

קרינה מייננת

קורס ממוני בטיחות בעבודה
כרמל בטיחות

ד"ר זהר בן-ברק דילס

13.09.2023

נושאי ההרצאה

סוגי קרינה וחשיפה

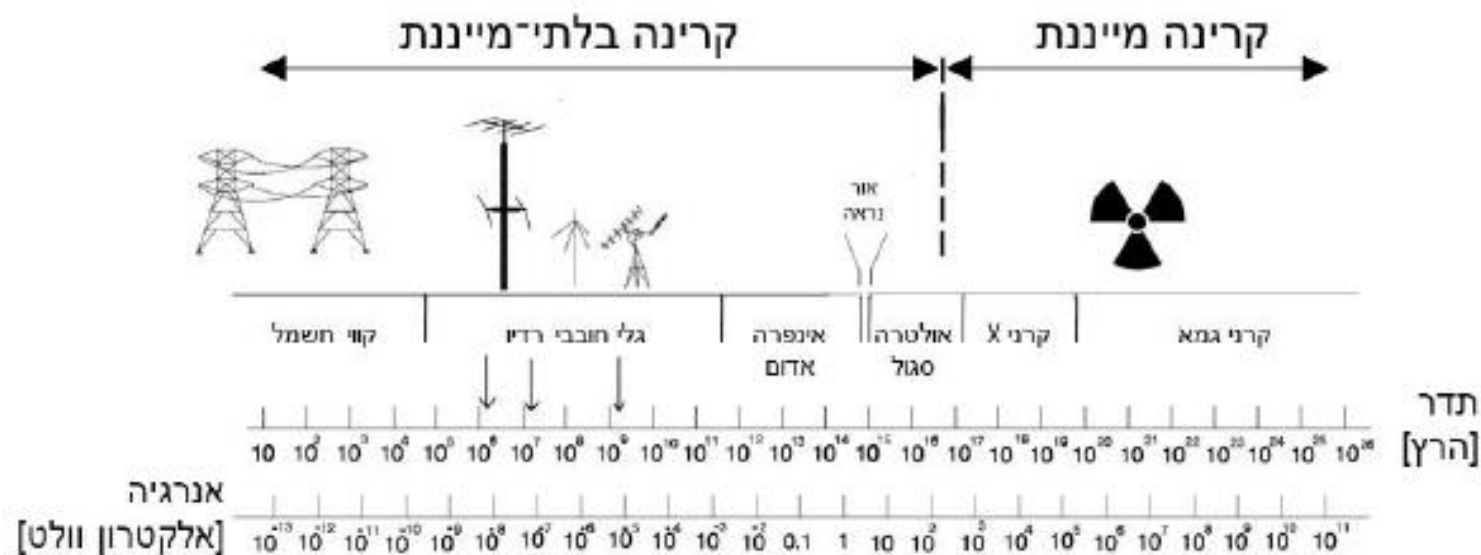
עקרונות ההגנה מקרינה ויישומם

תקנות הבטיחות בעבודה

חובות המעסיק ועובד קרינה

קרינה

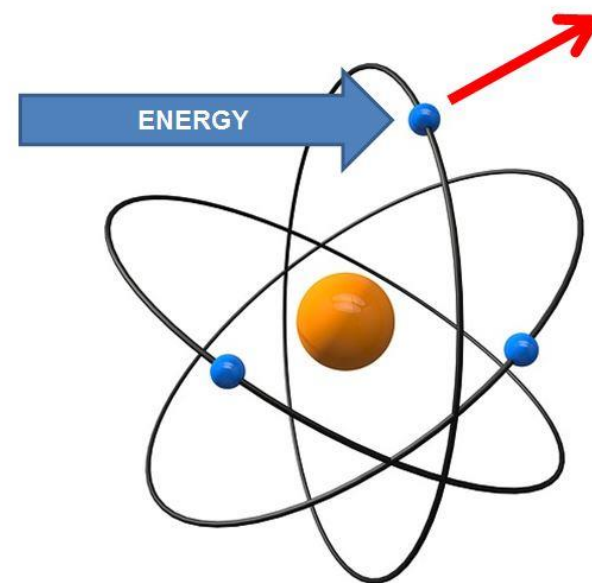
קרינה – אנרגיה הנפלטת מחומר ומתפשטת בסביבה. האנרגיה נעה בצורה מחזורית של גלים או בצורה של חלקיקים נושאי אנרגיה. ישנם סוגים שונים של קרינה, שהם בעלי אנרגיה שונה ולהם השפעה שונה על בריאות האדם והסביבה.



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

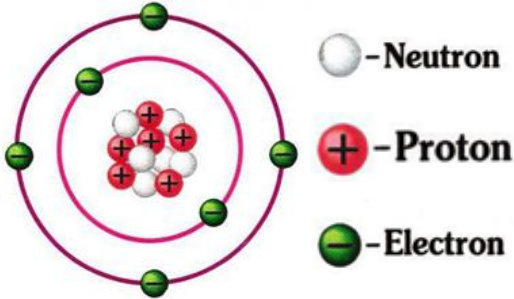
קרינה מייננת

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



מאפייני החלקיקים שבאטום

מסה יחסית ימ"א (יחידת מסה אטומית)	המטען	הסימן	החלקיק
1	0	n	ניוטرون
1	+1	p ⁺	פרוטון
1/1800	-1	e ⁻	אלקטרון



באטום נייטרלי מספר האלקטרונים שווה למספר הפרוטונים
יון – מספר הפרוטונים שונה ממספר האלקטרונים



יסוד כימי

- קיימים 92 יסודות כימיים טבעיים, 29

A_ZX מלאכותיים

- X סמל כימי של אטום

- A מספר מסה – מספר הנוקלאונים שבגרעין

(סכום הפרוטונים והנויטרונים בגרעין)

- Z מספר אטומי – מספר הפרוטונים שבגרעין

האטום.

- לכל יסוד מספר אטומי משלו

טבלה מחזורית של היסודות

1 H מימן 1.008																	2 He הליום 4.003
3 Li ליתיום 6.941	4 Be בריליום 9.0121											5 B בור 10.811	6 C פחמן 12.0107	7 N חנקן 14.0067	8 O חמצן 15.9994	9 F פלואור 18.9984	10 Ne ניאון 20.180
11 Na נתרן 22.990	12 Mg מגנזיום 24.305											13 Al אלומיניום 26.9815	14 Si צורן 28.0855	15 P זרחן 30.9737	16 S גפרית 32.065	17 Cl כלור 35.453	18 Ar ארגון 39.948
19 K אשלגן 39.098	20 Ca סידן 40.078	21 Sc סקנדיום 44.9559	22 Ti טיטניום 47.867	23 V ונדיום 50.9415	24 Cr כרום 51.9961	25 Mn מנגן 54.938	26 Fe ברזל 55.845	27 Co קובלט 58.9331	28 Ni ניקל 58.6934	29 Cu נחושת 63.546	30 Zn אבץ 65.38	31 Ga גליום 69.729	32 Ge גרמניום 72.64	33 As ארסן 74.9216	34 Se סלניום 78.96	35 Br ברום 79.904	36 Kr קריפטון 83.789
37 Rb רובידיום 85.468	38 Sr סטרונציום 87.62	39 Y איטריום 88.9058	40 Zr זרקוניום 91.224	41 Nb ניאוביום 92.9063	42 Mo מוליבדן 95.96	43 Tc טכנציום [98]	44 Ru רוטניום 101.07	45 Rh רודיום 102.9055	46 Pd פלדיום 106.42	47 Ag כסף 107.8682	48 Cd קדמיום 112.411	49 In אינדיום 114.818	50 Sn בדיל 118.71	51 Sb אנטימון 121.76	52 Te טלור 127.6	53 I יוד 126.9044	54 Xe קסנון 131.294
55 Cs צזיום 132.905	56 Ba בריום 137.327	57-71 לנטנידים	72 Hf הפניום 178.49	73 Ta טנטלום 180.9478	74 W טונגסטן 183.84	75 Re רניום 186.207	76 Os אוסמיום 190.23	77 Ir אירידיום 192.217	78 Pt פלטינה 195.084	79 Au זהב 196.9665	80 Hg כספית 200.59	81 Tl תליום 204.3833	82 Pb עופרת 207.2	83 Bi ביסמוט 208.9804	84 Po פולוניום [209]	85 At אסטטין [210]	86 Rn רדון 222.018
87 Fr פרנציום [223]	88 Ra רדיום [226]	89-103 אקטינידים	104 Rf רוטפורדיום [267]	105 Db דובניום [268]	106 Sg סיבוגיום [271]	107 Bh בוהריום [272]	108 Hs הסיום [270]	109 Mt מיטנריום [276]	110 Ds דרמשטיום [281]	111 Rg רעטגיום [280]	112 Cn קופרניקיום [285]	113 Nh ניהוניום [286]	114 Fl פלרוביום [289]	115 Mc מוסקוביום [288]	116 Lv ליברמוריום [293]	117 Ts טנסין [294]	118 Og אוגנסון [294]

שם היסוד ← פחמן

מסה מולרית (גרם מול) ← 12.0107

מספר אטומי ← 6

סמל היסוד ← C

מספר אטומי ← 6

שם היסוד ← פחמן

מסה מולרית (גרם / מול) ← 12.0107

סמל היסוד ← C

57 La לנטנום 138.9054	58 Ce צרום 140.116	59 Pr פרסיאדימיום 140.90765	60 Nd ניאודימיום 144.242	61 Pm פרומתיום [145]	62 Sm סמיום 150.36	63 Eu אירופיום 151.964	64 Gd גדוליניום 157.25	65 Tb טריביום 158.9253	66 Dy דיספרוסיום 162.5	67 Ho הולםיום 164.9303	68 Er ארביום 167.259	69 Tm תוליום 168.9342	70 Yb איטרביום 173.054	71 Lu לוטטיום 174.9668
89 Ac אקטיניום [227]	90 Th תוריום 232.038	91 Pa פרוטאקטיניום 231.0358	92 U אורניום 238.0289	93 Np נפטוניום [237]	94 Pu פלוטוניום [244]	95 Am אמריקיום [243]	96 Cm קוריום [247]	97 Bk ברקליום [247]	98 Cf הליפורניום [251]	99 Es אינשטייניום [252]	100 Fm פרמיום [257]	101 Md מנדלביום [258]	102 No נובליום [262]	103 Lr לורנציום [262]

- מקרא:
- מתכות אחרות

מתכות מעבר

לנטנידים

מתכות אלקליות עפרורית

מתכת למחצה

מתכות אלקלית

אל מתכות

הלוגנים

אקטינידים

גזים אצילים

יסודות רדיואקטיבים

יסודות מלאכותיים

H
גז

Hg
נחל

Li
מוצק

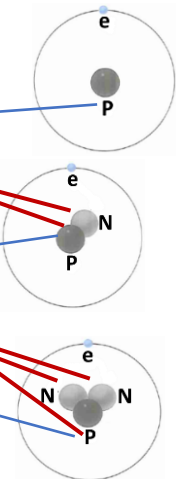
עריכה ותרגום: המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע, תשע"ט

איזוטופים

התכונות הכימיות של היסוד נקבעות לפי מספר הפרוטונים שבגרעין ולא תלויות במספר הנויטרונים גרעינים בעלי אותו מספר פרוטונים אך מספר שונה של נויטרונים הם איזוטופים של אותו יסוד

איזוטופים של מימן

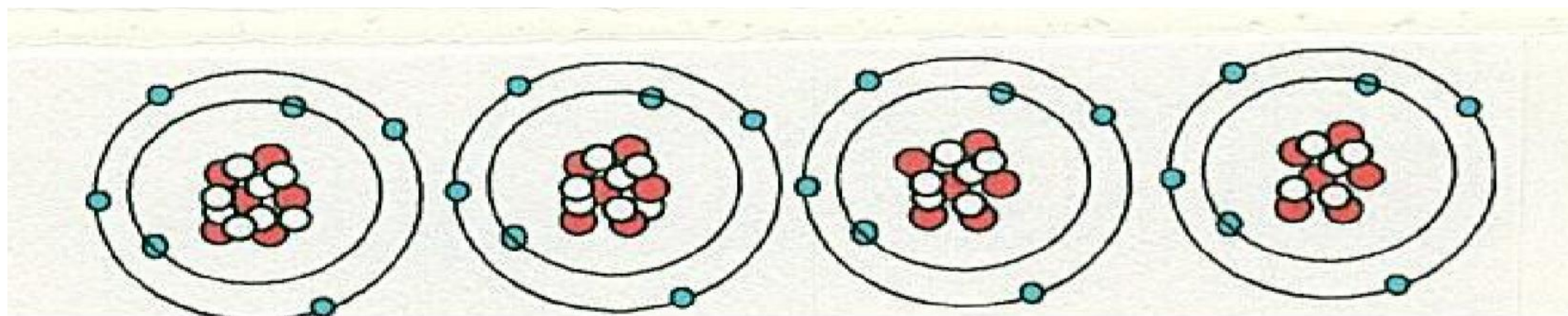
סימון האיזוטופ	שם האיזוטופ	מספר פרוטונים	מספר נויטרונים	איזוטופ יציב	איזוטופ רדיואקטיבי
${}^1_1\text{H}$	מימן	1	0	כן	לא
${}^2_1\text{H}$	דאוטריום	1	1	כן	לא
${}^3_1\text{H}$	טריטיום	1	2	לא	כן



איזוטופי הפחמן

לפחמן יש 12 איזוטופים, מתוכם 2 יציבים

דוגמא ל- 4 איזוטופים



פחמן 11

6 – פרוטונים

5 – נויטרונים

לא יציב

פחמן 12

6 – פרוטונים

6 – נויטרונים

יציב

פחמן 13

6 – פרוטונים

7 – נויטרונים

יציב

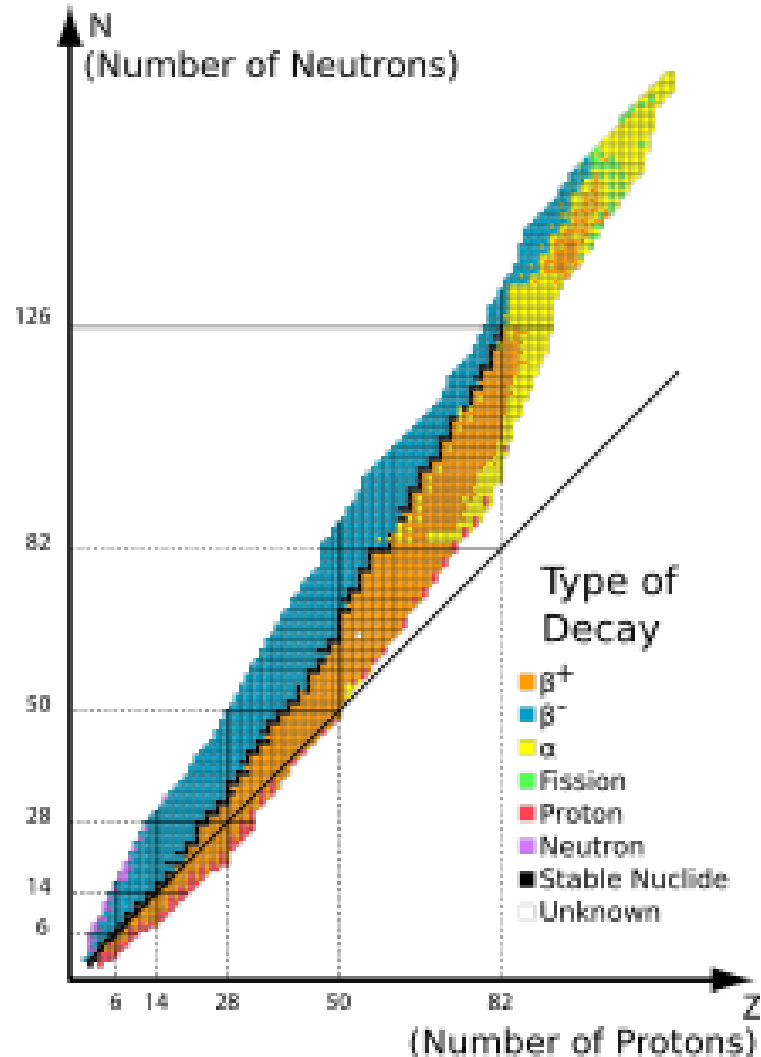
פחמן 14

6 – פרוטונים

8 – נויטרונים

לא יציב

איזוטופים



התכונות הכימיות של היסוד נקבעות לפי מספר הפרוטונים שבגרעין ולא תלויות במספר הנויטרונים

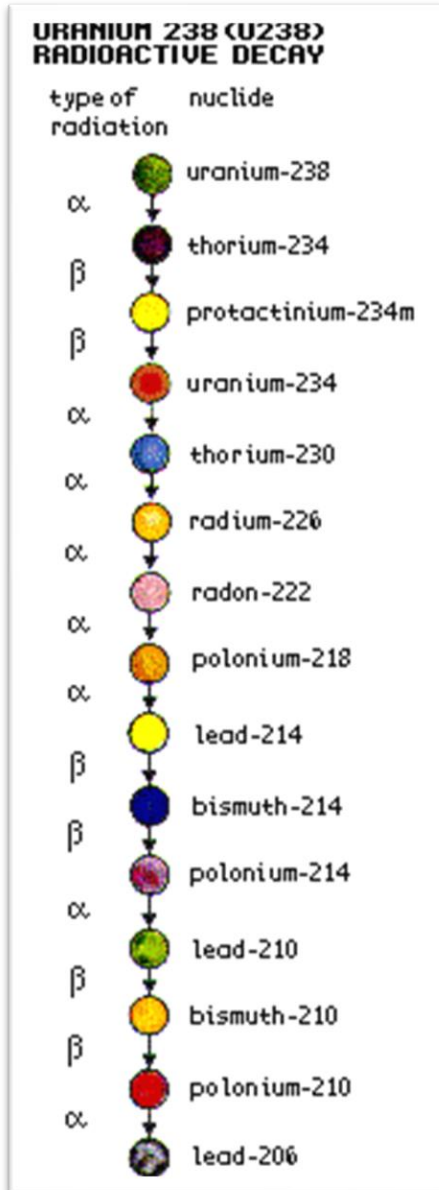
גרעינים בעלי אותו מספר פרוטונים אך מספר שונה של נויטרונים הם איזוטופים של אותו יסוד

ככל שהמספר האטומי גבוה יותר (מספר פרוטונים גדול יותר) בגרעיני האיזוטופים

היציבים יהיו יותר נויטרונים מפרוטונים

איזוטופ לא יציב = איזוטופ רדיואקטיבי

התפרקות רדיואקטיבית



שרשרת דעיכה של אורניום-238

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

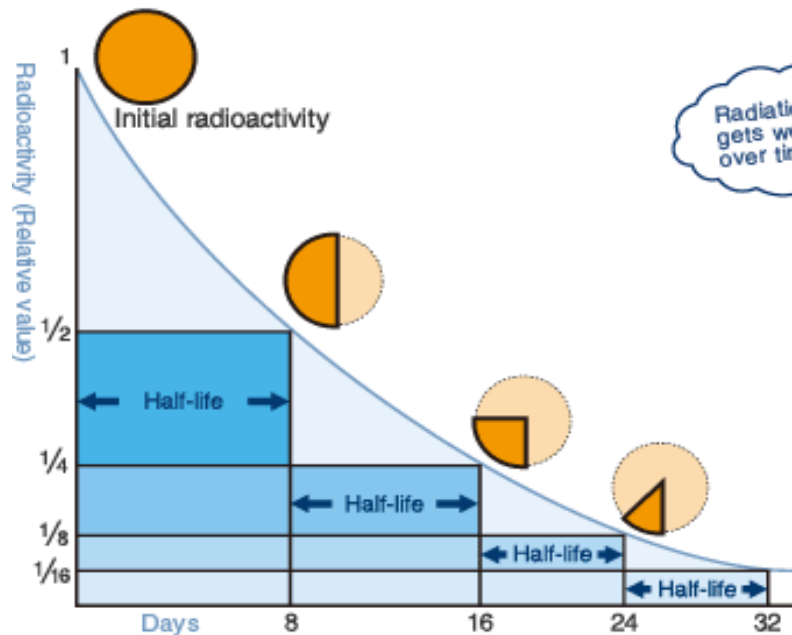
- הגרעין החדש יהיה תמיד במצב יציב יותר.

- לעיתים תהיינה התפרקויות נוספות עד להגעה למצב יציב (שרשרת דעיכה)

זמן מחצית חיים

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

[How radioactivity decays] Iodine 131



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

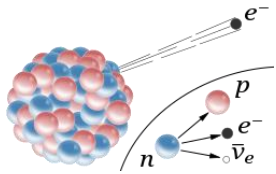
N_t מספר הרדיונוקלידים בזמן כלשהו t
 N_0 מספר הרדיונוקלידים בהתחלה
 λ קבוע הדעיכה ספציפי לחומר

– זמן מחצית חיים דוגמאות

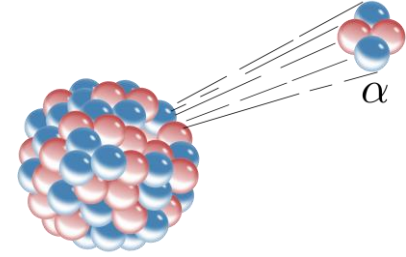
רדיואיזוטופ	T _{1/2}	שימושים
U-238	4.7 מיליארד שנים	אורניום טבעי מורכב מכמה איזוטופים. משמש להנעת כורים גרעיניים. נשק גרעיני הרדיואיזוטופ U235
C-14	5730 שנים	מגיע כתוצאה מקרינה קוסמית. משמש לתיארוך ובמחקר
Cs-137	30.2 שנים	משמש להקרנות ולטיפול בגידולים. רדיוגרפיה תעשייתית
H-3	12.3 שנים	סימון במחקר
Ir-192	74 ימים	רדיוגרפיה תעשייתית. טיפול בסרטן
Tc-99m	6 שעות	דימות

סוגי קרינה מייננת

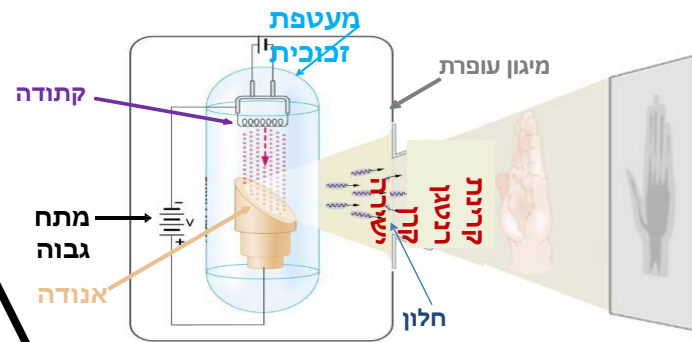
קרינת בטא β



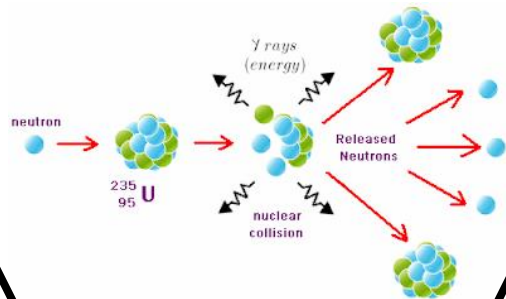
קרינת אלפא α



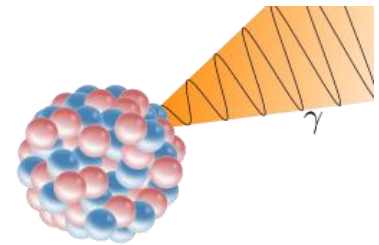
קרינת רנטגן (X) -

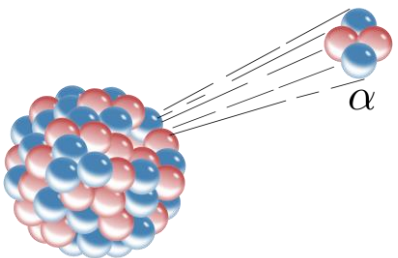


קרינת נויטרונים



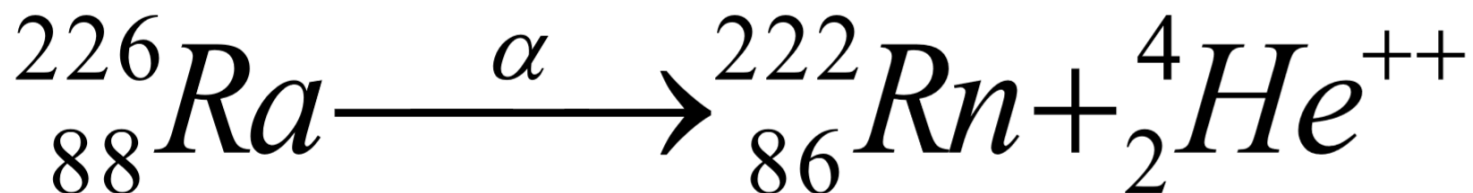
קרינת גאמא γ





קרינת אלפא α

קרינה של חלקיקים 2 נויטרונים 2 פרוטונים ללא האלקטרונים (גרעין של היסוד He)



רדיום 226
פולט **חלקיק אלפא** =
ונוצר יסוד חדש **ראדון 222**

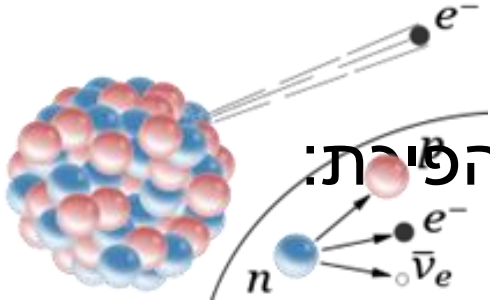
{ 88 פרוטונים + 138 נויטרונים }	
{ 2 פרוטונים + 2 נויטרונים }	
{ 86 פרוטונים + 136 נויטרונים }	

נעה מרחק קצר באוויר (פחות מ-10 ס"מ וברקמות 0.6 מ"מ)

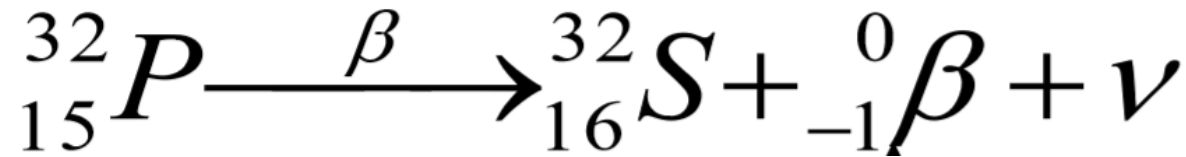
מיגון – נייר מספיק. תאי עור

מסוכנת בבליעה או בנשימה

קרינת בטא β



נפלטת כאשר בגרעין של איזוטופ רדיואקטיבי מתרחש תהליך של הפיכת:
ניטרון לפרוטון ונפלט אלקטרון



דוגמא:

זרחן 32

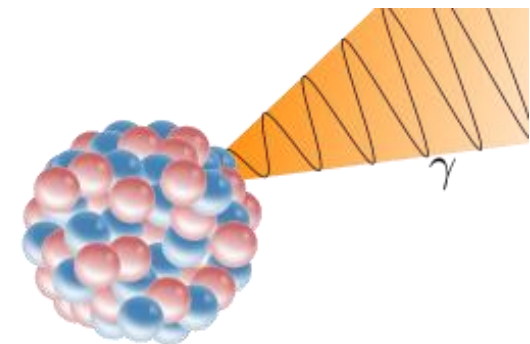
פולט קרינת ביתא מינוס (אלקטרון) נוצר חלקיק חדש: גופרית 32

החלקיקים חודרים לתוך החומר למרחק של עשרות מילימטרים בהתאם לאנרגיה שלהם ולסוג החומר

אנרגיה בטווח KeV-5Mev

מיגון – פרספקס, זכוכית

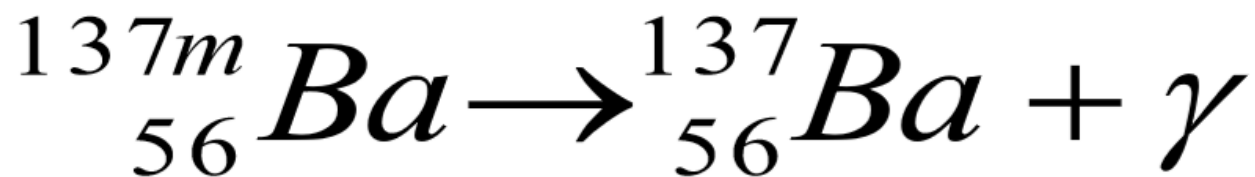
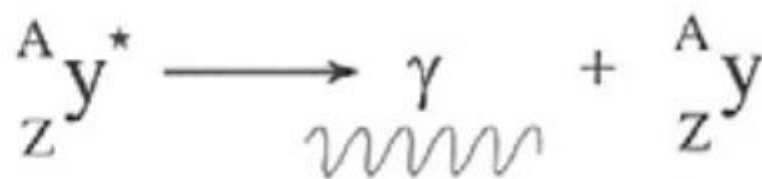
קרינת גאמא γ



מתרחשת כאשר הגרעין מעורר ודועך למצב יציב נפלטת מהגרעין קרינה אלקטרומגנטית מייננת כפוטון (לא קרינה חלקיקית)

A - מספר אטומי

Z - מספר מסה

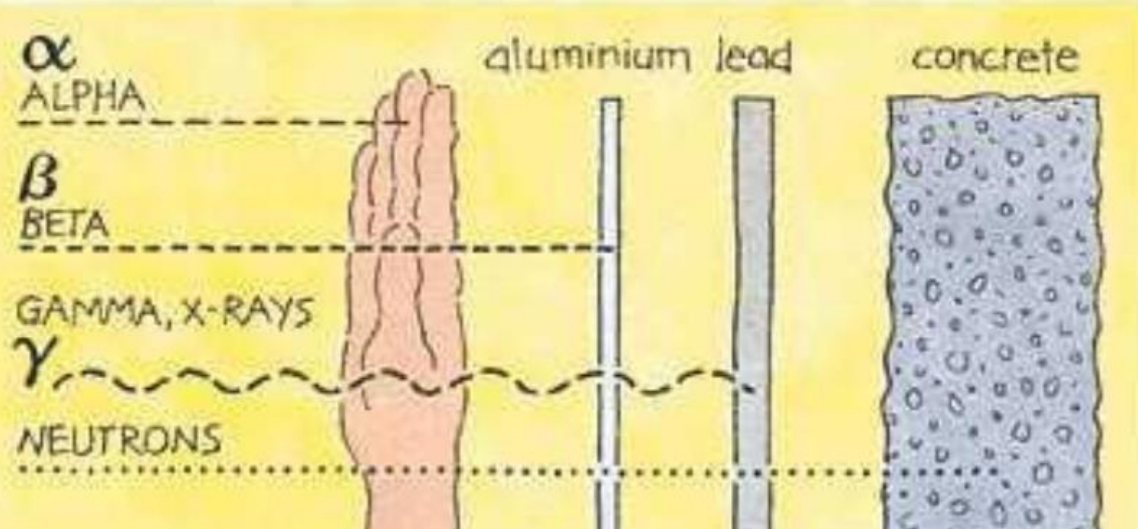


לא ניתן לעצירה אלא רק להנחתה/מיסוך ע"י עופרת, פלדה (חומרים עם צפיפות אלקטרונים גבוהה)

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.



אקטיביות

גודל פיסקלי המתאר את כמות החומר

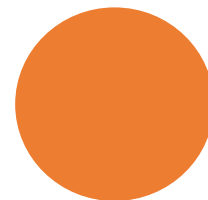
הרדיואקטיבי במונחים של קצב התפרקויות בחומר

(A)

יחידות:

בקרל – (Bq) – התפרקות אחת לשנייה

קיבי – (Ci) – כמות החומר הרדיואקטיבי בה
מתרחשות $3.7 * 10^{10}$ התפרקויות בשנייה



יחידות חשיפה

חשיפה - כמות המטען החשמלי הנוצר בנפח מסויים של אויר בעקבות מעבר קרינה מייננת בשדה

$1R$ Roentgen [R] – עוצמת הקרינה שתיצור $2 \cdot 10^9$ זוגות יונים ב- 1 סמ"ק אויר יבש

מנה נבלעת - כמות האנרגיה הנספגת בחומר כלשהו כתוצאה מפגיעת הקרינה בחומר

$1 Gy$ - ספיגה של 1 ג'אול ב-1 ק"ג חומר

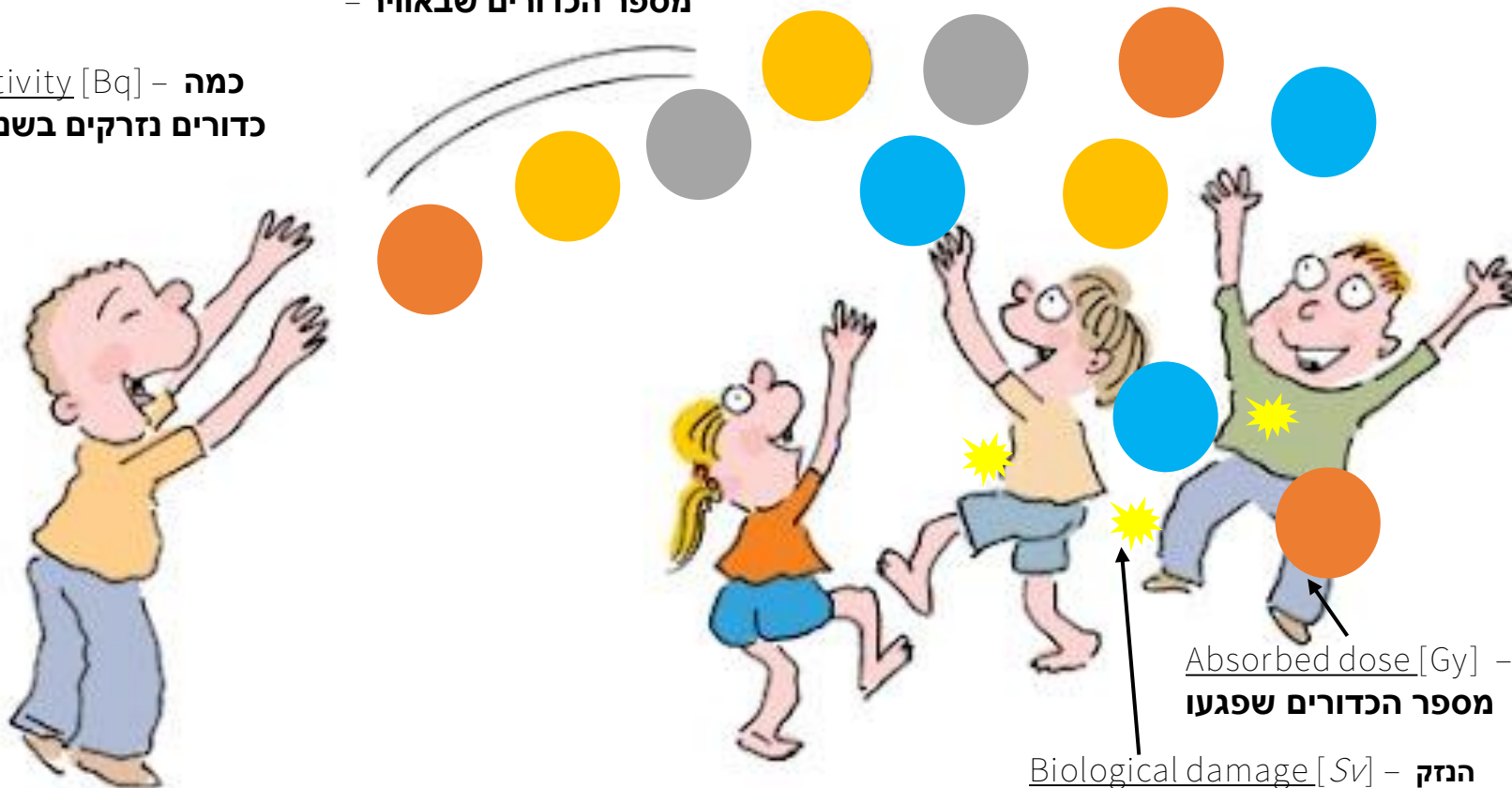
מנה אפקטיבית – הנזק שנגרם לרקמה/איבר מקרינה מסויימת. תלוי בסוג קרינה ובסוג איבר/רקמה

$1 Gy = 1 Sv$ *פקטור התאמה

יחידות חשיפה

Activity [Bq] – כמה
כדורים נזרקים בשנייה

Radiation exposure [R]
מספר הכדורים שבאוויר –



Absorbed dose [Gy] –
מספר הכדורים שפגעו

Biological damage [Sv] – הנזק
שנגרם כתוצאה מהפגיעה של הכדור

RAD – Radiation Absorbed Dose
REM - Radiation Equivalent in Men

1 Gy (Gray) = 100 RAD
1 Sv (Sievert) = 100 REM

סוגי חשיפה

שני אופני חשיפה פנימית וחיצונית:

חיצונית - חשיפה הנגרמת לאדם ממקור קרינה שמחוץ לגופו.

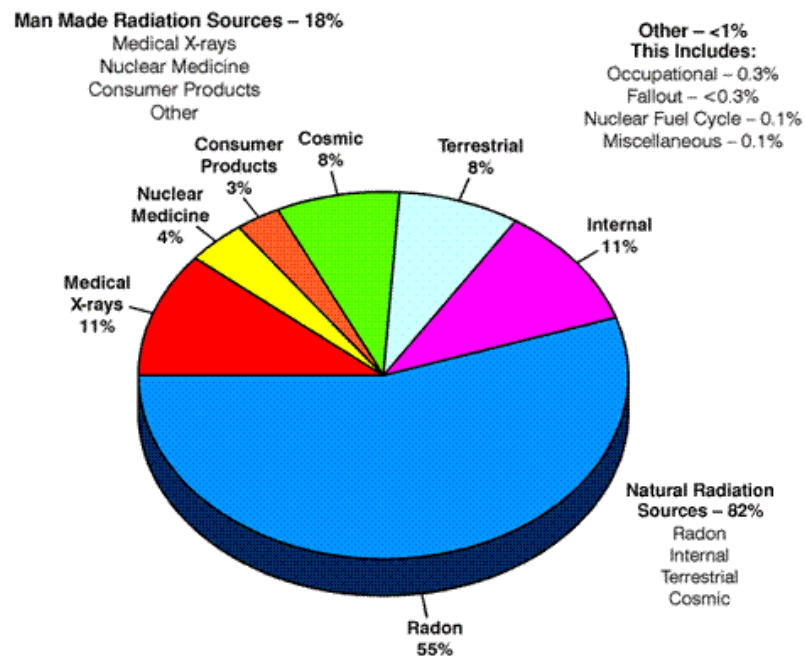
$$\alpha < \beta < \gamma$$

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

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

חשיפה יומיומית לקרינה

Ionizing Radiation Exposure to the Public



~ 2mSv

קרינת רקע
חשיפה רפואית
חשיפה תעסוקתית
אירוע רדיולוגי חריג

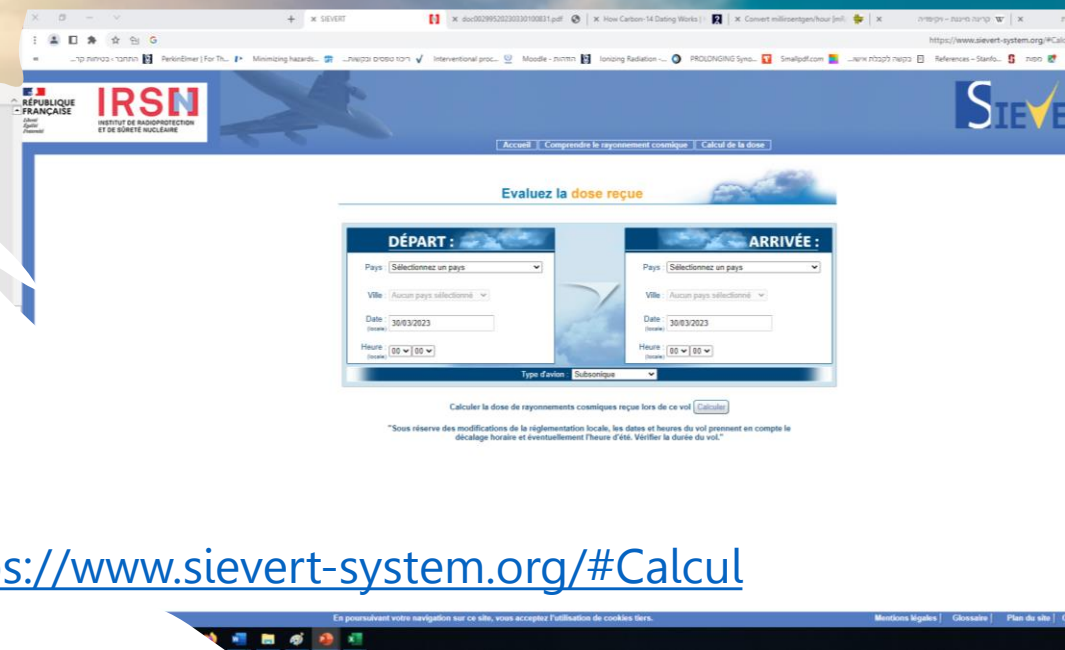
קרינת הרקע הנובעת מהחלל
החיצון, הקרקע ויסודות בגופנו
ובסביבה הקרובה

מחלת קרינה חריפה מופיעה לאחר חשיפה כל גופית בפרק זמן קצר ל: $100 \text{ REM} = 1 \text{ Sv}$

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

<https://www.sievert-system.org/#Calcul>



עישון – במהלך עישון נקלטים במערכת הנשימה חלקיקי Po-210 ($t_{1/2}=138.4$ days)

והריאות נחשפות לקרינה מייננת.

אשלגן-40 – מקור לקרינת רקע. נמצא בסלעים, בבטון וברקמות שריר. כך שקיים

בבשר אדום



חשיפה לקרינה מייננת

השפעות וודאיות

■ נגרמות אחרי קבלת מנות קרינה

גבוהות

■ קיים סף (1Gy^*)

■ גורמים למחלת קרינה אקוטית, מוות

■ הופעה תוך שעות-שבועות

יש חשיבות האם החשיפה היתה מקומית או כל גופית

חשיפה עורית לקרינה ברמה גבוהה יוצרת כוויות בדומה לכוויות חום

* Gy – גודל המודד את כמות הקרינה הנבלעת בחומר

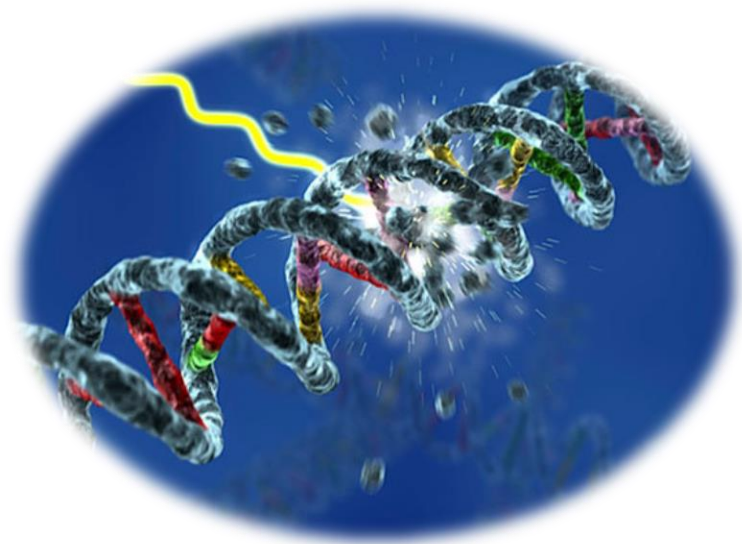
השפעות הסתברותיות

■ נגרמות אחרי קבלת מנות קרינה נמוכות

■ לא קיים סף

■ סרטן, אפקטיים תורשתיים

■ הופעה מאוחרת (שנים-עשרות שנים)



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

ערכי חשיפה ממוצעת

קרינת רקע בישראל	2mSv
צילום דנטלי	0.01 mSv
צילום חזה	0.02 mSv
טיסה ת"א – ניו יורק	0.05 mSv
ממוגרפיה	0.4 mSv
CT (ראש וגוף)	10 mSv
הרס תאי לימפה	500 mSv

גודל המשקלל את סוג הקרינה והנזקים הביולוגיים בגוף – Sv (Sivert) or mSv

נושאי ההרצאה

סוגי קרינה וחשיפה

עקרונות ההגנה מקרינה ויישומם

תקנות הבטיחות בעבודה

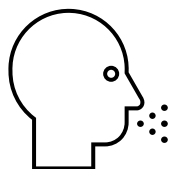
חובות המעסיק ועובד קרינה

עקרונות ההגנה מקרינה



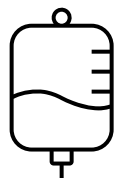
האם השימוש בקרינה מחייב ואין אפשרות להשתמש בחומר אחר
תועלת > נזק

הצדקה של העיסוק



כמה שפחות לחשוף את העובד ואת הסביבה

**אופטימזציה של
ההגנה מקרינה**



גבולות מנה לאנשים מהציבור, לעובדי קרינה ולפעולות מסויימות

הגבלת מנות הקרינה

כללים לעבודה נכונה בקרינה

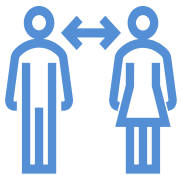
ALARA (As Low As is Reasonably Achievable)

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



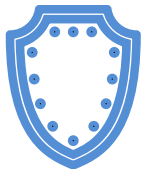
צמצום זמן

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

כללים לעבודה נכונה בקרינה

ALARA (As Low As is Reasonably Achievable)

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

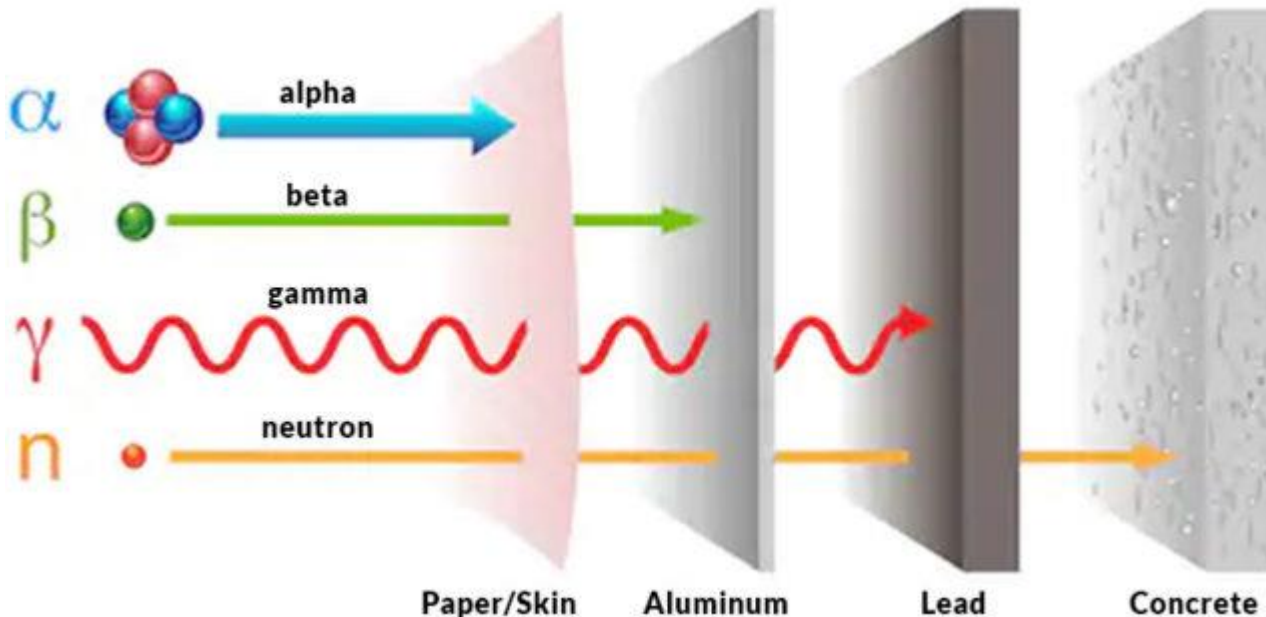
הגדלת המרחק ממקור הקרינה המייננת מקטינה את החשיפה פי ריבוע המרחק

$$I_1 * r_1^2 = I_2 * r_2^2$$

הגדלת המרחק

יש להשתמש במיגון אישי תקין (חלוק כפפות) ולהקפיד על תקינות מיגון הכללי

שימוש במיגון



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 מיקרוסיורט 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 רדיאוקטיביים, 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

תחילת עבודה בקרינה מייננת

בכל מקום עבודה שבו מעבדים חומרים רדיואקטיביים, משתמשים או מחזיקים בהם, וכן בכל מקום שבו מפעילים מכשירי קרינה או מקורות קרינה או מחזיקים בהם, ועקב כך עלולים העובדים שם להיחשף לקרינה מייננת מעל 1/10 המנה הגבולית - המעביד (או בעל מקום העבודה) חייב לנקוט בצעדים הבאים ולפעול כדלקמן:

1. למסור למפקח עבודה אזורי, אחת לשנה, תכנית בטיחות, שאישרה מעבדה מוסמכת לקרינה. התכנית צריכה לכלול כל מידע הנוגע לסיכוני קרינה אישיים וסביבתיים הקיים בחצרים שבהחזקתו.

2. למנות ממונה בטיחות קרינה (בעל ידע בבטיחות קרינה מייננת ובעל הסמכה מטעם מכון מוסמך להדרכה), בהסכמת הממונה (על קרינה סביבתית או על קרינה רפואית) ומפקח עבודה אזורי.

3. לספק לעובדים ביגוד מגן, ציוד מגן, מכשירי מדידה וניטור, וכן אמצעי בטיחות נאותים נוספים בכמויות שאישרה מעבדה מוסמכת לקרינה.

4. לערוך בחציו, באמצעות מעבדה מוסמכת לקרינה, בדיקות סביבתיות-תעסוקתיות, אחת לשנה לפחות.

5. לרשום את תוצאות הבדיקות הסביבתיות-תעסוקתיות, לרבות דו"מטריה, רדיוטוקסיקולוגיה, מיפוי רמות קרינה וכיו"ב, ביומן מעקב, שיימצא בכל עת במקום העבודה, אשר לא יבוער 30 שנים לפחות מיום הרישום האחרון בו.

6. להדריך ולאמן, בכתב ובעל-פה אחת לשנה לפחות, באמצעות ממונה בטיחות הקרינה או באמצעות מכון מוסמך להדרכה, כל עובד קרינה, להנחת דעתו של מפקח הקרינה.

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.



הגדרת עובדים

עובד קרינה

200 שעות בקרינה
בשנה

עלול לעבור עשירית
מהמנה השנתית
(5mSv)

- הדרכה ע"י ממונה פעם בשנה
- בדיקות תעסוקתיות שנתיות

בקרה אישית

- עלול להיחשף לשלוש עשיריות המנה הגבולית השנתית (15mSv)
- נמצא בסביבה שקצב הקרינה $2.5\mu\text{Sv/h}$
- עובד שעלול להיחשף ל-10ALI

עוסק קרינה

כל מי שמתקרב ברמה
כלשהי למקורות פולטי קרינה

- הדרכה ע"י ממונה פעם בשנה

- ניטור חיצוני – חשיפה לקרינה חיצונית (דוזימטרים)
- ניטור פנימי – חשיפה לקרינה שחדרה לגוף (רדיוטוקסיקולוגיה)

הנטילה הגבולית השנתית

ALI – Annual limit on intake

- חשיפה פנימית אינה נפסקת עם הפסקת הנטילה/יציאה מהאזור המזוהם אלא נמשכת כתלות בזמן מחצית החיים האפקטיבי של האיזוטופ.
- מנה גבולית – כמות החומר הרדיואקטיבי שחדירתו תגרום למנת קרינה אפקטיבית בגודל מגבלת המנה השנתית למשך 50 שנה.
- לכל איזוטופ בהתאם לאקטיביות שלו ALI שונה. ככל שה-ALI קטן יותר החומר מסוכן יותר

רדיונוקלאוטיד	נשימה (MBq)	בליעה (MBq)
^{32}P	25	8.3
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1,670	910
^{238}U	0.041	0.45
^{210}Po	0.0067	0.083

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

תוספת ראשונה		(תיקון התשס"ה)
(תקנות 3 ו-5)		
1.	(א) רדיונוקליד בעל רעילות רדיולוגית גבוהה מאוד *	37 ג'יגה בקרל (1 קירי)
	(ב) רדיונוקליד בעל רעילות רדיולוגית גבוהה*	3.7 טרה בקרל (100 קירי)
	(ג) רדיונוקליד בעל רעילות רדיולוגית בינונית*	37 טרה בקרל (1,000 קירי)
	(ד) רדיונוקליד בעל רעילות רדיולוגית נמוכה*	74 טרה בקרל (2,000 קירי)
2.	חומר רדיואקטיבי המכיל רדיונוקליד בלתי מזוהה הפולט קרינת אלפא	37 ג'יגה בקרל (1 קירי)
3.	חומר רדיואקטיבי בלתי מזוהה, שאינו פולט קרינת אלפא	3.7 טרה בקרל (100 קירי)

* סוג רדיונוקלידים לפי רעילות יחסית (ליחידת אקטיביות) שלהלן:

קבוצה 1 - רעילות גבוהה מאד

Pb-210	Ac-227	U-230	Np-237	Pu-241	Cm-242	Cm-246
Po-210	Th-227	U-232	Pu-238	Pu-242	Cm-243	Cf-249
Ra-223	Th-228	U-233	Pu-239	Am-241	Cm-244	Cf-250
Ra-226	Th-230	U-234	Pu-240	Am-243	Cm-245	Cf-252
Ra-228	Pa-231					

קבוצה 2 - רעילות גבוהה

Na-22	Sr-89	In-114m	I-126	Eu-152 (13 yrs)	Ac-228
Cl-36	Sr-90	Sb-124	I-131	Eu-154	Tl-204
Ca-45	Y-91	Sb-125	I-133	Tb-160	Bi-207
Sc-46	Zr-95	Te-127m	Cs-134	Tm-170	Bi-210
Mn-54	Ru-106	Te-129	Cs-137	Hf-181	At-211
Co-56	Ag-110m	I-124	Ba-140	Ta-182	Pb-212
Co-60	Cd-115m	I-125	Ce-144	Ir-192	Ra-224

קבוצה 3 - רעילות בינונית

Be-7	Fe-55	Sr-85	Ag-111	Ba-131	Er-169	Pt-197
C-14	Fe-59	Sr-91	Cd-109	La-140	Er-171	Au-196
F-18	Co-57	Y-90	Cd-115	Ce-141	Tm-171	Au-198
Na-24	Co-58	Y-92	In-115m	Ce-143	Yb-175	Au-199
Cl-38	Ni-63	Y-93	Sn-113	Pr-142	Lu-177	Hg-197
Si-31	Ni-65	Zr-97	Sn-125	Pr-143	W-181	Hg-197m
P-32	Cu-64	Nb-93m	Sb-122	Nd-147	W-185	Hg-203
S-35	Zn-65	Nb-95	Te-125m	Nd-149	W-187	Tl-200

היתר לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים

מדינת ישראל
המשרד להגנת הסביבה
אגף מניעת רעש וקרינה

☎ 02-6495869 ☎ 074-7675815 ✉ radiomat@sviva.gov.il 🌐 www.sviva.gov.il
✉ בנק ישראל 7, ירושלים 9195024

נספח מספר 45 להיתר מספר 3017 (מספר פנימי 3017) היתר הקמת מיתקן רדיואקטיבי ועיסוק בו

נספח מס' סידורי - 45
נספח מס' קבוע - 150

לפי תקנות 2, 3, 5, 8, 9 ו- 11 לתקנות הרוקחים (יסודות רדיואקטיביים ומוצריהם) התש"ס 1980, לפי שתוקנו (להלן - התקנות) ובכפוף לשאר הוראות התקנות והתנאים המפורטים להלן, ניתן בזה -

שם המוסד : הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

תוקף ההיתר מ- 26/07/2023 ועד 31/07/2024 והוא בא במקום ההיתר הקודם.

היתר להקמת מיתקן רדיואקטיבי ועיסוק בו בחומרים (רדיואקטיביים) המפורטים בהיתר זה, המהווה חלק בלתי נפרד מהיתר 3017 כלהלן :

שם המתקן :	מעבדת מחקר
מיקום המתקן :	פקולטה לרפואה - קומה 11, חדר 11.18
מטרת השימוש :	
סוג המוסד :	מחקר / השכלה
סוג מתקן :	מעבדה C
סוג העיסוק :	מחקר
סטטוס ההיתר :	בתוקף
הערות :	מ- 24/2/21
רמת סיכון :	3.89E-06 E

היתר לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים

מדינת ישראל
המשרד להגנת הסביבה
אגף מניעת רעש וקרינה

www.sviva.gov.il ☎ radiomat@sviva.gov.il ☎ 074-7675815 ☎ 02-6495869
בנק ישראל 7, ירושלים 9195024 ✉

טבלת הגבלת כמויות למקורות פתוחים במתקן, תאריך ספירת מלאי - 26/07/2023

מס' סידורי	איזוטופ	אקטיביות במלאי		אקטיביות תנועה		תקופה תנועה	אקטיביות ליחידה בסיסית/סט/קט		יישום	אקטיביות מרבית במתקן		סוג קרינה שבשימוש	מצב צבירה בתהליך	סטטוס מקור	לסכם ? כן/לא
1	H-3			370	MBq	חודש			מחקר	370	MBq	ביתא	נוזל	קיים	כן
2	C-14			370	MBq	שנה			מחקר	185	MBq	ביתא	נוזל	קיים	כן

סגור

ח' אב תשפ"ג
26 יולי 2023

הממונה על הקרינה הסביבתית

תאריך הדפסה

במקרה חרום העלול לגרום לחשיפת הציבור לקרינה מייננת או זיהום רדיואקטיבי לסביבה, כמו שריפה, פיצוץ, איבוד שליטה על מקור ר"א וכו', יש לדווח תוך 5 דקות למוקד הסביבה 6911*

שאלות

- **הבדל בין קרינה מייננת לבלתי מייננת**
- **סוגי קרינה מייננת וההבדלים ביניהן**
- **איך מודדים קרינה מייננת**
- **ניטור חיצוני ניטור פנימי – מי צריך, סוגים, איפה מבצעים.**
- **מה התהליך לאישור מקום עבודה לעבודה עם קרינה מייננת.**
- **מעבדת קרינה מייננת -בטיחות, סיכונים, אחריות**
- **מינוי ממונה בטיחות בקרינה (עובד של המפעל, עבר קורס והסמכה, אישור של מפקח עבודה אזורי ומפקח קרינה ראשי)**

The background features a repeating pattern of stylized nuclear symbols (three-leaf clover shapes) in a dark olive green color. A larger, semi-transparent version of this symbol is centered behind the text.

תודה על ההקשבה
