

נושאי ההרצאה

סוגי קרינה וחשיפה

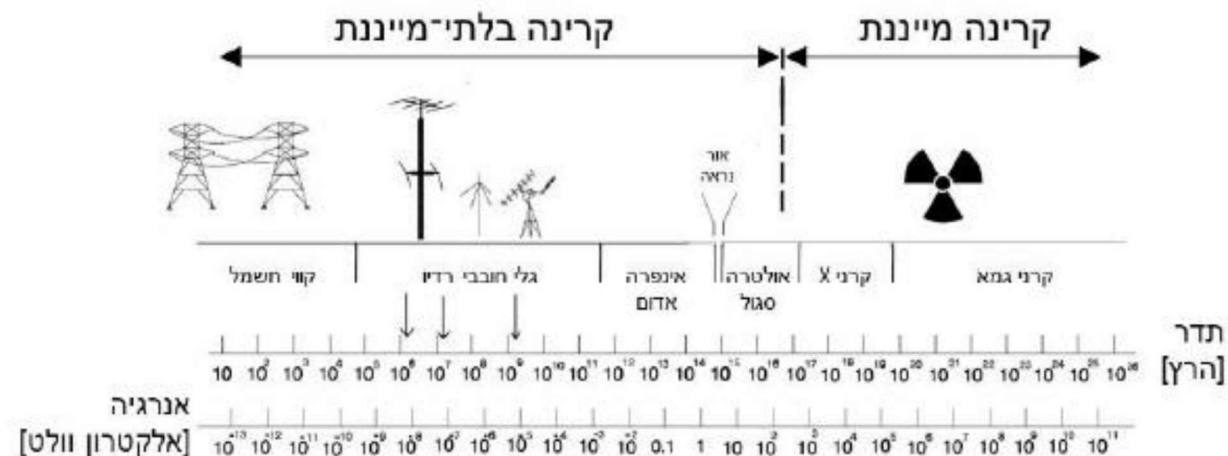
עקרונות ההגנה מקרינה ויישומם

תקנות הבטיחות בעבודה

חובות המעסיק ועובד קרינה

קרינה

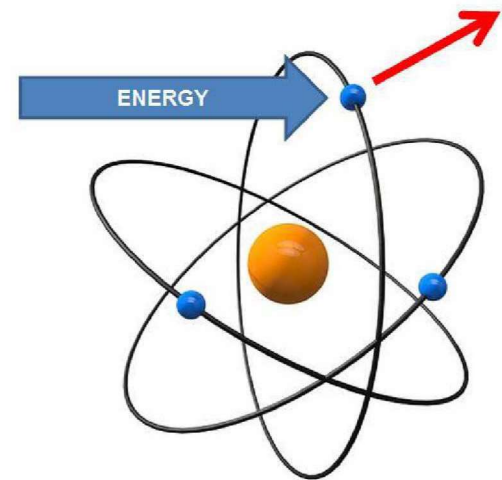
קרינה – אנרגיה הנפלטת מחומר ומתפשטת בסביבה. האנרגיה נעה בצורה מחזורית של גלים או בצורה של חלקיקים נושאי אנרגיה. ישנם סוגים שונים של קרינה, שהם בעלי אנרגיה שונה ולהם השפעה שונה על בריאות האדם והסביבה.

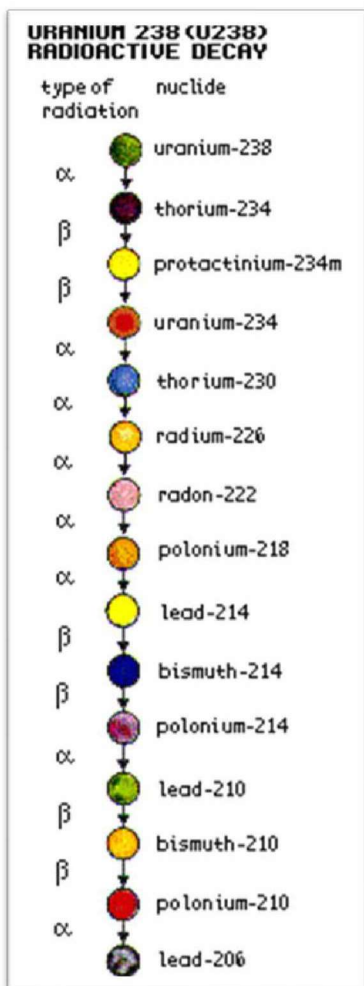


איור מס' 1: הספקטרום האלקטרומגנטי, האנרגיה וחלוקתו לקרינה מייננת ובלתי-מייננת
מקור: FCC, OET 56, 1999

קרינה מייננת

- קרינה באנרגיה גבוהה המסוגלת להפוך אטום נייטרלי ליון (יינן). היינון גורם לשינוי בחומר בו פוגעת הקרינה.
- קרינה בלתי מייננת (קרינת UV, רדיו, מיקרוגל)





התפרקות רדיואקטיבית

שינוי ספונטני בגרעין של אטום לא יציב שכתוצאה ממנו מתקבל גרעין חדש

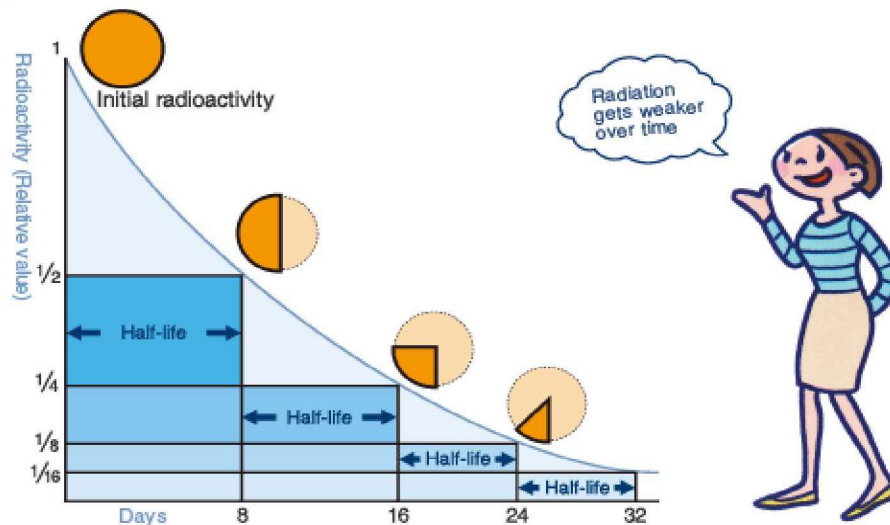
- השינוי מלווה בפליטה של חלקיקים או קרינה אלקטרומגנטית ואנרגיה
- החלקיקים והקרינה האלקטרומגנטית הנפלטים בתהליך נקראים קרינה מייננת
- הגרעין החדש יהיה תמיד במצב יציב יותר.
- לעיתים תהיינה התפרקויות נוספות עד להגעה למצב יציב (שרשרת דעיכה)

שרשרת דעיכה של אורניום-238

זמן מחצית חיים

- הזמן הדרוש לכמות של חומר הרדיואקטיבי לרדת למחצית מערכה ההתחלתי
- מדד למידת היציבות של הרדיואיזוטופ

[How radioactivity decays] Iodine 131

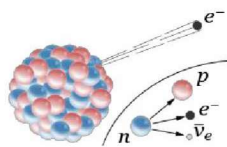


$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

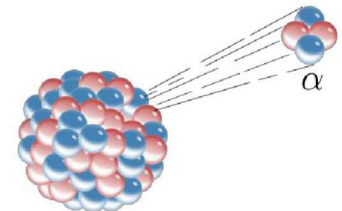
N_t מספר הרדיונוקלידים בזמן כלשהו t
 N_0 מספר הרדיונוקלידים בהתחלה
 λ קבוע הדעיכה ספציפי לחומר

סוגי קרינה מייננת

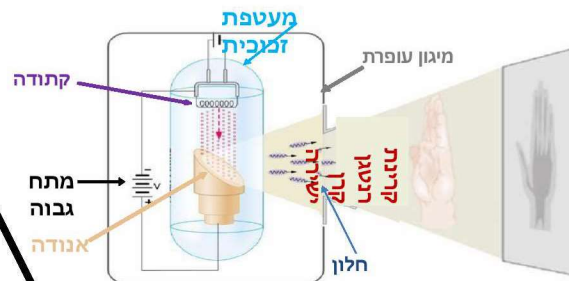
קרינת בטא β



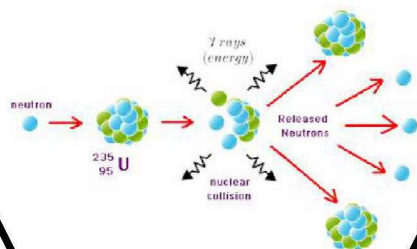
קרינת אלפא α



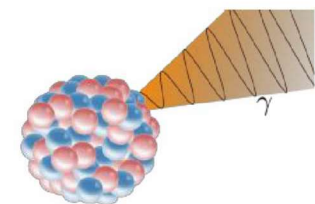
קרינת רנטגן (X) -



קרינת נויטרונים



קרינת גאמא γ



קרינת רנטגן (X)

- קרינה המורכבת מפוטונים באנרגיה גבוהה.

- קרינה חסרת מטען ואין לה מסה

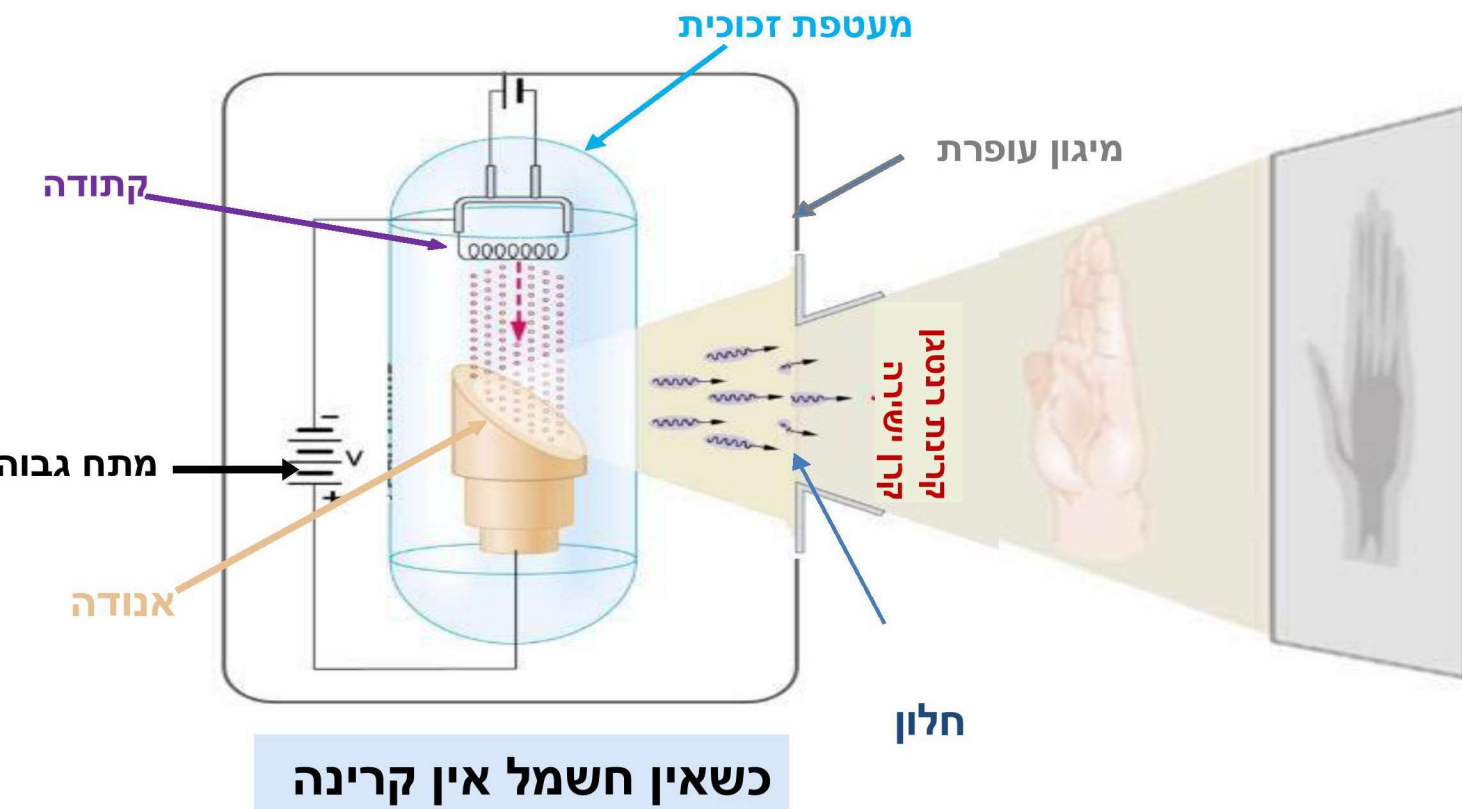
- נוצרת מחוץ לגרעין וניתן לייצרה במכונות

- אינה מושפעת משדה חשמלי או מגנטי

- מתח מקסימלי (kVp) מתח גבוה –

- אלקטרונים אנרגטיים יותר – קרינת X באנרגיה גבוהה יותר

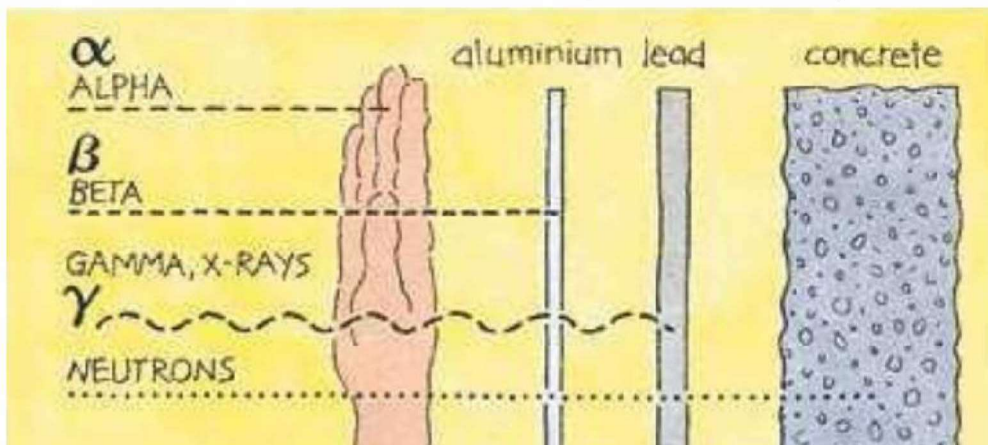
- זרם גבוה יוצר יותר פוטונים



טווח של קרינה ברקמה

נגזר מגודל החלקיק והאנרגיה שלו:

- **חלקיק אלפא** - חלקיק גדול נבלם בקלות (70 מיקרון).
- **חלקיק ביתא** - קטן יחסית חדירות עולה (טווח מירבי עד מספר סנטימטרים).
- **קרינת גאמא** - אנרגיה טהורה ללא מסה, הכי חדיר. אין אפשרות להאט אותו או להשמידו רק לפזרו. במרבית המקרים עובר באטום ללא כל אינטראקציה. רק בחלק קטן מהמקרים יפגע באלקטרון (בניגוד לחלקיק טעון צריך לפגוע פיזית) ויגרום ליינון.



סוגי חשיפה

שני אופני חשיפה פנימית וחיצונית:

חיצונית - חשיפה הנגרמת לאדם ממקור קרינה שמחוץ לגופו.

$$\alpha < \beta < \gamma$$

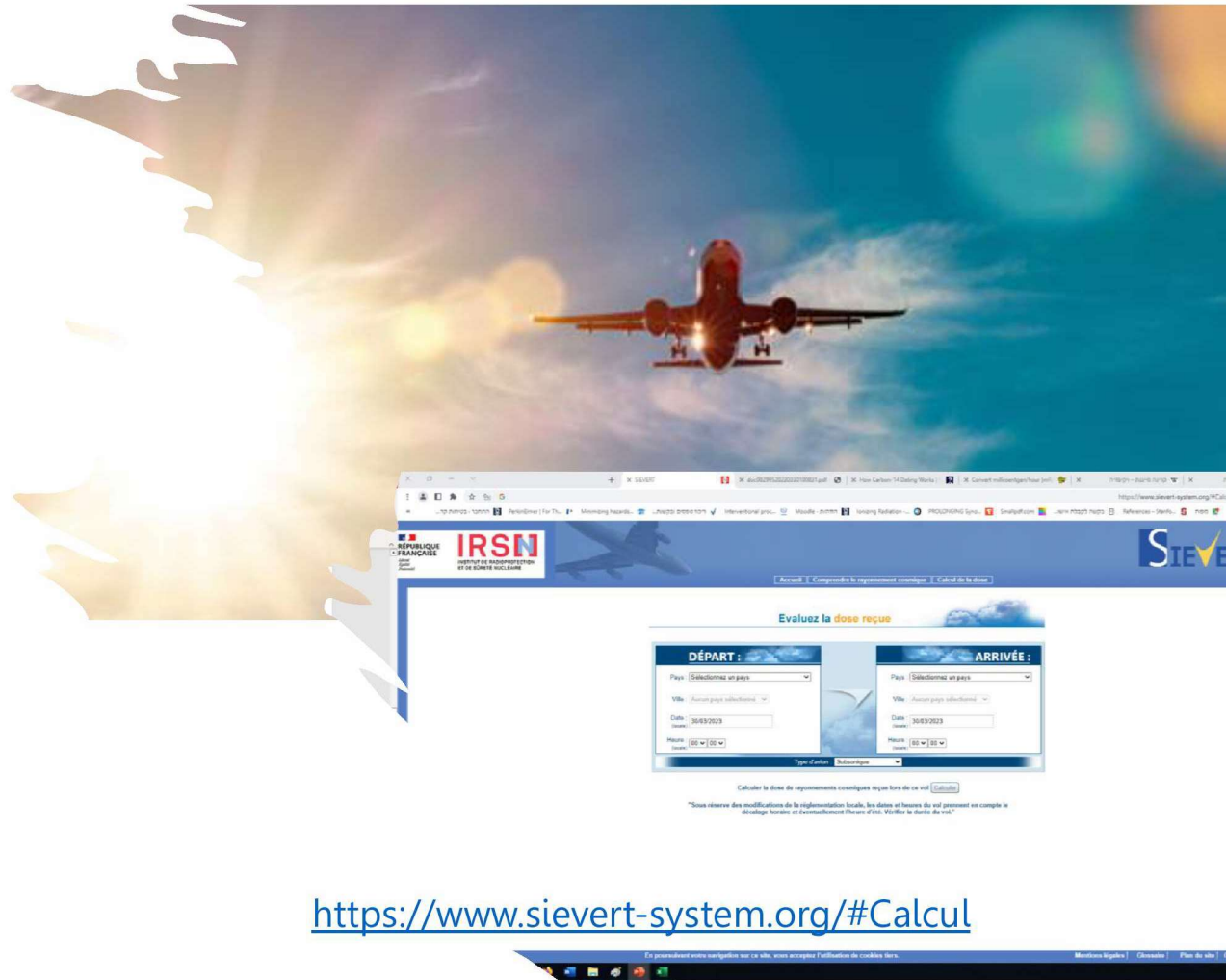
פנימית - חשיפה הנגרמת על ידי חומרים רדיואקטיביים שחדרו לגוף האדם במתכוון (אבחון רפואי) או שלא במתכוון.

$$\alpha > \beta > \gamma$$

קרינת רקע

- קרינה קוסמית - קרינה קוסמית היא שם כולל לכל סוגי הקרינה, המגיעים לכדור הארץ מהחלל.
- קרינה משכבות כדור הארץ - גז ראדון
- מוצרי בנייה
- מזון – חומרים ר"א נמצאים באופן טבעי בקרקע, במים ולכן גם במזון
- גוף האדם

תורמת $\sim 2\text{mSv}$



השפעת קרינה כוללת גבוהה על גוף האדם

- הגדרה: קרינה כוללת גבוהה- היא כמות כוללת של קרינה שסופג גוף האדם שהיא מעל 1 גריי (100 ראד)
- ברמת חשיפה 1 גריי: הפרעות בדרכי העיכול, בחילות, הקאות, שלשולים, כאבי בטן, דימומים בדרכי העיכול
- ברמת חשיפה מעל 2.5 גריי: היפרתרמיה (עלייה חריגה בטמפ' הגוף)
- ברמת חשיפה מעל 4 גריי: פגיעה בעור, אריתמיה (הפרעות קצב), בצקות
- ברמת חשיפה מעל 9 גריי: תופעות נוירולוגיות: בלבול חושים, פירקוסים

השפעות גופניות של הקרינה

- **על מערכת יצירת הדם:** לויקופניה (מס' כדוריות דם לבנות נמוכה=מערכת חיסונית ירודה), אנמיה, לוקמיה
- **על העור:** נשירת שיער, כוויות, דלקת עור, סרטן עור
- **על העצמות:** נקרוזה של העצמות, סרטן עצם
- **על עדשת העין:** קטרקט (ירוד)
- **על איברי המין הפנימיים:** עקרות
- **עוברים:** מוות תוך רחמי, מיקרוצפאליה, פיגור שכלי, סרטן

השפעה גנטית תורשתית: הנזק מופיע אצל הצאצאים של הורים שספגו קרינה אשר פגעו בתאי הרבייה שלהם. אלה הן מוטציות תורשתיות. מחלות אלה יכולות להופיע גם לאחר מספר דורות

נושאי ההרצאה

סוגי קרינה וחשיפה

עקרונות ההגנה מקרינה ויישומם

תקנות הבטיחות בעבודה

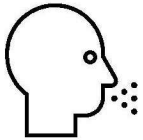
חובות המעסיק ועובד קרינה

עקרונות ההגנה מקרינה



האם השימוש בקרינה מחוייב ואין אפשרות להשתמש בחומר אחר
תועלת > נזק

הצדקה של העיסוק



כמה שפחות לחשוף את העובד ואת הסביבה

**אופטימציה של
ההגנה מקרינה**



גבולות מנה לאנשים מהציבור, לעובדי קרינה ולפעולות מסויימות

הגבלת מנות הקרינה

כללים לעבודה נכונה בקרינה

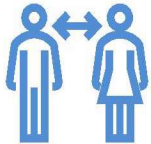
ALARA (As Low As is Reasonably Achievable)

כל אחד חייב לעשות כל מאמץ סביר להפחתת החשיפה לקרינה ככל הניתן



צמצום זמן

הקטנת משך זמן השהייה ליד מקור הקרינה המייננת



הגדלת המרחק

הגדלת המרחק ממקור הקרינה המייננת מקטינה את החשיפה פי ריבוע המרחק



שימוש במיגון

יש להשתמש במיגון אישי תקין ולהקפיד על תקינות מיגון הכללי

מדידת קרינה מייננת

יש סוגים רבים של מכשירים למדידת קרינה מייננת

1. גלאי ינן - הקרינה גורמת לינן הגז שבגלאי ונוצר זרם חשמלי. עוצמת הזרם יחסי לכמות הקרינה ולעוצמתה

מונה גייגר – מתאים בעיקר לקרינות בטא, גאמא ורנטגן

לקרינת אלפא יש מכשירים יעודיים

2. גלאי נצנץ – בנוי מחומר שפולט אור כאשר פוגעת בו קרינה

הערכים המוצגים הם ספירות לדקה או לשנייה (cps/cpm) או ביחידות של $\mu\text{SV/hr}$ (קצב מנת קרינה)



נושאי ההרצאה

סוגי קרינה וחשיפה

עקרונות ההגנה מקרינה ויישומם

תקנות הבטיחות בעבודה

חובות המעסיק ועובד קרינה

תקנות הבטיחות בעבודה – משרד העבודה

השם: תקנות הבטיחות בעבודה (גיהות תעסוקתית ובריאות העוסקים- בקרינה מייננת), התשנ"ג – 1992

הגדרות:

"חשיפה תעסוקתית" - חשיפת גופו של אדם לקרינה מייננת או לזיהום רדיואקטיבי עקב תעסוקה, הכשרה מקצועית, לימודים או מחקר, למעט חשיפתו לקרינת רקע טבעי ולקרינה שמטרתה טיפול או אבחון רפואיים בו עצמו;

"חשיפה חיצונית" - חשיפה תעסוקתית ממקור קרינה שמחוץ לגופו של אדם;

"עובד בעל סיכון לחשיפה חיצונית" - יש לו גישה לאזור בו קצב מנת הקרינה עולה על 2.5 מיקרוסיוורט בשעה;

"חשיפה פנימית" - חשיפה תעסוקתית ממקור קרינה הנמצא בתוך גופו של אדם;

תקנות הבטיחות בעבודה – משרד העבודה

- **"מנת קרינה"** - כמות האנרגיה הנבלעת ביחידת מסה של גוף האדם עקב חשיפתו לקרינה מייננת.
- **"מנת קרינה נבלעת"** - האנרגיה הממוצעת הנמסרת ע"י הקרינה המייננת ליחידת מסה של חומר;
- **"מנת קרינה מחוייבת"** - מנת קרינה מוכללת לאדם שתצטבר בתוך 50 שנים לאחר קליטת חומר רדיואקטיבי לתוך גופו
- **"מנה גבולית"** - הנמוכה מבין מנות הקרינה כמפורט בתוספת השנייה לתקנות הבטיחות בעבודה (ניטור סביבתי וניטור ביולוגי של עובדים בגורמים מזיקים);

תוכן התקנות

- הגבלת החשיפה לקרינה
- חובות המעסיק
- ניטור אישי של עובדים
- תכנית בטיחות קרינה

תקנות הבטיחות בעבודה – משרד העבודה

הגבלת החשיפה

• החשיפה התעסוקתית לעובד קרינה לא תעלה על אלה:

1. המנה הגבולית בתוך תקופה של שנה
2. כל הגבלה נוספת המפורטת בתוספת השנייה לתקנות הניטור
3. **במקרים חריגים:** יוכל מעביד, לאחר שנועץ במפקח קרינה, לאשר חשיפה חד-פעמית של עד כפל המנה הגבולית, ובכל חיי עובד הקרינה צבירת חשיפות חריגות עד כדי חמש פעמים המנה הגבולית;
4. המנה המרבית לעובד לצורך הצלת חיים של בני אדם או למניעת אסון רבתי תהיה כאמור בתקן;
5. לא תעלה חשיפת נשים בגיל הפוריות או נשים בהריון על האמור בתקנות עבודת נשים (עבודות בקרינה מייננת)

גבולות חשיפה לקרינה

הוגדרו גבולות חשיפה שנתיים כדי למנוע השפעות כלשהן:
תקנות הבטיחות בעבודה (ניטור סביבתי וניטור ביולוגי של עובדים בגורמים מזיקים), התשע"א-2011.

גבול המנה השנתי (mSv)	
20-50 50mSv מנה מקסימלית לשנה ועד 100mSv בחמש שנים (ממוצע 20mSv בשנה)	עובד קרינה (כל הגוף)**
1	איש מהציבור (כל הגוף)**
1 (לכל תקופת ההריון)	עובדת בהריון

** לאזורים ספציפיים בגוף האדם תיתכן מנה גבולית שונה

**עובד קרינה מחויב לעבור בדיקות רפואיות תעסוקתיות מידי
שנה וכן הדרכות בטיחות קרינה מייננת שנתיות**

חובות המעסיק

בכל מקום עבודה שבו מעבדים חומרים רדיואוקטיביים, משתמשים או מחזיקים בהם, וכן מפעילים מכשירי קרינה או מקורות קרינה או מחזיקים בהם, ינקוט הבעל או המעביד כשהוא או עובדיו כולם או מקצתם עלולים להיחשף לקרינה מייננת מעל עשירית מהמנה הגבולית אמצעים אלה (שנקבעו בתקנה 4 לתקנות קרינה)

הם:

1. **הכנת תכנית בטיחות קרינה** שאישרה מעבדה מוסמכת לקרינה, ובה סוגי העובדים שלגביהם יש להנהיג בקרה אישית.
2. **מינוי ממונה על בטיחות קרינה** מוסמך על ידי מכון מוסמך להדרכה.
3. **יספק לעובדיו ביגוד מגן, ציוד מגן, מכשירי מדידה וניטור.**
4. **ביצוע בדיקות סביבתיות תעסוקתיות** באמצעות מעבדות מוסמכות לקרינה שמעסיקות בודקי קרינה מוסמכים לפחות אחת לשנה.
5. **ירשום את תוצאות הבדיקות הסביבתיות התעסוקתיות** לרבות דו"מטריה, רדיוטוקסיקולוגיה, מיפוי רמות קרינה, תאריכי גיול מכשירים וכו'.
6. **יבדוק וכייל באמצעות מעבדה מוסמכת לקרינה** כל מכשיר בטיחותי לניטור קרינה
7. **פירסום נוהלי עבודה בטיחות** בכל מקום העבודה עם קרינה מייננת.
8. **הדרכת העובדים** בנושאי בטיחות קרינה בתחילת עבודתם וביצוע ריענון ידע בבטיחות מדי שנה.

חובות המעסיק

9. **יתחום אזורים בהם צפויה חשיפה למנת קרינה מעבר לעשירית המנה הגבולית בשנה.**
10. **דיווח למפקח עבודה אזורי בכתב על חשיפה במקום העבודה**
11. **ביצוע מעקב רפואי לעובדים עוסקים בקרינה. למידע נוסף בנושא בדיקות רפואיות לעובדים**
12. **ינקוט כל פעולה שתהא דרושה כד למנוע מכל הנמצא בחצריו חשיפה לקרינה מייננת**
13. **יפנה למעבדה מוסמכת לקרינה בכל מקרה ש ספק לגבי אמצעי הבטיחות שיש לנקוט ויפעל לפיה הנחיותיה.**
14. **ידווח מראש למפקח עבודה אזורי על כל שינוי במקום העבודה העלול להשפיע באופן מהותי על תוכנית הבטיחות.**
15. **ימסור לעובדי הקרינה שבחצריו תוצאות הבדיקות הסביבתיות התעסוקתיות שערכה מעבדה מוסמכת לקרינה.**

תקנות הבטיחות בעבודה – משרד העבודה

חובותיו של עובד קרינה

1. ימלא בקפידה אחר הוראות הבטיחות וכן יקפיד להשתמש באמצעי בטיחות קרינה, ציוד מגן, מכשור מדידה וניטור וכן אמצעי הבקרה האישית.
2. לא יאכל, לא ישתה ולא יעשן במקום שבו עובדים בחומרים רדיואקטיביים פתוחים;
3. יתייצב לכל הדרכה שהזמינו אליה
4. יתייצב לביצוע בדיקות רפואיות פעם בשנה
5. יודיע על כל תקלה ועל כל סיכון קרינה שנתגלה לו במהלך עבודתו
6. אם הוא חשוף לקרינה מייננת במספר מקומות עבודה, יודיע על כך לכל אחד ממעבידיו אשר ימסור את המידע למפקח עבודה איזורי

השגחה רפואית ובדיקות רפואיות בהתאם לתקנות

התקנות החדשות קובעות שלא יועבד אדם בקרינה מייננת אלא אם כן עבר **בדיקה רפואית** ע"י רופא מורשה משירות רפואי מוסמך, שיקבע את התאמתו להתחיל או להמשיך לעבוד בקרינה מייננת:

1. בדיקה רפואית ראשונית - בסמוך לתחילת עבודתו;

2. בדיקה רפואית חוזרת - אחת לשנה לפחות;

3. בדיקה רפואית נוספת:

- לאחר שנעדר מעבודתו מעל ל-60 יום עקב מחלה ממושכת;

- לאחר שנחשף למנת קרינה העולה על המנה הגבולית;

- בחודש הרביעי להריון לגבי עובדת קרינה בהריון.

הגבלת החשיפה לקרינה לעובדות בהיריון

- מנות החשיפה הגבוליות לקרינה לנשים בהיריון נקבעו בהתאם לסיכון לעובר והן שונות מהמנה הגבולית לעובדת שאינה בהיריון.
- לכן יש להודיע למעסיק על ההיריון סמוך ככל האפשר למועד שבו נודע לעובדת.
- עובדות בקרינה מייננת נדרשות להיבדק על ידי רופא תעסוקתי במהלך חודש רביעי להריון, לצורך קביעת התאמתן להמשך עבודה בקרינה.
- אדם מן הציבור 1mSv/year
- נשים בהיריון ($1\text{mSv/pregnancy period}$)

תקנות המשרד לאיכות הסביבה

תקנות הרוקחים (יסודות רדיואקטיביים ומוצריהם) 1980

"קרינה מייננת" - קרינה אלקטרומגנטית או חלקיקית המסוגלת לייצר יונים, באופן ישיר או בעקיפין, בעברה דרך חומר;

"חומר רדיואקטיבי" - חומר הפולט באופן ספונטני קרינה מייננת;

הגבלת עיסוק – לא יעסוק אדם בקרינה מייננת, במתקני קרינה, במיתקנים רדיואקטיביים ובמוצרים המכילים חומרים רדיואקטיביים אלא אם מולאו הוראות תקנות אלה ובהתאם להם.

עיסוק עם חומרים רדיואקטיביים – לא יעסוק אדם בחומר רדיואקטיבי או במוצר המכיל חומר רדיואקטיבי אלא על פי היתר ובהתאם לתנאיו; הממונה (על הקרינה סביבתית/רפואית) לא יתן היתר לעסוק בחומר או במוצר כאמור, אם הכיל חומר רדיואקטיבי בכמות העולה על המפורט בתוספת הראשונה, אלא לאחר קבלת אישור מהמנהל (המנהל של הועדה לאנרגיה אטומית למתקנים רבי עוצמה)

עיסוק עם חומרים רדיואקטיביים – לא יעסוק אדם במכשיר קרינה אלא על פי היתר ובהתאם לתנאיו

מפורט תהליך הבקשה להיתר:

- הגשת בקשה מפורטת כולל תוכנית בטיחות והערכת סיכונים
- תשלום אגרה בעד היתר מהממונה על קרינה סביבתית/מהממונה לקרינה רפואית
- תוקפו של כל היתר שנה

שילוט בחדרים עם קרינה מייננת

