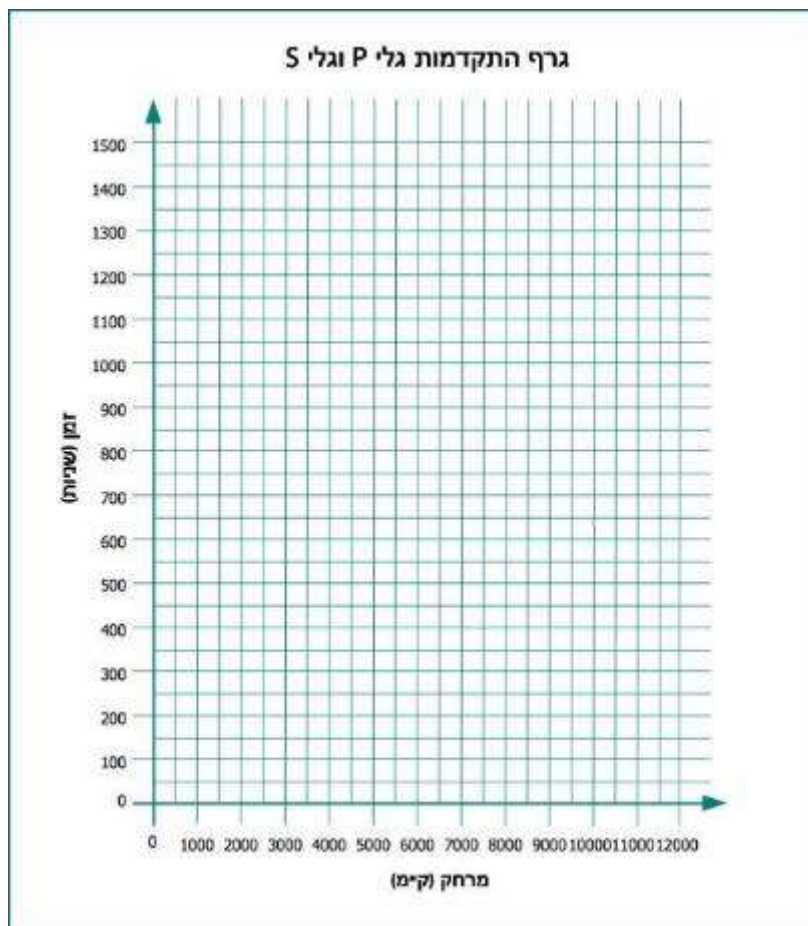
א. גרף המציג את זמן מעבר גלי P כנגד המרחק מהמוקד באמצעות נקודות **אדומות**. חברו את נקודות באמצעות קו שחור דק.

ב. גרף המציג את זמן מעבר גלי S כנגד המרחק מהמוקד באמצעות נקודות **כחולות**. חברו את הנקודות באמצעות קו שחור דק.

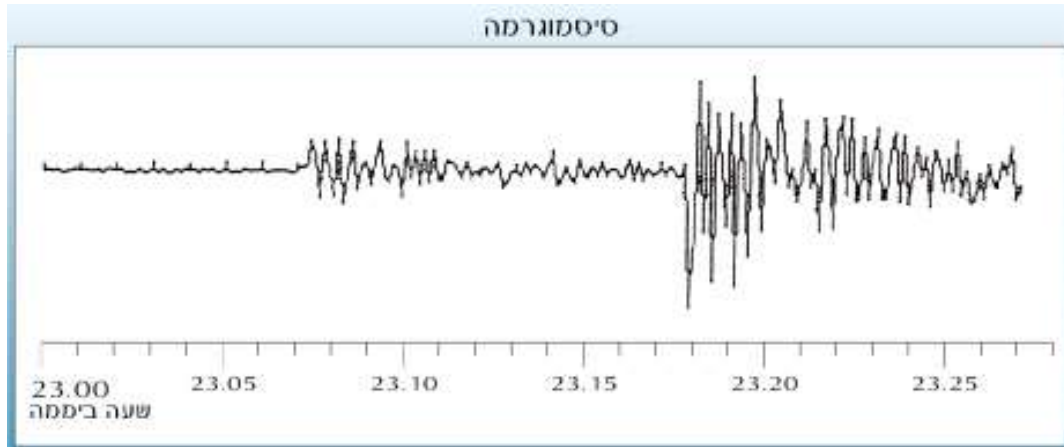
ענו על השאלות:

1. האם עקומות שני הגרפים עוברות דרך ראשית הצירים? הסבירו.

2. האם לדעתכם מייצגים הגרפים ששרטטתם רק את רעידת האדמה המסוימת הזאת או שהם מתאימים לכל רעידת אדמה? הסבירו.



3. האיור שבעמוד הבא הוא סיסמוגרמה המתעדת רעידת אדמה כפי שנרשמה בתחנה סיסמית. התיעוד החל בשעה 23:00.



- לאיזה מהגלים (S או P) הפרעה חזקה יותר? נסו לשער מדוע.
4. סמנו על גבי הסיסמוגרמה את הזמן שבו הגיע לתחנה גל ה-P ואת הזמן שבו הגיע לתחנה גל ה-S (סמנו קו אנכי על ציר הזמן, בשעה שמייצגת את תחילת הגעת הגל).
5. כמה שניות עברו בין הגעת גל ה-P לבין הגעת גל ה-S?
6. היעזרו בתשובתכם לשאלה 5 ובגרף התקדמות גלי P ו-S ששרטטתם קודם, כדי למצוא את מרחק התחנה ממוקד רעידת האדמה ואת זמן התרחשות רעידת האדמה.
- א. מה מרחק התחנה הסיסמית ממוקד רעידת האדמה?
- ב. כמה זמן עבר מהתרחשות רעידת האדמה עד הגעת גלי P לתחנה?
- ג. באיזו שעה שהתרחשה רעידת האדמה?
- התבוננו בהדמיות הבאות – הממחישות את השפעת מרחק מוקד רעידת האדמה מתחנת המדידה על הסיסמוגרמה שתתקבל בה:

רעידת אדמה ושתי תחנות מדידה: <https://www.usgs.gov/media/videos/attenuation>

כיצד נקלטות רעידות אדמה במקומות שונים בעולם, בתחנת מדידה אחת:

https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/earthquakes_scattered_across_the_globe_recorded_by_one_station

<סיכום (1)> שיעור 3 – ניתוח הגרף

מה המשמעות של הגרף שציירתם?

מה אפשר להסיק מהגרף הזה? <למורה: מרחק המוקד מהתחנה>

האם אפשר למצוא בעזרת גרף זה את מוקד רעידת האדמה?

ערכו השוואה בין הגרף שציירתם לגרף המוכן (עמוד ***) – האם הם דומים? אילו הבדלים יש? כיצד אפשר להסביר את ההבדלים הללו?

<סיכום (2)> שיעור 3 – השפעת רעידות אדמה על הסביבה העירונית

התבוננו באחת מהאנימציה הבאה – מתי ואילו גלים מורגשים בנקודות שונות על פני כדור הארץ?

https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/3component_seismogram_records_seismicwave_motion

1. איזה סוג גלים הם היותר הרסניים?

2. איזה גלים משמעותיים יותר לצורך פיענוח של מבנה כדור הארץ?

סיכום השיעור בסרטון <צריך להבין את האנגלית...> 3 סוגי גלים סיסמיים והשפעתם;

<https://www.britannica.com/video/181934/rock-vibrations-Earth-earthquake-waves-P-surface#:~:text=There%20are%20two%20broad%20classes,in%20the%20direction%20of%20travel.>

<אנימציה שמראה איך על סמך סיסמוגרמות מוצאים מרחק ומוקד של רעידות אדמה>

כאן אפשר לראות איך מוצאים מרחק תחנת מדידה מהמוקד:

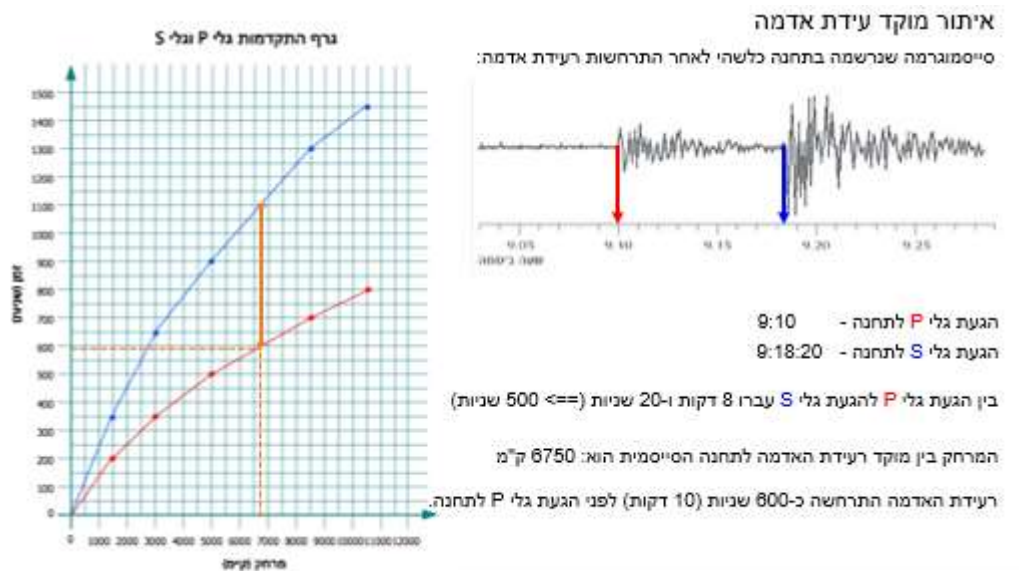
<https://www.youtube.com/watch?v=BzZhspiyg2I>

יש לשים לב שהגרף נוצר כאן הפוך לזה שאנו משתמשים בו

זו הדמיה יחסית טובה של היווצרות הסיסמוגרמות בתחנות שונות:

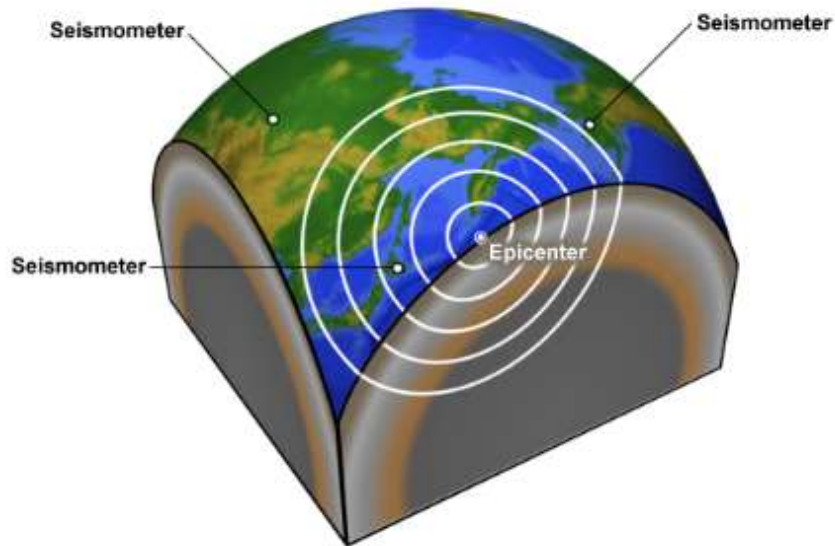
<http://ds.iris.edu/seismon/swaves/index.php>

<המצגת של עירית – קישור>



<הרחבה> גלים סיסמיים פתיחה: איך מודדים רעידות אדמה

בכלים ובנתונים אלה של זמני הגעת גלים סייסימיים לנקודות שונות בכדה"א – משתמשים לצורך איתור מיקום של רעידות אדמה. במקומות שונים ברחבי העולם ממוקמות תחנות מדידה (תחנות סיסמיות), בכל תחנה מצוי מכשיר בשם סיסמומטר, הקולט כל רעידה ורושם את תנודות הקרקע על גבי סיסמוגרמה.

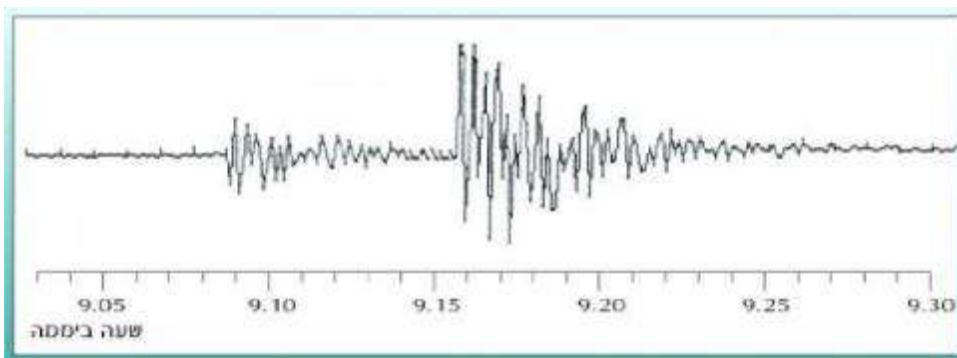


Epicenter =
מוקד של רעידת אדמה

Seismometer =
מכשיר למדידת רעידות
אדמה

סיסמוגרמה = רישום
תנודות הקרקע כפי
שנקלטו בסיסמומטר.

סיסמוגרמה מנורבגיה

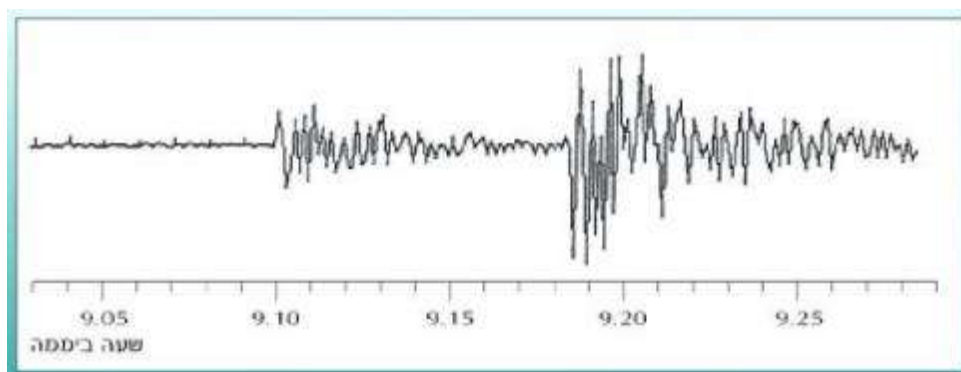


לפניכם סיסמוגרמה
שנרשמה בתחנה
הסיסמית ברגן
שבנורבגיה
(BERGEN), בעקבות
רעידת אדמה
שהתרחשה
ב- 1.1.2009.

שאלות:

- עליכם למצוא את מרחק מוקד רעידת האדמה מהתחנה שלכם, ואת השעה שארעה בה רעידת האדמה. היעזרו לשם כך בגרף התקדמות גלי P וגלי S שהכנתם בפעילות הקודמת (ראו בקובץ המצורף למשימה).
פרטו את שלבי עבודתכם ואת הנתונים שמצאתם (זוכרים? השתמשו בהפרש זמני ההגעה של גלי S וגלי P...)
- האם תוכלו למצוא את המקום שבו התרחשה רעידת האדמה (המוקד) בעזרת הסיסמוגרמה של תחנת ברגן, בלבד? הסבירו:
- אם עניתם בשלילה לשאלה הקודמת, הציעו דרך למציאת מקומו המדויק של מוקד רעידת האדמה.
***רמז:** למה עוד תזדקקו? אה, כן... יש בידניו סימוגרמות מתחנות נוספות...

סיסמוגרמה מדרום אפריקה

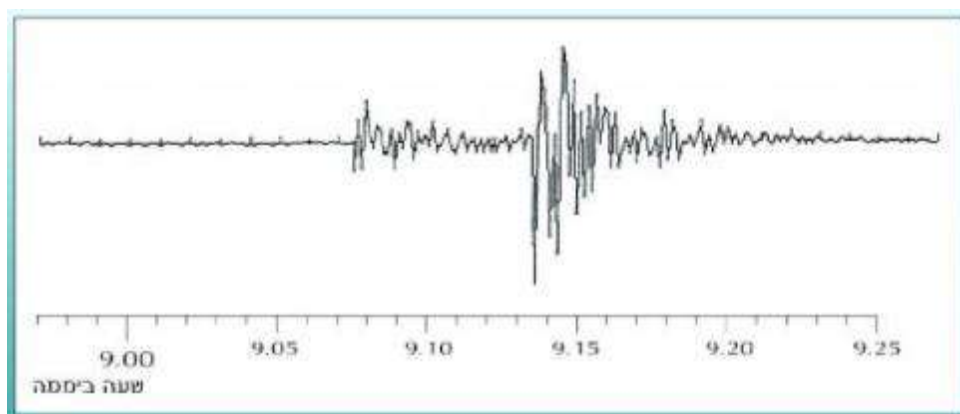


לפניכם סיסמוגרמה
שנרשמה בתחנה
הסיסמית סילברטון
שבדרום אפריקה
(SILVERTON),
בעקבות רעידת אדמה
שהתרחשה
ב- 1.1.2009.

4. חזרו על התהליך שבצעתם בעזרת הסיסמוגרמה מנורבגיה, כדי למצוא את מרחק מוקד רעידת האדמה מתחנת סילברטון.
שוב: היעזרו בגרף התקדמות גלי P וגלי S שהכנתם בפעילות קודמת (ראו בקובץ המצורף למשימה).

מה מרחק מוקד רעידת האדמה מתחנת סילברטון?

סיסמוגרמה מספרד



לפניכם סיסמוגרמה
שנרשמה בתחנה
הסיסמית טולדו
שבספרד (TOLEDO),
בעקבות רעידת אדמה
שהתרחשה ב-
1.1.2009.

5. מצאו את מרחק מוקד רעידת האדמה מתחנת טולדו.
שובו והשתמשו בגרף התקדמות גלי P וגלי S (ראו בקובץ המצורף למשימה).

מה מרחק מוקד רעידת האדמה מתחנת טולדו?

6. בשלב זה יש בידיכם מספיק אנפורמציה כדי למצוא את מקומו המדויק של מוקד רעידת האדמה.
כל שנותר לעשות הוא לסמן את שלוש התחנות הסיסמולוגיות על גבי מפה, ולסמן סביב כל אחת מהן מעגל, שרדיוסו יהיה המרחק של מוקד רעידת האדמה מהתחנה הספציפית.
הקישור שבהמשך יפתח כלי שבו תבצעו פרוצדורה זו.
לסימון כל מעגל עליכם להזין את שם התחנה (באנגלית: **שם העיר, שם המדינה**), את מרחק המוקד ממנה (בחלונית **radius distance**), וללחוץ על **Draw Radius** (ראו תמונה).

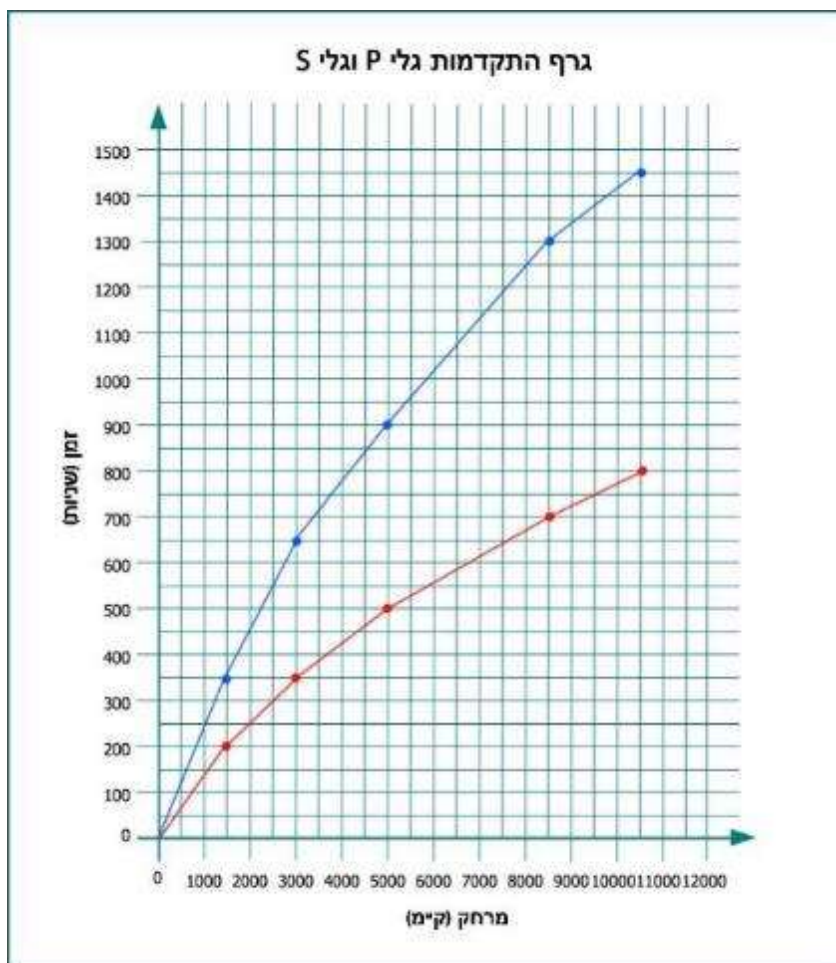


חזרו על הפרוצדורה 3 פעמים - עבור 3 הסימוגרות. ומה תקבלו...?

הקישור אל האתר: <http://www.freemaptools.com/radius-around-point.htm>

להוספת המפה שקבלתם לתשובה: גללו מתחת למפה אל החלונית **URL to all radius**, העתיקו את הכתובת שמופיעה בה והדביקו אותה בתשובה שלכם.

ובהזדמנות זו, מתחת לכתובת שהדבקתם, ענו על השאלה: היכן התרחשה רעידת האדמה?



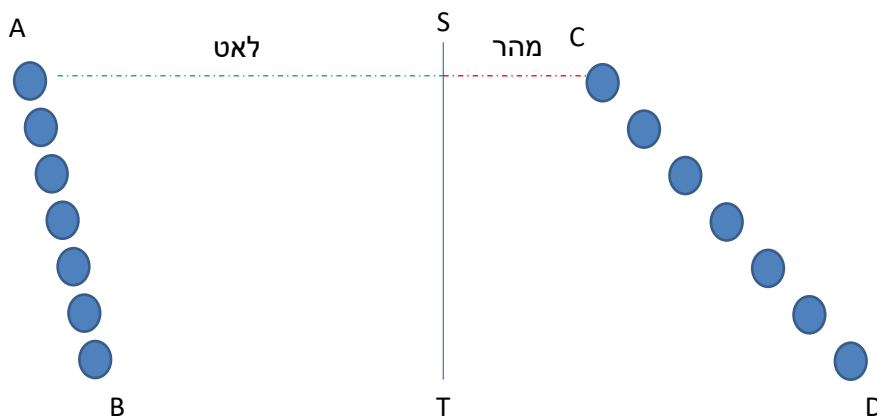
שעור 4: מעבר גלים סיסמיים בכדור הארץ

<פתיחה (1)> גל אנושי

> למורה: יש לערוך את התרגיל הבא במגרש פתוח שיש בו קו הפרדה ברור (ST) – למשל קו המחצית במגרש כדורסל, מדרגת מעבר בין כביש למדרכה וכו'<

הוראות:

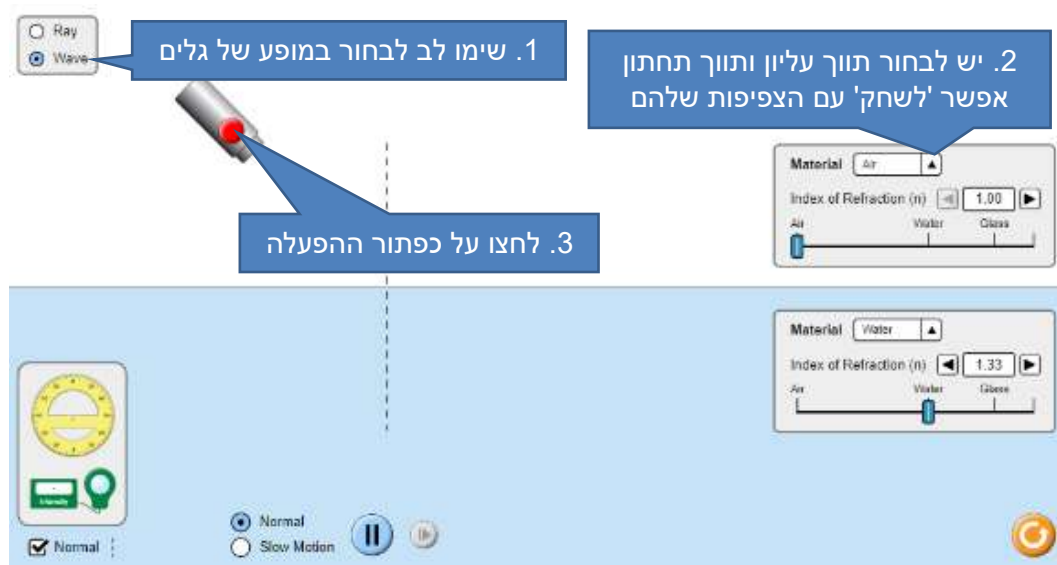
1. התלמידים עומדים בשורה ישרה (בזווית לקו ההפרדה – קו AB באיור) מחזיקים ידיים – זו חזית הגל.
2. מתקדמים בקצב אחיד לכיוון קו ההפרדה
3. מי שעובר את הקו מאיץ – או מאט (לפי ההוראות – כדאי לבצע פעם עם האצה ופעם עם האטה) ואז חזית הגל נשברת בהתאם.
4. עומדים ושמים לב לשינוי שחל בכיוון ובמרחק החזית מקו ההפרדה.



<פתיחה (2)> סימולטור של מעבר גלים מתווך אחד לשני

סימולטור של שבירת גלים ב-PHET: https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_en.html

אפשר לשחק איתו קצת



<מהלך שיעור 4> חלק א - מעבר גלים בחומר



כללי התקדמות הגלים:

1. בתווך קבוע, גלי S וגלי P מתקדמים במהירויות קבועות.
2. בתווך מסוים, גלי P מתקדמים מהר יותר מגלי S.
3. בתווך מוצק, גלי S וגלי P מתקדמים מהר יותר ככל שצפיפות התווך גבוהה יותר.
4. גלי S אינם יכולים לעבור בתווך נוזלי.
5. גלי P נעים בתווך מוצק מהר יותר מאשר בתווך נוזלי.
6. גלי S וגלי P משנים את כיוון התקדמותם במעבר מתווך שבו הם נעים במהירות אחת, לתווך שבו הם נעים במהירות אחרת.

כדי להמחיש את אופן שינוי הכיוון בתנועת הגלים, במעבר מתווך אחד לתווך אחר, נבחן את הבעיה הבאה:

אדם רוצה לעבור מנקודה A לנקודה B במהירות הגבוהה ביותר. הנקודות נמצאות בשדות שבהם מהירות ההליכה שלו שונה (למשל: שדה חול טובעני לעומת שדה אדמה כבושה).

משימת שרטוט:

שרטטו מסלול הליכה משוער מנקודה A לנקודה B, הדורש זמן מעבר מינימלי, בעבור כל אחד מהמקרים הבאים. (היעזרו במקרא).



מקרא: שדה המאפשר מעבר במהירות גבוהה

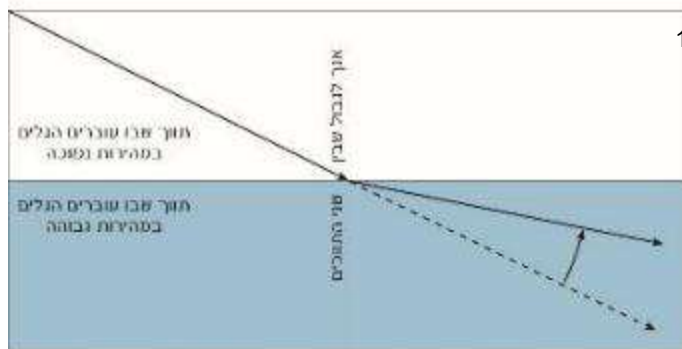
שדה המאפשר מעבר במהירות נמוכה



כאשר גלים עוברים מתווך שבו הם נעים במהירות אחת לתווך שבו הם נעים במהירות שונה, הם משנים את כיוון התקדמותם באופן דומה למסלולי ההליכה שזיהיתם. מעבר הגלים בין כל שתי נקודות נעשה בכיוונים המתאימים לזמן מעבר מינימלי דרך התווכים השונים. שינוי בכיוון התקדמות גל כתוצאה ממעבר מתווך אחד לתווך אחר נקרא שבירה.

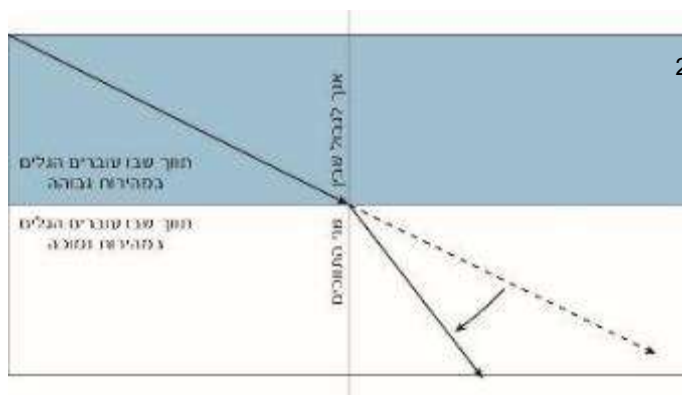
חוקי שבירת גלים

להלן חוקי השבירה של גלים (חוקים אלו נכונים בעבור כל סוגי הגלים, כולל גלים סימטיים):



איור 1

א. במעבר מתווך שבו גל נע במהירות נמוכה לתווך שבו הוא נע במהירות גבוהה יותר, הגל משנה את כיוונו ומתרחק מהאנך לגבול שבין שני התווים (איור 1).



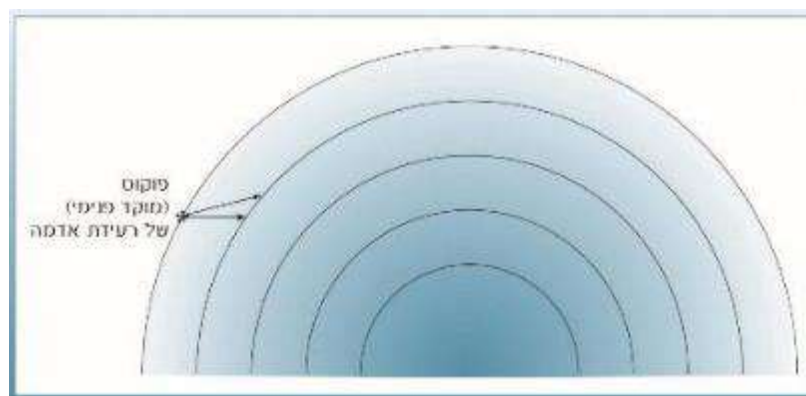
איור 2

ב. במעבר מתווך שבו גל נע במהירות גבוהה לתווך שבו הוא נע במהירות נמוכה יותר, הגל משנה את כיוונו ומתקרב אל האנך לגבול שבין שני התווים (איור 2).

חלק ב - מעבר גלים בתווים בעלי צפיפות משתנה

באיור 3 מוצג חתך ברצף שכבות כדוריות. צפיפות השכבות עולה עם העומק.

בשכבה החיצונית של מבנה זה אירעה רעידת אדמה אשר המוקד שלה מסומן בכוכבית.



איור 3

7. באיזו שכבה יתקדמו הגלים במהירות הנמוכה ביותר, ובאילו מהן במהירות גבוהה יותר?

הגלים יתקדמו במהירות הנמוכה יותר בשכבה _____ [החיצונית / הפנימית] ביותר ובמהירות גבוהה יותר בשכבות _____ יותר.

8. היעזרו בחוקי השבירה של גלים כדי לשרטט את כיווני ההתקדמות של שני הגלים המסומנים בחצים (באיור 3). לצורך התרגיל השתמשו בזווית שבירה של 10 מעלות בין כיוון התקדמות הגל בתווך אחד לבין כיוונו בתווך הבא.
9. האם לדעתכם כיווני ההתקדמות של שני הגלים ששרטטתם הם הכיוונים היחידים שבהם ינועו גלים סיסמיים שמקורם ברעידת האדמה הנתונה? הסבירו.

חלק ג - מעבר גלים בכדור הארץ

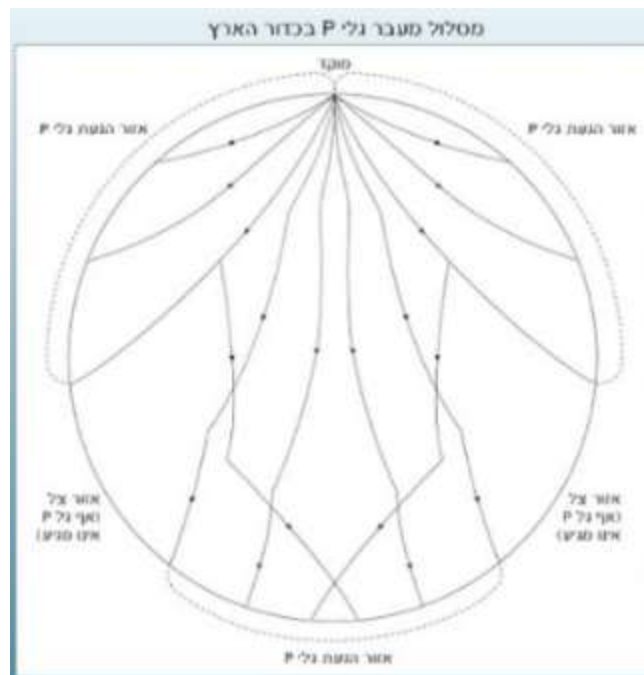


נתונים מרעידות אדמה רבות מראים כי בכל רעידת אדמה קיימים אזורים על פני כדור הארץ אשר גלי P וגלי S אינם מגיעים אליהם. אזורים אלו נקראים אזורי צל. על סמך מקומם של אזורי צל אלה ועל סמך נתונים נוספים לגבי זמני הגעתם של גלי P וגלי S למקומות שונים על פני כדור הארץ, הסיקו גאופיזיקאים מסקנות לגבי המבנה הפנימי של כדור הארץ. בעזרת מסקנות אלו שורטטו מסלולים סכמתיים של מעבר גלים סיסמיים דרך כדור הארץ.

בתרגילים הבאים תנסו להתחקות אחר מבנה כדור הארץ בעזרת המסלולים הסכמתיים של הגלים הסיסמיים, כפי ששורטטו על סמך מסקנות הגאופיזיקאים.

שאלות:

1. באיור הבא מוצג חתך סכמתי בכדור הארץ ומסומנים בו מסלולי התקדמות של גלי P ממוקד רעידת אדמה.



- א. סמנו על גבי האיור את נקודות השבירה של גלי ה-P.
- ב. חברו את הנקודות שסימנתם לצורה גיאומטרית פשוטה. מהי הצורה שקיבלתם?
- ג. מה מייצג קו הגבול שסימנתם בחיבור נקודות השבירה?
- ד. האם מהירות גלי P נמוכה יותר או גבוהה יותר באזור הפנימי? (היזכרו בחוקי השבירה של גלים).

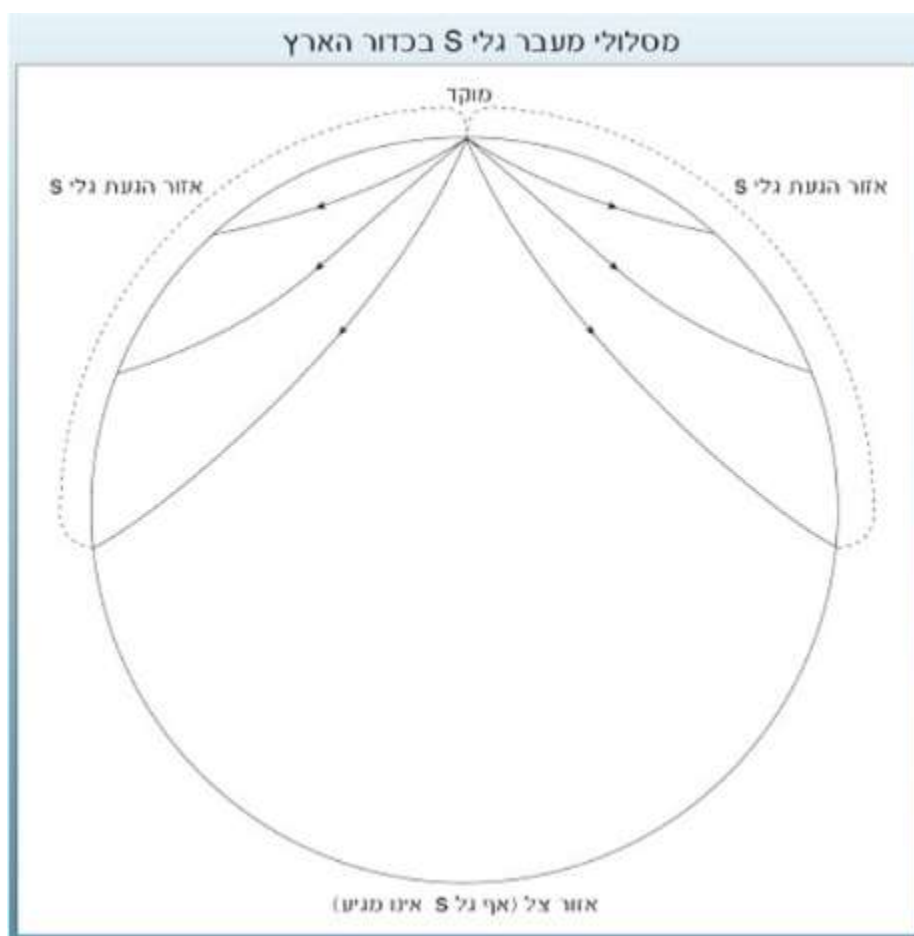
השערה:

2. הציעו שתי אפשרויות להסבר השינוי שחל במהירות מעבר גלי P בגבול שסימנתם (היזכרו בחוקי שבירת הגלים ובכללי התקדמות הגלים).

כדי להסיק מסקנות נוספות לגבי תכונות החומר המרכיב את גלעין כדור הארץ שזיהיתם בתרגיל הקודם, תבחנו כעת את המסלולים הסכמתיים של מעבר גלי S בכדור הארץ, כפי ששורטטו על סמך מסקנות הגאופיזיקאים.



3. באיור הבא מוצג חתך סכמתי בכדור הארץ ומסומנים בו מסלולי התקדמות של גלי S ממוקד רעידת אדמה.



- א. סמנו על גבי האיור את גבול הגלעין שקיבלתם בתרגיל 1.
* כדאי להשתמש בכלי העיגול, אם לוחצים על מקש ה-shift תוך כדי יצירת המעגל – נוצר עיגול סימטרי.
- ב. מהו ההבדל העיקרי בין המסלולים של גלי P (באיור הקודם) לבין המסלולי של גלי S (באיור הנכחי)?
- ג. הציעו הסבר להבדל הזה? (שוב - חוקי השבירה וכללי ההתקדמות של גלים...).

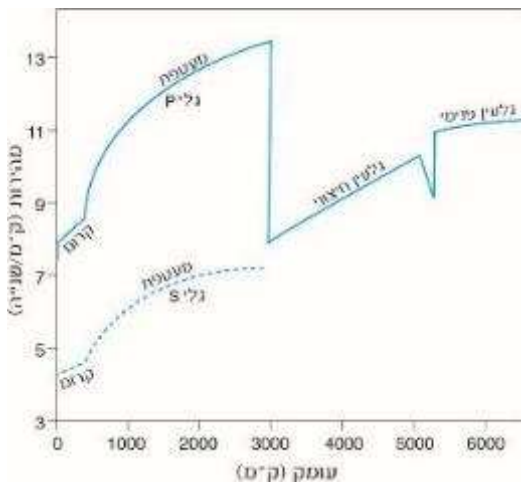
<סיכום (1)> שיעור 4

צפו בהדמיה של מעבר גלי P וגלי S בחתך של כדור הארץ: <https://www.usgs.gov/media/videos/shadow-zone>

מדוע הגלים נשברים ומשנים זווית בנקודות המסוימות? מה קורה במעברים הללו?

>הרחבה לסיכום: מה הם אזורי הצל ומדוע הם מופיעים?

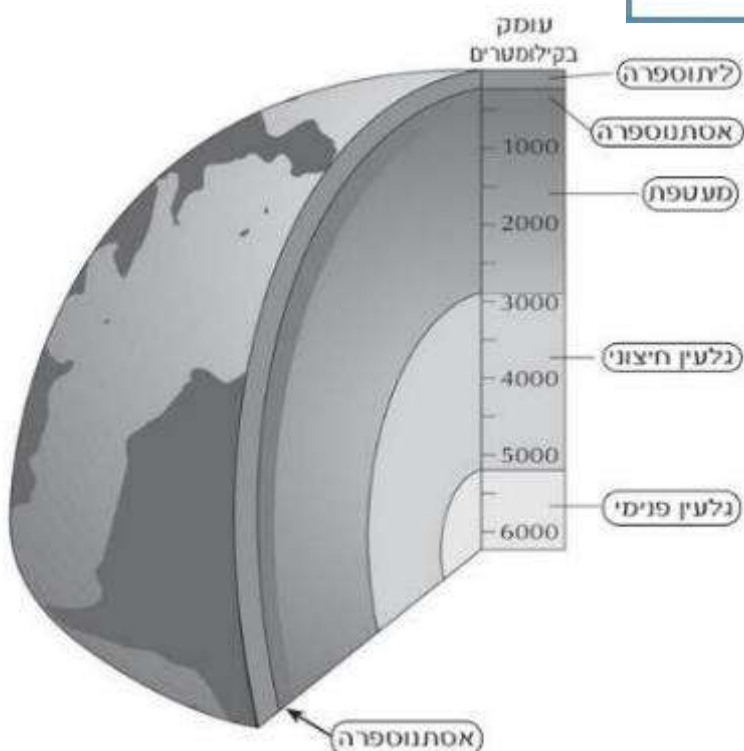
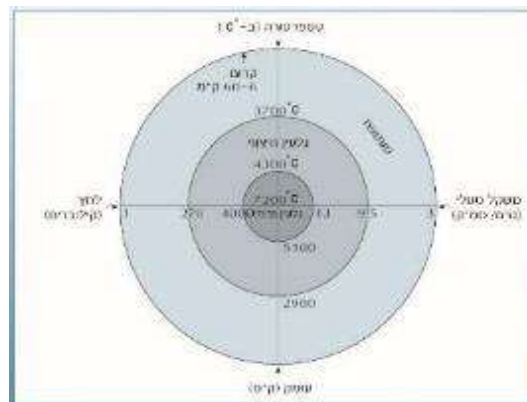
<סיכום (2)> שיעור 4 - מבנה כדור הארץ



מניתוח מהירויות המעבר של הגלים הסיסמיים מרעידות אדמה רבות מאוד התקבלה תמונה של מבנה כדור הארץ ושל התנאים השוררים בתוכו.

הגרף משמאל מציג את המסקנות לגבי המהירויות של גלי P וגלי S בעומקים שונים של כדור הארץ, ואת פיענוח מבנה כדור הארץ לפי מהירויות אלו.

באיור הבא מפורטים התנאים השוררים בקליפות השונות שכדור הארץ בנוי מהן.



על סמך מה שלמדנו,

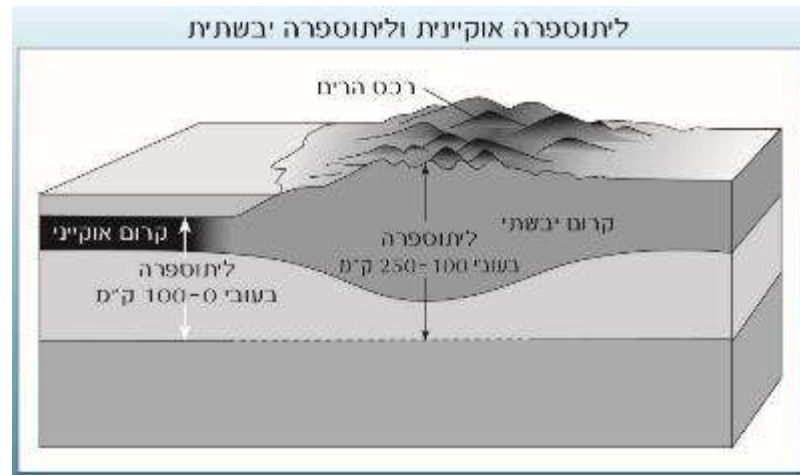
לפניכם חתך של כדור הארץ. באיזה מצב צבירה מצויים הסלעים בכל שכבה (מוצק, נוזל או מוצק ונוזל)?

מתחו קווים אדומים מהשכבות המוצקות אל המילה מוצק וכחולים מהשכבות הנוזליות אל המילה נוזל.

מוצק
נוזל

<הרחבה לשעור 4> מבנה כדור הארץ

הליתוספרה היא השכבה הדקה החיצונית של כדור הארץ, שכבת הסלעים הקשיחים (ליתוס = סלע). שכבה בעלת עובי והרכב משתנים. הרכב הליתוספרה האוקיינית בזלתית ועוביה 0-100 קילומטר. לליתוספרה היבשתית הרכב גרניטי ועוביה הממוצע 100-250 קילומטר. הליתוספרה מורכבת מסלעי הקרום ומסלעי השכבה העליונה ביותר של המעטפת (ראו בהמשך).



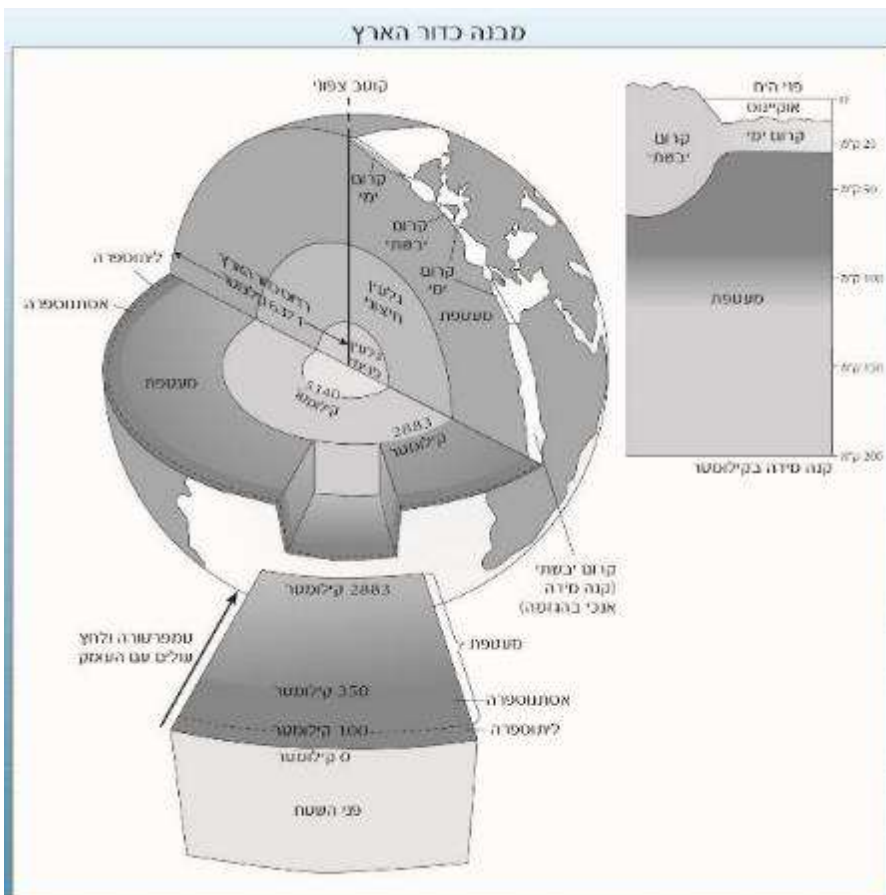
האסתנוספּרה היא השכבה שנמצאת תחת הליתוספּרה. שכבה זו פלסטית, והסלעים בה מתנהגים כחומר צמיג מאוד (אסתנס = רופף, חלש ביוונית). באסתנוספּרה מתרחשת התכה חלקית של סלעים. סלעי האסתנוספּרה שייכים לסלעי המעטפת (ראו בהמשך).

המעטפת היא השכבה שנמצאת

בין קרום כדור הארץ לבין הגלעין.
הרכב סלעי המעטפת שונה מהרכב
סלעי הגלעין וסלעי הקרום. סלעים
אלו הם סלעים פלסטיים אשר
מסוגלים להגיב כנזול למאמצים ארוכי
טווח. סלעי החלק התחתון של
הליתוספירה וסלעי האסתנוספירה
שייכים למעטפת.

הגלעין הוא השכבה העמוקה

ביותר בכדור הארץ. הוא מורכב בעיקר מברזל. הגלעין החיצוני נוזלי, והגלעין הפנימי מוצק.



פרק ד: תאוריית התפשטות קרקעית האוקיינוס

שעור 5: חלק א' - רכסים אוקייניים

פתיחה (1): מה זה אוקיינוס ומהי אוקיינוגרפיה?

אוקיינוגרפיה



בשנים שלאחר מלחמת העולם השנייה חלה פריצת דרך מרחיקת לכת בחקר כדור הארץ. עקב השימוש הרב בצוללות במלחמה התקדם מאוד תחום מיפוי קרקעית האוקיינוסים ופותחו אמצעים טכנולוגיים מתאימים. מידע רב החל להצטבר כבר בשנות המלחמה והנתונים החדשים עוררו עניין עצום בעולם המדע. נולד תחום מדעי חדש - האוקיינוגרפיה - המדע העוסק בחקר האוקיינוסים. תחום זה החל לתפוס מקום מרכזי בחקר כדור הארץ. ממשלות החלו להקצות משאבי עתק לפרויקטים גדולים של מחקר. סטודנטים מוכשרים רבים החלו להימשך אל ענף המחקר החדש והמבטיח. גם הוחל בעיבוד הנתונים הרבים שהצטברו בשנות המלחמה. עד אז נתפסו האוקיינוסים כחלק העתיק והיציב בקרום כדור הארץ. מהמחקרים החדשים התחוויר שגם כיום האוקיינוסים הם זירת התרחשות לתהליכים גאולוגיים חשובים לא פחות מאלו המתרחשים ביבשות.

התפתחות המדע

התפתחות הטכנולוגיה אפשרה מיפוי מפורט של קרקעית האוקיינוסים. במיפוי התגלתה בקרקעית הים מערכת גלובלית (עולמית) של רכסים במרכזי האוקיינוסים. בתחילה זכו הרכסים לשם רכסים מרכז אוקייניים. בהמשך שונה שמם לרכסים אוקייניים משום שהסתבר שחלק גדול מהם אינם עוברים במרכז האוקיינוסים דווקא (ראו איור 1).

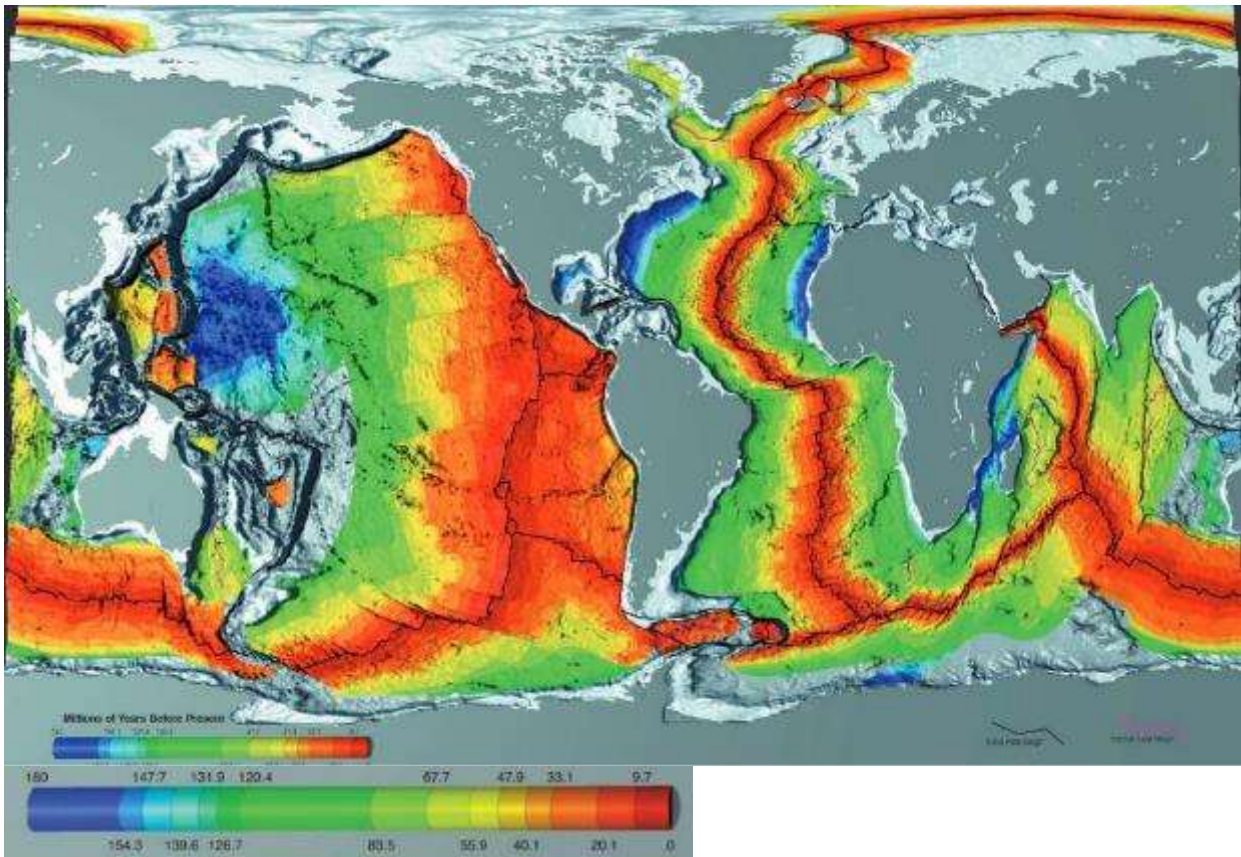


איור 1 - מפת הרכסים האוקייניים

פתיחה (2): גיל קרקעית האוקיינוס

מידע רב החל להצטבר כבר בשנות המלחמה והנתונים החדשים עוררו עניין עצום בעולם המדע. אוקיינוגרפיה, הוא השם למדע העוסק בחקר האוקיינוסים. תחום זה החל לתפוס מקום מרכזי בחקר כדור הארץ, בעקבות נתונים חדשים שהלכו והצטברו במהלך מלחמת העולם השנייה ולאחריה.

במקביל למיפוי קרקעית האוקיינוסים נאספו ברחבי האוקיינוסים דוגמאות סלע מהקרקעית, ונבדק גיל דוגמאות הסלע. למרבה ההפתעה הסלעים העתיקים ביותר שנדגמו היו בני מאתיים מיליוני שנים. ביבשות נפוצים סלעים עתיקים בהרבה. נמצא אפוא שהסלעים בקרקעית האוקיינוס צעירים יחסית!



מפה זו מציגה את גיל קרקעית האוקיינוסים. שימו לב למקרא הגילים לפי הצבעים.

בשנות המחקר שלאחר המלחמה נאספו נתונים מקידוחים שנקדחו בקרקעית האוקיינוסים. בקידוחים אלה התגלה שתחת מעטה דק של סדימנטים מורכבת קרקעית האוקיינוס משככי בזלת. בדיקת גיל סלעי הבזלת הניבה תוצאות מעניינות מאד.

1. כאמור, כל צבע מציינ גיל. מה מאפיין את גיל הקרקעית במרכז האוקיינוס לעומת גיל הקרקעית הסמוך ליבשות?

צפו בסרטון אודות מארי ת'ארפ, Marie Tharp – גאולוגית וקרתוגרפית שזיהתה לראשונה את הרכסים המרכז אוקייאניים:

סרטון אנימציה: <https://youtu.be/TgfYjs00TWw>

אם תרצו להרחיב וללמוד אודותיה מעט יותר, היכנסו לאתר אודותיה – כולל סרטון (דיבורים)

<https://marietharp.ldeo.columbia.edu/about-marie-tharp>

2. מה תמך ברעיון שהרכסים המרכז אוקייניים קשורים למנגנון של טקטוניקת הלוחות?

> למורה: מי שלא בחר בסרטון כפתיחה – מומלץ לתת אותו כפעילות או כתזכורת לקראת סוף היחידה>

<מהלך שעור 5> קרקעית האוקיינוסים והרכזים המרכז אוקיינים

לשים כאן אנימציה של פתיחת קרקעית האוקיינוס – בינתיים לא מצאתי אחת טובה (שלא מייצרת רעיונות שגויים)

תצפית: התבוננו באיור הבא המציג את האוקיינוס האטלנטי וזהו את רכס מרכז האוקיינוס העובר לאורכו.

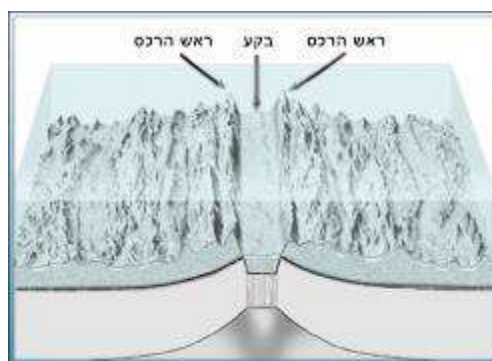


שאלה:

1. תארו את צורת השתרעותו של רכס מרכז האוקיינוס האטלנטי.

תצפית

במהלך המיפוי המפורט והמדידות שנערכו ברכס מרכז האוקיינוס האטלנטי וברכסים אוקייניים אחרים התברר שבמרכז כל רכס משתרע בקע מרכזי (rift valley), ולצדדיו מערך של בקעים נוספים. עוד התגלה שהרכסים מתאפיינים בשטף חום גבוה במיוחד ובפעילות וולקנית (באיורים הבאים).

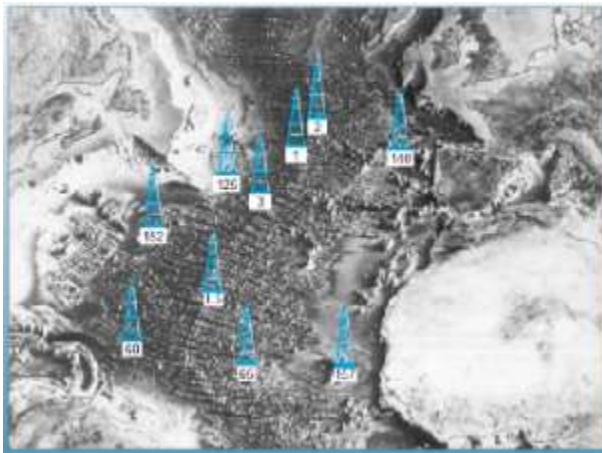


איור 3 - מבנה רכס אוקייני

שאלות:

2. על איזה משטר מאמצים מעיד המבנה של רכס אוקייני?
- יש לבחור תשובה אחת: משטר של מתיחה / משטר של לחיצה
3. התבוננו שוב במפת האוקיינוס האטלנטי (איור 2, בעמוד הקודם) וחישבו: כיצד אפשר להסביר את התצפיות (1,2)?
4. האם לדעתכם יש בתצפיות (1 ו-2) כדי לתמוך בתאוריית נדידת היבשות או לסתור אותה?

תצפית



לפניכם מפה של האוקיינוס האטלנטי ובה מסומנים אתרי הקידוחים שנערכו בשנת 1968. לצד כל קידוח מצוין גיל סלעי הבזלת שנדגמו.

איור 4 - מפת אתרי קידוח בקרקעית האוקיינוס האטלנטי וגיל הסלעים במיליוני שנים

שאלות:

1. היכן נמצאים הסלעים העתיקים ביותר בקרקעית האוקיינוס האטלנטי?
2. היכן נמצאים הסלעים הצעירים ביותר בקרקעית האוקיינוס האטלנטי?
3. אפיינו את פיזור הגילים של סלעי הבזלת בקרקעית האוקיינוס האטלנטי.
4. כיצד אפשר להסביר את דגם פיזור הגילים הזה?
5. הסתמכו על מכלול התצפיות שנערכו ברכסים האוקייניים (טופוגרפיה, שטף החום, וולקניזם, הרכב הסלעים וגיל הסלעים) ושערו: מהם התהליכים המתרחשים ברכסים האוקייניים?
6. כיצד לדעתכם משפיעה התרחשות זו על היבשות שלצידי האוקיינוס האטלנטי?

מכלול התצפיות שבחנו עד כה מעיד על כך שקרקעית האוקיינוס נוצרת בתהליכים וולקניים ברכסים האוקייניים. הקרקעית שנוצרת מתרחקת לשני צידי מרכז הרכס וכתוצאה מכך האוקיינוס מתרחב. בהמשך התכנית נעסוק במנגנון שמניע תהליך זה, וננסה להבין מהיכן מגיע החומר שמתווסף לקרקעית האוקיינוס ברכסים ומה המשמעות של התרחשות תהליך זה לגבי המתרחש בשאר כדור הארץ.

שעור 5: חלק ב' - זרמי הסעה (קונבקציה)



>אנימציה אפשר להוריד מכאן:

< https://animations.geol.ucsb.edu/2_infopgs/IP1GTect/eSoAtlantic_CutGlobe.html

הרחבה:

ארתור הולמס 1890-1965



גאולוג סקוטי אשר כבר בשנת 1928 הציע שזרמי הסעה (קונבקציה) של חומר סלעי חם במעטפת כדור הארץ יכולים להיות המנגנון המניע את תנועת היבשות שהציע אלפרד וגנר. הולמס החל את דרכו המדעית כסטודנט לפיזיקה בקולג' האימפריאלי למדע בלונדון, וכבר בשלב מוקדם של לימודיו עבר ללמוד גאולוגיה. בשנת 1913, עוד בטרם השלים את לימודי הדוקטורט, הציע הולמס הצעה חדשה לחישוב **ציר הזמן הגאולוגי**. הוא הסתמך בהצעתו על תופעת הרדיואקטיביות שהתגלתה זמן קצר לפני כן. לפי ציר הזמן שחישב הציע הולמס **שגילו של כדור הארץ 4 מיליארד שנה** - קדום בהרבה מכל הצעה אחרת שרווחה עד אז.

ארתור הולמס היה גאולוג מוכר ומכובד כשהציע שזרמי ערבול במעטפת כדור הארץ יכולים להיות מנגנון המניע יבשות. עם זאת הוא הסתייג ואמר שהצעתו זו ספקולטיבית בלבד, ושאין בה ערך מדעי כל עוד לא יימצאו עדויות עצמאיות התומכות בה.

כ-30 שנה יחלפו עד שיימצאו מספיק נתונים התומכים בתאוריית הקונבקציה של הולמס, ועד שהארי **הס** יעשה שימוש ברעיון הקונבקציה **למודל התפשטות קרקעית האוקיינוס**.

זרמי ערבול במעטפת - ניסוי הדמיה

בניסוי זה ננסה להבין כיצד יכולים זרמי ערבול במעטפת לשמש מנגנון לתנועת יבשות.

חלק א - זרמי הסעה

בחלק זה נבחן את הזרמים המתפתחים בכלי קיבול מלא מים, המונח מעל מקור חום. כדי לעקוב אחר זרמים אלה נשתמש בצבע מאכל.



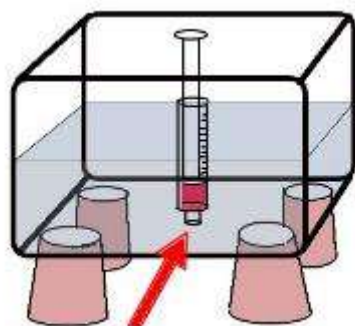
קבלו מהמורה את המרכיבים הבאים:

- צבע מאכל
- מזרק
- שתי חתיכות עץ
- 5 כוסות (אם משתמשים בכוסות חד פעמיות הקפידו לקחת לפחות אחת מקרטון - למים הרותחים...)
 - והניחו על השולחן מולכם גם את הטרריום

הנחיות לניסוי:

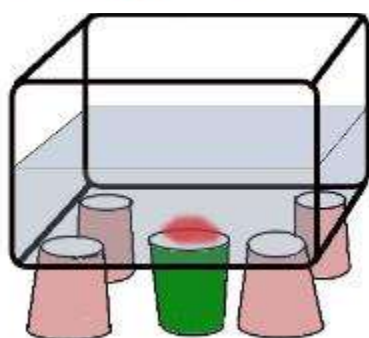
א. הרתיחו מים ומלאו את אחת הכוסות (זאת שעשויה קרטון...).

ב. מלאו את הטרריום עד מחציתו במים קרים והעמידו אותו על גבי ארבע כוסות הפוכות. (ראו שרטוט בעמוד הבא)



ג. שאבו בעזרת המזרק כ-20 מ"ל צבע מאכל מהבקבוקון שלפניכם.

ד. הכניסו את המזרק למרכז הטרריום עד קרקעיתו, ושחררו בלחיצה עדינה את צבע המאכל. אל תזיזו את הטרריום מעתה ואילך.

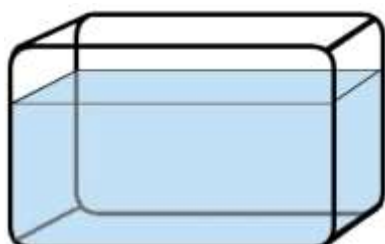


ה. הניחו את הכוס המלאה מים רותחים (ודאו שהם עדיין רותחים) מתחת לטרריום כך שהכוס תעמוד בדיוק מתחת לצבע המאכל.

ו. צפו במתרחש.

1. תארו את תצפיותיכם:

2. שרטטו בעזרת חיצים אדומים את כיוון זרמי המים שהתפתחו בטרריום.



3. איזה שינוי חל בטרריום עם תחילת החימום?
4. מה גרם לשינוי זה?
5. מה קרה למים כשהגיעו למעלה?
6. כיוון זרימת המים בחלקו העליון של הטרריום, בסמוך לפני המים הוא (יש לבחור תשובה אחת):
אופקיים / אנכיים
7. הסבירו:
8. מהו לדעתכם תפקידו של צבע המאכל בניסוי זה?
9. בניסוי זה התרחשה תנועה של שני גורמים. האחד הוא _____ והאחר הוא _____.
[למשל: אוויר / אש / מים / חום / זכוכית]



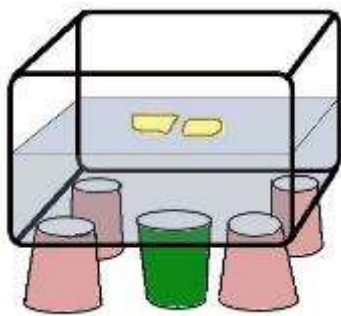
צורה זו של תנועת חום נקראת **הסעה**.
זרמי הסעת החום שנוצרו בטרריום המחומם נקראים **זרמי קונבקציה** (או זרמי ערבול).
תא ערבול הוא זרם ערבול מעגלי.

חלק ב - זרמי קונבקציה ככוח מניע

בחלק זה נבחן את השפעת זרמי הקונבקציה המתפתחים בטרריום על חתיכות עץ הצפות על פני המים.

השערה:: כיצד ישפיעו זרמי הקונבקציה בטרריום על חתיכות עץ הצפות על פני המים?

ניסוי



- א. הרתיחו שוב מים ומלאו את הכוס.
- ב. רוקנו את הטרריום ומלאו אותו מחדש עד מחציתו במים קרים והניחו אותו על הכוסות ההפוכות.
- ג. הניחו שתי חתיכות העץ קטנות על המים במרכז הטרריום (אם ערכתכם כוללת מקל שטוח אחד - שברו ממנו שתי חתיכות באורך של כ-1 ס"מ).
- ד. הניחו את כוס המים (ודאו כי הם עדיין רותחים) מתחת לטרריום וצפו במתרחש.

שאלות - ניתוח התהליכים שהתרחשו בטרריום

1. לאילו כיוונים נעו חתיכות המקל?
2. האם תוצאות הניסוי תאמו את השערותיכם?
3. מדוע נעו חתיכות העץ בכיוון זה?

<סיכום (1)> שיעור 5 - מה קורה במעטפת כדור הארץ?

הניסוי שזה עתה ערכתם (זרמי הקונבקציה) מדמה תהליכים המתרחשים במעטפת כדור הארץ. ננסה כעת לראות מה הקשר בין ניסוי ההדמיה לבין תהליכים אלו.

שאלות -

1. לפניכם שתי רשימות - **רשימת מרכיבי ניסוי ההדמיה** ולצידה **רשימת תופעות טבעיות שהניסוי מדמה**. חברו בקו כל **מרכיב** אל **התופעה** שהוא מדמה.

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| • זרמי הקונבקציה המתפתחים בטורריום | • הסעת חום על ידי סלעי המעטפת |
| • המים בטורריום | • מעטפת כדור הארץ |
| • חתיכות העץ | • לוחות הליתוספירה |
| • הסעת חום על ידי המים | • זרמי קונבקציה במעטפת |
| • כוס המים החמים | • מקור החום הפנימי בכדור הארץ |

2. סכמו את מסקנותיכם על ידי השלמת ההיגדים הבאים. בחרו מתוך הרשימה למטה את המושג הנכון. (שימו לב: הרשימה כוללת מונחים מיותרים וכן מותר להשתמש במונח יותר מפעם אחת).

- א. עקב המצאותם של _____ בעומק כדור הארץ, מתפתחים במעטפת _____.
- ב. כשחומר מתחמם הוא _____ ונעשה פחות _____, מה שגורם לו לזרום כלפי _____.
- ג. במהלך זרימתו כלפי מעלה החומר החם _____ כיוון שהוא מתרחק מ _____.
- ד. כשחומר מתקרר הוא _____ ונעשה יותר _____, מה שגורם לו לנוע כלפי _____.
- ה. בחלק העליון של תא ערבול כיוון התנועה הוא _____.
- ו. תנועת הערבול בחלק העליון של המעטפת מניעה את _____ ה"צפים" על פני המעטפת.

• רעידות אדמה	• צפוף (קל יותר)	• מתקרר	• אנכי
• לוחות הליתוספירה	• צפוף (כבד יותר)	• מתחמם	• אופקי
• מקורות חום פנימיים	• קרום	• מתכווץ	• מטה
• זרמי ערבול	• מעטפת	• מתפשט	• מעלה
• רכסים אוקייניים	• אוקיינוסים	• הרי געש	• יבשות

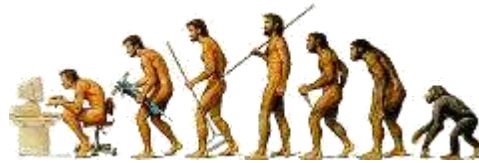
<סיכום (2)> שיעור 5

צפו ב**סרטון** הממחיש כיצד זרמי קונבקציה במעטפת מהווים מנגנון מניע ללוחות הליתוספירה

https://www.youtube.com/watch?v=p0dWF_3PYh4

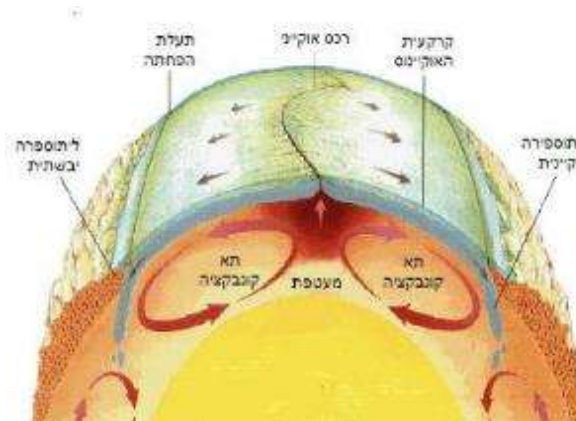
<להדגיש כהערה למורים ולתלמידים>

* שימו לב לשימוש השגוי במונח **מגמה** - החומר שמתחמם ועולה איננו מגמה - אלא חומר מעטפתי מוצק במצב פלסטי. התכה מתרחשת רק בסמוך לפני השטח - מתחת לרכסים האוקייניים.



<הרחבה> התפתחות המדע:

מדען מאוניברסיטת פרינסטון ושמו **הארי הס** (Harry Hess) השתמש בנתונים חדשים אלו בתחילת שנות השישים (1960.. בטרם נערכו הקידוחים התת ימיים). הוא חיבר את הנתונים למודל וקרא לו "התפשטות קרקעית האוקיינוסים" (ראו איור זה וגם הרחבה בהמשך).



לפי מודל זה הרכסים האוקייניים ממוקמים מעל זרמים עולים של תאי ערבול במעטפת (בעומק כדור הארץ). זרמים חמים אלו אחראיים לפעילות וולקנית שמייצרת קרקעית אוקיינוס חדשה במרכזי הרכסים. קרקעית האוקיינוס הנוצרת מובלת על פני זרמי הערבול ממרכזי הרכסים החוצה, כמו על גבי סרט נע. כך מתפשטת והולכת קרקעית האוקיינוס. **הס** הציע שמעל הזרמים היוצרים של תאי הערבול ממוקמות תעלות אוקייניות. תעלות אוקייניות הן האזורים העמוקים ביותר בקרקעית האוקיינוסים. לפי המודל, בתעלות אלו נבלעת קרקעית האוקיינוס העתיקה יותר וחוזרת לפנים כדור הארץ. כך מתמחזרת קרקעית האוקיינוס.

בתהליך התפשטות קרקעית האוקיינוסים באה לידי ביטוי תנועה אופקית ניכרת של קטעי קרום כדור הארץ.

תאוריית טקטוניקת הלוחות שהתקבלה לקראת סוף שנות השישים (של המאה העשרים) מבוססת במידה רבה על מודל התפשטות קרקעית האוקיינוס של **הס**.

פרק ה: תרומת הפלאומגנטיזם

שעור 6: כדור הארץ כמגנט וסלעים כמצפנים מאובנים

<פתיחה (1)> השדה המגנטי של כדור הארץ

צפיה בסרטון כדאי לראות רק את החלק האחרון – מדקה 2:09 ואילך:

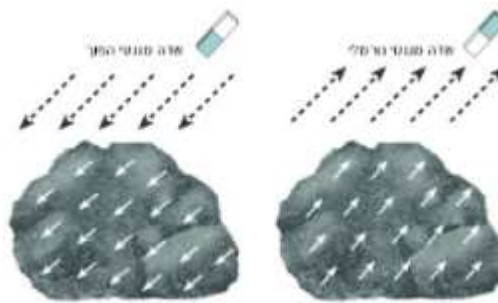
<https://www.youtube.com/watch?v=Elv3WpL32UE>

1. מה מקור השדה המגנטי של כדור הארץ?

2. מה היתרון (לאנושות) בעצם קיומו של שדה מגנטי בכדור הארץ?

<פתיחה (2)> "הקלטה" של שדה מגנטי בסלעים

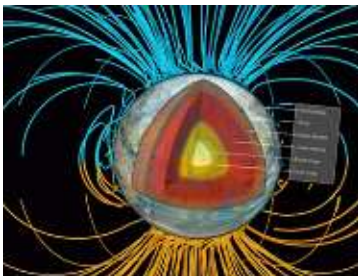
הדמיה על מגנטיות בסלעים



רכישת שדה מגנטי נורמלי והפוך על ידי סלעים,
לפי מצב השדה המגנטי של כדור הארץ בעת היווצרותם.

תזכורת - מבנה כדור הארץ:

https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/layers_of_the_earth



המדען הריס כינה את המאמר שבו פרסם את תאוריית התפשטות קרקעית האוקיינוס "גאו-שירה". הוא ידע שלא קל יהיה לאסוף נתונים שיתמכו בתאוריה.

בפרק זה נראה כיצד הפך הפלאומגנטיזם* מענף מחקר מיוחד ושולי לענף חשוב ומרכזי וכיצד סיפק את העדויות שתמכו בתאוריה של הסי.

* פלאומגנטיזם (פלאו = קדום) הוא ענף בגאופיזיקה העוסק בחקר התכונות המגנטיות של סלעים.

בפעילות זו נבחן את התכונות של שדות מגנטיים בכלל
ונכיר את תכונות השדה המגנטי של כדור הארץ בפרט.



<מהלך שעור 6> שדה מגנטי

חלק א - שדה מגנטי בשני ממדים

בחלק זה נבחן את הכוח שמפעיל מגנט פשוט (מגנט מוט)

א. השפעת המגנט על שבבי ברזל

הניחו על השולחן לפניכם דף נייר A4 קבלו מהמורה:
מגנט מוט, שבבי ברזל ומצפן פשוט.

***זהירות - אל תתנו לשבבי הברזל להצמד למגנט,
זו עבודה קשה מאד להפריד ביניהם!**



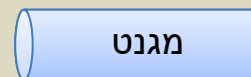
- מקמו את מגנט המוט על השולחן.
- החזיקו את גיליון הנייר מעל המגנט והגביתו אותו מעט מהשולחן.
- סמנו על הנייר את מקומו של המגנט.
- פזרו מעט (באמת מעט!) שבבי ברזל על גבי הגיליון.

1. הביטו בשבבים שעל הדף.

נסו לזהות דפוס על פיו הסתדרו השבבים בהשפעת המגנט.

שרטטו את הדפוס שאתם מזהים בחלקו העליון של התמונה (שרטוט 1).

שרטוט 1



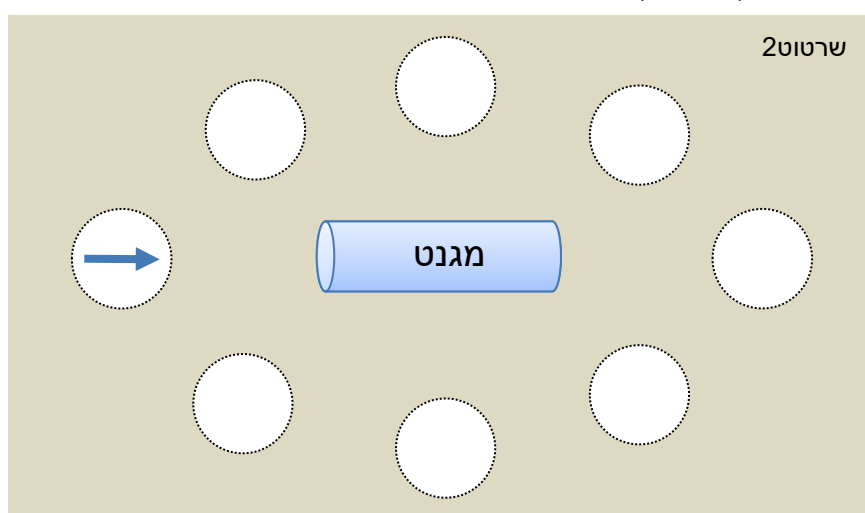
2. מדוע לדעתכם הסתדרו שבבי הברזל בצורה זו?



שבבי הברזל הסתדרו על פני הגיליון משום שהמגנט הפעיל עליהם **כוח**.
 שבבים שנמצאים **בשדה הכוח** שמפעיל המגנט מסתדרים על פי כיוון קווי הכוח של השדה המגנטי.
 שדה הכוח שמפעיל מגנט נקרא **שדה מגנטי**.
 קווי הכוח של השדה נקראים **קווי שדה**.

ב. השפעת המגנט על המצפן

- א. הניחו מצפן במספר מקומות סביב המגנט על הגיליון. גם בסמוך לקצות מוט המגנט וגם לצדיו.
 - ב. צפו במתרחש.
3. שרטטו חיצים בתוך העיגולים, אשר ייצגו את הכיוונים שאליהם מצביעה מחט המצפן במקומות השונים סביב המגנט (שרטוט 2).



4. השוו בין שרטוט 1 שבעמוד הקודם (קווי השדה המגנטי) לשרטוט 2 (כיווני מחט המצפן) האם יש דימיון ביניהם?

5. השלימו את המשפט הבא:

הכיוון שאליו מצביעה מחט מצפן הנמצאת בשדה מגנטי הוא כיוון _____



מגנט פשוט (מגנט ממוט) הוא **דו קוטבי** (בעל שני **קטבים**). הקטבים מכונים "צפוני" ו"דרומי".
 קווי הכח של שדה מגנטי דו קוטבי יוצאים מהקוטב הדרומי אל הצפוני.
 מחט מצפן (בעוצמת מגנט קטן) הנמצאת בשדה מגנטי מכוונת עצמה לפי כיוון קווי השדה.
 הקוטב הצפוני של מחט המצפן מצביע לכיוון הקוטב הדרומי של השדה.

חלק ב - שדה מגנטי בשלושה ממדים

בחלק זה נבחן את השדה המגנטי התלת ממדי של מגנט פשוט (מגנט מוט).

ניסוי + שרטוט



א. השפעת המגנט על שבבי ברזל



קבלו מהמורה מיכל גליצרין (במרכזו תמצאו מגנט מוט עגול וחתיכת קלקר אליה מחובר חוט).

- קשרו את החוט למגנט, כך שתוכלו למשוך אותו באמצעות החוט מתוך המיכל במהלך הניסוי.
- נערו בזהירות את המיכל עד שאבקת הברזל תתפזר ותרחף בגליצרין באופן אחיד.
- מקמו את המגנט במקום המיועד לו במיכל.
- התבוננו במתרחש **מיד אחרי הכנסת המגנט** (כי אחרי מספר שניות התופעה פחות ברורה).

6. תארו בשרטוט כיצד משפיע המגנט על אבקת הברזל.



ב. השפעת מגנט על מחט מצפן מרחבי



לצורך מעקב אחר קווי השדה המגנטי במרחב נשתמש במצפן מרחבי.

בשונה ממצפן רגיל יכולה מחט מצפן מרחבי לנוע גם במישור אנכי.

הוציאו את המצפן המרחבי מהערכה והחזיקו אותו בסמוך לאחד מקוטבי המגנט. הניעו את המצפן באיטיות סביב המגנט עד הקוטב הנגדי.

7. תארו את השינוי בכיוון שמצביעה אליו המחט עם תנועת המצפן מקוטב אחד אל הקוטב הנגדי.

8. לאיזה כיוון מצביעה המחט בסמוך לכל אחד מהקטבים?



9. סמנו על השרטוט את מקום הקטבים המגנטיים ואת קווי השדה המגנטי (זכרו - קווי השדה יוצאים מהקוטב הצפוני אל הדרומי).

הרחבה - השדה המגנטי של כדור הארץ

א. השפעת כדור הארץ על מחט המצפן



- א. החזיקו את המצפן הפשוט ביד הרחק מכל מגנט אפשרי.
- ב. הניעו את המצפן באיטיות במרחב ועקבו אחר המחט.

1. האם אתם מבחינים בשינוי בכיוון שאליו מצביעה מחט המצפן?

2. האם לדעתכם מושפעת כעת מחט המצפן משדה מגנטי כלשהו? אם כן, על איזו תצפית אתם מסתמכים?



3. מהו השדה המגנטי המשפיע כעת על מחט המצפן? השתמשו במצפן המרחבי וחזרו על הניסוי (שלבים א ו-ב).

4. לאיזה כיוון מצביעה מחט המצפן המרחבי?

כדי להכיר את תכונות השדה המגנטי של כדור הארץ נשתמש במודל.



ב. הדמיה - השפעת השדה המגנטי של כדור הארץ על מחט מצפן מרחבי



מודל הגלובוס המגנטי מדמה בקירוב טוב את השדה המגנטי של כדור הארץ.

- קבלו מהמורה את מודל הגלובוס המגנטי.
 - קרבו את המצפן המרחבי אל הקוטב הצפוני של הגלובוס המגנטי.
 - הניעו את המצפן באיטיות דרומה לכיוון קו המשווה והמשיכו עד לקוטב הדרומי.
- התבוננו בכיוון שאליו מצביעה מחט המצפן תוך כדי תנועתה.



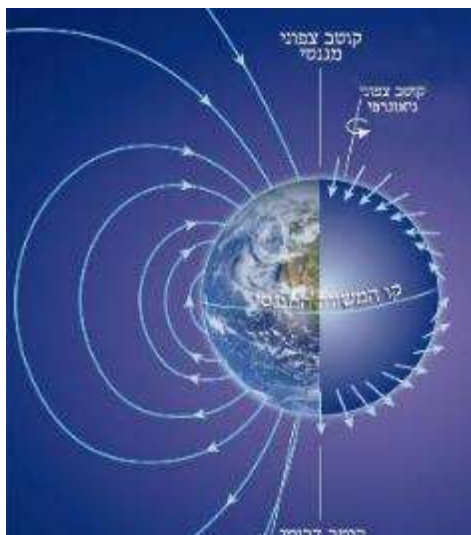
- צינו את הכיוונים שאלהם מצביעה מחט המצפן המרחבי בקטבים, בקו המשווה ובטווח שביניהם. בעיגולים הריקים שבשרטוט, ציירו חיצים אשר ייצגו את הכיוון אליו מצביעה מחט המצפן יחסית לפני כדור הארץ.

מסתבר שבנוסף לכיוון השדה המגנטי של כדור הארץ אותו אפשר לזהות בעזרת מצפן רגיל (אופקי), יש לשדה המגנטי של כדור הארץ גם זווית נטייה, אותה אפשר לזהות בעזרת מצפן מרחבי.

כפי שראיתם משתנה זווית הנטייה של השדה המגנטי של כדור הארץ בקווי רוחב שונים.

איור 1

הכיוון אליו מצביעה מחט מצפן מרחבי בקווי רוחב שונים על פני כדור הארץ (זווית הנטייה)



איור 2

הקטבים הגאוגרפיים, הקטבים המגנטיים וקווי השדה המגנטי של כדור הארץ



הקטבים הגאוגרפיים הם קוטבי ציר הסיבוב של כדור הארץ סביב עצמו. הקטבים המגנטיים הם קוטבי השדה המגנטי של כדור הארץ ומקומם סמוך אך אינו חופף למקום הקטבים הגאוגרפיים (איור 2).

סיכום - השדה המגנטי של כדור הארץ



המודל שהשתמשו בו מדמה היטב את השדה המגנטי של כדור הארץ. המסקנות שהגענו אליהן מתאימות אפוא גם לשדה המגנטי של כדור הארץ, שדה שדומה מאוד לשדה דו קוטבי.

השלימו את ההיגדים הבאים באמצעות בנק המונחים שלמטה. היעזרו באיורים שבעמודים הבאים (איורים 3-5).

- השדה המגנטי של כדור הארץ הוא שדה _____.
- לשדה המגנטי של כדור הארץ שני _____: צפוני ודרומי.
- הקטבים הגאוגרפיים של כדור הארץ הם קוטבי _____ של כדור הארץ סביב עצמו.
- באיור 2 אפשר לראות כי הקטבים המגנטיים של כדור הארץ מצויים סמוך ל _____ ה _____.
- ה _____ המגנטי של כדור הארץ דומים מאוד לקווי השדה של _____.
- מחט מצפן מתכווננת בכל מקום לפי כיוון _____ של השדה המגנטי של כדור הארץ באותו מקום.

קווי השדה ציר הסיבוב	קטבים חור שחור	דו קוטבי גאוגרפיים מגנט דו קוטבי
-------------------------	-------------------	--

חלק ד - סלעים כמצפנים מאובנים

ללימוד השדה המגנטי של כדור הארץ בעבר הגאולוגי - **השדה הפלאומגנטי** - אנו נעזרים בסלעים המהווים מצפנים מאובנים.

מצפנים מאובנים הם סלעים אשר רכשו את השדה המגנטי של כדור הארץ בעת היווצרותם.

אחת הדרכים שבהן סלעים רוכשים שדה מגנטי מתרחשת בעת קירור מהיר של מגמה המכילה מינרלים מגנטיים.

סלע הבזלת למשל מכיל את המינרל **מגנטיט**. המגנטיט הוא מינרל ברזלי בעל תכונות מגנטיות. סלע הבזלת נוצר כאשר מגמה בהרכב בזלתי מתקררת ומתמצקת. תוך כדי התקררות הסלע שנוצר, גבישי המגנטיט מתנהגים כמחטי מצפן ומסתדרים לפי כיוון השדה המגנטי של כדור הארץ. כשיורדת הטמפרטורה אל מתחת לטמפרטורה גבולית הנקראת **טמפרטורת קירי** (כ- 530° בעבור המינרל מגנטיט בסלע הבזלת, ראו הרחבה) מתקבע מגנט גבישי המגנטיט ואינו משתנה יותר (ראו איורים 3, 4). מגנט שמתקבע בסלע נקרא "**מגנט שיוירי**".

איור 3א

בעת התקררות סלע בזלת, לו לא היה נוכח שדה מגנטי היו גבישי המינרלים המגנטיים מסתדרים באופן אקראי.



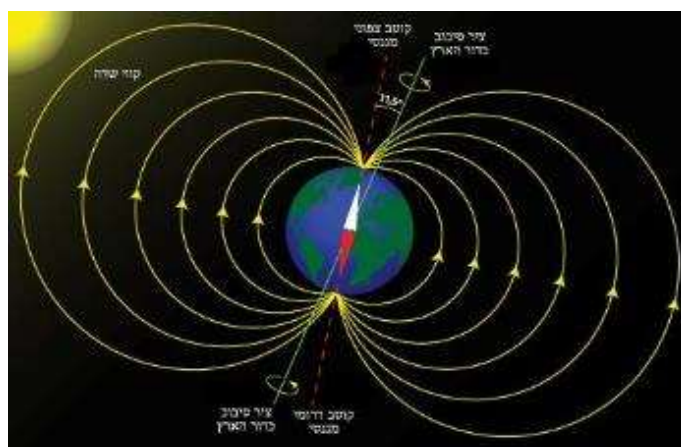
איור 3ב

בנוכחות השדה המגנטי של כדור הארץ מסתדרים גבישי המינרלים המגנטיים בסלע בזלת מתקרב לפי כיוון השדה המגנטי של כדור הארץ במקום המסוים בעת היווצרות הסלע.



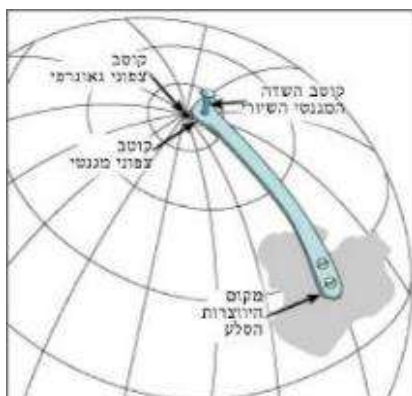
לאחר שהסלע מתקרר לחלוטין המגנט השיורי שרכש בעת היווצרותו נשאר טבוע בו, כל עוד הסלע אינו מתחמם לטמפרטורה גבוהה מטמפרטורת קירי.

כיוון השדה המגנטי השיורי בסלע תואם את השדה המגנטי של כדור הארץ, והוא תלוי במקום הסלע בעת היווצרותו. רכיב האינקליניציה תלוי בקו הרוחב שבו נוצר הסלע, כפי שכבר ראינו (איור 4).



איור 4 - סלעים וולקניים הנוצרים במקומות שונים על פני כדור הארץ,

רוכשים את השדה המגנטי לפי כיוון קווי השדה בקו הרוחב של מקום היווצרותם.



לשדה המגנטי השיורי בסלע יש קוטב התואם את מקום הקוטב המגנטי של כדור הארץ בעת היווצרות הסלע.



חומר למחשבה: מה אפשר ללמוד ממדידת השדה המגנטי השיורי בסלעים?

<סיכום (1)> שיעור 6

סלעים מקליטים את השדה המגנטי של כדה"א. השערות: כיצד לדעתכם יכלו לתרום נתוני מגנטיות בסלעים על מודל התפשטות קרקעית האוקיינוס של הס תאוריית נדידת היבשות.

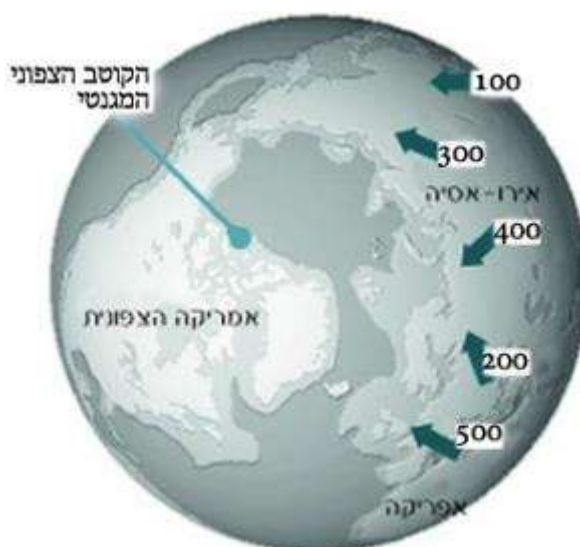
<סיכום (2)> שיעור 6



על פי כיוון השדה המגנטי בדוגמאות סלע שנמדדו במכשיר המגנטומטר, חושב מקום הקוטב המגנטי של כדור הארץ בעת היווצרותו.

נתונים שנאספו בסלעי בזלת צעירים ממקומות שונים בבריטניה וביבשת אירו-אסיה, הראו כי מקום הקוטב המגנטי בהם תואם את מקום הקוטב המגנטי של כדור הארץ כיום. ומכאן, שהשדה הפלאומגנטי הטבוע בהם תואם את השדה המגנטי של כדור הארץ כיום (ראו איור 1).

איור 1 - השדה הפלאומגנטי הטבוע בסלעים צעירים ביבשת אירו-אסיה מצביע על הקוטב הצפוני המגנטי הנוכחי



אולם מדידות שנערכו בסלעים עתיקים יותר הראו שבתקופות שונות היה הקוטב הצפוני המגנטי במקומות שונים, לכאורה (ראו איור 2).

איור 2 - השדה הפלאומגנטי הטבוע בסלעים בני גיל שונה ביבשת אירו-אסיה מצביע לכיוונים שונים. (המספרים מציינים מיליוני שנים).

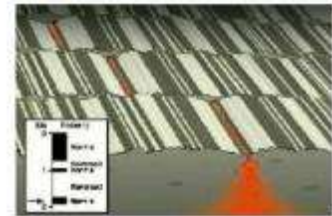
התבוננו באיור 2 – איזה הסבר אתם יכולים לתת לתופעה הזו?

שעור 7: היפוכי השדה המגנטי של כדור הארץ

<פתיחה (1)> עדויות לחילופי שדה מגנטי של כדור הארץ

צפו באנימציה על היפוכים

חילופי שדה מגנטי: https://animations.geol.ucsb.edu/2_infopgs/IP1GTect/fSFSspreadingSeries.html

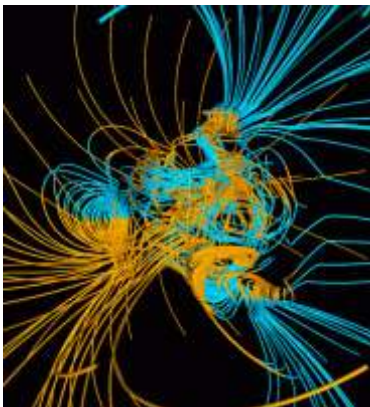


[Download: SFS with magnetic stripes and reversal scale \(1.5 MB\)](#)

<שאלה> אילו מנגנונים תוכלו להציע כהסבר לתופעה זו?

<פתיחה (2)> עדויות לחילופי שדה מגנטי של כדור הארץ

תצפית:



במהלך מחקריהם בשנים הראשונות של המאה ה-20 הבחינו הגאולוגים הצרפתיים **ברונהס ודויד** בתופעה מוזרה בסלעי בזלת שחקרו: כיוון השדה המגנטי הטבוע בסלעים היה הפוך לכיוון השדה המגנטי של כדור הארץ בימינו. מצפן שהונח בסמוך לסלעים אלה הצביע לכיוון דרום ולא לכיוון צפון כפי שציפו.

חוקר בשם **מרקנטון** מאוניברסיטת לוזן שבשווייץ גילה תופעה דומה גם בסלעי בזלת שהובאו מגרינלנד על-ידי המשלחת שבה השתתף **אלפרד וגנר**.

בשנות החמישים של המאה ה-20, עם הצטברות תצפיות רבות נוספות ממקומות שונים בעולם, כגון: דרום אפריקה, צרפת, יפן, איסלנד, בריטניה וברית המועצות, הסתבר שכמחצית מהסלעים שנבדק בהם השדה המגנטי, ממוגנטים הפוך. תופעת היפוך השדה המגנטי בסלעים החלה למשוך את תשומת לבם של חוקרים רבים, אשר הציעו הסברים שונים לתופעה.

<שאלה> אילו מנגנונים עשויים לגרום לשדה המגנטי הטבוע בסלעים להיות הפוך, לדעתכם?

<מהלך שיעור 7> חלק א: היפוכים בשדה המגנטי של כדור הארץ

התפתחות המדע



לאור התצפיות החלו חוקרים רבים בעולם כולו לעסוק בשאלת ההיפוכים המגנטיים בסלעים. השערות המחקר העיקריות שנבחנו היו:

א. **היפוכי השדה המגנטי של כדור הארץ:** השדה המגנטי של כדור הארץ מתהפך תקופתית, הקטבים המגנטיים מתחלפים - הצפוני הופך דרומי ולהיפך. השדה המגנטי הטבוע בסלע משקף את השדה המגנטי ששרר בעת היווצרותו.

ב. **היפוכים עצמיים:** השדה המגנטי הטבוע בסלע מתהפך עקב שינויים כימיים שעוברים המינרלים המגנטיים בסלע לאחר היווצרותו.

שאלות:

1. כיצד לדעתכם אפשר לבחון איזו מההשערות הללו נכונה?

קבוצה בת שלושה חוקרים אמריקניים מתחום הפלאומגנטיזם: **ריצ'רד דואל, אלן קוקס וברנט דלרימפל**, גיבשה בתחילת שנות השישים של המאה ה-20 תכנית מחקר שמטרתה הייתה לבחון את השערת ההיפוכים של השדה המגנטי של כדור הארץ.

במקביל לפרויקט מחקר ההיפוכים המגנטיים במכון הגאולוגי האמריקני, יצא לדרך פרויקט מחקר דומה באוניברסיטה הלאומית של אוסטרליה בקנברה. שתי דמויות המפתח בפרויקט האוסטרלי היו **איאן מקדוגל (Ian McDougall)** שהתמחה בתיארוך סלעים במעבדה בברקלי יחד עם **דלרימפל, ודונלד טרלינג (Donald Tarling)** - גאופיזיקאי שעסק בחקר השדה המגנטי של כדור הארץ.

<למורים ראו הרחבות אודות המדענים >

הצוותים האמריקני והאוסטרלי התחרו ביניהם ב"מירוץ" להכנתו של סולם זמן להיפוכי השדה המגנטי של כדור הארץ.

הנחות העבודה של שני הצוותים היו:

א. השדה המגנטי הטבוע בסלע משקף את השדה המגנטי ששרר בעת היווצרותו.

ב. השדה המגנטי של כדור הארץ מתהפך תקופתית, כך שהקטבים המגנטיים מתחלפים - הצפוני הופך לדרומי והדרומי לצפוני.

לכן - סלעים שנוצרו בתקופה שבה השדה המגנטי היה נורמלי (כמו בהווה) יראו מגנטיות נורמלית.

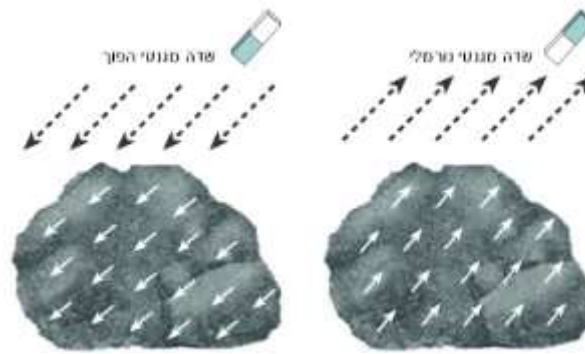
סלעים שנוצרו בתקופה שבה השדה המגנטי היה הפוך יראו מגנטיות הפוכה (איור 15).



ריצ'רד דואל מודד כיוון דוגמת

בזלת שנקדחה לצורכי מדידה פלאומגנטית ותיארוך.

© כל הזכויות שמורות לקבוצת מדעי כדור הארץ והסביבה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.



איור 15 - רכישת שדה מגנטי נורמלי והפוך על ידי סלעים, לפי מצב השדה המגנטי של כדור הארץ בעת היווצרותם.

השערה:

השערת המחקר הייתה שיש תלות בין גיל הסלע לבין השדה המגנטי הטבוע בו.

בסלעים בני אותו גיל יהיה השדה המגנטי זהה (נורמלי או הפוך) בלי קשר להרכב המינרליים בסלע ולמקום היווצרותם.

תצפית:

השדה המגנטי השיורי נמדד במאות רבות של דוגמאות סלע ממקומות שונים. כמו כן הדוגמאות תוארכו. סלעים בני אותו גיל אכן הראו אותה מְגֵמָה מגנטית.

עם אישוש השערת המחקר ניגשו החוקרים להכנת סקלת זמן להיפוכי הקטבים המגנטיים של כדור הארץ.

מסקנה:

על סמך התצפיות הגיעו צוותי המחקר למסקנה שהשדה המגנטי של כדור הארץ אכן מתהפך מדי פעם, דבר המתבטא בהיפוך הקטבים המגנטיים.

לפיכך, ההשערה בדבר היפוכים מגנטיים עצמיים בסלעים עקב שינויים כימיים איננה נכונה.

שרטוט: הכנת סקלת זמן להיפוכי השדה המגנטי

איור 16 (בעמוד הבא) מציג את הנתונים של מגנטיות וגיל שנמדדו בשפכי בזלת בהר געש מסוים במהלך המחקר.

השתמשו בנתונים ובהנחיות כדי להכין סקלת זמן של היפוכי הקטבים המגנטיים של כדור הארץ.

- סמנו ציר זמן על הצלע הארוכה של מלבן הסקלה.
- ציינו על ציר הזמן את גיל הסלעים שנמדדו.
- ציינו על ציר הזמן את הזמנים המשוערים, בהם חלו היפוכי הקטבים המגנטיים.
- סמנו את התקופות בהן היה השדה המגנטי נורמלי והפוך בצבעים שונים בסקלת הזמן לפי המקרא.

שדה נורמלי	
שדה הפוך	

הווה → סולם היפוכים



איור 16 – שפכי בזלת בהר געש אשר התמגנטו הפוך או נורמלי, לפי מצב השדה המגנטי של כדור הארץ ששרר בעת שנוצרו.

התפתחות המדע

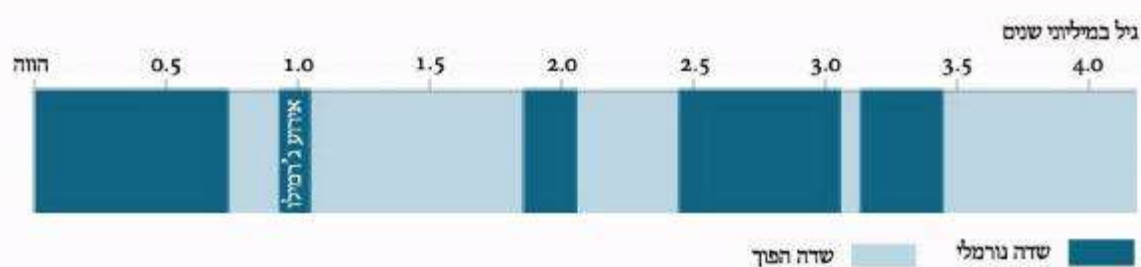


בדרך דומה הכינו צוותי המחקר בארצות הברית ובאוסטרליה את סקלות היפוכי הקטבים המגנטיים של השדה המגנטי של כדור הארץ. את הסקלה הראשונה פירסמו קוקס, דואל ודלרימפל בחודש יוני 1963, ובאוקטובר אותה שנה פורסמה הסקלה הראשונה של הצוות האוסטרלי. במהלך שלוש השנים הבאות פורסמו עשר סקלות נוספות כשכל אחת מדויקת יותר מקודמותיה. ככל שנאספו נתונים רבים יותר אפשר היה לזהות ביתר דיוק את זמני ההיפוך של הקטבים ואת משך התקופות שבהן היה השדה נורמלי או הפוך.

סקלת הזמן חולקה הן **לתקופות** ממושכות שבהן היה השדה המגנטי במצב נורמלי או הפוך והן **לאירועים** קצרים שבהם היה השדה במצב נורמלי או הפוך.

ראוי לציין שאת חמש סקלות הזמן האחרונות (מתוך האחת עשרה שפורסמו בשנים אלו), כמו את הסקלה הראשונה, פירסם הצוות האמריקני (קוקס, דואל ודלרימפל). הצוות האמריקני הוא גם זה שזיהה את אירועי ההיפוכים הקצרים, כולל האירוע הידוע בשם "אירוע ג'רמילו", שזוהה ופורסם במאי 1966. האירוע קרוי בשמו של ערוץ הנחל בניו מכסיקו שבו נדגמו הסלעים שבהם זוהה (איור 17). לזיהוי "אירוע ג'רמילו" הייתה השפעה מכרעת על קבלתה של תאוריית טקטוניקת הלוחות ועל כך בהמשך.

סולם היפוכי השדה המגנטי של כדור הארץ ב - 4 מיליון השנים האחרונות



איור 17 - סקלת היפוכי השדה המגנטי של כדור הארץ ב - 4 מיליון השנים האחרונות
כפי שזיהה ופרסם הצוות האמריקאי ב - 1966.

התגלית שקוטבי השדה המגנטי של כדור הארץ מתהפכים ושהיפוכים ניתנים לזיהוי ולתיארוך במדויק, הייתה מפתח לפיענוח תצפיות עלומות מקרקעית האוקיינוס.

חלק ב: תעלומה בקרקעית האוקיינוס

התפתחות המדע



בשנות החמישים המוקדמות של המאה ה-20 החלו קבוצות שונות של גאופיזיקאים ואוקיינוגרפים במחקר שיטתי של הרכסים האוקייניים שהתגלו זמן קצר קודם לכן.
ב-1953 דווח לראשונה על חריגה בעוצמת השדה המגנטי של קרקעית האוקיינוס ברכס מרכז האוקיינוס האטלנטי. מייסון וראף היו מהראשונים שנתקלו בתעלומה זו.
ב-1957 דווחו תצפיות דומות גם ממפרץ עדן וממקומות אחרים ברכס האטלנטי.

<הרחבות על המדענים- למורים – לקחת גם משעור 8 במקור, עמוד 71 כולל מתיס ו-וויין>



רונלד מייסון עם מגנטומטר,
על סיפון ספינת מחקר, 1953 לערך.



ארתור ראפ בוחן מגנטומטר,
על סיפון ספינת מחקר, 1960 לערך.



הורדה לים של מגנטומטר
שבנו מייסון וראף.

* הצילומים תחת 'שימוש הוגן' מארכיון: UC San Diego Library

תצפית:

מפת אנומליות מגנטיות בצפון מזרח האוקיינוס השקט



איור 18 - דגם פסי הזברה של האנומליות המגנטיות
כפי שפירסמו מייסון וראף ב- 1961

הנתונים שנאספו הראו שסלעי קרקעית האוקיינוס ממוגנטים ברצועות צרות וארוכות המתמשכות על פני מאות ואלפי קילומטרים. בחלק מהרצועות העוצמה המגנטית שנמדדה הייתה גבוהה מהעוצמה הצפויה של השדה המגנטי של כדור הארץ במקום זה, ובחלקן הייתה נמוכה מהעוצמה הצפויה. חריגות אלו מהעוצמה הצפויה של השדה המגנטי של כדור הארץ במקום מסוים נקראות **אנומליות מגנטיות**.

כאשר עוצמת השדה הנמדד גבוהה מהצפוי נקראת החריגה **אנומליה חיובית**, וכאשר עוצמת השדה הנמדד נמוכה מהצפוי נקראת החריגה **אנומליה שלילית**.

ב-1956 חזר מייסון ללונדון וראף המשיך באיסוף הנתונים על סיפון הפיוניר.

כשהציג ראף את הנתונים לממונים עליו בסקריפט נדחה בזלזול: "זו מוכרחה להיות טעות, המכשיר ודאי שוגה".

ב-1961 פרסמו מייסון וראף את הנתונים שנאספו לאורך חופי צפון-מערב ארצות הברית, באזור הרכס האוקייני חואן דה-פוקה. האנומליות המגנטיות יוצרות דגם פסי זברה — רצועות של אנומליות חיוביות ושליליות לחלופין (ראו איור 18). רוחב רצועות האנומליה משתנה מקילומטרים ספורים עד כ-80 קילומטר.

כשהתגלתה תופעת האנומליות המגנטיות בקרקעית האוקיינוס ראו בה תעלומה אמיתית.

שאלה:

2. כיצד אפשר לדעתכם להסביר את האנומליות המגנטיות הנמדדות בקרקעית האוקיינוס?
רמז: היפוכי השדה המגנטי של כדור הארץ: שדה הפוך - מקטין עוצמה נמדדת... שדה נורמלי - מגביר עוצמה נמדדת...

ויין ומתיאוס הבריטיים, אספו תצפיות ברצועות אנומליה מגנטית גם בקרקעית האוקיינוס ההודי ובאוקיינוס האטלנטי, מדרום לאיסלנד. במקביל אליהם העלה גם לורנס מורלי מהמכון הגאולוגי הקנדי אותה השערה, אולם את המאמר שניסה לפרסם עיקבו עורכי ירחון המדע שאליו נשלח ולכן זכו ויין ומתיאוס לפרסם את השערתם קודם.

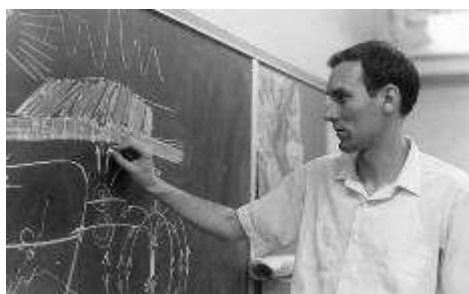
תצפית:

- א. רצועות האנומליות המגנטיות בקרקעית האוקיינוס מקבילות לרכס המרכז אוקייני.
ב. רצועות האנומליות המגנטיות סימטריות משני צדי מרכז הרכס. כל צד הוא תמונת ראי של הצד האחר.

שאלה:

3. כיצד לדעתכם יכולה היווצרות האנומליות המגנטיות להיות קשורה לפעילות המתרחשת ברכס המרכז אוקייני? הסבירו.

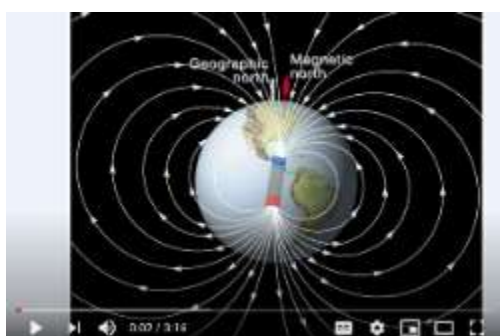
תצפית:



פרד ויין מסביר את התאוריה שלו ושל מתיוס.

ב-1963 העלו ויין ומתיוס השערה מרחיקת לכת שקשרה את תאוריית התפשטות קרקעית האוקיינוס של הס ואת היפוכי השדה המגנטי של כדור הארץ, להיווצרות רצועות האנומליות המגנטיות בקרקעית האוקיינוסים.

איור 19 והסרטון שלצידו, מציגים את השערתם של ויין, מתיוס ומורלי;



איור 19 - היווצרות אנומליות מגנטיות בקרקעית האוקיינוס

* אם הסרטון אינו נפתח כאן – אפשר לצפות בו ב**קישור**

שאלות:

4. הסבירו כיצד נוצרות רצועות האנומליות המגנטיות בקרקעית האוקיינוס.

5. לאילו תגובות זכתה לדעתכם ההשערה של ויין, מתיוס ומורלי בקהילת המדע?

בשלב זה החזיקו רוב אנשי קהילת המדע האמריקניים בתאוריית הקביעות של היבשות ואגני האוקיינוסים. לכן - אף על פי שבקיימברידג' שבאנגליה כבר רווחה תאוריה "מובילית" - נדחתה השערתם של ויין, מתיוס ומורלי על ידי מרבית אנשי הקהילה.

התפתחות המדע

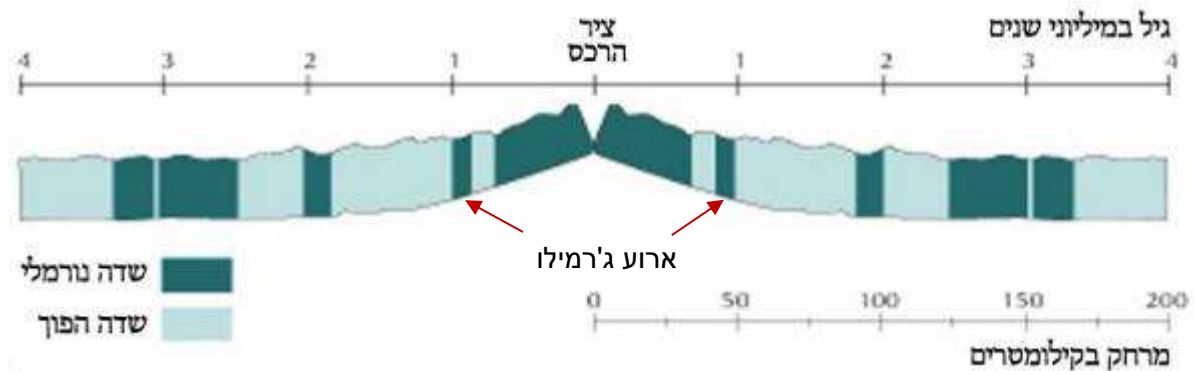


תפנית החלה מסתמנת רק ב-1966.

בשנה זו פרסמו דואל ודלרימפל את **אירוע ג'רמילו** בסקלת ההיפוכים המגנטיים מספר 11. כמעט בו בזמן, אולם באיחור קל, זוהה **אירוע ג'רמילו** גם על ידי קבוצת חוקרים במכון המחקר הגאולוגי למונט של אוניברסיטת קולומביה בניו-יורק. קבוצה זו בראשותו של **ניל אופדייק** זיהתה את ההיפוכים המגנטיים הן ב**סקר מגנטי בדרום האוקיינוס השקט** (מספינת המחקר אלטנין) והן ב**סדימנטים שנדגמו בקידוחים בים העמוק**.

פרד ויין, יחד עם הגאולוג הקנדי **טוזו וילסון**, בחנו את הנתונים שאספו מייסון וראף ברכס חואן דה-פוקה, בעת שוילסון שהה בשבתון בקיימברידג'. כשהתפרסמה סקלת ההיפוכים המגנטיים מספר 11 של דואל ודלרימפל,

הם מצאו התאמה מדויקת בינה לבין האנומליות המגנטיות ברכס. **ארוע ג'רמילו** ניכר היטב בכל הסקלות (תקופה קצרה של מגנטיות נורמאלית שנטבעה בסלעים בני כמיליון שנה, ראו איור 20).



איור 20 – היפוכי השדה המגנטי של כדור הארץ כפי שנטבעו בסלעי רכס מרכז אוקייני. ארוע ג'רמילו (חרמיו בספרדית) מצוין בחצים אדומים.

כשנודע דבר ההתאמה המדויקת של נתוני ההיפוכים המגנטיים משלושת המקורות השונים: **האנומליות בקרקעית האוקיינוס, הסלעים ביבשות והסדימנטים של הים העמוק**, ראו בכך גאולוגים רבים תמיכה בתאוריית התפשטות קרקעית האוקיינוס של הס ובהשערתם של ויין, מתיוס ומורלי.

המסקנות היו:

- ❖ קרקעית האוקיינוס מתפשטת מהרכסים האוקייניים.
- ❖ קרקעית אוקיינית חדשה נוצרת בפעילות מגנטית ברכסים אוקייניים.
- ❖ ההיפוכים המגנטיים של כדור הארץ נטבעים ונשמרים בסלעי קרקעית האוקיינוס, תוך כדי התהליך.

השלב הבא: אם קרקעית האוקיינוס מתפשטת, הרי שהיבשות אכן יכולות "לנדוד" !!!

וכך, נדבכי תצפיות מתחומים שונים ורבים הובילו למהפכה - התהוותה וקבלתה של התאוריה המקובלת היום: **טקטוניקת הלוחות או תאוריית הלוחות הנעים**.

<סיכום (1)> שיעור 7 – תופעות נוספות שקשורות לשדה המגנטי – צפייה בסרט

> יש לצפות עם כיתוביות – הסרטון באורך 3 דקות – באנגלית מתאימה – אפשר לחלק את הכיתה למספר חוליות כדי שכל חוליה תתרגם קטע אחר.<

צפו בסרטון הבא: <https://spaceplace.nasa.gov/aurora/en/>



עבדו בחוליות ותרגמו את קטע הסרטון שקיבלתם מהמורה.

קבלו מחוליות אחרות את התרגום שלהם וצפו בסרטון כולו.

לאחר הצפייה בסרט כולו ענו על השאלות הבאות:

1. מהו ההסבר המובא בסרט לתופעת "הזוהר הצפוני" (מכונה בסרט "האורורה")?

<סיכום (2)> שיעור 7 – השדה המגנטי והאטמוספירה – צפייה בסרט

>למורה: יש לצפות עם כיתוביות – הסרטון באורך 3 דקות – באנגלית מתאימה – אפשר לחלק את הכיתה למספר חוליות כדי שכל חוליה תתרגם קטע אחר.<

צפו בסרטון הבא: <https://www.youtube.com/watch?v=o4FSg-90XIA>

עבדו בחוליות ותרגמו את קטע הסרטון שקיבלתם מהמורה.

קבלו מחוליות אחרות את התרגום שלהם וצפו בסרטון כולו.

לאחר הצפייה בסרט כולו ענו על השאלות הבאות:

כיצד קיום של השדה המגנטי של כדה"א, משפיע על האטמוספירה והסלעים על פני כדור הארץ?

כיצד אלו משפיעים על מערכות נוספות?

פרק ו: תאוריית טקטוניקת הלוחות

שעור 8: הלוחות הטקטוניים

<פתיחה (1)> רכסי הרים, רעידות אדמה, הרי געש והלוחות הטקטוניים



1. התבוננו שוב במפות התפרוסת של רכסי ההרים, רעידות האדמה והרי הגעש (מפרק א) – מצורפות כאן למטה. והשוו בין לבין מפת הלוחות (איור 3). מהי התצפית הבולטת מהשוואה זו?

2. בחרו את ההמשך המתאים למשפט הבא:

האזורים שבהם מרוכזות תופעות גאולוגיות שמקורן בכוחות פנימיים הם בעיקר
[מרכזי לוחות טקטוניים / אזורי הגבול שבין לוחות טקטוניים]



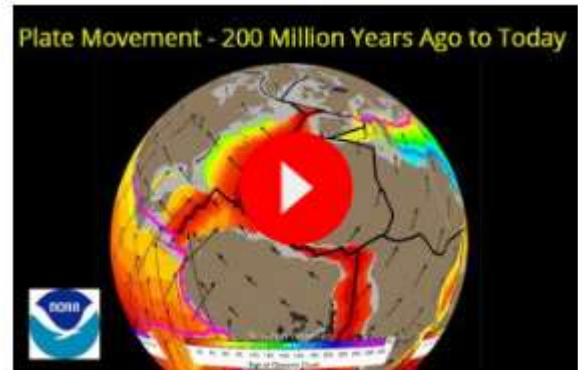
<למורה: להחזיר למפת החפיפה ולעשות השוואה למפת הלוחות>

<פתיחה (2)> תנועת הלוחות ב-200 מיליון השנים האחרונות

צפו באנימציה של כיווני תנועת הלוחות, החיצים השחורים מראים את כיוון התנועה של הלוח בזמן נתון.

שימו לב לשעון הזמן שמציג מיליוני שנים:

https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/plate_movement_200_million_years_ago_to_today



מה לדעתכם גורם לשינויים בתנועת הלוחות?

<מהלך שיעור 8> טקטוניקת הלוחות - תאוריית הלוחות הנעים

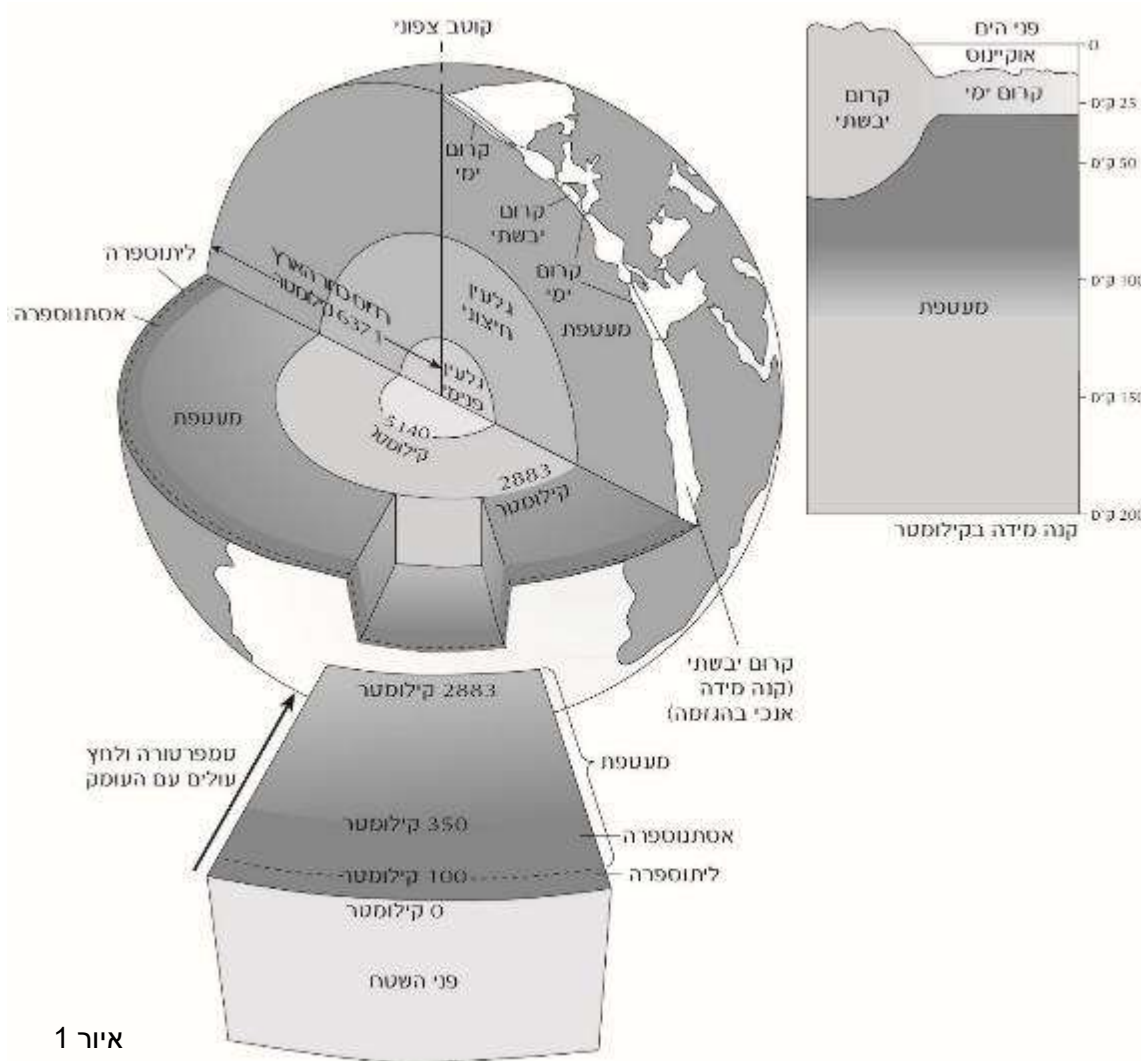
כפי שראינו, נתוני הפלאומגנטיזם תמכו בתאוריית התפשטות קרקעית האוקיינוס של הס:

- קטעי ליתוספירה נמצאים בתנועה מתמדת זה לעומת לזה.
- קרקעית אוקיינוס חדשה נוצרת בפעילות מגנטית ברכסים אוקייניים.

תאוריה זו של הס יחד עם נדבכי התצפיות החדשות אוחדו לתאוריה מורחבת שזכתה לשם:

טקטוניקת הלוחות או תאוריית הלוחות הנעים.

איור 1 מציג את השכבות השונות שמהן מורכב כדור הארץ;

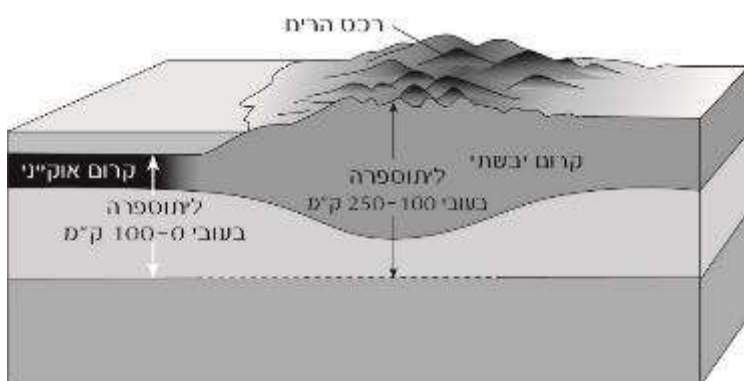


איור 1

הקליפה החיצונית והדקה של כדור הארץ היא שכבת הליתוספירה. שכבה זו, המורכבת מסלעים קשיחים, מחולקת ללוחות (קטעי ליתוספירה) הנמצאים בתנועה מתמדת זה לעומת זה.

הליתוספירה נחלקת לשני טיפוסים: ליתוספירה אוקיינית וליתוספירה יבשתית.

תחת שכבת הליתוספירה נמצאת שכבת האסתנוספירה (ראו איור 2).



איור 2

שאלות:

1. מה לדעתכם צריכות להיות התכונות של שכבת האסתנוספירה, הנמצאת תחת שכבת הליתוספירה, כדי שלוחות הליתוספירה יוכלו לנוע על גביה?

שכבת האסתנוספירה (אסתנס ביוונית = רופף, חלש) מורכבת מסלעים פלסטיים יותר המתנהגים כנוזל צמיג מאוד.

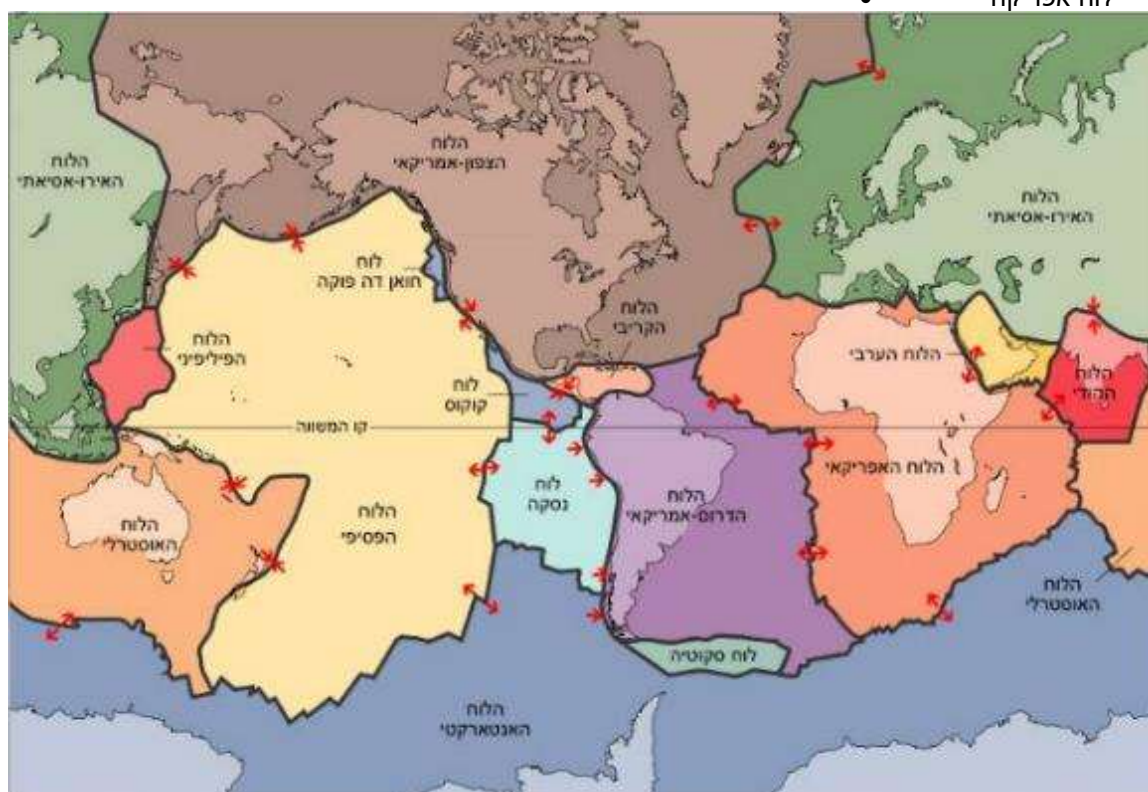
כנראה שחולשתה היא שמאפשרת תנועה של לוחות הליתוספירה עליה.

הליתוספירה מורכבת משלושה עשר מקטעים עיקריים המכונים לוחות (Plates).

2. האם לדעתכם לוחות הליתוספירה שטוחים או עקמומיים (כשברי קליפת ביצה)? הסבירו:

לפניכם רשימת שלושה עשר הלוחות העיקריים:

- לוח אירו-אסיה
- לוח צפון אמריקה
- לוח דרום אמריקה
- לוח אפריקה
- לוח הים הקריבי
- לוח אנטרקטיקה
- לוח נזקה
- לוח סקוטיה
- לוח ארבי
- לוח הפיליפינים
- לוח חואן דה פוקה
- לוח קוקוס
- לוח אוסטרליה-הודו



איור 3

3. התבוננו במפת הלוחות (איור 3) ובחנו את חלוקת האוקיינוסים והיבשות בין הלוחות השונים.

4. רוב הלוחות מורכבים מ _____ [יבשת / אוקיינוס / יבשת ואוקיינוס]

5. ישנם לוחות המורכבים מ _____ בלבד. [יבשת / אוקיינוס]

6. ציינו שלושה לוחות כאלו לדוגמה: _____



איור 4

כיוון שהלוחות הנעים הם לוחות קשיחים, המרחק בין כל שתי נקודות הנמצאות על גבי אותו לוח נשמר, ואילו המרחק בין נקודות הנמצאות על לוחות שונים משתנה תוך כדי תנועתם.

באיור 4 מפה ובה הערים לונדון, ניו-יורק ודנוור.

7. היעזרו במפת הלוחות (איור 3) כדי לקבוע אם המרחקים בין שלוש הערים משתנים.

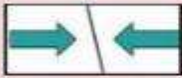
א. המרחק בין דנוור לניו-יורק _____ [משתנה / נשאר קבוע] הסבר: _____

ב. המרחק בין לונדון לניו-יורק _____ [משתנה / נשאר קבוע] הסבר: _____

ג. המרחק בין דנוור ללונדון _____ [משתנה / נשאר קבוע] הסבר: _____

הלוחות הטקטוניים נמצאים בתנועה מתמדת.

גבולות בין לוחות מוגדרים על פי כיווני התנועה היחסית של כל זוג לוחות סמוכים:



א. **גבול של התכנסות** - כאשר שני לוחות נעים זה לכיוונו של זה.



ב. **גבול פתיחה** - כאשר שני לוחות נעים בכיוונים מנוגדים ומתרחקים זה מזה.



ג. **גבול של תנועה אופקית** - כאשר שני לוחות נעים זה במקביל לזה.

נקרא גם **גבול התרחקות**.

נקרא גם **גבול טרנספורם**.

<סיכום (1)> מה הקשר של רעידות אדמה ללוחות הטקטוניים?

<למורה: מפת רעידות אדמה: http://ds.iris.edu/wilber3/find_event וכאן יש גם אפשרות להעלות – כשכבה את גבולות הלוחות: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent=-72.81607,129.375&extent=69.77895,432.77344&magnitude=all&timeZone=utc יש לשים לב שפותחים כשהשכבה הזו כבויה! > המלצה למורה: מה שלא עשיתם בפתיחה – כדאי לעשות כסיכום	התבוננו במפה של מוקדי רעידות אדמה והשוו אותה למפת הלוחות – אילו קוי דמיון אתם מוצאים? 
---	---

שעור 9: גבולות בין לוחות

<פתיחה (1)> תופעות טבע קיצוניות

1. התפרצות הר הגעש מומוטומבו בניקרגואה – צפו בסרטון:

<https://www.youtube.com/watch?v=nArnNjQenKQ>

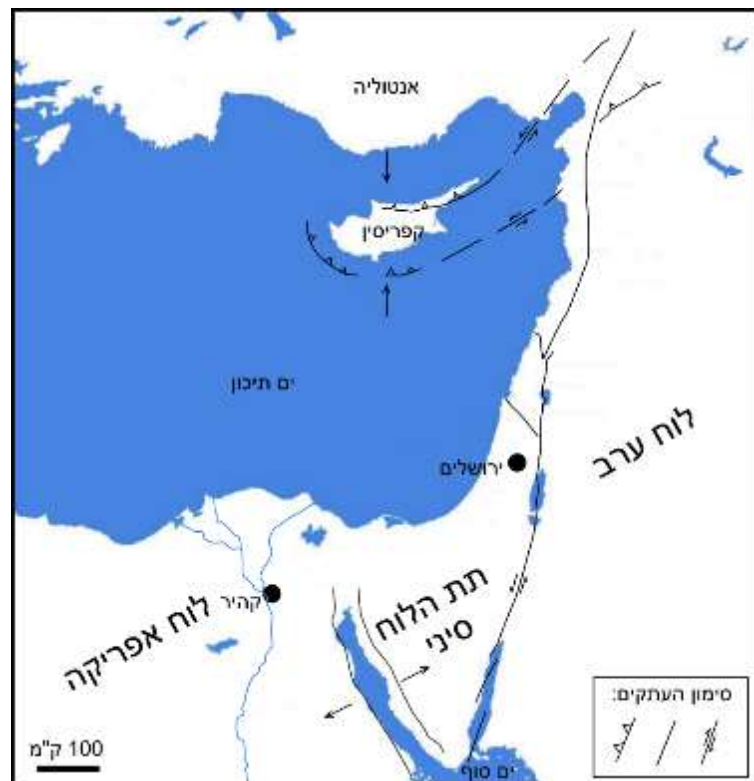
האם התופעה יכולה להיות קשורה לטקטוניקת הלוחות? אם כן – כיצד?

2. צפו בסרטון המתעד צונאמי ביפן (משנת 2011) – החל מדקה 2 עד 3.

<https://www.youtube.com/watch?v=8vZR0Rq1Rfw>

האם ואיך זה יכול להיות קשור לטקטוניקה?

<פתיחה (2)> מפת הלוחות באזורנו



התבוננו במפת הלוחות הטקטוניים של אזורנו. לאילו תופעות אפשר לצפות?

(א) – גבולות התכנסות

הלוחות הטקטוניים נמצאים בתנועה מתמדת. גבולות בין לוחות מוגדרים על פי כיווני התנועה היחסית של כל זוג לוחות סמוכים:

א. **גבול של התכנסות** - כאשר שני לוחות נעים זה לכיוונו של זה.

ב. **גבול פתיחה** - כאשר שני לוחות נעים בכיוונים מנוגדים ומתרחקים זה מזה. נקרא גם **גבול התרחקות**.

ג. **גבול של תנועה אופקית** - כאשר שני לוחות נעים זה במקביל לזה. נקרא גם **גבול טרנספורם**.

קיימים שלושה טיפוסים אפשריים של גבולות התכנסות:

1. התכנסות שני לוחות יבשתיים
2. התכנסות לוח אוקייני ולוח יבשתי
3. התכנסות שני לוחות אוקייניים

1. התכנסות לוחות יבשתיים

האיור שלפניכם והאנימציה ([למטה](#)) ממחישים את התהליכים שמתרחשים לאורך גבולות התכנסות של לוחות יבשתיים.

מילון מונחים לצפייה באנימציה:

Convergence = התכנסות

Continental Crust = קרום יבשתי

Oceanic Crust = קרום אוקייני

India [indian plate] = הודו [הלוח ההודי]

Asia [Eurasian plate] = אסיה [לוח אירו-אסיה]

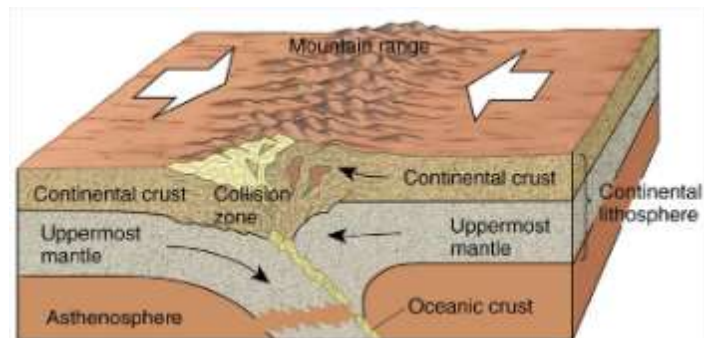
Himalayas = רכס ההימליה

Subducting oceanic lithosphere = לוח אוקייני מופחת

Partial melting ... = התכה חלקית של המעטפת מתרחשת בעומק והמגמה עולה כלפי מעלה ויוצרת פעילות וולקנית.

Accretionary Wedge = "יתד" הצטברות, הצטברות סדימנטים מהקרום האוקייני שיוצרת אל תוך תעלת הפחתה.

Thrust = שבר שטוח של לחיצה, לאורכו "מטפסים" בלוקים זה על גבי זה, באזור של התנגשות ולחיצה



איור 1



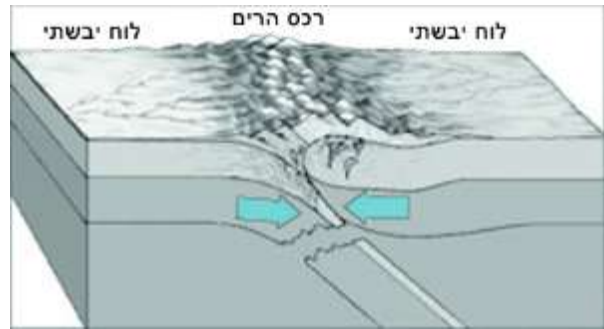
[קישור לצפייה באנימציה](#)

* **שימו לב** שבאנימציה מצוין שהלוחות היבשתיים מתנגשים בסביבות 10 מיליון שנים, זה אמור להיות 50 מיליון שנים.

1. על סמך האנימציה, תארו את התהליכים המתרחשים בגבול התנגשות בין יבשות.



איור 3 – רכס הרי ההימליה מתרומם כתוצאה מהתנגשות לוח הודו בלוח אירו-אסיה



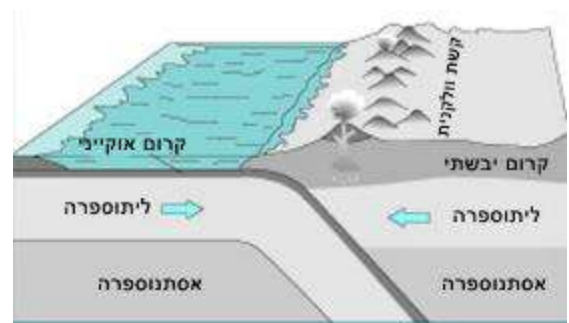
איור 2 – גבול התנגשות לוחות יבשתיים

ב. התכנסות לוח אוקייני ולוח יבשתי

איורים 4 ו-5 והאנימציה [שבקישור](#), ממחישים את התהליכים שמתרחשים באזורי התכנסות שבין לוח אוקייני ולוח יבשתי.



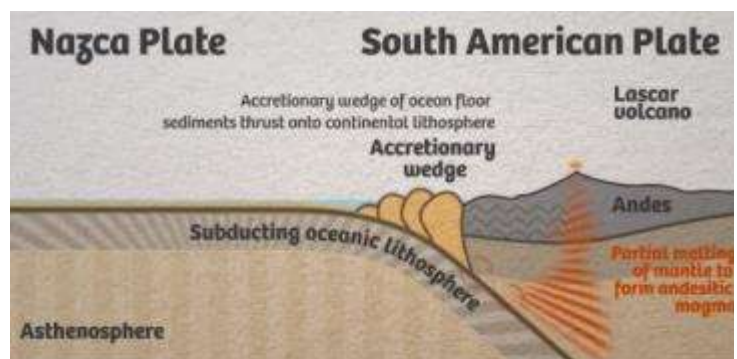
איור 5 – פסגות הרי האנדים בפרו
[Ausangate mountain] צילום: Marturius



איור 4 – גבול התכנסות בין לוח יבשתי ולוח אוקייני

מילון מונחים לצפיה באנימציה:

- Convergence = התכנסות
- Continental Crust = קרום יבשתי
- Oceanic Crust = קרום אוקייני
- The Andes = רכס הרי האנדים
- Subducting oceanic lithosphere = לוח אוקייני מופחת
- Oceanic Trench = תעלה אוקיינית, תעלת הפחתה
- Partial melting ... = התכה חלקית של המעטפת מתרחשת בעומק והמגמה עולה כלפי מעלה ויוצרת פעילות וולקנית.
- Accretionary Wedge = "יתד" הצטברות, הצטברות סדימנטים מהקרום האוקייני שיוצרת אל תוך תעלת הפחתה.



[קישור לצפיה באנימציה](#)

התבוננו באיורים, צפו באנימציה (למעלה) וענו על השאלה הבאה:

2. תארו את התהליכים שמתרחשים באזורי התכנסות לוח אוקייני ולוח יבשתי ואת התופעות הגאולוגיות אשר נצפה למצוא באזורים אלה (זכרו כי ליתוספירה אוקיינית כבדה יותר מליתוספירה יבשתית).

תעלת הפחתה: בהתנגשות של לוח אוקייני ולוח יבשתי - הלוח האוקייני, שצפיפות הסלעים המרכיבים אותו גבוהה יותר מתכופף אל מתחת הלוח היבשתי, שצפיפות הסלעים המרכיבים אותו נמוכה יותר. הוא "מופחת" חזרה אל המעטפת. תהליך זה מביא להתפתחות תעלת הפחתה. **תעלת הפחתה** מתפתחת בדרך הבאה: נחיתת הלוח התחתון מייצרת כוחות גזירה אשר גורמים למשיכת הלוח העליון אל תוך כדור הארץ (בדומה לשקע המתפתח סביב סכין המוחדרת לצנצנת דבש).

רכס הרים: כאשר לוח יבשתי מתנגש בלוח אוקייני מתרומם רכס הרים בשולי הלוח היבשתי, במקביל לתעלת ההפחתה (ראו איורים 3, 4).

3. שער מדוע מתרומם רכס הרים באזור התכנסות לוח יבשתי ולוח אוקייני.

קשת וולקנית: כתוצאה מתהליכי התמרה שחלים על מסלע הלוח המופחת בתעלת הפחתה, נפליטים מרכיבים נדיפים (בעיקר מים). הם גורמים לירידת טמפרטורת ההתכה של החומר המעטפתי אשר מעל ללוח המופחת, ולכן נוצרת שם מגמה. המגמה מתרוממת כלפי מעלה. חלקה מתגבש בתוך הקרום שמעליה ומייצר סלעים פלוטוניים, וחלקה מתפרץ בשורה של הרי געש על גבי רכס ההרים. שורה שכזאת נקראת **קשת וולקנית**.

ג. התכנסות לוחות אוקייניים

צפו באנימציה הבאה, הממחישה את התהליכים שמתרחשים לאורך גבול התכנסות של שני לוחות אוקייניים. העזרו בה לביצוע המשיך הפעילות.

מילון מונחים לצפיה באנימציה:

Convergence = התכנסות

Oceanic Crust = קרום אוקייני

Subducting oceanic lithosphere = לוח אוקייני מופחת

Oceanic Trench = תעלה אוקיינית, תעלת הפחתה

Volcanic Island Arc = קשת איים וולקנית, רצועה של איים שנוצרו כתוצאה מהתפרצויות וולקניות מעל תעלת הפחתה

Partial melting ... = התכה חלקית של המעטפת מתרחשת בעומק והמגמה עולה כלפי מעלה ויוצרת פעילות וולקנית.



קישור לצפיה באנימציה

Accretionary Prism = "יתד הצטברות" של סדימנטים ששקעו על גבי הקרום האוקייני, ואשר מצטברים בשולי התעלה כאשר הלוח המופחת יורד לתוך התעלה.

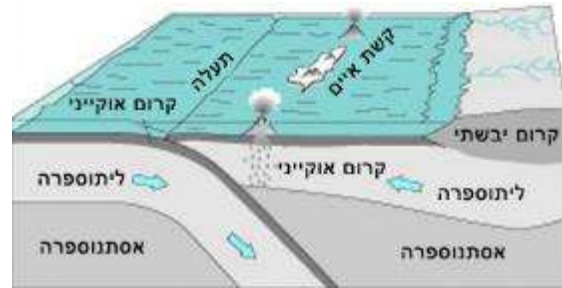
Forearc Basin = אגן בחזית קשת האיים הוולקנית, בינה לבין תעלת ההפחתה, אשר צובר סדימנטים שמקורם באיים הוולקניים

= אגן עמוק שמתפתח מאחורי קשת האיים הוולקנית, כתוצאה מכוחות מתיחה, שנגרמים כאשר הלוח האוקייני Backarc Basin הנוחת בתעלת ההפחתה נסוג אחורה.

התבוננו באיורים 6-7, קראו את המידע המצורף וענו על השאלה.



איור 7 – התפרצות הר הגעש פינטובו (Pinatubo)
בפיליפינים 12.6.1991



איור 6 – גבול התכנסות לוחות אוקייניים

איי הפיליפינים הם קשת איים וולקנית, הממוקמת בסמוך לאיזור הפחתת הלוח הפיליפיני תחת לוח אירו-אסיה. הר הגעש פינטובו הוא אחד מהרי הגעש הפעילים באיים. התפרצותו בקיץ 1991 השפיעה על מזג האוויר בעולם כולו.

גם בהתכנסות שני לוחות אוקייניים מתפתחת **תעלת הפחתה**. לוח אחד מתכוּפף אל מתחת האחר ומופחת חזרה אל תוך המעטפת. תהליך זה מביא להתפתחות **תעלת הפחתה** בדרך הבאה: נחיתת הלוח התחתון מייצרת כוחות גזירה אשר גורמים למשיכת הלוח העליון אל תוך כדור הארץ (בדומה לשקע המתפתח סביב סכין המוחדרת לצנצנת דבש).

קשת איים וולקנית: מרכיבים נדיפים הנפלטים מהלוח הנוחת (בעיקר מים) בתהליכי התמרה, גורמים לירידה של טמפרטורת ההתכה במסלע המעטפתי שמעליו. מגמה נוצרת ועולה כלפי מעלה ומתפרצת בשורה של הרי געש על קרקעית האוקיינוס. הרי געש המבצבים מעל פני המים הופכים לאיים. שורת איים כזו הסמוכה לאזור הפחתה נקראת **קשת איים וולקנית** (ראו איורים 6, 7).



"טבעת האש": האוקיינוס השקט מוקף באזורי הפחתה משלושה עברים: צפון, מזרח ומערב. רצועת הרי הגעש שהתפתחה באזורי הפחתה אלו ידועה בכינויה "טבעת האש" (ראו איור 8).

איור 8 – "טבעת האש"

תעלות הפחתה סביב האוקיינוס השקט

4. תארו את התהליכים המתרחשים באזורי התכנסות לוחות אוקייניים ואת התופעות הגאולוגיות שנצפה למצוא אזורים אלה.

גבולות בין לוחות (ב) – גבולות פתיחה וגבולות תזוזה אופקית

כזכור, הלוחות הטקטוניים נמצאים בתנועה מתמדת. גבולות בין לוחות מוגדרים על פי כיווני התנועה היחסית של כל זוג לוחות סמוכים. בפרק זה נעסוק בגבולות פתיחה ובגבולות טרנספורם;



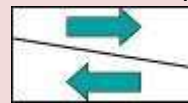
גבול של התכנסות - כאשר שני לוחות נעים זה לכיוונו של זה.



גבול פתיחה - כאשר שני לוחות נעים בכיוונים מנוגדים ומתרחקים זה מזה. נקרא גם גבול התרחקות.



גבול של תנועה אופקית - כאשר שני לוחות נעים זה במקביל לזה. נקרא גם גבול טרנספורם.



(ב) גבולות פתיחה

האנימציה הבאה מתארת תהליכים המתרחשים בגבולות של פתיחה בין לוחות. צפו בה והעזרו בה כדי לבצע את המשך הפעילות.

מילון מונחים לצפייה באנימציה:

Divergent Plate Boundaries = גבולות פתיחה בין לוחות

Continental Crust = קרום יבשתי

Basin / Range = בקע / רכס

Hot mantle rises = חומר חם מן המעטפת עולה למעלה

Plate stretches = לוח נמתח

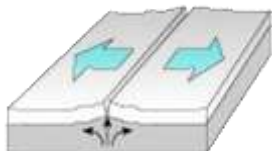
Crust fractures = שבירת הקרום

Plate rises & thins = הלוח מתרומם ומדקק

Mountains rise, valleys drop = (התרוממות (הרים) ושקיעת (עמקים). גושים בין שברים מקבילים (גראבנים והורסטים למשל, או מדרגות)



קישור לצפייה באנימציה

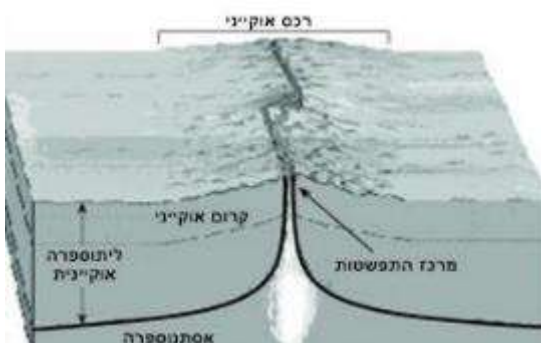


בתאוריית התפשטות קרקעית האוקיינוס הציע הארי הס

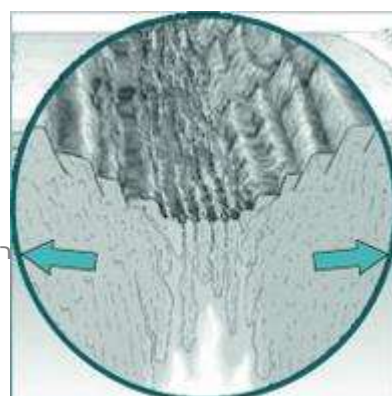
שקרקעית האוקיינוס נוצרת ב

שם גם מתרחשת פתיחה והתרחקות בין קטעי ליתוספירה אוקיינית

1. איורים 9-10 והאנימציה שלמעלה, ממחישים את המתרחש ברכסי



איור 10 – חתך לרוחב רכס אוקייני.



2. חתך לאורך רכס אוקייני המראה את תהליכי התפשטות קרקעית האוקיינוס.

5. התופעות הגאולוגיות שנצפה למצוא בבקע יבשתי הן של: (הקיפו בעיגול והסבירו)

א. שברי לחיצה / שברי מתיחה

ב. התעבות קרום כדור הארץ / הידקקות קרום כדור הארץ

ג. פעילות געשית: כן / לא

ד. רעידות אדמה: כן / לא

6. כאשר גבול של פתיחה בין לוחות עובר ביבשת הוא חוצה את היבשת לשני קטעים המתרחקים זה מזה, לצדי הבקע המתפתח. מה לדעתכם יתפתח באזור המפריד בין שני הקטעים אם ימשיך תהליך הפתיחה?

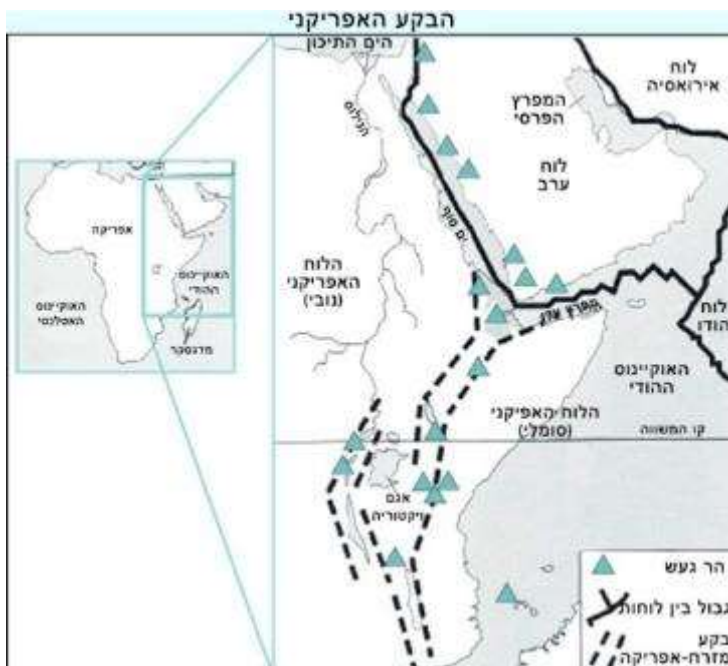
(רמז: איור 14)



איור 14 - רכס מרכז אוקייני
מתפתח במרכז בקע
אשר ביקע יבשת לשתי
יבשות חדשות.

הבקע המזרח אפריקני

במזרח אפריקה נמצא בקע יבשתי עצום. ליתר דיוק זוהי מערכת של בקעים המשכיים זה לזה (ראו המפה באיור 15). לאורכו של הבקע מתחיל פיצול של יבשת אפריקה. קרן אפריקה (תת הלוח הסומלי) מתפצלת משאר אפריקה (הלוח הנובי).



7. סמנו על גבי המפה את כיווני התנועה של הלוח האפריקני-סומלי ושל הלוח האפריקני-נובי זה ביחס לזה

איור 15 - מפת הבקע האפריקני

לאורך הבקע האפריקני נמצאים מספר הרי געש פעילים (ראו איורים 16 ו- 17)



איור 17 – הר הגעש אולדוויניו לנגאי (Oldoinyo Lengai)

אשר בבקע המזרח אפריקני, בהתפרצות של 2008

צילום באדיבות: Cessna 206

הרחבה: צילומים ודיווחים על התפרצויות נוספות (באנגלית):

<https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=222120>



איור 16 – לוע הר הגעש Erta Ale שבאתיופיה, 2008

צילום באדיבות: filippo_jean

הרחבה (באנגלית):

<https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=221080>

מילון מונחים לצפיה באנימציה:

Divergent (triple junction) = גבולות פתיחה בין 3 לוחות

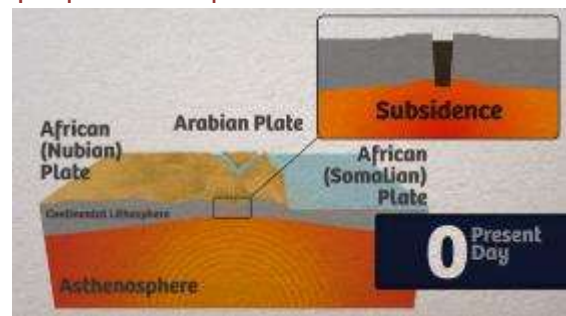
Continental rifting = ביקוע קרום יבשתי

Doming = כיפוף הלוח

Subsidence = שקיעה, היווצרות בקע

* שימו לב, בשניה 25 מגיעים להווה (שלב היווצרות הבקע), ההדמיה נמשכת לעבר העתיד.

אנימציה להדמיית הפעילות הטקטונית במפרץ עדן.



[קישור לצפיה באנימציה](#)

8. על מה מעידה פעילות וולקנית זו, לדעתכם?

אזורי פתיחה - סיכום

9. שער אילו סוגי שברים מאפיינים אזורי פתיחה והתרחקות של לוחות: (הקיפו בעיגול והסבירו)

שברים של לחיצה / שברים של מתיחה / שברים של תנועה אופקית

10. שער מה קורה לעובי קרום כדור הארץ באזורי פתיחה: (הקיפו בעיגול והסבירו)

הקרום מתעבה / הקרום מידקק / עובי הקרום נשאר ללא שינוי

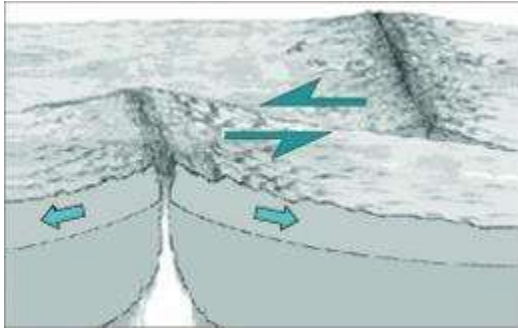
11. השתמשו במונחי הרשימה שלמטה לצורך סיכום התהליכים המתרחשים באזורי פתיחה

• יבשת • ליתוספירה • זרמי קונבקציה • ליתוספירה אוקיינית	• לוחות • הידקקות • וולקניזם • רכס מרכז אוקייני	• מתרחקים • ביקוע • שברים של מתיחה • אוקיינוס	• אזורי פתיחה • יבשות • מתיחה • התרחקות יבשות
--	--	--	--

(ג) גבולות של תנועה אופקית



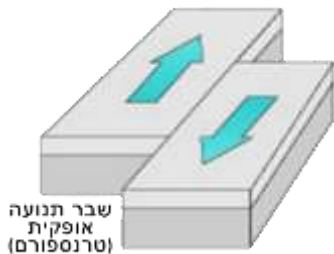
12. אילו תהליכים ואילו תופעות גאולוגיות הייתם מצפים למצוא באזורי גבול של תנועה אופקית בין לוחות



איור 18 מציג אזור גבול של תנועה אופקית בין לוחות. במקרה זה מפריד הגבול בין שני קטעים של רכס מרכז אוקייני.

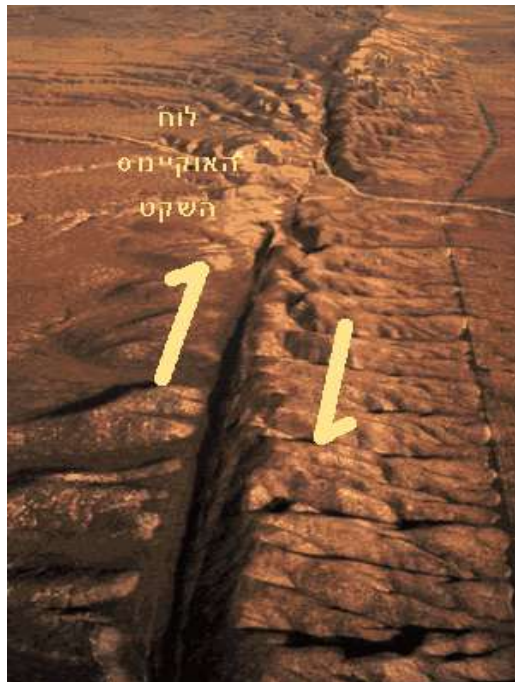
שימו לב: גבול התנועה האופקית הנראה באיור 18 מחבר בין שני גבולות פתיחה. גבול התנועה האופקית במקרה זה מעביר את תנועת הפתיחה ממקום אחד למקור אחר.

איור 18 – גבול תנועה אופקית בין לוחות אזורי תנועה אופקית בין לוחות קיימים גם ביבשות. באזורנו נמצא בקע ים המלח.



13. התבוננו במפת הלוחות וציינו בין אילו שני לוחות מפריד בקע ים המלח;

14. במערב ארצות הברית עובר גבול תנועה אופקית בין שני לוחות גדולים המוכר בשם העתק סן-אנדריאס (איור 19) בין אילו שני לוחות מפריד העתק סן-אנדריאס



איור 20 - גבול תנועה אופקית בין לוחות, העתק סן-אנדריאס בקליפורניה



איור 19 - העתק סן-אנדריאס, גבול של תנועה אופקית בין לוחות

* [הדמיה](#) של התפתחות התנועה על שבר סן-אנדראס.

15. התבוננו בתצלום של העתק סן-אנדריאס (איור 20) האם באזור ההעתק מתפתח תבליט חריף בנוף? (לצורך השוואה חשבו על התבליט המתפתח באזורי התנגשות יבשות)
שימו לב:

העתק סן-אנדריאס, הנראה באיור 20, הוא גבול תנועה אופקית המחבר בין שני גבולות פתיחה.
העתק סן-אנדריאס מעביר את תנועת הפתיחה מרכס אוקייני אחד לרכס אוקייני אחר.

16. העתק סן-אנדריאס מעביר את תנועת הפתיחה מרכס _____ אל רכס _____

17. איזה תפקיד ממלאים גבולות תנועה אופקית? (היעזרו באיורים 18 ו-19 ובהערות המצורפות אליהם)

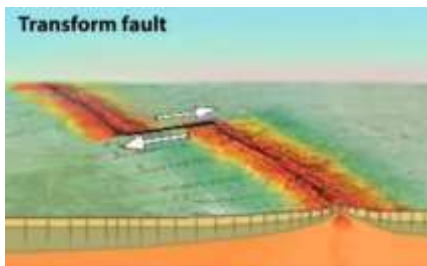
18. אילו סוגי שברים מאפיינים גבולות של תנועה אופקית בין לוחות? (הקיפו בעיגול והסבירו)
שברים של לחיצה / שברים של מתיחה / שברים של תנועה אופקית

19. שער מה קורה לעובי הקרום באזורי גבול של תנועה אופקית בין לוחות? (הקיפו בעיגול והסבירו)
הקרום מתעבה / הקרום מידקק / עובי הקרום נשאר ללא שינוי

20. בסיורכם הלימודיים בעבר הכרתם את **בקע ים המלח**. האם לדעתכם בקע ים המלח נוצר משברי תנועה אופקית בלבד? הסבירו.

[צפו באנימציה](#) הממחישה תנועה לאורך גבול של תנועה אפקית.

נסו להבין בין אילו שני מקרים היא מבחינה.



<סיכום (1)> שיעור 9 : תנועת הלוחות – צפייה בסרט

צפו בסרט: "[תנועת הלוחות](#)",



בעיקר בדקות 11-22, בקטע שעוסק במנגנון המניע את הלוחות.

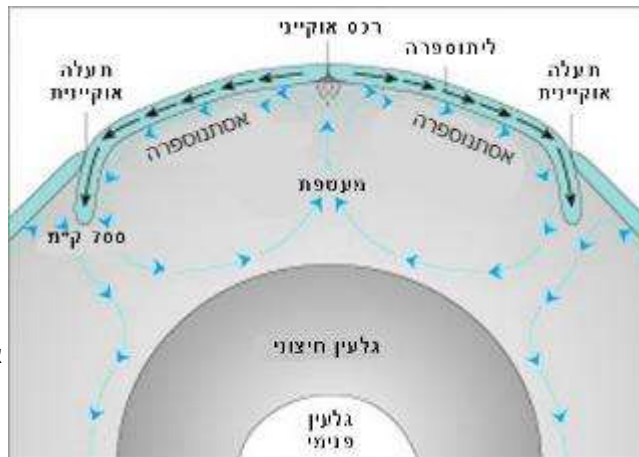
לאחר הצפייה בקטע הסרט ענו על השאלות הבאות:

(מומלץ לקרוא את השאלות לפני הצפייה ולחפש להן תשובות במהלכה.)

1. האם ישנה תמימות דעים בין אנשי המדע לגבי המנגנון המניע את הלוחות?
2. אילו שלושה מנגנונים אפשריים להנעת הלוחות מוזכרים בסרט?
3. מהם שני מקורות החום הפנימיים של כדור הארץ המוזכרים בסרט?
4. מהם הנושאים שעדיין שנויים במחלוקת במסגרת תאוריית הלוחות?
5. מהי העדות לערבול (קונבקציה) בפנים כדור הארץ המוזכרת לקראת סוף הקטע?

המנגנון המניע את לוחות הליתוספירה:

א. זרמי קונבקציה במעטפת אשר מניעים קטעי ליתוספירה מעליהם כמו על גבי סרט נע.



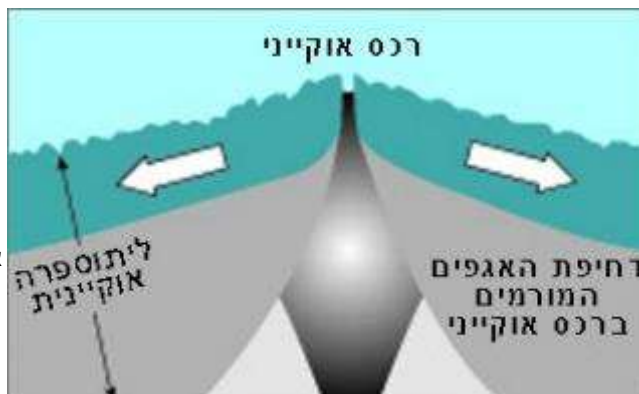
איור 1. קונבקציה בכדור הארץ

ב. כוח המשיכה של כדור הארץ אשר מושך כלפי מטה את אגפי הלוחות הנוחתים בתעלות האוקייניות.



איור 2. משיכת הלוח הנוחת בתעלה אוקיינית

ג. כוח המשיכה של כדור הארץ אשר מושך כלפי מטה את האגפים המורמים ברכסים מרכז אוקייניים, ובכך דוחף לוחות.



איור 3. דחיפת הלוחות המורמים ברכס אוקייני

<סיכום (2)> מפת גבולות בין לוחות

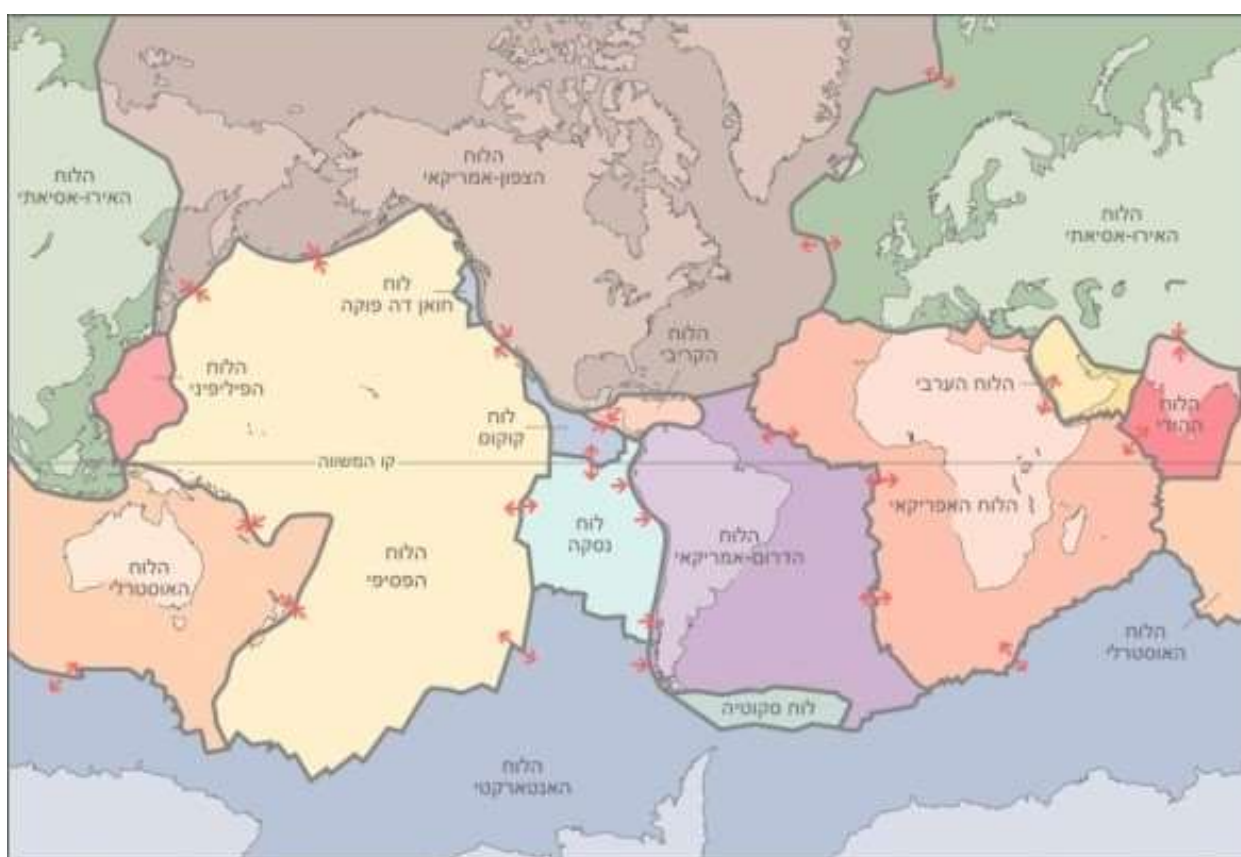
לפניכם מפת הלוחות.

סמנו בקו שחור על גביה את אזורי ההתכנסות הלוחות היבשתיים.

התנגשות יבשות: התנגשות יבשות מתרחשת כאשר מתכנסים שני לוחות יבשתיים.

היזכרו במאפיינים של גבולות בין לוחות והמשיכו במשימה:

- סמנו בקו כחול את אזורי ההתכנסות של לוחות אוקייניים
- סמנו בקו אדום את אזורי ההתכנסות של לוח אוקייני ולוח יבשתי
- סמנו בקו צהוב את אזורי הפתיחה.
- סמנו בקו ירוק את גבולות התזזה האופקית



<הרחבה> נקודות חמות (Hot Spots)

תצפית:

באוקיינוסים מוכרות שרשראות של איים וולקניים ושל הרי געש תת-ימיים, ששרשראות המשתרעות לאורך אלפי קילומטרים. איי הוואי שבמרכז האוקיינוס השקט הם חלק משרשרת ארוכה מאוד הכוללת גם את הרי הגעש התת-ימיים אמפרור (איור 1). כשנבדק גיל סלעי הבזלת בהרי געש אלו נתגלתה חוקיות בגיל הסלעים בהרים השונים בשרשרת (איור 2).

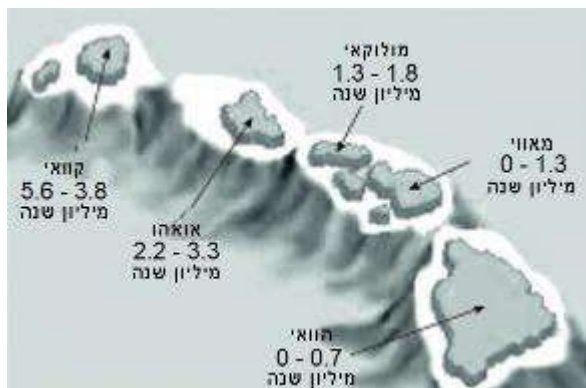


איור 2 – גיל הסלעים בשרשרת הוואי-



איור 1 – שרשרת האיים וההרים התת-ימיים הוואי-

1. התבוננו באיור 2 המציג את גיל הסלעים בשרשרת ותארו את הקשר שבין גיל הסלעים לבין מקום הר הגעש בשרשרת.



דגם דומה של פיזור גילים נתגלה גם באיי הוואי עצמם (ראו איור 3).

השערה:

הסתמכו על התצפיות כדי לשער כיצד נוצרה שרשרת הרי הגעש הוואי-אמפרור. איור 3 – גיל סלעי הבזלת באיי הוואי

זכרו:

- השרשרת מורכבת מהרי געש שחלקם מופיעים כאיים וחלקם תת-ימיים.
- השרשרת כולה נמצאת בלוח האוקיינוס השקט.

2. פרטו את השערותיכם;

ודאי שמתם לב לנקודת השינוי בכיוון שרשרת הרי הגעש (בין האי מידווי להר התת-ימי סוויקו - איורים 1, 2).

3. שערו כיצד נוצר שינוי זה בכיוון השרשרת.

שעור 10: טקטוניקת הלוחות, מחזור הסלעים והחיים בכדור הארץ

<למעשה זה שעור סיכום – עם שתי פעילויות:>

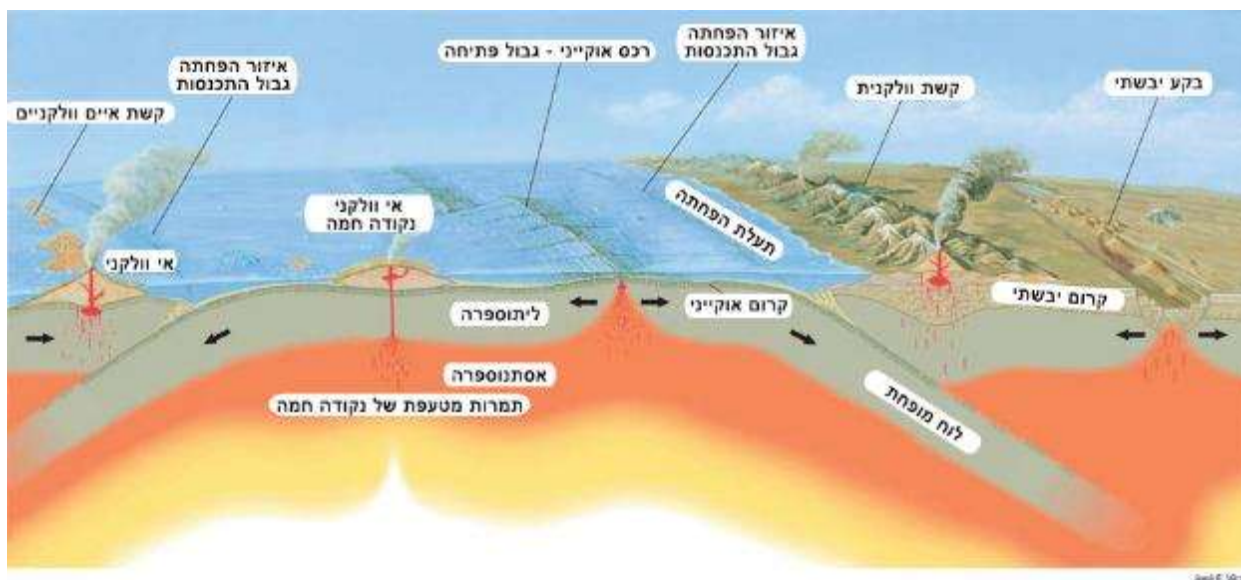
<1> תהליכים במחזור הסלעים

לפניכם רשימת התהליכים במחזור חומרי כדור הארץ:

1. תהליכי התכה
2. תהליכים מגמטיים פלוטוניים (התגבשות איטית של מגמה בעומק קרום כדור הארץ)
3. תהליכים מגמטיים וולקניים (התפרצות והתגבשות מהירה של מגמה בפני השטח)
4. תהליכי התמרה
5. תהליכי הרמה וחשיפה
6. תהליכי בלייה והובלה
7. תהליכי הרבדה
8. תהליכי קבורה

זהו בתרשים טקטוניקת הלוחות את האתרים שבהם מתרחשים תהליכי מחזור חומרי כדור הארץ.

כתבו את המספר של כל תהליך במקומות המתאימים בתרשים.



החתך צויר על ידי : José F. Vigil באדיבות: USGS

<2> הקשר בין חיים לטקטוניקה (כימוסינתזה)

צפו במצגת המצורפת וענו על השאלה:

מה הקשר בין טקטוניקת הלוחות להיווצרות חיים באוקיינוס?