משרד המדע והטכנולוגיה
Ministry of Science, Technology

סוכנות החלל הישראלית
משרד המדע והטכנולוגיה

מחברות בשטח

GPS

מערך פעילות בנושא ניווט בעזרת GPS

גיל התלמידים: כיתה ח'
משך השיעור: 90 דק'

מערך פעילות זה נכתב בשיתוף עם תעשיידע (ע"ר), מחלקת פיתוח הדרכה | ייעוץ מקצועי: מר יורם אורעד

חיבור לתוכנית הלימודים

היסטוריה של כיתה ח' - נושא א' - הנאורות והמהפכות: המהפכה המדעית, עקרונות הנאורות

*מומלץ להעביר את השיעור לאחר מערך השיעור "איפה אנחנו?"

רקע

כדי לנווט בים הפתוח יש צורך לדעת מהם קו האורך וקו הרוחב. את קו הרוחב קל לחשב, אך כדי למצא את קו האורך יש להיעזר בשעון מדויק - מכשיר שלא היה קיים במשך שנים רבות. ג'ון הריסון היה בונה שעונים אנגלי. בשנת 1730 הוא החל לתכנן ולבנות את הכרונומטר הימי המדויק הראשון בעולם, ובאמצעותו פתר את בעיית מציאת קו האורך בים, וכך אִפשר ניווט מדויק במגוון תנאי שיט. מאות שנים אחר כך, כשפותחה מערכת ה-GPS, התמודדו מפתחיה עם בעיה דומה: חישוב המרחק בתנועה תוך דיוק הזמן מהחלל.

במערך זה נחבר בין שני הסיפורים, ולאחר מכן, באמצעות אפליקציה, נשחק מחבואים בעזרת חיפוש נ"צ.

מטרות השיעור

התלמידים יתארו את השפעתה של המהפכה המדעית על פיתוחו של שעון הניווט הראשון

התלמידים יזהו את רכיבי מערכת ה-GPS ואופן הפעולה שלהם

התלמידים ידעו להסביר כיצד משתמשים במערכת GPS ואילו שגיאות דיוק עלולות להתרחש

התלמידים יבדקו את מערכת התקשורת עם לווייני ה-GPS באמצעות משחק מחבואים

קהל יעד
תלמידי כיתה ח'

זמן השיעור
90 דקות

סכרים
מערכת שמע כיתתית,
כרטיסיות מחבואים,
כרטיסיות סיכום למורה,
טלפונים סלולריים של התלמידים
עם אפליקציית Phyphox

מהלך השיעור

זמן	מהלך השיעור	הערות
10 דק'	פתיחה: המהפכה המדעית - רקע כללי	מצגת
15 דק'	סטוריטלינג: רקע כללי וסיפור היסטורי על שימוש בשעון לניווט	מצגת
20 דק'	הסבר מרכיבי מערכת ה-GPS	מצגת
45 דק'	**ODT:** פעילות GPS - מחבואים בקבוצות	טלפון סלולרי, אפליקציית Phyphox , כרטיסיות מחבואים
5 דק'	סיכום	שקף סיכום להדפסה

שקופית 1

היום נשחק מחבואים בעזרת GPS! נשאל את התלמידים אם יש להם רעיון כיצד נעשה זאת.
את זה נשמע בהמשך, אבל לפני שנצא החוצה בואו נגלה איך הכול התחיל...

שקופית 2

נשאל את התלמידים: מה משמעות השם GPS?

אחרי תשובות התלמידים נסביר כי האנשים בעולם משתמשים מדי יום במערכת -GPS, והיא מקילה את החיים שלנו: היא מאפשרת לנו למשל למצוא בקלות רבה יעד שאיננו יודעים איפה הוא, ומראה לנו את הדרך הקצרה והבטוחה ביותר.

בואו נראה איך נולדה המערכת הזו ומה עומד מאחוריה.

איך היו מנווטים בעבר?

שקופית 3

הכול מתחיל מ...זמן

היום נגלה דברים מעניינים מאוד. למשל, נראה איך המערכת מתבססת על מדע ומתמטיקה, ולמה השעון כל כך חשוב בסיפור.

שקופית 4

בואו נתחיל מההתחלה! בואו נתחיל מההיסטוריה. על המהפכה המדעית שמעתם? המהפכה המדעית שינתה את התפיסה בנוגע לעולם, שעד אז התבססה על תפיסה דתית נוצרית.

(קליק להנפשה)

בשנת 1543 פרסם האסטרונום הפולני ניקולאוס קופרניקוס את התאוריה שלו, שלפיה השמש ניצבת במרכז היקום (התאוריה ההליוצנטרית). זאת בניגוד לתפיסה הרווחת, שלפיה כדור הארץ נמצא במרכז היקום (התאוריה הגאוצנטרית). התאוריה של קופרניקוס חוללה מהפכה רחבה: היא שינתה את אופן החשיבה של בני האדם על היקום. היגיון ומחשבה ביקורתית החליפו את הדעות הישנות והמקובעות, שהתבססו על אמונות. רעיונות, תצפיות וניסויים הפכו לגורמים מרכזיים בניסיון להבין את הדברים.

(קליק להנפשה)

בשנת 1613 שכלל גלילאו גליליי את התאוריה של קופרניקוס, ואף המציא את הטלסקופ. בעזרתו הוא גילה דברים נוספים על היקום, דרך תצפיות ומחקר.

(קליק להנפשה)

בשנת 1687 ניסח אייזיק ניוטון את חוקי הכבידה, וגם המציא מתמטיקה חדשה (משוואות דיפרנציאליות), כדי לבסס את התאוריה ולקבוע מהו מקומנו ביקום.

מהלכים אלה סללו את הדרך למהפכה בתחום המדע והמתמטיקה, והשפיעו על החברה בכללותה.

שקופית 5

עידן זה נקרא גם עידן הנאורות. "הנאורות" - כינוי לתנועה אינטלקטואלית באירופה, ששמה לעצמה מטרה לבסס מוסר, אסתטיקה וידע הנשענים בין היתר על רציונליות.

שקופית 6

אחרי המהפכה

נשאל את התלמידים: מה קרה בעצם אחרי המהפכה המדעית?

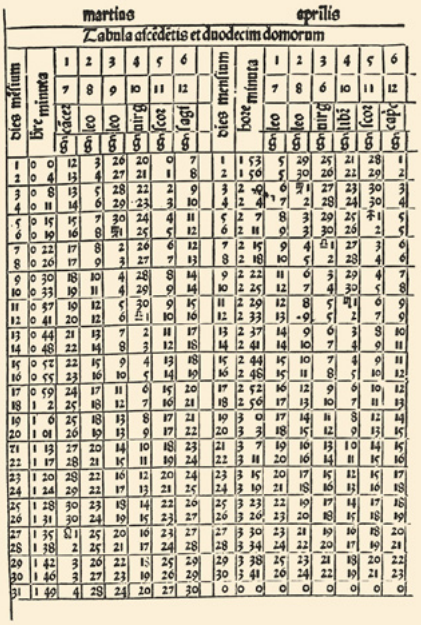
הידע שצברו המדענים והחוקרים הביא קדמה משמעותית בתחום הטכנולוגיה. המהפכה הביאה איתה הרבה דברים טובים, פיתחה את המסחר והתעשייה - אבל הולידה גם מלחמות קשות יותר.

מסעות דרך הים היו פופולריים מאוד, אבל ניווט בים היה קשה ואף גבל בסיכון חיי אדם. היום, כשאנו משתמשים ב-GPS, בעיית הניווט בים אינה רלוונטית לנו, אבל בעבר ניווט בים היה עניין של חיים ומוות!

שקופית 7

במשך 400 שנים ניסו טובי האסטרונומים והמדענים למצוא פתרון לניווט בים בעזרת הפיזיקה. מלחים רכשו ידע בקריאת מפת הכוכבים, ולפיהם ניווטו, אך מפת הכוכבים משתנה עם הזמן והמקום על פני כדור הארץ: בכל מקום על הגלובוס השמיים ייראו אחרת. למעשה אם לא יודעים את השעה המדויקת, עלולים ללכת לאיבוד בלב ים.

אם ידועה השעה, נוכל לדעת מה מקומנו המדויק בעזרת מקרא כוכבים (אלמנך), המציג את מיקומם של גרמי שמיים נבחרים בכל זמן נתון.


martius aprilis
Tabula afcēdētis et duodecim domorum

טבלת אלמנך

השעונים שהיו באותה תקופה פעלו על מנגנון מטוטלת. נסו לדמיין מה נדנוד של ספינה, ולו הקל ביותר, יעשה לקצב של תנועת המטוטלת בשעון. במסגרת הניסיון לפתור את הבעיה של אי־ידיעת השעה בים נערכו גם ניסויים שונים, למשל ניסוי בשייט קרוב לחוף והאזנה לנביחות כלבים בנמלים. פתרון זה לא אומץ, כמובן, כי השייט לאורך החופים האריך את משך ההפלגה ולמעשה נטרל את היתרון של השימוש בספינות.

שקופית 8

מאחר שהימאים לא היו מסוגלים לקבוע את קו האורך שהם נמצאים בו, איבדו רבים מהם את דרכם בים. ספינות רבות עלו על שרטון ואחרות היו טרף קל לשודדי הים.

הניווט בים מסובך כשמנסים למצוא נ"צ (נקודת ציון, נקודה על גבי מפה, המציינת מיקום בעזרת קואורדינטות), מכיוון שכדי לקבוע את הנ"צ שלנו יש לדעת מה קו הרוחב ומה קו האורך* שעליהם אנו נמצאים. את קווי הרוחב קל לחשב על פי מיקומם של גרמי שמיים, ואילו מציאת קו האורך מצריכה, מלבד מפת הכוכבים, גם שעון מדויק.

קווי האורך הם קווים דמיוניים הנמתחים מהקוטב הצפוני, חוצים את קו המשווה ונמשכים עד לקוטב הדרומי. הם מחלקים את כדור הארץ לאורכו כל 15 מעלות, ל-24 חלקים שווים, כשכל חלק הוא אזור זמן אחר, שעה אחרת ביממה. קווי הרוחב הם קווים דמיוניים המחלקים את כדור הארץ לרוחבו. קו המשווה, קו רוחב °0, מחלק את כדור הארץ לשני חצאים: חצי הכדור הצפוני וחצי הכדור הדרומי. קווי הרוחב הצפוניים נספרים ממנו וצפונה, עד למעֵלה 90 צפון, הנמצאת בנקודה הצפונית בעולם, בקוטב הצפוני. כך, באופן סימטרי, נספרים גם קווי הרוחב דרומה, עד לקוטב הדרומי.

קווי האורך והרוחב משמשים לציון נקודות ומקומות על פני כדור הארץ. כל מיקום על פני כדור הארץ מצוין לפי נקודת המפגש בין קו האורך וקו הרוחב שלו, המכונים קואורדינטות a ו-b ומסומנים במעלות.

שקופית 9

בשנת 1714 הציע הפרלמנט האנגלי פרס בשווי 20,000 פאונד למי שיצליח למצוא שיטה מדויקת למדידת קו האורך.

20,000 פאונד היו הון עתק, סכום שווה ערך אז לכמה מיליוני דולרים בימינו.

שקופית 10

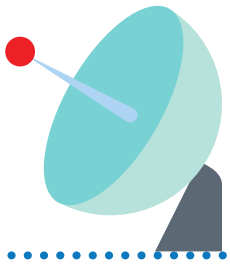
איך מוצאים פתרון לבעיה הזו, למי יש רעיון?

שקופית 11

את הפתרון לבעיית קו האורך מצא שען אלמוני בשם ג'ון הריסון. הריסון היה בעל ניסיון מעשי בבניית שעונים יבשתיים מדויקים, בזכות המיומנות הרבה שהייתה לו בנגרות: בניית שעונים מדויקים הייתה אתגר, שכן איכות חומר הסיכה של החלקים הנעים הייתה ירודה מאוד. הסוד של הריסון היה שימוש בעץ מיוחד שאפשר את פעולת השעון ללא חומר סיכה.

הריסון לא זכה להכרה עבור ההמצאה שלו, "הכרונומטר" (כרונוס – זמן ביוונית), אף שייצר לממלכה הבריטית כמה שעונים. רק לאחר 40 שנות עמל רב הוא זכה בפרס הכספי.

להרחבה בנושא: קישור לפודקאסט עושים הסטוריה - "ניווט ימי ומפות חובקות עולם", מאת רן לוי



נקודות ניווט ביאנו

שקופית 12

שאלה לתלמידים: איך מנווטים היום?

שקופית 13

התשובה: היום מנווטים באמצעות לוויינים ו-GPS (Global Positioning System).

בעזרת מחשב ונתוני קווי האורך והרוחב ביחס למקום שאנחנו נמצאים בו, פשוט אי אפשר ללכת לאיבוד.

נבין את משמעות השם Global Positioning System, מערכת איכון גלובלי:

מערכת - אוסף של מרכיבים הקשורים ביניהם ומתפקדים יחד למען מטרה משותפת.

איכון - מציאת מקומו המדויק של דבר מבוקש (קביעת מיקום מדויק ככל האפשר).

גלוֹבָּלי - השייך לכל כדור הארץ (גלובוס – כדור בלטינית, ומכאן: כדור הארץ. ניתן להזכיר ולהסביר בהקשר זה את המושג "גלובליזציה": האצה והעמקה של הקשרים התרבותיים והכלכליים בין מדינות, חברות ויחידים באופן היוצר שילוב של כלכלות, חברות, תרבויות, ותנועות פוליטיות מכל העולם. מצב זה הביא ליחסי תלות הדדית בין חברות שונות, ללא קשר לאופי היחסים ביניהן).

שקופית 14

המרכיב העיקרי במערכת ה-GPS הוא למעשה למעלה מ-24 לוויינים החגים בגובה של 26,562 ק"מ ומשלימים הקפה סביב כדור הארץ במשך 11 שעות ו-58 דקות לערך.

לכל לוויין שעון אטומי מדויק מאוד, המאפשר את קביעת המיקום של המַקלֵט על הקרקע באמצעות חישוב של 4 לוויינים.

כדור הארץ והלוויינים של המערכת אינם נעים באותו הקצב, ועל כן מקלט על כדור הארץ "רואה" מספר אחר של לוויינים בכל רגע נתון (ולא בהכרח אותם לוויינים שוב ושוב). באמצעות התקשורת ביניהם אפשר למצוא את המיקום המדויק של המקלט.

שקופית 15

פעולת ה-GPS

קביעת מיקום מקלט ה-GPS נעשית באמצעות חישוב מרחק המקלט מכל אחד מהלוויינים שהוא "רואה".

שקופית 16

חישוב המרחק נעשה לפי הזמן שלוקח לאות להגיע מהלוויין למקלט שעל הקרקע.

הבעיה בשידור היא שיש שוני בין האותות, בגלל זמן ההגעה של האות מהמקלט ללוויין.

הרחבה לדיון שיוצג בהמשך:

מהירות כפול זמן שווה דרך (מרחק). מהירות האותות ידועה - מהירות האור, ואת הזמן ניתן לדעת בעזרת שעון מדויק.

הלווייינים חגים בגובה רב מעל לכדור הארץ ולכן יש התארכות זמן לעומת מה שמוֹרים השעונים על כדור הארץ (שוני בזמן, כפי שניסח איינשטיין בתורת היחסות). לשם פתרון הבעיה יש לעשות תיקונים בשעון של מערכת ה-GPS.

שקופית 17

איך לדעתכם ניתן לפתור את זה?

שקופית 18

זמן הגעת האות כפול מהירות האור ייתן את המרחק בין המקלט ללוויין.

כאשר מחשבים את המרחק והכיוון ביחס ללווייינים החגים בחלל מתקבל מיקומו המדויק של המקלט בכדור הארץ.

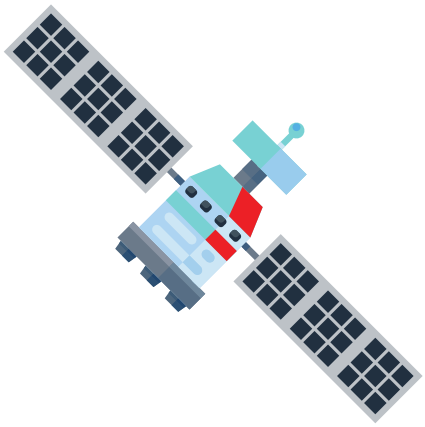
מהירות האור היא קבועה. לכן מסמנים אותה באות C, מהמילה constant (קבוע).

משוואת התנועה הבסיסית $X = v \Delta t$ חשובה למציאת המרחק בין הלוויין (המשדר) למקלט (טלפון סלולרי, למשל).

הפרש זמנים מסומן בפיזיקה באות היוונית דלתא. $t = t2-t1\Delta$

הנה דוגמה פשוטה של בעיית תנועה: אם רכב נוסע במהירות של 100 קמ"ש למשך שעה, המרחק שהוא עבר הוא 100 קילומטר. מהירות כפול זמן שווה דרך.

להרחבה: ניתן להמחיש זאת באמצעות ביצוע איכון סלולרי ולהדגים מציאת נ"צ לפי אנטנות סלולריות.



שקופית 19

המקלט (למשל טלפון סלולרי) שעל כדור הארץ תר אחר אות לוויינים, וברגע שהוא מוצא לפחות שלושה אותות, המשתמש מקבל את המידע לגבי המיקום שלו על הצג.

מכיוון שהלוויינים כל הזמן זזים בחלל ומקומם ביחס לכדור הארץ משתנה, יש צורך לערוך תיקוני חישוב. תיקונים כאלה מתרחשים כל הזמן.

איך התיקון נעשה?

יש להתאים את זמן השעונים בלוויינים לזמנם של השעונים שעל כדור הארץ, ולבנות מערכת תיקון בהתאם.

בתהליך התיקון יש שלושה מרכיבים עיקריים:

לווייניים: הלוויינים שחגים בגובה רב מעל לכדור הארץ ומשדרים לכיוון הקרקע את המיקום שלהם ביחס לכל מקלט שמבקש את המידע (בהמשך יצוין טיב המידע).

מקלט: בכל פלטפורמת תקשורת (בעיקר סלולר) יש רכיב שמתַקשר עם הלוויינים. הרכיב זה מסוגל לתקשר עם כמה לוויינים בו-זמנית כל עוד יש קו ראייה ואין חסימות.

תחנת GPS קרקעית (DGPS): תפקידה לבצע סנכרון תמידי בין המיקום של הלוויינים בזמן אמת לבין התחנה שמקומה ידוע. כך שומרים על דיוק גבוה (כפי שיוסבר בהמשך).

שקופית 20

תחנה קרקעית

תחנות GPS קרקעיות, Differential Global Positioning System (DGPS):

ברחבי העולם פזורות תחנות קרקעיות, ומקומן הגאוגרפי ידוע בדיוק רב.

כל תחנה מקבלת מהלוויינים מיקום מחושב של התחנה, והיות שמיקומן קבוע התחנות משדרות "תיקון" לפי הסטייה המתקבלת. כך מושג דיוק רב יותר של המערכת.

בישראל יש כמה תחנות קבועות, והן מפורטות באתר בקישור זה, אתר המרכז למיפוי ישראל.

התיקונים של הפרשי הזמנים, המתקבלים תדיר מהתחנות הקרקעיות, מאפשרים קבלת מידע מדויק יותר ומניעת סחיפה של המערכת.

התחנות נמצאות במקומות קבועים, ובפרקי זמן קבועים מבוצעת "קריאה/בדיקה" של מיקומן.

ברגע שיש סטייה בנקודת הציון של התחנה הקרקעית, קוד איפוס נשלח אל הלוויין ומאפשר לו לעדכן את הנתונים.

שקופית 21

איזה מידע מגיע למקלט? (לטלפון)

היום בכל טלפון סלולרי יש מקלט המסוגל לקבל מידע מלוויין GPS כל עוד קיים קשר עין ביניהם, קו ראייה.

האות המתקבל מכיל את המידע הזה:

אות הזיהוי של הלוויין: לכל לוויין יש שם משלו, אות המשמש לזיהויו, להבחנה בינו ובין לוויינים אחרים.

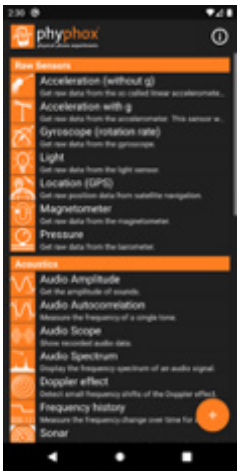
המיקום המסלולי (האורביטלי, סביב כדור הארץ) של הלוויין: איפה הלוויין נמצא ביחס לכדור הארץ (כיוון, גובה וזווית).

זמן לפי שעון אטומי המותקן בלוויין.

קביעת המיקום נעשית כאמור לפי חישוב המרחק של הלוויין מהמקלט, על יסוד הנתונים הללו.

שקופית 22

פעילות מחבואים בעזרת GPS



phyphox
physical phone experiments

הנחו את התלמידים להוריד את אפליקציית Phyphox לטלפונים הסלולריים שלהם לפי תחילת הפעילות.

GET IT ON Google Play

Download on the App Store

איך משחקים?

בפעילות נשחק משחק מחבואים ברחבי בית הספר, בעזרת חיישן ה-GPS בטלפונים של התלמידים.

במסך הראשי של האפליקציה בחרו:

בפעילות זו נעבוד עם חיישני ה-GPS של הטלפון. קיימים חיישנים נוספים, והם יופעלו במערכים אחרים.

סרטון הדגמה לשימוש בתוכנה: לחץ כאן>>

הפעילות

1. יש לחלק את התלמידים לקבוצות כך שלכל קבוצה יהיה לפחות סלולרי אחד שהתוכנה מותקנת בו.
2. כל שתי קבוצות תלמידים משחקות זו מול זו: אחת מתחבאת והשנייה מאתרת.
3. חלקו לתלמידים את כרטיסיות המשימה.

שקופית סיכום לאחר פעילות באמצעות סנריס

נשאל את התלמידים מה הם למדו מהמשחק ומהפעילות על שימוש בטכנולוגיה לאיתור.

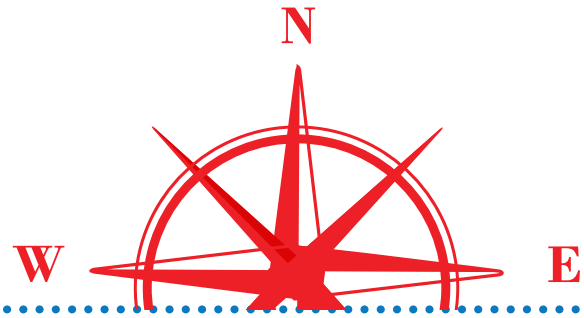
לאחר מכן נבקש מהם להסביר במילותיהם מה הקשר בין השעון לבין מערכת ה-GPS. נחזק את תשובות התלמידים ונוסיף הסבר:

כדי לקבוע את נקודות הציון שלנו יש לדעת יש לדעת מה קו הרוחב ומה קו האורך שעליהם אנו נמצאים. את קווי הרוחב קל לחשב על פי מיקומם של גרמי שמיים (בעזרת מציאת אזימוט - זווית וכיוון - בין האדם לגרם שמימי כלשהו), ואילו מציאת קו האורך מצריכה שעון מדויק. נקודת ההצטלבות של קו האורך וקו הרוחב היא המיקום שלנו.

לאורה

את קו האורך ניתן למצוא באמצעות הפרש הזמנים בין הזמן המקומי במקום שבו נמצאים לבין שעון גריניץ'. כיוון שיש 24 שעות ביממה ו־360 מעלות במעגל, השמש מכסה 15 מעלות אורך כל שעה (360° לחלק ל־24 שעות = 15° לשעה). לפיכך, אם אזור הזמן שבו אנו נמצאים הוא שלוש שעות לפני שעון גריניץ', משמע שאנו נמצאים בסביבת קו האורך 45 מעלות מזרח (3 שעות × 15 מעלות לשעה). כדי לבצע חישוב מדויק אנחנו חייבים שעון מדויק המכוון לשעון גריניץ' מצד אחד, ואת האפשרות לחשב את הזמן המקומי בעזרת תצפיות על השמש או הכוכבים.

בפעילות זו למדנו על מערכת ה-GPS ומרכיביה השונים, על חשיבות השעון המדויק, על התקשורת הלווינית של הטלפון הסלולרי שלנו עם הלווינים אשר חגים מעל כדור הארץ.

טכנולוגיית ה-GPS נרתמת לשיפור איכות החיים שלנו: לניווט בכבישים, לאיתור אנשים במקומות רחוקים, ועוד.

כל זאת מתאפשר בזכות התפתחות טכנולוגית, חלל ושעון אחד.