

בטיחות קרינה בלתי מייננת

נאסר שקור
שקור לייזרים ייעוץ והדרכה
בודק לייזרים מאושר
054-6397799
Lasersafety.shakour@gmail.com

הקדמה

- נושא ההרצאה: בטיחות בקרינה בלתי מייננת
- לכן:

1. נבהיר את מושג "היינון" ע"י הסבר מבנה האטום
2. נבהיר את מושג "קרינה אלקטרומגנטית" כולל חלוקה לתחומים
3. נתמקד בכל תחום של הקרינה הבלתי מייננת עם דגש על מנגנון הנזק, תחיקה ותקינה ומקורות קרינה לתחום
4. ממונה הבטיחות והקרינה הבלתי מייננת

חוק, תקנות הקרינה הבלתי מייננת

- חוק הקרינה הבלתי מייננת התשס"ו - 2006,
- תקנות הקרינה הבלתי מייננת, התשס"ט – 2009
- תקנות הגנת הצרכן (מידע בדבר קרינה בלתי מייננת מטלפון נייד), התשס"ב-2002
- המשרד להגנת הסביבה : קרינה אלקטרומגנטית בלתי מייננת, מדריך מקוצר לעובד ולמעסיק, להתגוננות במקומות העבודה 2019

חוק הקרינה בלתי מייננת

- פרק א : מטרות החוק
- פרק ב: הגדרות
- פרק ג : היתרים
- פרק ד : פיקוח
- פרק ה : צו סילוק מקור קרינה
- פרק ו : עונשין
- תוספת סעיף 4 : מקורות קרינה שהקמתם והפעלתם אינה טעונה היתר

פרק א : מטרות החוק

חוק זה מטרתו

1. **להגן על הציבור** ועל הסביבה מפני השפעות של חשיפה לקרינה בלתי מייננת
2. **ולהסדיר את העיסוק במקורות קרינה ,**
הקמתם והפעלתם ובמתן שירות למדידת קרינה ,בין השאר על ידי **קביעת איסורים וחובות בהתאם לעקרון הזהירות המונעת**

פרק ב הגדרות

סף בריאותי

- **הסף הבריאותי :** לחשיפה לקרינה בלתי מייננת, הוא סף המגדיר מהי החשיפה המזערית המבטיחה שלא יגרם נזק בריאותי.
- **הסף נקבע :** תוך התייחסות לתופעות השליליות הידועות והתייחסות לאוכלוסיות הרגישות ביותר כמו ילדים, חולים, מבוגרים וכו'.
- **הסף הבריאותי מתייחס לחשיפה אקוטית (קצרת מועד) בלבד.**

פרק ב': הגדרות

חשיפה ממושכת וסף סביבתי

"חשיפה רצופה וממושכת" - חשיפה של אדם לקרינה למשך 4 שעות לפחות ביממה, במהלך 5 ימים בשבוע, בכל מקום שהוא נמצא בו, ובכלל זה בדירת מגורים, מוסד חינוך, בית חולים, משרד או שטח ציבורי פתוח המשמש כגן משחקים

סף סביבתי

- **הסף הסביבתי** לחשיפה לקרינה בלתי מייננת, אמור לאזן בין האינטרס להפעיל מקורות קרינה לרווחת הציבור והאינטרס לא לפגוע (בריאותית או כלכלית) במתגוררים בסמיכות למקורות קרינה או נמצאים בסמוך להם.

- **הסף נקבע על ידי**

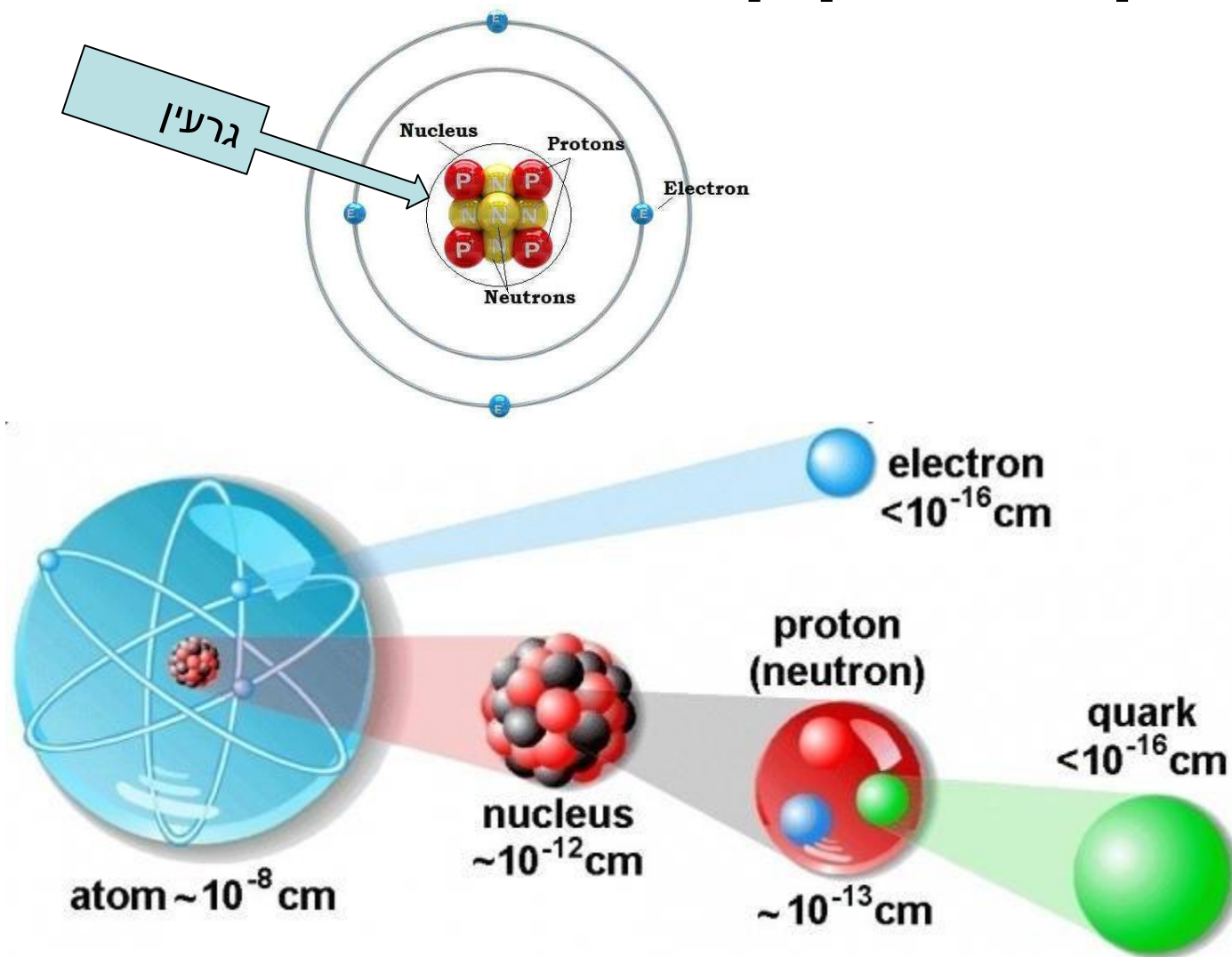
1. בהתייחס לסף הבריאותי,
 2. לרמת הסבירות לקיום סיכונים אחרים מאלה שנלקחו בחשבון בקביעת הסף הבריאותי,
 3. לציפיות החברה הישראלית להגנה מפני סיכונים אלה,
 4. ליכולת של החברה לממן נקיטת אמצעים להפחתת הסיכונים.
- הסף הסביבתי הוא לחשיפה רצופה וממושכת.**

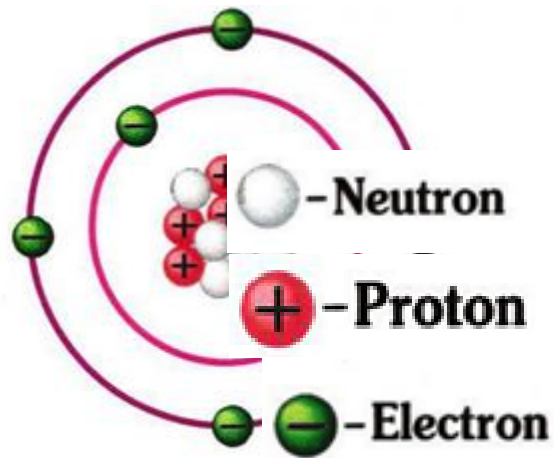
פרק ב': הגדרות

- **מקור קרינה** - "מכשיר, מיתקן או מערכת טכנולוגית, שבמהלך הפעלתם נוצרת או עלולה להיווצר, קרינה בלתי מייננת, למעט קרינה לשימוש רפואי
- **"קרינה בלתי מייננת"**, "קרינה" - פליטת גלים אלקטרומגנטיים שרמת האנרגיה שלהם פחותה מ 5 –אלקטרון וולט ושאינם יכולים לגרום ליינון ionization
או אורך גל ארוך מ 0.1 מיקרומטר

מבנה האטום

מיקום החלקיקים התת-אטומיים באטום

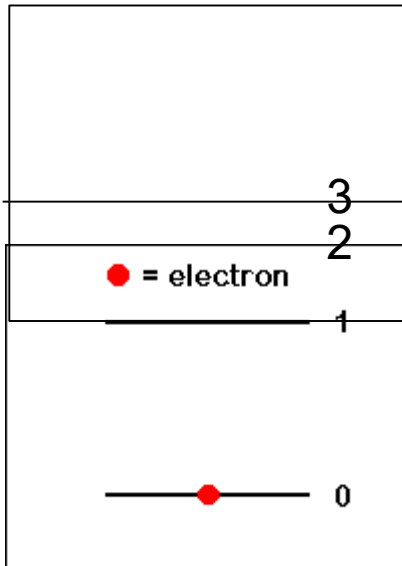




מאפייני החלקיקים התת אטומיים

מסה יחסית	המטען	הסימן	החלקיק	
1	0	n	ניוטرون	
1	+1	p ⁺	פרוטון	
0	-1	e ⁻	אלקטרון	

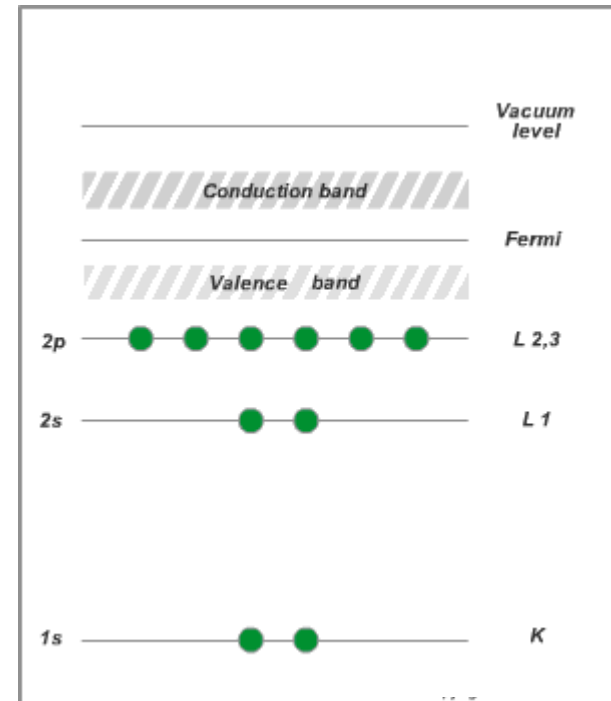
בליעה – עירור, יוניזציה



האלקטרון נשאר קשור לאטום
מאזן המטענים נשאר אפס

עירור

קרינה בלתי מייננת



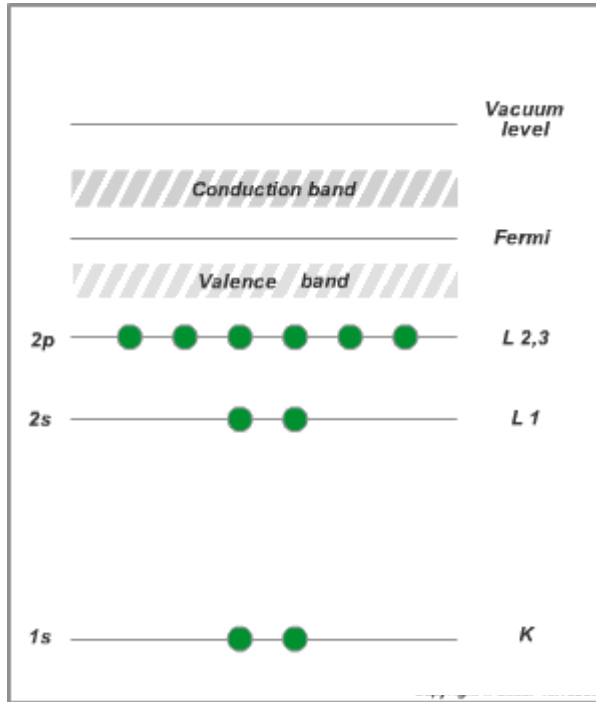
האלקטרון נפלט מהאטום
מאזן המטענים משתנה

יוניזציה

קרינה מייננת



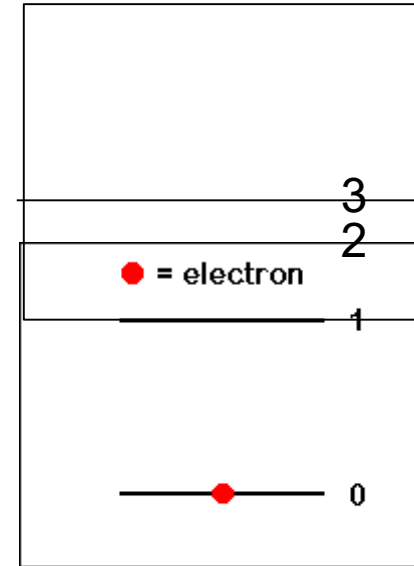
בליעה – עירור, יוניזציה



האלקטרון נפלט מהאטום
מאזן המטענים משתנה

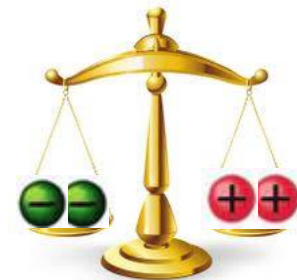


יוניזציה
קרינה בלתי מייננת

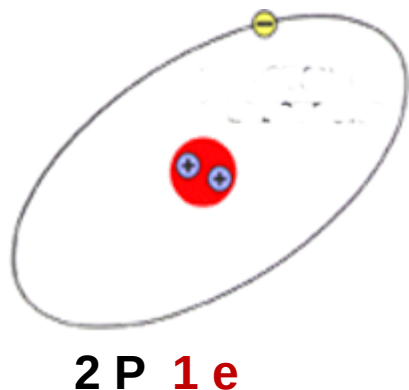
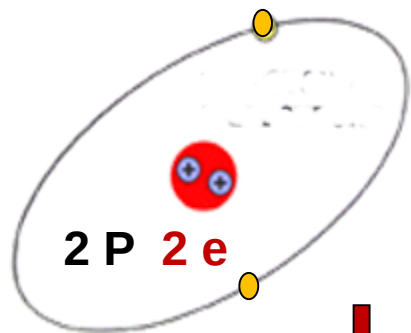


האלקטרון נשאר קשור לאטום
מאזן המטענים נשאר אפס

עירור
קרינה בלתי מייננת



אטום: מס' הפרוטונים (+) = מס' האלקטרונים (-)



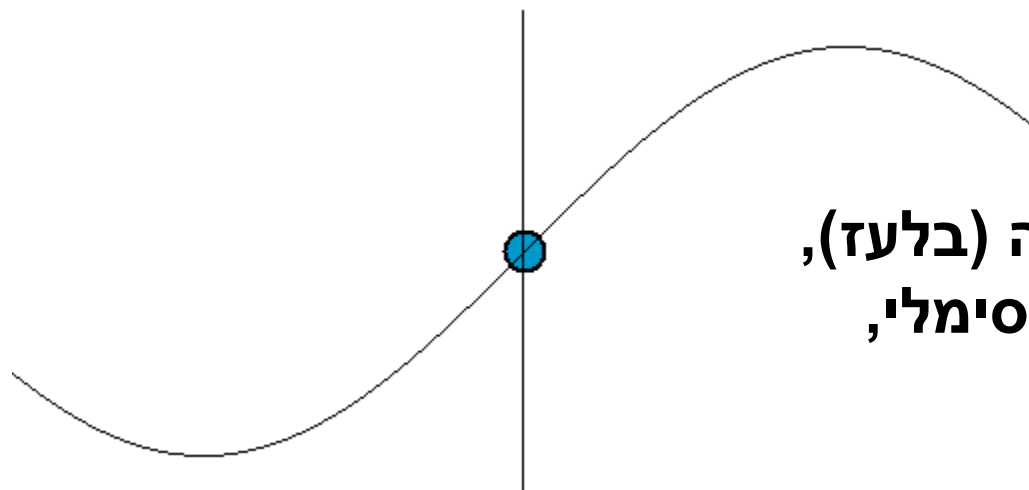
יון: הוא אטום בעל מטען חשמלי חיובי או שלילי

יון חיובי: מספר פרוטונים נשאר קבוע
מספר האלקטרונים קטן

סיכום: מספר הפרוטונים קבוע
מספר הניוטונים קבוע
מספר האלקטרונים משתנה

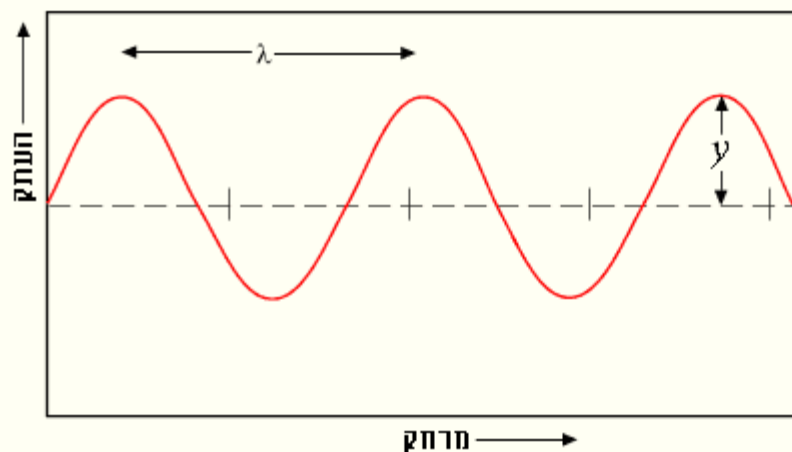
המוצר: יונים
התהליך: יוניזציה
הגורם: מקור מיינן (קרינה מייננת)

מאפייני הגל



משרעת - או אמפליטודה (בלעז),
היא גודל ההפרעה המקסימלי,
ומסומנת באיור ב- y

גל



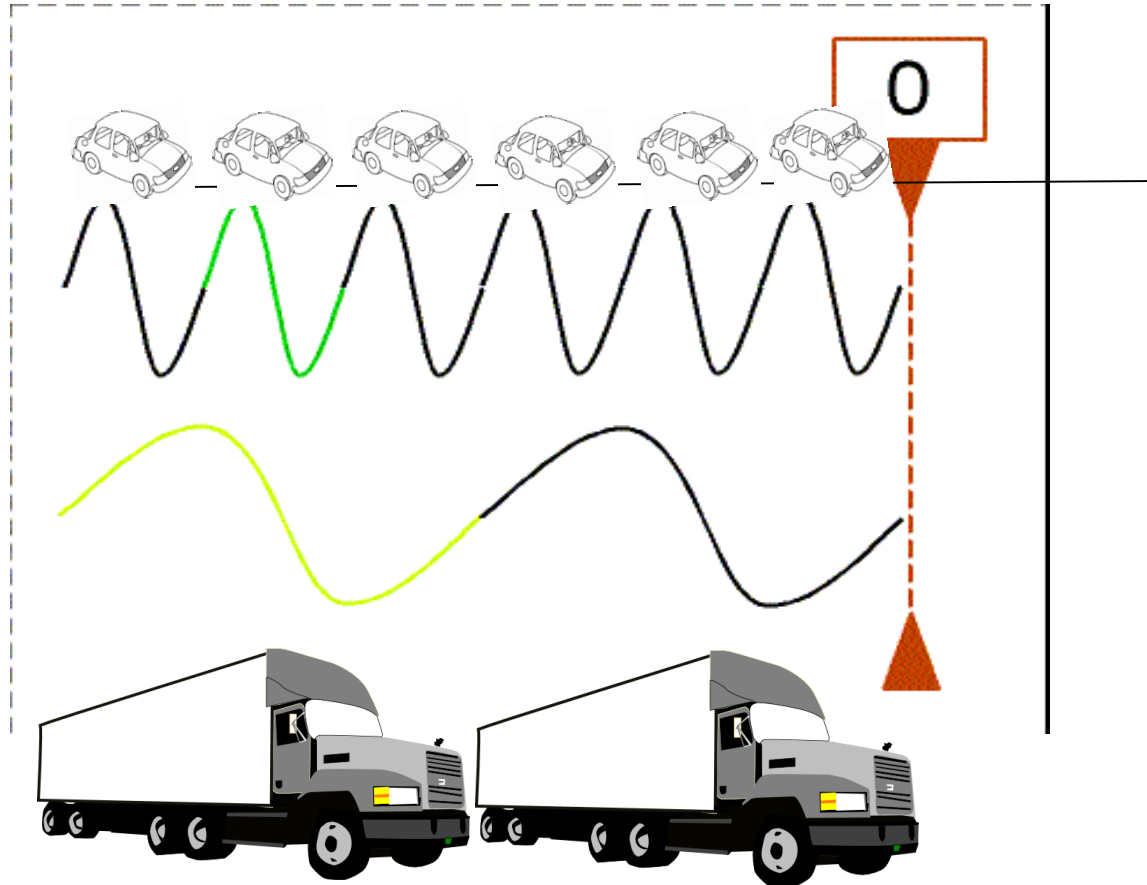
λ = אורך גל
 γ = משרעת

אורך גל : הוא האורך של
מחזור אחד של גל מחזורי.
הוא מסומן באות λ

קרינה

תדר – מספר גלים בשניה - Hz

תדירות – מספר המחזורים ליחידת זמן,
מסומנת לרוב באות f או באות. 



קרינה

קצת מתמטיקה

↓ קטן	↑ גדל
↑ גדל	↓ קטן
↑ גדל	↓ קטן

מהירות האור, (c) ,

אורך הגל, (λ) ,

תדר, (f) 

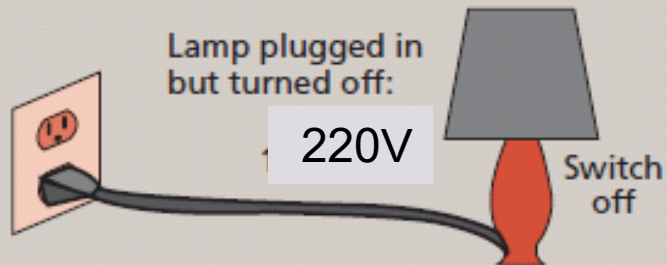
אנרגיית פוטון: (E)

h : הוא קבוע פלאנק

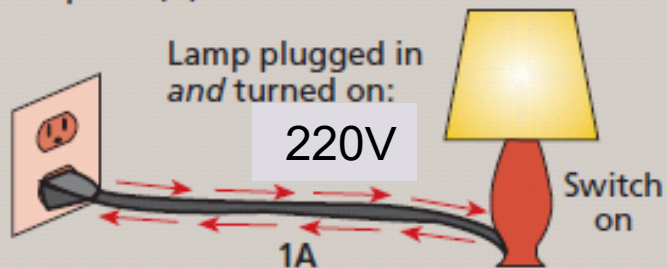
$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad E = h\nu$$

וחשמל

Voltage. Electrical pressure, the potential to do work. Measured in volts (V) or in kilovolts (kV) (1kV = 1000 volts).



Current. The movement of electric charge (e.g., electrons). Measured in amperes (A).

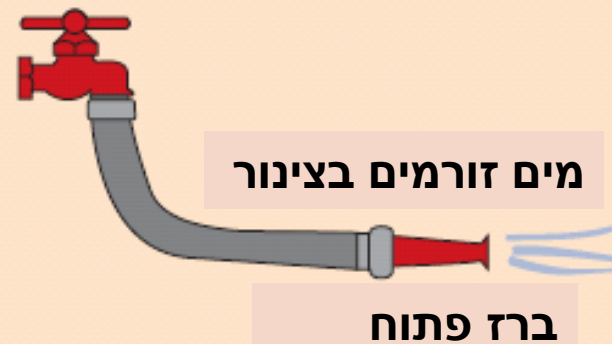


השוואה בין מים

Hose connected to an open faucet but with the nozzle turned off.



Hose connected to an open faucet and with the nozzle turned on.

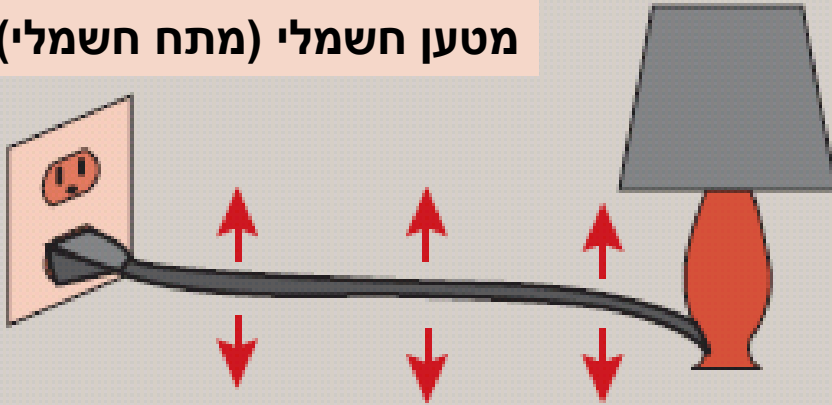


מתח מייצר שדה חשמלי וזרם מייצר שדה מגנטי

שדה חשמלי

Electric Fields

נוצר כתוצאה של
מטען חשמלי (מתח חשמלי)



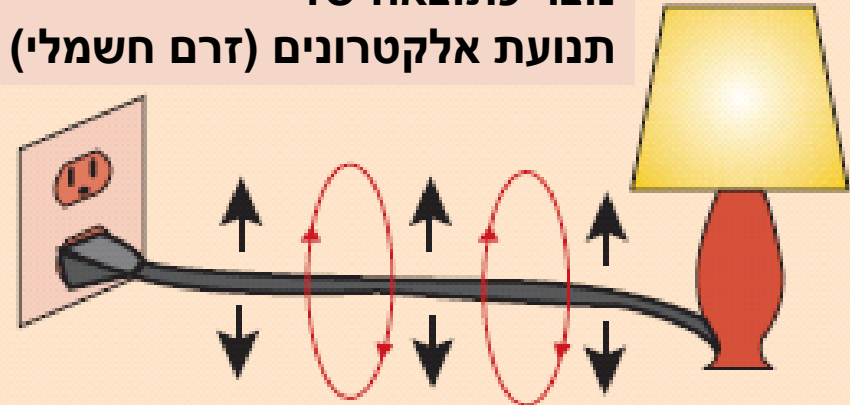
מכשיר שמחובר לשקע יוצר שדה
חשמלי (גם כשהמכשיר כבוי)

- נמדד ביחידות של V/m ,
- קל לסכך אותו
- העוצמה יורדת מהר עם המרחק מהמקור

שדה מגנטי

Magnetic Fields

נוצר כתוצאה של
תנועת אלקטרונים (זרם חשמלי)

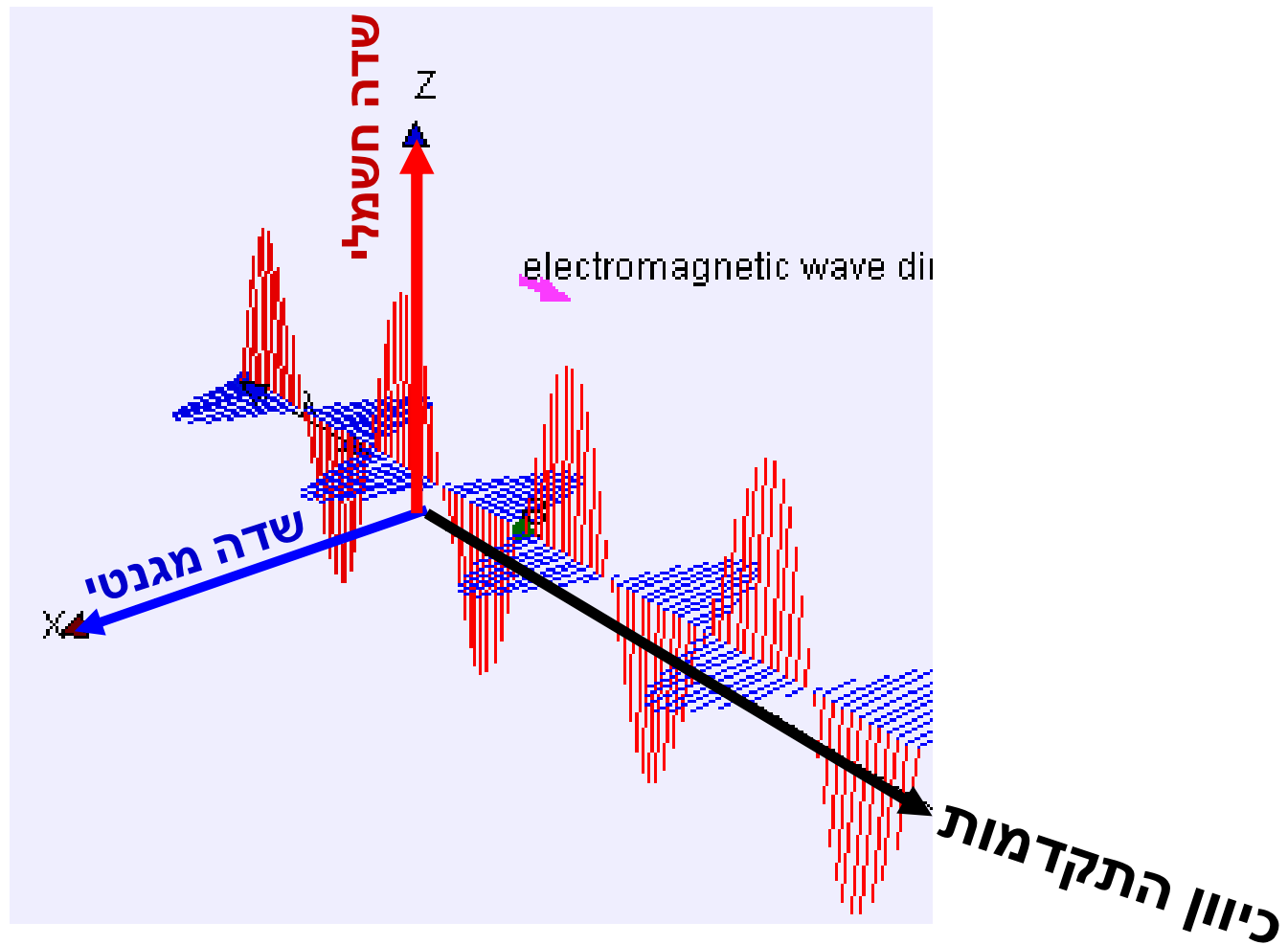


בכדי ליצור שדה מגנטי יש צורך
להפעיל את המכשיר כר שיזרום זרם

- נמדד ביחידות של A/m , גאוס (G), טסלה (T)
- קשה לסכך אותו
- העוצמה יורדת מהר עם המרחק מהמקור

גל אלקטרו-מגנטי

שדה חשמלי + שדה מגנטי



תכונות גלים אלקטרו מגנטיים

1. יכולים לעבור בריק

2. לקרינה ה-א.מ. מהירות קבועה 299800 קמ' לשניה

ומסומנת באות c

כלומר : לקרני X , גמה, אינפרא אדום, גלי מיקרו, אור נראה
אותה מהירות

יחידת מדידת אורך

הגל :

$M =$ מטר

$cm =$ סנטימטר (10^{-2} מטר)

$mm =$ מילימטר (10^{-3} מטר)

$\mu m =$ מיקרומטר (10^{-6} מטר)

$nm =$ ננומטר (10^{-9} מטר)

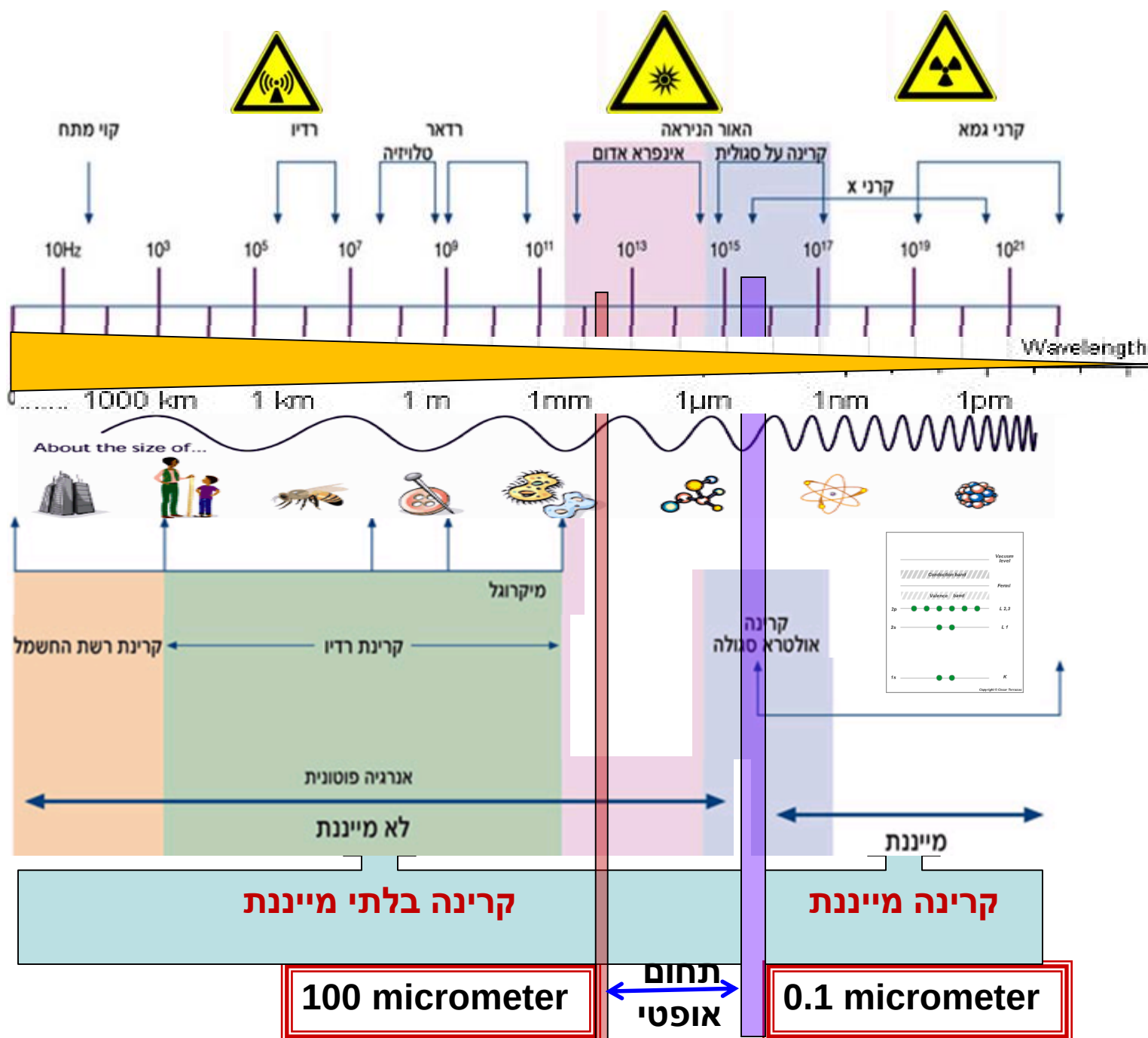
$\text{\AA} =$ אנגסטרם (10^{-10} מטר)

3. כל סוגי הקרינה

האלקטרומגנטית נבדלים

בתדירות ואורך גל

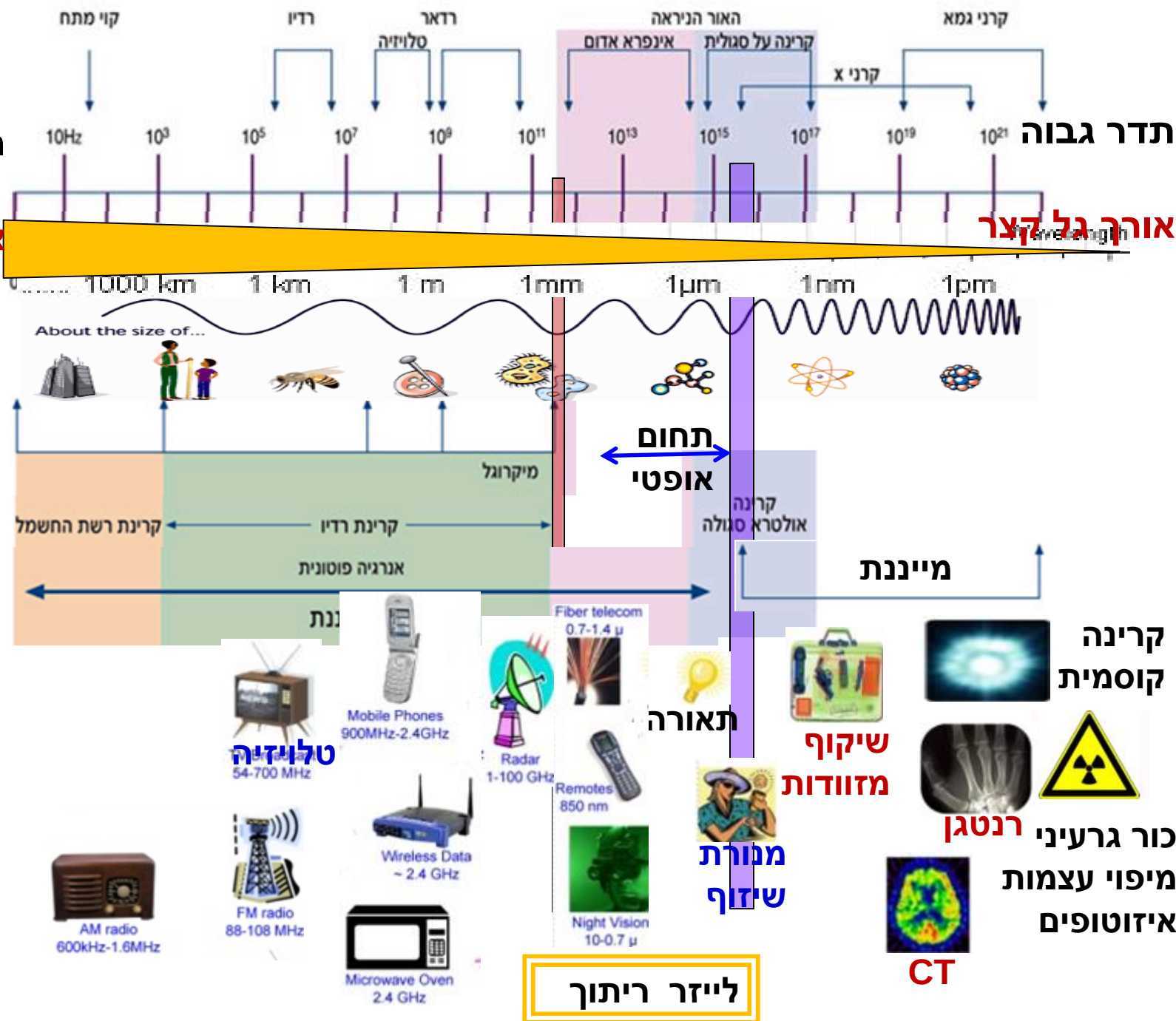
אורך גל



תדר נמוך

אורך גל ארוך

אורך גל קצר



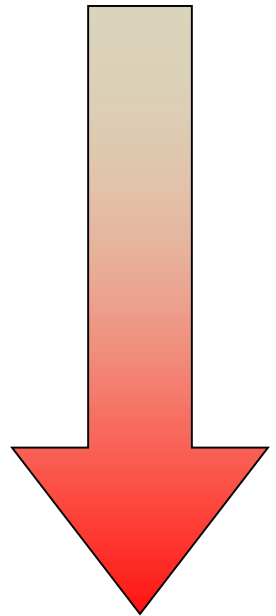


סוג הקרינה	תדירויות אופיינית	אורכי הגל	אנרגיה
קרינה מייננת y = Gamma rays HX = Hard X-rays SX = Soft X-Rays	30 - 300 EHz 3 - 30 EHz 30 PHz - 3EHz	10 - 1pm 100 - 10pm 10nm - 100pm	124 keV - 1.24MeV 12.4 - 124 keV 124eV - 12.4 keV
אור אולטרה סגול: EUV = Extreme Ultraviolet NUV = Near Ultraviolet	3 - 30 PHz 300 THz - 3 PHz	100 - 10 nm 1µm - 100 nm	124 - 12.4 eV 1.24 - 12.4eV
אינפורה אדום: NIR = Near Infrared MIR = Moderate Infrared FIR = Far Infrared	30 - 300 THz 3 - 30 THz 300 GHz - 3 THz	10 - 1 µm 100 - 10 µm 1mm - 100 µm	124 meV=1.24 eV 12.4 - 124 meV 1.24 - 12.4 meV
גלי רדיו EHF = Extremely High Frequency (Microwaves) SHF = Super High Frequency (Microwaves) UHF = Ultrahigh Frequency VHF = Very High Frequency HF = High Frequency MF = Medium Frequency LF = Low Frequency VLF = Very Low Frequency VF = Voice Frequency ELF = Extremely Low Frequency	30 - 300 GHz 3 - 30 GHz 300 MHz - 3 GHz 30 - 300 MHz 3 - 30 MHz 300 kHz - 3 MHz 30 - 300 kHz 3 - 30 kHz 300 Hz - 3 kHz 30 - 300 Hz	1 cm - 1 mm 1 dm - 1cm 1m - 1dM 1 dam - 1m 1 hm - 1 dam 1 km - 1hm 10 - 1 km 100 - 10 km 1 Mm - 100 km 10 - 1 Mm	124 µeV -1.24 meV 12.4 - 124 µeV 1.24 - 12.4 µeV 124 neV - 1.24 µeV 12.4 - 124 NeV 1.24 - 12.4 neV 124 peV - 1.24 neV 12.4 - 124 peV 1.24 - 12.4 peV 124 feV - 1.24 peV

רמת הסיכון

סיכון בטיחותי (safety risk) = הסתברות X חומרת הזק
צירוף של ההסתברות או השכיחות של התרחשות אירוע
הגורם לפגיעה או לנזק, ושל חומרת התוצאות הצפויות
מהתרחשותו של אירוע זה.

- שדות סטטיים (חשמליים ומגנטיים)
- שדות חשמליים ומגנטיים (פחות מתדר 30 KHZ)
- תדר רדיו (RF) \ מיקרוגל
- אולטרה סגול UV
- לייזרים
- **קרינה מייננת**



רמות החשיפה המרביות המותרות לקרינה

1. סף הנזק חשיפה בריאותית

2. רמות חשיפה מרביות מותרות

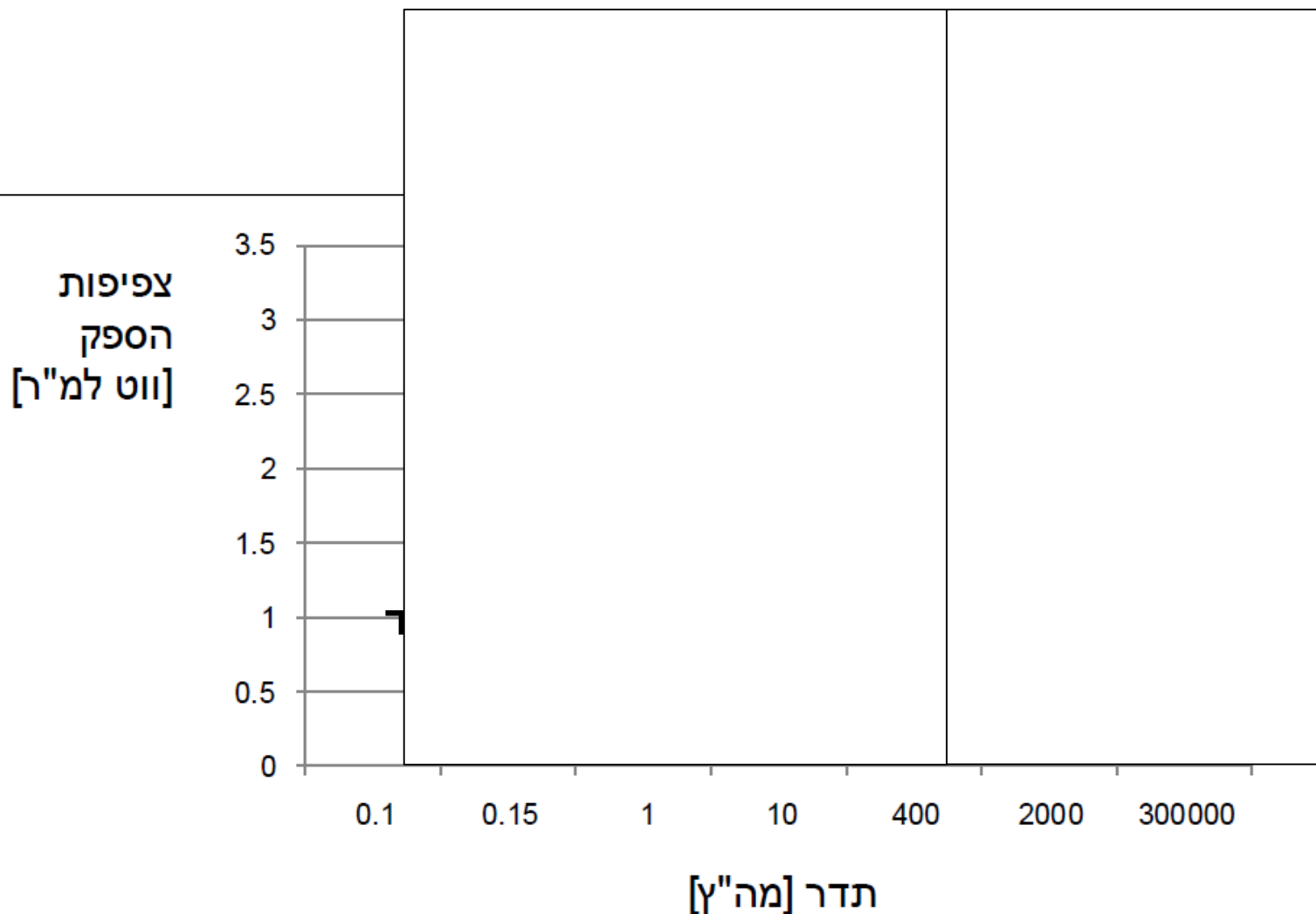
2.1 חשיפה קצרת מועד (30% מסף

**החשיפה הבריאותי) עובדים+ סף סביבתית זמן
קצר**

2.2 חשיפה רצופה וממושכת) 10% מסף

החשיפה הבריאותי) סף סביבתי

רמות חשיפה מרביות לקרינה בלתי מייננת - צפיפות הספק



פרק ג' : היתרים

3. היתר

4. פטור

5. תוקף היתרים

6. תנאים למתן היתר הקמה

7. תנאים למתן היתר הפעלה

8. תנאים למתן היתר שירות

היתרים - הגדרות

- **היתר הקמה.** היתר זה הוא היתר ראשוני להקים מקור קרינה. ההיתר ניתן לאחר ביצוע בדיקה ראשונית של הערכת רמות חשיפה לקרינה. לאחר מתן היתר זה, ניתן להקים פיזית את מקור הקרינה, אך לא להפעיל אותו.
- תוקף היתר הקמה שנה אחת או 5 שנים בהתאם לתדר
- **היתר הפעלה.** היתר זה ניתן לאחר שמקור הקרינה הוקם. כתנאי להפעלתו, יש לבצע בדיקות קרינה נוספות, על מנת לוודא שאין חריגה מרמות החשיפה המותרות. בנוסף, על מקים הקרינה להציג בפני הממונה רישיון ממשרד התקשורת ו**היתר בניה**, במידה ואלה נדרשים ממנו.
- תוקף היתר הפעלה, 5 שנים או 25 שנה בהתאם לתדר

היתרים - הגדרות

- **היתר למתן שירות.**

היתר זה דרוש לשם הסמכת מודדים לביצוע בדיקות הקרינה, לאחר שעמדו בבחינות המקצועיות הדרושות ולאחר שהממונה נוכח כי יש בידיהם את האמצעים הדרושים לכך

פרק ו' : עונשין

- **16א העושה אחד מאלה, דינו - מאסר שישה חודשים או קנס...**
- 1. ואם נעברה העבירה בידי תאגיד, דינו - כפל הקנס האמור**
- 2. מקים או מפעיל מקור קרינה בלא היתר,**
- 3. נותן שירות למדידת קרינה בלא היתר,**
- 4. עורך מדידה כאמור בסעיף(7 א (2)(שלא באמצעות בעל היתר למתן שירות**
- **ב. בעל היתר שאינו מנהל רישום או שאינו מדווח לממונה**

אורכי גל 180 עד 400 nm

קרינת UV

מקרא

γ = Gamma rays
HX = Hard X-rays
SX = Soft X-rays

Light

EUV = Extreme ultraviolet
NUV = Near ultraviolet

Visible light

NIR = Near infrared
MIR = Moderate infrared

EHF = Extremely high frequency (Microwaves)

SHF = Super high frequency (Microwaves)

UHF = Ultrahigh frequency

VHF = Very high frequency

HF = High frequency

MF = Medium frequency

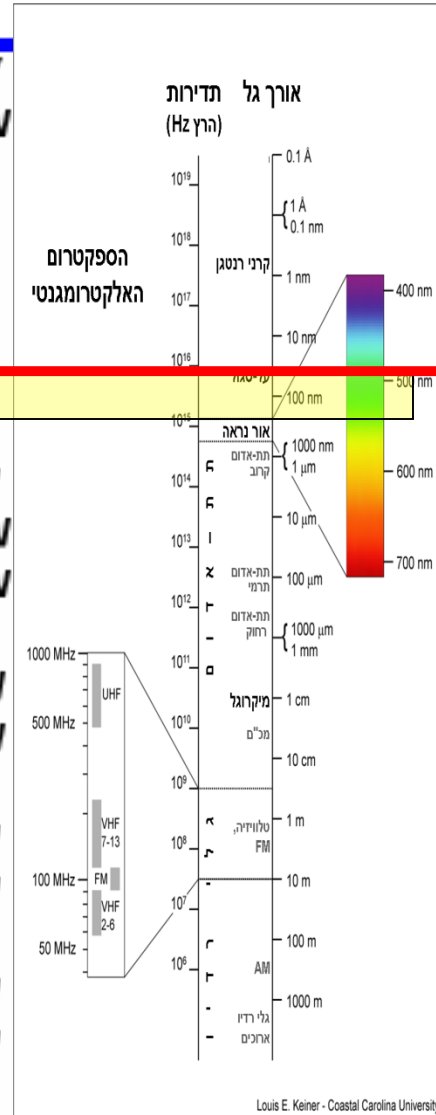
LF = Low frequency

VLF = Very low frequency

VF = Voice frequency

ELF = Extremely low frequency

CLASS	FREQUENCY	WAVELENGTH	ENERGY
γ	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
HX	30 EHz	10 pm	124 keV
SX	3 EHz	100 pm	12.4 keV
	300 PHz	1 nm	1.24 keV
EUV	30 PHz	10 nm	124 eV
NUV	3 PHz	100 nm	12.4 eV
NIR	300 THz	1 μ m	1.24 eV
MIR	30 THz	10 μ m	124 meV
FIR	3 THz	100 μ m	12.4 meV
EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μ eV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μ eV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μ eV
HF	30 MHz	1 dam	124 neV
MF	3 MHz	1 hm	12.4 neV
LF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VLF	30 kHz	10 km	124 peV
VF	3 kHz	100 km	12.4 peV
ELF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
	30 Hz	10 Mm	124 feV



תוספת 4 מקורות קרינה שהקמתם והפעלתם אינה טעונה היתר

סוג הקרינה	תחום הקרינה	סף הפטור	דוגמאות לפטור	אי פטור
UV על סגולה	אורכי גל 400 –הקצרים מ ננומטרים	צפיפות הספק קטן מ $3 \times 10^{-8} \text{ W/cm}^2$ 5cm במרחק	נורות הלוגן ומנורות שיזוף	
בתחום הנראה	780 – 400nm		גופי תאורה לסוגיהם	לייזר
לייזר		Class 1, Class 1M, Class 2, Class 2M, Class 3R ,	מכשיר לבדיקת ברקוד, מצביע או מד טווח לייזר או נגן תקליטורים	
IR אדומה –תת	1mm -780nm	צפיפות הספק קטן מ 10mW/cm^2 5cm במרחק	מכשיר שלט רחוק	
RF תדר רדיו	100 KHz - 300 GHz	הספק ממוצע קטן מ 0.1 W	שלט רחוק להפעלת אזעקת רכב	
מיקרוגל ביתי		העומד בדרישות התקן 961 י"הישראלי ת		
מכשיר לפיקוד טיסנים		הספק קטן מ 0.5 וואט,		

לאן מכאן?



לייזר



אולרה סגול UV



אינפרא אדום IR



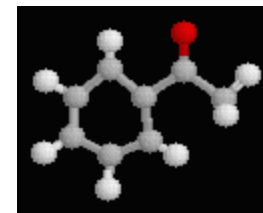
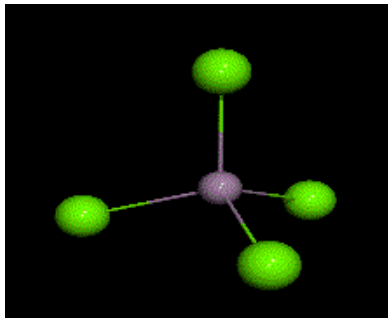
תדרי רשת החשל ELF



גלי רדיו (מיקרוגל
סוללרי, אנטנות)



ממונה הבטיחות
והקרינה הבלתי מייננת



קרינת UV גורמת תהליכים פוטו כימיים

תחום אורכי גל: 100nm - 400nm
התהליכים הפוטו כימיים: מתבססים על עירור, או פירוק,
מולקולות ברקמת החי באופן הגורם
לשינוי תכונותיה הכימיות או החשמליות.

הסיכונים בקרינת UV

חשיפה אקוטית – תגובה לאחר 2-12 שעות

- אודם או שריפת עור
- דלקת הקרנית
- דלקת הלחמית – הרקמה הרכה מסביב לעין

חשיפה כרונית

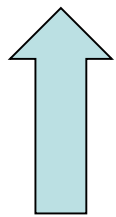
- פגיעה ב – DNA
- - גידולים סרטניים בעור ובעיניים ;
- - יירוד (קטרקט);
- - החלשת מנגנון החיסון;
- - רגישות לאור;
- - האצת תהליך הזדקנות העור;
- - החלשת האפקטיביות של חיסונים שונים.

מקורות לקרינת UV

- קרינת שמש
- - מנורות ליבון
- מנורות טוגנסטון, מנורות הלוגן;
- - פריקה חשמלית
- סוגים שונים של ריתוך קשת, קשת פחמן;
- - שפופרות פריקה
- מנורות כספית - לחץ נמוך, בינוני וגבוה; מנורות כספית עם הלידים מתכתיים;
- מנורות קסנון; מנורות מימן ודיאטריום; מנורות הבזק;
- - פלורוסנציה
- (UVB) מנורות נאון; מנורות שיזוף (פולטות קרינת
- - לייזרים : לייזר אקסימר, צבע, וגז;

תוספת 4 מקורות קרינה שהקמתם והפעלתם אינה טעונה היתר

סוג הקרינה	תחום הקרינה	סף הפטור	דוגמאות לפטור	אי פטור
על סגולה UV	אורכי גל הקצרים מ – 400 ננומטרים	צפיפות הספק קטן מ $3 \times 10^{-8} \text{ W/cm}^2$ במרחק 5 cm	נורות הלוגן ומנורות שיזוף	



לייזר

אור המוגבר בשיטת פליטה מאולצת

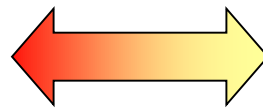
תחום: UV, נראה, IR

לאור הלייזר 3 מאפיינים:

לייזר

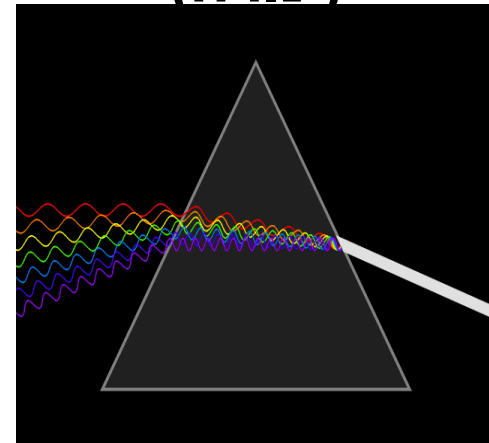


1. מונוכרומטי =
אורך גל בודד



אור רגיל

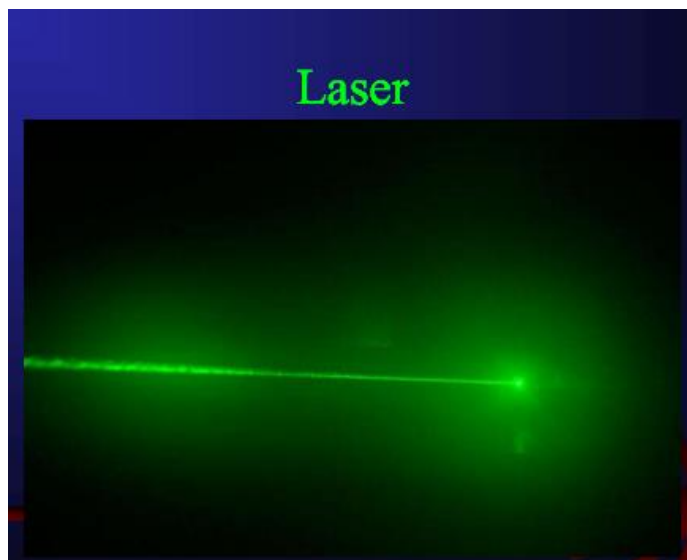
(נורה)



1. הרבה אורכי גל



לייזר



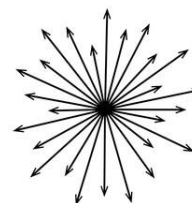
2: כיווני



מקור אור רגיל (שמש, נורות הארה)



רב כיווני



מאפייני הלייזר

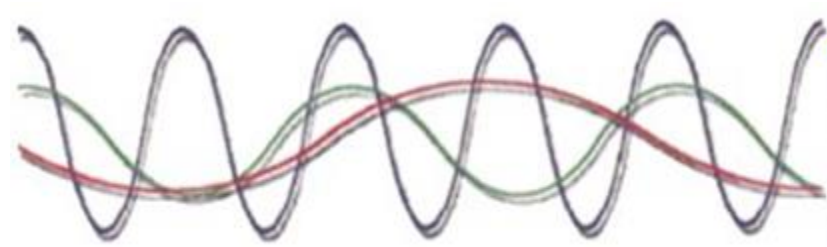
לייזר



3. קוהרנטיות

= (אורך גל אחד + שמירה על פזה)

מקור אור רגיל (שמש, נורות הארה)



לא קוהרנטי

= אין שימור פזה

ואורכי גל שונים



DANGER
Laser
hazard

סיווג רמות הסיכון של הלייזר

סיכון קטן

0.4 mW = עוצמה מקסימלית

Class 1



1 mW = עוצמה מקסימלית

Class 2



5 mW = עד חמש פעמים רמת סיכון 2

Class 3R

500 mW = עוצמה מקסימלית
קרן ישירה נזק לעיניים

Class 3B



500 mW מעל : עוצמה מקסימלית
קרן ישירה או מפוזרת גורמת
נזק בעיניים, בעור ושריפות

Class 4



מסוכן ביותר

חובות המעביד

בסעיף 4 לתקנות בטיחות הלייזר נקבע:

- ימנה אדם, באישור מפקח עבודה אזורי, כממונה על בטיחות לייזר, יספק לו את כל האמצעים הדרושים לביצוע תפקידו ויודא את מילויים
- ידריך ויאמן, בנושאי הגנה מפני סיכוני לייזר
- יספק לעובדיו העלולים להיחשף לקרינת לייזר אמצעי מגן
- יציב במקום העבודה שלטים בהתאם לתקנות מסירת מידע,
- ידווח למפקח עבודה אזורי על כל תאונה שאירעה במקום העבודה
- החובות המוטלות על המעביד יחולו עליו לגבי כל מי שנמצא במקום העבודה
- יפנה למעבדה מאושרת בכל מקרה של ספק לגבי אמצעי בטיחות שיש לנקוט ויפעל על פי ההנחיות שיקבל

ממונה על בטיחות לייזר- תנאים לאישור

**הגדרה: "ממונה על בטיחות לייזר" - מי שאושר
על ידי מפקח עבודה אזורי לפי תקנה 6**

**(1) הוא בעל תואר מוכר בתחום מדעי הטבע,
הטכנולוגיה או ההנדסה,...**

**(2) השתתף בקורס ממונים על בטיחות לייזר
בהדרכת מכון להדרכהועמד בהצלחה בכל
מטלות הקורס;**

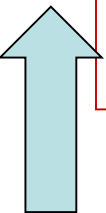
**• (3) הוא בעל ניסיון בעבודה עם מערכות לייזר
מדרגה 3b או 4 של שנה לפחות.**

ממונה על בטיחות לייזר- תפקידים

- (א) לייעץ למעביד בכל הנוגע לחוקים ולתקנות בעניני בטיחות, לסייע לו בקידום התודעה בנושאי בטיחות, גיהות, הנדסת אנוש ובריאות תעסוקתית של העובדים העלולים להיחשף לקרינת לייזר, ולבצע פעולות אלה:
- (1) לבדוק כי מתקיימות כל הוראות המעבדה המאושרת
- (2) להכין תכנית בטיחות לפני תחילת השימוש במוצר לייזר מסוכן חדש,
- (3) לבדוק תנאי הבטיחות במקום העבודה, באופן שוטף כי
- (5) לבדוק קיום אמצעי הגנה הנדסיים; שילוט מתאים, אמצעי המיגון האישי
- (8) לאתר מפגעי בטיחות וגיהות במקום העבודה
- (9) לחקור, לרכז מידע ולתעד תאונות עבודה
- (12) להדריך ולאמן עובדים בנושאי בטיחות בעבודה עם קרינת לייזר;
- (14) להורות על הפסקת העבודה במוצר לייזר מסוכן כאשר נשקפת סכנה מיידית לחייו או לבריאותו של עובד, ולדווח על כך מיד למעביד
- (15) להילוות אל מפקחי עבודה בביקורות הפיקוח במקום העבודה, אם יידרש לכך.

בודק מאושר - הגדרה ותפקידים

- הגדרה: "בודק מאושר" - מי שאושר על ידי מפקח עבודה ראשי לפי תקנה 8 לבצע פעולות כמפורט בתוספת הראשונה;
 - (1) הוא עובד במעבדה מאושרת;
 - (2) הוא בעל תואר מוכר
 - (3) השתתף בקורס בודקים מאושרים על ידי מכון להדרכה
 - (4) הוא בעל ניסיון של שלוש שנים לפחות במחקר ובפיתוח של מערכות לייזר או בהגנה מפני קרינת לייזר.
- (ב) תוקפו של אישור לבודק מאושר הוא לשלוש שנים, וניתן לשוב ולחדשו



ספקטרום אינפרא אדום ונראה

מקרא

γ = Gamma rays
 HX = Hard X-rays
 SX = Soft X-Rays

Light

EUV = Extreme ultraviolet
NUV = Near ultraviolet

Visible light

NIR = Near infrared
MIR = Moderate infrared
FIR = Far infrared

EHF = Extremely high frequency (Microwaves)

SHF = Super high frequency (Microwaves)

UHF = Ultrahigh frequency

VHF = Very high frequency

HF = High frequency

MF = Medium frequency

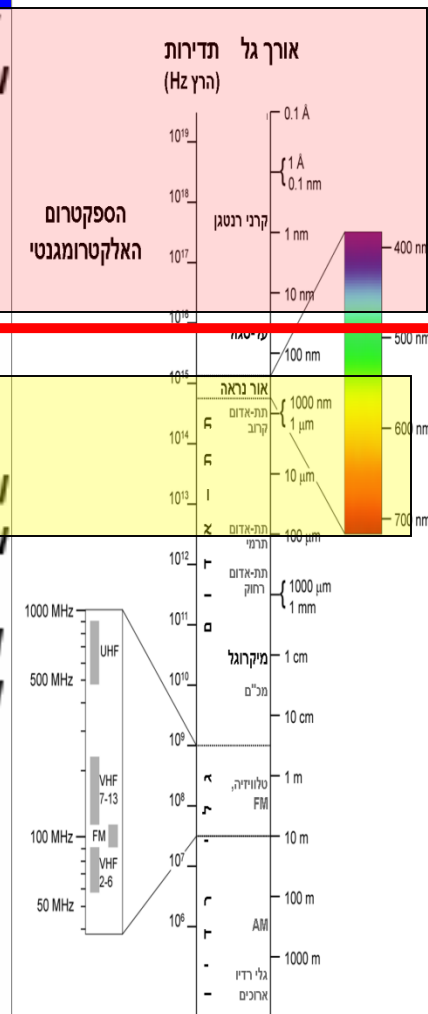
LF = Low frequency

VLF = Very low frequency

VF = Voice frequency

ELF = Extremely low frequency

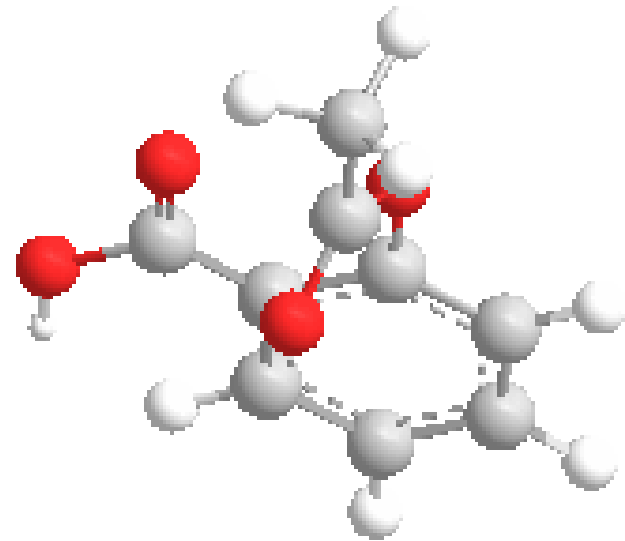
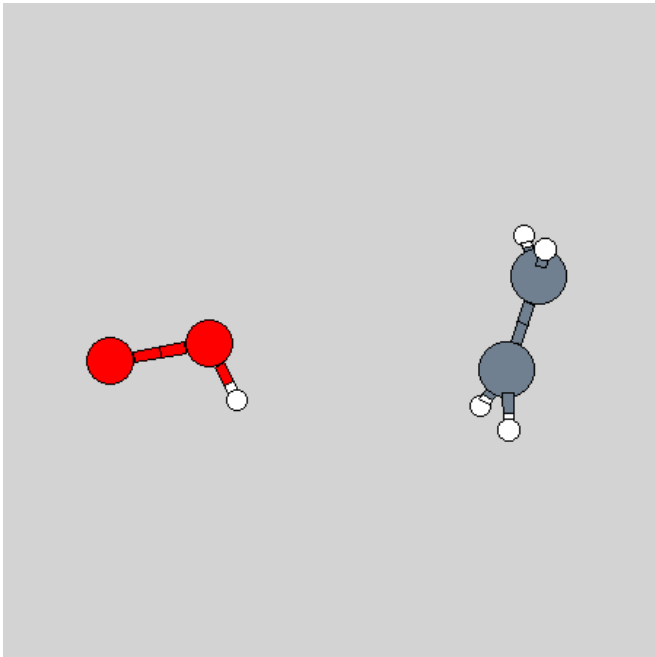
CLASS	FREQUENCY	WAVELENGTH	ENERGY
γ	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
HX	30 EHz	10 pm	124 keV
SX	3 EHz	100 pm	12.4 keV
	300 PHz	1 nm	1.24 keV
ELIV	30 PHz	10 nm	124 eV
NOV	3 PHz	100 nm	12.4 eV
NIR	300 THz	1 μ m	1.24 eV
MIR	30 THz	10 μ m	124 meV
FIR	3 THz	100 μ m	12.4 meV
EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μ eV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μ eV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μ eV
HF	30 MHz	1 dam	124 neV
MF	3 MHz	1 hm	12.4 neV
LF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VLF	30 kHz	10 km	124 peV
VF	3 kHz	100 km	12.4 peV
ELF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
	30 Hz	10 Mm	124 feV



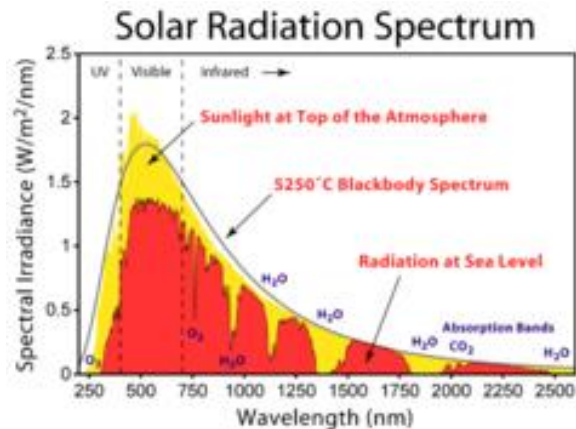
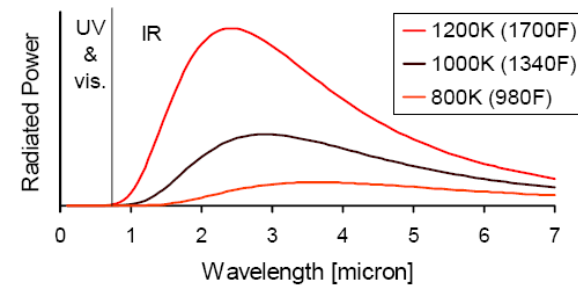
אנפרא אדום – גלי חום

0.8–2 מיקרומטר

השפעה על מולקולות:
רוטציה (סיבוב) גורם לחימום



מקורות אור כתוצאה מחימום



מקור	אולטרא סגול UV	נראה	אינפרא אדום IR
גוף האדם	אין ☹️	אין ☹️	מעט 😊
רדיאטורים	אין ☹️	אין ☹️	רק IR 😊
אלמנטי חימום	אין ☹️	מעט 😊	היתר 😊
נורות ליבון	אין ☹️	מעט 😊	היתר 😊
השמש	מעט 😊	הרוב 😊	היתר 😊

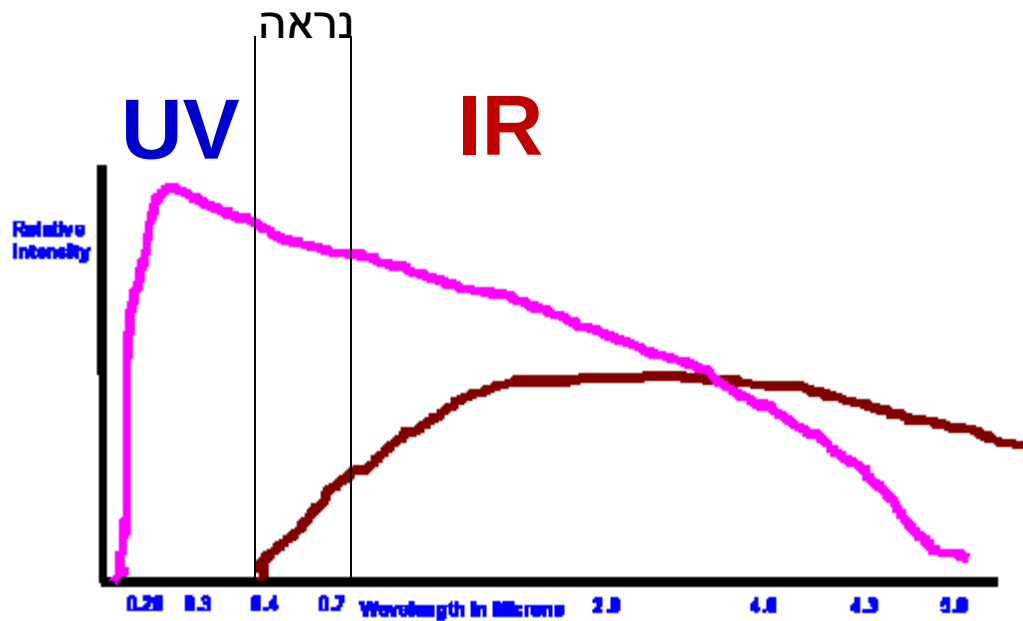
מקורת

• קשת – ריתוך

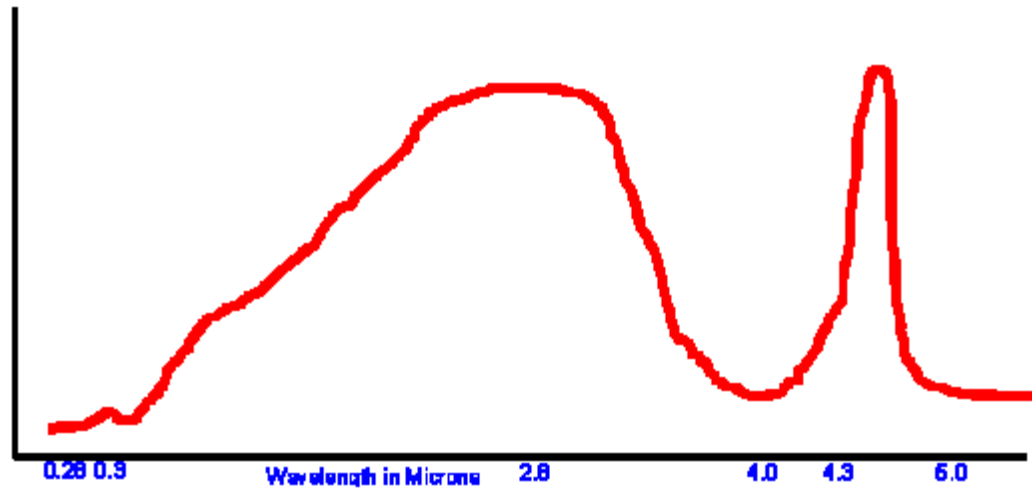
• UV: חזק

• נראה: בינוני

• IR חלש



מקורות



- הלחמת אציטלין, ריתוך

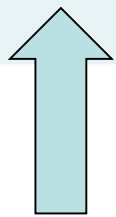
- דמוי אש :

- עם יותר UV מאשר האש

- ופחות IR

תוספת 4 מקורות קרינה שהקמתם והפעלתם אינה טעונה היתר

סוג הקרינה	תחום הקרינה	סף הפטור	דוגמאות לפטור	אי פטור
על סגולה UV	אורכי גל הקצרים מ – 400 ננומטרים	צפיפות הספק קטן מ $3 \times 10^{-8} \text{ W/cm}^2$ במרחק 5 cm	נורות הלוגן ומנורות שיזוף	
בתחום הנראה	400 – 780 nm		גופי תאורה לסוגיהם	לייזר
לייזר		Class 1, Class 1M, Class 2, Class 2M, Class 3R ,	מכשיר לבדיקת ברקוד, מצביע או מד טווח לייזר או נגן תקליטורים	
תת-אדומה IR	1mm - 780nm	צפיפות הספק קטן מ 10mW/cm^2 במרחק 5 cm	מכשיר שלט רחוק	



קרינה לא מייננת - ELF ומכשירי חשמל

תחום קרינת ELF : 30-300 Hz
או 1 – 10 Mm

מקורות ELF : נפלטת ממכשירי חשמל. בתדר 50-60 Hz

קרינה לא מייננת – ELF

מרשת החשמל מתקני חשמל

- סף בריאותי: **1000 מילי גאוס**
- סף סביבתי: חשיפה של מעל 4 שעות בכל יממה ומעל 5 ימים בשבוע (מגורים, משרדים, מוסדות חינוך, מבני מסחר ותעשייה)
- **4 מילי גאוס מקסימום יומי** (ביום העמוס ביותר בשנה).
- **2 מילי גאוס בממוצע שנתי**

קרינה לא מייננת - ELF ומכשירי חשמל

- **הנזק מהיחשפות לקרינת:**

ממחקרים סטטיסטיים נמצא כי ישנו קשר בין היחשפות לקרינה אלקטרומגנטית ובין תחלואה מסרטן. **ודמום תאים לעצביים** והפרעות שינה (הקשר הוא בינתיים לא חד משמעי).

- **המנגנון הנזק: לא ידוע**

ישנם כמה השערות :

1. "אפקטים תרמיים"-

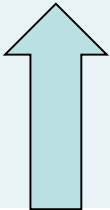
2. אפקטים אלקטרוסטטיים-

3. שיפעול יסודות מסויימים בעלי **מטען חשמלי** (אטומי מתכת כמו ברזל, ועוד...)..

- **פועלים לפי עיקרון הזהירות המונעת**

מקורות קרינה שהקמתם והפעלתם אינה טעונה היתר

סוג הקרינה		תחום הקרינה	סף הפטור	דוגמאות לפטור
מכשיר קשר (Simplex) (מגמי-חד			הספק קטן מ 25 וואט	
- מכשיר קשר אלחוטי נישא - טלפון נייד לסוגיו: טלפון אלחוטי, טלפון בשיטה התאית			16W/Kg קטן מ SAR גרם 1 בממוצע על פני רקמה ביולוגית	
תדר רשת ELF		קטן מ 100 KHz	דוגמאות לפטור	מכשירי חשמל ביתיים: מזגן , מכונת כביסה ,מקרר ,מכונת גילוח ,מייבש שיער ,סדין חשמלי , מחשב אישי או נורות חשמל מיתקנים המשמשים לייצור, להולכה, לחלוקה ולהספקה של חשמל , ובכלל זה קווי מתח עליון, קווי מתח עילי ותת-קרקעי, תחנות משנה והשנאה וקווי מתח נמוך, עד לשלב החלוקה הביתית.



קרינה בתחום תדרי הרדיו (RF)

תחום:

100kHz – 300GHz

או 1mm – 3 Km

מקור (RF): מתקני התקשורת האלחוטית:

מתקני שידור לטלוויזיה ולרדיו טלפוניה ניידת, רשתות סלולאריות,

ערכי סף לחשיפה לקרינת RF

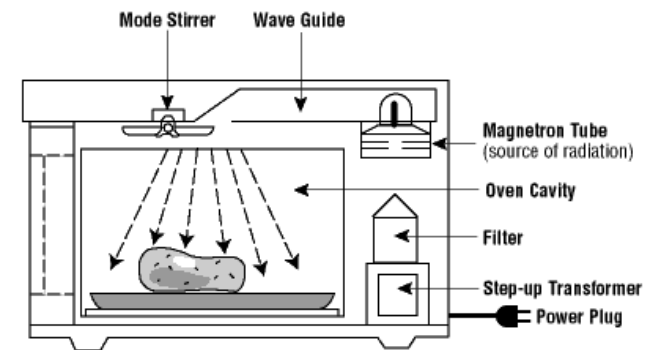
סף	תדר	הספק
סף חשיפה מקסימלי בריאותי (סף הנזק אין לעבוד מעל הסף הזה)	10-400MHz	2 [W/m ²]
	400 - 2000 MHz	f [MHz] / 200 [W/m ²]
	2,000- 300,000 MHz	10 [W/m ²]
סף סביבתי באיזור לא מאוכלס בצפיפות (מרפסת, חצר, מדרכה)	0.3 מהסף הבריאותי	
סף סביבתי באיזור מאוכלס ברציפות (דירה, כיתת לימוד, משרדים)	0.1 מהסף הבריאותי	

מנגנוני הנזק

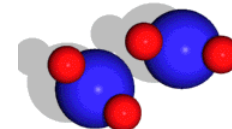
מנגנון	תחום קרינה
1. השפעה טרמית (חימום)	RF אנטנות סוללריות , מיקרו גל
2. מנגנון לא ידוע מחקרים סטטיסטיים	
מנגנון לא ידוע מחקרים סטטיסטיים	ELF קווי חשמל ומתקני חשמל 50 Hz

מקורות RF

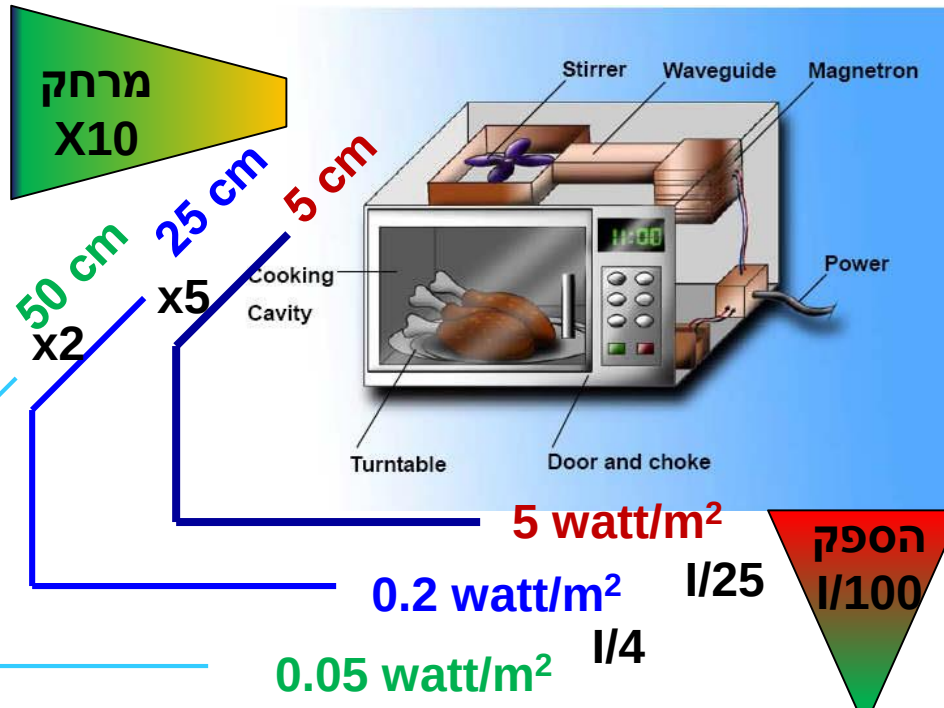
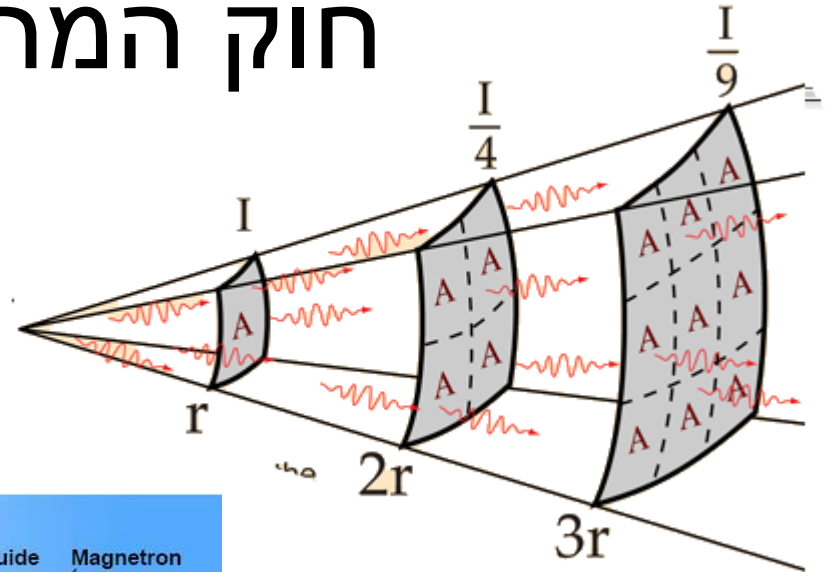
מקור RF	תדר	הספק	חשיפה צפיפות הספק ממוצע
סלולרי	GSM 850, 1900 MHz	0.3-3 W	1000 to 5000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (at ear)
מיקרוגל	2450 MHz	400-1200 W	5000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (at 5 cm)
WiFi	2.4 GHz and 5.0 GHz	less than 1.0 W (FCC) less than SC 6 (HC)	0.001-20 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ Max average RF exposure level 0.232% of SC 6 limits
TV Broadcast VHF	54-216 MHz	10-100 kW	0.005-1.0 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
TV Broadcast UHF	470-698 MHz	500-5000 kW	0.005-1.0 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Smart Meter at 1 m	902-928 MHz	0.25 W	0.0001-0.002 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
FM AM	88-108 MHz 535 kHz-1.7 MHz	FM 33 kW AM 50 kW	0.005 to 1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$



תדר המיקרו 2450 מגה-הרץ ~ אורך גל 12.24 סנטימטר



חוק המרחק – I/r^2

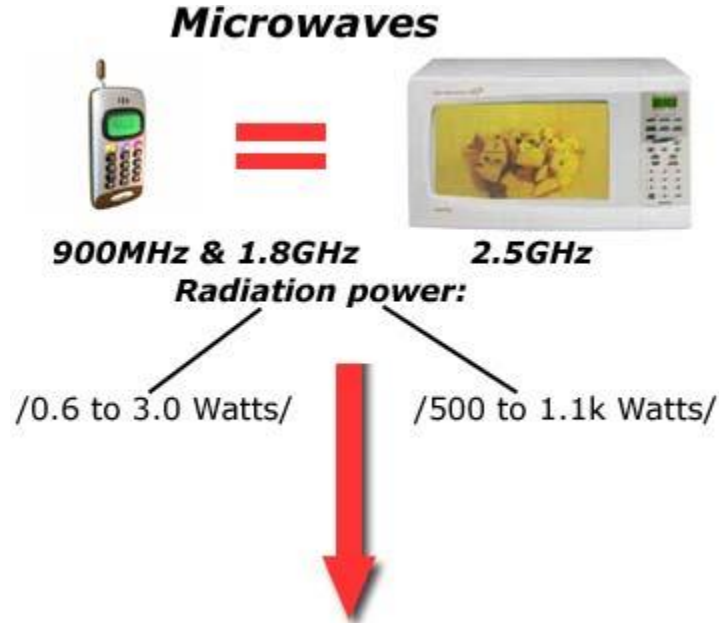


רמות חשיפה מרביות מותרות
לחשיפה קצרת מועד 3 watt/m²

מקורות קרינה שהקמתם והפעלתם אינה טעונה היתר

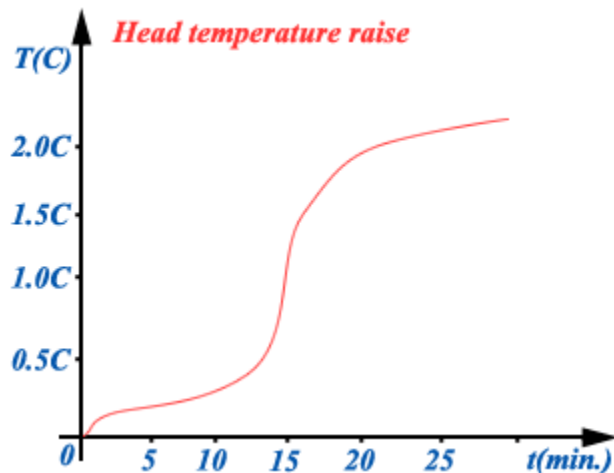
סוג הקרינה		תחום הקרינה	סף הפטור	דוגמאות לפטור
מכשיר קשר (Simplex) (מגמי-חד			הספק קטן מ 25 וואט	
מכשיר קשר אלחוטי נישא טלפון נייד לסוגיו: טלפון אלחוטי, טלפון בשיטה התאית			16W/Kg קטן מ SAR גרם 1 בממוצע על פני רקמה ביולוגית	
ELFתדר רשת		100קטן מ KHz	דוגמאות לפטור	מכשירי חשמל ביתיים: מזגן , מכונת כביסה ,מקרר ,מכונת גילוח ,מייבש שיער ,סדין חשמלי , מחשב אישי או נורות חשמל מיתקנים המשמשים לייצור, להולכה, לחלוקה ולהספקה של חשמל, ובכלל זה קווי מתח עליון, קווי מתח עילי ותת- קרקעי, תחנות משנה והשנאה וקווי מתח נמוך, עד לשלב החלוקה הביתית.

השוואה בין תנור מיקרו גל לטלפון סולארי



יחידה ערכי SAR

- בשימוש במכשיר נייד ראשו של המשתמש נתון לחשיפה מקומית גבוהה יחסית לגלי רדיו וכידוע גלי רדיו גורמים לחימום בתנאים מסוימים.
- **SAR** שפירושו קצב ספיגה סגולי (Specific Absorption Rate), מתאר את כמות האנרגיה הנספגת ליחידת מסה של חומר ביולוגי (לדוגמא: גוף האדם). היחידות שבהן נמדד ה SAR הן וואט לק"ג או מילי וואט לגרם.

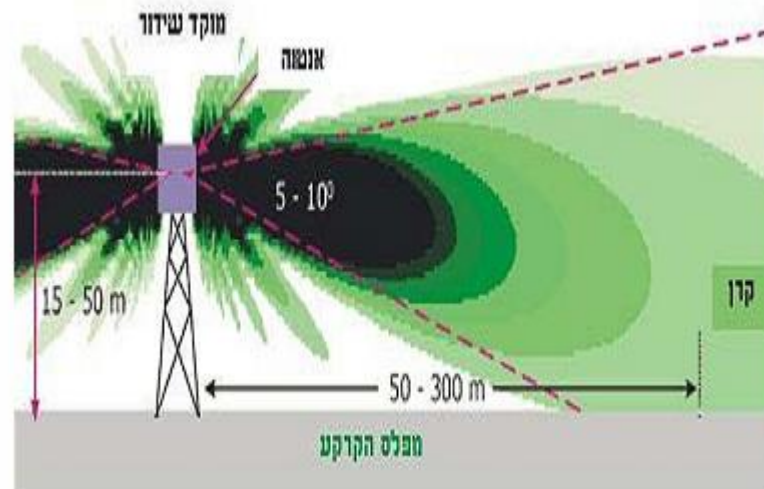
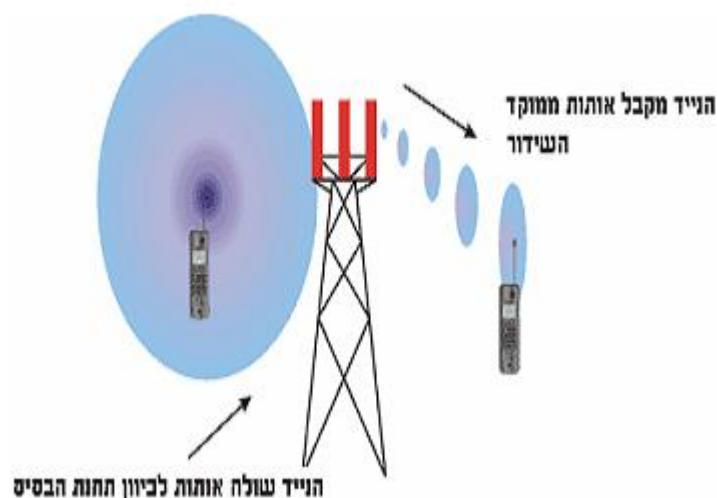


- טלפונים סלולריים עושים נזק ביולוגי
- המנגנון :
תהליכי חימום - אם מדברים בסולרי במשך 20 דקות טמפרטורת המוח עולה ב 2 מעלות
- אפקטים ביולוגיים << :
 - כאבי ראש - כאבי אוזניים,
 - תשתוש ראייה - אובדן זכרון לטווח קצר
 - הרגשת שריפה - הפרעות שינה

המשרד לאיכות הסביבה בישראל אימץ את התקנים של
הסוכנות הבינלאומית להגנה מקרינה –
IRPA- International Radiation Protection Agency

תקן זה עומד היום על 200-1000 מיקרואט לסמ"ר כתלות
 בתדר השידור

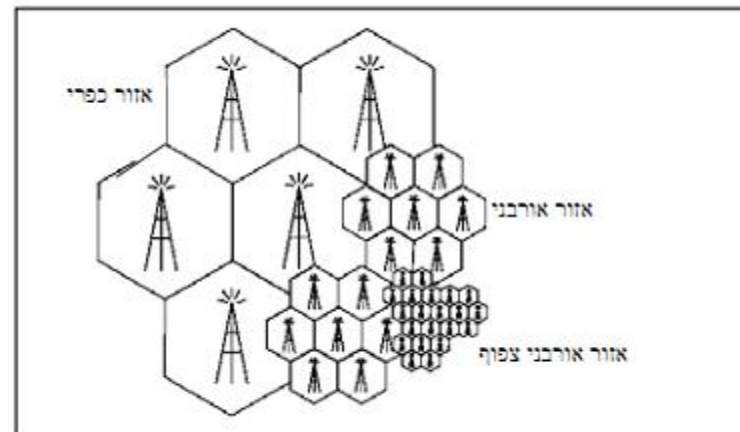
אנטנות ומכשירים סולולריים



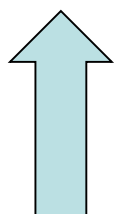
- המכשיר הסולולרי מוצמד בדרך כלל לגוף או לראש במרחק 1-2 ס"מ
- המכשיר משדר וקולט קרינת רדיו כל עוד הוא במצב פעולה (המתנה לשיחה ולא רק בזמן קיום שיחה
- המכשיר משדר עד 2 וואט והקרינה מתפזרת לכל הכיוונים
- האנטנה משדרת כ 40 וואט והיא מכוונת בקיוון מסים

פריסת אנטנות תאית

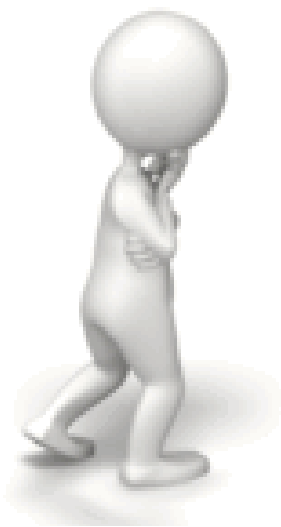
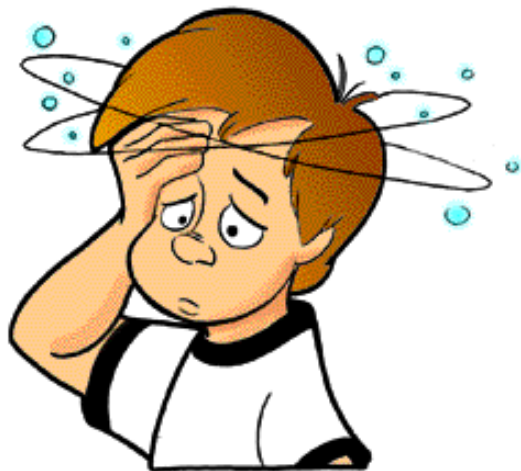
- דקה אחת של שיחה מכשיר סלולרי רחוק ממוקד השידור, שוות ערך לחשיפה של כשבוע ממרחק מוקד של 30 מטר



הספק יחסי של מכשיר סלולרי	הספק יחסי של מוקד שידור	רדיוס התא ($R=\sqrt{S/\pi}$ [m])	מספר מוקדי שידור בשטח	שטח [²m]	יישוב
1.0	1.0	155	639	47956417	תל אביב-יפו
3.9	12.2	244	393	73539773	ירושלים
4.4	7.7	253	263	52823810	חיפה
13.2	72.5	366	20	8391368	נצרת
31.9	229.8	490	4	3018876	כפר קאסם



הנחיות לממונה בטיחות



תוספת 4 מקורות קרינה שהקמתם והפעלתם אינה טעונה היתר

סוג הקרינה	תחום הקרינה	סף הפטור	דוגמאות לפטור	אי פטור
UV על סגולה	אורכי גל 400 –הקצרים מ ננומטרים	צפיפות הספק קטן מ $3 \times 10^{-8} \text{ W/cm}^2$ 5cm במרחק	נורות הלוגן ומנורות שיזוף	
בתחום הנראה	780 – 400nm		גופי תאורה לסוגיהם	לייזר
לייזר		Class 1, Class 1M, Class 2, Class 2M, Class 3R ,	מכשיר לבדיקת ברקוד, מצביע או מד טווח לייזר או נגן תקליטורים	
IR אדומה –תת	1mm -780nm	צפיפות הספק קטן מ 10mW/cm^2 5cm במרחק	מכשיר שלט רחוק	
RF תדר רדיו	100 KHz - 300 GHz	הספק ממוצע קטן מ 0.1 W	שלט רחוק להפעלת אזעקת רכב	
מיקרוגל ביתי		העומד בדרישות התקן 961 י"הישראלי ת		
מכשיר לפיקוד טיסנים		הספק קטן מ 0.5 וואט,		

מהם המקורות לקרינה הבלתי מייננת?

- **בצורה מכוונת, ע"י שידור דרך אנטנות, דוגמת
טלפונים ואתרים סלולריים.**
- **כתוצר לוואי של פעולה. למשל, בגלל מעבר של
זרמים חשמליים במכשירים חשמליים משרדיים,
ובמכונות חשמליות בתעשייה.**
- **עקב תקלה, כגון דליפה של קרינה.**

היכן קיימת חשיפה לקרינה הבלתי מייננת במקומות העבודה?

- **חשיפות שכיחות לציווד תקשורת** - אתרים סלולריים, WiFi, Bluetooth (ועוד, לתשתיות חשמל) ארונות וכבלים של חשמל) ולמכשור חשמלי שכיח. חשיפות אלו הינן בד"כ נמוכות יחסית, אך לעיתים נדרש לנקוט צעדים להפחתתן.
- **חשיפות למכשירים, למכונות ולתהליכים שונים**, בסוגי עבודות ובמקומות עבודה רבים. חשיפות אלו גבוהות יותר ולעיתים אף ניתן לחרוג מגבולות החשיפה, ובחלק רב מהמקרים יש צורך בקיום צעדים ייעודיים ובקיום תכנית בטיחות. בהמשך המסמך יפורטו מקומות העבודה וסוגי התה

מהם הצעדים העיקריים להתגוננות מהקרינה הבלתי מייננת?

- **מיפוי, איתור, זיהוי ואפיון של מקורות הקרינה** תחילה באופן ויזואלי, ובהמשך, באמצעות סקירה שיטתית של מקורות קרינה אפשריים, איתור נתוניהם ואיתור של הוראות היצרנים, היתרים ואישורים.
- **הערכת החשיפות לקרינה** והוא ניתן לביצוע ע"י **גורמים מקצועיים ומוסמכים בלבד**, באמצעות חישוב ומדידה של רמות החשיפה לקרינה המתפתחות בקרבת מקורות הקרינה.
- **3. הפחתת החשיפות לקרינה** – נקיטת צעדים שיפחיתו את רמות החשיפה לקרינה עד למידה נמוכה ו"בטוחה".

הקטנת החשיפה לקרינה

- הגדלת המרחק ממקורות הקרינה - :

הקרינה דועכת במרחק באופן חד, לפי ריבוע המרחק.
לדוגמה, הגדלת המרחק פי 2 גורמת להפחתת רמות החשיפה פי 4 ,
הגדלה פי 10 – להפחתה פי 100 ועוד.

הקטנת משך החשיפה לקרינה

מרחק מותר ממקורות הקרינה

- **מקורות קרינה - ציוד או תשתיות - בעלי מרחק בטיחות / הפרדה שפורט על ידי היצרן**

- **אתרים סלולריים** – קיום מרחק הפרדה על פי **ההיתרים** שניתנו לאתרים על ידי המשרד להגנת הסביבה.

- **קווי מתח** – **35 מטר מקווי מתח** על, 20 מטר מקווי מתח עליון ו-3 מטר מקווי מתח גבוה (מרחקי ההפרדה מקווי המתח הנמוך אינם משמעותיים), בשהייה ממושכת.

- **שנאים חיצוניים** – **מרחק של 3 מטר**, בשהייה ממושכת.

- **מרכזי אנרגיה וחדרי שנאים** – **מרחק של 3 מטר**, בשהייה ממושכת.

- **לוחות (ארונות) של חשמל** – **מרחק של 1 מטר**, בשהייה ממושכת.

- **מערכות אל פסק** – **1 מטר** ממערכות קטנות ו-3 מטר ממערכות גדולות, בשהייה ממושכת.

- **ספקי כוח, מטענים ומתאמים** – **מרחק של חצי מטר לערך**, בשהייה ממושכת.

אמצעי הזהירות העיקריים שיש לנקוט בהם בקרבת מקורות הקרינה

- נדרש לוודא הפעלה או תחזוקה של מקורות קרינה ע"פ הוראות בטיחות קרינה של היצרנים (או שנקבעו ע"י גורמים מוסמכים) עבור מקורות הקרינה. באחריות העובדים לקיים הנחיות אלו.
- נדרש לתת הנחיות ולנקוט צעדים ליישומן, ע"י
 - סימון,
 - שילוט,
 - הגבלת גישה,
 - אכיפה
 - ומתן הדרכה.
- באחריות העובדים לקיים ההנחיות.

הנחיות

– אין להתקרב למקורות קרינה שאינם מוכרים או שאין עבורם הנחיות בטיחות.

– אין להתקרב למקורות קרינה מעבר למותר ואין להיכנס לאזורים האסורים לשהייה, ע"פ הוראות היצרנים או לפי הוראות בטיחות שנקבעו עבור מקורות הקרינה.

– אין להיכנס לאזורים המותרים לכניסה של אוכלוסייה תעסוקתית בלבד, פרט לאוכלוסייה זו. אסורה הכניסה לאזורים אלו לבעלי, ציוד רפואי נישא או מושטל ולבעלי שתלים מתכתיים, (קוצבי לב, משאבות אינסולין) ללא אישור של רופא תעסוקתי.

– אין להסתכל ישירות לתוך מקורות קרינה סמוכים בעלי עוצמה גבוהה בתדרי המיקרוגל.

• בקרבת מקורות קרינה בעוצמה גבוהה, בתדרי הרדיו והמיקרוגל, יש לשים לב לתחושות של חימום מקומי או הדומות לתחושות של עומס חום.

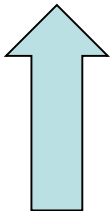
במקרה אירוע של חשיפה בתאונה

במקרים של חשד לחשיפה חריגה לקרינה בלתי מייננת (אירוע של חשיפה בתאונה), נדרש

1. לשלוח את העובדים לבדיקות רפואיות

2. לתחקר את פרטי המקרה

3. לדווח עליו למשרד העבודה



שדות מגנטיים חזקים - MRI

- לא ידועים אפקטים מסוכנים (בתוך מכונת MRI השדה מגיע ל- 2 T) הגבלות חשיפה :
 - לבריאים ליום עבודה מלא - 60 mT
 - למושתלי קוצבי לב: 0.5 mT
 - השדה הגיאומגנטי: 0.05 mT
 - למי שרגיל לגאוס: 10000 Gauss = 1 Tesla