



הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

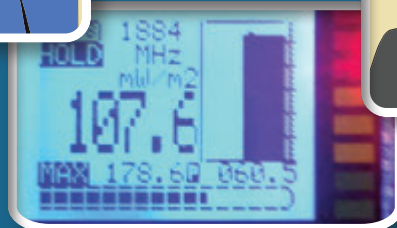
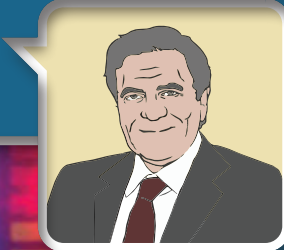
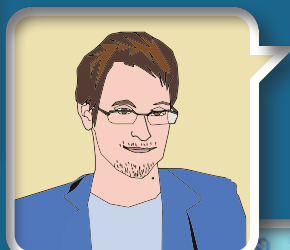
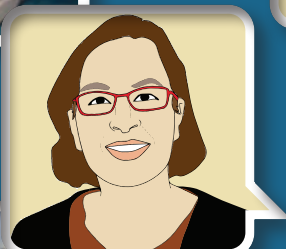
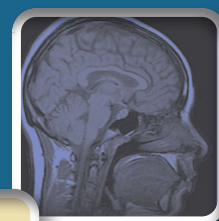


מל"מ, המרכז הישראלי לחינוך מדעי וטכנולוגי
ע"ש עמוס דה שליט

מדינת ישראל
משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף א מדעים

קרינה אלקטרומגנטית -

עקרונות, שימושים והחלטות



משרד החינוך

אישור מס': 4518
אשר בתאריך: 22.8.2018

הגר וקסלר ושולמית קפון



הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל



מל"מ, המרכז הישראלי לחינוך מדעי וטכנולוגי
ע"ש עמוס דה שליט

מדינת ישראל
משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף א מדעים

קרינה אלקטרומגנטית – עקרונות, שימושים והחלטות

הגר וקסלר ושולמית קפון



משרד החינוך
אישור מס': 4518
אשר בתאריך: 22.8.2018

לזכרה של ד"ר מרב כץ-קמחי, העורכת הלשונית של הספר וחברה יקרה

פיתוח וכתיבה:

ד"ר הגר וקסלר ופרופ"מ שולמית קפון

עריכה מדעית:

ד"ר אמונון פישר

עריכת לשון:

ד"ר מרב כץ-קמחי

ראש הפרויקט:

פרופ"מ שולמית קפון

עיצוב גרפי:

נירה רובין

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך, למעט תמונות שלגביהן צוין אחרת (ראו נספח ג')

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגרי מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בספר זה אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמחברות.

נדפס בישראל

תשע"ט 2018

תוכן עניינים

מבוא	4
פרק 1: למה קרינה?	6
פרק 2: מהו גל?	15
פרק 3: גלי קול	21
פרק 4: תכונות של גלים מחזוריים	26
פרק 5: קרינה אלקטרומגנטית	38
פרק 6: הספקטרום האלקטרומגנטי	61
פרק 7: העברה, החזרה ובליעה של גלים	80
פרק 8: האור הנראה	87
פרק 9: השפעת הקרינה האלקטרומגנטית על גוף האדם	104
פרק 10: שימושים רפואיים בקרינה אלקטרומגנטית	121
פרק 11: סוף דבר – קרינה אלקטרומגנטית ופרסומים בכלי התקשורת	130
נספח א': יחידות מידה	132
נספח ב': מונחון	134
נספח ג': רשימת מקורות לתמונות המופיעות בספר	138

מבוא

ההתפתחות הטכנולוגית בעשורים האחרונים הובילה לשימוש הולך וגדל בטכנולוגיה ובמכשירים פולטי קרינה כמו טלפונים ניידים, אנטנות, רשתות אלחוטיות (WiFi), נתבים אלחוטיים (ראוטרים), תנורי מיקרוגל ומכשירים רפואיים וקוסמטיים. אנו נחשפים לקרינה אלקטרומגנטית גם ממקורות קרינה טבעיים כמו השמש. התלמידים של היום הם אזרחי המחר, וגם לאלה שלא יתמחו במדעים, כדאי להכיר את נושא הקרינה האלקטרומגנטית, כדי לדעת כיצד להשתמש באופן נכון וזהיר במכשירים פולטי קרינה, כדי לדעת אילו שאלות כדאי לשאול בנוגע אליהם, כדי להעריך את המידע המגיע אליהם בנושאים אלה, וכדי לקבל כלים נוספים שיסייעו להם בקבלת החלטות מושכלת בנושא הן ברמה האישית והן ברמה הפוליטית.

בשדה המחקר המדעי שבו עסקו יחידות הקרינה והגלים במוט"ל¹ חלו שינויים רבים, בפרט ביישומים הטכנולוגיים. חלק מהמקרים שהוצגו במבניות המקוריות אינם רלוונטיים עוד ונוצר צורך לשלב ידע תוכן עדכני. גם שיטות ההוראה השתנו. בעשורים האחרונים התפתחו שיטות הוראה מגוונות, שחלקן לא באו לידי ביטוי ביחידות המקוריות, כמו למידה במעבדה, פתרון בעיות וקבלת החלטות או שימוש ברשת האינטרנט. המבנית שכתבנו מתבססת על ידע מדעי וטכנולוגי עדכני, על ידע פדגוגי המבוסס על מחקר בחינוך מדעי, ידע מקצועי שנוצר, נבנה והצטבר במוט"ב² ועל עקרונות לפיתוח למידה משמעותית.

הוראת נושא הקרינה מציבה אתגרים פדגוגיים מגוונים, הן בשל מורכבות התוכן המדעי, הן בשל הצורך ללמד את התלמידים להשתמש בידע זה מחוץ לכיתה ובפרט כיצד לקבל החלטות בנושא בתנאי אי-ודאות וריבוי דעות סותרות של אנשי מקצוע ובעלי אינטרסים. התכנים בספר מוצגים מנקודות המבט השונות שאזרחים נחשפים אליהן: מדע, רפואה, טכנולוגיה, כלכלה, תקשורת ואזרחות פעילה. חלק מהפעילויות עוסקות באופן מפורש בהערכה ובעיבוד מידע וכן בקבלת החלטות מושכלת. המבנית מכוונת להעניק בסיס מדעי לדיון אזרחי מושכל בנושא קרינה אלקטרומגנטית. הדיון במושגים מדעיים כמו גל, שדה חשמלי ושדה מגנטי ובשימושים שלהם נעשה באמצעות למידה פעילה, חברתית ויצירתית. כל פרק בנוי סביב שורה של פעילויות מגוונות שמשלבות הדגמות, ניסויים, שימוש מגוון ברשת, משחקי תפקידים וכדומה.

במקור הוגדר הפרויקט כשכתוב, מיזוג ועדכון של שתי מבניות, שעסקו בהיבטים שונים של קרינה אלקטרומגנטית, למבנית אחת. בשלב מוקדם של העבודה הבנו שההתפתחות הטכנולוגית, תוכנית הלימודים החדשה וההתפתחות בשיטות ההוראה בעשורים האחרונים, מחייבות כתיבה של ספר חדש. אנו מבקשות לציין שלושה יוצאים מן הכלל ולהודות לכותבי המבניות המקוריות, שבחומריהם עשינו שימוש בהיתר משרד החינוך:

1 מוט"ל – המקצוע החדש "מדע וטכנולוגיה לכול" שהתפתח מהמקצוע מוט"ב – מדע וטכנולוגיה בחברה

2 מוט"ב – המקצוע "מדע וטכנולוגיה בחברה", או בשמו החדש: מוט"ל – מדע וטכנולוגיה לכול

- בחלק מפרק 8 עשינו שימוש ברעיונות ובתרשימים מהמבנית אור צבע וראייה מאת רבקה גיא, מאירה הלפר ויורם אורעד, בהוצאת המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 1998.
- בחלקים מפרקים 9 ו-10 עשינו שימוש ברעיונות ובתרשימים מהמבנית קרינה מייננת – השפעותיה הביולוגיות ושימושיה מאת מיכל נחשון, בהוצאת משרד החינוך והתרבות, האגף לתוכניות לימודים, 2000. ראש הפרויקט היה פרופסור ראובן לזרוביץ' מהטכניון.

חלק מהפעילויות עושות שימוש בהדמיות מהאתר של אוניברסיטת קולורדו, בולדר:
PhET Interactive Simulations (<https://phet.colorado.edu>)

אם ההדמיות אינן נפתחות, עליכם להתקין תחילה JavaWeb בקישור:

<http://www.java.com/inc/BrowserRedirect.jsp?locale=en&host=www.java.com>

תמצאו בספר גם קישורים והפניות למקורות מתאימים ברשת. ההפניות הנפוצות ביותר הן לסרטונים ולכתבות של מכון דוידסון לחינוך מדעי, של המרכז לטכנולוגיה חינוכית (מט"ח), של האגודה למלחמה בסרטן ושל המשרד להגנת הסביבה. כן תמצאו בספר הפניות לכתבות טלוויזיה באתרי זכייניות השידור בישראל, לכתבות באתרי חדשות ועוד. המקור לכל הפניה מופיע לצד הקישור. המקורות לרוב התמונות הם תמונות ואיורים בקוד פתוח ברשת האינטרנט. נספח ג' מציג את המקור לכל תמונה ואת השימוש שהיוצרים מרשים לעשות בה.

אנו מבקשות להודות מקרב לב לאנשים הבאים שקראו את טיוטות הספר והעירו עליהן:

לד"ר אמנון פישר על השיחות המעמיקות והמעניינות בנושאי שדות וקרינה; למדנו ממך המון!

לד"ר שרית רביד על ההערות מאירות העיניים לפרק 10;

לד"ר מיכל נחשון, מפמר"ית מוט"ל ולמדריכות ולמורות של מוט"ל, רונית פרץ וענת אסולין, שהפנו את תשומת ליבנו לנושאים שהצריכו פישוט, המחשה והוספה או הסרה של מידע;

לעמיר בורנשטיין, פעיל בתחום ההתגוננות האזרחית מקרינה, שאירח את הגר בביתו ושיתף אותנו בהשקפת עולמו בנושאי מדידת קרינה ואמצעי התגוננות מקרינה שמשמשים אנשים פרטיים;

לאביב שרון שהסביר לנו בחן וברוח טובה כיצד ניתן להשתמש באופן חוקי ואתי בתכנים שנמצאים ברשת; עזרת לנו מאוד!

לחברי קבוצת המחקר בתקשורת המדע בראשותה של פרופ' אילת ברעם-צברי בטכניון שהקדישו את אחת מפגישות הקבוצה לדיון בספר; השיחה אתכם סייעה בידינו ללבן ולברר סוגיות שהתלבטנו בהן.

אנו מאחלות לכם הוראה ולמידה פוריות ומעניינות!

הגר וקסלר ושולמית קפון

ספטמבר, 2018

פרק 1: למה קרינה?

ודאי נתקלתם פעמים רבות במושג קרינה. הקרינה מצויה בכל מקום ויש לה אין-ספור שימושים. השמש והכוכבים פולטים קרינה. עיקרון הפעולה של מכשירים רבים כמו טלפונים ניידים, נתבי רשת אלחוטיים (ראוטרים), מקלטי רדיו, נורות ומכשירי מיקרוגל, מבוסס על קרינה. הקרינה מצויה סביבנו בכל אשר נלך. קרינת השמש, למשל, חיונית לקיום החיים. במקרים אחרים, הקרינה חיונית לקיום אורח החיים שאליו אנו רגילים, הכרוך בשימוש בטכנולוגיות מתקדמות. עם זאת, חשיפה מוגזמת לקרינה עשויה להיות מסוכנת ואף קטלנית.

כחברה, עלינו לקבל החלטות בשאלות הדורשות ידע בתחום הקרינה: האם כדאי לייצר חשמל בתחנת כוח גרעינית? האם מומלץ להתקין רשת תקשורת אלחוטית בבתי-ספר או שעדיף להימנע מכך? האם לאשר הקמת אנטנות סלולריות בסביבת מגורים? גם ברמה האישית, במודע או שלא במודע, כל אחד מאיתנו מקבל החלטות הקשורות לקרינה: אילו מכשירים חשמליים לרכוש? היכן למקם את המכשירים בחלל הבית? אילו בדיקות רפואיות לעבור? האם להרשות לילדים צעירים להשתמש בטלפון נייד? לשאלות אלה אין תשובות חד-משמעיות. אולם, כדי להגיע להחלטות מיטביות, יש להיות מודעים לשיקולי בריאות, כלכלה וסביבה ולהיות בעלי ידע מדעי בסיסי בנושא.

ממי לומדים?

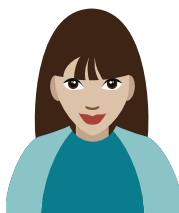
דיונים והחלטות בנושאי קרינה אלקטרומגנטית מתקיימים ומתקבלים בין מקבלי החלטות, בעלי עניין ויועצים שלהם השקפות ואינטרסים שונים. כאזרחים שאינם, בהכרח, מומחים בנושא, אנו לומדים על דיונים והחלטות אלה באופן עקיף – מקריאה בעיתונות, מצפייה בטלוויזיה, משיטוט באינטרנט ועוד. כצרכני תקשורת, עלינו להבין מי הכותב שמפרסם את המידע על נושאי קרינה, מה האינטרסים שלו ועל אלה מקורות בעלי אינטרסים הוא מסתמך, שכן לנושא הקרינה יש השלכות מדעיות, סביבתיות, כלכליות וחברתיות. בספר הלימוד שלפניכם, בחרנו ללמד אתכם על קרינה מנקודות המבט של בעלי תפקידים שונים, כל אחד מומחה בתחומו:

- **פרופסור גלי קורן** – פיזיקאית החוקרת תופעות של קרינה אלקטרומגנטית. פרופ' קורן תציג בפניכם את הרקע המדעי הנדרש לדיון בנושאי קרינה.
- **מר נהוראי מאיר** – טכנאי אלקטרוניקה שיסביר את עיקרון הפעולה של מכשירים שונים ואת השימושים הטכנולוגיים של הקרינה;
- **ד"ר אורית רופא** – רופאת משפחה שתציג את ההשלכות הרפואיות של חשיפה לקרינה ותספר על שיטות אבחון וטיפול רפואי באמצעות קרינה;

- **מר חיים גרין** – פעיל בארגוני סביבה שיספר על קרינה בטבע ויסב את תשומת ליבנו להשפעות הסביבתיות של מכשירים קורנים;
- **מר יששכר כספי** – מנכ"ל חברת תקשורת שיסביר את ההיבטים הכלכליים של שימושים טכנולוגיים ותעשייתיים בקרינה;
- **מר יעקב חדש** – עיתונאי שיציג את נקודת המבט של התקשורת והעיתונות;
- **אוריאנה שמש** – תלמידה שתשוחח עם בעלי התפקידים ותבהיר נקודות מעניינות.



ד"ר אורית רופא
רופאה



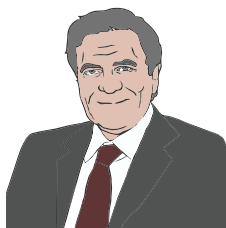
אוריאנה שמש
תלמידה



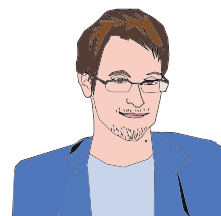
פרופ' גלי קורן
פיזיקאית



נהוראי מאיר
טכנאי אלקטרוניקה



יששכר כספי
מנכ"ל חברת תקשורת



יעקב חדש
עיתונאי



חיים גרין
פעיל סביבתי

תמונה 1.1: ממי לומדים? (מקור: ראו נספח ג')

מה קורן?



קרינה היא אחת הצורות של מעבר אנרגיה. כאשר גוף קורן הוא פולט אנרגיה לסביבתו.

אוריאנה:	מה גורם להיווצרות קרינה?
פרופ' גלי קורן:	כשמטענים חשמליים משנים את מהירותם הם פולטים קרינה. גם באנטנות שידור עוברים זרמים חשמליים שיוצרים קרינה.
אוריאנה:	ומה לגבי קרינת השמש? האם היא תוצאה של זרמים חשמליים בשמש?
פרופ' גלי קורן:	לאו דווקא. קרינה נפלטת גם מגופים חמים. למשל, כאשר מחממים ברזל לטמפרטורות גבוהות, הוא מתחיל להאיר באור אדמדם. להבת נר קורנת משום שחלקיקי הפיח שבה מתלהטים לטמפרטורות גבוהות. למעשה, כל גוף וחפץ קורן בהתאם לטמפרטורה שלו.
אוריאנה:	כל גוף וחפץ? אבל, פרופסור, את למשל אינך נראית לי קורנת....
פרופ' גלי קורן:	ישנם סוגי קרינה שהעין שלנו אינה מסוגלת לקלוט, למשל, הקרינה שאני פולטת. מכשירים לראיית לילה מזהים את הקרינה הנפלטת מחום גופם של אנשים.
אוריאנה:	כלומר, קרינה נפלטת מגופים חמים או מזרמים חשמליים משתנים?
פרופ' גלי קורן:	כן. בנוסף, קרינה נפלטת גם מחומרים רדיואקטיביים אך לא נלמד עליהם בשלב זה.

בכל מקום ובכל זמן אנו חשופים לקרינה. היקום כולו מלא בקרינה המכונה **קרינת הרקע הקוסמית**. זוהי קרינה שמקורה במפץ הגדול³ והיא מגיעה אלינו מכל כיוון בחלל באופן אחיד. גם כוכבי הגלקסיה שלנו והשמש פולטים קרינה אל עבר כדור-הארץ. חלק גדול מהקרינה הזו נחסם על-ידי המגנטוספירה⁴ והאטמוספירה⁵ שמקיפות את כדור-הארץ. לאזורים גבוהים חודרת קרינה רבה יותר. לכן, בעת טיסה, כשאנו מצויים בגובה של 8-12 ק"מ מעל לארץ, אנו חשופים לקרינה במידה רבה יותר מאשר בעת הליכה על הקרקע.

3 התיאוריה המדעית המקובלת כיום היא שלפני כ-14 מיליארד שנים, "נולד" היקום במפץ הגדול. המפץ הגדול היה פיצוץ של נקודה אחת שממנה החל היקום להתפשט.

4 מגנטוספירה היא אזור נרחב מסביב לכדור-הארץ שבו מורגש השדה המגנטי של הארץ.

5 אטמוספירה היא שכבת הגזים שמקיפים גוף שמימי. האטמוספירה של כדור-הארץ מכילה שכבות גזים שונות, ביניהן האוויר שסביבנו ושכבת האוזון שמצויה בגובה של 10-50 ק"מ מעל פני האדמה. שכבת האוזון בולעת חלק מהקרינה העל-סגולה שמגיעה מהשמש.



אוריאנה: אנחנו מוקפים בקרינה! זה מסוכן?

חיים גרין: מזל שאנו מוקפים בקרינה. צמחים משתמשים בקרינת השמש כדי להפוך פחמן דו-חמצני ומים לסוכרים בתהליך הפוטוסינתזה. בעלי-חיים וגם האדם מייצרים ויטמין D⁶ בחשיפה לקרינה. ללא קרינה, לא היה לנו מזון.

ד"ר אורית רופא: אבל אל תשכחו שקרינה חזקה עלולה לפגוע בתאי הגוף. לכן, עלינו להכיר את מקורות הקרינה ולהימנע מחשיפה מוגזמת.

בנוסף למקורות הקרינה הטבעיים, ישנם גם מקורות קרינה שיצר האדם. אלו הם האנטנות, קווי המתח והמכשירים החשמליים. מכשירים רבים פועלים באמצעות פליטה וקליטה של קרינה. נורות פולטות אור שהוא סוג של קרינה. טלפונים ניידים, טלפונים אלחוטיים, נתבים אלחוטיים (ראוטרים), אנטנות טלוויזיה ומכשירי רדיו קולטים ופולטים קרינה שאינה נראית לעין. מכשירי מיקרוגל ותנורי סלילים מחממים על-ידי פליטת קרינה. גם מכשירי חשמל אחרים, שתפקידם אינו קליטה או שידור, עשויים להיות מקורות קרינה.

למעשה, גם בקרבת מכשירי חשמל ביתיים רגילים אנו חשופים לקרינה. בהמשך נראה שזרמים חשמליים משתנים פולטים קרינה, שמשפיעה בעיקר כשאנו קרובים למכשיר. המשרד לאיכות הסביבה מגדיר תקנים לחשיפה לקרינה גם בקרבת מכשירי חשמל ביתיים.



חיים גרין: כן, הקרינה של המכשירים בעייתית. היהירי מפניה אוריאנה!

יששכר כספי: אל תפחיד את הילדה. הסיכון בחשיפה לקרינה ממכשירים חשמליים אינו גבוה ואילו התועלת לכלכלה ולאיכות החיים עצומה!

ד"ר אורית רופא: אין ספק שאורח החיים המודרני הביא לשיפור בבריאות האדם ולהארכת תוחלת החיים שלו. הבית המודרני, עם מכשירי הקורנים, בריא יותר מאשר אוהל. גם הרפואה משתמשת בקרינה, למשל, בצילומי רנטגן. אבל, חשיפה מוגזמת לקרינה ממקורות טבעיים או ממכשירים חשמליים עלולה להזיק. לכן, אני מציעה לך לנהוג בתבונה בכל הקשור לחשיפה לקרינה ולשימוש במכשירים קורנים.

אוריאנה: לנהוג בתבונה? מה זאת אומרת?

נהוראי מאיר: אל דאגה אוריאנה, נסביר לך הכל בפרקים הבאים.

פעילות 1.1: מקורות קרינה

רשמו שמות של חפצים או גופים קורנים (כלומר, מפיצים קרינה) ומיינו אותם לפי הקטגוריות הבאות: מקורות קרינה טבעיים, מכשירים המיועדים להפיץ קרינה, מכשירים שקורנים אך אינם מיועדים להפיץ קרינה.

מקורות קרינה טבעיים	מכשירים המיועדים להפיץ קרינה	מכשירים שקורנים אך אינם מיועדים להפיץ קרינה

לדיון בכיתה: אילו מבין מקורות הקרינה ניתנים לשליטה? מיינו את מקורות הקרינה גם לפי הקטגוריות הבאות:

- מקורות קרינה שאינם בשליטת האדם
- מקורות קרינה באחריות גופי שלטון כמו הממשלה או העירייה
- מקורות קרינה ביתיים

שאלה למחשבה: האם מחזיר אור הוא מקור קרינה?



נהוראי מאיר: כיצד קרינת המיקרוגל מחממת את המזון?

את התשובה תמצאו בפרק 5.

ד"ר אורית רופא: רוצים לדעת מהו מכשיר סי-טי? אספר לכם בפרק 10.

חיים גרין: ואני אגלה לכם כבר עכשיו שגחליליות מאירות ובדרך זו מושכות בני זוג, ואילו דגי חכאי מאירים במצולות הים ובדרך זו מפתים את טרפם.

פעילות 1.2: צפייה בכתבה איך אנחנו הורגים את עצמנו: קרינה

צפו בכתבה של אברי גלעד בערוץ השידור **רשת**,
איך אנחנו הורגים את עצמנו: קרינה⁷, וענו על השאלות.



אוריאנה: הורגים את עצמנו? מי נהרג?

יעקב חדש: אוריאנה, זו רק כותרת שמטרתה למשוך את תשומת ליבך ולשכנע אותך לצפות בכתבה!

1. מהי הסוגייה המרכזית שבה עוסקת הכתבה?

2. האם הכתבה מספקת מענה חד-משמעי לסוגייה זו? נמקו.

3. דוברים שונים מציגים את עמדתם בכתבה. חלקם מתבססים על ניסיונם האישי ואחרים על מחקר מדעי. למשל, ג'ניפר ווד מספרת שהמעבר לעיירה גרינבנק, שבה אסור לשדר קרינה, שיפר את בריאותה באופן ניכר וסייע לה להתאושש מתת-משקל.

א. האם אתם מאמינים שהמעבר לסביבה נטולת קרינה עוזר לג'ניפר? הסבירו.

ב. האם ניתן להסיק שכדאי לאנשים הסובלים מתת-משקל להימנע לחלוטין מחשיפה לקרינה?

ג. כיצד ניתן לבדוק אם הימנעות מקרינה מסייעת לאנשים הסובלים מתת-משקל?

ד. מהי העמדה המדעית בקשר לקרינה, כפי שמציגים אותה הרופאים והחוקרים המופיעים בכתבה?

ה. מדוע קשה לקבוע תקן שיגביל חשיפה לקרינה?

4. עובדה או דעה?

עובדה היא קביעה אובייקטיבית שאין עליה ויכוח, דבר הידוע כאמת ושניתן להוכיח את אמיתותו. לעומתה, דעה היא השקפה, עמדה או מחשבה של אנשים על נושא מסוים ולכן יכולה להשתנות מאדם לאדם.

מיינו את ההיגדים הבאים, שהוזכרו בכתבה, לעובדות ולדעות והסבירו את השיקולים שעמדו לנגד עיניכם. רמז: שאלו את עצמכם אם ניתן להוכיח את ההיגד באמצעות ניסוי או תצפית אובייקטיביים.

א. תקן הקרינה המותרת אינו מספיק מחמיר.

עובדה או דעה? הסבירו.

ב. ילדים ובני נוער רגישים יותר לקרינה מאשר מבוגרים.

עובדה או דעה? הסבירו.

ג. בשנים הקרובות רבים יסבלו מרגישות לקרינה.

עובדה או דעה? הסבירו.

ד. קרינה עשויה לפתוח את מחסום דם-מוח. (ראו שיחה בתחתית הדף).

עובדה או דעה? הסבירו.

ה. מיזם התקשוב של משרד החינוך פוגע בבריאות התלמידים.

עובדה או דעה? הסבירו.

ו. תקשורת אלחוטית בבתי-הספר מייעלת את הלמידה.

עובדה או דעה? הסבירו.

5. מלאו את הטבלה הבאה וקבעו עד כמה הכתבה אמינה בעיניכם.

קריטריון	כיצד אתם מעריכים את הכתבה? פרטו
מומחיות הדוברים	
אובייקטיביות	
עדכניות	
התאמה בין שם הכתבה לתוכנה	



אוריאנה: מהו מחסום דם-מוח שמזכירים בכתבה?

ד"ר אורית רופא: זהו מבנה קרומי המונע מחומרים מזיקים לעבור ממחזור הדם אל המוח.

פעילות 1.3: בדקו את עצמכם

1. מי מהבאים אינו מקור קרינה?

- א. השמש
- ב. הירח
- ג. טלפון נייד
- ד. נתב אלחוטי (ראוטר)

2. קרינה נפלטת מ

- א. גופים חמים
- ב. זרמים חשמליים משתנים
- ג. התפרקויות רדיואקטיביות
- ד. כל התשובות נכונות

3. הקרינה

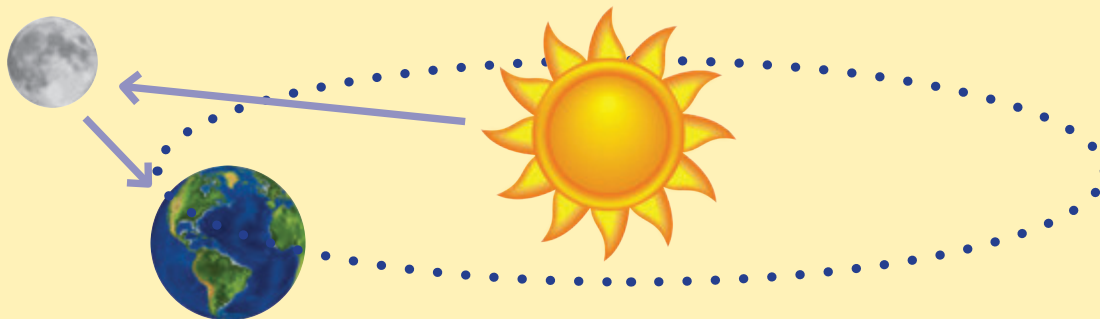
- א. מזיקה לאדם
- ב. מועילה לאדם
- ג. מזיקה לחי ולצומח אך מועילה לאדם
- ד. גם מועילה וגם מזיקה לאדם

הרחבה: מהו כוכב?

בחלל ישנם גופים הפולטים קרינה רבה. אלו הם הכוכבים. מדוע הכוכבים קורנים? הכוכבים הם, למעשה, ענני גז צפופים וגדולים מאוד. כמו שאנחנו נמשכים לכדור-הארץ בכוח הכבידה, כך גם ענני הגז העצומים האלו אינם מתפזרים הודות לכוח כבידה המושך אותם לכיוון מרכז הענן. כיוון שהכוכבים גדולים וכבדים כל-כך, כוחות המשיכה חזקים וענן הגז דחוס מאוד. הלחצים הגבוהים בענן גורמים לטמפרטורות גבוהות מאוד, והדבר מאפשר תהליך בעירה הקרוי היתוך גרעיני. בהיתוך זה, הגז משנה את סוגו ומשחרר אנרגיה רבה לחלל בצורת אור וחום.

השמש שלנו היא סוג של כוכב המורכב בעיקר ממימן. בתהליך של היתוך גרעיני, המימן הופך להליום ומשתחררת אנרגיה בצורה של אור וחום. תהליך זה דומה לתהליך שקורה בפצצת מימן.⁸ מה יקרה כשהמימן, שהוא חומר הבעירה בשמש, ייגמר? השמש שלנו תשתנה לבלי היכר ותהפוך לכוכב גדול מאוד המכונה **ענק אדום**. כשתהליך זה יתרחש, בעוד כמה מיליארדי שנים, לא יתאפשרו חיים על-פני כדור-הארץ במתכונתם הנוכחית.

האם גם הירח הוא כוכב? הירח הוא גוף שמימי אך אינו כוכב. במילים אחרות, הוא אינו מקור קרינה. הירח מתפקד כמחזיר אור המחזיר אלינו אור מהשמש. גם כדור-הארץ אינו כוכב, משום שאינו מאיר. כדור-הארץ מוגדר כ**כוכב לכת**. ראו תרשים:



תמונה 1.2: השמש, כדור-הארץ והירח (מקור: ראו נספח ג')
הערה: התמונה נועדה להמחשה בלבד. הממדים היחסיים של גרמי השמיים והמרחקים ביניהם אינם נכונים.

פרק 2: מהו גל?

שאלה שתוכלו להשיב עליה אחרי שתלמדו את הפרק:

מה משותף לגל ידיים באצטדיון ולגלים שאנו "תופסים" בים?

מושגים מרכזיים שנעסוק בהם בפרק זה:

גל, תווך, הפרעה, כיוון ההתקדמות של ההפרעה

בפרק הקודם למדתם על מקורות קרינה, כלומר, על עצמים שפולטים קרינה. אם כך, קרינה היא משהו שנפלט ממקור מסוים ומתקדם במרחב.



אוריאנה: משהו? איזה משהו?

פרופ' גלי קורן: אנרגיה

אוריאנה: על אנרגיה כבר למדתי בשנה שעברה! אבל, לפי מה שלמדתי, אנרגיה תמיד משויכת לאיזשהו גוף. למשל, לכדור בראש מגדל גבוה יש אנרגיה פוטנציאלית כובדית או אנרגיית גובה. לכדור שנע במהירות יש אנרגיית תנועה או אנרגיה קינטית. האנרגיה הזו היא של הכדור. למי שייכת האנרגיה של הקרינה? מה הדבר שנפלט ממקור הקרינה וסוחב איתו אנרגיה?

פרופ' גלי קורן: כאשר מדובר בקרינה חלקיקית, נפלטת ממקור הקרינה חלקיקים בעלי אנרגיה קינטית גבוהה. זה קורה בעיקר בהתפרקויות רדיואקטיביות שעליהן לא נלמד כעת. אנו נתרכז דווקא בקרינה גלית שהיא הרבה יותר נפוצה.

אוריאנה: מה זאת קרינה גלית? האם ניתן להעביר אנרגיה מבלי להיזדקק לחלקיקים ש"יסחבו" אותה?

פרופ' גלי קורן: כן, בוודאי שניתן. כמעט כל מקורות הקרינה שהזכרנו בפרק הקודם משדרים גלים שנושאים את האנרגיה.

אוריאנה: איך זה קורה? מהו גל?

מהו גל?

גל הוא הפרעה המתקדמת במרחב ובזמן. במילים אחרות, התנוך שבתוכו נעה ההפרעה נשאר במקום אבל ההפרעה מתקדמת. הנה כמה דוגמאות:

גלים בים – רואים שהגלים מתקדמים לעבר החוף, ולמרות זאת, הים אינו מתרוקן. המים בים הם התנוך והם אינם מתקדמים. ההפרעה היא העלייה והירידה המקומית של מפלס המים והיא כן מתקדמת.

”גל ידיים” באיצטדיון – רואים את הגל זז מקצה אחד לשני, אך אף אחד מהצופים אינו משנה את מקומו. התנוך הוא קהל הצופים והם נשארים במקום. ההפרעה היא תנועת הידיים מעלה ומטה והיא מתקדמת.

גלים בקפיץ – אם שני תלמידים אווזים בקצותיו של קפיץ ואחד מהם דוחף את קצה הקפיץ לעבר השני מבלי לשחרר אותו, נראה גל העובר מצד לצד. התנוך הוא הקפיץ והוא נשאר במקום. ההפרעה היא הכיווץ והמתחה המקומיים של הקפיץ והיא מתקדמת לאורך הקפיץ. אם התלמידים ימתחו את הקפיץ הצידה, במאונך לו, (ראו תמונה 2.1), נראה גל אחר שנע מצד לצד. גם במקרה זה התנוך שהוא הקפיץ, נשאר במקום, וההפרעה שנעה לאורך הקפיץ היא התנועה הצידה. בשני המקרים, הצורה של הגל בקפיץ נקבעת לפי צורת ההפרעה הראשונית.

פעילות 2.1: גלים בקפיץ

צפו בשני הסרטונים בקישורים הבאים וענו על השאלות שמשולבות בהם:⁹



גל ארוכי בקפיץ



גל רוחבי בקפיץ

חשוב להפעיל את הסרטונים על מסך מלא כדי לראות את כל הטקסט. מקמו את העכבר בפינה הימנית התחתונה של המסך והאפשרות לעבור למסך מלא תופיע. מומלץ לחזור על ההדגמות בכיתה.

⁹ אלונה משעל ויוליה ברונשטיין פיתחו את הסרטונים האינטראקטיביים במסגרת הקורס

פרויקט פיתוח תוכנית לימודים בפיזיקה, בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון, בסמסטר אביב תשע”ז.

<https://video.helloeko.com/v/V50pXA?autoplay=true>

<https://video.helloeko.com/v/VLbPgZ?autoplay=true>



תמונה 2.1: גל מתקדם בקפיץ (מקור: ראו נספח ג')

**אוריאנה:**

אתמול קראתי בעיתון ש"גל תאונות דרכים" פקד את הארץ.

יעקב חדש:

כן, לפעמים אנחנו כותבים "גל" כדי לתאר אוסף של תופעות דומות, או תופעה פתאומית חזקה במיוחד. למשל: גל תאונות דרכים, גל פיגועים, גל של מעשים טובים, גל חום. משמעות המילה גל בביטויים אלה שונה מהמשמעות המדעית של המילה גל. יש הרבה מילים בשפה שיש להן משמעות שונה בהקשרים שונים. למשל, המילה עכבר מסמלת בעל-חיים בהקשר אחד ואביזר שמחובר למחשב בהקשר אחר.

אוריאנה:

כשמדובר במילה עכבר, אני יודעת מיד מתי מדובר בחיה, ומתי מדובר בעכבר של המחשב שלי. אבל כשמדובר במילה גל, איך אוכל לדעת האם מדובר בגל במשמעות המדעית שלו (כמו במקרים של קרינה, למשל) או במשמעות אחרת של המילה גל?

פרופ' גלי קורן:

כשאנו משתמשים במונח גל במדע, אנו יכולים להצביע על הפרעה שמתקדמת באופן עקבי בתווך שאינו זז. כאשר יוצרים גל בקפיץ, גורמים לו להתנדנד באופן מסודר. כלומר, ברגע ששחררנו את הגל, התנועה תעבור דרך כל הקפיץ מצד אחד לצד שני. במצב זה, אנו יכולים לדמיין איך ייראה הקפיץ כעבור שנייה או שתיים מרגע השחרור. לעומת זאת, בגל תאונות הדרכים ששמעת עליו בחדשות, אין שום דבר שמתקדם. אין קשר בין תאונות הדרכים הראשונה לשנייה ולשלישית. הידיעה על מיקום התאונה הראשונה אינה מאפשרת לנו לחזות את התאונות הבאות, זה פשוט אוסף של מקרים שאינם תלויים זה בזה. השימוש במילה גל בביטוי גל תאונות דרכים שונה מהמשמעות המדעית של המילה גל!

פעילות 2.2: גלים בחיי היום-יום ובמובן המדעי

מיינו את הדוגמאות הבאות לגלים במובן המדעי ולגלים אחרים.
עבור גלים במובן המדעי, ציינו מהו התווך שבו מתקדם הגל ומהי ההפרעה.
עבור הגלים האחרים, הסבירו מדוע אינם גלים במובן המדעי של המילה.

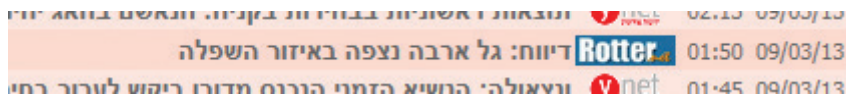


תמונה 2.2: אבן פוגעת במים (מקור: ראו נספח ג')

1. אבן הפוגעת במים יוצרת גל
גל במובן המדעי / גל אחר? הסבירו.

2. גל ארבה

גל במובן המדעי / גל אחר? הסבירו.



תמונה 2.3: דיווח מתאריך 9.3.2013 (מקור: ראו נספח ג')

3. גל לאומיות (מתוך חדשות וואלה!)

גל במובן המדעי / גל אחר? הסבירו.

תושבי קמבודיה מחכים למלחמה נגד תאילנד

הקרבות שניצתו בגבול תאילנד-קמבודיה, בשל מחלוקת בעלות על מקדש בן 900 שנה, הביאו להתעוררות של גל לאומיות בקרב הקמבודים

תמונה 2.4: חדשות מתאריך 16.10.2008 (מקור: ראו נספח ג')



4. גלים בקפיץ

גל במובן המדעי / גל אחר? הסבירו.

תמונה 2.5: גל מתקדם בקפיץ (מקור: ראו נספח ג')

5. גל הדף (מתוך חדשות ynet)

גל במובן המדעי / גל אחר? הסבירו.

סא"ל בני ברוש, מהנדס המיגון של פיקוד העורף, מזכיר:

כאשר ראש נפץ תקין פוגע בקרקע, בקיר מבנה או בכל עצם אחר, מתפוצץ חומר נפץ ומעטפת הפלדה מתבקעת ומתרסקת. כתוצאה, מתפזרים לכיוונים רבים גל הדף ואלפי רסיסים לוחטים שעלולים לפגוע בנו. עוצמתם של הרסיסים וההדף תלויה במשקל הראש הקרבי, בהרכבו ובקרבתו אלינו.

תמונה 2.6: דיווח מתאריך 9.8.2014 (מקור: ראו נספח ג')

6. גל קור (מתוך מעריב)

גל במובן המדעי / גל אחר? הסבירו.

קר, ואפילו מאוד: בימים הקרובים יפקוד את ישראל גל קור יבש ששיאו יורגש מחר בלילה - הטמפרטורות בהרים צפויות להגיע לאזור ה-10 מעלות ואף נמוך יותר בפסגות ההרים הגבוהות בצפון. אנשי המטאורולוגיה הסבירו כי הסיבה לגל הקור היא לחץ אוויר גבוה שנוצר באזור הרי הקווקז בשילוב אפיק המגיע מים סוף, שביחד מייצרים זרימות אוויר יבשות וקרות.

תמונה 2.7: כתבה מתאריך 4.12.2015 (מקור: ראו נספח ג')



אוריאנה:

ומהו גל קרינה? מהי ההפרעה?

מהו התווך שבו מתקדם הגל?

פרופ' גלי קורן:

בנושאים אלה נדון בפרקים הבאים. לפני שנדון בגלי קרינה, או בשמם המקובל יותר, קרינה אלקטרומגנטית, עלינו להכיר כמה מושגים שבהם אנו משתמשים כדי לתאר תכונות של גלים. קל יותר להבין את משמעות המושגים האלה באמצעות דוגמאות לגלים מכניים שבהם ההפרעה מתבטאת בתזוזה מקומית כמו גל בקפיץ, גל במים או גל קול.

סיכום הפרק

גל הוא הפרעה או יציאה ממצב שיווי משקל שמתקדמת בתווך¹⁰ שאינו זז. כדי לזהות גל יש לזהות את ההפרעה ואת כיוון ההתקדמות של ההפרעה.

פרק 3: גלי קול

שאלה שתוכלו להשיב עליה אחרי שתלמדו את הפרק:

האם ניתן לשוחח בחלל החיצון?

מושג מרכזי שנעסוק בו בפרק זה:

גל קול

הקול שאנו שומעים הוא גל במשמעות המדעית של המילה. גל קול הוא הפרעה שמשנה באופן מקומי את הלחץ בתווך שבו היא עוברת. בדומה לגל האורכי בקפיץ שבפעילות 2.1, חלקיקי התווך נדחסים זה לעומת זה כאשר עובר דרכם גל קול ומשנים את הלחץ בתווך. התווך יכול להיות אוויר, ויכול להיות חומר אחר כמו גז, נוזל או מוצק. כאשר גל קול מגיע לאוזננו השינוי בלחץ האוויר גורם לעור התוף, שהוא קרום המתוח בתוך האוזן, לרטוט. המוח מפרש את הרטט כצלילים.

פעילות 3.1: סוכר רוקד

1. קחו פחית שוקולית או נס קפה ומתחו עליה בלון.
2. פזרו על הבלון מעט סוכר. ניתן להשתמש גם במלח או אורז.
3. הניחו את הפחית בצמוד לרמקול. להעצמת התופעה, ניתן להשמיע את המוזיקה באמצעות רמקול או טלפון נייד שנמצא בתוך הפחית.
4. השמיעו מוזיקה בעוצמה חזקה עם קולות בס והתבוננו בסוכר. מה אתם רואים? מדוע?



תמונה 3.1: אורז רוקד לצלילי מוזיקה (מקור: ראו נספח ג')

גל הקול שיוצר הרמקול גורם לשינויי לחצים באוויר שבסביבתו. שינויי הלחצים ליד הבלון מניעים אותו. הבלון נשאב לעבר אזורים שבהם לחץ האוויר נמוך יותר ונדחף החוצה מאזורי לחץ גבוה. כאשר הלחץ בסביבת הבלון משתנה, משתנה תנועתו בהתאם ואנו רואים רעידות שמקפיצות את גרגרי הסוכר בקצב המוזיקה. עור התוף שבאוזניים רוטט כמו הבלון.

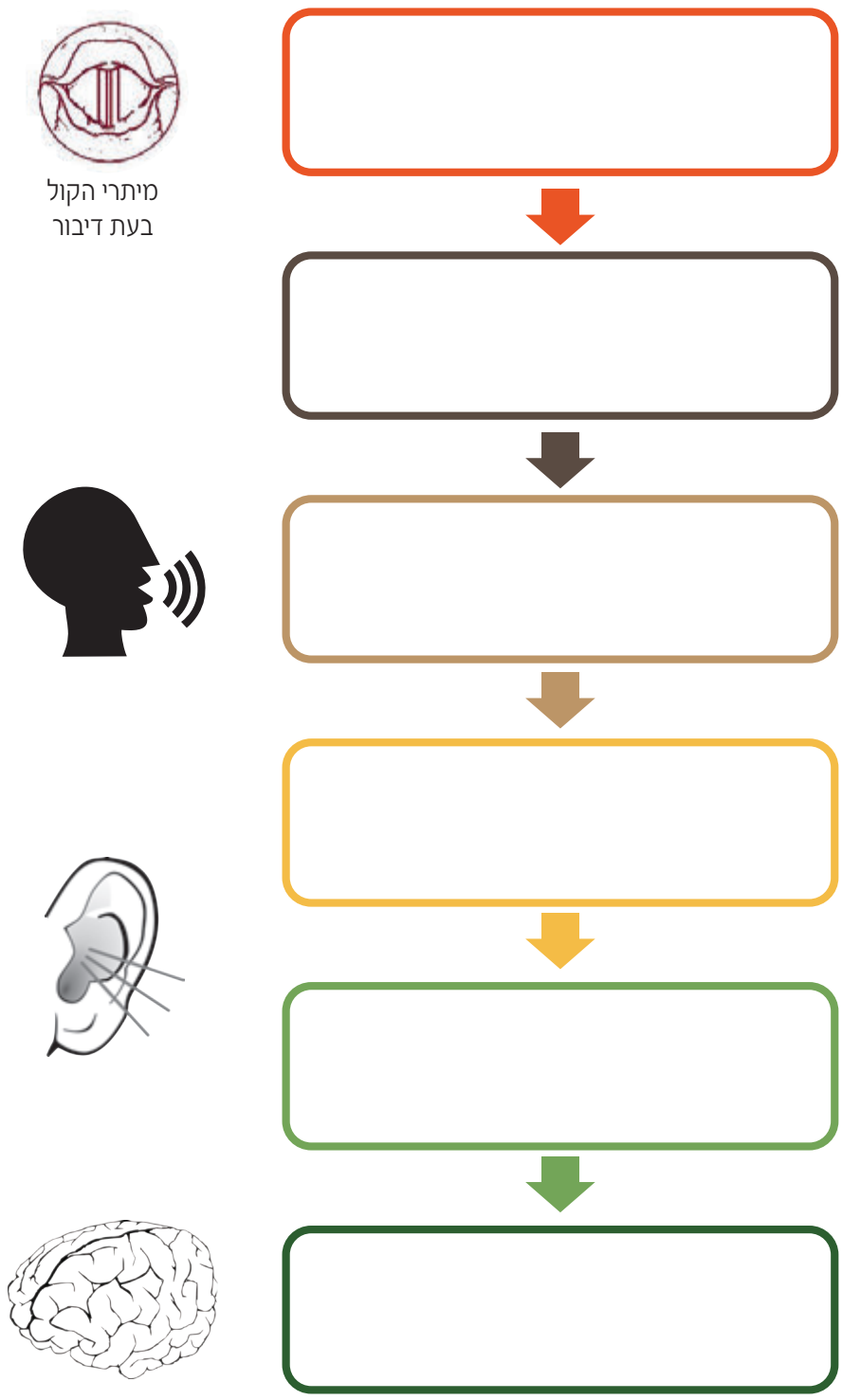
התנגשויות בין חלקיקי האוויר גורמות לכך שההפרעה – או השינוי המקומי בלחץ – תתקדם במרחב ותגיע לאוזננו, בדומה לאופן שבו התקדמה ההפרעה בסרטון הקפיץ בפעילות 2.1. שינויי הלחץ ליד האוזן מרטיטים את עור התוף ומתפרשים כצליל.

מה יוצר שינוי מקומי בלחץ בעת דיבור או נגינה?

פעילות 3.2: מיתרי הקול

הניחו יד על הצוואר במקום שבו נמצאים מיתרי הקול שלכם. השמיעו צליל חזק. מה אתם מרגישים באצבעות? סדרו את ההיגדים הבאים בסדר המתאים בתרשים הזרימה שבעמוד הבא:

- השרירים מותחים את מיתרי הקול. כאשר נושפים אוויר, המיתרים רוטטים.
- הרטט של עור התוף מפורש במוח כצליל.
- גל הקול מתקדם מסביבת מיתרי הקול דרך חלל הפה אל האוויר שבסביבת הדובר.
- כשהגל מגיע לאוזני המאזינים, השינויים בלחץ האוויר – או ההפרעה שיוצר גל הקול – מרטיטים את עור התוף.
- התנגשויות בין חלקיקי האוויר מקדמות את גל הקול בחלל החדר.
- חלקיקי האוויר הסמוכים למיתרים מושפעים מהרטט. הם נדחסים ומתרווחים ליצירת גל לחצים שהוא גל קול.



כמו דיבור, גם פריטה על מיתרי גיטרה מייצרת שינויי לחץ מקומיים שמתקדמים בצורת גלי קול. בעת תיפוף, פני התוף רועדים ומשנים את לחץ האוויר בסביבתם. גם רמקול פועל תוך הרעדה של ממברנה (קרום), הרעדה שיוצרת גל של שינויי לחצים.

הרחבה: זמזום דבורים

פעם היה מקובל לחשוב שזמזום הוא צורת הדיבור של הדבורים וכי הן יכולות לשלוט בו כרצונן. אולם, מתברר כי זמזום הדבורים הוא תופעת לוואי של נפנוף הכנפיים שלהן. כאשר דבורה עפה, היא מניעה את כנפיה במהירות. תנועת הכנפיים יוצרת גל לחצים הנשמע כזמזום.

פעילות 3.3: היוצרות גלי קול

בטבלה שלפניכם מופיעות תופעות שונות. אילו מהן יוצרות גל קול?

אם נוצר גל קול, הסבירו מה גרם לשינוי המקומי בלחץ האוויר. אם לא נוצר גל, הסבירו מדוע.

תופעה	האם נוצר גל קול?	אם כן, מהו הגורם לשינוי מקומי בלחץ? אם לא, מדוע?
מחיאות כפיים		
הנפת יד לסימון עצור		
שריקה		
תיפוף		
זמזום דבורים		
דיבור		
בלון מנופח		
בלון מתפוצץ		



אוריאנה:

מה יקרה אם נדבר באזור שאין בו אוויר, למשל,



בחלל החיצון או באזור ששאבו ממנו את האוויר? האם קולנו יישמע?

פרופ' גלי קורן:

איזה צירוף מקרים! בדיוק אתמול צפיתי עם ילדיי בפרק של החפרנים בטלוויזיה החינוכית.¹¹

בפרק ניסו לענות על השאלה הזו באמצעות הדגמות וניסויים נחמדים. המסקנה מהניסויים היא שגלי הקול יכולים להתקדם רק בתווך. בריק אין חלקיקים שניתן לדחוס או לרווח ולכן אין אפשרות ליצור גל לחצים. בחלל החיצון קולנו לא יישמע!

כל הדוגמאות לגלים שראינו עד עכשיו הם גלים מכניים שאפשר לתאר אותם כהפרעה שמתקדמת בתווך מסוים כמו אוויר, קפיץ או מים. לעומתם, גלי קרינה יכולים להתקדם גם בריק. למשל, אור השמש מגיע אל כדור הארץ דרך החלל הריק. נרחיב על כך בפרקים הבאים.

סיכום הפרק

קול הוא דוגמה לגל מכני. ההפרעה שמתקדמת בגל קול היא שינוי בצפיפות החלקיקים בתווך, כלומר שינוי מקומי בלחץ.

¹¹ <https://www.youtube.com/watch?v=bQVFD9kKCKI>

פרק 4: תכונות של גלים מחזוריים

שאלות שתוכלו להשיב עליהן אחרי שתלמדו את הפרק:

- מה ההבדל בין גל ידיים באצטדיון לגל קרינה?
- מה מאפיין קולות שכלבים יכולים לשמוע ואנשים אינם יכולים לשמוע?

מושגים מרכזיים שנעסוק בהם בפרק זה:

גל מחזורי, זמן מחזור, תדירות, אורך גל, משרעת, מהירות התקדמות של גל, אנרגיה של גל

גלי הקול שאנו שומעים וגלי הקרינה שעליהם נלמד בהמשך הם גלים מחזוריים. לא כל גל הוא גל מחזורי. למשל, הגל שראיתם בקפיץ בהדגמה 2.1 וגל הידיים באצטדיון אינם גלים מחזוריים. בפרק זה נלמד מהם גלים מחזוריים ומהן התכונות שלהם. הבנה של תכונות אלה תאפשר לנו להבין מה ההבדל בין גלי קרינה שונים, מדוע חלק מהם מסכנים אותנו מאוד ואחרים הרבה פחות ומה השימושים שלהם.

מהי תופעה מחזורית?

תופעה מחזורית היא תופעה שחוזרת על עצמה בפרקי זמן קבועים כמו, למשל, תנועה של נדנדה, דפיקות לב, סיבוב כדור-הארץ סביב השמש ועוד. גם גלים הם, לעיתים, תופעות מחזוריות. גלי הים, למשל, מעלים ומורידים את מפלס המים באופן מחזורי.

נוכל לאפיין כל תופעה מחזורית באמצעות **זמן המחזור** שלה. זמן המחזור הוא הזמן שלוקח לתופעה להשלים מחזור אחד. למשל, אם נתבונן בילד שמסתובב על קרוסלה, ומשלים סיבוב בכל ארבע שניות, נאמר שזמן המחזור של הסיבוב שלו הוא ארבע שניות. זמן המחזור של עונות השנה מחורף עד חורף, או מקיץ עד קיץ הוא שנה בת 365 ימים. זאת משום שהקפה של כדור-הארץ סביב השמש נמשכת שנה.

לעיתים קרובות נוהגים לתאר תופעות מחזוריות באמצעות **התדירות** שלהן. תדירות היא מספר הפעמים שתופעה חוזרת על עצמה ביחידת זמן. מקובל למדוד תדירות ביחידת המידה **הרץ**. תדירות של 1 הרץ משמעה שהתופעה חוזרת על עצמה פעם אחת בכל שנייה. אם נתבונן בהילוך איטי בנפנוף כנפי דבורה, נגלה כי תנועת הנפנוף חוזרת על עצמה בערך 130 פעמים בשנייה. במילים אחרות, תדירות הנפנוף היא 130 הרץ. כאשר

הדבורה מנפנפת בכנפיה מהר יותר, תדירות הנפנופים גדלה ואילו זמן המחזור, כלומר, פרק הזמן שעובר בין נפנוף לנפנוף, קטן. המסקנה היא שזמן המחזור והתדירות הופכיים זה לזה. הגדלת התדירות תקטין את זמן המחזור ואילו הגדלת זמן המחזור תקטין את התדירות.

הרחבה: רשת החשמל

הידעתם? תדירות המתח החשמלי שמסופקת לבתים בישראל היא 50 הרץ. במילים אחרות, הזרם החשמלי שזורם ברשת החשמל הביתית מתנדנד באופן מחזורי, כלומר, מחליף את כיוון הזרימה, 50 פעם בשנייה!



אוריאנה: האם כל גל חייב להיות מחזורי?

פרופ' גלי קורן: לא. חלק מהגלים מחזוריים ואחרים אינם מחזוריים. למשל, גל ידיים באצטדיון אינו מחזורי. גלי הקרינה שעליהם נלמד בהמשך הם לרוב גלים מחזוריים ועל כן ניתן לתאר אותם באמצעות זמן מחזור, תדירות ומאפיינים נוספים שבהם נעסוק בפרק זה.

פעילות 4.1: זמן מחזור, תדירות

1. זהו חמש תופעות מחזוריות.
2. סדרו את התופעות שמצאתם לפי זמן המחזור שלהן, מזמן המחזור הקטן לגדול.
3. סדרו את התופעות לפי התדירות, מהתדירות הקטנה לגדולה.
4. פעימות הלב הן תופעה מחזורית. נסו להרגיש את הדופק שלכם בחלק הפנימי של מפרק כף היד או בצוואר. מדדו ורשמו את מספר הפעימות שליבכם פועם בדקה. תוצאת המדידה שלכם היא תדירות הפעימות של ליבכם.
5. כמה זמן חלף בין כל שתי פעימות סמוכות? מדדו את הזמן באמצעות שעון עצר (סטופר). תשובתכם היא זמן המחזור של פעימות הלב.¹²

12 את הזמן בין שתי פעימות סמוכות קשה למדוד בצורה מדויקת. עדיף למדוד זמן של עשר פעימות ולחלק את התוצאה ב-10. כך נקבל את זמן המחזור בדיוק טוב יותר.

הרחבה: הקשר המתמטי בין זמן מחזור לתדירות

למעשה, לאחר מדידת התדירות ניתן לחשב את זמן המחזור מבלי לבצע מדידות נוספות. זאת משום שזמן המחזור והתדירות הופכיים זה לזה:

$$\text{זמן מחזור} = \frac{1}{\text{תדירות}}$$

למשל, אם מדדנו תדירות של 100 פעימות בדקה, זמן המחזור של הפעימות הוא מאית (0.01) הדקה!



אוריאנה:

למדנו שאת התדירות מודדים ביחידות הרץ שהן מספר

הפעמים שהתופעה חוזרת על עצמה בשנייה ואילו כאן מדדנו את מספר פעימות הלב במשך דקה. לא הבנתי אם תדירות היא מספר החזרות בדקה או בשנייה.

פרופ' גלי קורן:

כשם שניתן למדוד אורך בסנטימטרים מטרים או קילומטרים, אפשר למדוד תדירות ביחידות שונות שאינן הרץ, כמו למשל מספר החזרות בדקה.

כאשר גל הוא מחזורי, פירוש הדבר שההפרעה שמתקדמת עמו תחזור על עצמה בפרקי זמן קבועים. כשמגיע לאוזננו גל קול, עור התוף שלנו רוטט בתדירות המאפיינת את גל הקול. ישנם גלי קול שאינם בתחום השמיע שלנו כיוון שהאוזן האנושית אינה רגישה לקצבי רטט גבוהים מאוד או נמוכים מאוד.

הרחבה: משרוקיות לכלבים

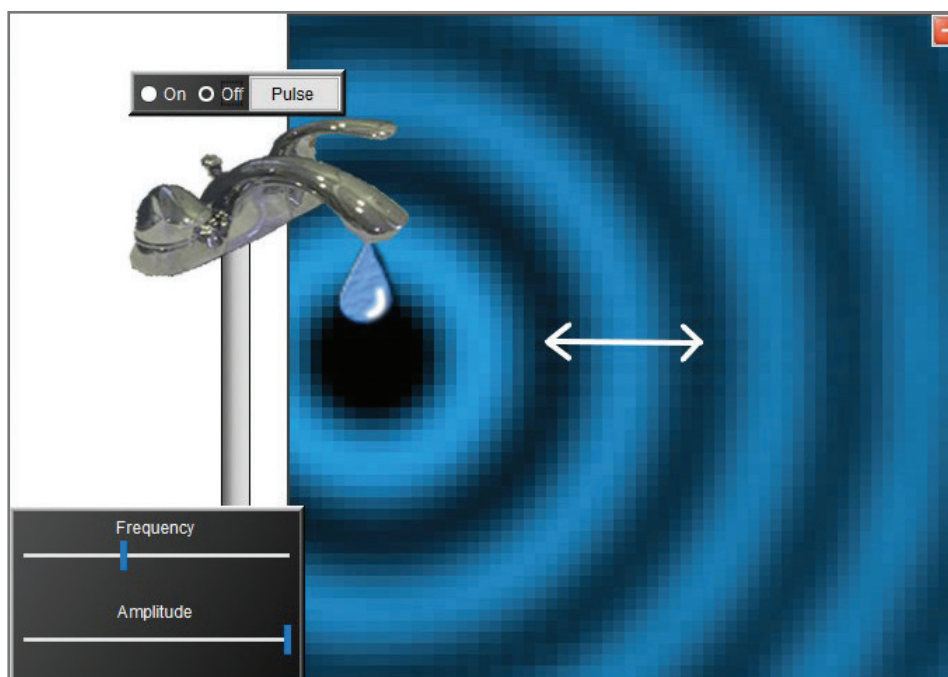
המשרוקיות שקולן נשמע באוזני כלבים בלבד מייצרות הפרעה – כלומר שינוי בלחץ האוויר, דחיסה ושחרור מקומיים של חלקיקי האוויר – בתדירות גבוהה. ההפרעה מתקדמת ומרטיטה את עור התוף שלנו כשם שהיא מרטיטה את עור התוף של הכלבים. אולם, המוח שלנו אינו רגיש לתדירות רעידות גבוהה כל כך, ועל כן איננו שומעים דבר, בעוד שמוח הכלב רגיש לתדירויות גבוהות ומצליח לשמוע את קול המשרוקית.

זמן המחזור והתדירות אינם מספיקים כדי לאפיין גל מחזורי.

התבוננו, למשל, בהדמיה של טפטוף מים לתוך בריכה מלאה במים

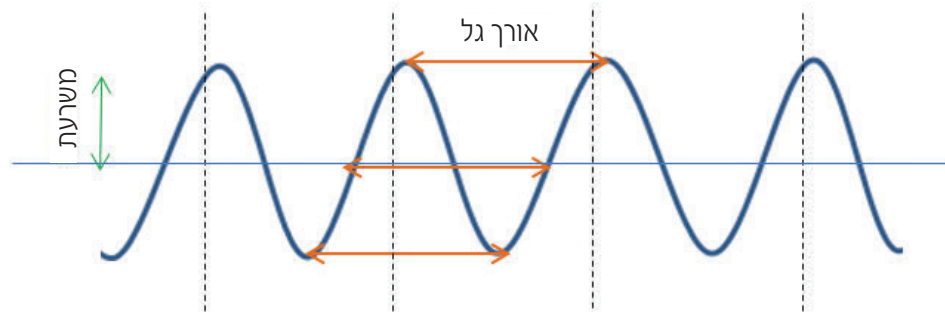
<https://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-interference>

את ההדמיה יש לפתוח באמצעות מחשב ולא באמצעות טלפון נייד.



תמונה 4.1: צילום מסך מתוך הדמיית גלים הנוצרים כתוצאה מטפטוף מים לבריכה; אורך הגל מסומן בחץ דו-כיווני לבן (מקור: ראו נספח ג')

בכל פעם שטיפה פוגעת במים היא יוצרת הפרעה, כלומר גל חדש שמתפשט במים. כיוון שהטיפות פוגעות במים בקצב קבוע מתקבל גל מחזורי. קצב הטפטוף של הטיפות קובע את **זמן המחזור** של הגל. זהו הזמן שלוקח לכל נקודה על פני המים להשלים מחזור שלם של עלייה וירידה. שימו לב שהמרחק בין שיאים סמוכים קבוע. אנו מכנים מרחק זה **אורך גל** והוא מסומן בחץ דו-כיווני לבן בתמונה 4.1. אורך הגל הוא המרחק שהגל המחזורי מתקדם במשך זמן מחזור אחד. גודל נוסף שמאפיין גל מחזורי הוא **המשרעת** שלו או גודל התנודה. במקרה של גלים מחזוריים במים המשרעת תהיה הגובה המקסימלי של הגלים ביחס לפני המים במצב שיווי משקל.



תמונה 4.2: אורך גל ומשרעת של גל מחזורי

הערה: את אורך הגל לא חייבים למדוד דווקא בין שני שיאים של הגל. אפשר למדוד את אורך הגל גם בין שתי נקודות מינימום סמוכות או כל שתי נקודות זהות וסמוכות אחרות על-פני הגל. החיצים הכתומים בתמונה 4.2 מסמנים כולם את אורך הגל.

הפעילו שוב את ההדמיה ועצרו אותה מספר פעמים. שימו לב להתקדמות הגל. בגל מחזורי, ההפרעה מתקדמת בכל זמן מחזור מרחק השווה לאורך הגל. כלומר, אם נקטין את התדירות (frequency), נגדיל את זמן המחזור ואורך הגל יגדל. בדקו זאת באמצעות ההדמיה. ליחס בין אורך הגל לזמן המחזור אנו קוראים **מהירות ההתקדמות של הגל**. גודל זה מבטא עד כמה מהר מתקדמת ההפרעה בתווך והוא תלוי הן בסוג הגל (למשל, גל קול או גל אלקטרומגנטי) והן בתווך שבו הוא מתקדם. כך, לדוגמה, מהירות הקול באוויר היא 343 מטר לשנייה. פירושו של דבר שבכל שנייה הקול מתקדם 343 מטרים. לעומת זאת, האור, שהוא גל אלקטרומגנטי, מתקדם באוויר במהירות בת בערך 300,000,000 מטרים לשנייה או 300,000 קילומטרים לשנייה. בכל שנייה האור עובר 300,000 קילומטרים!!!



זו מהירות עצומה!

אורי'אנה:

פרופ' גלי קורן: נכון מאוד. מהירות האור היא המהירות הגדולה ביותר שקיימת ביקום. גלים אחרים, למשל גלי קול, ינועו לאט יותר. זוהי הסיבה שבגללה אנו רואים את הברק לפני שאנו שומעים את הרעם. אור הברק מגיע לעינינו מהר יותר מקול הרעם.

הרחבה: מהירות ההתקדמות של גל בתווך

מהירות ההתקדמות של הגל תלויה גם בתווך שבתוכו הגל מתקדם. האור, שהוא גל אלקטרומגנטי, נע בזכוכית במהירות קטנה בערך פי 1.5 בהשוואה למהירותו באוויר. לעומת זאת, תדירות האור אינה מושפעת מהתווך כי היא נובעת מתדירות ההפרעה שיצרה את הגל המחזורי. מסיבה זו אורך הגל של האור בזכוכית קטן בערך פי 1.5 מאורך הגל שלו באוויר, אף שהתדירות של האור באוויר ובזכוכית שווה.

אנרגיה של גלים מחזוריים

הגדרנו גל **כהפרעה נושאת אנרגיה המתקדמת במרחב**. מה הקשר בין כמות האנרגיה שנושא עמו הגל לבין המאפיינים שהגדרנו בסעיף הקודם: זמן מחזור, תדירות, אורך גל ומשרעת?

נחזור להדמיה של טפטוף המים לבריכה, <https://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-interference>. כשהטיפה פוגעת במים, היא מוסרת להם אנרגיה שנישאת על-ידי הגל שנוצר. אפשר להשקיע אנרגיה רבה יותר בשתי דרכים:

- לטפטף את הטיפות כך שכל טיפה תפגע במים בעוצמה רבה יותר; בדרך זו ניצור גל גבוה יותר ובשפה מדעית, נגדיל את משרעת הגל. שינוי פרמטר המשרעת (amplitude) בהדמיה מאפשר לשלוט על גובה הגל הנוצר.
 - לטפטף את הטיפות לעיתים תכופות יותר; בדרך זו נגדיל את תדירות הגל ונקטין את זמן המחזור ואת אורך הגל. ניתן לשלוט על קצב הטפטוף באמצעות שינוי פרמטר התדירות (frequency) בהדמיה.
- מסקנה: הגדלת המשרעת או התדירות של גל במים, גל בקפיץ או גל בחבל, תגדיל את האנרגיה שלו.**

מדוע הגדלת התדירות מקטינה את אורך הגל? על כך נלמד בפעילות הבאה.

פעילות 4.2: מאפייני גלים – הדגמה ושימוש בהדמיה

1. הדגמה

ציוד: חבל או קפיץ ארוך

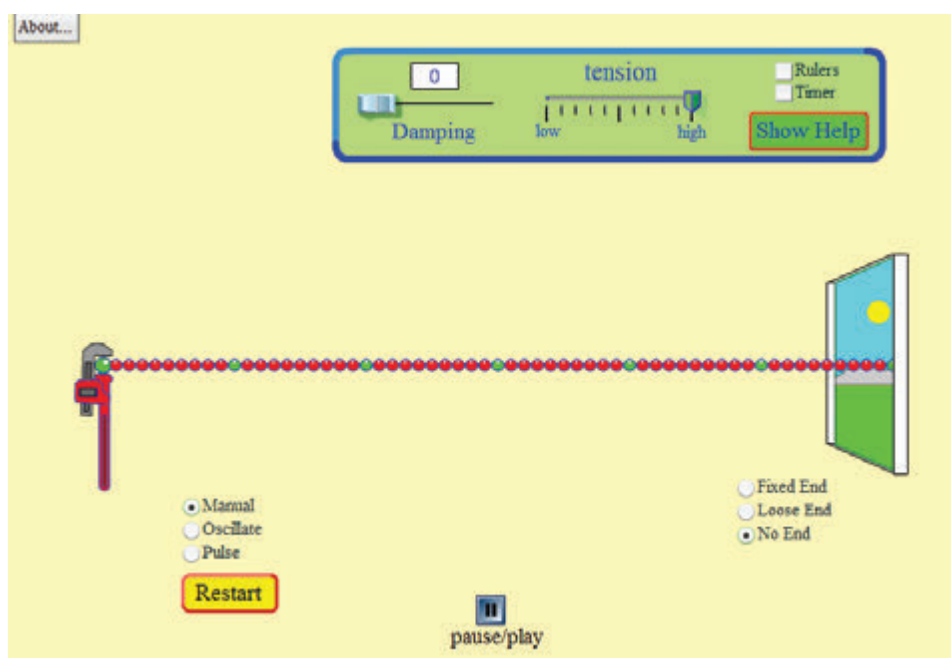
קחו חבל או קפיץ ארוך וקבעו קצה אחד שלו לקיר, לחלון או לשולחן באמצעות קשירה. סמנו בצבע קטע קצר מהחבל. מתחו את החבל ונענעו את הקצה החופשי שלו מעלה ומטה ליצירת גל.

לדיון בכיתה: תארו את הגל הנוצר תוך שימוש במושגים הבאים: כיוון התקדמות הגל, כיוון התקדמות האזור הצבוע, זמן מחזור, תדירות, אורך גל ואנרגיה.

2. שימוש בהדמיה:¹³

<http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-stringen.html>

פתחו את ההדמיה במחשב בלבד. מיד יופיע הכיתוב "Wiggle Wrench!". נענעו את השרשרת. אתם מוזמנים לנענע אותה באמצעות העכבר וליצור גל שמתקדם לאורך השרשרת. הגל שיצרתם דועך בגלל כוחות חיכוך. בטלו את כוחות החיכוך בהדמיה על-ידי כיוון הריסון (Damping) ל-0. כמו כן, כוונו את המתיחות (tension) לערכה המקסימלי ובחרו באפשרות "no end" כך שקצה השרשרת שאינכם מנדנדים יהיה חופשי.



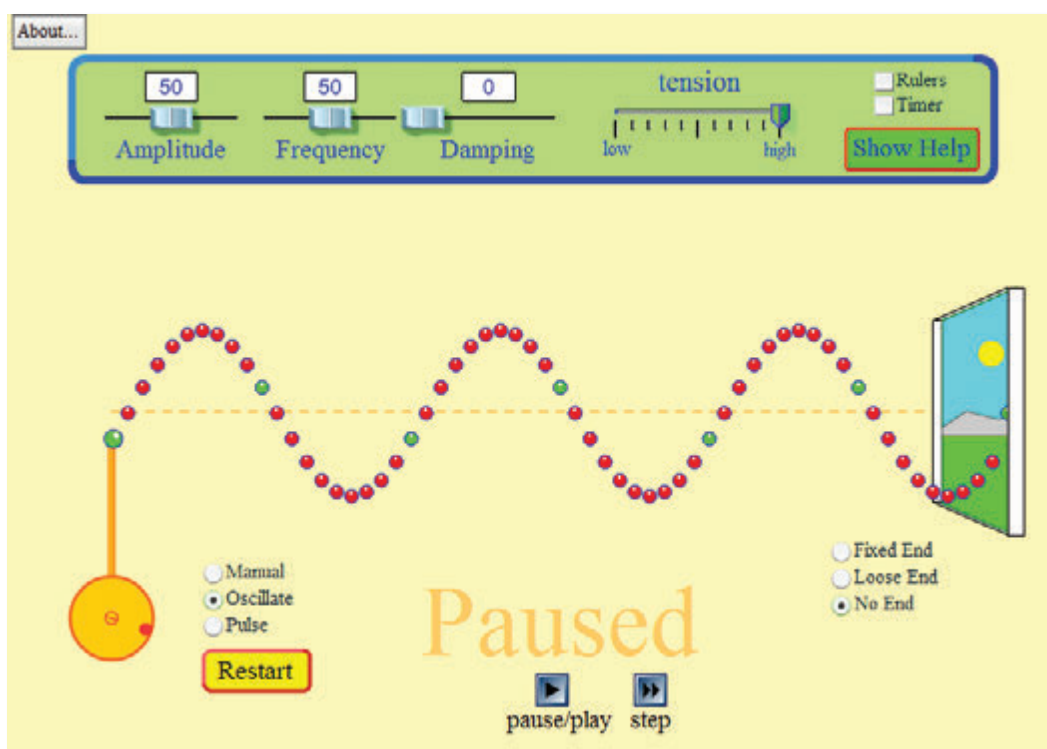
תמונה 4.3: יצירת גל באופן ידני: צילום מסך מתוך ההדמיה (מקור: ראו נספח ג')

כעת, נדנדו את השרשרת וצרו גל.

1. התמקדו באחת הנקודות הירוקות. לאיזה כיוון היא נעה? למעלה ולמטה או ימינה ושמאלה?

2. מהו כיוון תנועת הגל?

עצרו את התנודה (pause), בחרו באפשרות נדנוד (oscillate), ואתחלו את ההדמיה (restart). השרשרת תתנדנד מעצמה:



תמונה 4.4: יצירת גל מחזורי בהדמיה (מקור: ראו נספח ג')

כעת, מופיעים בחלק העליון של המסך מאפיינים נוספים שניתן לשנותם:

- המשרעת (Amplitude) – גובה התנודות
- התדירות (Frequency) – מספר התנודות ביחידת זמן

השאירו את המשרעת (Amplitude) קבועה בערך 50 ושנו את התדירות (Frequency).

בכל שינוי, הקפידו קודם לעצור את ההדמיה (pause), לקבוע את התנאים החדשים (Amplitude, Frequency) ורק אז להתחיל את ההדמיה (restart).

3. כיצד משתנה צורת הגל כאשר מגדילים את התדירות?
4. האם אורך הגל משתנה בהגדלת התדירות? אם כן, מהו השינוי?
5. כאשר מגדילים את התדירות, גדלה גם האנרגיה שהגל נושא עימו. זאת משום שכדי לנדנד את השרשרת מהר יותר, יש להשקיע אנרגיה רבה יותר וזו האנרגיה שהגל מעביר. משום כך, אנרגיה גדולה מתאימה (הקיפו את האפשרות הנכונה בכל סעיף):
 - א. לתדירות קטנה / גדולה
 - ב. לאורך גל קטן / גדול
 - ג. לזמן מחזור קטן / גדול



אוריאה:

איך אורך הגל קשור לאנרגיה?

פרופ' גלי קורן:

למדנו שגלים בתדירויות גבוהות נושאים עימם אנרגיה רבה. אורך הגל מתקצר ככל שהתדירות עולה ולכן גלים בעלי אורך גל קצר יהיו עתירי אנרגיה. ניתן להסביר את הקשר בין תדירות לאורך גל תוך שימוש במושג מהירות הגל: אורך גל הוא המרחק שהגל עובר במשך זמן מחזור, כלומר, מכפלה של מהירות התקדמות הגל בזמן המחזור. הגדלת תדירות הגל תקטין את זמן המחזור ולכן תקטין את המרחק שהגל מספיק לעבור במשך זמן מחזור אחד.

6. כעת, השאירו את התדירות קבועה ושנו את ערכי המשרעת (Amplitude). האם אורך הגל משתנה בהגדלת המשרעת?
7. איך משתנה האנרגיה שמעביר הגל כאשר מגדילים את המשרעת שלו?

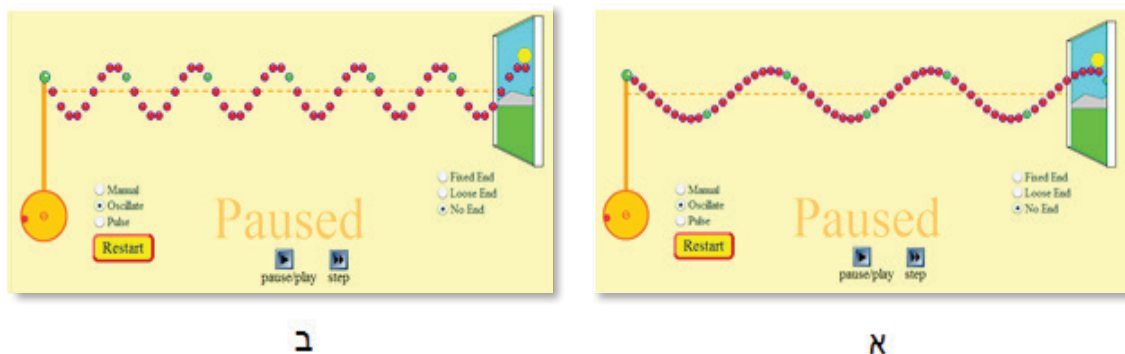
סיכום הפרק

- הגדלים הבאים מאפיינים גל מחזורי:
 - זמן מחזור – פרק הזמן שבו תופעה מחזורית משלימה מחזור אחד
 - תדירות הגל – מספר המחזורים שהגל מבצע ביחידת זמן
 - אורך הגל – המרחק שהגל עובר בזמן מחזור אחד. לדוגמה, זהו המרחק בין שני שיאים סמוכים של הגל.
 - מהירות ההתקדמות של הגל – המהירות שבה מתקדמת ההפרעה בתווך. מהירות זו שווה ליחס בין אורך הגל לזמן המחזור.
- במקרה של גלים מחזוריים בחבל, במים או בקפיץ, תדירות הגל והמשרעת שלו קובעים את האנרגיה שנושא הגל.
 - תדירות גדולה, ולכן אורך גל קצר, משמעה אנרגיה גדולה.
 - משרעת גדולה, משמעה אנרגיה גדולה.

פעילות 4.3: בדקו את עצמכם – פרקים 2-4

1. אילו מבין התופעות הבאות הן גלים במובן המדעי?
 - א. גלים בים
 - ב. גלי קול
 - ג. גלי חום
 - ד. תשובות א, ב נכונות
2. מי מתקדם הכי מהר?
 - א. צ'יטה
 - ב. גל קול
 - ג. גל אור
 - ד. האצן האולימפי יוסיין בולט
3. כאשר אנו מגבירים את עוצמת המוזיקה שאנו שומעים, אנו מגדילים את
 - א. המשרעת והאנרגיה של גל הקול
 - ב. התדירות והאנרגיה של גל הקול
 - ג. זמן המחזור של גל הקול
 - ד. מהירות ההתקדמות של גל הקול

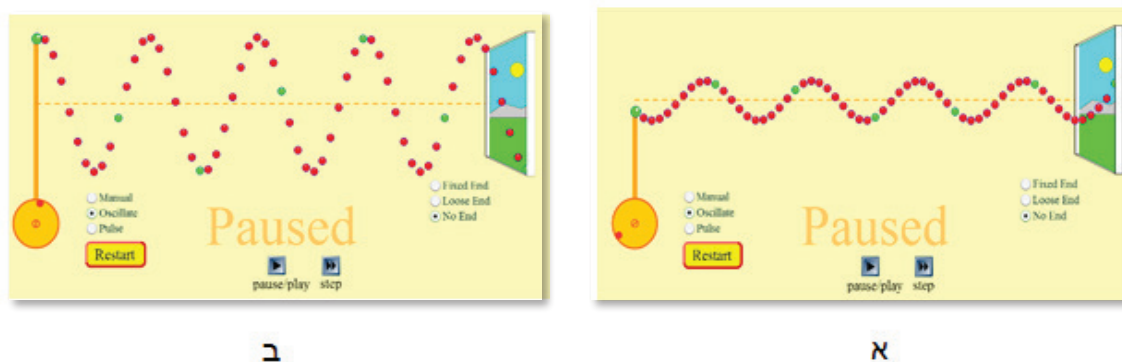
4. בתמונה שלפניכם נראים גלים א' ו-ב'. מה נכון?



תמונה 4.5: גלים בשרשרת (מקור: ראו נספח ג')

- א. אורך הגל והתדירות של א' גדולים יותר משל ב'
- ב. אורך הגל והתדירות של א' קטנים יותר משל ב'
- ג. אורך הגל של א' גדול יותר משל ב' ואילו התדירות של א' קטנה יותר משל ב'
- ד. אורך הגל של א' קטן יותר משל ב' ואילו התדירות של א' גדולה יותר משל ב'

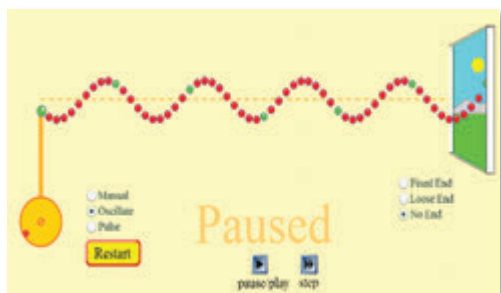
5. בתמונה שלפניכם נראים גלים א' ו-ב'. מה נכון?



תמונה 4.6: גלים בשרשרת (מקור: ראו נספח ג')

- א. אורך הגל והמשרעת של א' גדולים יותר משל ב'
- ב. אורך הגל של א' קטן יותר משל ב' והמשרעת של שני הגלים שווה
- ג. המשרעת של א' קטנה יותר משל ב' ואורך הגל של שני הגלים שווה
- ד. אורך הגל של א' קטן יותר משל ב' ואילו המשרעת גדולה יותר

6. איזה גל נושא הכי הרבה אנרגיה?



ב



א



ד



ג

תמונה 4.7: גלים בשרשרת (מקור: ראו נספח ג')

פרק 5: קרינה אלקטרומגנטית

שאלות שתוכלו להשיב עליהן אחרי שתלמדו את הפרק:

- האם אפשר להפיק אור מנורת להט מבלי לחבר אותה לסוללה או לשקע חשמלי?
- איפה כדאי להציב את הנתב האלחוטי (ראוטר) בבית?
- האם תושבת של טלפון אלחוטי קורנת?

מושגים מרכזיים שנעסוק בהם בפרק זה:

שדה חשמלי, שדה מגנטי, גל אלקטרומגנטי, קרינה אלקטרומגנטית, מדידת קרינה, תקנים לחשיפה לקרינה

הקרינה שעליה למדתם בפרק 1 היא סוג של גל, כלומר, הפרעה שמתקדמת במרחב. ההפרעה בגל מכני המתקדם בקפיץ, היא תנודת הקפיץ. לעומת זאת, במקרה של גלי קרינה, ההפרעה היא שינויים בשדות החשמליים והמגנטיים ולכן קוראים לגלי הקרינה גלים אלקטרומגנטיים.

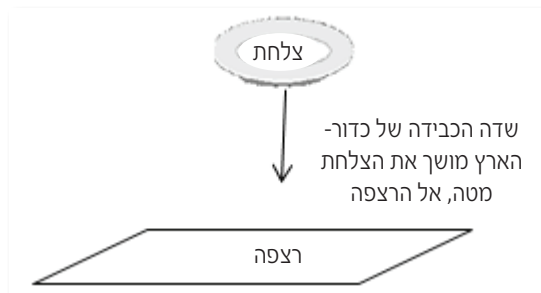
כאשר אנטנה פולטת גלים אלקטרומגנטיים, אומרים שהיא "קורנת". האור הנראה, קרינת מיקרוגל, שידורי אנטנות סלולריות וכל יתר הדוגמאות לקרינה גלית שניתנו בפרק 1, הם כולם גלים אלקטרומגנטיים. אלה תופעות מגוונות שבהן ההפרעה שמתקדמת ונושאת את האנרגיה היא שינויים בשדות החשמליים ובשדות המגנטיים.

מהו שדה חשמלי? מהו שדה מגנטי?

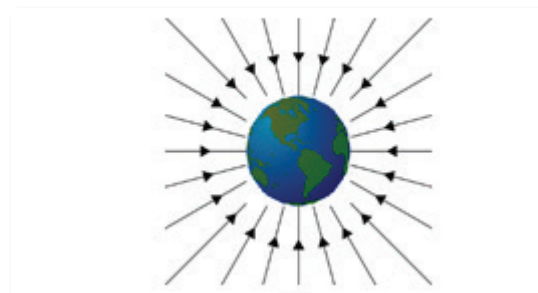
למילה שדה בפיזיקה יש משמעות שונה בהשוואה למשמעותה בשפת היום-יום. בשפה היום-יומית כשאנו אומרים שדה אנו מתכוונים לשטח אדמה שעליו מגדלים גידולים חקלאיים. לעומת זאת, פיזיקאים המציאו את המושג שדה, כדי להסביר כיצד גופים שאינם נמצאים במגע, יכולים להפעיל כוח אחד על השני. השדה הוא הישות שמפעילה את הכוח. גוף אחד יוצר את השדה, והשדה מפעיל כוח על הגוף השני. להלן כמה דוגמאות:

שדה כבידה: אם נעזוב צלחת באוויר, היא תיפול. בשפה מדעית נתאר זאת כך: כדור-הארץ, בשל מסתו הגדולה, יוצר מסביבו שדה כבידה. כל גוף בעל מסה מושפע משדה הכבידה הזה ופועל עליו כוח הכובד. הצלחת הושפעה משדה הכבידה שיצר כדור-הארץ, כלומר פעל עליה כוח ולכן נפלה.

שדה הכבידה שיוצר כדור-הארץ מחזיק אותנו על הקרקע ומונע מאיתנו לרחף באוויר. אם מתרחקים מכדור-הארץ, השפעת שדה הכבידה שלו פוחתת ולכן בחלל החיצון אפשר לרחף.



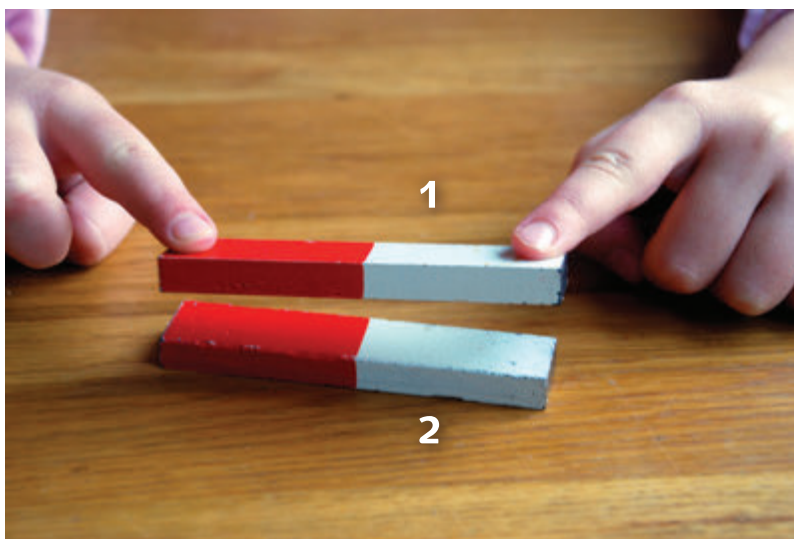
ב



א

תמונה 5.1: א. כדור-הארץ יוצר סביבו שדה כבידה החצים בתרשים קרויים קווי שדה והם מצביעים בכיוון כוח הכבידה שמפעיל כדור-הארץ. ב. כשצלחת משוחררת באזור שקיים בו שדה כבידה, פועל עליה כח כבידה שגורם לה ליפול (מקור: ראו נספח ג')

שדה מגנטי: ניקח שני מגנטים ונחזיק אותם זה לצד זה ללא מגע ביניהם. קל להרגיש שהמגנטים מפעילים זה על זה כוחות משיכה או דחייה. בשפה מדעית נאמר שכל מגנט יוצר סביבו שדה מגנטי. כשמגנט נכנס לאזור שקיים בו שדה מגנטי שיוצר מגנט אחר, פועל עליו כוח מגנטי.



תמונה 5.2: מגנטים מפעילים כוחות זה על זה. אם נקרב את מגנט 1 למגנט 2, על מגנט 2 יפעל כוח שיזיז אותו. (מקור: ראו נספח ג')

שדה חשמלי: במזג אוויר יבש, כשילדים גולשים במגלשה שערותיהם סומרות, מדוע? החיכוך עם המגלשה עוקר מטענים חשמליים שליליים (אלקטרונים) מהילד הגולש ומעביר אותם אל המגלשה. כתוצאה מכך, הילד נטען במטען חשמלי חיובי. כל אחת משערות הראש הטעונות במטען חיובי יוצרת סביבה שדה חשמלי שדוחה מטענים חיוביים. כלומר, כל שיערה מושפעת מהשדה החשמלי שמייצרות השערות האחרות ולכן פועל עליה כוח חשמלי שמרחיק אותה מהן. תוכלו ליצור שדות חשמליים גם כשאתם מברישים את שערכם ביום חמסין. המברשת עוקרת מטענים חשמליים מהשיער. מכיוון שהשערות נטענות באותו מטען, הן דוחות זו את זו.



שערות טעונות
במטען חשמלי חיובי
דוחות זו את זו

המגלשה טעונה במטענים
חשמליים שליליים שנעקרו
מהילד בעת הגלישה

תמונה 5.3: ילד גולש במגלשה ושערותיו סומרות בגלל חשמל סטטי (מקור: ראו נספח ג')

חשוב להבין ששדה אינו ישות פיזית. שדות כבידה, שדות חשמליים ושדות מגנטיים יכולים להתקיים גם באזור ריק לחלוטין, כמו, למשל, בחלל.

לסיכום: בכל התופעות שתיארנו, גוף אחד יוצר סביבו שדה, וגופים אחרים שנמצאים באזור שבו פועל השדה מושפעים ממנו. כך אנו מתארים כוח הפועל בין גופים שאינם נוגעים זה בזה. כדור-הארץ יוצר שדה כבידה שמשפיע על צלחת וגורם לה ליפול, מגנט אחד יוצר שדה מגנטי שמושך או דוחה מגנט שני ושערה טעונה יוצרת שדה חשמלי שדוחה שערות טעונות אחרות.

פעילות 5.1: שדות בחיי היום-יום

תופעות רבות ניתנות לתיאור באמצעות שדות, למשל:

- המחט המגנטית במצפן מצביעה לעבר הצפון;
- על פני כדור-הארץ, אנשים עומדים על רגליהם ואינם "מרחפים" כמו בחלל;
- כשאנו סוגרים את דלת המכונית לאחר נסיעה ביום חמסין, לעיתים נרגיש התחשמלות קלה.

בחרו תופעה אחת והסבירו:

1. מהו סוג השדה (כבידה / חשמלי / מגנטי)?

2. מי מפעיל את השדה?

3. על מי פועל השדה?

כאשר מציבים שבשבת ברוח, היא מסתובבת. האם נכון לומר שסיבוב השבשבת נגרם בגלל שדה שהרוח מפעילה? נמקו.

תזכורת: מהו מטען חשמלי? מהו זרם חשמלי?

עולמנו מורכב מחלקיקים הטעונים במטען חשמלי. בין מטענים אלה פועלים כוחות משיכה או דחייה. מטען חשמלי יכול להיות חיובי או שלילי. מטענים מאותו סוג (+, + או -, -) דוחים זה את זה ואילו מטענים מסוגים שונים (+, -) נמשכים זה לזה. האטומים, שהם יחידות המבנה הבסיסיות שמרכיבות את כל החומרים, עשויים מגרעין הטעון במטען חשמלי חיובי. מסביבו חגים אלקטרוניים הטעונים במטען שלילי.



תמונה 5.4: אלקטרוניים חגים מסביב לגרעין האטום (מקור: ראו נספח ג')

זרם חשמלי נוצר לרוב מתנועה של אלקטרוניים בין אטומים. כאשר בונים מעגל חשמלי מחוט מוליך ומחברים אותו למקור מתח כמו סוללה, האלקטרוניים נעים מאטום לאטום לאורך החוט ויוצרים זרם.



אוריאנה:

אני מבינה שמכשירים פולטי קרינה פועלים באמצעות זרמים חשמליים משתנים ולכן הגיוני שהקרינה קשורה לשדות חשמליים ומגנטיים. אבל, מה לגבי קרינת השמש? הרי השמש איננה מכשיר חשמלי...

פרופ' גלי קורן:

נכון שהשמש אינה מכשיר חשמלי, אך קרני האור שהשמש פולטת לעברנו הן למעשה קרינה אלקטרומגנטית. גופים חמים מעבירים אנרגיה לסביבתם בצורת קרינה הדומה מאוד לקרינה שנפלטת ממכשירים חשמליים. גם גופים חמים כמו השמש מייצרים גלים של שדות חשמליים ומגנטיים מתנדנדים.

השוואה בין גלים אלקטרומגנטיים לגלים מכניים

פעילות 5.2: שימוש בהדמיות – גלים אלקטרומגנטיים וגלים מכניים

למדנו שגלי קרינה הם גלים אלקטרומגנטיים שבהם ההפרעה שמתקדמת במרחב היא התנדנדות של שדות חשמליים ומגנטיים. נמחיש זאת תוך שימוש בהדמיה ממוחשבת.

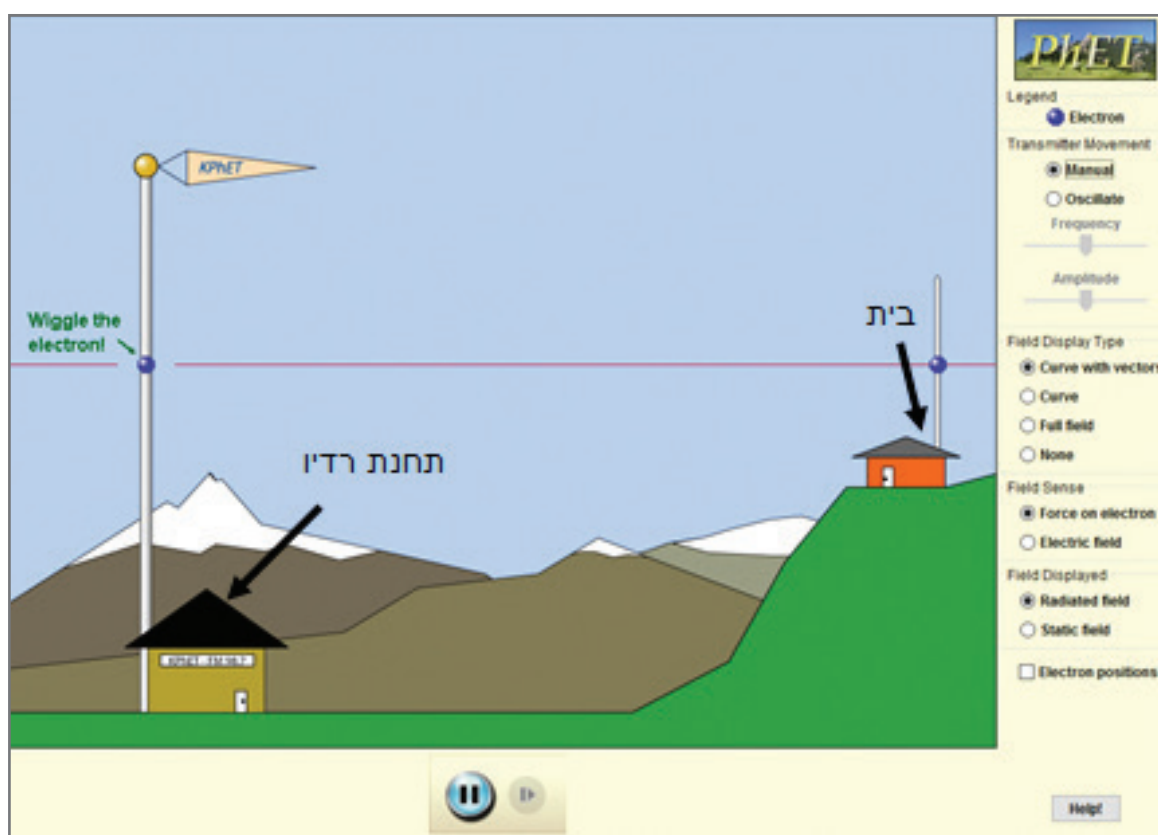
פתחו **במחשב** את ההדמיה לגלים אלקטרומגנטיים.¹⁴

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves>

בתמונה 5.5 מצוירת תחנת רדיו בדיונית 98.7FM¹⁵ שמשדרת דרך האנטנה הנמצאת בסמוך אליה, בצידה השמאלי של התמונה. הגלים האלקטרומגנטיים שמשדרת האנטנה מתקדמים ומגיעים אל הבית (בצד ימין של המסך), שם מוצבת אנטנה שקולטת את שידורי הרדיו. הקו האדום האופקי שמתוח בין האנטנה המשדרת לאנטנה הקולטת מסמל מצב שבו גל הקרינה מתאפס, כלומר אין שדות חשמליים ומגנטיים.

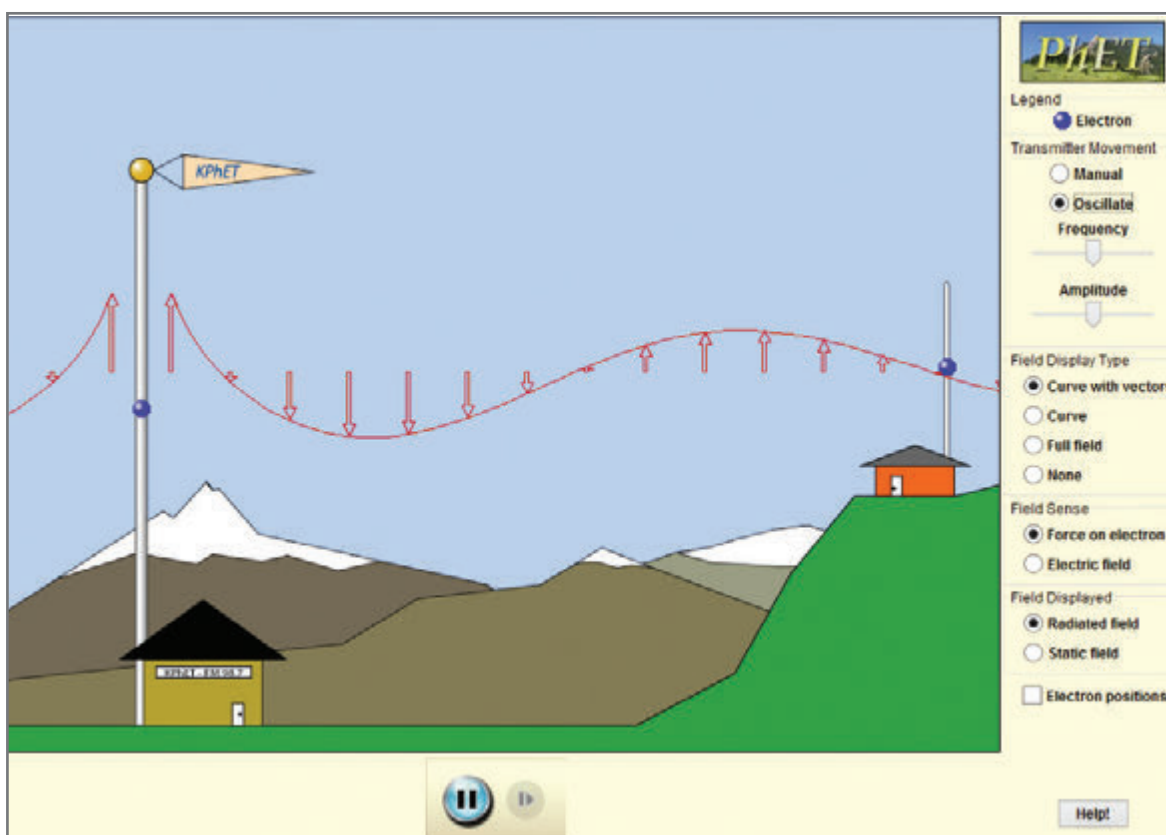
14 PhET Interactive Simulations, University of Colorado, Boulder, <https://phet.colorado.edu>

15 הסימון 98.7FM מתאר את תדר הקרינה שבאמצעותה מועברים שידורי התחנה. תחנה שסימון 98.7FM מעבירה את שידוריה על-גבי קרינה אלקטרומגנטית בתדר של 98.7 מגה הרץ (מיליוני הרץ).



תמונה 5.5: אנטנת שידור של תחנת רדיו ובית, צילום מסך מתוך ההדמיה (מקור: ראו נספח ג')

תוכלו להעביר זרם חשמלי באנטנה שבהדמיה על-ידי נדנוד האלקטרון באופן ידני או על-ידי בחירה באפשרות נדנוד (Oscillate) בצד ימין של המסך. כאשר זרם באנטנה זרם חשמלי, היא יוצרת גל קרינה שמתקדם לעבר הבית. הקרינה שמגיעה אל האנטנה שבבית יוצרת בה זרם חשמלי. במצב זה, גודל וכיוון השדה החשמלי בכל נקודה מתוארים על-ידי חיצים אדומים חלולים ואילו הקו האדום מתאר את גודל השדה כתלות במקום. ראו תמונה 5.6.



תמונה 5.6: יצירת גל אלקטרומגנטי, צילום מסך מתוך ההדמיה (מקור: ראו נספח ג')
האנטנה משדרת לכל הכיוונים. כדי להמחיש את הקליטה של השידור בבית, ההדמיה מציגה רק את כיוון התקדמות מהאנטנה אל הבית. הגל האלקטרומגנטי מורכב משדות חשמליים ומגנטיים מתנדנדים. לשם הפשטות ההדמיה מציגה רק את השדה החשמלי.

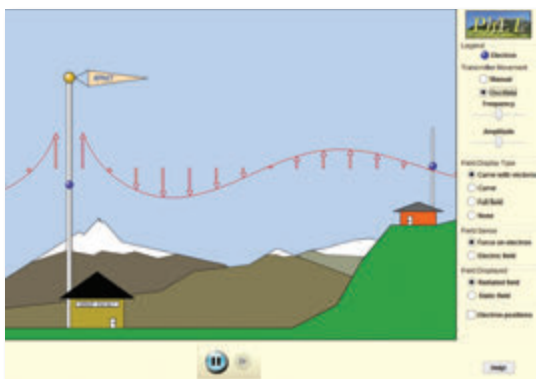
בחרו באפשרות נדנוד (Oscillate). תוכלו לקבוע את תדירות הגל (Frequency) ואת המשרעת שלו (Amplitude).

1. איזה פרמטר (תדירות/משרעת) משפיע על אורך הגל?
2. איך תיצרו בהדמיה גל בעל אורך גל קצר?
3. איך תיצרו גל שמעביר אנרגיה גבוהה מתחנת השידור אל הבית? נמקו.
4. קיים דמיון חזותי בין ההדמיה לגלים אלקטרומגנטיים שעמה עבדתם להדמיה של גלים בשרשרת, שאותה הכרתם בפרק הקודם.

פתחו את שתי ההדמיות זו לצד זו ושחקו איתן. מתחו קו בין התיאורים של הפעולות והעצמים בהדמיה של הגלים המכניים בשרשרת לתיאורים של הפעולות והעצמים המתאימים להם בהדמיה של הגלים האלקטרומגנטיים.

גלים אלקטרומגנטיים

[https://phet.colorado.edu/en/simulation/
radio-waves](https://phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves)



נדנוד האלקטרוניים בתדירות קבועה תוך
יצירת הפרעה מחזורית

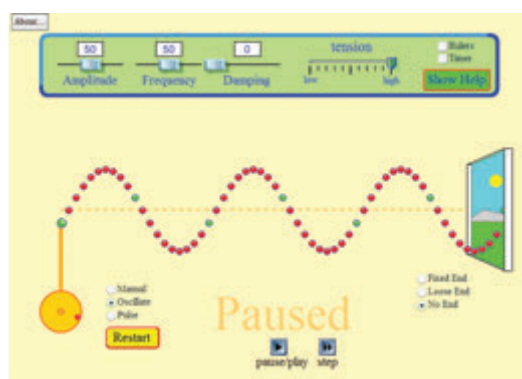
העלייה והירידה בעוצמת השדה
האלקטרומגנטי

ההפרעה שמתקדמת היא השינוי בשדות האלקטרומגנטיים

נדנוד אלקטרוני במצב ידני באנטנה
ליצירת זרם חשמלי משתנה כלומר יצירת
הפרעה חד-פעמית

גלים בשרשרת

<http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-stringen.html>



ניעור השרשרת

המתנד

העלייה והירידה בגובה השרשרת

ההפרעה שמתקדמת היא השינוי בגובה
השרשרת ביחס למצב שיווי המשקל
שלה

שימו לב שיחסי הדמיון אינם מתקיימים תמיד. השרשרת משמשת כתווך שבתוכו עוברים הגלים המכניים. ללא השרשרת הגלים לא ייווצרו ולא יוכלו לעבור. לעומת זאת, גלים אלקטרומגנטיים אינם צריכים תווך כדי להתקדם. הם יכולים להתקדם אפילו בריק. כמו כן, הגלים בשרשרת מתקדמים רק לאורך השרשרת אבל הגלים האלקטרומגנטיים שיוצאים מהאנטנה מתקדמים לכל הכיוונים.



אוריאנה:

כאשר מנערים שרשרת, ברור לי שהמתיחות שבשרשרת

תגרום ליתר חלקיה להתנדנד וכך האנרגיה תעבור לאורך השרשרת בצורה של גל. במקרה של גל אלקטרומגנטי, זה פחות מובן. מה גורם לגל להתקדם מהזרם החשמלי המשתנה לסביבתו? האם התקדמות הגל האלקטרומגנטי היא רק לאורך קו ישר (כפי שמצויר בהדמיה) או לכל הכיוונים?

פרופ' גלי קורן:

התופעה של גלים אלקטרומגנטיים מורכבת יותר מזו של גלים מכניים. הסבר על המנגנון שבאמצעותו הגל האלקטרומגנטי מתקדם נשען על ידע בפיזיקה שחורג מגבולות ספר זה. בהדמיה נראה כאילו הגל מתקדם מהאנטנה ישירות לעבר בית מסוים. במציאות, אנו יודעים שאנטנות רדיו משדרות לכל הכיוונים כך שהשידורים נקלטים בהרבה בתים הממוקמים באזורים שונים סביב האנטנות. גם בהרים המושלגים שמצוירים בהדמיה ייקלטו שידורי האנטנה, כי גם לעברם משודר הגל. כיוון שקשה לצייר גלים המתקדמים לכל הכיוונים, בחרו בהדמיה לצייר רק את הגל שמתקדם מהאנטנה לכיוון הבית.

אוריאנה:

יש דבר נוסף שאיני מבינה. למדנו שבגל אלקטרומגנטי מתנדנדים שדות חשמליים ומגנטיים ואילו בהדמיה שבפעילות 5.2 אנו רואים רק זרמים חשמליים ושדות חשמליים.

פרופ' גלי קורן:

בגל הקרינה שמתואר בהדמיה קיים גם שדה מגנטי, אך יוצרי ההדמיה בחרו שלא לצייר אותו על המסך. זרמים חשמליים תמיד יוצרים סביבם שדות מגנטיים. אם, למשל, נקרב מצפן לתיל נושא זרם, נראה שמחט המצפן תזוז בהשפעת השדה המגנטי שיוצר הזרם בתיל. גם במגנט רגיל, מהסוג שנדבק למקרר, השדה המגנטי הוא תוצאה של זרם חשמלי. מגנט הוא חומר שבו תנועת האלקטרונים סביב הגרעינים מתואמת כך שכל זרמי האלקטרונים יוצרים יחד שדה מגנטי באותו כיוון.

אוריאנה:

מגנט יוצר שדה מגנטי. האם זה אומר שכל מגנט הוא מקור לגל אלקטרומגנטי?

פרופ' גלי קורן:

לא. קרינה אלקטרומגנטית היא גל של שדות חשמליים ומגנטיים מתנדנדים, כלומר משתנים בזמן, ואילו מגנט מייצר שדה מגנטי קבוע בזמן. זרמים חשמליים שמשתנים בזמן יוצרים סביבם שדות חשמליים ומגנטיים מתנדנדים ולכן הם יכולים להיות מקורות קרינה.

הרחבה: האם שידורי הרדיו שאנו שומעים הם גלי קול או גלים אלקטרומגנטיים?

הקריין מדבר בתחנת הרדיו והמיקרופון מתרגם את **גלי הקול** שלו לזרמים חשמליים, אשר משודרים לרחבי הארץ בצורה של **גלים אלקטרומגנטיים**. כאשר הגל פוגע באנטנה של מכשיר הרדיו הוא יוצר בה זרמים חשמליים שאותם הרמקול הופך לגלי קול.

פעילות 5.3: נורת להט במיקרוגל

למדנו שהקרינה הגלית היא למעשה תנודה של שדות אלקטרומגנטיים. כדי להמחיש זאת, נבצע הדגמה שמראה כיצד קרינה יכולה ליצור זרם חשמלי ולהדליק נורה. לשם כך נשתמש בנורת להט. כשזרם זרם חשמלי בחוט הלהט הוא מתלהט ומאיר.

ציוד:

- תנור מיקרוגל
- נורת להט; אפשר להשתמש גם בנורה שרופה בתנאי שחוט הלהט שלה לא נשר לגמרי
- ספל מים

הניחו את הנורה בספל המים כך שהמים יכסו את בסיס הנורה כמתואר בתמונה 5.7 והכניסו אה הספל לתנור המיקרוגל. הפעילו את תנור המיקרוגל לזמן קצר של כ-10 שניות.

זהירות:

- אין לחמם את הנורה ברצף ליותר מ-30 שניות שכן היא עלולה להתפוצץ. אין לגעת בנורה אלא אחרי שהתקררה לגמרי, כמה דקות לאחר תום החימום.
- כדאי לדעת שבאופן רגיל מומלץ לא להפעיל את מכשיר המיקרוגל כשיש בתוכו מתכת, שכן מתכות מחזירות גלים אלקטרומגנטיים וההחזרים שיגיעו למשדר המיקרוגל עשויים ליצור בתוכו ניצוצות ולקצר את חייו. בהדגמה אנו טובלים את בסיס הנורה במים כדי שחלק מההחזרים מבסיס הנורה המתכתי ייבלעו במים, ומפעילים את המכשיר לזמן קצר בלבד.



תמונה 5.7: נורה בספל מים (מקור: ראו נספח ג')

1. תארו במילים מה ראיתם.
2. האם הנורה מחוברת למקור מתח חשמלי כמו סוללה או שקע חשמלי?
3. האם עבר בחוט הלהט של הנורה זרם חשמלי?
 - א. כיצד אתם יודעים זאת?
 - ב. מהו מקור האנרגיה של הזרם?

כאשר מכניסים מזון למכשיר מיקרוגל, השדות החשמליים והמגנטיים שמוקרנים לחלל התנור מפעילים כוח על מטענים חשמליים שמצויים במולקולות המזון וגורמים למולקולות לרטוט ולהתחמם. באופן דומה, השדות האלקטרומגנטיים מפעילים כוח על האלקטרונים המצויים בחלקי המתכת של הנורה שהוכנסה למיקרוגל כלומר על חוט הלהט והמתכות המחוברות אליו. בשונה ממזון, מתכות מוליכות חשמל ולכן האלקטרונים יכולים לנוע בהן באופן חופשי מאטום לאטום. חוט הלהט עשוי מתכת שמוליכה חשמל. הכוחות שמפעילים שדות הקרינה המשתנים יוצרים זרמים חשמליים משתנים בחוט הלהט. הזרמים האלו גורמים לחוט הלהט להתחמם. טמפרטורת חוט הלהט עולה לאלפי מעלות צלזיוס ולכן הוא מתחיל לפלוט קרינה שאותה אנו רואים כאור. ייתכן שבנוסף לאור לבן הנפלט מחוט הלהט ראיתם גם הבזקי אור צבעוניים בעת חימום הנורה. הבזקים אלו הם תוצאה של תהליכים המתרחשים בגז הכלוא במיכל הזכוכית של הנורה.

מאפיינים של גלים אלקטרומגנטיים

בפרק הקודם למדנו על מאפיינים של גלים מחזוריים והכרנו את המושגים משרעת, אורך גל ותדירות. המשרעת קובעת את עוצמת הגל, ואילו אורך הגל או התדירות שקשורים זה לזה קובעים את סוג הגל. כדי להבהיר את משמעות המושגים האלו עבור גלים אלקטרומגנטיים, נשווה בין גלים אלקטרומגנטיים לגלי הקול שעליהם למדנו בפרק 3.

גלי קול	גלים אלקטרומגנטיים	
דוגמה לתופעה	דיבור	אור נפלט ממנורה
מה מתנדנד?	לחץ האוויר או צפיפות החלקיקים בתווך שבו עובר הגל	השדות החשמליים והמגנטיים
תווך	זקוקים לתווך חומרי כמו גז, נוזל או מוצק כדי להתקדם. ההפרעה מניעה את חלקיקי התווך.	מתקדמים גם בריק וגם בתווך חומרי, כיוון שההפרעה גורמת לתנודות של השדות המגנטיים והחשמליים ולא של חלקיקי החומר.
מהי המשמעות של משרעת הגל?	המשרעת קובעת את עוצמת הגל. כאשר מגבירים את הקול, מגדילים את המשרעת. בעקבות הגדלת המשרעת, החלקיקים בתווך מתנדנדים חזק יותר.	המשרעת קובעת את עוצמת הגל. אם נצרף מקור קרינה נוסף מאותו סוג – למשל, נדליק עוד נורה במנורה שיש בה כמה נורות זהות – נגדיל את המשרעת. התנודות של השדות החשמליים והמגנטיים תהיינה חזקות יותר.
מהי משמעות התדירות או אורך הגל השייך לה?	התדירות היא מספר הרטיטות של חלקיקי התווך (כמו אוויר, למשל) בשנייה והיא קובעת את גובה הצליל. תדירות גבוהה תשמע כצליל גבוה (סופרן) ותדירות נמוכה תשמע כצליל נמוך (בס).	התדירות היא מספר התנודות שהשדות החשמליים והמגנטיים מבצעים בשנייה. התדירות קובעת את סוג האור המוקרן. בהמשך, כשנדבר על תחום האור הנראה, נגלה שתדירויות גבוהות נראות לנו כאור סגול ותדירויות נמוכות נראות כאור אדום.
מהו תחום התדרים ואורכי הגל שבני אדם מסוגלים לקלוט?	אוזנינו קולטות גלי קול בתדרים שבין 20 ל-20,000 הרץ או אורכי גל מ-17 מילימטרים עד 17 מטרים באוויר. זכרו שאורך הגל תלוי גם בתווך שהגל עובר בו.	עינינו קולטות גלי אור בתדרים שבין 400 ל-790 טרה הרץ (טרה הרץ = אלף מיליארדים תנודות בשנייה) ואורכי גל בתחום של 0.4-0.7 מיקרומטר באוויר (מיקרומטר = אלפית המילימטר). זכרו שאורך הגל ישתנה בתוכים שונים.

טבלה 5.1: השוואה בין גלי קול לגלים אלקטרומגנטיים



אוריאנה:

למדנו שישנם גלי קול גם מחוץ לתחום השמע האנושי, למשל גלי הקול שמפיקות המשרוקיות לכלבים. מהם גלי אור שמחוץ לתחום הנראה לעינינו?

פרופ' גלי קורן:

אלו גלי קרינה שאיננו רואים. למשל, הקרינה שנפלטת מהטלפון הנייד או מהנתב האלחוטי היא גל אלקטרומגנטי בתדר נמוך יותר מזה שאנו מסוגלים לראות. קרינת X בצילום רנטגן היא קרינה אלקטרומגנטית בתדר גבוה יותר ממה שהעין האנושית יכולה לקלוט. את הקרינה שאיננו רואים בעין, ניתן למדוד באמצעות מד-קרינה.

פעילות 5.4: גלי קול וגלים אלקטרומגנטיים – בדקו את עצמכם

היעזרו בטבלה 5.1 וקבעו, בהתייחס לכל אחד מהתיאורים הבאים, אם מדובר בגל קול או בגל אלקטרומגנטי.

- גל שמגיע אלינו דרך החלל החיצון, המצוי בין גופים שמימיים
גל קול / גל אלקטרומגנטי
- גל שכאשר המשרעת שלו גדולה, נדחסים בו חלקיקים בלחץ גבוה
גל קול / גל אלקטרומגנטי
- גל שנוצר כתוצאה מזרמים חשמליים משתנים או שנפלט מגופים חמים
גל קול / גל אלקטרומגנטי
- אורכי הגל שהאדם קולט קצרים מעובי שערה.
גל קול / גל אלקטרומגנטי
- אורכי הגל שהאדם קולט יכולים להגיע לגובה של ג'ירפה ואף יותר מכך.
גל קול / גל אלקטרומגנטי
- גל במשרעת קטנה מייצג התנדנדות של שדות חשמליים ומגנטיים חלשים.
גל קול / גל אלקטרומגנטי

הרחבה: האם כל גל אלקטרומגנטי הוא גל קרינה?

כל זרם חשמלי משתנה יוצר גלים אלקטרומגנטיים. חלק מהגלים יכולים להתקדם למרחקים גדולים ולשאת את האנרגיה למרחק, וחלקם יכולים להתקיים רק בסביבתו הקרובה של הזרם החשמלי כך שאינם נושאים אנרגיה למרחקים גדולים. המונח קרינה אלקטרומגנטית או גלי קרינה מתייחס לגלים אלקטרומגנטיים שנושאים את האנרגיה למרחקים גדולים.

כל זרם משתנה יוצר את שני סוגי הגלים האלו. הגלים שלהם אנו קוראים קרינה אלקטרומגנטית, משמעותיים כשאנו רחוקים מהזרם שיצר את הקרינה. בקרבת הזרם, ההשפעה המשמעותית היא דווקא של הגלים שאינם גלי קרינה. האומדן של מרחק "קרוב" או "רחוק" מהזרם המשתנה שיצר את הגל האלקטרומגנטי נקבע על-ידי אורך הגל. אם המרחק שלנו מהמקור, כלומר, מהזרם המשתנה קטן מאורך הגל, נאמר שאנו בטווח הקרוב, באזור של שדות אלקטרומגנטיים מתנדנדים שאינם קרינה אלקטרומגנטית. אם אנו במרחק גדול מאורך הגל נאמר שאנו בטווח הרחוק, באזור שבו יש קרינה אלקטרומגנטית או גלי קרינה.

התדירות של גלים אלקטרומגנטיים הנפליטים ממכשירי חשמל היא כתדירות המתח שמחובר למכשירים, כלומר, 50 הרץ. תדירות זו מתאימה לאורך גל של אלפי קילומטרים ולכן המדידות שאנו מבצעים ליד מכשירי החשמל הן בטווח הקרוב. המשמעות היא שהשדות שנמדוד ליד מכשירי החשמל שייכים לגלים האלקטרומגנטיים שאינם מוגדרים כקרינה אלקטרומגנטית מבחינה מדעית. לעומתם, מכשירי התקשורת משדרים בתדירויות גבוהות יותר ובהתאם לכך אורכי הגל קצרים, כ-15 סנטימטר. במקרה זה אנו מודדים את גלי הקרינה.

גלים אלקטרומגנטיים הנפלטים ממכשירי חשמל ביתיים

בתמונה שלפניכם מוצג צילום מסך של מד-קרינה פשוט המוצב בקרבת מקרר. על-גבי הצג ניתן לראות גרף המתעד את השדה המגנטי כתלות בזמן. ערך השדה המגנטי נכתב ביחידות של μT (מיקרו טסלה) או mG (מילי גאוס) שהן יחידות מקובלות למדידת שדות מגנטיים. על כך ראו ערך "יחידות למדידת שדה מגנטי" בנספח יחידות מידה.

הערה: גרף השדה המגנטי כתלות בזמן בתמונה 5.8 אינו דומה בצורתו לגל כלומר הוא שונה, למשל, מתמונה 4.2. זאת משום שערך השדה המגנטי משתנה מהר מאוד ומד-הקרינה אינו בנוי לעקוב אחרי שינויים מהירים כל כך. המדידה מאפשרת לנו להעריך את משרעת הגל, אך לא נותנת גרף מדויק של ערך השדה המגנטי כתלות בזמן.



שדה מגנטי

תמונה 5.8: מדידת שדה מגנטי באמצעות מד-קרינה המדידה התבצעה בסמוך לקיר שמעברו השני מוצב מקרר (במרחק של כ-10 ס"מ מאחורי המקרר). ערך השדה הממוצע שנמדד הוא $1.1 \mu T$ או 11mG. בגרף מתואר השדה כתלות בזמן. ערך השדה המקסימלי שנמדד הוא המספר מופיע בתחתית המסך, $2.3 \mu T$.



אורינה:

בתמונה 5.8 נמדד שדה של 11mG. האם זה שדה חזק או חלש?

פרופ' גלי קורן:

כדור-הארץ יוצר סביבו שדה מגנטי הרבה יותר חזק, כ-300 מיליגאוס, אולם בשונה מהשדה שפולט המקרר, כדור-הארץ פולט שדה מגנטי קבוע בזמן. מד-הקרינה מודד את השדה המגנטי המתנדנד שמשרה הזרם החשמלי המשתנה. כלומר, אם היה מדובר בשדה ממגנט קבוע שאינו פולט קרינה – כמוזכר בשיחה אחרי פעילות 5.2 – אז ערך של 11 מיליגאוס היה נחשב נמוך. כיוון שמדובר בשדה מתנדנד של גל אלקטרומגנטי הנושא עמו אנרגיה, ההשוואה לשדה הקבוע של כדור-הארץ אינה מועילה.

חיים גרין:

כדי לדעת אם השדה שיוצר המקרר חזק או חלש, צריך להשוות אותו לשדות שמייצרים מכשירים אחרים ולהתייחס לתקן המשרד להגנת הסביבה בנוגע לחשיפה לשדות מגנטיים.

טבלה 5.2 מציגה נתונים שפרסם המשרד להגנת הסביבה בנוגע לחשיפה המותרת לשדות מגנטיים שיוצרים מכשירי חשמל ביתיים בסביבתם (בשעה שהם פועלים). המכשירים המופיעים בטבלה פולטים גלים אלקטרומגנטיים משום שעובר בהם זרם מרשת החשמל. בישראל, רשת החשמל מספקת מתח חשמלי בתדירות של 50 הרץ ולכן זוהי גם תדירות הגלים שנפלטים מהמכשירים. משרעת השדה המגנטי בגל הנפלט מצוינת בטבלה והיא משתנה בהתאם לסוג המכשיר.

שימו לב: ישנו שוני גדול מאוד בערכי השדה המגנטי בין חברות שונות המייצרות אותו מכשיר ואפילו בין דגמים שונים של אותה חברה. הנתונים שמופיעים בטבלה הם חסמים עליונים לערך השדות המגנטיים שיוצרים המכשירים ולכן נעשה שימוש בסימן >. למשל, כתוב שמייבש שיער פולט שדה מגנטי $> 0.1 - 0.2$ מיליגאוס והכוונה היא שמייבש שיער טיפוסי ייצר שדה מגנטי הנמוך מערכים אלו. בפועל, לעיתים השדה המגנטי נמוך בהרבה מהערכים המצוינים בטבלה. כאשר רוכשים מכשיר חשמלי חדש, כדאי לברר אם השדה המגנטי שהוא יוצר סביבו גבוה או נמוך ביחס לערכים המאפיינים מכשירים מסוגו.



מדוע חשיפה לשדות מגנטיים חזקים נחשבת למסוכנת?

אוריאנה:

ד"ר אורית רופא: השדות המגנטיים שבסביבת המכשירים החשמליים מאפיינים את הגלים האלקטרומגנטיים שהמכשירים פולטים. ככל שהשדה המגנטי הנמדד חזק יותר, משרעת הגל גדולה יותר והוא נושא יותר אנרגיה. גלים באנרגיות גבוהות עלולים לגרום לנזקים בגופנו ועל כן נרחיב בפרק 9.

אוריאנה: מה משמעות המשפט: "עבור חשיפה של פחות מ-4 מיליגאוס בממוצע יממתי", שמופיע בכותרת של טבלה 5.2?

ד"ר אורית רופא: אסביר באמצעות דוגמה. נניח שאת משתמשת במייבש שיער במשך שעה בכל יום. לפי הטבלה, במרחק של שלושה סנטימטר, מייבש השיער יוצר שדה מגנטי של 70 mG לפחות. כלומר, בממוצע, במשך 24 שעות ביממה את חשופה לפחות ל- $70/24 = 2.9 \text{ mG}$. אם תאריכי את משך השימוש במייבש לשעתיים, תהיי חשופה לשדה מגנטי ממוצע של לפחות $2 \cdot 70/24 = 5.8 \text{ mG}$ ביום וזה כבר מעבר לסף המומלץ של 4 mG בממוצע ביום. לכן, ההמלצה היא לא לשהות במרחק שלושה סנטימטרים ממייבש השיער במשך פרק זמן העולה על שעה ביום.

המכשיר	עוצמת שדה מגנטי במרחק 100 סנטימטר (במיליגאוס)	זמן חשיפה מותר - שעות ביממה	עוצמת שדה מגנטי במרחק 30 סנטימטר (במיליגאוס)	זמן חשיפה מותר - שעות ביממה	עוצמת שדה מגנטי במרחק 3 סנטימטר (במיליגאוס)	זמן חשיפה מותר - שעות ביממה
מייבש שיער	0.2-0.1 >	24	40-2	24-2	10,000-70	1-0
מכונת גילוח חשמלית	0.2-0.1 >	24	70-0.1 >	24-1	8,000-6	14-0
שואב אבק	11-0.1 >	24-7	180-4	24-0.4	7,000-70	1-0
נורה פלואורסנצטית	1.2-0.1 >	24	15-0.1 >	24-5	4,000-5	18-0
מיקרוגל	5-0.1 >	24-18	60-5	18-1	1,000-150	0.5-0
רדיו שעון	0.1 >	24	8-6	14-10	400-300	0.2
תנור חשמלי	0.2-0.1 >	24	3-2	24	200-150	0.5-0.4
מכונת כביסה	1.1-0.1 >	24	20-5	18-4	300-200	0.4-0.2
מגהץ	0.2-0.1 >	24	5-3	24-18	120-100	0.7-0.6
מדיח כלים	2-0.1 >	24	11-5	18-7	140-100	0.7-0.5
מחשב	0.1 >	24	0.1 >	24	140-120	0.6-0.5
מקרר	0.1 >	24	2.5-2	24	12-10	8-7
טלוויזיה	0.9-0.1 >	24	12-0.1 >	24-6	300-20	4-0.2
חימום תת-רצפתי חד גידי	5-4	24-18	60-40	2-1	200-150	0.5-0.4
חימום תת-רצפתי דו-גידי	0.1 >	24	0.1 >	24	3-2	24
סדין חשמלי	2-0.8	24	30-20	4-2	110-80	0.9-0.7
מיטה מתכווננת מחוברת לחשמל	60-0.1	24-1	90-0.1 >	24-1	300-0.1 >	24-0.2
מטען עם שנאי	1.1-0.5	24	50-8	10-1	800-200	0.4-0.1
מטען אלקטרוני	0.1 >	24	1.0 >	24	5-2	24-18

טבלה 5.2: ערכי השדה המגנטי ושעות חשיפה מותרות עבור מכשירי חשמל ביתיים, במרחקים שונים מהמכשירים, עבור חשיפה של פחות מ-4 מיליגאוס בממוצע יומי. מיליגאוס (mG) הוא אלפית הגאוס. הנתונים לקוחים מאתר המשרד להגנת הסביבה.

http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/Radiation/Electrical_Facilities/Documents/RadiationDomesticElectronics.pdf

פעילות 5.5: גלים אלקטרומגנטיים הנפלטים ממכשירי חשמל ביתיים

בטבלה 5.2 מוצגים נתוני שדות מגנטיים בסביבת מכשירי חשמל ביתיים כגון מקרר או מייבש שיער. תדירות הגל שמכשירים אלה פולטים שווה ל-50 הרץ כתדירות רשת החשמל הביתית. בהסתמך על עוצמת השדות, המשרד להגנת הסביבה ממליץ על מספר שעות חשיפה מקסימלי לשדות המגנטיים שיוצרים המכשירים. קראו את הטבלה וענו על השאלות הבאות.

1. לאחר העיון בטבלה, האם ערך השדה המגנטי שנמדד סמוך למקרר בתמונה 5.8 נראה לכם גבוה או נמוך? האם צריך להימנע משהייה באזור שבו התבצעה המדידה? הסבירו מדוע.
2. בחרו את אחד המכשירים מתוך הטבלה. ענו על השאלות הבאות עבור המכשיר שבחרתם:
 - במשך כמה שעות ביום אתם משתמשים במכשיר?
 - מהו המרחק ביניכם לבין המכשיר כשאתם משתמשים בו?
 - האם השימוש שלכם במכשיר עולה בקנה אחד עם ההמלצות המפורסמות בטבלה 5.2?
 - לאור מה שלמדתם, כתבו המלצה לאופן השימוש הנכון במכשיר.
3. על-פי הטבלה, מהו המכשיר שעלול לפלוט את השדות המגנטיים החזקים ביותר?
4. בעקבות התבוננות בטבלה, איזה מכשיר גורם לחשיפה מקסימלית של המשתמש לשדות מגנטיים? בססו את תשובתכם על עוצמת השדה המגנטי, על המרחק האופייני בין המכשיר למשתמש ועל זמן השימוש האופייני במכשיר.
5. בטבלה מופיעים שני סוגים של התקני חימום תת-רצפתי: חימום תת-רצפתי חד-גיד¹⁶ וחימום תת-רצפתי דו-גיד¹⁷. בשנים האחרונות, המשרד להגנת הסביבה אסר על התקנת חימום תת-רצפתי חד-גיד בבתי מגורים. מדוע?

¹⁶ בחימום חד-גיד חוט חשמל בודד מעביר זרם מתחת למרצפות כדי לחמם את הבית.

¹⁷ בחימום דו-גיד חוטי החשמל עוברים מתחת לרצפה בזוגות, כך שליד כל חוט נושא זרם עובר חוט הנושא זרם בכיוון הפוך. סידור כזה גורם לכך שהשדות המגנטיים שיוצרים החוטים הפוכים בכיוונם ולכן מקטינים זה את זה.



אוריאנה:

בבית של סבתא שלי מותקן

חימום תת-רצפתי חד-גידי.

חיים גרין:

לפי המלצת המשרד להגנת הסביבה, עדיף להפעיל את החימום החד-גידי רק כאשר אינכם נמצאים בחדר המחומם ואינכם חשופים לקרינה הנפלטת ממנו. חשוב במיוחד להימנע מהדלקת חימום תת-רצפתי חד-גידי בנוכחות ילדים.

אוריאנה:

בטבלה 5.2 אין נתונים הנוגעים לנתב אלחוטי (ראוטר) ולטלפון אלחוטי, מדוע?

נהוראי מאיר:

להבדיל מהמכשירים שמופיעים בטבלה, נתב אלחוטי, טלפון אלחוטי וטלפון נייד הם מכשירי תקשורת שתכליתם שידור קרינה. הם פולטים קרינה בתדר הרבה יותר גבוה מ-50 הרץ שהוא התדר של רשת החשמל הביתית ולכן אין מקום להשוואה בינם לבין יתר מכשירי החשמל. גם מכשיר המיקרוגל, כשהוא מחמם מזון, פולט קרינה בתדרים גבוהים. הנתונים המופיעים כאן לגבי מכשיר המיקרוגל מתייחסים למצב שבו הוא מחובר לחשמל אך אינו מחמם מזון.

למעשה, למד-הקרינה יש שני מצבי מדידה. כאשר ממקמים את מד-הקרינה בסמוך למכשירי החשמל שמופיעים בטבלה 5.2, הוא מודד את ערך השדה המגנטי ואילו כאשר ממקמים אותו ליד ציוד תקשורת, נמדד ההספק הפוגע ביחידת שטח כלומר האנרגיה ליחידת זמן ליחידת שטח. ראו תמונה 5.9. אנו הטכנאים משתמשים הרבה פעמים במונח קרינה בשני המקרים, כי מבחינתנו, קרינה זה כל מה שאפשר למדוד באמצעות מד-קרינה, בין אם מדובר בשדות מגנטיים בסביבת מכשירי חשמל ובין אם מדובר בקרינה האלקטרומגנטית הנפלטת מציוד תקשורת.

פרופ' גלי קורן:

מבחינה מדעית יש הבדל בין הגלים האלקטרומגנטיים הנפלטים ממכשירי חשמל לבין הקרינה האלקטרומגנטית הנפלטת מציוד תקשורת. על כך ניתן לקרוא בהרחבה שאחרי פעילות 5.4.

יעקב חדש:

אחד הדברים שלמדתי בעבודתי כעיתונאי חוקר הוא שמומחים בתחומי דעת שונים מתייחסים בצורות שונות לאותן תופעות, וכשאני עורך תחקיר עליי ללמוד על כל נקודות המבט הללו.

ד"ר אורית רופא:

שימו לב שכל גל אלקטרומגנטי נושא אנרגיה, והמשרד לאיכות הסביבה מפרסם תקנים לערכים מרביים שאליהם מותר לנו להיחשף. במקרה של מכשירים חשמליים הפולטים גלים אלקטרומגנטיים לסביבתם הקרובה, התקנים הללו מציינים את גודל השדה המגנטי שאליו מותר לנו להיחשף לאורך זמן מסוים. במקרה של קרינה אלקטרומגנטית הם מפורסמים ביחידות של הספק ליחידת שטח כלומר אנרגיה ליחידת זמן ליחידת שטח.

קרינה אלקטרומגנטית בסביבה הביתית

בנוסף למדידת שדות מגנטיים בתדר הנמוך שמאפיין את רשת החשמל (50 הרץ), שאותה הכרתם בפעילות 5.5, ניתן למדוד בסביבה הביתית גם קרינה אלקטרומגנטית בתדרים גבוהים יותר, מסדר גודל של 2,000 MHz כלומר אלפיים מגה הרץ שהם אלפיים מיליוני הרץ. זוהי תדירות שגדולה בכמה סדרי גודל מתדירות רשת החשמל הביתית. גלים אלקטרומגנטיים אלה נפלטים מציוד תקשורת כגון נתב אלחוטי (ראוטר), טלפונים אלחוטיים, טלפונים ניידים ומכשיר המיקרוגל בעת חימום המזון. עבור קרינה בתדרים של אלפי MHz, מד-הקרינה אינו מציג את גודל השדה המגנטי, אלא את ההספק ליחידת שטח של הקרינה הפוגעת, כלומר, את האנרגיה שפוגעת בכל שנייה ביחידת שטח. מד-הקרינה מציין את התדירות הבולטת ביותר בקרינה הפוגעת ביחידות מגה הרץ MHz ואת ההספק הקרינה ליחידת שטח שנמדד ביחידות של mW/m^2 . על כך ראו בנספח **יחידות מידה**¹⁸. עבור קרינה בתדרים המאפיינים את ציוד התקשורת הביתי, המשרד להגנת הסביבה ממליץ להימנע מחשיפה ממושכת לעוצמות קרינה העולות על כ- $1000mW/m^2$.

על גבי צג מד-הקרינה בתמונה 5.9 ניתן לראות גרף המתעד את עוצמת הקרינה כתלות בזמן. הנוריות הצבעוניות מעידות על רמת קרינה נמוכה (ירוק), בינונית (צהוב) או גבוהה (אדום).

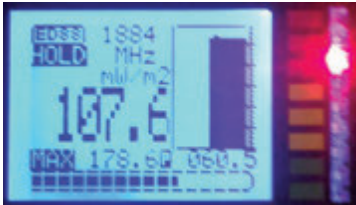
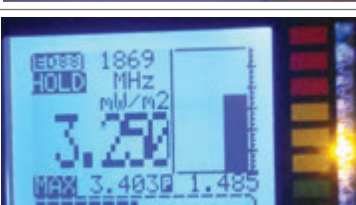


תמונה 5.9: מדידת קרינה הנפלטת מתושבת של טלפון אלחוטי ביתי. מד-הקרינה מודד את עוצמת הקרינה ($835mW$) ואת התדירות הבולטת ביותר בגל הקרינה ($1884MHz$).

פעילות 5.6: מדידת קרינה

בטבלה שבעמודים הבאים מוצגים צילומי מסך של מד-קרינה במרחקים שונים מתושבת של טלפון אלחוטי ביתי. הטלפון האלחוטי, שאינו מחובר בחוט לתושבת שלו, מעביר אליה וקולט ממנה מידע באמצעות שידור של קרינה אלקטרומגנטית.

18 הספק של 1 וואט (1w) הוא אנרגיה של 1 ג'אול (1J) שמגיעה בכל שנייה. 1 מיליוואט הוא אלפית וואט. מדידה של $3mW/m^2$ למשל, פירושה שבכל שנייה פוגעת בשטח של מטר בריבוע קרינה שהאנרגיה הכוללת שלה היא 3 אלפיות ג'אול.

מרחק (סנטימטר)	צילום מסך מד-הקרינה	הספק הקרינה הפוגעת ביחידת שטח (mW/m ²)	התדירות האופיינית של הקרינה (MHz) ¹⁹
20			
30			
40			
50			
60			
500			

טבלה 5.3: מדידות קרינה שפולט טלפון אלחוטי ביתי

¹⁹ קחו בחשבון כשאתם ממלאים עמודה זו שערכי התדירות שעליהם מצביע מד-הקרינה גדלים או קטנים בשיעור קטן באופן אקראי כלומר פעם עולים ופעם יורדים. לפיכך, ערכי תדירות קרובים זה לזה, כלומר ערכים השונים בפחות מ-10% זה מזה, יכולים להיות תוצאות מדידה שונות של אותה התדירות.

1. השלימו את הנתונים החסרים בטבלה על-פי צילומי המסך.
 2. האם תדירות הקרינה משתנה כתלות במרחק? הסבירו.
 3. שרטטו במחברת גרף המתאר את עוצמת הקרינה כתלות במרחק מתושבת הטלפון. באיזה גרף תשתמשו, גרף עמודות או גרף פיזור XY? הסבירו.
 4. האם כשמתרחקים מהתושבת עוצמת הקרינה עולה או יורדת? הסבירו.
 5. עבור תדר הקרינה של הטלפון האלחוטי, המשרד להגנת הסביבה ממליץ להימנע מחשיפה ממושכת לקרינה בעוצמה העולה על 1000 mW/m^2 ²⁰. בהסתמך על המלצה זו ועל הגרף שציירתם, מהו מרחק הביטחון שכדאי לשמור מתושבת הטלפון האלחוטי שמדידות הקרינה שלו מופיעות בטבלה 5.3? נמקו.
- הערה: כיוון שמכשירי טלפון אלחוטי שונים פולטים קרינה בעוצמות שונות, כדי להימנע מחשיפת יתר לקרינה, מומלץ לשמור על מרחק ביטחון גבוה יותר.**
6. כיצד ניתן לבדוק אם הקרינה שמדד מד-הקרינה נפלטה מתושבת הטלפון האלחוטי ולא ממכשירים אחרים המצויים באותו בית?
 7. בשאלה זו התייחסו לאחד המכשירים הקורנים שמצוי בביתכם כמו טלפון אלחוטי, נתב אלחוטי (ראוטר) או מכשיר אחר.
 - באיזה חדר מוצב המכשיר?
 - כמה שעות ביום נמצאים בני ביתכם בחדר זה?
 - האם העברת המכשיר לחדר אחר עשויה לצמצם את החשיפה שלכם לקרינה? אם כן, לאיזה חדר כדאי להעביר את המכשיר?

20 על סמך טבלת רמות חשיפה לקרינה בלתי מייננת, המשרד להגנת הסביבה,

<http://www.sviva.gov.il/subjectsenv/radiation/radiation/non-ionising/documents/radiation%20exposure%20levels%20chart.pdf>

סיכום הפרק:

- זרמים חשמליים מתנדנדים יוצרים **שדות חשמליים ומגנטיים** מתנדנדים שנושאים אנרגיה ומתקדמים במרחב בצורת **גל אלקטרומגנטי**.
- מכשירי חשמל ביתיים רבים, כמו מקרר, למשל, פולטים גלים אלקטרומגנטיים כיוון שזורם בהם זרם חשמלי משתנה בתדירות רשת החשמל הביתית.
- יש בבית מכשירים הפולטים קרינה אלקטרומגנטית. אלה הם מכשירי התקשורת למיניהם, כמו נתב אלחוטי או טלפון נייד, ומכשיר המיקרוגל בשעת חימום המזון. התדירות של קרינה זו גדולה בהרבה מהתדירות של הגלים האלקטרומגנטיים הנפלטות ממכשירי חשמל רגילים שנקבעת לפי התדר של רשת החשמל הביתית (50 הרץ), והם בעלי אורך גל קצר יותר.
- ניתן למדוד את עוצמת הגלים האלקטרומגנטיים באמצעות מד-קרינה. עבור מכשירי חשמל ביתיים, נמדוד את משרעת השדה המגנטי. עבור ציוד תקשורת, נמדוד את הספק האנרגיה הפוגעת ביחידת שטח.
- המשרד להגנת הסביבה מפרסם הנחיות בנוגע להגבלת החשיפה לגלים אלקטרומגנטיים הנפלטות ממכשירי חשמל ביתיים. התקנים מציינים את גודל השדה המגנטי המקסימלי שאליו מותר להיחשף במשך זמן נתון. המשרד מפרסם גם הנחיות בנוגע להגבלת החשיפה לקרינה אלקטרומגנטית מצידוד תקשורת. התקנים מציינים את הספק הקרינה הפוגעת ביחידת שטח. כדי להקטין את החשיפה שלנו לקרינה ולעמוד בהמלצות, כדאי למקם את המכשירים הקורנים בבית כך שלא נשהה זמן רב בצמוד אליהם. את הנתב האלחוטי (ראוטר) או את הטלפון האלחוטי, למשל, לא מומלץ למקם לצד המיטה.
- כדאי לדעת שעדיין אין הסכמה מדעית גורפת בנוגע לערכים המופיעים בתקנים אלה וחשוב להיות ערניים לנושא.

פרק 6: הספקטרום האלקטרומגנטי

שאלות שתוכלו להשיב עליהן אחרי שתלמדו את הפרק:

- כיצד נחש מסוגל להבחין בטרף שמסתתר מאחורי סלע?
- האם ניתן להכין פופקורן באמצעות הטלפון הסלולרי?
- כיצד מכשיר המיקרוגל מחמם מזון?

מושגים מרכזיים שנעסוק בהם בפרק זה:

תחומי הספקטרום האלקטרומגנטי: קרינת רדיו, קרינת מיקרו, קרינה תת-אדומה,

אור נראה, קרינה על-סגולה, קרינת רנטגן, קרינת גמא

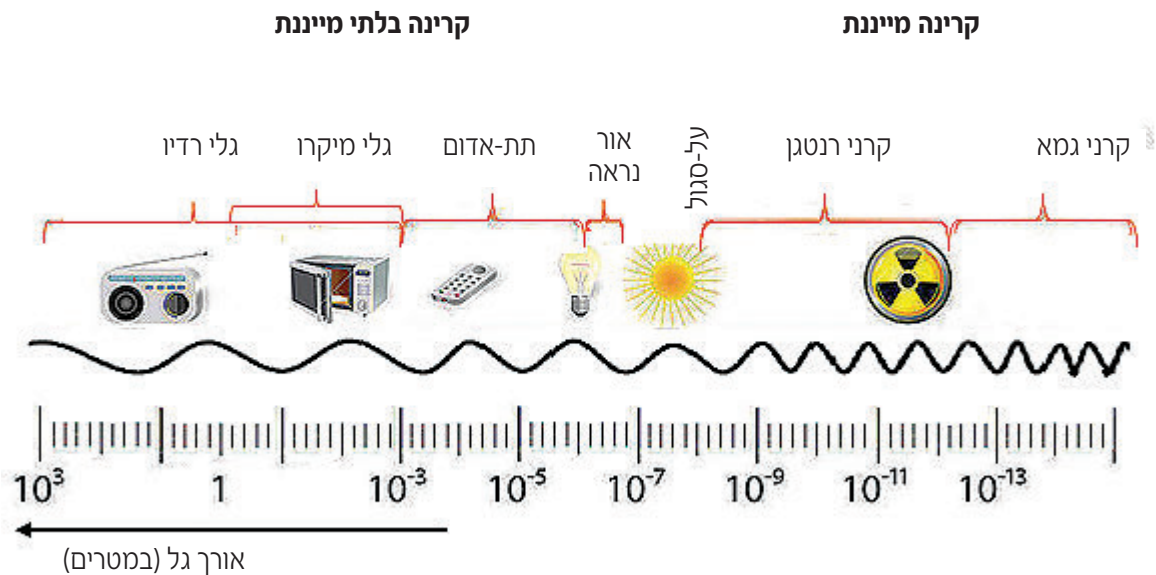
קרינה מייננת, קרינה בלתי מייננת

הקרינה האלקטרומגנטית שעליה למדנו בפרקים הקודמים מופיעה בתחום מאד רחב של אורכי גל או תדירויות. המונח **הספקטרום האלקטרומגנטי** מתאר את אוסף אורכי הגל או התדירויות של הקרינה האלקטרומגנטית.²¹ נהוג לחלק את הספקטרום האלקטרומגנטי לשבעה תחומים שנבדלים זה מזה בטווח התדירויות או אורכי הגל שלהם ולכן גם בתכונות שלהם. תחומים אלו הם:

- | | |
|------------------|------------------|
| • קרינת רדיו | • קרינה על-סגולה |
| • קרינת מיקרו | • קרינת רנטגן |
| • קרינה תת-אדומה | • קרינת גמא |
| • אור נראה | |

בתרשים שבעמוד הבא מצויר הספקטרום האלקטרומגנטי. בחלק התחתון מופיע ציר ועליו רשומים אורכי הגל. מימין תוכלו לראות אורכי גל קצרים ומשמאל ארוכים, כפי שממחיש הקו הגלי המצויר מעל הציר. בחלק העליון של התרשים כתובים שמותיהם של שבעת תחומי הקרינה ושימושים אופייניים לכל אחד מהם.

²¹ מקורה של המילה ספקטרום באנגלית (spectrum) ומשמעותה מגוון. האקדמיה ללשון העברית קבעה ב-2014 שבעברית ייקרא הספקטרום **מקשת**, בדומה לקשת בענן, שבה ניתן לחזות בכל גווי האור הנראה. אנו משתמשים במילה ספקטרום כיוון שהיא נפוצה יותר.



תמונה 6.1: הספקטרום האלקטרומגנטי (מקור: ראו נספח ג')

תזכורת: כתיב חזקות – מה משמעות המספרים שכתובים לאורך ציר אורך הגל בתמונה 6.1?

בקצה השמאלי של הציר, בתחום גלי הרדיו כתוב 10^3 , כלומר 10 בחזקת 3.

הכוונה היא לאורך גל המתקבל מהכפלת המספר 10 בעצמו שלוש פעמים:

$$10^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000 \text{ [מטר]} = 1 \text{ [קילומטר]}$$

עבור אורכי הגל הקצרים, נעשה שימוש בחזקות שליליות. למשל:

$$10^{-3} = \frac{1}{10^3} = \frac{1}{10 \cdot 10 \cdot 10} = \frac{1}{1000} \text{ [מטר]} = 1 \text{ [מילימטר]}$$

פעילות 6.1: סדרי גודל ומשמעותם

בהמשך הפרק, נלמד על מגוון תחומי הקרינה שמרכיבים את הספקטרום האלקטרומגנטי. בתמונה 6.1 אנו רואים, למשל, שאורך גל של 10^2 מטרים מטרים מאפיין את קרינת הרדיו שאנו מוקפים בה כמעט בכל מקום ואילו אורך גל של 10^{-13} מאפיין קרינת גמא שפגיעתה קטלנית. יש הבדל גדול בין שני גלים אלו: לכל אחד מהם אורך גל שונה. אורכי הגל שונים זה מזה בכמה סדרי גודל.



1. התבוננו במצגת חזקות של ²²10

2. כל תחום בספקטרום האלקטרומגנטי מתאפיין בטווח מסוים של אורכי גל. היעזרו במצגת ומתחו קו בין כל תחום אורכי גל בספקטרום לעצמים מוחשיים שמימדיהם הם מאותו סדר גודל.²³

תחום בספקטרום	סדרי הגודל של אורכי הגל במטרים (לפי תמונה 6.1)	עצם מוחשי בעולמנו
גלי רדיו	10^3	עכביש
	10^2	כרומוזום בתא
	10^1	אטום
גלי מיקרו, ששייכים לתחום גלי הרדיו	1	מולקולת גלוקוז
	10^{-1}	חומר תורשתי בתא
	10^{-2}	מחברת
אינפרא-אדום	10^{-3}	רחוב
	10^{-4}	עובי שיערה
	10^{-5}	חיידק
אור נראה	10^{-6}	כינים
	10^{-7}	אדם
	10^{-8}	גורד שחקים, מגרש כדורגל
על-סגול	10^{-9}	נגיף (וירוס)
	10^{-10}	בניין מגורים
קרינת רנטגן		

²² <http://moodle.telhai.ac.il/mod/resource/view.php?id=48759> גיורא ריטבו ממכללת תל-חי ונעמה לנדסמן מבית-הספר פסגות תרגמו את המצגת לעברית. המצגת ממחישה יפה את משמעות סדרי הגודל בעולמנו.

²³ קרינת גמא אינה מופיעה בטבלה כי אורכי הגל שלה קצרים ממימדי אטום וקשה להתאים להם עצמים מוחשיים.

מהי קרינה מייננת?

ייתכן שנתקלתם בתמרור המופיע בתמונה 6.2. זהו תמרור המוצב במקומות שבהם יש סכנה לפליטת קרינה מייננת.



תמונה 6.2: תמרור אזהרה מקרינה מייננת (מקור: ראו נספח ג')

אטומים בטבע הם לרוב במצב ניטרלי מבחינה חשמלית. במצב ניטרלי, מספר הפרוטונים החיוביים בגרעין האטום שווה למספר האלקטרונים השליליים המקיפים את הגרעין. יינון הוא תהליך שבו מוסיפים אלקטרון לאטום או גורעים ממנו אלקטרון. כשקרינה מייננת פוגעת בחומר, היא מסוגלת לגרום ליינון אטומים. פגיעה של קרינה מייננת בגוף האדם עשויה לשנות את מבנה המולקולות בגוף ולגרום לשינויים בלתי הפיכים ומסוכנים. על כך נרחיב בפרק 9.

לקראת סוף המאה ה-19, מדענים שמו לב לתופעה מסקרנת: היכולת של קרינה אלקטרומגנטית ליינן אטומים מושפעת רק מסוג הקרינה, כלומר מהתדירות שלה או מאורך הגל. להפתעת המדענים ובניגוד לתפיסה המקובלת באותה תקופה, משרעת הגל ולכן גם עוצמתו אינן קובעות אם קרינה תיינן או לא תיינן את האטום. פירוש הדבר הוא שקרינה בתדר נמוך ובאורך גל גבוה, כגון קרינת רדיו, קרינת מיקרוגל, קרינה תת-אדומה או קרינה בתחום האור הנראה אינה מייננת אטומים גם אם היא פוגעת בהם בעוצמה גדולה מאוד. כך, למשל, תאורה של כמה מנורות ביתיות מאותו סוג אינה מסוכנת. קרינה בתדר גבוה ואורך גל קצר, כמו קרינת גמא, קרינת איקס וחלק מקרינת העל-סגול, עשויה לגרום ליינון אטומים אפילו אם עוצמתה נמוכה מאוד. תופעה זו מכונה האפקט הפוטואלקטרי. את ההסבר המהפכני לאפקט הפוטואלקטרי הציע ב-1905 אלברט איינשטיין, שזכה בפרס נובל לפיזיקה על תגלית זו.

הרחבה: הסבר לאפקט הפוטואלקטרי

עד כה, הצגנו את הקרינה כסוג של גל. אולם, מתברר שישנן תופעות שניתן להסבירן רק אם נתייחס לקרינה כזרם של חלקיקים הקרויים **פוטונים**. התדירות קובעת את כמות האנרגיה שנושא כל פוטון והמשרעת קובעת את האנרגיה הכללית של כל זרם הפוטונים.

דמיינו את הקרינה כזרם של כדורים הנזרקים לעברכם במהירות. כל כדור כזה מייצג פוטון הפוגע בכם. פגיעה של כדור מתכת אחד מסוכנת יותר מפגיעה של אלפי כדורי קלקר. אם כך, כשרוצים לאמוד את השפעת הקרינה על אטומים שבהם היא פוגעת, סוג הקרינה, הנקבע על-ידי התדירות או אורך הגל, משמעותי יותר מעוצמת הקרינה, שנקבעת על-ידי המשרעת.

קרינה בתדירות גבוהה ואורך גל קצר מיוצגת על-ידי פוטונים הנושאים אנרגיה רבה מאוד ועל כן פגיעה של אחד מהם באטום עשויה לגרום ליינון. קרינה בתדירות נמוכה ואורך גל ארוך מיוצגת על-ידי פוטונים באנרגיה נמוכה כך שאפילו פגיעה של רבים מהם לא תגרום ליינון אטומים.



אוריאנה: אם כך, האם קרינה היא גל או חלקיק?

פרופ' גלי קורן: למעשה, קרינה היא גם גל וגם חלקיק. לעיתים היא מתנהגת כמו גל ולעיתים כמו חלקיק. פיזיקאים קוראים לתופעה זו **הדואליות של האור** ונרחיב על כך בפרק 7.

פעילות 6.2: קרינה אלקטרומגנטית פוגעת בחומר – שימוש בהדמיה

בפעילות זו נראה מה קורה כשמקרנים חומר ונבין את משמעות המושג קרינה מייננת.

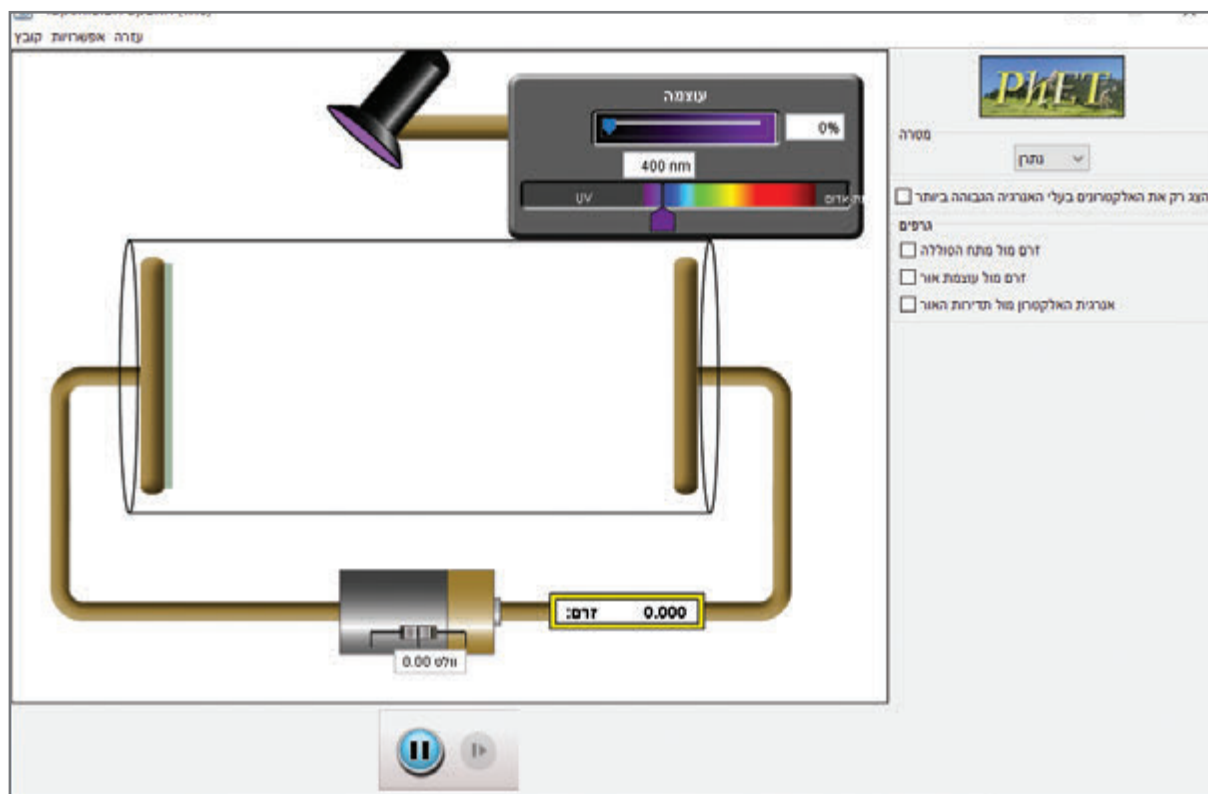
פתחו במחשב את ההדמיה הבאה.²⁴

http://phet.colorado.edu/sims/photoelectric/photoelectric_iw.jar

לפניכם תופיע מנורה שמקרנה אור על מטרה שהיא הלוח החום השמאלי. אתם יכולים לשלוט בעוצמת האור בהזזת סמן העוצמה מ-0% ל-100%, באורך הגל בהזזת סמן אורך הגל לאורך הספקטרום בין 100 ל-850 ננומטרים ובסוג המטרה בבחירה מהאפשרויות שמופיעות מצד ימין.

בפעילות זו, הקפידו להשאיר את מתח הסוללה קבוע בערך ההתחלתי של 0 וולט, כדי שהמעגל החשמלי לא ישפיע על התוצאות.

24 PhET Interactive Simulations, University of Colorado, Boulder, <https://phet.colorado.edu>



תמונה 6.3: הקרנת מטרה – צילום מסך מתוך ההדמיה (מקור: ראו נספח ג')

1. עבור מטרת נתון, כווננו את אורך הגל ל- 100nm ²⁵ כלומר למינימום האפשרי והעלו את עוצמת האור מ-0% ל-1%. האם נפלטים אלקטרונים מהמטרה?
2. העלו בהדרגה את עוצמת האור עד ל-100%. תארו את ההשפעה של עוצמת האור על פליטת האלקטרונים.
3. עצרו את ההדמיה. כווננו את אורך הגל ל- 850nm , כלומר למקסימום האפשרי ואת עוצמת האור ל-0%. הפעילו את ההדמיה והעלו בהדרגה את עוצמת האור. האם נפלטים אלקטרונים?
4. מהו אורך הגל המקסימלי שמצליח ליינן את מטרת הנתון?
5. האם תשובתכם לסעיף 4 תלויה בעוצמת האור? נמקו.
6. החליפו את חומר המטרה. במקום נתון בחרו אבץ, נחושת, פלטינה או סידן, והשלימו את הטבלה.

25 היחידות nm שבהן נמדד אורך הגל בהדמיה הן ננומטרים. ננומטר אחד הוא מיליונית המילימטר, כלומר 10^{-6} מילימטר או 10^{-9} מטר. ראו נספח **יחידות מידה**.

חומר	אורך גל מקסימלי ליינון
נתרן	
אבץ	
נחושת	
פלטינה	
סידן	

מסקנה: לכל חומר יש תדירות סף ליינון. קרינה בתדירות הגבוהה מתדירות הסף ובאורך גל קצר מזה שמתאים לתדירות הסף, תיינן את אטומי החומר. קרינה בתדירות נמוכה מתדירות הסף ובאורך גל ארוך מזה המתאים לתדירות הסף, לא תיינן את אטומי החומר, גם אם נגביר את עוצמתה.

קרינה מייננת היא קרינה שעלולה ליינן אטומים בגוף האדם. כיוון שגוף האדם מורכב מחומרים שונים, אין ערך חד-משמעי לתדירות סף שתפריד בין קרינה מייננת לקרינה בלתי מייננת. מקובל להתייחס לקרינה באורך גל גדול מ-124 ננומטר ותדירות שאינה עולה על $2.4 \cdot 10^{15}$ הרץ כקרינה בלתי מייננת. תדירות הסף $2.4 \cdot 10^{15}$ הרץ נבחרה כך שתהיה נמוכה מהתדירות המינימלית ליינון חמצן, מימן ומים המצויים בגוף והיא שייכת לתחום העל-סגול.²⁶



אוריאנה: ומה בנוגע לקרינה לא מייננת? האם היא יכולה לפגוע בי?

ד"ר אורית רופא: חשיפה ממושכת לקרינה בלתי מייננת בעוצמה חזקה יכולה לפגוע

בבריאות. בפרק 9 נעסוק בנושא זה. עם זאת, המדע לא נתן עדיין תשובה ברורה אם, איך ובאיזו מידה קרינה בלתי מייננת בעוצמות נמוכות שאנו חשופים אליה כל העת, מזיקה לבריאות. חוקרים ממשיכים לבחון את התופעה כדי לספק לנו תשובות. בשנים האחרונות מופיעים בעיתונות הפופולרית והמקצועית דיווחים על אנשים המתלוננים על כך שהם רגישים לקרינה בלתי מייננת. הסימפטומים שעליהם הם מדווחים מאוד מגוונים. רוב המחקרים שבדקו את נושא הרגישות לקרינה לא מצאו קשר בין חשיפה לקרינה לא מייננת לסימפטומים שמאפיינים רגישות לקרינה. עם זאת, יש מחקרים שכן מצביעים על אפשרות לקשר כזה והנושא עדיין נחקר.

כפי שניתן לראות בתמונה 6.1, הספקטרום האלקטרומגנטי אינו מחולק רק לקרינה מייננת ובלתי מייננת. הוא כולל שבעה תחומים של אורכי גל הנבדלים זה מזה בתדרים, במקורות הקרינה ובשימושים שלה. בעמודים הבאים תמצאו מידע המתייחס לתחומי הספקטרום השונים.

קרינת רדיו

קרינת רדיו כוללת גלים אלקטרומגנטיים בתדרים שבין 3 קילו-הרץ ל-300 ג'יגה-הרץ. אורכי הגל של גלי הרדיו הם בין מילימטר אחד ל-100 קילומטר. גלים אלו משמשים לתקשורת אלחוטית: העברת שידורי רדיו, ניווט באמצעות לוויינים, מערכות מכ"ם (מגלה כיוון ומרחק) ועוד. גלי הרדיו הם בעלי אורך הגל הארוך ביותר והתדירות הקטנה ביותר בספקטרום האלקטרומגנטי. כפי שנלמד בפרק 7, היכולת של גלים לעבור מחסומים כמו קירות או עצים תלויה באורך הגל שלהם. ככל שאורך הגל ארוך יותר, הגלים מצליחים לעבור דרך מחסומים ארוכים יותר. לכן, גלי הרדיו הם המתאימים ביותר לשידור ארוך טווח. ניתן לקלוט גלי רדיו המגיעים אלינו מהחלל החיצון ואף לשדר גלי רדיו אל החלל כדי לתקשר עם חלליות ולוויינים.

קרינת מיקרו

גלי מיקרו הם גלי רדיו בתדרים גבוהים יחסית. מדובר בגלים אלקטרומגנטיים בתדרים שבין 300 מגה-הרץ ל-300 ג'יגה-הרץ. אורכי הגל של גלי המיקרו הם בין 1 מילימטר ל-1 מטר. גלי המיקרו משמשים במגוון רחב של מכשירים: מכשירי מיקרוגל, טלפונים ניידים, טלפונים אלחוטיים, נתבים אלחוטיים (ראוטרים) ועוד. במכשיר מיקרוגל, האוכל מוקרן בגל שתדירותו 2,450 מגה-הרץ. תדר זה מתאים לבליעה של מולקולות כמו מים או שומן. באופן זה המכשיר מחמם את החלקים הרטובים במזון. מסיבה זו, כשמחממים סופגניה במכשיר מיקרוגל, המילוי מתחמם יותר מהבצק.



אוריאנה:

למדנו שככל שהתדירות נמוכה יותר ואורך הגל ארוך יותר, הגל יכול להיות משודר למרחק גדול יותר. אם כך, למה התקשורת האלחוטית עובדת באמצעות גלי מיקרו ולא באמצעות גלי רדיו בתדר נמוך יותר?

נהוראי מאיר:

יש מקרים שבהם אנו מעוניינים דווקא שהגל ישודר למרחק מוגבל. נתב אלחוטי (ראוטר) מספק רשת אלחוטית למחשבים הנמצאים בקרבתו. גם אנטנה סלולרית נועדה לתקשר עם טלפונים ניידים המצויים בקרבתה ולא עם כל הטלפונים הניידים בארץ. המדינה מקצה תדרים לשימושים השונים. התדרים הנמוכים יותר בתחום הרדיו מוקצים לשידורי רדיו וטלוויזיה המועברים לכל הארץ. תדרים גבוהים יותר מוקצים לתקשורת אלחוטית.

קרינה תת-אדומה

האור האדום הוא קצה הגבול של תחום האור הנראה, כפי שנלמד בהמשך. קרינה תת-אדומה או קרינה אינפרה-אדומה מורכבת מגלים אלקטרומגנטיים בתדירות נמוכה יותר מזו של האור האדום ומכאן שמה (אינפרה= מתחת או נמוך מ-). תחום התדרים של גלי תת-אדום נע בין 300 מגה-הרץ ל-430 טרה-הרץ, ואורכי הגל שלהם נעים בין 1 מילימטר ל-0.7 מיקרומטר.

למדנו בפרק 1 שכל גוף חם פולט קרינה. תדר הקרינה קשור לטמפרטורה באופן הבא: ככל שטמפרטורת הגוף הפולט עולה, כך עולה תדר הקרינה הנפלטת. השמש, שהטמפרטורה על פניה היא בערך 5,500 מעלות צלזיוס, פולטת קרינה הנראית לעינינו בתחום התדירות של האור הנראה. בני אדם, לעומת זאת, פולטים קרינה בתדר נמוך יותר, שהעין האנושית אינה קולטת. ישנם אמצעים לראיית לילה שמסוגלים לקלוט קרינה בתחום התת-אדום שנפלטת מגופם של אנשים או אפילו מהקרקע.

פעילות 6.3: איך פועל שלט?



גלי תת-אדום משמשים גם לשידור למרחקים קצרים, למשל, מהשלט לטלוויזיה. צפו בסרטון **איך פועל שלט?**²⁷ מתוך **מדע בבית** בהנחיית ד"ר אבי סאייג ממכון דוידסון לחינוך מדעי.

ענו על השאלות הבאות:

1. לאיזה תחום בספקטרום האלקטרומגנטי שייכת הקרינה שפולט השלט?
2. מדוע יש צורך לצלם את השלט כדי לראות את הקרינה?
3. כיצד ניתן לתפעל את המזגן בשלט רחוק? מה ההבדל בין הקרינה שפולט השלט כדי להדליק את המזגן לבין הקרינה שהוא פולט כדי לשנות את הטמפרטורה?
4. הסבירו כיצד נחש מסוגל להבחין בטרף שמסתתר מאחורי סלע.
5. מדוע בני אדם אינם מסוגלים להבחין בחיות שמסתתרות מאחורי סלעים?

27 <https://www.youtube.com/watch?v=gKl6n0YaO8E&feature=youtu.be>

אור נראה

תחום האור הנראה כולל גלים אלקטרומגנטיים שהעין האנושית מסוגלת לקלוט. אלו תדרים בתחום של 340-790 טרה-הרץ ואורכי גל של 380-700 ננומטר. בפרק 8 נלמד על האור הנראה ועל ראייה בהרחבה.

הרחבה: ננומטרים וננוטכנולוגיה

יחידת המידה ננומטר העניקה לתחום הדעת **ננוטכנולוגיה** את שמו. הננוטכנולוגיה עוסקת בטכנולוגיה זעירה בממדים של ננומטרים. חוקרי הננוטכנולוגיה, ד"ר אוהד זוהר, ד"ר אלכס להב ופרופ' אורי סיון מהטכניון, הצליחו לכתוב את התנ"ך כולו על שבב סיליקון הקטן מגרגר אורז! את התנ"ך הממוזער הזה תוכלו לראות במוזיאון ישראל בירושלים.

המילה ננוס (ננס, גמד ביוונית) נזכרת במשנה. יחידת המידה ננומטר מוגדרת (בערך) כך שמספר הננומטרים שנכנסים באורך של זית אחד הוא כמספר הזיתים שנכנסים בקוטר כדור-הארץ.

קרינה על-סגולה

סגול הוא הצבע בעל התדירות הגבוהה ביותר שעין אנושית מסוגלת לקלוט. קרינה על-סגולה היא קרינה בתדרים גבוהים יותר מהסגול. אלו הם תדרים בתחום של 3,000-790 טרה-הרץ ואורכי גל של 10-380 ננומטר. את תחום העל-סגול נהוג לחלק לשלושה תחומי משנה:

- **UVA** – קרינה באורכי גל ארוכים יחסית של 315-380 ננומטר הקרובה לאור הנראה; זו קרינה שמקורה בשמש והיא עוברת דרך האטמוספירה של כדור-הארץ. בעת חשיפה לשמש קרינה זו אינה גורמת לכוויות אך עלולה לגרום נזקים לטווח ארוך.
- **UVB** – קרינה באורכי גל של 280-315 ננומטר; האטמוספירה חוסמת את רוב הקרינה הזו, אך מעט הקרינה שחודרת לכדור-הארץ עלולה להזיק לעיניים ולעור, ולגרום לכוויות.
- **UVC** – קרינה באורכי גל קצרים של 10-280 ננומטר שנחסמת על-ידי האטמוספירה. זוהי קרינה מסוכנת מאוד לכל יצור חי. היא משמשת בתעשייה להשמדת חיידקים, למשל, בתהליכים של טיהור מים וחיטוי ציוד רפואי.

כ-99% מהקרינה העל-סגולה שמגיעה לפני כדור-הארץ היא קרינת UVA ו-1% מהקרינה היא קרינת UVB.

קרינת X או קרינת רנטגן

זו קרינה מייננת באורכי גל הנעים בין 5 פיקומטר ל-10 ננומטר. קרינה זו היא בעלת כושר חדירה גבוה במיוחד ולכן יכולה לעבור דרך רקמות רכות. קרינת X נחשבת כשהיא פוגעת בעצמות. זאת משום שעצמות צפופות הרבה יותר מרקמות רכות. קרינת הרנטגן התגלתה במקרה באמצע המאה ה-19 ומאז נמצאו לה שימושים רבים, ביניהם:

- צילומים רפואיים לאיתור שברים בעצמות או חורים בשיניים
- צילומי מבנים לאיתור סדקים

משנות ה-50 של המאה ה-20 גברה המודעות לסכנה הבריאותית הנגרמת עקב חשיפה לקרינה מייננת ועל כן החלו לנקוט אמצעי זהירות בכל הנוגע לקרינת רנטגן. כיום, צילומי רנטגן מתבצעים כשהמטופל לובש סינר עופרת שבוֹלע את הקרינה ובאופן זה מגן על חלקי גוף שאינם מצולמים. כמו כן, צילומי סי-טי שבהם המטופל נחשף לכמות רבה מאוד של קרינה – לפחות פי 100 מצילום רנטגן – מתבצעים רק במקרים שבהם הרופאים משוכנעים כי תצמח מהצילום תועלת העולה על הנזק. על השימושים הרפואיים של הקרינה נלמד בהרחבה בפרק 10.

קרינת גמא (γ)

זאת קרינה מייננת באורכי גל הקצרים מ-5 פיקומטר. פגיעת קרינת גמא בתאים חיים היא מסוכנת ואף קטלנית. קרינת גמא נפלטת בתגובות רדיואקטיביות, כלומר, בתהליכים שבהם אטום משנה את זהותו והופך לאטום אחר, יציב יותר, תוך פליטת אנרגיה בצורת קרינה. לרוב מדובר בתגובות שרשרת: תגובה המתרחשת באטום אחד פולטת קרינה שמדרבנת תגובה דומה באטומים נוספים בסביבתו. קרינה זו מסוכנת משום שהיא מייננת ולכן בכוחה לגרום נזק לתאים חיים וכן משום שכשהיא נפלטת, אטומים נוספים צפויים "להיגרר" לתגובה ולהגביר מאוד את קצב פליטת הקרינה.

תגובות רדיואקטיביות מתרחשות בליבת השמש שם אטומי מימן עוברים היתוך גרעיני ומתחברים ליצירת אטומי הליום. למזלנו, הקרינה שנפלטת מתגובה זו נבלעת בשמש עצמה ואינה מגיעה לכדור-הארץ. תהליך דומה של היתוך גרעיני מתרחש בפיצוץ של פצצת מימן. בפצצות אטום, לעומת זאת, אורניום עובר סדרה של ביקועים גרעיניים שגורמים לפליטת קרני גמא.

כדאי לדעת שקרינה גרעינית כוללת בנוסף לקרינה אלקטרומגנטית או קרינת גמא גם קרינת אלפא וקרינת בטא. קרינות מסוג אלפא ובטא נוצרות בתהליכי ביקוע והיתוך גרעיני. במהלכם נפלטים, בנוסף לקרינת הגמא, גם חלקיקים מאד אנרגטיים, הקרויים חלקיקי אלפא וחלקיקי בטא.

ספר זה אינו עוסק בקרינה גרעינית. נציין רק שלקרינה זו ובפרט לקרינת הגמא יש שימושים מועילים ברפואה כמו, למשל, בטיפול בסרטן, ובתהליכי הפקת אנרגיה. תחנות-כוח גרעיניות הן אחד ממקורות האנרגיה היעילים מבחינת היחס בין חומר הגלם לאנרגיה המופקת. עם זאת, השימוש באנרגיה גרעינית שנוי במחלוקת בשל החשש מתקלות קטלניות כדוגמת האסונות שאירעו בצ'רנוביל או בפוקושימה.

פעילות 6.4: הכרת הספקטרום

1. לפניכם טבלה המשווה בין התחומים השונים שבספקטרום האלקטרומגנטי. מלאו את הטבלה על סמך המידע שמופיע בעמודים הקודמים.

קריטריון השוואה	אורך גל	שימושים	סכנות (אם ישנן)
קרינת רדיו			
קרינת מיקרו			
קרינה תת-אדומה			
אור נראה			
קרינה על-סגולה			
קרינת X			
קרינת גמא			

2. שייכו את התמונות הבאות לתחום המתאים להן בספקטרום האלקטרומגנטי.

א. תחום אורכי הגל שמתאים לתמונה:



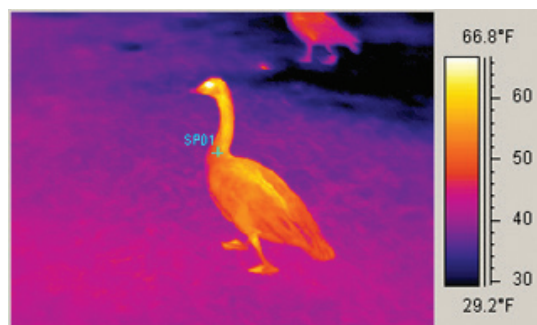
תמונה 6.4: מערך של טלסקופים בניו-מקסיקו, ארה"ב. הטלסקופים קולטים קרינה מהחלל באורכי גל של 0.6-4.1 מטרים (מקור: ראו נספח ג')

ב. תחום אורכי הגל שמתאים לתמונה:



תמונה 6.5: מזון מתחמם במכשיר מיקרוגל (מקור: ראו נספח ג')

ג. תחום אורכי הגל שמתאים לתמונה:



תמונה 6.6: אווז; התמונה צולמה במצלמה תרמית וטמפרטורת האווז במעלות פרנהייט מצוינת במקרא מימין (מקור: ראו נספח ג')

ד. תחום אורכי הגל שמתאים לתמונה:



תמונה 6.7: כשמאירים כרטיס אשראי ישן באור שתדירותו מעט גבוהה יותר מתדירות האור הנראה, נחשפת תמונת ציפור ש"הוחבאה" בו כדי למנוע זיופים. בכרטיסי אשראי של חברות שונות, יופיעו אותיות או סמלים שונים בחשיפה לקרינה על-סגולה (מקור: ראו נספח ג')

ה. תחום אורכי הגל שמתאים לתמונה:



תמונה 6.8: צילום רנטגן של כף יד; שבר באחת העצמות מסומן בחץ (מקור: ראו נספח ג')

ו. תחום אורכי הגל שמתאים לתמונה:



תמונה 6.9: ענן שנוצר כתוצאה מהטלת פצצה גרעינית על העיר נגסקי שביפן במלחמת-העולם השנייה (מקור: ראו נספח ג')

פעילות 6.5: הספקטרום בחדשות



יעקב חדש: אנחנו מחפשים כתב מדעי חדש לעיתון שלנו. לאחר שבחנו קורות חיים של כמה מועמדים, אנחנו מתלבטים בין שלושה. ביקשנו מהמועמדים לשלוח דוגמה לכתבה פרי עטם שעוסקת בנושא מדעי. האם תוכלו לעזור לנו לבחור כתב מביניהם?

- קראו את הכתבות ששלחו המועמדים.
- השוו ביניהן תוך שימוש בטבלה הבאה.
- ערכו הצבעה ודיון בכיתה. איזה כתב תרצו לקבל לעבודה בעיתון? מדוע?

טבלה להשוואה בין כתבות

כתבה	פופקורן סלולרי – האמת	צופים בחשיכה: הכירו את התרמופון	השמדת חיידקים
1. התחומים בספקטרום שבהם עוסקת הכתבה			
2. מהו המידע המדעי כגון, עובדות, שאלות או הסברים המדווח בכתבה?			
3. באיזו מידה המידע מוצג באופן בהיר גם למי שאינו מומחה בתחום?			
4. מהי הרלוונטיות של הכתבה לחיי היום-יום? הסבירו.			
5. האם הכתבה מסתמכת על מקורות אמינים? הסבירו.			
6. האם הכתבה אובייקטיבית? הסבירו.			
7. מהי, לדעתכם, עמדת הכתב ביחס לנושא שעליו הוא מדווח?			
8. כיצד ניתן, לדעתכם, לשפר את הכתבה?			

כתבה ראשונה: פופקורן סלולרי – האמת²⁸

לאחרונה מופצים סרטונים שבהם נראים כמה מכשירי טלפון ניידים המכוונים לעבר גרגרי תירס. כאשר מחייגים אל הטלפונים הניידים, גרגרי התירס מתפקעים תוך שניות, קופצים והופכים לפופקורן. סרטונים משעשעים מסוג זה מעוררים דאגה רבה בקרב הציבור – אם כמה טלפונים ניידים מסוגלים לפוצץ גרגרי תירס, הרי נשקפת לנו סכנה עצומה בעת השימוש בהם!

כדי לברר אם הסרטונים אמיתיים, שוחחתי עם אבי שטרית, מהנדס חשמל. למדתי שחימום במכשיר מיקרוגל הוא למעשה הקרנה של המזון בתדר של 2,450 מגה-הרץ שנבלע במולקולות המים וגורם להן לרטוט ולהתחמם. בגרעיני תירס יש חלק פנימי לח העטוף בקליפה חיצונית קשיחה ואטומה. לכן, כשמחממים גרעיני תירס במיקרוגל, רק החלק הפנימי שלהם מתחמם. במהלך פעולת המיקרוגל, החלק הפנימי של גרעין התירס מתחמם עוד ועוד עד שפורצים ממנו אדים שמבקעים את הקליפה החיצונית ונשמע ה"פיצוץ", שבמהלכו משפריץ תוך-הגרעין החוצה ומתקבע בצורה של ענן לבנבן – הפופקורן המוכן.

לשם הצלחת התהליך המתואר כאן, יש צורך בקרינה בתדר המתאים לבליעה במולקולות מים. הטלפונים הניידים, כמו גם מכשירי תקשורת אחרים כדוגמת הנתב האלחוטי (ראוטר) והטלפון האלחוטי פולטים קרינה בתדרים הקרובים לזה של מכשיר המיקרוגל. בשל כך האוזן שלנו מתחממת לאחר שיחה ממושכת בטלפון הנייד. אולם, עוצמת הקרינה הנפלטת מהטלפונים הניידים קטנה פי עשרות מונים מזו של מכשיר המיקרוגל. למעשה, כדי להגיע לקרינה בעוצמות של מכשיר המיקרוגל יש צורך להשתמש באלף טלפונים ניידים בו-זמנית. מובן שאין אפשרות לכוון כל כך הרבה טלפונים אל עבר גרגרי התירס, מה גם ששימוש במספר כה גדול של מכשירים קרובים זה לזה יעמיס על האנטנה ויגרום לשיבושים בתקשורת. המסקנה הבלתי נמנעת היא שאין כל אפשרות להכין פופקורן באמצעות טלפונים ניידים.

אז מה אנחנו רואים בסרטון? איפה הרמאות? בסרטונים מסוג זה מוחבא הרכיב פולט הקרינה (מגנטרון) מתוך מכשיר מיקרוגל מתחת לשולחן שעליו מונחים גרגרי התירס. כאשר מדליקים את המיקרוגל, הקרינה שנפלטת מהמגנטרון מפוצצת את גרעיני התירס. כיוון שהמיקרוגל נסתר מעין המצלמה, הצופים בסרטון משתכנעים כי השימוש בטלפון הנייד הוא זה שחימם את הפופקורן.

סרטונים כאלו הופקו לראשונה במסגרת פרסומות לאוזניות בלוטות' (Bluetooth). מטרתם הייתה להפחיד את הציבור ולעודד שימוש באוזניות שיפחיתו את עוצמת הקרינה הפוגעת במוח בעת שימוש בטלפון הנייד. השימוש באוזניות אכן מומלץ, אך גם בלעדיהן ראשנו לא יתפוצץ כמו גרעין תירס.

ולסיום, הערת אזהרה: פירוק מכשירי מיקרוגל הוא פעולה מורכבת ומסוכנת שיכול לבצע רק בעל מקצוע שהוכשר לכך. על כן, הימנעו מניסיונות לשחזור הסרטונים באמצעות שימוש במגנטרון המוחבא מתחת לשולחן, שכן הקרינה הנפלטת ממנו מסוכנת.

28 מבוסס על כתבות בבלוג של אורן פרבר, מורה למדעים ויזם בתחום החינוך, מ-2008: <http://orenmada.net/archives/48124> ובבלוג של ד"ר אריה מלמד - כץ מהנדס אלקטרוניקה ודוקטור לפיזיקה, בכתבה מ-2009:

blog-post.html/05/http://arie-science.blogspot.co.il/2009

כתבה שנייה: צופים בחשכה – הכירו את התרמופון²⁹

שוק הטלפונים החכמים אינו מפסיק להפתיע. חדשות לבקרים אנו שומעים על המצאות שיהפכו את הטלפון למשוכלל, שימושי ומלהיב יותר. המצלמה התרמית החדשה Therm-App של חברת אופגל הישראלית היא חידוש מעניין במיוחד. מדובר במכשיר קטן שמתחבר לטלפון החכם והופך אותו למצלמה שקולטת אור בתחום התת-אדום.

ומה ניתן לראות בתת-אדום? כל דבר וכל אחד מאיתנו פולט קרינה בהתאם לטמפרטורה שלו. ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר, תדירות הקרינה הנפלטת גדולה יותר ובהתאם, אורך הגל קצר יותר. השמש, שהטמפרטורה על פניה היא כ-5,500 מעלות צלזיוס פולטת קרינה בתחום הנראה. מקורות חום על-פני כדור-הארץ פולטים קרינה באורכי גל ארוכים יותר ששייכים לתחום התת-אדום. באמצעות זיהוי הקרינה התת-האדומה ומדידת אורך הגל שלה, ניתן להבחין במקורות חום ולמדוד את הטמפרטורה שלהם.

רבים ממכשירי התת-אדום הקיימים מיועדים לשימוש של כוחות הביטחון וצוותי חילוץ. מעקב אחרי קרינה תת-אדומה שנפלטת מגופם של אנשים מאפשר לזהות כוחות צבא או פצועים בשטח. גם השרברבים (אינסטלטורים) משתמשים במכשירים לראיית תת-אדום כדי לאתר צנרת ונזילות בתוך קירות. רופאים ווטרינרים יכולים להשתמש בראיית תת-אדום כדי לעקוב אחרי התפתחות של דלקות אצל המטופלים: אזורי הדלקת חמים יותר ולכן פולטים קרינה באורך גל שונה מעט מזה של האזורים הבריאים בגוף.

כעת, כשכל טלפון חכם יכול להתחבר למצלמת Therm-App ולהפוך לתרמופון, נוכל לעקוב אחרי קרינה תת-אדומה גם בחיי היום-יום. למשל, ניתן לצלם מזון שהתחמם בתנור ולוודא שגם החלק הפנימי הגיע לטמפרטורה הרצויה או לצאת לטיולים ליליים בטבע ולצפות ממרחק בטוח בחיות בר המופיעות על מסך המצלמה התרמית.

כתבה שלישית: השמדת חיידקים³⁰

קרינה מייננת היא מסוכנת, אפילו מסוכנת מאוד. כשקרינה כזו פוגעת בגוף חי היא גורמת לשינויים (מוטציות) במבנה החומר הגנטי. בספרי הקומיקס, מוטציות אלו יכולות להפוך תלמיד תיכון רגיל לספיידרמן האגדי, אך בחיים האמיתיים סביר יותר שחשיפה לרמות גבוהות של קרינה מייננת תגרום לסרטן ואף למוות. את כוחה הקטלני של הקרינה אנו יכולים לנצל לצורכי עיקור וטיהור מחיידקים.

במסנני מים רבים מותקנת נורת UV. תפקידה של נורה זו הוא לפלוט קרינת UVC, קרינה על-סגולה באורכי גל קצרים יחסית, שמשמידה את החיידקים שבמים או לפחות עוצרת את התרבותם. לאחרונה הועלתה הצעה

29 מבוסס על כתבה מאת שחר שושן, כתב חדשות וטכנולוגיה, שהופיעה באתר ynet ב-2014.
<http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4509769,00.html>

30 מבוסס על כתבה של ד"ר דרור בר ניר מהמחלקה למדעי הטבע והחיים באוניברסיטה הפתוחה. הכתבה פורסמה בעיתון גלילאו ב-2007. הכתבה פורסמה גם באתר הידען 0412073 <http://www.hayadan.org.il/on-bacteria-and-radiation-0412073>
 מידע נוסף מצוי באתר של חברת שור-ואן <http://www.sorvan.co.il>

לטהר גם את מי השופכין שמשמשים להשקיית גידולים חקלאיים באמצעות קרינה על-סגולה. כיום, מטהרים את המים לחקלאות תוך הוספת כלור שקוטל את החיידקים. מלבד הסרבול הכרוך בהקצאת מיכלים מיוחדים לערבוב הכלור במים, ישנה סכנה שהכלור מהמים ייספג בגידולים ויזיק לבריאותנו. זאת ועוד, בעקבות שימוש רב-שנים בכלור, סוגים שונים של חיידקים כבר פיתחו עמידות כנגדו. הקרנת המים, לעומת זאת, תבטיח עיקור זריז של מים שיהיו נקיים לא רק מחיידקים אלא גם מחומרי לוואי כימיים.

נורות UV משמשות גם לחיטוי חדרי ניתוח. כאשר חדרי הניתוח בבתי-החולים ריקים מאדם, מדליקים בהם מנורת UV שתכליתה להשמיד את כל החיידקים בחדר.

ישנם מוצרים שעוברים עיקור בקרינה עוצמתית אף יותר מהקרינה העל-סגולה. קרינת גמא שנפלטת בהתפרקויות רדיואקטיביות מנוצלת באופן קבוע בתעשייה לטובת עיקור תבלינים וציוד רפואי חד-פעמי. מוצרים אלו צריכים להיות סטריליים במיוחד ועל כן הטיפול בהם נעשה בקרינה בתדר הגבוה פי 100,000 ויותר מהתדר שפולטות נורות העל-סגול. מובן שקרינת גמא אינה זמינה לשימוש ביתי. בסמוך למרכז המחקר הגרעיני שביבנה נמצאת חברת שור-ואן. החברה הזו משתמשת בחומר רדיואקטיבי (קובלט 60), שמספק מרכז המחקר הגרעיני, כמקור לקרינת גמא. חומר רדיואקטיבי הוא חומר בלתי יציב שמתפרק באופן ספונטני והופך לחומר אחר. ההתפרקות משחררת אנרגיה רבה בצורה של קרינת גמא שמופצת לסביבה. התבלינים והציוד הרפואי שנשלחים לעיקור, מוסעים על סרט נע בסמוך לחומר הרדיואקטיבי, סופגים את הקרינה ויוצאים מהמפעל כשהם נקיים מחיידקים. העיקור מהיר ומתבצע כאשר המוצרים כבר ארוזים לשיווק, כך שאין אפשרות שיזדהמו לאחר התהליך.

החיידקים רגישים לקרינה פחות מאיתנו, בני האדם. כדי לפגוע בחיידק, יש צורך ברמות קרינה גבוהות פי 10 בערך מאלו שיכולות להיות קטלניות לאדם. העמידות בפני קרינה משתנה מחיידק לחיידק. למדע מוכרת אפילו משפחת חיידקים שהם "חובבי קרינה". חיידקים ממשפחה זאת חיים בבית גידול הנמצא בעומק של שלושה קילומטרים מתחת לאדמת דרום-אפריקה. מקור האנרגיה שלהם הוא קרינה הנפלטת מאורניום בסלעים שסביבם. בחיידק אחר התפתחה עמידות יוצאת מגדר הרגיל כנגד קרינה. חיידק זה יכול לשרוד ברמות קרינה הגבוהות פי אלף ויותר מאלו שמסכנות בני האדם. קבוצת המחקר בראשות פרופ' אבי מינסקי ממכון ויצמן למדע הצליחה להסביר את המנגנון שמגן על החיידק מפני נזקי הקרינה ב-2003.³¹

חיידקים אלו הם היוצאים מן הכלל. לרוב, הקרנה מספקת מענה הולם לעיקור חיידקים, כך שאם תרכשו תבלינים שעברו הקרנה, תוכלו להיות בטוחים שלא יימצאו בהם חיידקים.

31 Smadar Levin-Zaidman, Joseph Englander, Eyal Shimoni, Ajay K. Sharma, Kenneth, W. Minton, Abraham Minsky, Science. 299:(5604)254-256.

סיכום הפרק

- גלי הקרינה האלקטרומגנטית מחולקים לשבעה תחומים בהתאם לתדירויות או אורכי הגל שלהם. תחומים אלו מסודרים בסדר עולה של תדירויות וכוללים קרינת רדיו, קרינת מיקרו, קרינה תת-אדומה, אור נראה, קרינה על-סגולה, קרינת רנטגן וקרינת גמא. שבעה תחומים אלה מרכיבים יחדיו את הספקטרום האלקטרומגנטי.
- היכולת או אי היכולת של קרינה ליינן אטום נקבעת על סמך תדירות הקרינה או אורך הגל שלה, ללא תלות בעוצמתה.
- גלי הרדיו, גלי המיקרו, גלי התת-אדום והאור הנראה הם קרינה בלתי מייננת, משום שאין בכוחם ליינן את האטומים בגוף האדם.
- גלי הגמא, הרנטגן וחלק מגלי העל-סגול עלולים ליינן אטומים בגוף ועל כן הם נקראים קרינה מייננת.
- לכל אחד מתחומי הספקטרום שימושים טכנולוגיים, מדעיים או רפואיים ייחודיים לו, וכן תקנים המגבילים את החשיפה לקרינה. על כך נרחיב בפרקים הבאים.

פרק 7: העברה, החזרה ובליעה של גלים

דוגמה לשאלות שתוכלו להשיב עליהן אחרי שתלמדו את הפרק:

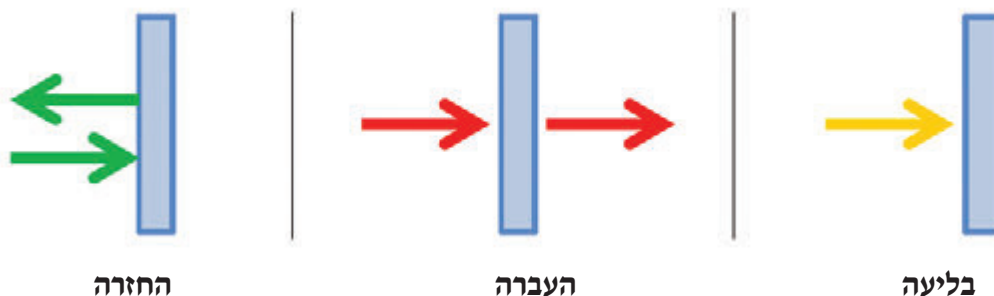
- מדוע מומלץ להימנע משימוש בטלפונים ניידים בתוך מעלית?
- האם אפשר לחסום קרינה אלקטרומגנטית?

מושגים מרכזיים שנעסוק בהם בפרק זה:

העברה, החזרה, בליעה

בפרקים הקודמים למדנו שגל הוא הפרעה נושאת אנרגיה המתקדמת במרחב. במקרה של גלי קול, ההפרעה היא שינויים בלחץ. במקרה של גלים אלקטרומגנטיים, ההפרעה היא התנדנדות של שדות חשמליים ומגנטיים. למדנו גם איך ניתן ליצור גל. למשל, גל אלקטרומגנטי יכול להיווצר מזרמים חשמליים משתנים בזמן או מגופים חמים. איפיינו את הגלים תוך שימוש במושגים כמו תדירות, זמן מחזור ואורך גל, והבנו שגלים באורכי גל שונים ובתדירויות שונות, משמשים למטרות שונות.

בפרק הנוכחי נלמד מה קורה לגלים כשהם מתקדמים ופוגעים במחסום כמו קיר, חפץ או גוף כלשהו. גלים אינם מתנהגים כחלקיקים ולכן, לעיתים, הם מסוגלים לעבור מחסומים. בכיתה אפשר לשמוע דיבורים מהכיתה השכנה, כלומר, חלק מגלי הקול עוברים דרך קירות הכיתה. חלק אחר מגלי הקול מוחזרים כשהם פוגעים בקיר, תופעה המוכרת לנו כהד. ייתכן גם שגל ייבלע בקיר, כלומר, ימסור את האנרגיה שהוא נושא לקיר או לכל מחסום אחר.



תמונה 7.1: בליעה, העברה והחזרה של גל

האור שאנו רואים הוא גל קרינה שיכול לעבור דרך חלון זכוכית שקוף. לכן, אנו יכולים לראות את הנוף מבעד לחלון. חלק מהאור הפוגע בחלון הזכוכית מוחזר ולכן לעיתים נראה את דמותנו משתקפת בחלון כמו במראה. חלק מהקרינה נבלע בזכוכית ומחמם אותה. בתהליך הבליעה האנרגיה שנושא הגל האלקטרומגנטי נמסרת לחומר ויכולה לגרום בין השאר להתחממותו. לתופעה זו שימושים רבים ביניהם חימום מים בדודי שמש. איזה חלק מהגל יעבור את המחסום? במילים אחרות, עד כמה המחסום שקוף? איזה חלק של הגל יוחזר ממנו או ייבלע בו, כלומר, עד כמה המחסום אטום? התשובה לשאלות אלו תלויה בתכונות הגל ובתכונות המחסום. קירות, למשל, מעבירים קול אבל אטומים לאור הנראה.



הרחבה: האור – גל או חלקיק?

אורי'אנה:

בפרק הקודם, בהרחבה שעסקה באפקט הפוטואלקטרי, למדנו שהאור מורכב מחלקיקים הקרויים פוטונים. בפסקאות האחרונות, לעומת זאת, מוסבר שהאור הוא גל ולכן גלי אור יכולים לעבור דרך מחסומים. האם האור הוא גל או שהוא חלקיק?

פרופ' גלי קורן:

זו שאלה מצוינת, שהעסיקה את המדענים במשך מאות רבות של שנים. כבר במאות החמישית והרביעית לפני הספירה, הפילוסופים היווניים התלבטו בסוגיה זו. אריסטו טען שהאור הוא גל ואילו דמוקריטוס חשב שהאור הוא חלקיק. במשך השנים, עם התפתחות הידע המדעי, הצטברו ראיות רבות להתנהגות גלית של האור ומנגד, התגלו גם תופעות שניתן להסביר רק אם מניחים שלאור יש אופי חלקיקי. המחלוקת נמשכה עד לפיתוח תורת הקוונטים בתחילת המאה ה-20. לפי עקרונות תורת הקוונטים, האור הוא גם גל וגם חלקיק, כלומר, לעיתים האור מתנהג כזרם חלקיקים ולעיתים כגל, כך שהאנרגיה של חלקיקי האור (פוטונים) תלויה באורך הגל. לתכונה זו של האור אנו קוראים הדואליות של האור, כפי שכבר הזכרנו בפרקים קודמים.

אורי'אנה:

מה זאת אומרת גם גל וגם חלקיק? המדע אינו מספק תשובה חד-משמעית?

חיים גרין:

לפעמים תשובה היא חד-משמעית אבל תלויה בנסיבות. נניח שאשאל אותך מהו צבעה של הזיקית. אותה זיקית נראית שחורה ולפעמים גם ירוקה, כתלות בתנאי הסביבה. עבור כל בחירה של תנאי סביבה כמו שעה, טמפרטורה או מידת האיום מצד טורפים, נוכל לומר מה צפוי להיות צבעה של הזיקית, ובכל זאת, אין תשובה ברורה לשאלה הכללית, מהו צבע הזיקית, כי הצבע תלוי בתנאי התצפית.

פרופ' גלי קורן:

נכון מאוד. אם תתארי לי תופעה מסוימת הקשורה באור, אוכל לומר אם בתופעה שתיארת מתבטא האופי הגלי או החלקיקי של האור. עם זאת, באופן כללי, ניתן לתאר את האור גם כגל וגם כחלקיק כאשר ההתנהגות החלקיקית או הגלית נקבעת לפי תנאי המדידה.

פעילות 7.1: העברה, החזרה ובליעה

תארו את התופעות הבאות במונחים של העברה, החזרה ובליעה של גלים. התייחסו גם למקור הקרינה. דוגמה: כביש מתחמם בצהרי יום קיץ.

קרינת השמש שמועברת דרך האטמוספירה, פוגעת בכביש, נבלעת בו ומחממת אותו.

א. טלפון נייד בתוך הבית קולט שידורים מאנטנה בחוץ.

ב. אדם מתבונן במראה ורואה את דמותו.

ג. קרינה אלקטרומגנטית פוגעת בגוף וגורמת ליינון, כמו בפעילות 6.2.

ד. אדם צועק במערה ושומע הד.

ה. חיטוי תבלינים באמצעות קרינה.

ו. מזון מתחמם במכשיר מיקרוגל.

ז. סככה מצללה על מגרש משחקים.

שאלה למחשבה: כיצד אנו מסוגלים לראות גם בצל, במצב שבו העצם שאנו מתבוננים בו אינו מואר ישירות באור השמש?

פעילות 7.2: התקדמות גלי קול – טלפון כוסות

ציוד:

- שני גביעי גבינה, או כוסות פלסטיק קשיח חד-פעמיות, או קופסאות פח
- חוט תפירה / רקמה באורך מטר
- סיכה / מברג לחירור הכוס; קל יותר לחורר את הכוס באמצעות מחט חמה.

שלבי העבודה:

- היעזרו במחט כדי ליצור חור בתחתית כל גביע.
- השחילו את החוט דרך חור באחד הגביעים וקשרו את הקצה שבתוך הגביע.
- באופן דומה השחילו את קצהו השני של החוט דרך הגביע השני וקשרו.
- בקשו מחבר או חברה לאחוז באחד הגביעים, ואתם אחוזו בשני, ומתחו את החוט. אחד מכם יניח את הגביע על אוזנו והשני ילחש לתוך הגביע שבידו. החליפו תפקידים ונהלו שיחה בטלפון.



תמונה 7.2: טלפון כוסות (מקור: ראו נספח ג')

כיצד עובד טלפון כוסות?

כשמדברים בטלפון הכוסות, יוצרים גל קול שמרעיד את האוויר בגביע אחד. האוויר מרעיד את הגביע ואת קצה החוט ויוצר גל בחוט בדומה לגלים בקפיץ שעליהם למדנו בפרק 2. כיוון שהחוט מתוח, תנודות בקצה אחד שלו ישפיעו על יתר חלקיו והגל יתקדם. איננו רואים את הרעידות של החוט בעין כי הן עדינות מדי. הגל מתקדם לאורך החוט ומרעיד את הגביע שבצד השני והאוויר שבתוכו שמרעיד את עור התוף באוזן השומע. במילים אחרות, גל הקול בגביע הראשון הומר לגל מכני שהתפשט בחוט ואז הומר חזרה לגל קול בגביע השני. הגל מעביר אנרגיה דרך החוט.

1. האם ניתן לשוחח בטלפון הכוסות כשהחוט אינו מתוח? בדקו!



תמונה 7.3: האם ניתן לשוחח בטלפון כוסות כשהחוט אינו מתוח? (מקור: ראו נספח ג')

2. האם ניתן להשתמש בטלפון הכוסות כאשר תלמיד שלישי אוחז בחוזקה בחוט? בדקו!

3. מדוע גל הקול מתקדם בטלפון הכוסות טוב יותר מאשר באוויר?

ההבדל המרכזי בין טלפון כוסות, לטלפון קווי, ולטלפון נייד הוא סוג התווך בין הטלפון המשדר לטלפון הקולט וסוג האות שיכול להתקדם בו. בטלפון הכוסות הגביעים משדרים וקולטים את התנודות המכניות של החוט. בטלפון קווי מכשירי הטלפון משדרים וקולטים אות חשמלי, ובטלפון נייד המכשירים משדרים וקולטים קרינה

אלקטרומגנטית, כלומר, גלי קרינה. כיוון שגלי הקרינה מתקדמים ללא תווך, מכשירי הטלפון הנייד ניידים ולכן פופולריים.

כשחברכם אחז בחוט הוא שיכך את הרעידות של החוט ולכן חסם את הגל שהתפשט בחוט ומנע מהקול להגיע לאוזן. מה דעתכם? האם נוכל לחסום את התקשורת בין מכשירי הטלפון הניידים שלנו?

פעילות 7.3: שיבוש קליטה בטלפון הסלולרי

בפעילות זו ננסה לשבש את התקשורת בין טלפון נייד לאנטנה שמשדרת אליו.

לשם כך, נכניס את אחד ממכשירי הטלפון לעטיפות או למיכלים שונים, נחייג אליו מטלפון אחר ונבדוק אם השיחה נקלטה במכשיר העטוף, כלומר, אם הטלפון העטוף מצלצל.

לפניכם רשימה של מיכלים ועטיפות מומלצים. ניתן להוסיף מיכלים ועטיפות לרשימה.

- קופסת פלסטיק
- סיר בישול מתכתי עם מכסה מתכתי
- שלוש מעטפות נייר
- קופסת עץ
- שלוש שכבות של רדיד אלומיניום המצוי
- שמירה מקופלת
- בכל מטבח (נייר כסף)
- מיכל זכוכית
- קופסה במילוי צמר גפן
- כפות ידיכם

1. אילו מבין המיכלים והעטיפות חוסמים מעבר קרינה בתחום האור נראה?
2. שערו באילו חומרים כדאי לעטוף את הטלפון הנייד כדי לשבש את הקליטה. הסבירו את השערתכם.
3. בדקו אילו מבין המיכלים והעטיפות חוסמים מעבר קרינה בתחום גלי המיקרו בין האנטנה למכשיר הטלפון.
4. מה משותף לכל המיכלים והעטיפות שהצליחו לחסום את מעבר הקרינה אל הטלפון הנייד?
5. אורך הגל של קרינה במכשיר מיקרוגל דומה לאורך הגל שבו קולט ומשדר טלפון נייד. הנייר העוטף את רוב חבילות החמאה מכיל מתכת. שערו מה יקרה אם תנסו לחמם חבילת חמאה מבלי להסיר את העטיפה. האם החמאה תתחמם? שערו, הסבירו את השערתכם ובדקו בבית.³²

32 באופן כללי מומלץ לא להפעיל את מכשיר המיקרוגל כשיש בתוכו מתכת שכן מתכות מחזירות את הקרינה והחזרים שמגיעים למשדר שבתנור המיקרוגל (מגנטרון) עשויים לקלקל אותו. אם אתם בוחרים לבצע את הניסוי בבית, הכניסו למיקרוגל גם ספל מלא במים (המים יבלעו חלק מהקרינה) והימנעו מחימום העולה על 30 שניות.

**אוריאנה:**

למדנו שקרינה היא גלים אלקטרומגנטיים, כלומר, שדות חשמליים ומגנטיים שמתקדמים במרחב. מבחינה זו, הקרינה של מנורת הקריאה אינה שונה במהותה מקרינה סלולרית. ואף על פי כן, הקרינה הסלולרית מסוגלת לעבור דרך קירות בעוד שאור אינו עובר דרך הקיר. מה הסיבה להבדל הזה?

חיים גרין:

גם לנמלה ולפיל יש הרבה במשותף. שניהם מורכבים מתאים דומים מאוד. למרות זאת, לא תצפי שהם יעברו דרך מחסומים באותה קלות.

פרופ' גלי קורן:

נכון מאוד. לכל הגלים האלקטרומגנטיים יש תכונות משותפות, אך הם שונים זה מזה באורך הגל ובתדירות. אורך הגל של הקרינה הפוגעת והתכונות של החומר שממנו עשוי המחסום קובעים איזה חלק מהקרינה הפוגעת יעבור את המחסום, איזה חלק יוחזר ממנו ואיזה חלק ייבלע בו. לכן, קרינת המיקרו שמשמשת, למשל, לשידור בטלפונים ניידים מסוגלת לעבור דרך קירות הבתים ואילו אור נראה אינו עובר דרך קיר. שידורים למרחקים ארוכים, שצריכים לעבור מחסומים רבים בדרכם, יתבצעו באורכי הגל של תחום הרדיו.

שאלה למחשבה: כשנכנסים בנסיעה לתוך מנהרה ארוכה, אילו גלים נחסמים קודם? גלי האור או הגלים של שידורי הרדיו? מדוע?

חומרים מתכתיים מוליכי חשמל אינם מאפשרים לקרינה אלקטרומגנטית לעבור דרכם. מסיבה זו כשאנו נמצאים בתוך חלל מוקף בקירות מתכתיים הקליטה של הטלפון הנייד גרועה במיוחד. חשוב להבין שעוצמת השידור של טלפונים ניידים – כלומר עוצמת האות היוצא מהטלפון – נקבעת על-פי עוצמת הקליטה שלהם – כלומר עוצמת האות המגיע לטלפון מהאנטנה המרכזית. לכן, כשאנו מתעקשים לדבר בטלפון במקום שבו יש קליטה לא טובה, עוצמת הקרינה הנפלטת מהמכשיר שלנו גדלה באופן משמעותי. הדבר חמור במיוחד כשאנו עושים זאת במעלית. במקרה זה אנו מנסים לשדר גל אלקטרומגנטי מתוך תיבה מתכתית אטומה כמעט לגמרי. האות הנקלט במכשיר נמוך מאוד כיוון שאת רובו חוסמים הקירות המתכתיים. לכן, במצב שידור, כשאנו מנהלים שיחה טלפונית או שולחים הודעת טקסט, מכשיר הטלפון הנייד שלנו פולט קרינה אלקטרומגנטית בעוצמה גדולה במיוחד. הקרינה מוחזרת מהקירות המתכתיים כמו אור המוחזר ממראה, ולכן פוגעת לא רק באדם המדבר בטלפון אלא בכל מי שסביבו. משום כך **מומלץ לא לדבר בטלפון הנייד או לשלוח הודעות טקסט כשאתם נמצאים במעלית.**

מתכות מוליכות חשמל משמשות לא פעם לחסימה מכוונת של קרינה אלקטרומגנטית. ראינו למשל שרדיד האלומיניום חסם את הקרינה העוברת בתהליך השידור והקליטה בטלפון הנייד. חסימה של קרינה אלקטרומגנטית מתרחשת הן עקב החזרה, במצב שהקרינה הפוגעת מוחזרת מהמתכת במקום לעבור דרכה, והן עקב בליעה, במצב שהאנרגיה של הקרינה הפוגעת נמסרת למתכת ולכן הגל אינו עובר דרכה. סוג המתכת ואורך הגל של הקרינה האלקטרומגנטית הפוגעת קובעים איזה חלק מהקרינה הפוגעת יוחזר מהמתכת ואיזה חלק ייבלע בתוכה. המתכת עופרת, למשל, בולעת היטב קרינה מייננת. מסיבה זו, כשיש צורך לבצע צילום רנטגן, מקפידים לכסות את הנבדק בסינר עופרת, כדי שאזורי הגוף שאין צורך בצילומם לא ייחשפו לקרינה.



תמונה 7.4: צילום שיניים נעשה כשהמטופל לובש סינר עופרת; הסינר בולע קרינה ומגן על גופו (מקור: ראו נספח ג')

סיכום הפרק

- כשגל פוגע במשטח הוא יכול לעבור דרכו, לחזור ממנו או להיבלע בו.
- מידת ההעברה, ההחזרה והבליעה של גל תלויות בסוג הגל, בתדירות או באורך הגל ובתווך שבו הוא עובר.
- גלים אלקטרומגנטיים בתחום הרדיו והמיקרו מסוגלים לעבור מחסומים כגון קירות או עצים בצורה טובה יחסית ולכן משמשים לשידורי רדיו וסלולר.
- מתכות חוסמות מעבר של גלים אלקטרומגנטיים דרכן.

פרק 8: האור הנראה

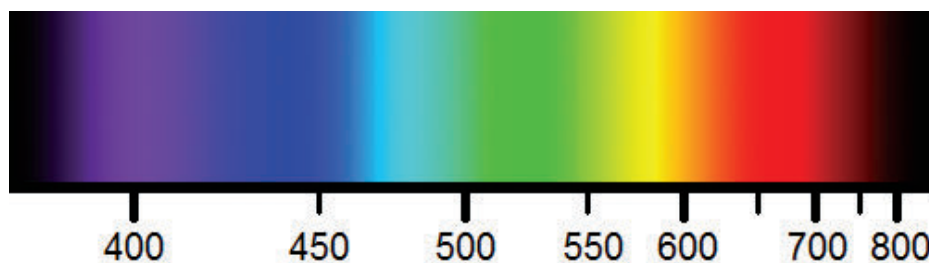
שאלות שתוכלו להשיב עליהן אחרי שתלמדו את הפרק:

- כיצד מתקבלים הצבעים על צג המחשב או הטלפון הנייד שלנו?
- באיזה צבע תיראה לנו כלנית אדומה אם נכניס אותה לחדר שמואר באור כחול בלבד?
- האם אכילת גזר יכולה לשפר את הראייה?

מושגים מרכזיים שנעסוק בהם בפרק זה:

שבירת אור, שחור, לבן, RGB
חלקי העין: קרנית, אישון, קשתית, עדשה, רשתית, קנים, מדוכים

בפרק 6, למדנו שקרינה בתחום אורכי הגל שבין 380 ל-700 ננומטר (מיליונית המילימטר) מכונה אור נראה. כשגלים בתחום אורכי הגל הזה פוגעים בעין אנושית, הם נבלעים ומוסרים את האנרגיה שלהם לעין. באופן זה הם יוצרים אותות שמועברים למוח דרך עצב הראייה ושמפתרשים כצבעים. אורך הגל של הקרינה הפוגעת בעין קובע את הצבע שאנו רואים. ראו תמונה 8.1.



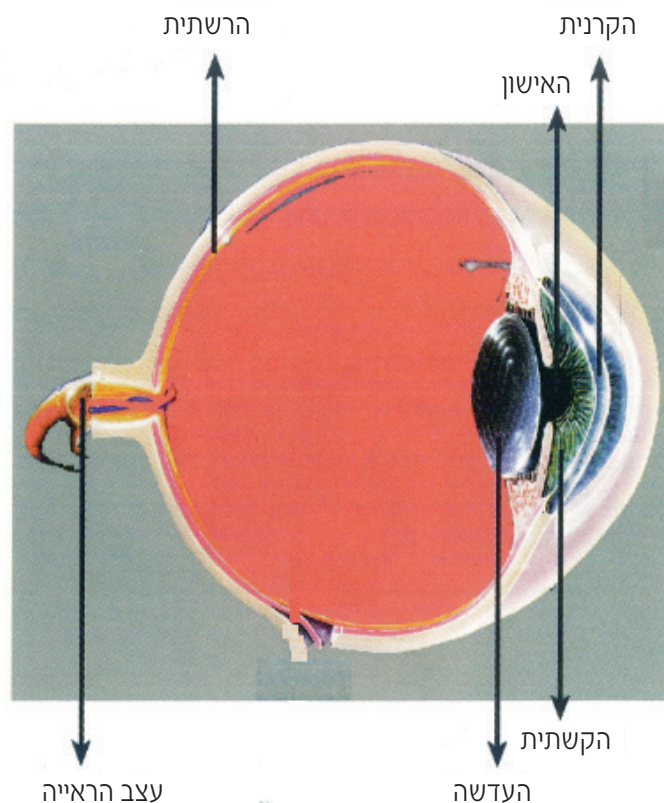
תמונה 8.1: אורכי הגל של האור הנראה בננומטרים (מקור: ראו נספח ג')³³

בפרק הנוכחי נעסוק רק בגלים השייכים לתחום האור הנראה, בין 380 ל-700 ננומטר. על כן, נשתמש במושג אור כדי לתאר גל אלקטרומגנטי שאורך הגל שלו הוא בתחום האור הנראה. לאורך הפרק נתוודע לעקרונות המדעיים שמאפשרים לעין לתפקד כהלכה. על בסיס עקרונות אלה פותחו מכשירים רבים כמו משקפיים, מצלמות וצגי טלוויזיה.

33 ננומטר הוא מיליונית המילימטר או 10^{-9} מטר.

כיצד אנו רואים?

רוב העצמים סביבנו אינם מאירים ולמרות זאת אנו רואים אותם. קרני האור פוגעות בעצמים אלה ומתפזרות. חלק מהן חודר לעין שלנו דרך **הקרנית והאישון** (ראו תמונה 8.2) והן אלו שיוצרות את תמונת העולם שעליה אנו מביטים. **העדשה** שוברת³⁴ את הקרניים הנכנסות לעין ומרכזת אותן על **הרשתית** שנמצאת בצד האחורי של גלגל העין שלנו. בתוך הרשתית נמצא **עצב הראייה** שמעביר את המידע שהתקבל מקרני האור למוח. המוח יודע לתרגם את האותות העצביים שהגיעו מעצב הראייה לתמונה עם קווי מתאר וצבעים. מעניין לדעת שלאורך ההיסטוריה בני האדם בנו מכשירים שונים שמחקים את עקרונות הפעולה של העין האנושית למטרות שונות: משקפיים, מצלמות, צגי טלוויזיה ועוד.



תמונה 8.2: מבנה העין (מקור: ראו נספח ג')

לכל אחד מחלקי העין בתמונה 8.2 יש מאפיינים ייחודיים שמאפשרים לו לבצע את תפקידו בתהליך הראייה. האישון מתכווץ או מתרחב ובאופן זה מווסת את כמות האור שחודרת לעין; העדשה משנה את מידת הקמירות שלה ובאופן זה מאפשרת לעין ראיית עצמים ממרחקים שונים; ואילו ברשתית נבחר סוג קולטני האור הפעיל בהתאם לתנאי התאורה. העין מבצעת את כל הפעולות האלה באופן לא מודע.

³⁴ שבירה של גל היא מעבר אור מתווך אחד לתווך אחר, שבעקבותיה משתנה כיוון ההתקדמות של הגל.

פעילות 8.1: כניסת אור לעין דרך האישון

הביטו בעיניו של אחד מחבריכם לכיתה.

1. העריכו את קוטר האישון.

כבו את האור והחשיכו את הכיתה ככל האפשר.

2. האם קוטר האישון גדל / קטן?



אוריאנה:

איך ומדוע משתנה גודל האישון?

ד"ר אורית רופא: האישון הוא הפתח שדרכו נכנס אור אל העין. הוא מוקף בשרירי הקשתית. הקשתית היא הטבעת שנותנת לעין את צבעה. התכווצות והתרופות שרירי הקשתית משפיעות על גודל האישון. כשאנו נמצאים באפלה, שרירי קשתית מסוימים מתכווצים והאישון גדל. כך גדלה עוצמת האור שחודרת לעין ואנו יכולים לראות טוב יותר. לעומת זאת, במצבים שבהם עוצמת האור המגיעה לעין גדולה, שרירי קשתית אחרים מתכווצים והאישון קטן. כך קטנה עוצמת האור שחודרת לעין.

נהוראי מאיר:

גם במצלמות יש רכיב שאחראי על התאמת גודל הפתח שדרכו נכנס האור לתנאי התאורה. רכיב זה נקרא צמצם.

פעילות 8.2: שבירת אור בקרנית ובעדשה – ניסוי בזכוכית מגדלת

ציוד: זכוכית מגדלת ונייר עיתון. ניתן גם להשתמש בגפרורים.

זכוכית מגדלת היא זכוכית קמורה שמשנה את כיוון ההתקדמות של קרני האור העוברות דרכה כך שהעצמים שאנו מסתכלים עליהם ייראו לנו קרובים יותר ולכן גדולים יותר. לשינוי בכיוון ההתקדמות של קרני האור אנו קוראים שבירה.

אפשר להדגים את יכולתה של זכוכית המגדלת לשבור קרני האור בניסוי:

- צאו לחצר בית-הספר ביום שטוף שמש. המורה יחזיק את זכוכית המגדלת מעל נייר עיתון.
- המורה ישנה את גובה זכוכית המגדלת מעל הנייר עד שקרינת השמש שעוברת דרך הזכוכית תתרכז לנקודה קטנה ביותר.

חכו כמה דקות. אם קוטר זכוכית המגדלת שלכם גדול דיו והצלחתם למקד את האור לנקודה אחת, הנייר יתחיל להיחרך. אפשר לרכז את קרני השמש גם לראש גפרור ולראות שהוא נדלק. בהדלקת גפרור, **הקפידו על כללי זהירות באש!**

הסבר: זכוכית המגדלת הטתה את כל קרני האור שפגעו בה כך שיתרכזו בנקודה קטנה. עוצמת האור בנקודה זו הייתה כה חזקה עד שהנייר נחרך.



תמונה 8.3: שריפת נייר באמצעות זכוכית מגדלת (מקור: ראו נספח ג')

כפי שראינו בהדגמה, כשהאור עובר מתווך לתווך כלומר מהאוויר לזכוכית וחזרה לאוויר, הוא נשבר והתמונה שאנו רואים משתנה. אופן השבירה תלוי במידת הקימור של זכוכית המגדלת. אם תחזרו על הניסוי ובמקום זכוכית מגדלת תשתמשו בזכוכית שטוחה לגמרי, לא תצליחו למקד את האור ולשרוף את הנייר. על עיקרון זה מבוססת פעולת הקרנית ועדשת העין (ראו תמונה 8.2). הקרנית שוברת את האור כך שיתרכז באישון. עדשת העין שוברת את האור כך שיגיע אל הרשתית. הקרנית מקובעת בצורתה, בדומה לזכוכית המגדלת. לעומתה, עדשת העין גמישה ויכולה לשנות את מידת העקמומיות שלה. שינויים אלו מאפשרים לנו לראות בבירור עצמים המצויים במרחקים שונים מעינינו. כדי לראות עצמים רחוקים, עדשת העין מקבלת צורה כמעט שטוחה ואילו כדי לראות עצמים קרובים, העדשה מתקמרת.

בגיל מבוגר, נחלשים לעיתים השרירים שאחראיים על קימור עדשת העין ולכן קשה לראות בבירור עצמים קרובים. מסיבה זו, אנשים מבוגרים זקוקים לפעמים למשקפי קריאה. עדשות המשקפיים שוברות את האור. האופטיקאי מתאים את עדשות המשקפיים כך שהן ישלימו את פעולתה של עדשת העין ביצירת תמונה ממוקדת וברורה על הרשתית.

חלק מהקרינה העל-סגולה שמגיעה אלינו מהשמש נבלעת בעדשת העין וגורמת לה לאבד משקיפותה ולהפוך לעכורה. לכן כדאי מאוד להצטייד במשקפי שמש המונעות מעבר קרינה על-סגולה בעת חשיפה לשמש. בפעילות 9.3 שבפרק 9 תוכלו לבדוק אם משקפי השמש שלכם חוסמים את הקרינה העל-סגולה.

כיצד המוח מפרש את התמונה המתקבלת על הרשתית?

האור שאנו רואים עובר דרך הקרנית, האישון והעדשה ומתמקד ברשתית. שם מצויה מערכת שתפקידה לתרגם את האור לאותות חשמליים שיועברו למוח דרך עצב הראייה. הרשתית בנויה מאוסף של קולטני אור הנקראים קנים ומדוכים. קולטני אור אלה בולעים את קרני האור ומגיבים לקרינה אלקטרומגנטית בתחום הנראה. הקנים, משמשים לראיה בתאורה עמומה והמדוכים אחראים על ראייה בתנאי תאורה חזקה. תאי הקנים והמדוכים מאורגנים על הרשתית בצפיפות רבה. בשטח שגודלו כגודל בול דואר מצויים כ-130 מיליון תאי קנים ומדוכים!

פעילות 8.3: פעולת הקנים והמדוכים

ציוד: גיליונות נייר צבעוניים בארבעה צבעים שונים, מספריים

בפעילות זו נבחן את יכולתנו להבחין בין צורות ובין צבעים באפלה. לפניכם ניירות בארבעה צבעים שונים.

- גזרו מכל גיליון נייר ארבע צורות שונות כך שתקבלו 16 צורות צבעוניות (למשל משולש, מלבן, עיגול וריבוע בצבעים: אדום, כחול, ירוק וצהוב).

- החשיכו את הכיתה עד שתתקשו לראות ומיינו את גזירי הנייר על-פי צורתם.

- הדליקו את האור ובדקו אם המיון שלכם ושל חבריכם לכיתה נכון.

- כמה תלמידים הצליחו למיין את גזירי הנייר ללא שגיאות?

- החשיכו שוב את הכיתה והפעם מיינו את גזירי הנייר על-פי צבעם.

- הדליקו את האור ובדקו אם המיון שלכם ושל חבריכם לכיתה נכון.

כמה תלמידים הצליחו למיין את גזירי הנייר ללא שגיאות?

מה תוכלו להסיק מההתנסות?

אם הכיתה היתה חשוכה מספיק, ודאי שמתם לב שבאפלה קל יותר לזהות את צורת גזירי הנייר מאשר את צבעם. הסיבה לכך היא שלקנים אשר משמשים אותנו לראייה באפלה אין יכולת הבחנה בין צבעים שונים. לעומתם, המדוכים מסוגלים לזהות צבעים אך הם מתפקדים רק בתנאים של תאורה מספקת.



אוריאנה:

שמעתי שאכילת גזר משפרת את בריאות העיניים. זה נכון?

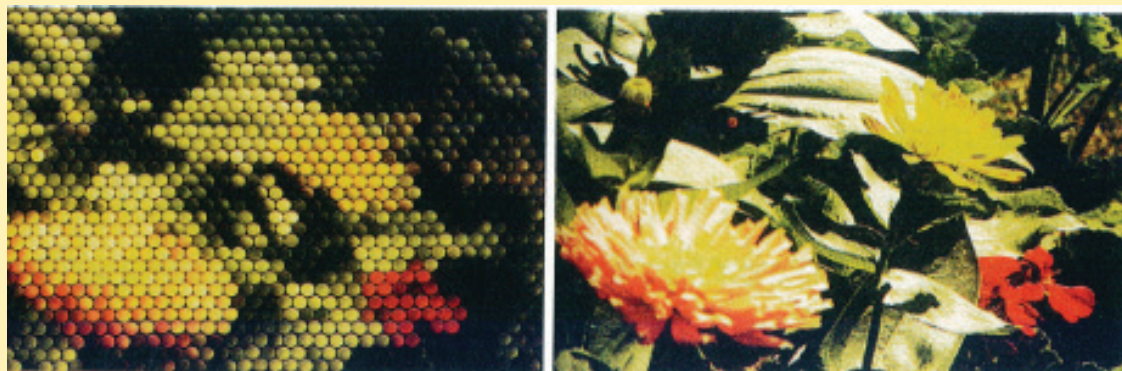
ד"ר אורית רופא: הקנים מכילים צבען (פיגמנט) בשם רודופסין שבולע את האור.

הרודופסין מתפרק בנוכחות של אור חזק ולכן כמעט ואינו קיים כשאנו נמצאים באזור מואר. כשנכנסים לאזור אפל, הרודופסין מתחיל להיווצר בקנים שברשתית העין ורק כשריכוז הרודופסין עולה אפשר לראות. מסיבה זו, עובר זמן מה עד שאנו "מתרגלים לחושך" ומצליחים לראות. יצור הרודופסין דורש ויטמין A ולכן מחסור בוויטמין A פוגע בראיית הלילה. גזר מכיל ויטמין A ומכאן נולדה השמועה כי אכילת גזר בריאה לעיניים.

הרחבה: ראייה אצל בעלי חיים

בעלי-חיים ממחלקת היונקים רואים באופן דומה לבני אדם. אצל חיות אחרות, הראייה עשויה להיות שונה במקצת. הדגים, למשל, יודעים להבליט ולשטח את גלגל העין שלהם ובאופן זה לכוון את מרחק העדשה מהרשתית, ולמקד את קרני האור על הרשתית. לציפורים ולרכיכות אין כלל עדשה בעיניהן, אך הן מסוגלות לשנות את העקמומיות של הקרנית ובכך גורמות לאור להתרכז על הרשתית.

אצל חרקים, הראייה מתרחשת באמצעות אלפי עיניות זעירות המתפקדות בו-זמנית. לזבוב, למשל, יש כ-6,000 עיניות שכל אחת מהן פונה לכיוון אחר במרחב. כל עינית מצוידת בעדשה ובתאי רשתית משלה ויוצרת דמות משל עצמה. הזבוב רואה את כל הדמויות יחד, בצורה המזכירה תשבץ. ראו תמונה 8.4.



תמונה 8.4: ראייה של אדם מימין לעומת ראייה של זבוב משמאל (מקור: ראו נספח ג')



קראו עוד על ראיית בעלי-חיים בכתבה של אבי אליהו אצל זכיינית השידור קשת.³⁵

35 <http://www.mako.co.il/hix-weekend/Article-a5371de9361cb41006.htm>

פעילות 8.4: מבנה העין: בדקו את עצמכם

1. סדרו את חלקי העין לפי הסדר שבו האור עובר דרכם:

- א. קרנית, אישון, עדשה, רשתית
- ב. אישון, קרנית, עדשה, רשתית
- ג. רישתית, קרנית, אישון, עדשה
- ד. קרנית, אישון, רישתית, עדשה

2. כשנכנסים לחדר חשוך, יש לחכות מעט עד שהעין "תתרגל לחושך" וניתן יהיה לראות היטב. הסיבה לכך היא:

- א. לוקח לקשתית זמן להרחיב את האישון
- ב. לוקח זמן לייצר רודופסין בקנים
- ג. לוקח לעדשה זמן להתקמר לצורה מיטבית
- ד. כל התשובות נכונות

3. תפקידם הבריאותי של משקפי שמש הוא

- א. להגן על עדשת העין מקרינה על-סגולה שהופכת אותה לעכורה
- ב. להגן על שרירי הקשתית מפני התכווצות יתר
- ג. להפחית את כמות האור הנראה שנכנסת לעין
- ד. להגן על עדשת העין מפני קרינה תת-אדומה

4. באפלה אנו רואים

- א. באמצעות הקנים ולכן מבחינים בצבעים אך לא בצורות
- ב. באמצעות המדוכים ולכן מבחינים בצורות אך לא בצבעים
- ג. באמצעות הקנים ולכן מבחינים בצורות אך לא בצבעים
- ד. באמצעות המדוכים ולכן מבחינים בצבעים אך לא בצורות

עד כה עסקנו בכניסת האור לעין ובקליטתו ברשתית. המשך הפרק מוקדש לשאלה: כיצד אנו מזהים צבע? מטרתנו היא להסביר איך אור, שהוא גל אלקטרומגנטי בתדר מסוים או אוסף גלים אלקטרומגנטיים בתדרים שונים, מתורגם במוח לצבע. נכיר את עיבוד הנתונים שמתבצע במדוכים שברשתית, ונבין איך עקרונות הפעולה של צגים שונים כמו מסכי טלוויזיה, מותאמים לאופן שבו המדוכים מפרשים את הצבע.

שחור ולבן – בליעה והחזרה

צבע שחור הוא מה שאנו רואים כשהעין שלנו אינה קולטת שום גל אור. מצב כזה עשוי להתרחש בשני מקרים:

- בהיעדר מקור אור, למשל, בלילה חשוך, אור אינו פוגע בחפצים שסביבנו. מסיבה זו הם אינם יכולים להחזיר אור לכיוון העין שלנו ולא נבחין בהם. כל מה שנראה יהיה חושך שחור.
- גם באור יום ישנם חפצים שנראים לנו שחורים. זאת מכיוון שהם בולעים את כל האור שפוגע בהם ואינם מחזירים גלים בתחום האור הנראה לסביבתם. כיוון שחפצים אלו בולעים את הגלים שפוגעים בהם, הם מקבלים אנרגיה ומתחממים.

בחיי היום-יום שחור ולבן נחשבים כהפכים, ואכן, בעוד שחפצים שחורים בולעים את כל האור שפוגע בהם, חפצים לבנים אינם בולעים את האור כלל. חפץ לבן יחזיר את כל מגוון אורכי הגל של האור הפוגע בו. למשל, חדר שקירותיו לבנים נראה לנו מואר שכן אור שנכנס מהחלון מוחזר מהקירות ומאיר את החדר. לעומת זאת, בחדר שקירותיו צבועים בשחור, אין החזרת אור מהקירות, ולכן החדר נראה חשוך יותר.

שאלה: מדוע לדעתכם בעלי-בתים רבים מסיידים את גג הבית בסיד לבן לקראת הקיץ?



אוריאנה:

חפצים לבנים מחזירים את האור שפוגע בהם וגם מראה מחזירה את האור שפוגע בה. מה ההבדל בין קיר לבן למראה?

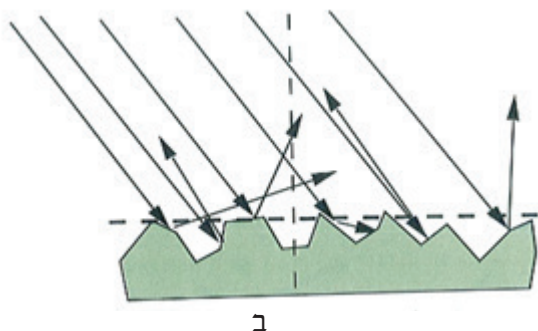
פרופ' גלי קורן:

נכון שהאור מוחזר בשני המקרים, אולם, צורת ההחזרה שונה. מראה עשויה ממשטח מאוד חלק והחזרת האור ממנה היא החזרה מסודרת. קיר לבן איננו חלק ולכן ההחזרה ממנו תהיה החזרה לא מסודרת, כלומר, האור יתפזר בכיוונים שונים. ראו תמונה 8.5.

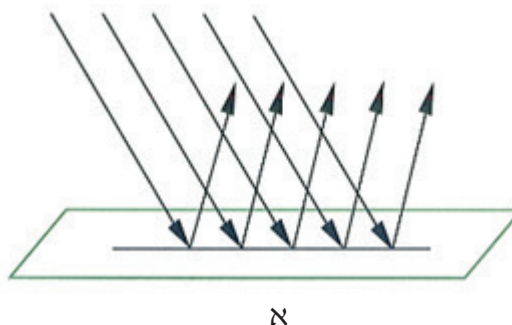
אוריאנה:

פרופ' גלי קורן:

יש לי צלחת פלסטיק לבנה וחלקה מאוד. מדוע הפלסטיק הלבן לא מתפקד כמו מראה? מראה צריכה להיות חלקה בקנה מידה המתאים לזה של אורך הגל הפוגע בה. עבור אורכי הגל של האור הנראה, מדובר בפחות מאלפית המילימטר. מובן שאין אפשרות להבחין בחספוסים בקנה מידה קטן כל כך באמצעות חוש המישוש. כשאת נוגעת בצלחת את מרגישה שהיא חלקה, אבל בקנה מידה מיקרוסקופי, מדובר בצלחת מחוספסת. לכן, היא אינה מתפקדת כמראה.



ב



א

תמונה 8.5: א. החזרה מסודרת ממשטח חלק
ב. החזרה לא מסודרת ממשטח מחוספס (מקור: ראו נספח ג')



תוכלו ללמוד יותר על החזרה מסודרת ולא מסודרת בסרטון הבא של המרכז לטכנולוגיה חינוכית (מט"ח).³⁶

מסקנה: חפצים שחורים בולעים את האור שפוגע בהם. חפצים לבנים מחזירים את כל האור הפוגע בהם. ברוב המקרים מדובר בהחזרה לא מסודרת. במקרה של מראה מתקבלת החזרה מסודרת ואנו יכולים לראות דמות במראה.

36 <https://www.youtube.com/watch?v=7s5q6997ykQ>

האור הלבן – תערובת צבעים

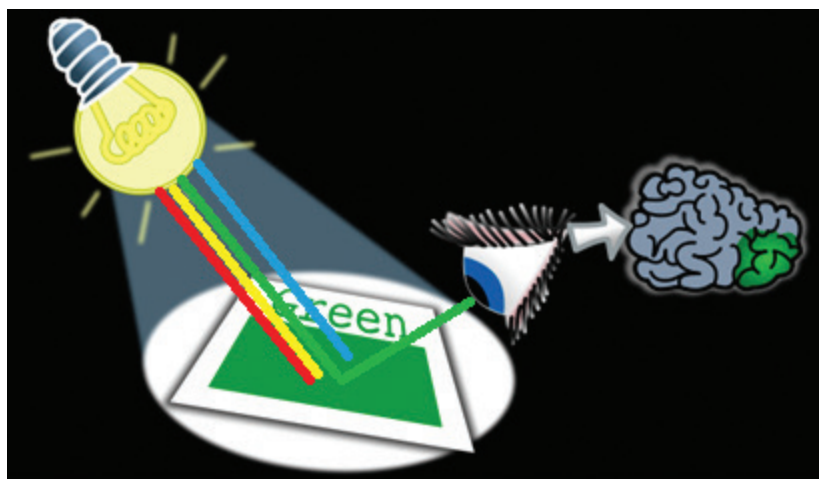
אור השמש כולל את כל הספקטרום של האור הנראה וגם חלקים אחרים של הספקטרום. במילים אחרות, כל צבעי הקשת המוכרים לנו נמצאים באור השמש. כשכל מרכיבי הספקטרום של האור הנראה מגיעים לעין, המוח שלנו מפרש זאת כצבע לבן; כשאף מרכיב מספקטרום האור הנראה אינו מגיע לעין, מוחנו מפרש זאת כצבע שחור. לכן הלבן והשחור אינם חלק מספקטרום האור הנראה ואינם מופיעים בתמונה 8.1.

הזכרנו בפרק הקודם שבמעבר של אור מתווך אחד לתווך אחר, האור נשבר. זהו העיקרון שעל-פיו עובדים חלק ניכר מהמכשירים האופטיים המוכרים לנו, למשל, משקפיים. זווית השבירה (ההטיה) של האור משתנה מעט בהתאם לאורך הגל, ולכן מנסרות זכוכית, או טיפות מים שדרכן האור עובר יכולות לפרק אותו למרכיביו. הקשת בענן שאנו רואים בימי גשם, כשיוצאת השמש, נוצרת בגלל שבירת האור בטיפות המים. ראו תמונה 8.6.



תמונה 8.6 קשת בענן בעמק הירדן (מקור: ראו נספח ג')

אם אור לבן פוגע בחפץ שחור, הוא נבלע בו והחפץ ייראה לנו חשוך ושחור. אם אור לבן פוגע בחפץ לבן, כל אורכי הגל מוחזרים מהחפץ לעבר עינינו ואנו נפרש את צבעו כלבן. מה קורה כשאור לבן, כמו אור שמש או אור מנורה, פוגע בחפץ שאיננו לבן ואיננו שחור? בתמונה 8.7 ניתן לראות אור לבן הנפלט ממנורה ופוגע בדף ירוק. האור הלבן שנפלט מהמנורה מכיל את כל צבעי הקשת. מתוכם, הדף הירוק בולע את כל הצבעים פרט לירוק. הצבע הירוק מוחזר מהדף כך שכשאנו מתבוננים בדף הירוק מגיעים לעינינו רק גלים אלקטרומגנטיים בתדירויות שמתפרשות אצלנו במוח כצבע ירוק.



תמונה 8.7: אור לבן מאיר דף ירוק; הגל הירוק מוחזר לעבר העין (מקור: ראו נספח ג')

פעילות 8.5: צבעים – שאלות למחשבה ולדיון

1. ביום קיץ שטוף שמש, מה יהיה חם יותר, כביש אספלט שחור או האדמה שסביבו? הסבירו.
2. מניחים דף נייר כחול בחדר אחד המואר באור לבן, ודף כחול נוסף בחדר אחר המואר באור אדום בלבד. תלמידה נכנסת לכל אחד משני החדרים. באיזה צבע ייראה לתלמידה הנייר בכל חדר? הסבירו.
3. עלים ירוקים מנצלים את אור השמש כדי להפיק גלוקוז שהוא סוג של סוכר בתהליך הפוטוסינתזה. מה יקרה אם נאיר צמח באור ירוק בלבד? האם הוא יוכל לבצע פוטוסינתזה? נמקו.

פעילות 8.6: סביבון הצבעים של ניוטון

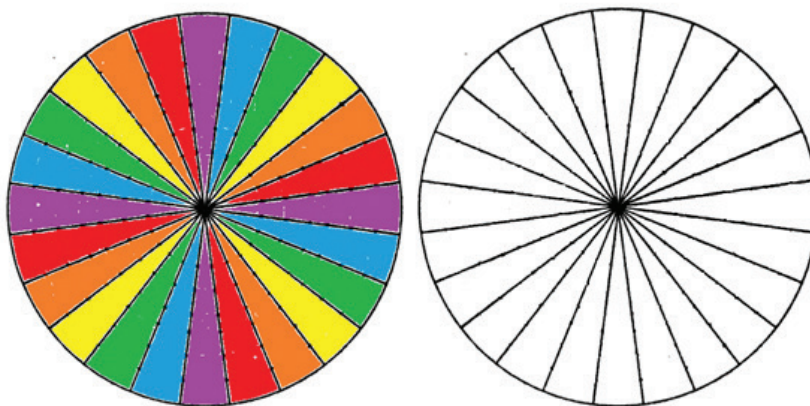
בפעילות זו נראה כיצד תערובת של צבעים נתפשת במוחנו כצבע לבן.

ציוד:

- קרטון לבן או קרטון בצבע כלשהו שמודבק עליו נייר לבן
- מספרים
- קיסם שיניים
- פלסטלינה
- צבעי עיפרון או צבעי פסטל בצבעים סגול, כחול, ירוק, צהוב, כתום ואדום

שלבי העבודה:

- א. גזרו מהקרטון עיגול בקוטר של כ-8 ס"מ.
- ב. חלקו את העיגול ל-24 גזרות שוות וצבעו אותן כמתואר בתמונה 8.8. מומלץ להשתמש בצבעי עיפרון או גירים אך לא בטושים. הקפידו על סדר הצבעים שמופיע בתמונה.
- ג. נעצו קיסם שיניים במרכז הקרטון וקבעו אותו למקומו באמצעות מעט פלסטלינה.



תמונה 8.8: מימין, עיגול הקרטון מחולק ל-24 גזרות; משמאל, הגזרות צבועות בצבעי הקשת

1. סובבו את הסביבון שבניתם במהירות. מה צבעו?
2. מדוע יש הבדל בין צבע הסביבון במנוחה לצבע הסביבון בעת שהוא מסתובב?

**אוריאנה:**

כשמציירים בצבעי גואש, למשל, ידוע שדף נקי מצבעים ייראה לנו לבן ואילו אם נערבב את כל צבעי הגואש יחד נקבל גוון כהה יותר. בפרק זה מוסבר ששחור הוא דווקא חוסר בצבע ואילו לבן הוא תערובת של כל הצבעים. כיצד הדבר ייתכן?

פרופ' גלי קורן:

חשוב להבדיל בין צבעים של מקורות אור לצבעים שמציירים בהם, שהם צבעים שאנו רואים רק כשפוגע בהם אור. נורה שפולטת אור ירוק שולחת אל עינינו אור באורך הגל שמתאים לצבע ירוק. אם נוסיף עוד נורה שפולטת אור בצבע אחר, נקלוט בעין אורכי גל נוספים, כלומר התמונה תהיה בהירה ומוארת יותר. שילוב צבעי האור נקרא חיבור צבעים. על כך נרחיב בפעילות 8.7. לעומת זאת, בציור בצבעי גואש, הצבעים אינם מקורות אור אלא חומרים שבולעים את מרבית אורכי הגל של האור. צבע הגואש הירוק יבלע את כל האור פרט לאורך הגל הירוק. אם נערבב בו צבע אחר, נוסיף, למעשה, חומר שבולע את אורך הגל הירוק וכך בערבוב של הרבה צבעים נקבל חומר שבולע אור בכל אורכי הגל ואינו מחזיר אור כלל, כלומר, שחור. ערבוב מסוג זה מכונה חיסור צבעים.

זיהוי צבע בעין האנושית – הרשתית

למדתם שזיהוי הצבעים מתבצע במדוכים שברשתית. ישנם שלושה סוגים של מדוכים:

- מדוכים רגישים לקרינה בתחום אורכי הגל הארוכים של האור הנראה (=צהוב/אדום)
- מדוכים רגישים לקרינה בתחום אורכי הגל הבינוניים של האור הנראה (=ירוק)
- מדוכים רגישים לקרינה בתחום אורכי הגל הקצרים של האור הנראה (=כחול)

כל אחד מהמדוכים מעביר למוח מידע על עוצמת האור שהוא קלט באורך הגל האופייני לו, ועל סמך המידע שמגיע משלושת סוגי המדוכים, המוח מפרש את צבע האור. למשל, אם שלושת סוגי המדוכים קולטים אור במידה שווה, המוח יפרש את האור כלבן. ערבוב האותות ששולחים המדוכים לקביעת צבע האור נעשה בחיבור צבעים, כלומר, ככל שקולטים יותר צבעים, כך התמונה יותר מוארת.

פעילות 8.7: ראיית צבעים – שימוש בהדמיה

פתחו את ההדמיה שבקישור הבא במחשב ולא בטלפון הנייד.³⁷

<https://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-visioniw.html>

בחרו באפשרות **נורות אדום-ירוק-כחול**.

על המסך יופיעו שלושה פנסים בצבעים אדום, ירוק וכחול. בהזזת סרגל הגלילה מימינו של כל פנס, ניתן לשלוט על עוצמת ההארה שלו. שלושת הפנסים מתאימים לשלושת סוגי המדוכים ברשתית. כשמאירים בפנס כחול, למשל, מעוררים תגובה אצל המדוכים שרגישים לצבע כחול. על-ידי קביעת עוצמת האור בפנסים, ניתן לשלוט ברמת התגובה של המדוכים.

בצד שמאל, בסמוך לציור הראש, מצוירות אליפסות הצבועות בגוון שהאדם רואה. גוון זה הוא פירוש שהמוח נותן לאותות המגיעים משלושת סוגי המדוכים.

במצב ההתחלתי של ההדמיה, אף אחד מהפנסים אינו מאיר והאיש רואה צבע שחור.

שנו את תאורת הפנסים ומלאו את הטבלה בעמוד הבא. השורות האחרונות בטבלה ריקות כדי לאפשר לכם "לשחק" ולבדוק מקרים כרצונכם.

מצב הפנס האדום	מצב הפנס הירוק	מצב הפנס הכחול	הגוון שרואה האיש
כבוי	כבוי	כבוי	
דולק במלוא העוצמה	כבוי	כבוי	
כבוי	דולק במלוא העוצמה	כבוי	
כבוי	כבוי	דולק במלוא העוצמה	
דולק במלוא העוצמה	דולק במלוא העוצמה	דולק במלוא העוצמה	
דולק במלוא העוצמה	דולק במלוא העוצמה	כבוי	
כבוי	דולק במלוא העוצמה	דולק במלוא העוצמה	
דולק במלוא העוצמה	כבוי	דולק במלוא העוצמה	
כבוי	דולק במלוא העוצמה	דולק במלוא העוצמה	
דולק במלוא העוצמה	דולק במלוא העוצמה	דולק במלוא העוצמה	
דולק במלוא העוצמה	כבוי	דולק במלוא העוצמה	
דולק במלוא העוצמה	כבוי	דולק במלוא העוצמה	
דולק במלוא העוצמה	דולק במלוא העוצמה	כבוי	
דולק במלוא העוצמה	דולק במלוא העוצמה	כבוי	

מצב הפנס האדום	מצב הפנס הירוק	מצב הפנס הכחול	הגוון שרואה האיש

יצירת צבעים על צגים דיגיטליים

העובדה שניתן לייצר כל גוון בערבוב חיבורי של אורות בצבעים אדום, ירוק וכחול, עומדת בבסיס הטכנולוגיה של הצגים הדיגיטליים המוכרים לנו. צגי המחשב, הטלוויזיה והטלפון הנייד מורכבים מנוריות זעירות שחלקן פולטות אור אדום, חלקן פולטות אור ירוק וחלקן פולטות אור כחול. כל יתר הגוונים שאנו רואים על הצג הם חיבור אורות באדום, ירוק וכחול, כפי שמתואר בהדמיה שבפעילות 8.7. לייצוג זה של גוונים כסכום של אדום, ירוק וכחול קוראים RGB שהם ראשי תיבות של Red, Green, Blue.

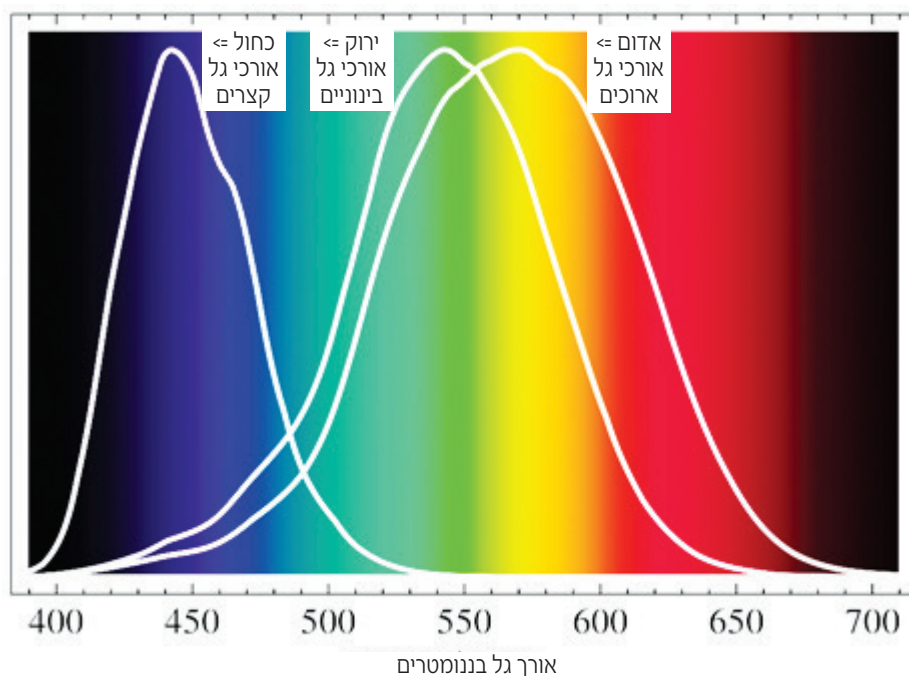


אוריאנה:

ראינו שערבוב של אור אדום ואור ירוק נותן צהוב. אולם, אור צהוב אינו חייב לנבוע מערבוב צבעים. בתמונת צבעי הספקטרום של האור הנראה, 8.1, רואים שאור צהוב יכול להיות אור באורך גל של כ-570 ננומטר, ללא שום ערבוב. בקשת בענן מופיע אור צהוב כזה, שאינו תוצאה של ערבוב. איך אנחנו מצליחים לראות אותו?

פרופ' גלי קורן:

כל אחד מהמדוכים אינו קולט רק אורך גל מסוים אלא גם אורכי גל הקרובים לו. המדוכים שאחראים על זיהוי אור אדום קולטים אור באורך גל של כ-580 ננומטר. המדוכים האחראים על זיהוי אור ירוק קולטים אור באורך גל של כ-545 ננומטר. תגובת המדוכים לאור באורכי גל שונים מתוארת בתמונה 8.9. אורך הגל הצהוב (570 ננומטר) מעורר תגובה גם אצל המדוכים שמזהים אור ירוק וגם אצל המדוכים שמזהים אור אדום. כך נוצר במוח ערבוב הצבעים שמתפרש כצהוב אף שהאור שהגיע אל הרשתית לא היה מעורבב.



תמונה 8.9: תגובת שלושת סוגי המדוכים לאור באורכי גל שונים בתחום הנראה; במציאות, עוצמות שיא התגובה של שלושת סוגי המדוכים אינן זהות. (מקור: ראו נספח ג')

הרחבה: שלל צבעי הקשת

כשאומרים שלל צבעי הקשת מתכוונים לצבעוניות עשירה ביותר. אולם, כשמתבוננים בקשת בענן, ניתן לראות שלא כל הצבעים המוכרים לנו מופיעים בה. צבעי הקשת הם הצבעים המופיעים בצילום הקשת בענן בתמונה 8.6.

אילו צבעים חסרים בקשת? למשל ורוד, חום, ירוק כהה ואפור.

הסיבה לכך היא שבקשת מופיעים צבעים שמתאים להם אורך גל יחיד בתחום הנראה, בין 380 ל-700 ננומטר. מנגנון הראייה שלנו אינו מסתמך על זיהוי של אורך גל יחיד, אלא על קבלת מידע על מרכיבי הצבעים אדום, ירוק וכחול באור שמגיע אל העין. כלומר, אנחנו יודעים לראות ערבוב של כמה אורכי גל יחד, ערבוב שמתפרש במוח כצבע. הערבוב הזה נותן תוצאה שלא תמיד ניתנת להשגה בגל עם אורך גל יחיד. לכן, מגוון הצבעים שאנו מסוגלים לראות עולה על מגוון צבעי הקשת.

סיכום הפרק

- העין האנושית קולטת את האור שמגיע אליה מבחוץ ושולחת למוח אותות חשמליים בהתאם לתמונה הנראית.
 - האישון הוא הפתח שדרכו נכנס אור לעין. הוא מוקף בשרירי הקשתית אשר יכולים לווסת את גודל האישון ובאופן זה לשלוט בכמות האור הנכנס.
 - הקרנית ועדשת העין שוברות את האור ומשנות את כיוונו. הקרנית מכוונת את האור מבחוץ אל עבר האישון, ועדשת העין מכוונת את האור שעבר דרך האישון לכיוון הרשתית.
 - ברשתית האור מומר לאותות חשמליים שנשלחים אל המוח.
- ההבדל בין עצמים רגילים, המחזירים אור, לבין מראה הוא בצורת ההחזרה. מראה מחזירה את האור בצורה מסודרת. ההחזרה המסודרת יוצרת דמות, או השתקפות של העצם בתוך המראה. עצמים שאינם מראות, מחזירים את האור בצורה לא מסודרת, כלומר מפזרים אותו לכיוונים שונים באופן לא מסודר.
 - האור שאנו רואים הוא אוסף גלים אלקטרומגנטיים שמפורשים במוחנו כצבעים.
 - צבע שחור משמעו חושך. כלומר, שום מרכיב של האור הפוגע בעצם אינו מוחזר ממנו. אור שפוגע בעצם שחור נבלע בו.
 - צבע לבן כולל את כל צבעי הספקטרום של האור הנראה. עצם נראה לנו לבן אם הוא מחזיר את כל מרכיבי האור הפוגע בו, בהנחה שהאור הפוגע הכיל מלכתחילה את כל אורכי הגל של התחום הנראה.
 - עצמים שאינם שחורים ואינם לבנים מחזירים חלק מהאור הפוגע בהם. למשל, מחברת אדומה בולעת את רוב אורכי הגל של האור הפוגע בה ומחזירה רק את אורך הגל שמתאים לצבע האדום.
 - העין האנושית מבחינה בצבעים באמצעות תאי המדוכים שנמצאים ברשתית. ישנם שלושה סוגי מדוכים ברשתית: סוג אחד בולע אור בסביבת אורכי הגל של האדום, סוג שני בולע אור בסביבת אורכי הגל של הירוק, וסוג שלישי בולע אור בסביבת אורכי הגל של הכחול. תמונת הצבע המדויק שהמוח מפרש מבוססת על המידע המתקבל משלושת סוגי המדוכים.
- בצגים דיגיטליים כל צבע מיוצג על-ידי סכום של אור אדום, אור ירוק ואור כחול (RGB).

פרק 9: השפעת הקרינה האלקטרומגנטית על גוף האדם

שאלות שתוכלו להשיב עליהן אחרי שתלמדו את הפרק:

- האם חשיפה רצופה לקרינה מזיקה לבריאות יותר מאשר חשיפה מקוטעת?
- מהי משמעות המספר שמופיע על קרם הגנה מהשמש?
- כיצד משווים את הקרינה הנפלטת ממכשירי טלפון נייד מדגמים שונים?

מושגים מרכזיים שנעסוק בהם בפרק זה:

נזקי קרינה, קצב בליעה סגולית (SAR), מקדם הגנה מהשמש (SPF)

ידוע כי חשיפה לקרינה עלולה להזיק לגוף האדם. בפרק 5 הכרתם תקנים לחשיפה לקרינה ולמדעתם שמומלץ לא להיחשף לרמות גבוהות של קרינה אלקטרומגנטית ושיש להימנע מחשיפת יתר לשדות המגנטיים המשתנים שפולטים מכשירי חשמל ביתיים. הסיבה לכך היא שהגלים האלקטרומגנטיים נושאים עימם אנרגיה וכאשר הגלים נבלעים בגוף האדם, הם מוסרים את האנרגיה שלהם לגוף. אנרגיה זו עשויה לגרום לשינויים בתאי הגוף ולשבש את פעולתם. בפרק זה, נלמד מהי השפעת הקרינה על הגוף ונבין באילו דרכים ניתן למזער את נזקי הקרינה. נתייחס באופן מפורט לקרינת השמש ולקרינה שאנו חשופים לה בעת שימוש בטלפונים ניידים.

לאילו תהליכים בגוף האדם גורמת חשיפה לקרינה?

כשקרינה נבלעת בגוף האדם היא עשויה לגרום לתהליכים שונים כולל:

- יינון אטומים שהוא תהליך של הוצאת אלקטרון מאטום או הוספת אלקטרון לאטום, ראו פרק 6;
- תגובות כימיות שונות;
- חימום.

יינון אטומים יכול להיגרם רק על-ידי קרינה מייננת. זוהי קרינה באורכי גל קצרים בתחומי העל-סגול, קרינת רנטגן או קרינת גמא (ראו פרק 6). הקרינה המייננת מסוגלת לגרום לשינויים משמעותיים ביותר בתאי הגוף ועל כן יש להימנע ככל הניתן מחשיפה לקרינה זו.³⁸ גם קרינה שאינה מייננת בתחום הרדיו, המיקרו, התת-אדום, האור הנראה וחלק מתחום העל-סגול, עלולה להשפיע על הגוף תוך חימום או יצירת תגובות כימיות.

38 בפרק 10 נלמד על הליכים רפואיים שבהם המטופל נחשף לקרינה מייננת. חשיפה זו מוצדקת כשהתועלת מההליך הרפואי עולה על הנזק שנגרם מהחשיפה לקרינה, וכשהחשיפה נעשית בהתאם לשיקול הדעת של הצוות הרפואי.

**אוריאנה:**

לאחר שיחה ממושכת בטלפון הנייד (אלחוטי/סלולרי), אני חשה שהאוזן שלי התחממה. זה מסוכן?

ד"ר אורית רופא: הטלפון הנייד פולט קרינה בתחום המיקרו שהיא קרינה בלתי מייננת. ברור שקרינה זו משפיעה על הגוף, הרי הרגשת שהאוזן מתחממת, אך עדיין לא יודעים באיזו מידה השפעה זאת מסוכנת. ישנם מחקרים סותרים בנושא הזה ועל כן מומלץ לנקוט בעיקרון הזהירות המונעת כלומר להשתמש בטלפון הנייד וברשת אלחוטית שפולטים קרינה באופן מושכל, תוך ניסיון לצמצם את החשיפה לקרינה בלתי מייננת.

כל אחד מהתהליכים הנזכרים כאן – יינון, תגובות כימיות וחימום – עלול לגרום לשינוי בתאים החיים. חלק מהשינויים הם שינויים לטובה, אך ברוב המקרים מדובר ביצירת פגמים שהגוף מנסה לתקן. הפגמים נוצרים בתא תוך שבירר שנייה. לעומתם, תהליך התיקון אורך דקות או אפילו שעות בודדות. בדרך-כלל, הגוף מצליח לתקן את נזקי הקרינה והתא המוקרן שב לתפקד כרגיל. כיוון שפעולתם של מנגנוני התיקון אורכת זמן, קשה לגוף להתמודד עם מצב שבו נזקי קרינה רבים נוצרים תוך זמן קצר. הקרינה ממושכת תגרום לנזקים חמורים יותר מאשר כמה הקרנות קצרות שביניהן הגוף יכול להתאושש ולהחלים.

במקרה שמנגנוני התיקון של הגוף נכשלים, התא עלול למות או להמשיך לתפקד באופן לקוי. במקרים רבים החלק שנפגע בתא הוא הדנ"א (DNA) שהוא החומר התורשתי שבתא. שגיאות בדנ"א שאינן מתוקנות יכולות להוביל לייצור של תאים חדשים אשר גם הם אינם מתפקדים כראוי וכך נגרמים נזקים לטווח ארוך. במקרים מסוימים הדבר יוביל להתפתחות סרטן. הופעת הסרטן עשויה להתרחש גם עשרות שנים לאחר החשיפה לקרינה ולכן קשה מאוד לערוך ניסויים שיוכיחו קשר בין חשיפה לקרינה לבין תחלואה.

בעת חשיפה לקרינה, תאים שונים בגוף יושפעו באופן שונה. ככלל, תאים שנמצאים בתהליכי התחלקות³⁹ הם הרגישים ביותר לקרינה. בתקופת הילדות והינקות מספר התאים גדל בקצב מהיר, כלומר התאים מתחלקים בקצב גבוה. מסיבה זו ילדים ותינוקות רגישים לקרינה הרבה יותר מאשר מבוגרים. צעירים צריכים גם לתת את הדעת לכך שנזקים לטווח ארוך עשויים להיות משמעותיים יותר לגביהם. קשיש אינו מוטרד ממחלות שעשויות להתפרץ אצלו בעוד עשרות שנים, אך לילדים ולבני נוער כדאי להיות זהירים הרבה יותר. לכן, יש חשיבות רבה להגנה על ילדים ועל תינוקות מפני נזקי הקרינה.

העובדה שתאים בתהליכי התחלקות רגישים מאוד לקרינה מנוצלת לטיפול במחלת הסרטן. תאים סרטניים



39 התחלקות של תאים, או מיטוזה, כפי שהתהליך נקרא בביולוגיה, היא התהליך שבו התא מתחלק ויוצר שני תאים חדשים זהים. זהו מנגנון ההתרבות של התאים בגוף. התהליך מתרחש בגופנו ללא הרף ומאפשר גדילה, התחדשות ושיקום של אזורים פגועים. תוכלו לקרוא על התהליך בכתבה של ארז גרטי באתר של מכון דוידסון לחינוך מדעי.

איך-תאים-מתחלקים-מיטוזה-https://davidson.weizmann.ac.il/online/maagarmada/life_sci

מתחלקים בקצב גבוה יותר מתאים בריאים. בטיפול הקרנות מקרינים בקרינה מייננת את האזור בגוף, שבו מצוי הגידול הסרטני. גם התאים הבריאים וגם התאים הסרטניים נפגעים מהקרינה, אולם, כיוון שקצב ההתחלקות של התאים הסרטניים גדול יותר, הם נפגעים בצורה חמורה יותר, בעוד שהתאים הבריאים מצליחים לתקן את הנזק.



אוריאנה:

אם כך, חשיפה לקרינה עלולה לגרום לתחלואה בסרטן אך קרינה משמשת גם למיגור המחלה?

ד"ר אורית רופא: נכון מאוד. תאים בריאים שחשופים לקרינה עלולים להפוך לתאים סרטניים. אנו מנסים למגר את התאים הסרטניים על-ידי טיפולים בהקרנות. ההקרנה הטיפולית נעשית בצורה מבוקרת. הצוות הרפואי ממקד את הקרינה בגידול הסרטני כדי לצמצם את הפגיעה בתאים הבריאים תוך שמירה על יעילות מרבית של הטיפול.

הרחבה: מחלת הסרטן

סרטן הוא שם כולל לתיאור כ-200 סוגי מחלות שבכולן תאים מסוימים בגוף מתרבים באופן בלתי מרוסן תוך התפתחות כלי דם חדשים המאפשרים ניצול של משאבי הגוף ופגיעה בתאים אחרים. סוגי הסרטן נבדלים זה מזה באזור בגוף שבו מצוי הגידול, בקצב ההתפתחות שלו ובתופעות הגופניות הנלוות למחלה. להופעה של מחלת הסרטן סיבות תורשתיות וסביבתיות. ישנם גורמים שמגבירים באופן משמעותי את הסיכון לחלות במחלה:

- עישון – עישון סיגריות מגדיל את הסיכון לחלות בסרטן ריאות פי 10-20. חשוב לציין כי עישון נרגילות מזיק לא פחות מעישון סיגריות.
- צריכת אלכוהול מופרזת
- חשיפה לקרינה
- משקל גוף לא תקין והיעדר פעילות גופנית
- תזונה דלה בפירות וירקות



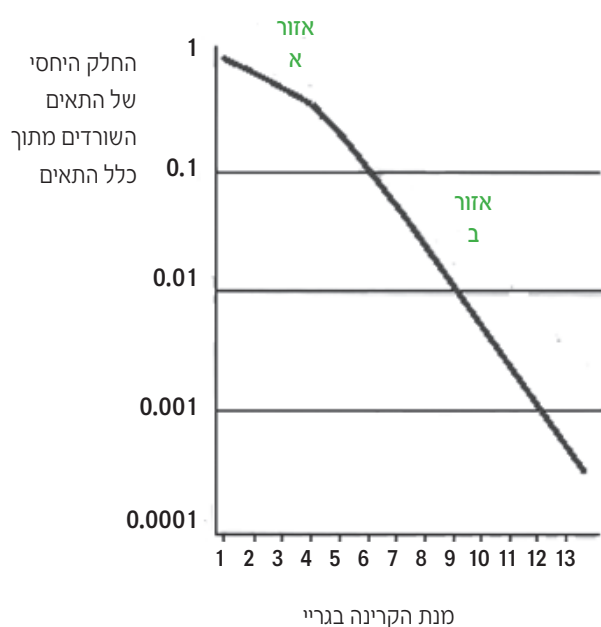
בישראל, מחלת הסרטן גורמת לתחלואה של כ-28 אלף חולים חדשים מדי שנה. כמחצית מהחולים בסרטן מחלימים בזכות הטיפול הרפואי שהם מקבלים. ככל שהמחלה מתגלה בשלב מוקדם יותר, סיכויי ההחלמה עולים.

מידע נוסף על מחלת הסרטן ניתן לקרוא באתר האגודה למלחמה בסרטן.⁴⁰

פעילות 9.1: הקרנה ממושכת של תאים בקרינה מייננת

בתרשים שלפניכם מוצגות באופן סכמטי תוצאות ניסוי שבו הקרינו בקרינת רנטגן תרבית תאים של יונקים במשך זמן מסוים ומדדו את אחוזי ההישרדות של אוכלוסיית התאים כתלות במנת הקרינה שהתאים ספגו. מנת הקרינה מוגדרת ככמות האנרגיה לכל קילוגרם מהגוף המוקרן ונמדדת ביחידות גריי. 1 גריי מייצג ספיגה של 1 ג'אול של אנרגיית קרינה על-ידי 1 קילוגרם של חומר. ראו **נספח א': יחידות מידה**.

ציר X בתרשים מייצג את מנת הקרינה שהתאים ספגו במשך ההקרנה וציר Y מייצג את החלק היחסי של התאים השורדים, כאשר 1 מציין 100% תאים שורדים, 0.1 משמעו 10% תאים שורדים וכולי.



תמונה 9.1: עקומת הישרדות של תאי יונקים שנחשפו לקרינת רנטגן כתלות במנת הקרינה הנספגת (מקור: ראו נספח ג')

1. האם ייתכן שהקו המופיע בתרשים מורכב כולו ממדידות שבוצעו בניסוי? נמקו.

רמז: נסו לראות אם תוכלו לומר כמה מדידות בוצעו בפועל.

2. תארו את השפעת ההקרנה על התאים.

אזור א' בתרשים 9.1 מתאר תגובה של תאים שנחשפו למנה קטנה יחסית של קרינה ואילו אזור ב' מתאר תאים שנחשפו למנה גדולה של קרינה. באזור ב' הגרף יורד באופן תלול יותר. משמעות הדבר היא שנוזק הנגרם ממנת קרינה של 1 גריי תלוי במנת הקרינה שהתאים ספגו בטרם ההקרנה.



אוריאנה:

לא הבנתי. מדוע מנת קרינה של 1 גריי תגרום נזק קטן יותר באזור א' ונזק גדול יותר באזור ב'?

ד"ר אורית רופא:

אנסה להסביר באמצעות דוגמה. בבית-הספר שלך יש הפסקות של 10 דקות בין השיעורים. נניח שהמורה של השעה הראשונה יבטל לכם את ההפסקה. את ודאי תצטערי, אך תוכלי להמשיך להתרכז גם בשיעור השני. אם באותו יום גם ההפסקה שבין השיעורים השני והשלישי תבוטל, וגם ההפסקה שבאה אחריה, הפגיעה בתלמידים תהפוך להיות משמעותית ויהיה לכם קשה מאוד להמשיך וללמוד כרגיל. ההפסקה השנייה שבוטלה תגרום לנזק גדול יותר מההפסקה הראשונה שבוטלה, כי תלמיד שנלקחה ממנו הפסקה אחת יתקשה להתמודד עם ביטול הפסקה נוספת.

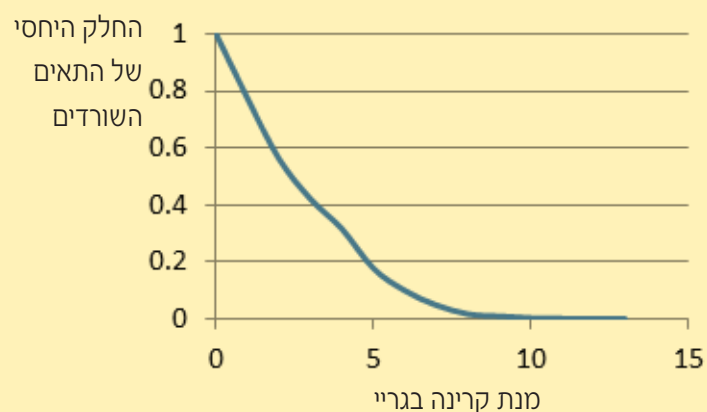
אוריאנה:

אם כך, אני מבינה שכאשר אנו חושפים תאים למנה קטנה של קרינה, הם עשויים להתאושש ולהתגבר על הנזקים, כפי שרואים באזור א' בגרף. לעומת זאת, כאשר החשיפה היא ממושכת ומנת הקרינה הנספגת בתא גדולה, כושר ההתמודדות של התאים נפגע וכל מנת קרינה נוספת תגרום לנזק גדול יותר, כפי שרואים באזור ב'.

הרחבה: גרפים עם מערכת צירים לוגריתמית

התבוננו במספרים שמופיעים ליד הציר האנכי בתמונה 9.1. ניתן לראות שהמספרים אינם כתובים ליד הציר במרווחים שווים כפי שאנו רגילים. השנתות שעל הציר מתייחסות לחזקות של המספר 10, כלומר $10^0=1$, $10^{-1}=0.1$, $10^{-2}=0.01$ וכך הלאה.

בייצוג XY רגיל ערכי השנתות על ציר ה-Y גדלים בקצב קבוע, למשל: 1, 2, 3, 4 וכדומה. לעומת זאת, בגרף שבתמונה 9.1 המרווחים בין השנתות גדלים ככל שערך ה-Y עולה (0.001, 0.01, 0.1, 1 וכדומה). ייצוג גרפי כזה נקרא גרף לוגריתמי. גרף לוגריתמי משמש לתיאור תהליכים שבהם הגדלים על אחד הצירים משתנים בכמה סדרי גודל. אם, למשל, היינו מציירים את התרשים שמופיע בתמונה 9.1 בגרף פיזור (XY) רגיל, היינו מקבלים את התרשים המופיע בתמונה 9.2. שימו לב שלא היינו יכולים להבחין בתרשים זה בהבדל בכמות התאים השורדים בבליעה של מנות קרינה גדולות.

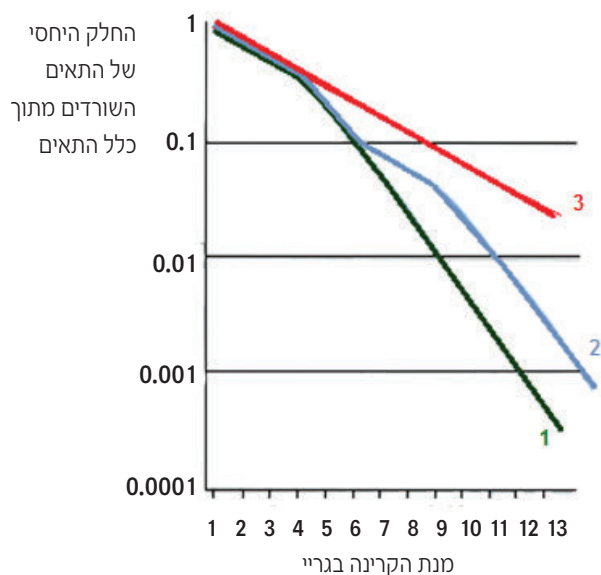


תמונה 9.2: הנתונים של תמונה 9.1 בסקלה ליניארית שאינה לוגריתמית

מסקנה: מערכת צירים לוגריתמית כמו בתמונה 9.1 מייצגת טוב יותר תהליכים שבהם הגדלים הנמדדים משתנים בכמה סדרי גודל כלומר בחזקות של 10.

בתמונה 9.3 מתוארות עקומות ההישרדות בניסוי אחר שבו התאים נחשפו לקרינת רנטגן בשלושה אופנים שונים המיוצגים בתמונה בצבעים שונים:

1. **ירוק** – חשיפה רצופה לקרינה חזקה בדומה לניסוי המתואר בתמונה 9.1.
 2. **כחול** – חשיפה לקרינה חזקה באופן הבא: כאשר מנת הקרינה שספגו התאים הגיעה ל-6.5 גריי, ההקרנה הופסקה למשך שמונה שעות והתחדשה לאחר מכן.
 3. **אדום** – חשיפה רצופה לקרינה חלשה מאוד במשך זמן ארוך מאוד.
- בכל אחד מהניסויים, כמות הקרינה הכוללת שנספגה בתאים עד תום הניסוי הייתה זהה, בעוד שההבדלים בין הניסויים היו במשכי הזמן של החשיפה.



תמונה 9.3: עקומת הישרדות של תאים כתלות במנת הקרינה הנספגת בשלושה ניסויים שונים (מקור: ראו נספח ג')

3. הסבירו את ההבדלים באחוז התאים השורדים בין הניסויים השונים.

4. נגה, יעל ורות יצאו החוצה לשמש קיץ ושלושתן ספגו מנות זהות של קרינה.

- נגה יצאה לריצת בוקר והיתה חשופה לקרינת שמש חלשה בין 8:00 ל-9:00.
- יעל יצאה לעבוד בגינה בצוהריים והיתה חשופה לקרינה בין 12:00 ל-12:30.
- רות הלכה למכולת בצוהריים והיתה חשופה לקרינה בדרכה אל המכולת בין 12:00 ל-12:15 ובדרך חזרה הביתה בין 13:00 ל-13:15.

קבעו בעזרת הגרף שבתמונה 9.3 לאיזו מהבנות החשיפה לשמש תזיק יותר ולאילו מהן היא תזיק פחות. נמקו.

5. אילו מסקנות תוכלו להסיק מפעילות זו בנוגע לחשיפה לקרינה בחיי היום-יום?

6. אילו מההרגלים שלכם כדאי לשנות כדי להימנע מחשיפה ממושכת לקרינה?

השפעת קרינה שאיננה מייננת על גוף האדם –

הערכת החשיפה לקרינה מטלפונים ניידים

הפגיעה כתוצאה מחשיפה לקרינה תלויה הן בסוג הקרינה, כלומר באורך הגל או בתדירות של הקרינה, והן בגוף המוקרן. התקנים המגדירים את בטיחות השימוש בטלפונים ניידים מתייחסים לכמות האנרגיה הנספגת ליחידת מסה של חומר ביולוגי כמו גוף האדם. כמות האנרגיה הנספגת ביחידת מסה ביחידת זמן, נמדדת ביחידת מידה הנקראת SAR (Specific Absorption Rate או קצב בליעה סגולית).

ISAR הוא כמות אנרגיה של 1 ג'אול שנבלעת במשך 1 שנייה (כלומר הספק של 1 וואט), במסה בת 1 קילוגרם. לכן, ה-SAR נמדד ביחידות של וואט לקילוגרם (Watt/kg). רמת ה-SAR מוגבלת בהנחיות ובתקני ייצור בין-לאומיים. לפי המשרד להגנת הסביבה, מכשיר טלפון שגורם לעלייה מקומית בחום הגוף של יותר ממעלה אחת (1°C), אסור לשימוש. מגבלה זו מתורגמת לתקנות המגבילות את ה-SAR המאפיין את הטלפונים הניידים, כפי שיוסבר בהמשך.

השימוש העיקרי במדידות קצב הבליעה הסגולית (SAR) הוא לאפיון של טלפונים ניידים. במעבדות המתמחות במדידות SAR, ישנו דגם פלסטיק חלול בצורת ראש אנושי כמו בתמונה 9.4. ממלאים את הדגם בתמיסה של מים, מלחים וסוכרים שכולעת קרינה באופן דומה לרקמות אנושיות. את דגם הראש מציבים בחדר מבודד מקרינה חיצונית ומצמידים אליו מכשיר טלפון נייד שמשדר בעוצמה מרבית. חיישנים מיוחדים מודדים את בליעת הקרינה בנקודות שונות בתוך הדגם. ערך ה-SAR מחושב על פי הערך המרבי של הבליעה שנמדד באזור מסוים, בממוצע על-פני שש דקות של שימוש בטלפון.



תמונה 9.4: מדידת קצב הבליעה הסגולית של הקרינה האלקטרומגנטית הנפלטת ממכשיר טלפון נייד (מקור: ראו נספח ג')

ישנן שתי שיטות מקובלות ושונות זו מזו להערכת קצב הבליעה הסגולי של הקרינה הנפלטת מהטלפון. יצרני הטלפונים מחויבים לדווח לצרכנים את תוצאות מדידת ה-SAR על-פי כל אחת משיטות אלה, שכן ערכי הסף המותרים שונים בכל אחת מהן:

- השיטה האירופית – מודדת את מקסימום הבליעה ב-10 גרמים של תמיסה. התקן האירופי מתיר חשיפה מקומית של המוח לערכי SAR הנמוכים מ-2 ואט לקילוגרם.
- השיטה האמריקאית – מתייחסת למקסימום הבליעה בגרם אחד של תמיסה. התקן האמריקאי מתיר חשיפה מקומית של המוח לערכי SAR הנמוכים מ-1.6 ואט לקילוגרם.

יצרני הטלפונים מפרסמים את תוצאות מדידות ה-SAR ובישראל נמכרים רק טלפונים ניידים העומדים גם בתקן האמריקאי וגם בתקן האירופי. על-פי ההערכות של המשרד להגנת הסביבה, טלפונים שעומדים בתקנים אלו, לא יעלו את טמפרטורת הגוף ביותר ממעלה ועל כן הם מותרים למכירה. ניתן להרחיב את המדידה ולמדוד ערכי SAR או קצב בליעה סגולית לא רק באזור הראש אלא גם ביתר חלקי הגוף.



האם טלפון נייד שערך ה-SAR שלו נמוך מהתקן בטוח לשימוש?

אורי'אנה:

ד"ר אורית רופא: קשה לענות באופן חד-משמעי. מדידת ה-SAR היא מדידה פשטנית מאוד שאינה לוקחת בחשבון גורמים שונים שיכולים לשנות את ספיגת הקרינה בגוף. למשל, מדידת ה-SAR מתבצעת בדגם שמדמה ראש של אדם בוגר ולא ברור אם תוצאותיה תקפות גם כשמדובר בראש של ילד. בנוסף, הדגם מלא בתמיסה אחידה ואילו בפועל המוח האנושי איננו אחיד, כך שייטכן שאזורים מסוימים סופגים יותר קרינה ביחס למה שמעריכה מדידת ה-SAR.

צריך גם לקחת בחשבון שהמדידה מבוצעת כאשר הטלפון הנייד פולט קרינה מרבית. זה המצב כשמדברים באזור עם קליטה חלשה מאוד. בפועל, רוב השיחות מתבצעות באזורים שבהם יש קליטה טובה ולכן המכשיר יכול לקיים את השיחה גם בפליטה של קרינה ברמות נמוכות יותר. לא בטוח שערך ה-SAR מייצג את פליטת הקרינה האופיינית של המכשיר. יתכן מצב שערך ה-SAR של מכשיר מסוים מאוד גבוה ולמרות זאת פליטת האנרגיה האופיינית שלו היא נמוכה.

נהוראי מאיר:

אם מדידת ה-SAR אינה משקפת בצורה טובה את ספיגת הקרינה בגוף, מדוע אנו משתמשים בה?

אורי'אנה:

**יששכר כספי:**

איננו רוצים לוותר על שימוש בטלפונים ניידים, הם עושים את חיינו קלים יותר. עם זאת איננו

רוצים להיחשף לקרינה באופן בלתי מבוקר. מדד ה-SAR נותן לנו, נכון לעכשיו, את האומדן הטוב ביותר לספיגת הקרינה בגוף. עדיין לא פותחה דרך למדוד את ספיגת הקרינה הנפלטת מהטלפונים בצורה מושלמת, וברור לכל הגופים המקצועיים שאומדן זה אינו מדויק. אומדן ה-SAR חשוב ביותר, כי הוא מציע בסיס לקביעת תקנים ולהשוואה בין מכשירים.

ד"ר אורית רופא: גם כאשר משתמשים במכשיר טלפון נייד שערך ה-SAR שלו נמוך מהתקן, מומלץ לנקוט בזהירות מונעת: להשתמש באוזניה או בכל אמצעי אחר כמו דיבורית או רמקול כדי להרחיק את מכשיר הטלפון מהראש בעת שיחה; לא לשמור את הטלפון בצמוד לגוף ובעיקר לא סמוך לאיברי המין והרבייה כשאינו בשימוש, כיוון שגם כשלא משתמשים במכשיר הטלפון הוא פולט קרינה. בנוסף, מומלץ להרחיק את הטלפונים הניידים והאלחוטיים מילדים ומתינוקות. כמו כן, עדיף להשתמש בטלפון באזורים שבהם הקליטה טובה, ולהימנע לחלוטין משימוש במעליות ובחדרים מוקפים במתכת.

אוריאה:

האם אוזניה אלחוטית לטלפון הסלולרי פולטת קרינה?

נהוראי מאיר:

בוודאי, הטלפון משדר אל האוזניה והאוזניה משדרת אל הטלפון, כך הם מתקשרים. עוצמת הקרינה שנפלטת מהאוזניה נמוכה בהרבה מזו שפולט הטלפון ולכן השימוש באוזניה אלחוטית עוזר להפחית את החשיפה לקרינה.

פעילות 9.2: השוואה בין עוצמות הקרינה הנפלטות מטלפונים ניידים שונים

1. האם יש ברשותכם או ברשות בני משפחתכם טלפון נייד? רשמו את שם הדגם של הטלפון שברשותכם.

2. חפשו באינטרנט מהם נתוני ה-SAR של הטלפון שלכם, ומלאו את הטבלה.

סוג המדידה	ראש	גוף
SAR אירופי		
SAR אמריקאי		

3. בישראל אסור למכור טלפונים שמדד ה-SAR האמריקאי שלהם עולה על 1.6 ואט לקילוגרם או שמדד ה-SAR האירופי שלהם עולה על 2 ואט לקילוגרם. האם הטלפון הנייד שלכם עומד בתקן הזה?
4. ערכו דיון בכיתה: מהם ערכי ה-SAR הגבוהים והנמוכים ביותר שמצאתם? עבור אילו מכשירים הם התקבלו?
5. האם בהכרח טלפון שמדד ה-SAR שלו נמוך יותר הוא בטוח יותר לשימוש? נמקו.

חשיפה לקרינת השמש

קרני שמש מורכבות ממגוון אורכי גל וביניהם גם קרניים על-סגוליות (UV Ultra Violet) המסוכנות לבריאות, כפי שהזכרנו בפרק 6. כדי להתגונן מפניהן, משתמשים באמצעי הגנה כגון קרם הגנה, משקפי שמש או בגדים מיוחדים. באמצעי הגנה אלו יש רכיבים שבולעים או מחזירים את אורכי הגל הקצרים בתחום העל-סגול ולכן מונעים את הפגיעה בגוף.



מהי משמעות המספר שמצוין על בקבוקי קרם הגנה?

אוריאנה:

ד"ר אורית רופא: נניח שאם תצאי לשמש ללא הגנה, תסבלי מכוויות

לאחר 20 דקות. כשאת מרוחה בקרם עם מקדם SPF 15 (Sun Protecting Factor), הזמן עד להופעת כוויות יגדל פי-15 כלומר יהפוך לחמש שעות. כדאי לדעת שהזמן שציינת הוא זמן תיאורטי שהיצרן מספק עבור מריחה של שכבה מאוד עבה של קרם. בנוסף, מים וזיעה פוגעים ביעילות של מסנן הקרינה. לכן חשוב להימרח בשכבה עבה של קרם לעיתים קרובות.

פרופ' גלי קורן: שימי לב שמקדם SPF מתייחס רק להופעת כוויות בשל חשיפה לקרינת UVB. בנוסף, קרני השמש מכילות גם קרני UVA שלהן אורך גל ארוך יותר מ-UVB. קרניים אלה מצליחות לחדור דרך השכבה החיצונית של העור.

ד"ר אורית רופא: קרני UVA אינן גורמות לכוויות, אך עלולות להאיץ תהליכים סרטניים ולגרום לקמטים. לכן, כשאתם קונים קרם הגנה, חשוב לבדוק שהוא מגן גם מפני קרינת ה-UVA.

פעילות 9.3: חרוזי שמש משתזפים

בפעילות זו נשתמש בחרוזי שמש כדי לבחון את יעילותם של אמצעי הגנה מפני קרינת UV, קרינה בתחום העל-סגול. חרוזי שמש הם חרוזים לבנים המשנים את צבעם בחשיפה לקרינת UV.

ציוד:

- מקור לקרינת UV. ניתן לצאת למרחב החשוף לקרני השמש או להשתמש בפנס UV

זהירות!!! אם משתמשים בפנס UV אין לכוון אותו לעיניים!!!

- שני חרוזי שמש לפחות. חשוב שהחרוזים יהיו בעלי אותו גוון בחשיפה ל-UV.

- קרם הגנה

- משקפי שמש

- מפית / נייר מגבת / נייר טואלט לניקוי החרוזים

1. חשפו את החרוזים לקרינת UV. תארו את השינוי שחל בהם במהלך החשיפה לקרינה.

2. שערו מה השינוי שיחול בהם בעת החשיפה לקרינה, אם נמרח את החרוזים בקרם הגנה לפני החשיפה לקרינת UV? מהי ההשפעה של מקדם SPF של הקרם שבו משמשים?

כעת, נרצה לבצע סדרת ניסויים שבמהלכם נחשוף את החרוזים לקרינת UV ונעקוב אחרי קצב שינוי הצבע שלהם כשהם מוגנים מקרינה על-ידי קרם הגנה, משקפי שמש ואמצעים אחרים.

3. עבור כל אמצעי הגנה שברצונכם לבדוק, בצעו את הפעולות הבאות:

א. ודאו שברשותכם חרוז שמש לבנבן. אם גוון החרוז צבעוני בשל חשיפה קודמת לקרינת UV, עליכם למקם אותו במקום מוגן מקרינה ולהמתין כשתי דקות עד שצבעו יהיה לבן.

ב. מגנו את החרוז מפני השפעת הקרינה תוך מריחתו בקרם הגנה או הצבתו מאחורי מחסום כגון עדשת משקפיים או בד.

ג. חשפו את החרוז הממוגן לקרינת UV ושימו לב לקצב שינוי הצבע שלו. אם אתם משתמשים בפנס, הקפידו שהמרחק בין הפנס לחרוז יהיה קבוע בכל המדידות.

ד. חזרו על כל מדידה שלוש פעמים או כתבו גם את התוצאות שקיבלו שניים מחבריכם לכיתה. דונו בכיתה מדוע חשוב לחזור על מדידות בניסוי.

סכמו את ממצאיכם בטבלה. ניתן לצלם את החרוזים במצלמת הטלפון הנייד ולהכניס את התמונות או להשתמש בסימני + שיתארו את עוצמת הצבע (למשל: כחול, +, כחול++, כחול+++).

שתי השורות האחרונות בטבלה ריקות כדי לאפשר לכם לבדוק אמצעי מיגון נוספים לפי רצונכם, למשל, קרם במקדם SPF שונה, קרם הגנה של יצרן אחר, תכשירי איפור וטיפוח, עדשת משקפי ראייה, שמשת חלון, מים או נייר.

צבע החרוז לאחר חשיפה בת 60 שניות	צבע החרוז לאחר חשיפה בת 10 שניות	צבע החרוז לאחר חשיפה בת שלוש שניות	צבע החרוז לאחר חשיפה בת שנייה אחת	סוג המיגון
				ללא מיגון
				קרם הגנה עם מקדם SPF ____ בשכבה דקה
				קרם הגנה עם מקדם SPF ____ (מקדם זהה לשורה הקודמת) בשכבה עבה
				עדשת משקפי שמש
				בד, למשל, בד חולצתכם

טבלה 9.1: חשיפת חרוזי שמש במיגונים שונים לקרינה

מסקנות

4. האם קרם הגנה יעיל כמו בגד בהגנה על העור מפני נזקי השמש? נמקו.

5. האם ישנה משמעות לעובי שכבת קרם ההגנה שאנו מורחים?

מה דעתכם, האם מקדם ה-SPF על אריזת הקרם מתייחס למריחה בשכבה עבה או דקה?



בהקשר זה, כדאי לקרוא את ההנחיות

למריחת מסנן קרינה של **האגודה למלחמה בסרטן**.⁴¹

6. האם משקפי השמש שלכם יעילים בהגנה על העיניים מפני קרינת UV? נמקו.

שימו לב: משקפי שמש שאינם מגינות ביעילות מפני קרינת UV, לא רק שאינם מועילות לבריאותנו, הן אפילו מזיקות! הסיבה לכך היא שמשקפי שמש כאלו חוסמות חלק מהאור הנראה, ולכן כשאנו מרכיבים אותם העין מרגישה שאנו נמצאים באפלה והאישון מתרחב, ראו הסבר בפרק 8. התרחבות האישון גורמת לכניסה רבה יותר של קרינת UV (שאינה נחסמת על-ידי המשקפיים) אל העין ולפגיעה בעדשת העין.

7. מהן מסקנותיכם מהמדידות המתועדות בשתי השורות האחרונות של הטבלה?

8. על סמך מה שלמדתם בפעילות, נסחו המלצות לצמצום מרבי של החשיפה לקרינת UV בעת שהייה בחוץ.

41 <http://www.cancer.org.il/template/default.aspx?PageId=6747>



אוריאנה:

הבנתי שחשיפה לקרינת השמש מסוכנת, ובכל זאת, אני מעוניינת להשתזף. האם את ממליצה לי להשתמש במיטת שיזוף?

ד"ר אורית רופא: בשום פנים ואופן לא! גם מיטות השיזוף מסוכנות לבריאות ועלולות לגרום נזקים לטווח

ארוך. אני ממליצה לך לקרוא את הכתבה שפורסמה באתר האגודה למלחמה בסרטן כדי



שתבני את הסיכון הכרוך בשימוש במיטות השיזוף:⁴² עליך להבין ששיזוף אינו דומה למריחת איפור או לק לציפורניים. זהו תהליך מזיק ובלתי הפיך. דרך אגב, גם כשעושים מניקור ג'ל חושפים את הידיים לקרינת UV.

אוריאנה:

באמת?! אני מכירה המון נשים שעושות מניקור ג'ל באופן קבוע.

ד"ר אורית רופא: מניקור ג'ל פופולרי משום שבשונה מלק רגיל הוא מחזיק מעמד שבועות מבלי להתקלף.

חשוב להיות מודעים לכך שהמכונות שבהן משתמשים לצורך ייבוש ואטימת הג'ל עושות שימוש בקרינת UV ולמעשה גורמות לשיזוף מרוכז של האצבעות. החשיפה לקרינה מעלה את הסיכון לחלות בסרטן העור וכן גורמת להזדקנות העור ולפגיעה בבריאות הציפורניים.

אוריאנה:

אבל שמעתי שהיום משתמשים בנורות לד ליבוש וזה בכלל לא מסוכן!

נהוראי מאיר:

גם נורת הLED קורנת בקרינת UV, רק שעוצמת הקרינה שלה קטנה יותר. בפעם הבאה כשתהיי במכון הפכי את המכשיר וקראי מה כתוב בתחתית שלו. מצוין שם במפורש שהקרינה היא קרינת UV.

ד"ר אורית רופא: איגוד רופאי העור באמריקה ממליץ למי שרוצה לעשות מניקור ג'ל לנקוט באמצעי הגנה:

למרוח את האצבעות והציפורניים בקרם הגנה לפני הטיפול ולעטות במשך הטיפול כפפות שקצותיהן גזורים כך שרק אזור הציפורן יהיה חשוף לקרינה.

פעילות 9.4: בדקו את עצמכם

1. כאשר קרינה פוגעת בגוף.
 - א. תמיד נגרם נזק לגוף.
 - ב. עלולים להיווצר שינויים מזיקים בתאי הגוף שחלקם בלתי הפיכים.
 - ג. ייגרם נזק רק אם הקרינה מייננת.
 - ד. הגוף תמיד מתקן את נזקי הקרינה.
2. כאשר קרינה יוצרת בגוף נזקים הניתנים לתיקון.
 - א. מנגנוני התיקון של הגוף יתקנו את התא מיד.
 - ב. מנגנוני התיקון של הגוף יתקנו את התא תוך כמה דקות או שעות.
 - ג. מנגנוני התיקון של הגוף יתקנו את התא תוך עשרות שנים.
 - ד. אין נזקים הניתנים לתיקון.
3. מה הקשר בין קרינה למחלת הסרטן?
 - א. חשיפה לקרינה מעלה את הסיכויים לחלות בסרטן.
 - ב. חשיפת התאים הסרטניים לקרינה עשויה להשמיד אותם וכך לרפא את המחלה.
 - ג. תשובות א' וב' נכונות.
 - ד. אין קשר בין קרינה למחלת הסרטן.
4. מדוע חשוב להגן על ילדים מפני חשיפה לקרינה?
 - א. מנגנוני התיקון שלהם אינם מפותחים והם אינם יודעים להתמודד עם נזקי הקרינה.
 - ב. התאים שלהם מתחלקים בקצב מואץ ולכן רגישים יותר לקרינה.
 - ג. כל החיים לפנייהם ולכן יש להיזהר גם מפני מחלות שיבואו לידי ביטוי רק בעוד עשרות שנים.
 - ד. תשובות ב' ו-ג' נכונות.
5. מדידת קצב הבליעה הסגולית (SAR) בטלפונים ניידים מאפיינת את
 - א. כמות האנרגיה הנספגת בשנייה בקילוגרם גוף בתנאים של שידור בעוצמה מרבית של הטלפון הנייד.
 - ב. כמות האנרגיה הנספגת בשנייה בקילוגרם גוף בתנאי שידור אופייניים של הטלפון הנייד.
 - ג. כמות האנרגיה המקסימלית שפולט הטלפון הנייד בשנייה.
 - ד. כמות אנרגיה אופיינית שפולט טלפון נייד בשנייה.

6. מהי משמעות המספר של מקדם ה-SPF שרשום על-גבי קרם ההגנה מפני השמש?
- א. המספר הוא מספר הדקות שבהן אנו מוגנים מקרינה לאחר מריחת התכשיר בתנאים אידיאליים.
- ב. המספר מציין פי כמה יתארך הזמן עד להופעת כוויות על עורנו בעת חשיפה לשמש כשאנו מרוחים בתכשיר בתנאים אידיאליים.
- ג. המספר מציין רמת הגנה מפני קרינת UVA.
- ד. אף תשובה אינה נכונה.

סיכום הפרק

- כשקרינה נבלעת בגוף, היא מוסרת לו אנרגיה ויכולה לגרום לתהליכים שונים, חלקם מזיקים.
- התאים המושפעים ביותר מקרינה הם תאים בתהליך התחלקות כמו תאים של ילדים צעירים או תאים סרטניים.
- לגוף יש מנגנוני תיקון שיכולים לתקן את רוב נזקי הקרינה תוך דקות או שעות.
- במקרה של הקרנה חזקה ורצופה, מנגנוני התיקון לא יספיקו לתקן את כל הנזקים והגוף עלול להיפגע. לכן, מומלץ להימנע מחשיפה רצופה לקרינה.
- מקובל להעריך את קרינת הטלפונים הניידים באמצעות מדידת קצב הבליעה הסגולית (SAR) שהוא כמות האנרגיה הנבלעת בשנייה בקילוגרם מסת גוף.
- קרם הגנה מפני השמש מחזיר או בולע את הקרינה ובאופן זה מגן על גופנו.
 - מקדם ה-SPF שמצוין על-גבי הקרם מתייחס רק להגנה מפני קרינת UVB.
 - ערך ה-SPF הוא מדד שמאפיין תכשירים להגנה מפני השמש; משמעותו היא פי כמה יתארך זמן החשיפה לשמש, עד להופעת כוויות, כשאנו משתמשים בתכשיר, בהשוואה לזמן החשיפה לשמש, עד להופעת כוויות, ללא שימוש בתכשיר.
 - מומלץ לבחור בקרם הגנה שמגן גם מפני קרינת UVA.
- מומלץ למזער חשיפה לקרינת השמש ולנהוג בשמש לפי הנחיות האגודה למלחמה בסרטן.

פרק 10: שימושים רפואיים בקרינה אלקטרומגנטית

שאלה שתוכלו להשיב עליה אחרי שתלמדו את הפרק:

מהו עיקרון הפעולה של בדיקות רנטגן, CT, MRI ורדיואיזוטופים ומתי מומלץ לבצע אותן?

מושגים מרכזיים שנלמד עליהם בפרק זה:

דימות, צילומי רנטגן, בדיקת CT (טומוגרפיה ממוחשבת),

בדיקת MRI (דימות בתהודה מגנטית), רדיואיזוטופים

בפרק 9 למדנו על סיכונים בריאותיים בחשיפה לקרינה. חשוב לזכור שקרינה אינה רק גורם מסכן, ושיש תועלת רבה במגוון בדיקות וטיפולים רפואיים המתבססים על שימוש בקרינה.

הזכרנו כבר בפרק 9 את השימוש בהקרנות למיגור גידולים סרטניים. בפרק זה נלמד על שיטות מגוונות לדימות שבהן קרינה מנוצלת כדי "לצלם" איברים פנימיים בגוף הנבדק. תהליך הדימות ברפואה מאפיין בדיקות בלתי פולשניות שמאפשרות להציג בתמונות או באופן גרפי את מבנה האיברים הפנימיים בגוף הנבדק. העיקרון מאחורי כל הבדיקות האלה הוא שמידות ההעברה וההחזרה של קרינה דרך חומר תלויות באורך הגל של הקרינה הפוגעת ובמבנה החומר.



אוריאנה: איך אפשר לצלם איברים פנימיים? הרי הם מוסתרים

בתוך הגוף.

פרופ' גלי קורן: נכון שאי אפשר לראות את האיברים הפנימיים באמצעות אור נראה, אך אור באורכי גל אחרים עשוי לעבור דרך העור ודרך יתר רקמות הגוף. את צילומי הדימות הרפואי מבצעים בקרינה שתעבור דרך חלק מרקמות הגוף ותיבלע או תוחזר מרקמות אחרות.

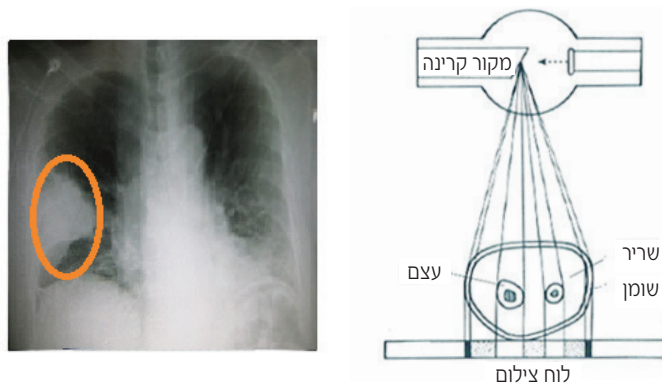
בדיקות רנטגן, סי-טי (CT) ו-MRI נועדו לאתר ולאבחן שברים בעצמות, דימומים, גידולים, תהליכים דלקתיים ועוד. הן מאפשרות לזהות ולאבחן מחלות בשלב מוקדם ומסייעות לצוות הרפואי בבחירת טיפול מתאים לנבדקים. בעמודים הבאים תמצאו מידע על כל אחת מהבדיקות ואחריו פעילות המתרגלת קבלת החלטות בהתבסס על מידע זה.

בדיקת רנטגן

גלים אלקטרומגנטיים בתחום הרנטגן מסוגלים לעבור דרך רקמות רכות בגוף. אולם, כשקרנת רנטגן פוגעת בעצמות או בחומרים צפופים אחרים היא נבלעת. תכונה זו מאפשרת להשתמש בקרינת הרנטגן לצילום עצמות בגוף ולזהוי שברים, לאיתור מצבים של הידלדלות העצמות (אוסטאופורוזיס) או חורים בשיניים ולפעולות רפואיות אחרות. קרינת רנטגן נבלעת לא רק בעצמות אלא גם באזורים בגוף הסובלים מדלקת. לכן, צילום רנטגן מאפשר ללמוד על התפתחות של מחלות שונות.

בצילום רנטגן הקרינה עוברת דרך הגוף ופוגעת בנייר צילום בהיר. כל נקודה שפוגעת בה קרינה על-פני נייר הצילום הופכת לשחורה. האזורים שאליהם לא מגיעה קרינה נותרים בהירים. ראו תמונה 10.1. כדי למנוע הקרנה מיותרת של חלקי גוף שאינם אמורים להיכלל בצילום, מכסים אותם בסינר עופרת שבולע את הקרינה הפוגעת בו.

לעתים קרובות משתמשים בצילומי רנטגן כדי לאתר ולזהות מחלות ריאה. כאשר הריאות בריאות ומלאות אוויר, הן אינן בולעות כלל את קרינת הרנטגן. דלקת, גידול, או פגיעה בריאות כתוצאה מעישון סיגריות יגרמו לבליעה וישנו את התמונה המתקבלת.



תמונה 10.1 (א) עיקרון קבלת התמונה בעזרת קרני רנטגן (מקור: ראו נספח ג')

(ב) צילום רנטגן של אדם הסובל מדלקת ריאות; אזור הדלקת מסומן בעיגול (מקור: ראו נספח ג')

העלות של צילום רנטגן נמוכה יחסית (עשרות שקלים), זמן הבדיקה קצר וגם כמות הקרינה שסופג המטופל אינה גבוהה. מדובר בכ-0.03 מיליסיוורט⁴³, כמאית ממנת הקרינה הממוצעת שסופג אדם בשנה ממקורות טבעיים.⁴⁴ לכן בדיקת הרנטגן נפוצה מאוד ומשמשת ככלי אבחון וסריקה ראשוני לפני פנייה לבדיקות יקרות או מסובכות יותר. זמן ההמתנה לבדיקה ולפענוח התוצאות קצר.

43 למדנו בפרק 9 שגריי היא יחידה שמכמתת ספיגה של קרינה. נזכיר שהמשמעות של ספיגת קרינה בערך של 1 גריי היא שקרינה באנרגיה של 1 ג'אול נבלעה ע"י 1 ק"ג חומר. זוהי ההשפעה הפיזיקאלית של הקרינה. למדנו גם שיש איברים רגישים יותר לקרינה ואחרים שרגישים פחות. לכן, ספיגה של קרינה באותו ערך תשפיע באופן שונה על איברים שונים. כדי לאמוד את הנזקים הביולוגיים של הקרינה יש צורך ביחידת מידה שתיקח בחשבון לא רק את ההשפעה הפיזיקאלית (כמות הקרינה הנספגת) אלא גם את השפעתה הביולוגית (הנזק שהיא גורמת לאיבר המוקרן). סיוורט היא יחידה שמכמתת את ההשפעה הביולוגית של הקרינה הנספגת בחומר. כדי לחשב את הקרינה הנספגת ביחידות סיוורט, מכפילים את הקרינה הנספגת ביחידות גריי במקדם (מספר) חסר יחידות, שתלוי בחלק הגוף שחשוף לקרינה ובסוג הקרינה. מסיבה זו ספיגה של קרינה מייננת בערך של 1 גריי על-ידי איברים שונים תתואר על-ידי ערכים שונים ביחידות של סיוורט.

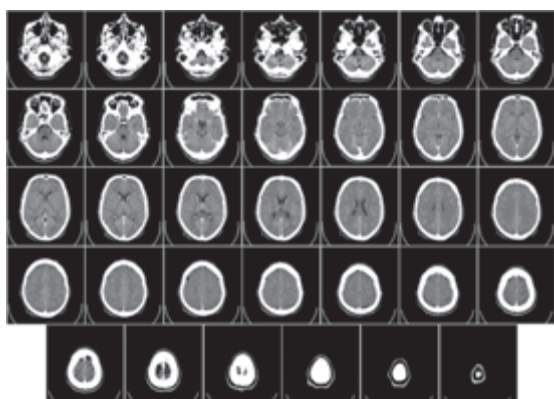
44 הכוונה היא לקרינה הקוסמית שמגיעה אלינו מהחלל ולקרינה מחומרים רדיואקטיביים הנמצאים בסביבתנו באופן טבעי, מבלי להביא בחשבון חשיפה לקרינה ממכשירים או מהשמש.

בדיקת סי-טי (CT)

ראשי התיבות CT פירושו Computer Tomography (טומוגרפיה ממוחשבת).

גם בבדיקה זו נעשה שימוש בקרינת רנטגן, אך להבדיל מצילום הרנטגן הרגיל, בבדיקת סי-טי מקור הקרינה סובב סביב הנבדק וכך מתקבלות תמונות רבות שמתורגמות לפרוסות ("חתכים"). אלה מלמדים על כל נפח הגוף. בזכות הצילומים הרבים מזוויות שונות, ניתן לקבל הדמיה תלת-ממדית של האיבר המצולם, והדיוק באיתור ובאבחון המחלה משופר מאוד. עם זאת, המטופל סופג מנה גבוהה יחסית של קרינת רנטגן, בין 1 ל-10 מיליסיוורט (תלוי באיבר הנבדק), כלומר ספיגה של כפי 100 יותר קרינה בהשוואה לצילום רנטגן רגיל. בדיקת הסי-טי מספקת תמונות דימות למרבית איברי הגוף ומאפשרת זיהוי מדויק יותר מבדיקות אחרות במקרים של פגיעות בעצם, במקרים של דימום וכשישנם גידולים. כיש צורך לקבל תמונה של מערכת הדם בעזרת בדיקת סי-טי או צילום רנטגן, לרוב מזריקים לנבדק לפני הבדיקה חומר ניגוד שבולע את קרינת הרנטגן. חומר הניגוד מתפשט במערכת הדם וגורם לכך שכלי הדם יראו בצילום ברורים יותר.

הבדיקה נמשכת דקות ספורות ועלותה גבוהה יותר מעלות צילום רנטגן רגיל. היא מוערכת במאות שקלים. זמן ההמתנה לבדיקה ולפענוח התוצאות קצר יחסית.



ב



א

תמונה 10.2 (א) מכשיר סי-טי (מקור: ראו נספח ג')
(ב) תוצאות בדיקת סי-טי מוח (מקור: ראו נספח ג')

בדיקת MRI

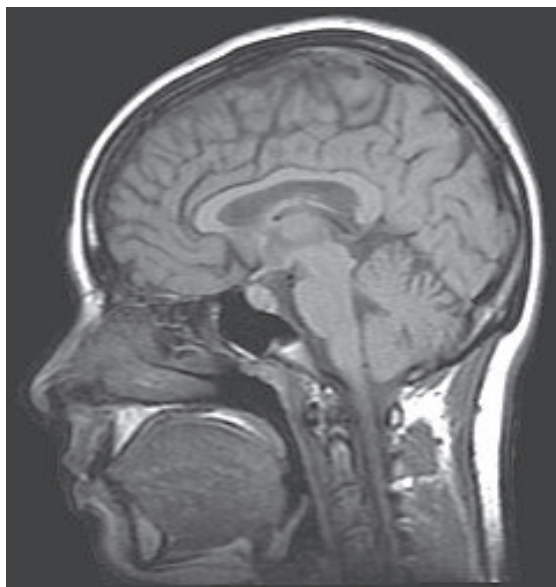
ראשי התיבות MRI פירושו Magnetic Resonance Imaging (דימות בתהודה מגנטית). זוהי סריקה לא-פולשנית המשמשת להמחשת איברים פנימיים בגוף ללא חשיפה לקרינה מייננת.

בבדיקה זו משתמשים בשילוב של קרינת רדיו ושדות מגנטיים חזקים. השדות המגנטיים החזקים גורמים לגרעיני האטומים בגוף להתמגנט וכאשר קרינת הרדיו משודרת על האטומים הממוגנטים, היא גורמת להם לפלוט גלים אלקטרומגנטיים הניתנים למדידה מחוץ לגוף. רקמות שונות מגיבות באופן שונה לשדה המגנטי

ולכן מגיבות באופן שונה לקרינת הרדיו המשודרת עליהן. בדיקת MRI מאפשרת לזהות את סוג הרקמה על-פי הקרינה הנפלטת ממנה כשהיא מוקרנת בקרינת הרדיו.

בדיקת MRI מדמה באופן המדויק ביותר רקמות רכות בגוף, בין היתר את המוח, את חוט השדרה ואת השרירים אך היא מספקת מידע פחות מדויק על תהליכים בעצמות. כיוון שהבדיקה עושה שימוש בקרינה בלתי מייננת (קרינת רדיו), החשיפה לקרינה במהלך הבדיקה אינה מזיקה. בדומה לסי-טי גם בבדיקה זאת הגוף מצולם מזוויות שונות.

עלות בדיקת MRI נאמדת באלפי שקלים. מכיוון שמספר המכשירים קטן והבדיקה ארוכה יחסית, זמן ההמתנה לבדיקה עלול להיות ארוך ובמקרים שאינם מוגדרים כדחופים ההמתנה עלולה להימשך שבועות ואפילו חודשים. במהלך בדיקת MRI הנבדק נמצא בתא הגדול רק במעט מממדי גופו של אדם בוגר והצלחת הבדיקה תלויה בכך שישכב מבלי לזוז במשך כל זמן הבדיקה. הזרמים החשמליים החזקים שיוצרים את השדה המגנטי במכשיר רועשים מאוד ולכן הנבדק חייב להרכיב אוזניות. הבדיקה ממושכת יחסית (אורכת כחצי שעה בערך) ובאוכלוסיות מסוימות כמו ילדים צעירים, אנשים עם פיגור ואנשים הסובלים מקלסטרופוביה (פחד ממקומות סגורים) היא דורשת הרדמה. עובדה זו, בנוסף לזמינות הנמוכה של המכשיר, גורמת לכך שממעטים להשתמש בה במצבי חירום. לעיתים מעדיפים לשלוח את המטופל לבדיקת סי-טי שמאפשרת פענוח מהיר.



ב



א

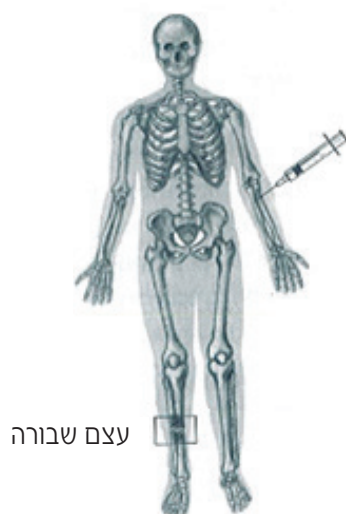
תמונה 10.3 (א) (שמאל) מכשיר לבדיקת MRI (מקור: ראו נספח ג')
(ב) (ימין) תמונת MRI של רקמות המוח (מקור: ראו נספח ג')

רדיואיזוטופים

אפשר למפות את איברי הגוף גם באמצעות הזרקת חומרים רדיואקטיביים בעלי זמן חיים קצר (רדיואיזוטופים) לדם. חומר בעל "זמן חיים קצר" הוא חומר לא יציב שמתפרק במהירות לחומרים אחרים ובמהלך התפרקות זו פולט קרינה אלקטרומגנטית שניתנת למדידה באמצעות גלאים המוצבים מחוץ לגוף.

כדי להפיק תועלת מהבדיקה, יש צורך להשתמש ברדיואיזוטופים שנקשרים לרקמה מסוימת בגוף, או לקשור את הרדיואיזוטופים למולקולות נושאות הנקשרות לרקמה מסוימת. במיפוי עצמות, למשל, מזריקים לנבדק חומר סימון רדיואקטיבי שמתרכז בעצמות. אזורים שבהם יש בניית עצם מוגברת כמו במקרה של חבלה, דלקת או גידול סרטני, יספגו כמות רבה יותר של חומר סימון ולכן יפלטו קרינה בעוצמה גדולה יותר. ראו תמונה 10.4. על-ידי בחירת חומר סימון מתאים, ניתן למפות גם את הריאות, את הכליות, את בלוטת התריס, את הלב ואיברים נוספים. המיפוי באמצעות רדיואיזוטופים מספק מידע על התפקוד של איבר המטרה. תוצאות המיפוי מלמדות אותנו על תהליכים של גדילה, של חילוף חומרים ותהליכים אחרים. זאת בניגוד לבדיקות שתיארנו עד כה (רנטגן, סי-טי ו-MRI) אשר מספקות מידע על מבנה האיברים. הקרינה הנפלטת בעת ביצוע הבדיקה היא קרינת גמא באורך גל קצר יותר מזה של קרינת הרנטגן. עוצמתה קטנה מאוד כך שמנת הקרינה הנספגת בגוף דומה לספיגת הקרינה בבדיקת סי-טי. למשל, במיפוי עצמות, מנת הקרינה הנספגת בגוף היא כ-8 מיליסיוורט.

החומרים הרדיואקטיביים שבהם משתמשים בבדיקה מתפרקים במהירות ולכן יש צורך לייצר אותם שעות ספורות לפני ביצוע הבדיקה. מגבלה זו מייקרת מאוד את עלות הבדיקה שמוערכת באלפי שקלים.



תמונה 10.4 מיפוי עצמות; באזור השבר יש קליטה רבה יותר של החומר הרדיואקטיבי (מקור: ראו נספח ג')

הרחבה: בדיקות אולטרסאונד

שיטת דימות שאינה עושה שימוש בקרינה אלקטרומגנטית היא האולטרסאונד. מכשיר האולטרסאונד משדר בצמוד לגוף גלי קול בתדירות הגבוהה מסף השמיעה האנושי, וקולט את הגלים המוחזרים מאברים שונים. מהתמונה המתקבלת אפשר ללמוד על מבנה האיברים הפנימיים. בדיקות אולטרסאונד זמינות ואינן כרוכות בחשיפה לקרינה או לסיכונים אחרים, אך הן אינן מדויקות כמו בדיקות הסי-טי או ה-MRI. כמו כן, גלי האולטרסאונד אינם עוברים דרך עצמות או כיסי אוויר ולכן אינם מתאימים לצילום של כל איבר. השימוש באולטרסאונד נפוץ לדימות של איברים בחלל הבטן, לזיהוי של נוזלים בריאות ובתינוקות לזיהוי דימום וריבוי נוזלים בחדרי המוח.

פעילות 10.1: השוואת בדיקות רנטגן, סי-טי, MRI ורדיואיזוטופים

1. מלאו את הטבלה בהסתמך על קטעי המידע שקראתם.

בדיקה	רנטגן	סי-טי	MRI	רדיואיזוטופים
מטרה רפואית				
סוג הקרינה				
ספיגת קרינה				
עלות				
יתרונות בהשוואה לבדיקות האחרות				
חסרונות בהשוואה לבדיקות האחרות				

טבלה 10.1: השוואה בין בדיקות דימות

פעילות 10.2: התייעצות רפואית – איזו בדיקה מתאימה לנו?

לפניכם שאלות המציגות את סיפוריהם של חולים שונים. עליכם לקבוע אילו בדיקות עשויות לאבחן את מצבם ואילו שאלות כדאי לשאול את הרופא כדי לקבל החלטה בנוגע לסוג הבדיקה הרצויה. דונו בכיתה בתשובותיכם.

ניתן לסמן כמה תשובות נכונות בכל שאלה.

1. קרן נפלה בחצר ביתה ומאז סובלת מכאבים עזים בכף רגל ימין. אמה חושדת שמדובר בשבר ומעוניינת שקרן תיבדק. אילו בדיקות יכולות לעזור באבחון שבר ברגל? בחרו ונמקו את בחירתכם.

א. צילום רנטגן

ב. אולטרסאונד

ג. סי-טי

ד. MRI

2. הרופא המליץ לקרן על צילום רנטגן. מדוע לדעתכם ההפניה היא לרנטגן ולא לסי-טי?

א. תוצאות צילום הרנטגן מדויקות יותר.

ב. צילום רנטגן חושף את החולה לכמות קרינה פחותה בהשוואה לסי-טי.

ג. זמן ההמתנה לצילום רנטגן קצר בהשוואה לסי-טי.

ד. עלות צילום רנטגן נמוכה בהשוואה לעלות צילום סי-טי.

3. מתושלח, בן 90, הגיע לחדר מיון עם שטף דם במוח כשהוא נתון בסכנת חיים. אילו בדיקות יעזרו לרופאים לזהות את מקור הבעיה? בחרו ונמקו.

א. MRI

ב. סי-טי

ג. רנטגן

ד. רדיואיזוטופים

4. הרופא הפנה את מתושלח בדחיפות לבדיקת סי-טי אך ילדיו חוששים כי הקרינה תזיק לו. הם מתלבטים אם להסכים לביצוע הבדיקה. מה תמליצו למתושלח ולילדיו לשאול את הרופא? נמקו.

5. בסופו של דבר מתושלח עבר בדיקת סי-טי והאבחון המוקדם הציל את חייו. מהן לדעתכם הסיבות לכך שמתושלח הופנה לסי-טי ולא ל-MRI?

- א. עלות הבדיקה
- ב. דיוק הבדיקה
- ג. זמינות הבדיקה
- ד. משך הבדיקה

6. טל, אישה בהיריון, נפגעה בתאונת דרכים ונחבלה בראשה. אילו בדיקות יכולות לגלות אם נגרם לה נזק מוחי בעקבות התאונה? בחרו ונמקו.

- א. סי-טי
- ב. MRI
- ג. רדיואיזוטופים
- ד. אולטרסאונד

7. הרופא הפנה את טל לבדיקת MRI. מדוע לדעתכם טל הופנתה ל-MRI מוח בעוד שמתושלח הופנה לסי-טי מוח?

- א. טל בהיריון ולכן אין לחשוף אותה למנת קרינה מייננת גבוהה מחשש לפגיעה בעובר שתאיו מתחלקים במהירות ולכן רגישים יותר לקרינה.
- ב. מתושלח מבוגר מאוד ולכן נזקי קרינה לטווח ארוך לא ישפיעו עליו, ככל הנראה.
- ג. הרופא של מתושלח ניסה לחסוך בעלות הבדיקה.
- ד. במקרים דחופים, נעדיף בדיקת סי-טי כי היא מהירה.



אוריאנה:

אז איך אדע מהי הבדיקה המתאימה ביותר עבורי ועבור בני משפחתי?

ד"ר אורית רופא: החלטת הרופא מתבססת לא רק על סוג המחלה אלא גם על נתונים כמו הגיל והרקע הרפואי של המטופל. לעיתים, גם זמינות בדיקות ועלותן הן שיקול בקבלת ההחלטות. הצוות הרפואי נדרש למסור מידע למטופלים בצורה המובנת להם ולקבל מהמטופלים את הסכמתם לטיפול בקרינה מייננת. חשוב להפנות לצוות המטפל כל שאלה המתעוררת לגבי הטיפול ובמקרה הצורך להיוועץ ברופא מומחה.

סיכום הפרק

- בדיקות רנטגן, סי-טי, MRI, רדיואיזוטופים ואולטרסאונד הן בדיקות דימות שמאפשרות לזהות ליקויים באיברים הפנימיים של הגוף. בדיקות הרנטגן, הסי-טי וה-MRI מתבססות על שימוש בקרינה אלקטרומגנטית שנבלעת באיברים מסוימים בגוף. מיפוי הרדיואיזוטופים מתבצע בהחדרת חומרים רדיואקטיביים לגוף ומעקב אחרי הקרינה הנפלטת מהם ואילו באולטרסאונד משתמשים בגלי קול.
- בדיקות הדימות נבדלות זו מזו באיברים ובתהליכים שהן מסוגלות לאבחן, ברמת הדיוק, בחשיפה לקרינה, בזמינות ובעלויות.
- במקרה של צילום רנטגן, בדיקת סי-טי ומיפוי באמצעות רדיואיזוטופים, ביצוע הבדיקה כרוך בחשיפה לקרינה מייננת ולכן יש להיבדק רק במקרה שיש לבדיקה הצדקה רפואית והתועלת עולה על נזקי החשיפה לקרינה.
- הרופאים מתאימים לכל מטופל את הבדיקה המתאימה לו בהתבסס על מכלול שיקולים רחב, תוך התייחסות לבעיה של המטופל, לגילו, לרקע הרפואי שלו, לזמינות הבדיקות ועוד.

פרק 11: סוף דבר –

קרינה אלקטרומגנטית ופרסומים בכלי התקשורת

גם מי שאינו לומד מדע וטכנולוגיה משתמש באופן קבוע בטכנולוגיות מגוונות שעושות שימוש בקרינה אלקטרומגנטית ומקבל החלטות הקשורות לקרינה ברמה האישית והפוליטית. כך, לדוגמה, אנשים מקבלים החלטה בנוגע למיקום הרשת האלחוטית בבית או אם יש לאפשר התקנה של רשתות אלחוטיות בבית-הספר של ילדיהם. אזרחים שאינם עוסקים במדע וטכנולוגיה באופן מקצועי מקבלים את רוב המידע שלהם בנושא הקרינה ממקורות כמו פייסבוק, אתרי אינטרנט, תוכניות טלוויזיה ועיתונים. קהל היעד ומטרות הפרסום של העיתונות המדעית בהשוואה לאמצעי תקשורת ההמונים, שונים מאוד זה מזה. חשוב להבין גם שהשיח המדעי שונה במהותו מהשיח באמצעי תקשורת אלה. השוני בא לידי ביטוי בכמה היבטים:

- כאשר קוראים כתבות יש להיות מודעים להבדלים בין: (א) מסקנות שמוסקות מתוך מקרה מסוים; (ב) מסקנות שהתקבלו מתוך ניתוח סטטיסטי שבחן מספר רב מאד של מקרים ולכן יכול היה להצביע על סבירות גדולה לקשר בין תופעות; (ג) מסקנות מניסויים שמצביעות על קשר סיבתי, כלומר על כך שהגורם X השפיע על תופעה Y. כדי להצביע על קשר סיבתי יש לשער אילו גורמים יכולים להשפיע על התופעה, לתכנן ניסוי שבו שולטים על כל הגורמים הללו, לשנות בכל פעם רק אחד מהם, ולבדוק את ההשפעה של שינוי זה על התופעה הנחקרת. יש לחזור על הניסוי מספר רב של פעמים ולוודא שאין השפעות של גורמים אחרים לפני שאפשר להגיע למסקנה על קשר סיבתי. חשוב להבין שהשיח המדעי דן רק במסקנות שהוסקו בדרכים ב' או ג' בעוד שהשיח התקשורתי מתמקד בסיפור מעניין ולכן לרוב דן במסקנות שהוסקו בדרך א'.
- שמות תואר כמו גדול, קטן, מסוכן לשימוש או בטוח לשימוש, שמופיעים בתקשורת לעולם לא יופיעו בשיח המדעי כעומדים בזכות עצמם אלא תמיד ביחס לגודל נתון. כשכותבים, למשל, שבדיקת סי-טי מסוכנת משום שהיא כרוכה בחשיפה גבוהה לקרינה, יש לשאול מהי רמת הסיכון. האם הקרינה שאנו סופגים מהבדיקה שקולה לשהייה של שעה, יום, חודש או שנה בשמש?
- פרסום בכלי התקשורת יהיה מוגבל בהיקפו ויצטמצם, למשל, לכתבה שמשודרת במשך כמה דקות או לעמוד אחד של עיתון. מטבע הדברים, אין אפשרות להציג תמונה רחבה של הנושאים הנדונים בכתבות ולכן הרבה מהכותבים בוחרים להתמקד בדעה אחת או במחקר אחד. כשאנו קוראים בעיתונות הפופולרית על כך ש"חוקרים גילו ש..." עלינו להבין שהעיתונאי מביא לנו דיווח על מחקר אחד שנבחר לכתבה כיוון שיש לו תוצאות שעשויות לעניין את קוראי העיתון. עם זאת, סביר מאד להניח שיש גם מחקרים שמראים אחרת.
- חשוב להבין שגם בשיח המדעי ישנן אי הסכמות. אי הסכמות אלה מיושבות, למשל, באמצעות חזרה

מדוקדקת על ניסויים או באמצעות מציאה של גורמים שלא נלקחו בחשבון. תהליך כזה אורך זמן ובמקרה של קרינה לא מייננת הוא עדיין בעיצומו. לכן, אם עלינו להסיק מסקנה שקשורה לחיינו, יש לבחון את כל התמונה – כלומר לחפש מאמרים נוספים, לשמוע חוות דעת של כמה מומחים, לברר באופן מעמיק מיהו המומחה שעל הצעתו אנו סומכים (מה השכלתו, ניסיונו המקצועי וכדומה) – ורק אז להגיע להחלטה.

פעילות 11.1: צפייה חוזרת בכתבה איך אנחנו הורגים את עצמנו: קרינה של אברי גלעד בערוץ השידור רשת

בפרק 1 ביקשנו מכם לצפות בכתבה של אברי גלעד איך אנחנו הורגים את עצמנו: קרינה. בחרנו בכתבה זו משום שמצאנו אותה מעמיקה ומעניינת. הכתבה גם מדגימה יפה את ההבדלים בין השיח המדעי לשיח היום-יומי באמצעי התקשורת.



צפו שוב בכתבה.⁴⁵

ענו באופן עצמאי על השאלות הבאות ודונו בהן בכיתה:

1. האם ניתן להסיק מדברי המדענים המרואיינים שהם חושבים ש"אנו הורגים את עצמנו" בגלל שימוש בקרינה לא מייננת? אם לא, מה בעצם אומרים המדענים המרואיינים? ציינו במפורש מי המדענים בכתבה.
2. על אילו סוגי ראיות נשענים בעלי העניין שרואיינו בכתבה ושאינם מדענים? עם אילו מהמסקנות שלהם אתם מסכימים ועם אילו לא?

⁴⁵ <http://reshet.tv/item/news/documentary/season-01/episodes/zbuild-468588>

נספח א': יחידות מידה

יחידות למדידת תדירות

- הרץ (Hz) – מספר הפעמים בשנייה שתופעה חוזרת על עצמה. תדירות של 1 הרץ משמעה שהתופעה חוזרת על עצמה פעם אחת בכל שנייה.
- קילו-הרץ (KHz) או 10^3 הרץ
- מגה-הרץ (MHz) = מיליון או 10^6 הרץ
- ג'יגה-הרץ (GHz) = מיליארד או 10^9 הרץ
- טרה-הרץ (THz) = טריליון או 10^{12} הרץ

יחידות למדידת אורך

- מטר (m)
- סנטימטר (cm) = מאית מטר
- מילימטר (mm) = אלפית מטר
- מיקרומטר (μm) = אלפית מילימטר או מיליונית מטר
- ננומטר (nm) = 10^{-9} מטר או 10^{-6} מילימטר או מיליונית מילימטר
- פיקומטר (pm) = 10^{-12} מטר

יחידות למדידת שדה מגנטי

- טסלה (T) – יחידה למדידת שדה מגנטי⁴⁶
- מיקרוטסלה (μT) = מיליונית טסלה
- גאוס (G) – יחידה נוספת למדידת שדה מגנטי; 1 גאוס = 100 מיקרוטסלה או 10^{-4} טסלה
- מיליגאוס (mG) = אלפית גאוס או עשירית מיקרוטסלה

46 כדי שתוכלו לקבל תחושה ביחס לגדלים אותן מייצגות יחידות אלה, נציין שהשדה המגנטי שיוצר כדור-הארץ שווה בקירוב ל-30 מיקרוטסלה או ל-300 מיליגאוס.

יחידה למדידת אנרגיה

- ג'אול (J) – 1 ג'אול הוא האנרגיה הדרושה להרמת מסה של 100 גרם לגובה של 1 מטר.

יחידות למדידת הספק

- וואט (W) – הספק של 1 וואט הוא אנרגיה של 1 ג'אול שנפלטת / פוגעת / נבלעת / מתבזזת בשנייה אחת.
- 1 מיליוואט (mW) = אלפית וואט

יחידות למדידת קרינה

- מיליוואט למטר בריבוע (mW/m^2) – יחידה למדידת עוצמת הקרינה או הספק הקרינה הפוגע ביחידת שטח. עוצמת קרינה של 1 מיליוואט למטר בריבוע מתארת הספק קרינה של 1 מיליוואט (כלומר אנרגיה של אלפית ג'אול בכל שנייה) שפוגע בשטח של מטר מרובע אחד (מטר על מטר).
- גריי (Gy) – יחידה המשמשת לכימות ההשפעה הפיזיקלית של הקרינה. כלומר, כמה אנרגיה ספג האיבר המוקרן. 1 גריי שווה לבליעה של קרינה באנרגיה של 1 ג'אול על-ידי 1 ק"ג חומר.
- סיוורט (Sievert) – יחידה המשמשת לכימות ההשפעה הביולוגית של הקרינה הנבלעת על ידי איברים שונים בגוף. כדי לחשב את הקרינה הנספגת ביחידות סיוורט, מכפילים את הקרינה הנספגת ביחידות גריי במקדם (מספר) חסר יחידות, שתלוי בחלק הגוף שחשוף לקרינה ובסוג הקרינה. מסיבה זו ספיגה של קרינה מייננת בערך של 1 גריי על-ידי איברים שונים תתואר על-ידי ערכים שונים ביחידות של סיוורט. מנת הקרינה הממוצעת שאדם סופג בשנה ממקורות קרינה טבעיים היא כשלושה מיליסיוורט (או שלוש אלפיות הסיוורט).
- SAR (Specific Absorption Rate) – יחידה למדידת קצב הבליעה הסגולית שמשמשת לאומדן קצב בליעת האנרגיה בגוף האנושי. זוהי בעצם כמות האנרגיה הנבלעת בכל שנייה בקילוגרם חומר. 1 SAR מתאר ספיגת אנרגיה של 1 ג'אול במשך 1 שנייה בקילוגרם אחד של רקמה אנושית. כאשר קוראים נתוני SAR של טלפונים ניידים, כדאי לזכור שערכי קצב הבליעה הסגולית בטלפונים שמשמשים לקביעת התקנים, מתייחסים לטלפונים שמשדרים בקרינה מקסימלית.

נספח ב': מונחון

אולטרסאונד – בדיקת דימויות המתבססת על שימוש בגלי קול; ראו פרק 10.

אור נראה – קרינה בלתי מייננת באורכי גל של 380-700 ננומטר, בתחום הרגישות של העין האנושית; ראו פרק 8.

אורך גל – המרחק שהגל עובר בזמן מחזור אחד. זהו המרחק בין שני שיאים סמוכים של הגל, בין שתי נקודות מינימום סמוכות, או בין כל שתי נקודות זהות וסמוכות אחרות על הגל.

אטמוספירה – שכבת גזים שמקיפים גוף שמימי; האטמוספירה של כדור-הארץ מכילה שכבות גזים שונות, כולל האוויר שסביבנו ושכבת אוזון שמצויה בגובה של 10-50 ק"מ מעל פני-האדמה. שכבת האוזון בולעת חלק מהקרינה העל-סגולה שמגיעה מהשמש.

אישון – הפתח שדרכו אור נכנס אל העין.

גל – הפרעה המתקדמת במרחב ובזמן.

גל אלקטרומגנטי – גל שבו ההפרעה שמתקדמת היא שינויים בשדות חשמליים ומגנטיים.

גל קול – תנודות בלחץ שמתקדמות בתווך כלשהו; בעת דיבור, לדוגמה, רטיטת מיתרי הקול מרעידה את חלקיקי האוויר וגורמת להם להצטופף ולהתרווח חליפות כך שנוצר גל לחצים שמתקדם מפיו של הדובר אל הסביבה ואל אוזני המאזינים.

דימויות – בדיקה בלתי פולשנית המאפשרת צילום של איברים פנימיים בגוף.

דנ"א (DNA) – החומר התורשתי שמצוי בתאים; פגיעה בו עלולה לפגוע בייצור תאים חדשים.

החזרה לא מסודרת – החזרת אור ממשטח מחוספס כך שקרניים שפוגעות במשטח בערך באותה זווית יוחזרו לכיוונים שונים.

החזרה מסודרת – החזרת אור ממשטח חלק כך שכל הקרניים שפוגעות במשטח בערך באותה זווית יוחזרו לאותו כיוון באופן מקביל.

זמן מחזור – פרק הזמן שבו תופעה מחזורית משלימה מחזור אחד, או פרק הזמן המינימלי שלוקח לתופעה המחזורית לחזור על עצמה.

זרם חשמלי – תנועה של מטענים חשמליים.

לבן (צבע) – צבע שמחזיר את כל האור שפוגע בו.

מגנטוספירה – אזור נרחב מסביב לכדור-הארץ שבו מורגש השדה המגנטי של הארץ.

- מדוכים** – תאים ברשתית המשמשים לראייה בסביבה מוארת ומאפשרים הבחנה בצבעים.
- מהירות ההתקדמות של גל** – המהירות שבה מתקדמת ההפרעה; מהירות זו שווה ליחס בין אורך הגל לזמן המחזור.
- מחסום דם-מוח** – מבנה קרומי המונע מחומרים מזיקים לעבור ממחזור הדם אל המוח.
- מיטוזה** – תהליך שבו תא מתחלק ליצירת שני תאים חדשים זהים לו; זהו מנגנון התרבות התאים בגוף.
- (ה)מפץ הגדול** – התיאוריה המדעית המקובלת כיום היא שלפני כ-14 מיליארד שנים, נוצר היקום במפץ הגדול שהוא פיצוץ של נקודה אחת שממנה החל היקום להתפשט.
- משרעת** – גובה התנודה כלומר ההפרעה המקסימלית ביחס למצב שבו גל אינו עובר בתווך.
- (ה)ספקטרום האלקטרומגנטי** – מגוון אורכי הגל והתדירויות של הקרינה האלקטרומגנטית.
- סרטן** – מחלה שגורמת לקבוצת תאים להתרבות באופן בלתי מרוסן תוך פגיעה בתאים אחרים.
- עדשת העין** – חלק מהעין שממוקם מאחורי האישון; העדשה שוברת את האור שנכנס דרך האישון ומרכזת אותו על הרשתית.
- עור התוף** – קרום המתוח בתוך האוזן ורוטט כשגלי קול פוגעים בו; המוח מפרש את הרטיטות כצלילים וכך אנו שומעים.
- פוטואלקטרי, אפקט (האפקט הפוטואלקטרי)** – כדי ליינן אטום באמצעות קרינה, יש צורך להקרין אותו בקרינה שתדירותה גבוהה מתדירות סף מסוימת. קרינה בתדירות נמוכה יותר לא תגרום ליינון גם אם נגביר את עוצמתה. תופעה זו מכונה **האפקט הפוטואלקטרי**.
- פוטוסינתזה** – תהליך המתרחש בעלי הצמח; במהלכו אנרגיית השמש מנוצלת כדי להפיק גלוקוז וחמצן מפחמן דו-חמצני וממים.
- קנים** – תאים ברשתית העין שרגישים מאוד לאור ומאפשרים ראייה (זיהוי צורות) בתאורה עמומה.
- קרינה** – אחת הצורות של מעבר אנרגיה; גוף קורן פולט אנרגיה לסביבתו. מקורות הקרינה הם גופים חמים, זרמים חשמליים משתנים או חומרים רדיואקטיביים.
- קרינה על-סגולה / קרינה אולטרה-סגולה (UV)** – קרינה באורכי גל של 10-380 ננומטר. ראו פרק 6.
- קרינת תת-אדומה / קרינה אינפרה-אדומה (IR)** – קרינה בלתי מייננת באורכי גל שבין 0.7 מיקרומטר ל-1 מילימטר. ראו פרק 6.
- קרינה בלתי מייננת** – קרינה שאין בכוחה ליינן את האטום כלומר לעקור ממנו אלקטרון.
- קרינת הרקע הקוסמית** – קרינה שמקורה במפץ הגדול. קרינה זו מגיעה אלינו מכל הכיוונים בחלל באופן אחיד.

- קרינת גמא (γ)** – קרינה מייננת באורכי גל הקצרים מ-5 פיקומטר. ראו פרק 6.
- קרינה מייננת** – קרינה העשויה לעקור אלקטרון כשהיא פוגעת באטום, כלומר ליינן את האטום.
- קרינת מיקרו** – קרינה בלתי מייננת באורכי גל שבין 1 מילימטר ל-1 מטר. ראו פרק 6.
- קרינת רדיו** – קרינה בלתי מייננת באורכי גל שבין מילימטר אחד ל-100 קילומטר. ראו פרק 6.
- קרינת X (רנטגן)** – קרינה מייננת באורכי גל שבין 5 פיקומטר ל-10 ננומטר. ראו פרקים 6 ו-10.
- קרנית** – רקמה שקופה הממוקמת לפני האישון ומתפקדת כעדשה קמורה המרכזת את האור הפוגע בה אל תוך האישון.
- רדיואיזוטופים** – חומרים רדיואקטיביים פולטי קרינה שמוחדרים לגוף הנבדק ומתרכזים באיברי מטרה מסוימים; באמצעות מדידת הקרינה הנפלטת מהם ניתן ללמוד על ליקויים באיברים הפנימיים. ראו פרק 10.
- רודופסין** – חלבון רגיש לאור שנחוץ לתפקוד הקנים; כדי לייצר אותו יש לצרוך ויטמין A.
- (בדיקת) רנטגן** – בדיקת דימות שבה הנבדק מוקרן בקרינת רנטגן; כתוצאה מההקרנה מתקבלת תמונה של עצמות הנבדק ואיברים פנימיים נוספים. ראו פרק 10.
- רשתית** – שכבה פנימית בעין המכילה קולטנים שבולעים את קרני האור ו"מתרגמים" אותן בתהליך כימי לדחפים עצביים שמועברים אל המוח.
- שבירת אור** – שינוי בכיוון של קרן אור עקב מעבר מתווך אחד לתווך אחר.
- שדה** – כשגוף מסוים מפעיל כוח על גוף אחר ללא מגע, אפשר לומר שהגוף הראשון יצר סביבו שדה והשדה הפעיל את הכוח על הגוף השני.
- שדה חשמלי** – השדה שיוצרים מטענים חשמליים; שדה זה מפעיל את הכוח החשמלי שהוא כוח משיכה או דחייה הפועל על מטענים חשמליים אחרים.
- שדה כבידה** – השדה שכדור-הארץ יוצר סביבו מפעיל את כוח הכבידה על גופים בעלי מסה; כוח זה גורם לגופים להימשך לארץ וליפול לקרקע כשאנו עוזבים אותם.
- שדה מגנטי** – השדה שיוצרים מגנטים או זרמים חשמליים; שדה זה מפעיל את הכוח המגנטי שפועל על מגנטים או זרמים חשמליים אחרים.
- שחור (צבע)** – צבע הבולע את כל האור שפוגע בו.
- תדירות** – מספר המחזורים ביחידת זמן.
- תווך** – חומר; גלים מכניים מתקדמים בתוך תווך. גלים אלקטרומגנטיים אינם זקוקים לתווך כדי להתקדם.
- תופעה מחזורית** – תופעה שחוזרת על עצמה בפרקי זמן קבועים.

(בדיקת) CT (Computer Tomography, טומוגרפיה ממוחשבת) – בדיקה שבה האיבר הנבדק מצולם בצילום רנטגן מכיוונים שונים. בבדיקה מתקבלות תמונות רבות שמתורגמות ל"חתכים". אלה מלמדים על נפח האיבר הנבדק. ראו פרק 10.

(בדיקת) MRI (Magnetic Resonance, דימות תהודה מגנטית) – בדיקת דימות המתבססת על שימוש בשדות מגנטיים חזקים מאוד ובקרינה לא מייננת. הבדיקה מאפשרת, בדומה לבדיקת סי-טי, צילום של איברים פנימיים מזוויות שונות. ראו פרק 10.

RGB – צבעי היסוד של האור: אדום, ירוק וכחול; אלו הצבעים שהעין האנושית מזהה. צגים דיגיטליים רבים מבוססים על שימוש בצבעים אלו.

SAR (Specific Absorption Rate, קצב בליעה סגולית) – זאת יחידת מידה לעוצמת הקרינה שנספגת בקילוגרם גוף במשך שנייה אחת. מדד זה משמש לאפיון טלפונים ניידים. ראו פרק 9.

SPF (Sun Protecting Factor, מקדם הגנה) – מדד שמאפיין תכשירים להגנה מפני השמש. משמעותו היא פי כמה יתארך זמן החשיפה לשמש, עד להופעת כוויות, כשאנו משתמשים בתכשיר, בהשוואה לזמן החשיפה לשמש, עד להופעת כוויות, ללא שימוש בתכשיר. ראו פרק 9.

נספח ג': רשימת מקורות לתמונות המופיעות בספר

רישיונות השימוש לתמונות שנלקחו ממקורות שונים, שונים זה מזה. כל שימוש עתידי בתמונות כפוף לכללי הרישיון של כל תמונה. האחריות על השימוש בתמונות, שלא במסגרת הספר, היא על המשתמש בלבד.

תמונה	מקורות
1.1	• ד"ר אורית רופא https://pixabay.com/en/cartoon-checkup-clinic-comic-2027771/ • התלמידה אוריאנה שמש – איור שנרכש מתוך מאגר תמונות מוגן בזכויות יוצרים. • מר יששכר כספי – איור מקורי של נגה קפון (Noga Kapon), שימוש חוזר מותר בתנאי רישיון CC BY 2.0 • מר נהוראי מאיר – איור מקורי של נגה קפון (Noga Kapon), שימוש חוזר מותר בתנאי רישיון CC BY 2.0 • מר חיים גרין – איור שנרכש מתוך מאגר תמונות מוגן בזכויות יוצרים. • פרופ' גלי קורן https://pixabay.com/en/writer-old-woman-woman-1342524 • מר יעקב חדש https://pixabay.com/en/color-colour-drawing-edward-face-1295904
1.2	• שמש https://openclipart.org/detail/3367/decorative-sun • ירח https://openclipart.org/detail/86293/halloween-bright-full-moon • כדור הארץ https://openclipart.org/detail/218125/3d-earth-globe
2.1	תמונה מתוך סרטון שפותח בקבוצת הוראת הפיזיקה בטכניון – הזכויות שמורות לטכניון https://video.helloeko.com/v/V50pXA?autoplay=true
2.2	https://pixabay.com/en/waves-circles-drop-of-water-wave-285359/
2.3	משפט שנגזר מתוך רשימת המבזקים באתר החדשות News24: www.news24.co.il/taxonomy/term/1?page=642
2.4	משפט שנגזר מתוך כתבה באתר החדשות של Walla: http://news.walla.co.il/item/1361270

2.5	תמונה מתוך סרטון שפותח בקבוצת הוראת הפיזיקה בטכניון – הזכויות שמורות לטכניון https://video.helloeko.com/v/V50pXA?autoplay=true
2.6	משפט שנגזר מתוך כתבה באתר החדשות של Ynet: http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4556672,00.html
2.7	משפט שנגזר מתוך כתבה באתר החדשות של מעריב: http://www.maariv.co.il/news/israel/Article-516327
3.1	תמונה מקורית שצילמנו, שימוש חוזר מותר בתנאי רישיון CC BY 2.0
3.2	• מיתרי הקול https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voikolahmiten.jpg See page for author [Public domain], via Wikimedia Commons • מוח https://openclipart.org/detail/140689/brain-drawing • אוזן https://openclipart.org/detail/202347/listening-ear • דיבור https://openclipart.org/detail/271507/talking
4.1	צילום מסך מתוך https://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-interference PhET Interactive Simulations University of Colorado Boulder https://phet.colorado.edu
4.2	תרשים מקורי שלנו, שימוש חוזר מותר בתנאי רישיון CC BY 2.0.
4.3-4.7	צילומי מסך מתוך http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_en.html PhET Interactive Simulations University of Colorado Boulder https://phet.colorado.edu/
5.1	• צלחת https://pixabay.com/en/plate-teller-dish-ceramic-empty-307177/ • כדור הארץ https://openclipart.org/detail/218125/3d-earth-globe

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Feeling_magnetic_repulsion.JPG By Pieter Kuiper (Own work) [Public domain], via Wikimedia Commons	5.2
Ken Bosma, https://www.flickr.com/photos/kretyen/2843109634	5.3
https://openclipart.org/detail/247977/atom-no-background	5.4
https://phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves PhET Interactive Simulations University of Colorado Boulder https://phet.colorado.edu	5.5-5.6 צילומי מסך מתוך
https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb#/media/File:Incandescent_bulb_shapes.svg By Woodega (Created with iDraw on Mac.) [CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0) or GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)], via Wikimedia Commons	5.7
צילומים מקוריים שלנו, שימוש חוזר מותר בתנאי רישיון CC BY 2.0.	5.8-5.9
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic-spectrum-vector-diagram-different-types-radiation-their-wavelengths-order-increasing-frequency-33625774.jpg By Թազուհի Սադաթեղյան (Own work) [CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)], via Wikimedia Commons שינינו את הצבעים בתמונה ותרגמנו את הכיתוב לעברית.	6.1
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radioactive.svg#filelinks%20Cary%20Bass By Cary Bass [Public domain], via Wikimedia Commons	6.2
https://phet.colorado.edu/sims/photoelectric/photoelectric_iw.jar PhET Interactive Simulations University of Colorado Boulder https://phet.colorado.edu	6.3 צילום מסך מתוך
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl_G._Jansky_Very_Large_Array.jpg By Mihaisiscanu (Own work) [CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)], via Wikimedia Commons	6.4

• מכשיר מיקרוגל https://pixabay.com/en/microwave-oven-appliance-kitchen-29056/ • כיכר לחם https://pixabay.com/en/bread-loaf-cut-white-isolated-309558/	6.5
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Snake_viper_thermal_infrared_image1.jpg By Randall Kolchins SPI CORP, http://www.nationalinfrared.com [GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html) or CC BY-SA -2.5 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)]	6.6
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RBC_Visa_UV.jpg By Nebrot (Own work) [GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html) or CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)], via Wikimedia Commons	6.7
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neck_Fracture_of_the_Fourth_Metacarpal_Bone.png By Louis Philippe Lessard (X-Ray) [GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html) or CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)], via Wikimedia Commons	6.8
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nagasakibomb.jpg#file National Archives Archeological Site [Public domain or Public domain], via Wikimedia Commons	6.9
תרשים מקורי שלנו, שימוש חוזר מותר בתנאי רישיון CC BY 2.0	7.1
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chris_Potter_-_3D_Tin_Can_Phones.jpg By Chris Potter (flickr) [CC BY 2.0 (http://creativecommons.org/licenses/by/2.0)], via Wikimedia Commons	7.2
https://pixabay.com/en/talk-phone-yogurt-pot-string-1421412/	7.3
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_100403-N-7062A-087_Hospital_Corpsman_3rd_Class_Adrian_Eady_performs_a_bitewing_X-ray_on_Hospital_Corpsman_2nd_Class_John_Edstrom.jpg By U.S. Navy photo [Public domain], via Wikimedia Commons	7.4
https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Spectrehorizontal.png By Maulucion, basado en un trabajo de Megodenas [CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en)]	8.1

8.2	גיא, ר', הלפר, מ' ואורעד, י'. (1998). אור צבע וראייה. ירושלים: הוצאת האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת המדעים. עמוד 128.
8.3	• שמש https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ASun01.jpg By Kamalakanta Jena (Own work) [CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)], via Wikimedia Commons • זכוכית מגדלת http://www.clker.com/clipart-magnifying-glass-brown.html
8.4-8.5	גיא, ר', הלפר, מ' ואורעד, י'. (1998). אור צבע וראייה. ירושלים: הוצאת האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת המדעים. עמודים 74-75, 144.
8.6	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PikiWiki_Israel_14398_Arc_in_the_Jordan_Valley.JPG אקסלרוד הילה CC BY 2.5 (http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/), via Wikimedia Commons]
8.7	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Psychophysical.svg By The original uploader was Dkroll2 at English Wikipedia (Transferred from en.wikipedia to Commons.) [GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html) or CC-BY-SA-3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)], via Wikimedia Commons הוספנו לתמונה קרני אור צבעוניות
8.8	תרשים מקורי שלנו, שימוש חוזר מותר בתנאי רישיון CC BY 2.0.
8.9	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cone-fundamentals-with-srgb-spectrum.svg By BenRG (Own work) [Public domain], via Wikimedia Commons
9.1	נחשון, מ'. (2000). קרינה מייננת, השפעותיה הביולוגיות ושימושיה. חיפה: מוסד הטכניון למחקר ופיתוח, מל"מ – המרכז הישראלי להוראת המדעים ואגף תוכניות לימודים במשרד החינוך. עמודים 65, 66.
9.2	תרשים מקורי שלנו, שימוש חוזר מותר בתנאי רישיון CC BY 2.0.
9.3	נחשון, מ'. (2000). קרינה מייננת, השפעותיה הביולוגיות ושימושיה. חיפה: מוסד הטכניון למחקר ופיתוח, מל"מ – המרכז הישראלי להוראת המדעים ואגף תוכניות לימודים במשרד החינוך. עמודים 65, 66.

9.4	תרשים מקורי שציירה נגה קפון (Noga Kapon), שימוש חוזר מותר בתנאי רישיון CC BY 2.0.
10.1	• צילום רנטגן של ריאות https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PneumonisWedge09.JPG By James Heilman, MD (Own work) [CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0) or GFDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)], via Wikimedia Commons • תרשים הממחיש כיצד מתבצע הצילום נחשון, מ'. (2000). קרינה מייננת, השפעותיה הביולוגיות ושימושיה. חיפה: מוסד הטכניון למחקר ופיתוח, מל"מ – המרכז הישראלי להוראת המדעים ואגף תוכניות לימודים במשרד החינוך. עמוד 100.
10.2	• מכונת CT https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ct-scan.jpg By NithinRao (Own work) [Public domain], via Wikimedia Commons • צילומי CT למוח https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Computed_tomography_of_human_brain_-_large.png by Mikael Häggström. - Radiology, Uppsala University Hospital [Public domain]
10.3	• מכשיר MRI https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MRI-Philips.JPG By Jan Ainali (Own work) [CC BY 3.0 (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0)], via Wikimedia Commons • תמונת MRI של רקמות המוח https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MRI_brain.jpg NASA, [Public domain]
10.4	נחשון, מ'. (2000). קרינה מייננת, השפעותיה הביולוגיות ושימושיה. חיפה: מוסד הטכניון למחקר ופיתוח, מל"מ – המרכז הישראלי להוראת המדעים ואגף תוכניות לימודים במשרד החינוך. עמוד 104.

מהי קרינה אלקטרומגנטית? מהם מקורות טבעיים לקרינה אלקטרומגנטית? כיצד עובדים מכשירים פולטי קרינה? כיצד נוכל להשתמש בהם באופן נבון וזהיר? אילו שאלות כדאי לשאול בנוגע אליהם? כיצד להעריך מידע המגיע ממקורות שונים על נושא זה?

הספר **קרינה אלקטרומגנטית – עקרונות, שימושים והחלטות** מסביר בשפה שווה לכל נפש, ללא שימוש בנוסחאות מתמטיות, את העקרונות המדעיים והשימושים הטכנולוגיים של קרינה אלקטרומגנטית בחיינו. כל פרק בנוי סביב שורה של פעילויות מגוונות שמשלבות הדגמות וניסויים באמצעים פשוטים וזמינים, שימוש מגוון ברשת, משחקי תפקידים וכדומה. אלו מוצגים על רקע סוגיות רלוונטיות לחיי התלמידים כגון בדיקות רפואיות הכרוכות בחשיפה לקרינה, שיזוף, מניקור ג'ל, שימוש נבון בטלפונים ניידים, רשתות אלחוטיות ועוד.

השיח הציבורי על קרינה אלקטרומגנטית מאופיין בריבוי דעות סותרות של אנשי מקצוע ובעלי אינטרסים. מטרת הספר היא להסביר באופן אינטואיטיבי ומעניין את המושגים והרעיונות המדעיים שעומדים בבסיס התופעה ושימושיה הטכנולוגיים, להציג את נקודות המבט השונות על הנושא, ולתת לתלמידים כלים להשתתפות מושכלת וביקורתית בדיון הציבורי על הנושא.

הכותבות:

ד"ר הגר וקסלר היא מרצה וחברת סגל מחקר בפקולטה לפיזיקה בטכניון

פרופ"מ שולמית קפון היא חברת סגל אקדמי בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון