



Radiation Safety
Unit



בטיחות קרינה
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

טל' 086461314 , 0528795999 פאקס' 086472171
e-mail : baramm@bgu.ac.il homepage: <http://www.bgu.ac.il/radiation>

בטיחות קרינה



קובץ נוהלי בטיחות קרינה

נכתב ע"י רפי סרברו

תוכן הקובץ

| <u>עמודים</u> | <u>בקובץ זה תמצאו:</u> |
|---------------|---|
| 3 | מבוא. |
| 4-26 | בטיחות קרינה- רקע ומושגים. |
| 27-28 | טבלאות להמרת יחידות. |
| 29-33 | עבודה עם קרינת X. |
| 34-37 | נהל בטיחות קרינה מייננת באוניברסיטה. |
| 38 | נהל קבלת עובדים למשרה של עובד קרינה. |
| 39 | נהל אישור עבודה למעבדות רדיואקטיביות. |
| 40-42 | נהל הזמנת חומרים רדיואקטיביים ומכשירים פולטי קרינה. |
| 43-46 | נהל בטיחות כללי לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים. |
| 47-48 | נהל עבודה עם מקורות קרינה רדיואקטיביים. |
| 49-52 | נהל עבודה עם מפזרי נאוטרונים. |
| 53-54 | נהל עבודה עם מכשירים פולטי קרינה רדיואקטיבית. |
| 55-56 | הוראות בטיחות קרינה למקרה תקלה. |
| 57-61 | נהל טיפול בפסולת רדיואקטיבית. |
| 62 | כיצד למסור הודעות לבטיחות קרינה. |
| 63-65 | נהל עבודת סטודנטים עם קרינה רדיואקטיבית. |
| 66 | נהל בדיקות רפואיות לעובדי קרינה. |
| 67 | נהל מעקב אחר חשיפות עובדים לקרינה חיצונית. |
| 68 | נהל ביצוע עבודות אחזקה במעבדות רדיואקטיביות. |
| 69-70 | נהל ביצוע עבודות ניקיון במעבדות רדיואקטיביות. |
| 71-72 | נהל שטיפת כלים שבאו במגע עם חומר רדיואקטיבי. |
| 73 | נהל שילוט בטיחות קרינה. |
| 74 | דוגמה של שלטים ומדבקות. |
| | דפי מידע ונוהלי עבודה לחומרים רדיואקטיביים שונים: |
| 75-91 | H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45, Cr-51, Rb-86, I-125 |
| 92 | פרטים על העובד ועבודתו בקרינה. |

(דף זה יש למלא, לתלוש ולשלוח לבטיחות קרינה באוניברסיטה.)

על מנת למנוע סרבול, נכתב הטקסט בלשון זכר,
אך יש לקרוא אותו בהתאם למינו של הקורא.

מבוא

קובץ זה מכיל חומר רקע, דפי הסבר ונוהלי בטיחות קרינה לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים, מקורות קרינה ומכשירים פולטי קרינה. מטרת הנהלים לאפשר עבודה בטוחה והגנה על בריאותם של העובדים. קיימת גירסה באנגלית של הקובץ.

נהלים אלה חלים על כל העובדים באוניברסיטה :

סגל אקדמי, סגל טכני ומנהלי, סטודנטים, אורחים ומבקרים
המשתמשים בקרינה רדיואקטיבית.

השימוש בקרינה רדיואקטיבית באוניברסיטה נעשה בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה- "גהות תעסוקתית ובריאות העוסקים בקרינה מייננת 1992" , "תקנות הניטור 2011" ותקנות רלוונטיות נוספות ובהתאם לנוהל האוניברסיטה 09003. (ראה עמוד 34).

התקנות מחייבות הדרכה של כל עובד חדש בכתב ובע"פ.

קובץ זה מהווה חלק ממילוי הדרישה.

אבקשך לקרוא בעיון את הנהלים ולמלא את הפרטים הנדרשים בעמוד האחרון של הקובץ ולהעבירו לבטיחות קרינה. לאחר קבלת הדף תוזמן להדרכה בע"פ והדרכה מעשית ובמקרה הצורך תקבל הפניה למרפאה תעסוקתית בהתאם למהות עיסוקך בקרינה.

שמור/י את הקובץ אצלך, יש בו פרטים שיכולים לעזור לך בעבודתך.

ז כ ו ר ! אסור להתחיל לעבוד עם חומרים רדיואקטיביים,

מקורות קרינה או מכשירים פולטי קרינה מייננת ללא

קבלת אישור מבטיחות קרינה!!

מהדורה מעודכנת של קובץ זה ומידע נוסף בנושא בטיחות קרינה ניתן למצוא באתר

בטיחות קרינה באינטרנט בכתובת: www.bgu.ac.il/radiation

האתר בעברית וכולל גם חומר רקע בנושא בטיחות קרינה וקישורים לאתרים חשובים

בנושא בעולם. באתר יש קובץ נהלים באנגלית.

לכור נוהלי הבטיחות נוצרו להאן על הבטיחות!

בטיחות העבודה בקרינה היא הדאגה של אחראי לבטיחות קרינה אבל היא

האחריות שלך!! בסופו של דבר

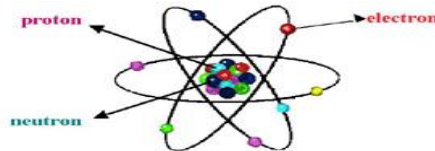
רק את או אתה יכולים להיות אחראים לבטיחותכם!!!



בטיחות קרינה רקע ומושגים

רקע כללי

היסודות השונים הקיימים בטבע והיסודות שנוצרו באופן מלאכותי עשויים מאטומים. האטומים בנויים מגרעין ומאלקטרונים שנעים סביב הגרעין. הגרעין עצמו מורכב מפרוטונים ונאטרונים.



האלקטרונים הם חלקיקים טעונים מטען חשמלי שלילי. הפרוטונים הם חלקיקים טעונים מטען חשמלי חיובי. מספר הפרוטונים באטום קובע לאיזה יסוד שייך האטום והאלקטרונים (שמספרם זהה למספר הפרוטונים) קובעים את התכונות הכימיות של היסוד. היסודות השונים מסודרים בטבלה המחזורית בהתאם למספר הפרוטונים בגרעין.

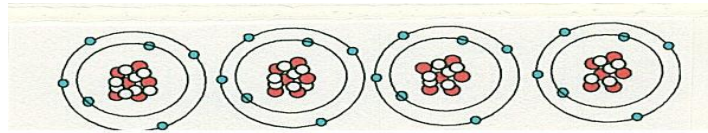
הנאטרונים הם חלקיקים ללא מטען ותפקידם בגרעין הוא לשמש כ"דבק" המחזיק את הגרעין. לכל אחד מהיסודות יש איזוטופים. האיזוטופים הם אטומים של היסוד השונים במספר הנויטרונים בגרעין. מספר הנויטרונים בגרעין קובע את התכונות הפיזיקאליות של האטום. התכונה הבולטת היא כמובן המשקל. אבל מספר הנאטרונים והיחס שבין מספר הנאטרונים למספר הפרוטונים קובע האם האטום יהיה יציב או לא יציב-**רדיואקטיבי**. אטום לא יציב חייב לעבור שינוי כדי לעבור למצב

יציב יותר.

היסודות השונים נבדלים במספר האיזוטופים הרדיואקטיביים שלהם, למשל - למימן בסך הכל שלושה איזוטופים ומהם רק אחד רדיואקטיבי ולעומתו לעופרת יש 32 איזוטופים ומהם רק 3 אינם רדיואקטיביים [יציבים]. להלן פרוט האיזוטופים של המימן:

| סימון האיזוטופ | שם האיזוטופ | מספר פרוטונים | מספר נויטרונים | איזוטופ יציב | איזוטופ רדיואקטיבי |
|----------------|-------------|---------------|----------------|--------------|--------------------|
| ^1H | מימן | 1 | 0 | כן | לא |
| ^2H | דאוטריום | 1 | 1 | כן | לא |
| ^3H | טריטיום | 1 | 2 | לא | כן |

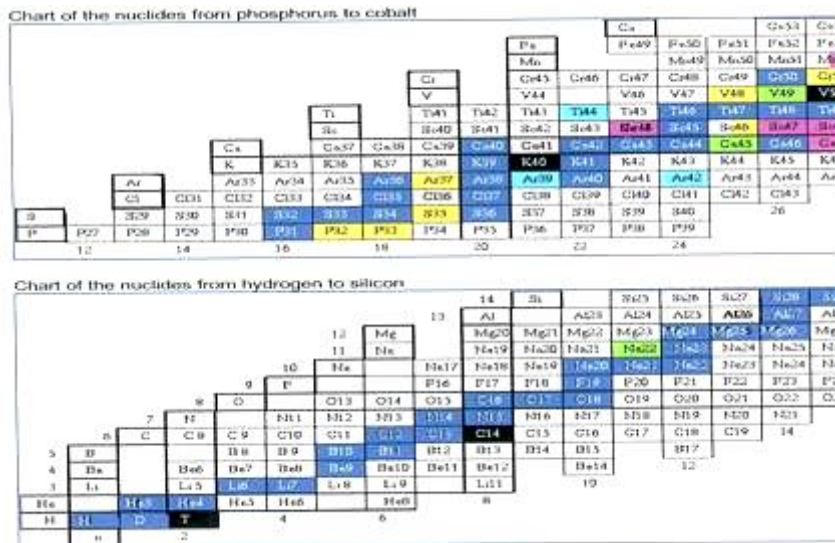
לפחמן יש 12 איזוטופים שמתוכם 2 יציבים. בתמונה הבאה יש 4 מהאיזוטופים של פחמן.



| | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <u>פחמן-11</u> | <u>פחמן-12</u> | <u>פחמן-13</u> | <u>פחמן-14</u> |
| 6 פרוטונים | 6 פרוטונים | 6 פרוטונים | 6 פרוטונים |
| 5 נויטרונים | 6 נויטרונים | 7 נויטרונים | 8 נויטרונים |
| לא יציב | יציב | יציב | לא יציב |

לכל האיזוטופים של הפחמן 6 פרוטונים ו 6 אלקטרונים באטום. מספר הנויטרונים שונה ולכן יש הבדל בתכונות הפיסיקאליות. **אין כל הבדל בתכונות הכימיות של איזוטופים שונים של אותו יסוד.** אם נשתה מים שבהם הוחלף המימן הרגיל באיזוטופ של מימן (דאוטריום או טריטיום) הרי שמבחינת הגוף אין הבדל בין מים כאלה למים רגילים. (טעם, התנהגות בגוף וכו'). בדומה לטבלה המחזורית של היסודות קיימת גם הטבלה המחזורית של האיזוטופים. בטבלה מופעים כל היסודות עם כל האיזוטופים שלהם.

להלן קטע מהטבלה המחזורית של האיזוטופים:



האיזוטופים בצבע כהה הם האיזוטופים היציבים. כל האיזוטופים האחרים לא יציבים וחייבים לעבור שינוי שביא אותם למצב יציב יותר. לשינוי הזה אנו קוראים

התפרקות רדיואקטיבית

- רדיואקטיביות מוגדרת כשינוי ספונטאני בגרעין של אטום לא יציב שכתוצאה ממנו מתקבל גרעין חדש.
- הגרעין החדש יהיה תמיד במצב יציב יותר.
- השינוי מלווה בפליטה של חלקיקים ו/או קרינה אלקטרומגנטית ואנרגיה.
- החלקיקים והקרינה האלקטרומגנטית הנפליים בתהליך נקראים:

קרינה רדיואקטיבית

קרינה רדיואקטיבית מאופיינת ביכולתה לגרום ל **יינון** - הוצאה של אלקטרון

מהאטום, כאשר היא עוברת בתווך כלשהו. תהליך היינון הוא הדרך שבה הקרינה

מאבדת את האנרגיה שלה והוא גם התהליך שאחראי לנזק שקרינה גורמת.

(בנוסף להתפרקות רדיואקטיבית יש לנו גם תהליך של האצה ובלימה של חלקיקים

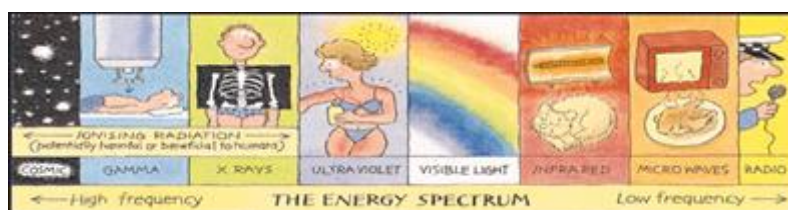
טעונים שמייצר קרינה מייננת-זאת קרינת X-ראה בהמשך הקובץ)

קרינה אלקטרומגנטית היא לא בהכרח קרינה רדיואקטיבית. הקרינה הרדיואקטיבית

היא קרינה אלקטרומגנטית באנרגיה הגבוהה ביותר ובאורך גל הקצר ביותר. הסוגים

האחרים של הקרינה האלקטרומגנטית הם לא קרינה מייננת. (זה כמובן לא אומר דבר

על הסיכון או חוסר הסיכון שבחשיפה לקרינה אלקטרומגנטית)

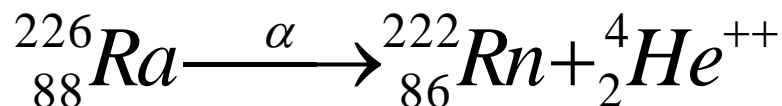


רדיואקטיביות היא לא תופעה חדשה. כדור הארץ, מרגע היווצרו, חשוף כל הזמן לקרינה רדיואקטיבית ממקורות שונים: קרינה קוסמית, קרינה כתוצאה מהתפרקות איזוטופים רדיואקטיביים הנמצאים בקרקע ובים (כמו אורניום) ואפילו קרינה מאיזוטופים רדיואקטיביים הנמצאים בתוך גופנו באופן טבעי. בהמשך נעריך את כמות החשיפה לגוף ממקורות טבעיים.

סוגי קרינה

בתהליך ההתפרקות הרדיואקטיבי יכולים להיפלט סוגים שונים של קרינה רדיואקטיבית. להלן פרוט סוגי הקרינה העיקרים ותכונותיהם:

קרינת אלפא { α } - קרינה של חלקיקים שהם בעצם גרעינים של היסוד הליום [2 פרוטונים ו-2 נאוטרונים ללא האלקטרונים], החלקיקים טעונים במטען חשמלי חיובי. לקרינת אלפא טווח של כמה סנטימטרים באוויר והיא נבלמת על ידי כל תווך צפוף יותר



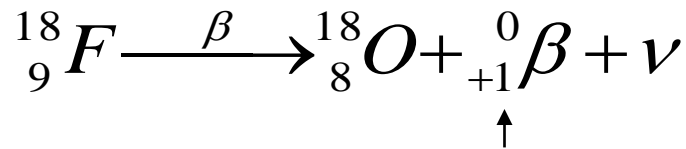
[לדוגמה מספיק מילימטר של נייר כדי לעצור את הקרינה], הטווח הקצר נובע מכושר יינן גדול ביותר כך שהקרינה מאבדת את האנרגיה שלה בטווח קצר ביותר. התוצאה של פליטת חלקיק אלפא היא קבלה של גרעין של יסוד חדש:

רדיום 226 פולט חלקיק אלפא = גרעין של היסוד הליום (ללא אלקטרונים, כלומר טעון $2+$) ומתקבל יסוד חדש ראדון 222. בגלל כושר היינן הגבוה כלומר טווח באוויר קצר ביותר וטווח אפסי בכל חומר כבד יותר, אנו לא מתייחסים לסיכון שבחשיפה חיצונית לקרינת אלפא. כאשר חומר רדיואקטיבי פולט קרינת אלפא חודר לתוך הגוף, חשיפה פנימית, התמונה שונה. נכון שהטווח של קרינת אלפא ברקמות הגוף הוא קצר ביותר, כלומר כל האנרגיה של הקרינה תיבלע בטווח הקצר אבל באותו טווח תיווצר כמות גדולה של זוגות יונים שמשמעותם לגוף היא נזק.

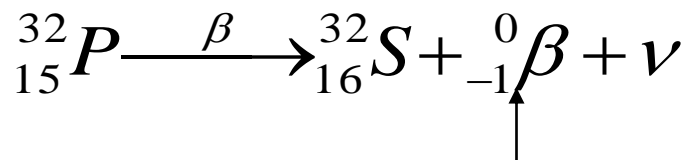
קרינת ביתא { β } - מרבית החומרים בהם משתמשים במחקר הביולוגי והרפואי הם פולטי קרינת ביתא. קרינת ביתא נפלטת כאשר בגרעין של איזוטופ רדיואקטיבי מתרחש תהליך של הפיכת נאוטרון לפרוטון או פרוטון לנאוטרון. תוצאת התהליך היא פליטה של חלקיקים טעונים, אלקטרונים או פוזיטרונים (בהתאמה מבחינים בין β^- ל- β^+), איזוטופ חדש וחלקיק ניוטרינו. האנרגיה של קרינת ה- β המתקבלת היא אנרגיה רציפה. הסיכון בחשיפה לקרינת β תלוי באנרגיה של הקרינה. לקרינת ביתא באנרגיה גבוהה טווח באוויר של עד כמה מטרים ולצורך בלימתה נזדקק לכ- 20 מילימטרים של מים או כ- 12 מילימטרים פרספקס ולכן קרינת ביתא באנרגיה גבוהה משמעותית

לחשיפה חיצונית. כמובן שכל החומרים פולטי קרינת ביתא באנרגיה גבוהה או נמוכה משמעותיים לחשיפה פנימית.

בלימה של קרינת β מלווה תמיד בפליטת קרינת X (ראה בהמשך ובפרק הדן בקרינת X) ויש להתחשב בתופעה זאת.

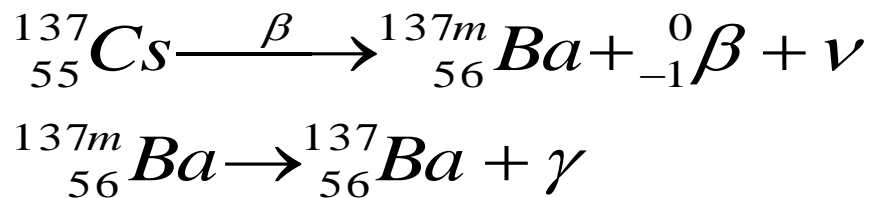


פלוואר 18 פולט קרינת β^+ (פוזיטרון = אלקטרון בעל מטען חיובי). הפוזיטרון נוצר כאשר אחד הפרוטונים בגרעין הופך לניטרון והתוצאה היא גרעין חדש: חמצן 18. (כאשר הפוזיטרון מאבד את האנרגיה שלו הוא מתחבר לאלקטרון ושניהם נעלמים תוך כדי פליטת 2 פוטונים של קרינת גמא, לכן לכל התפרקות β^+ מתלווה פליטת קרינת גמא, התהליך מנוצל כיום לאבחון השימוש ברדיואיזוטופים בשיטת PET).



פוספור 32 פולט קרינת β^- (אלקטרון), האלקטרון נוצר כאשר אחד הניטרונים בגרעין הופך לפרוטון והתוצאה היא גרעין חדש: סולפט 32.

קרינת גמא $\{\gamma\}$ - קרינה אלקטרומגנטית לכל דבר (אורך גל קצר ביותר = אנרגיה גבוהה), ללא מסה וללא מטען חשמלי ובכל זאת הקרינה מייננת. (תוצאה של תהליכים שבין האטומים והגרעינים לפוטונים של הקרינה). טווח באוויר יכול להגיע לעשרות מטרים ולצורך בלימתה משתמשים בכמה סנטימטרים של חומרים כבדים כמו עופרת. הקרינה נפלטת כתוצר לוואי של התפרקות אלפא או ביתא כאשר הגרעין החדש מתקבל לא ברמת היסוד שלו. כאשר הגרעין יורד לרמת היסוד התוצאה היא פליטת

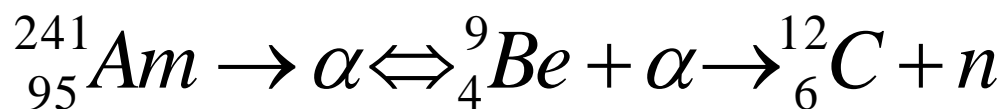


קרינה אלקטרומגנטית = קרינת גמא.

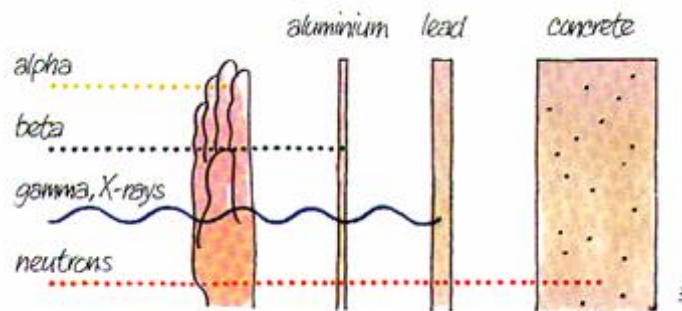
אנו מכירים גם קרינה המכונה **קרינת X**. קרינה זו זהה בתכונותיה לקרינת גמא. ההבדל בשמות נובע בעיקר מסיבות היסטוריות. במרבית השימושים של קרינה רדיואקטיבית לאבחון וטיפול רפואי משתמשים בקרינת X שמקורה בבלימה של חלקיקים טעונים או בקרינת גמא (עוד על קרינת X אפשר למצוא בהמשך הקובץ

בפרק הדין בעבודה עם קרינת X). קיימים מספר חומרים רדיואקטיביים בשימוש שפולטים קרינת X כתוצאה מתהליכים באטומים: I-125, Pd-103, Tm-170.

קרינת נאטרונים [n] – נאטרונים נמצאים בגרעין של האטום. הנאטרונים חסרי מטען חשמלי אבל גם הם גורמים ליינון בתהליכים שונים. בגרעינים כבדים מאוד מתרחש תהליך של ביקוע גרעיני. בתהליך זה נפלטת נאטרונים. באוניברסיטה קיים מקור נאטרונים כתוצאה מביקוע- Cf-252 במחלקה להנדסה גרעינית. נאטרונים נפלטת גם כתוצאה מתהליכים שבין סוגי קרינה אחרים לחומרים מסוימים. המקור השימושי ביותר מורכב משני חומרים: Am ו Be. פולט קרינת אלפא, ה Be בולע את הקרינה ונוצר גרעין לא יציב שפולט נאטרון.



באוניברסיטה במחלקה להנדסה גרעינית, במחלקה לפיסיקה ובמחלקה לחקלאות באזורים צחיחים משתמשים במקורות נאטרונים. להאטה ולעצירת נאטרונים אנו משתמשים בחומרים קלים עשירים במימן כמו: מים, פרפין, בטון וכו'.



סיכום

1. חומרים פתוחים פולטי קרינת α לא יהיו בשימוש במעבדות רגילות בגלל הסיכון הגבוה במקרה של חשיפה פנימית.
2. כל החומרים פולטי קרינת β באנרגיה נמוכה מהווים סיכון של חשיפה פנימית - זיהום פנימי בלבד.
3. חומרים פולטי קרינת β באנרגיה גבוהה וחומרים פולטי קרינת γ כמו: ${}^{86}\text{Rb}$, ${}^{90}\text{Sr}$, ${}^{131}\text{I}$, ${}^{32}\text{P}$ וכו' מהווים בנוסף לסיכון של חשיפה פנימית, גם סיכון של חשיפה חיצונית לקרינה.
4. מכשירים פולטי קרינה (קרני X) ומקורות קרינה חתומים כמו: **AmBe, Cf-252, Co-60, Cs-137** מהווים סיכון של חשיפה חיצונית.
4. יש לקבוע אמצעי בטיחות ונהלי עבודה ובטיחות בהתאם לחומר הרדיואקטיבי אתו עובדים ובהתאם למכשיר או למקור הקרינה.

קינטיקה של התפרקות רדיואקטיבית

התפרקות רדיואקטיבית היא תופעה סטטיסטית, אנו יכולים לדעת כמה גרעינים מתפרקים ליחידת זמן אך לא מי מהגרעינים יתפרק.

אם נסמן ב-N את מספר הגרעינים הרדיואקטיביים הקיימים בזמן נתון ונסמן

ב-T את הזמן הרי שמספר הגרעינים המתפרק בזמן נתון יהיה :

$$dN/dT = -\lambda N$$

כאשר λ מסמן את קבוע ההתפרקות של החומר הרדיואקטיבי. גודל זה הוא קבוע

פיסיקלי. כלומר קצב ההתפרקות של חומר רדיואקטיבי הוא קבוע ולא ניתן לשנותו.

(הוא לא מושפע מגורמים אחרים כמו: לחץ, טמפרטורה וכו').

כשאר פותרים את המשוואה הנ"ל מקבלים:

$$N = N_0 e^{-\lambda T}$$

זאת נוסחת ההתפרקות הרדיואקטיבית

כאשר N_0 הוא מספר הגרעינים הרדיואקטיביים ההתחלתי [ברגע $T=0$]

אם נציב בנוסחת ההתפרקות הרדיואקטיבית $N = N_0/2$ נוכל לחשב את הזמן שבו

יתפרקו חצי מהגרעינים הרדיואקטיביים. גודל זה ניקרא זמן מחצית חיים פיסיקאלי והוא

תלוי אך ורק בקבוע ההתפרקות של החומר, כלומר גם הוא גודל קבוע (קבוע פיסיקלי)

המאפיין כל איזוטופ רדיואקטיבי. נהוג לסמנו – $T_{1/2p}$.

במקביל להגדרת מחצית זמן פיסיקאלי אנו מגדירים גם מחצית חיים ביולוגית $T_{1/2b}$

שהיא: הזמן שלוקח למחצית מהכמות של חומר רדיואקטיבי שחדרה לגוף, לצאת ממנו

[יש לשים לב שגודל זה הוא לא קבוע פיסיקאלי. מחצית החיים הביולוגית תלויה

בפרמטרים ביולוגיים השונים מאדם ושונים עבור אותו חומר בתרכובות כימיות

שונות].

אנו מגדירים מחצית חיים אפקטיבית $T_{1/2eff}$, שהיא השקלול של מחצית החיים

הפיסיקאלית ומחצית החיים הביולוגית, כאשר אנו מדברים בסיכונים של חומר

רדיואקטיבי שעלול לחדור לגוף, מחצית החיים האפקטיבית היא הגודל המעניין אותנו.

כאשר חומר רדיואקטיבי חודר לגוף הרי מצד אחד הוא ממשיך להתפרק בהתאם

למחצית החיים הפיסיקאלית שלו ומצד שני הוא מופרש מהגוף בהתאם למחצית החיים

הביולוגית שלו. כך לדוגמה מחצית חיים פיסיקאלית של טריטיום היא כ-12.5 שנים ואילו

המחצית חיים הביולוגית היא כ-12 יום (כאשר הוא מסמן מולקולת מים) ולכן גם מחצית

החיים האפקטיבית היא כ-12 יום.

מקובל שכאשר לא מציינים במפורש לאיזה מחצית חיים מתכוונים אזי מתייחסים תמיד

למחצית חיים פיסיקאלית.

כאמור אם בנוסחת ההתפרקות מציבים $N=N_0/2$ מקבלים לאחר פתרון המשוואה את הקשר שבין קבוע הדעיכה לזמן מחצית החיים:

$$\lambda = 0.693 / T_{1/2} \leftarrow T_{1/2} = 0.693 / \lambda \leftarrow \ln 2 = 0.693 \leftarrow T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

נציב בנוסחת ההתפרקות הרדיואקטיבית ונקבל:

$$N = N_0 e^{-0.693 T / T_{1/2}}$$

נוסחה זו משמשת אותנו לחישובי דעיכה, כשאר נתון לנו זמן מחצית חיים של החומר, הכמות ההתחלתית והזמן שעבר.

השימוש במספר הגרעינים הרדיואקטיביים בנוסחה מקשה על החישובים. מסיבה זו נקבעה יחידה מיוחדת לביטוי קצב ההתפרקות של החומר הרדיואקטיבי/הפעילות של החומר הרדיואקטיבי - קצב ההתפרקות ניקרא **אקטיביות** והוא נמדד ביחידות של התפרקויות לשנייה (dps) וסימנו- **A** (במקביל גם **Ao**).

בעבר נמדדה האקטיביות ביחידות של קירי (**Ci**). שהגדרתה כמות של חומר רדיואקטיבי שמתרחשים בו 3.7×10^{10} התפרקויות לשנייה, בהתאם לכך הוגדר גם מיליקירי (**mCi**) שהיא יחידה קטנה פי אלף ומיקרוקירי (**μCi**) שהיא יחידה קטנה פי מיליון, כלומר 3.7×10^4 התפרקויות בשנייה (**dps**) או 2.2×10^6 התפרקויות בדקה (**dpm**). המעבר מהתפרקויות לספירות במכשיר (**cpm, cps**) תלוי ביעילות המכשיר לחומר הנבדק.

כיום נהוגה יחידה חדשה לאקטיביות והיא בקרל (**Bq**). הגדרתה: כמות של חומר רדיואקטיבי שמתרחשת בו התפרקות אחת לשנייה כלומר $1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$ ובמקביל: $1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$ וכן: $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ (בעמוד 28 יש טבלה המאפשרת מעבר קל בין היחידות, באתר האינטרנט של בטיחות קרינה יש קישור למחשבון שמאפשר חישובי דעיכה והמרת יחידות)

כעת אפשר להציב במקום מספר גרעינים, את האקטיביות בנוסחת ההתפרקות ונקבל -

$$A = A_0 e^{-0.693 T / T_{1/2}}$$

A-האקטיביות ביחידות של קירי או בקרל בזמן T

A₀-האקטיביות ביחידות של קירי או בקרל בזמן T=0

דרך נוספת לחישוב האקטיביות כאשר ידועה האקטיביות ההתחלתית ומספר מחציות החיים של החומר שעברו היא בעזרת הנוסחה:

$$A = A_0 / 2^n$$

מספר מחציות החיים $n = T / T_{1/2}$



אנרגיה

התפרקות רדיואקטיבית מלווה תמיד בפליטת אנרגיה. האנרגיה נמסרת לחלקיקים או לקרינה האלקטרומגנטית. כמו כן יכולה האנרגיה להופיע כחום. אנו מודדים את האנרגיה של הקרינה ביחידות של **אלקטרון-וולט (eV)**, אלקטרון-וולט אחד מוגדר כאנרגיה שאלקטרון רוכש בעוברו במפל מתח של וולט אחד. זאת יחידת מדידה קטנה ביותר: $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$. יחידה זו שימושית בתחום האנרגיה של הקרינה הרדיואקטיבית והפיסיקה של האטום והגרעין. אנו מגדירים גם יחידות גדולות פי **1000 KeV - ופי מיליון - MeV**.

אקטיביות ספציפית

גודל אופייני לכל חומר רדיואקטיבי הוא **האקטיביות הספציפית** של החומר. האקטיביות הספציפית היא האקטיביות המתקבלת מיחידת משקל של החומר הרדיואקטיבי. כלומר היחידות יהיו: Bq/g או Ci/g. האקטיביות הספציפית תלויה אך ורק בקבוע ההתפרקות של החומר הרדיואקטיבי ולכן גם היא גודל אופייני קבוע. לדוגמה: כדי לקבל אקטיביות של 1 Ci מאורניום או זקוקים ל-3 טון של אורניום ואילו כדי לקבל את אותה אקטיביות מ P-32 או זקוקים רק ל $3\mu\text{g}$ של P-32.

במחקר הביולוגי והרפואי נהוג לדבר על אקטיביות ספציפית במשמעות שונה. אנו מדברים על **אקטיביות ספציפית של הסימון הרדיואקטיבי** של החומר. כאשר אנו יוצרים מולקולה של חומר המסומנת בחומר רדיואקטיבי הרי שהתהליך הוא החלפת אטום לא רדיואקטיבי באיזוטופ רדיואקטיבי של אותו יסוד. כך לדוגמה אנו יכולים להחליף חלק מאטומי המימן של המים בטריטיום וכך נקבל שחלק ממולקולות המים יהיו מסומנות בחומר רדיואקטיבי. כמובן שאקטיביות ספציפית במובן זה היא **לא גודל קבוע**. המדידה במקרה זה היא ביחידות של: Bq/mmol או Ci/mmol. כלומר כמה התפרקויות אנו מקבלים מכל

מילימול של חומר. כיום אנו יכולים לרכוש חומרים מסומנים ברמות שונות. למשל ניתן לרכוש חומר כמו THYMIDINE מסומן בטריטיום באקטיביות ספציפית של :
 2 Ci/mmole, 40 Ci/mmole, 80 Ci/mmole וגם בסימון של 2 Ci/mmole.

טבלה 2-תכונות של כמה רדיואיזוטופים שימושיים במחקר הביולוגי והרפואי.

| איזוטופ | T 1/2 פיסיקאלי | T 1/2 אפקטיבי | סוג קרינה | אנרגיית מכס' קרינת β | אנרגיית קרינת γ | אקטיביות ספציפית Ci/gr |
|---------|----------------|---------------|-----------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| H-3 | 12.3 y | 10 day | β | 18.6 Kev | - | 97000 |
| C-14 | 5730 y | 40 day | β | 156 -"- | - | 4.6 |
| P-32 | 14.3 day | 14.1 day | β | 1.7 Mev | - | 286000 |
| S-35 | 87 day | 44.3 day | β | 167 Kev | - | 42500 |
| Ca-45 | 165 day | 162 day | β | 252 -"- | - | 17600 |
| Cr-51 | 27.8 day | 26.4 day | β, γ | 315 -"- | 320 Kev | 92000 |
| Rb-86 | 18.7 day | 13.2 day | β, γ | 1.78 Mev | 1.08 Mev | 81400 |
| I-125 | 60.2 day | 41.8 day | $\gamma (x)$ | - | 35 Kev | 17000 |

יחידות קרינה

רנטגן - (R) ROENTGEN

היחידה הראשונה שהוגדרה הייתה הרנטגן. הגדרתה: 1 רנטגן הוא מנת חשיפה של קרינת X או γ אשר גורמת להיווצרות של יחידת מטען אלקטרוסטטית אחת בסמ"ק אחד של אוויר יבש. יחידה זו לא שימושית היות והיא מוגדרת רק עבור קרינת X ו- γ וכן היא מוגדרת רק עבור חשיפה של אוויר. כיום מוגדרת יחידה שנקראת **מנת חשיפה**. הגדרתה :
 מנת חשיפה 1 מוגדרת כיצירת מטען של 1 קולון לק"ג אוויר.

מנת בליעה: ראד - RAD, גראיי - GRAY (Gy)

כדי להתייחס לכל סוגי הקרינה ולכל החומרים וכן כדי להתייחס לאנרגיה שהקרינה מוסרת הוגדרה **מנת בליעה** שנמדדה ביחידות **Rad** ההגדרה הייתה:
 $1 \text{ Rad} = 100 \text{ erg/g}$

כלומר כאשר כל גרם של החומר הנחשף בולע אנרגיה של 100 erg אזי החומר נחשף ל-1rad.

כיום נהוגה יחידת מדידה חדשה והיא **Gray**. הגדרתה: **1 Gray = 1 Joule/Kg** (g ו- kg הם יחידות משקל, erg ו- Joule הם יחידות אנרגיה מקובלות) בגלל היחס שבין joule ל- erg ו- g ל- Kg, אנו מקבלים **1 Gray=100 Rad**. מנת הבליעה היא יחידה שימושית אולם כאשר אנו מנסים להעריך נזקים של חשיפה לקרינה עלינו לקחת בחשבון את סוג הקרינה היות ואנו יודעים שקיימים הבדלים בין סוגי הקרינות ביכולת היינון = מסירת האנרגיה שלהן.

גורם האיכות- (QF) Quality Factor

כדי לקחת בחשבון את סוג הקרינה הוגדר גורם האיכות (QF). **QF** הוגדר כ-1 לקרינות β, γ, X . עבור קרינת α הוגדר $QF=20$ ועבור קרינת נאטרונים הוגדר $QF=3-20$ בהתאם לאנרגיית הנאטרונים. המשמעות של גורם האיכות היא שעבור אותה מנת בליעה נקבל נזקים שונים מקרינות שונות. למשל במקרה של חשיפה לקרינת α נקבל נזק גדול פי 20 מאשר באותה חשיפה לקרינת β או γ .

כיום המונח הנכון הוא **Radiation Weighting Factor- W_f**

הנזק הביולוגי היחסי

כדי לקבל הערכה של הנזק לגוף כתוצאה מחשיפה לקרינה רדיואקטיבית הוגדרה יחידה של נזק. מבחינה חישובית אנו מקבלים את מידת הנזק מהכפלה של מנת הבליעה בגורם האיכות המתאים.

בעבר יחידת המדידה הייתה **ראם - REM** כאשר: **Rem=Rad X QF**

כיום נהוגה יחידה חדשה: **סיברט - Sivert (Sv)** כאשר:

$$Sv = Gy \times QF$$

וכן: **1 Sv=100 Rem**

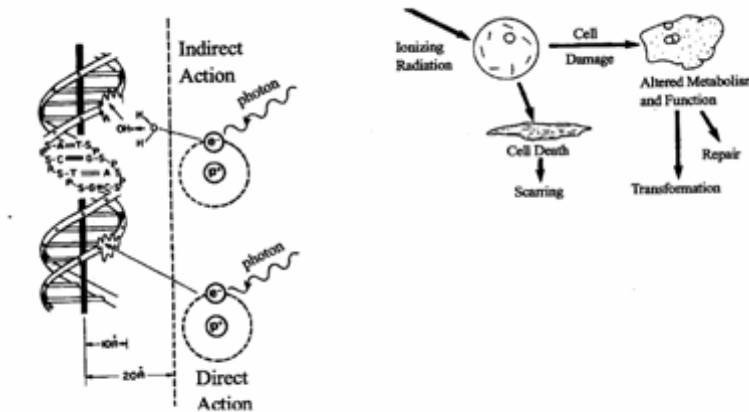
היחידה שנקבעה מאפשרת לנו להעריך את הנזק המיידי והנזק המושהה לגוף כתוצאה מחשיפה (פנימית או חיצונית) לקרינה רדיואקטיבית.

הנזק שבחשיפה לקרינה רדיואקטיבית

כאשר גופנו נחשף לקרינה רדיואקטיבית יתרחש בגוף מה שקורה בכל תווך שבו פוגעת קרינה, כלומר ינון ובנוסף גם היווצרות של רדיקאלים חופשיים. אטומים שמרכיבים את התאים בגוף יאבדו אלקטרון ונקבל אלקטרון חופשי ויון חיובי. במצב זה יתרחשו תהליכים כימיים בין

חומרי המבנה של התאים והאלקטרון והיון כאשר התוצאה הסופית תהיה הרס של תאים בגוף ובמקרים קיצוניים הרס של רקמות וכן שינוי תכונות של תאים או חומרי מבנה בתאים. חשוב להדגיש שנזקים שקרינה יכולה לגרום מתרחשים בגוף כל הזמן באופן ספונטאני וללא קשר לחשיפה לקרינה. לגוף מנגנוני תיקון שמתקנים את הנזקים. היכולת של קרינה רדיואקטיבית להרוס תאים מנוצלת גם לטובת האדם. התאים הרגישים ביותר לקרינה הם תאים שמתחלקים כל הזמן לכן אנו משתמשים בקרינה כדי להרוס גידולים סרטניים. לצורך כך יש לחשוף את הגידול לכמות גדולה ביותר של קרינה.

הנזק האפשרי כתוצאה מחשיפה לקרינה



הנזק שתואר עד כאן היה נזק מיידי כתוצאה מחשיפה לקרינה. הנזק המיידי החמור ביותר הוא כמובן מוות. חשיפה חד-פעמית של כל הגוף ברמה של 8-10 Sv תגרום למוות תוך כחודש. חשיפה ברמה של 2 Sv תגרום להופעת מחלת קרינה (הקאות, שלשולים וכו'). חשיפה לרמה של 20 mSv לא תגרום לשינויים הניתנים לגילוי. החשיפה הממוצעת לכל אדם על פני כדור הארץ כתוצאה מרקע טבעי ומשימוש רפואי בקרינה היא כ- 2-3 mSv לשנה. חשיפה זאת לא קבועה והיא משתנה בהתאם לגובה שבו אנו חיים ובעיקר כתלות בכמות החומרים הרדיואקטיביים הטבעיים באדמה במקום שבו אנו חיים. יש כמה מקומות בעולם בהם החשיפה השנתית הממוצעת היא למעלה מ-10 mSv לשנה בגלל שהאדמה במקום עשירה באורניום ותוריום. חשוב לדעת שלא נמצא כל הבדל בתחלואה בין אכלוסיה זו לבין אכלוסיה שחיה באזור שבו הרקע רגיל וכן אין הבדל בתחלואה בין אוכלוסיות החיות בגבהים שונים ונחשפים לקרינה קוסמית בהתאם לגובה. עוצמת הקרינה הקוסמית בגובה 4000 מטר מעל פני הים היא פי 10 גבוהה יותר מעצמת הקרינה בגובה פני הים. סוג אחר של נזק הוא נזק מושהה כתוצאה מחשיפה לקרינה. **הנזק המושהה העיקרי הוא הגדלת הסיכוי למוות מסרטן בשנים שלאחר החשיפה.** במקרים של חשיפת אוכלוסייה גדולה לקרינה בכמות גדולה (כמו האוכלוסייה שחיה בסמוך לכור בצ'רנוביל) צפויה הגדלה של שכיחות מיקרי המוות מסרטן באותה אוכלוסייה.

עלינו לדעת שכיום הסיכוי של כל אחד מאתנו למות מסרטן הוא כ-25%. (כלומר כרבע ממקרה המוות כיום הם כתוצאה מסרטן) תוספת הסיכוי כתוצאה מחשיפה לקרינה היא קטנה ביותר גם בחשיפות גבוהות יחסית של קרינה. בחשיפה של 10 mSv צפויה תוספת של 4-5 מיקרי מוות מסרטן לכל 10,000 נחשפים (כלומר בנוסף ל 2500 מיקרי סרטן שהיו באופן רגיל יהיו עוד 4-5 מיקרים).

הערכות אלה נובעות ממודל שטוען שהקשר שבין חשיפה לנזק הוא ליניארי ללא סף תחתון. כלומר לפי המודל בכל חשיפה לקרינה יש נזק. אם המודל הזה היה נכון הרי שהיינו מוצאים יותר תחלואה בסרטן כאשר עולים בגובה ויותר תחלואה בסרטן במקומות בהם הרקע גבוה **זוה לא המצב**. אנו חושבים היום שהקשר שבין חשיפה לנזק מורכב יותר במיוחד כאשר אנו דנים בחשיפות נמוכות לקרינה. אנו יודעים בביטחון שחשיפה לקרינה ברמות גבוהות יכולה לגרום לנזק מידי ולנזק מושהה אבל האם בהכרח משתמע מכך שגם חשיפה לרמות נמוכות מסוכנת ?? תא עובר במשך שנה כמה מיליון נזקים באופן ספונטאני. חשיפה לקרינה במנות נמוכות תוסיף עוד כמה נזקים בודדים. לא הגיוני להניח שדווקא על נזקים אלה הגוף לא יצליח להתגבר. **כאשר בודקים את התחלואה בקרב עובדי הקרינה בעולם בהשוואה לכל קבוצת עובדים אחרת לא מוצאים הבדלים.**

הגישה המקובלת בעולם ובתקנות מבוססת על המודל שבכל חשיפה יש נזק למרות שיש כיום ספקות האם זה הקשר הנכון שבין חשיפה לנזק. בכל מקרה הגישה הקיימת אומרת בואו נהיה בכל מקרה על הצד הבטוח ביותר. כך שגם אם טעינו עדין טעינו לכיוון הבטוח ולא להפך. לפיכך נקבעו עקרונות מנחים לחשיפות עובדים לקרינה:

- לכל חשיפה חייבת להיות הצדקה.
- בכל חשיפה חייבת להיות תועלת לאדם הנחשף.
- החשיפות התעסוקתיות יהיו ברמה שבכל מקרה לא תגרום לנזק מידי ותקטין ככול האפשר את הסיכוי לנזק מושהה.
- בתקנות נקבעו חשיפות מרביות לעובדים.
- **למרות המנות המרביות אנו חייבים לעשות את כל מה שמתקבל על הדעת כדי שחשיפת עובדים תהיה במינימום ההכרחי.** הכלל המקובל בעולם הוא :

ALARA : As Low As Reasonably Achievable

בהתחשב בכל האמור לעייל נקבעו בתקנות בארץ ובעולם גבולות לחשיפת עובדים כתוצאה מעיסוקם בקרינה. בעולם ובישראל מקובל היום גבול מרבי לחשיפת כל הגוף 20 mSv לשנה (2000 מיליראם), בממוצע על פני 5 שנים (חשיפה חיצונית ופנימית). לחשיפת איברים

בודדים נקבעו רמות גבוהות בהרבה. הבסיס לרמות אלה הוא שהסיכוי לנזק לעובדים בתעשייה הגרעינית לא יהיה שונה מהסיכוי לנזק בכל עיסוק אחר (תעשייה כימית, תעשייה כבדה וכו').

החומרים והמכשירים בהם משתמשים באוניברסיטה נבחרו כך, שבעבודה בהתאם לנהלים, יבטיחו

שלא ייגרם כל נזק מייד ויקטן ככל האפשר הסיכוי לנזק המושהה.

החשיפה השנתית הממוצעת לעובדי האוניברסיטה קרובה מאוד לאפס כך שאנו רחוקים מאוד מהרמות שנקבעו.

החיים המודרניים חושפים אותנו לסיכונים רבים ושונים שגדולים בהרבה מהסיכונים שבחשיפה לקרינה רדיואקטיבית ברמה נמוכה. כך הדבר לגבי תאונות דרכים ולגבי החשיפה לחומרים מסרטנים שונים הנמצאים באוכל שאנו אוכלים, במים שאנו שותים, באוויר שאנו נושמים, בחומרים כימיים שונים ובחומרי הניקוי שבהם אנו משתמשים. אין סיבה להתייחס לחשיפה לקרינה רדיואקטיבית באופן שונה מאשר לסיכונים האחרים.

עלינו להכיר בסיכון ולדעת כיצד להקטין אותו ככל האפשר.

דבר זה נכון לכל הסיכונים וגם לסיכון שבחשיפה לקרינה רדיואקטיבית.

גילוי קרינה

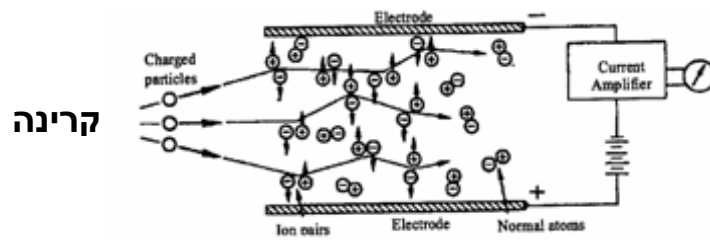
קרינה רדיואקטיבית מאופיינת ביכולתה לגרום לינון בתוך שהיא עוברת דרכו. תכונה זו מנוצלת גם במרבית המכשירים המשמשים אותנו לגילוי של קרינה רדיואקטיבית. מכשירים לגילוי קרינה המבוססים על מדידת היינון נקראים **גלאי יינון**.

תכונה נוספת של קרינה רדיואקטיבית שמנוצלת לגילוי ומדידתה היא העובדה שחומרים מסוימים שנחשפים לקרינה רדיואקטיבית פולטים אור. כמות האור הנפלטת יחסית לכמות הקרינה. חומרים כאלה נקראים **נצנצים**. קיימים נצנצים מוצקים כמו: סודיום יודיד (NaI) וסולפיד האבץ (ZnS) וקיימים גם נצנצים נוזליים כמו: נגזרות שונות של בנזן וכן נגזרות של oxazoles שהידוע והשימושי ביותר הוא: 2.5-diphenyloxazole (PPO).

גלאי יינון

בכל גלאי היינון אנו בונים גלאי שניתן להתייחס אליו כאל קבל חשמלי טעון, מלא בגז ומחובר למקור מתח ישר. במערכת כזו אין זרימת זרם בין לוחות הקבל היות ואין בגז יונים. כאשר קרינה רדיואקטיבית פוגעת בגלאי נוצר יינון בגז וכתוצאה מכך תתחיל תנועת יונים חיוביים אל האנודה ואלקטרונים אל הקתודה כלומר: זרם חשמלי. זרם זה קטן ביותר אך ניתן למדידה. עוצמת הזרם יחסית לכמות הקרינה ולאנרגיה שלה.

גלאי יינן



קרינה

הסוגים השונים של גלאי היינן נבדלים רק במתח שעל הקבל. המתח משפיע כמובן על הזרם שיווצר בגלאי כתוצאה מהשפעת המתח על היונים שנוצרים בגלאי. הגלאי המוכר ביותר הוא 'גייגר' ורוב המכשירים לגילוי קרינה משתמשים בו. גם המכשירים הנמצאים באוניברסיטה הם ברובם תאי ינן מסוג גייגר. גלאי נוסף שימושי הוא תא ינן פרופורציונאלי.

מונה גייגר



החסרון העיקרי של תאי היינן הוא שכדי שנוכל לגלות ולמדוד קרינה חייבת הקרינה לחדור את גוף הגלאי וליינן את הגז. היצרנים משתדלים לבנות גלאים בעלי דופן דקה ככל האפשר אולם בגלל התכונות של סוגי הקרינה השונים, בלתי אפשרי למדוד בגלאים כאלה קרינה β באנרגיה נמוכה גלאים אלו יעילים רק למדידת קרינת γ וקרינת β באנרגיה גבוהה (כמו P-32).

גלאי נצנץ

אנו מבחינים בין גלאי נצנץ מוצק לגלאי נצנץ נוזלי.

נצנץ מוצק

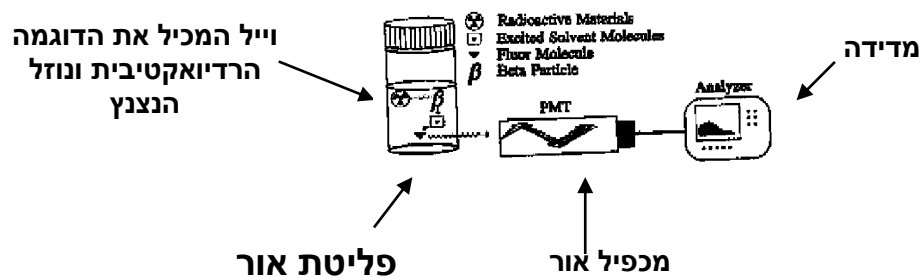
אנו משתמשים בחומרי נצנץ מוצקים בעובי שונה לגילוי סוגי הקרינה השונים. הגלאי בנוי מגביש הנצנץ שפולט אור כאשר פוגעת בו קרינה ומשפופרת **מכפיל אור** (PHOTOMULTIPLIER).

תפקיד מכפיל האור הוא להפוך את האור שפולט הנצנץ לזרם אלקטרוני הניתן למדידה. דבר זה נעשה על ידי פוטו-קתודה שמגיבה בפליטת אלקטרונים כאשר פוגע בה אור. אלקטרונים אלה מואצים בשפופרת במתחים שהולכים וגדלים וכתוצאה מכך הולך ומוכפל מספר האלקטרונים לאורך השפופרת עד קבלת זרם משמעותי ביציאה מהשפופרת. יתרונם של גלאי הנצנץ המוצק הוא ברגישות וביעילות גבוהה. חסרונם, כמו בתאי היינן, קרינה באנרגיה נמוכה מאוד אינה מסוגלת לחדור את חומרי המבנה ולכן לא ניתן לגלות בעזרת מונה נצנץ מוצק חומרים הפולטים קרינה באנרגיה נמוכה כמו H-3 ו C-14.

נצנץ נוזלי

השיטה השימושית ביותר למדידת קרינה במחקר הביולוגי ובמחקר הרפואי היא השימוש בנצנץ נוזלי. בשיטה זו אנו משתמשים בחומרים נוזלים בעלי תכונות נצנץ ומערבבים בתוכם את הדוגמה הנבדקת. כך נוצר מגע ישיר בין החומר פולט הקרינה לנצנץ ולא קיימת הבעיה של מעבר הקרינה את חומרי המבנה של הגלאי. גילוי קרינה של חומרים כמו $C-14$, $S-35$, $H-3$ אפשרי אך ורק בשימוש בנצנץ נוזלי.

הכנת הדוגמה לספירה והוספתה לנזל הנצנץ נעשית מחוץ למכשיר המדידה. במכשיר המדידה יש בדרך כלל לפחות שני מכפילי אור גדולים והמכשיר מביא את הדוגמה הנבדקת אל בין מכפילי האור כך שמקסימום אור ייאסף ע"י מכפילי האור. מכפילי האור מתרגמים את האור לזרם אלקטרונים שנימדד על ידי המכשיר.



כיום במרבית המכשירים קיים **ממיון רב ערוצי** שמסוגל להבחין בגודל הזרם שנוצר כתוצאה מכל התפרקות רדיואקטיבית בדוגמה. הממיון נותן לנו את מספר הספירות שנתקבל עבור כל גודל של פולס זרם. מכיוון שיש קשר ישיר בין האנרגיה שנפלטה בהתפרקות הרדיואקטיבית לבין גובה פולס הזרם המתקבל הרי שבעצם ניתן לתרגם את הקריאות כך שנקבל את מספר הספירות עבור כל אנרגיה. מכיוון שלכל חומר רדיואקטיבי יש אנרגיה אופיינית הרי שניתן בשיטה זו גם לזהות את החומר הנבדק. במכשירים המודרניים אפשר בדרך כלל לבדוק דוגמאות שיש בהם תערובת של שלושה חומרים שונים בתנאי שקיימים הבדלים באנרגיות שלהם. כך ניתן ללא קושי לבדוק דוגמה המכילה $H-3$, $C-14$, ו $P-32$. אך לא ניתן בו זמנית לבדוק $C-14$ ו $S-35$ (טבלה 2 מציגה את האנרגיות).

הנושא מורכב קצת יותר היות וקרינת ה- β שאותה אנו מודדים היא לא קרינה בדידה (מונוכרומטית). כלומר לכל חומר רדיואקטיבי יש התפלגות אופיינית של האנרגיה הנפלטת. כך לדוגמה לטריטיום ($H-3$) יש קרינת β באנרגיה מקסימלית של 18 Kev אך האנרגיה הממוצעת של קרינת ה- β של הטריטיום היא רק 5.6 Kev. כתוצאה מכך אנו נקבל חפיפה חלקית בין חלק מערוצי המדידה במכשיר ויש לקחת עובדה זו בחשבון כאשר מודדים בו זמנית חומרים שונים.

היתרונות של השימוש בנצנץ נוזלי הם:

- אפשרות לגלות קרינה באנרגיה נמוכה.
- יעילות גבוהה של מדידה (עד 90% עבור C-14 ועד 70% עבור H-3).
- אפשרות למדוד דוגמאות בעלי סימון כפול וסימון משולש בו זמנית.

בעיות בשימוש בנצנץ נוזלי:

הבעיות שנוצרות בשימוש בנצנץ נוזלי נובעות ברוב המקרים מתגובה הדדית בין החומרים שבדוגמה לחומרים המרכיבים את הנצנץ הנוזלי. הבעיה הבולטת ביותר היא בליעה של חלק מהאור הנפלט בתוך הדוגמה עצמה לפני שהאור מגיע למכפיל האור. מובן שדבר זה פוגם ביעילות המדידה. התופעה נקראת **QUENCHING**. בחלק מהמקרים הגורם לתופעה זו הוא היווצרות עכירות בדוגמה עד כדי הפיכתה לחומר צמיג. דבר זה ניתן להדגים בקלות ע"י הוספת מים לנוזל נצנץ. בדרך כלל (תלוי בסוג הנצנץ) ניתן להוסיף מים עד כ-20% מנפח הנצנץ. מעבר לכך מתחילה להיווצר עכירות ואם נמשיך להוסיף מים נקבל חומר צמיג. גורם נוסף שמפריע לעתים הוא שינוי צבע כתוצאה מתגובה בין נוזל הנצנץ לחומר הנבדק. גם במקרה כזה יבלע חלק מהאור ותיפגם היעילות.

קיימות דרכים שונות להתמודד עם בעיית ה- **QUENCHING** אך אין פתרון מוחלט לבעיה. חשוב להיות מודעים לתופעה זו וגם אם לא ניתן למנוע אותה כליל ניתן לקבוע את מידת הפגיעה ביעילות. שיטה אחת אפשרית היא הוספת כמות ידועה של חומר רדיואקטיבי לדוגמה הנבדקת ובדיקת היחס בין הקריאה במכשיר לבין הקריאה שהייתה צריכה להתקבל אם לא הייתה בליעה של אור- **סטנדרט פנימי (Internal Standard)**. במקביל לתופעה של בליעת האור בדוגמה הנבדקת קיימת גם תופעה הפוכה, כלומר עודף פליטה של אור שנגרם לא כתוצאה מקרינה רדיואקטיבית אלא כתוצאה מתהליכים שונים בין נוזל הנצנץ לדוגמה הנבדקת. מוכרים תהליכים כמו: **CHEMILUMINESCENCE** ו- **PHOSPHORESCENCE** שגורמים לפליטה של אור ללא קשר לרדיואקטיביות. עלינו להיות מודעים לבעיה זו וניתן להתגבר עליה ע"י התאמה של סוג נוזל הנצנץ לחומרים הנבדקים.

ניתן להדגים בקלות מצב של עודף פליטה של אור בנוזל הנצנץ. אם ניקח בקבוק המכיל נוזל נצנץ נקי (ללא חומר רדיואקטיבי) ונספור אותו במונה ולאחר מכן נחשוף את הבקבוק לאור השמש או למנורת להט (לא ניאון) למשך דקה ואפילו פחות, נספור את הדוגמה שוב ומיד נקבל מס' גדול של ספירות. (אם נחכה מספיק זמן ונספור שוב נקבל שוב את ספירות הרקע).

שיטת צ'רנקוב (CERENKOV)

כאשר חלקיקים טעונים נעים בתווך במהירות גבוהה יותר ממהירות האור באותו תווך (מהירות החלקיק עדיין נמוכה ממהירות האור בוואקום) אנו מקבלים פליטה של אור כחול שמכונה: **CHERNIKOV RADIATION**. תופעה זו מנוצלת במקרים מסוימים לגילוי קרינה רדיואקטיבית. השיטה אפשרית כאמור רק לחלקיקים טעונים באנרגיה גבוהה כלומר במחקר הביולוגי בעיקר עבור P-32. (פולט קרינת ביתא באנרגיה גבוהה). בשיטה זאת אנו מודדים ישירות את האור הנפלט ללא נוזל נצנץ. בדרך כלל משתמשים במים כתווך שבו מתרחשת פליטת האור. המכפיל אור שבמכשיר מגיב ישירות לאור הנפלט וניתן למדוד את הדוגמה (בדרך כלל נקבל את הקריאה בחלון שמתאים ל-H-3).

היתרון בשיטה הוא החסכון והנוחיות ע"י אי-השימוש בנצנץ נוזלי וכן האפשרות להשתמש בשיטה זו כאשר קיימת תגובה בין החומר שבדוגמה לנוזל הנצנץ. החסרון של השיטה הוא בהיותה מוגבלת רק לחומרים מסוימים וביעילות גילוי נמוכה יחסית (מקובל להניח שהיעילות תהיה כחצי מהיעילות לאותה דוגמה עם נצנץ נוזלי).

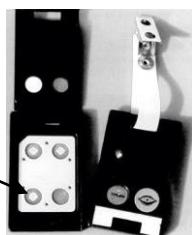
גילוי קרינה בעזרת סרט צילום

הגילוי הראשון של הרדיואקטיביות נעשה ע"י סרט צילום. מאז ועד היום אנו משתמשים בסרט צילום לגילוי קרינה. קרינה רדיואקטיבית כמו כל קרינה אלקטרומגנטית (ולצורך עניין זה הדבר נכון גם לגבי קרינה רדיואקטיבית של חלקיקים טעונים כמו קרינת אלפא וביתא) גורמת להשחרה של סרט צילום.

מידת ההשחרה יחסית לכמות הקרינה שאליה נחשף סרט הצילום. אנו מנצלים תכונה זו של הקרינה לתחומי מחקר שונים בביולוגיה וברפואה כדי לגלות ולמדוד קרינה ולעקוב אחר חומרים שונים שסומנו בחומר רדיואקטיבי. השיטה נקראת: **AUTORADIOGRAPHY**.

מדידת חשיפה בשיטת TLD

בעבר השתמשו בתכונת הקרינה להשחיר סרט צילום גם כדי למדוד חשיפות אישיות לקרינה. כיום נהוגה שיטה חדשה למדידת חשיפה. השיטה מבוססת על חומרים שבהם בזמן החשיפה לקרינה אלקטרוניים עולים ברמות אנרגיה ולא יורדים חזרה. כמות האלקטרוניים יחסית לחשיפה. כאשר מחממים חומרים אלה לאחר החשיפה ירדו האלקטרוניים חזרה לרמת היסוד ויפלטו את עודף שנפלטת יחסית לחשיפה. לעובדים ישנם 3 גבישים של המצטברת לקרינה. לעובדים בנוסף בתוך התג לוחית מחומר פלסטי המאפשרת הערכת החשיפה לנאטרוניים. באוניברסיטה ניתן תג למעקב חשיפות לעובדים שעלולים להיחשף לקרינה חיצונית במהלך עבודתם. עובדים שקיבלו תג חייבים לשמור על שלמותו, לענוד אותו כל זמן שהותם באזור



הקרינה ולאחסן את התג במקום שסוכם עם בטיחות קרינה. יש לעמוד את התג כך שהצד שעליו מופיע שם העובד מופנה כלפי הגוף. (ראה נוהל מעקב אחרי חשיפות)

סיכום

אנשים שונים מתייחסים לסיכון בעבודה עם קרינה מייננת בדרכים שונות. יש שחששם מוגזם ודווקא להם יקרו מרבית התאונות/תקלות ומהצד השני יש שאינם חוששים כלל ולהפך מזלזלים בסיכון שבחשיפה לקרינה. הן קלות הראש והן החשש המוגזם לא מוצדקים וייתכן שמקורם בעובדה שקרינה לא ניתן לחוש בחושים שלנו זאת בניגוד לסיכונים אחרים. היחס הנכון לקרינה וסיכונה הוא כמו לכל סיכון שהחיים המודרניים מציבים בפנינו. עלינו להשקיע מאמץ בהקטנת הסיכון וללמוד כיצד ניתן לעבוד עם קרינה מייננת בסיכון קטן ככל האפשר.

כיצד נוכל להשתמש בקרינה הרדיואקטיבית/מייננת תוך הפקת מירב התועלת והקטנת הסיכון ככל האפשר ?

הדבר תלוי בראש וראשונה בנו, בכל עובד ובכל עובדת.

אין לנו פתרונות פלא !!

בהמשך נפרט אמצעים שאפשר לנקוט אך הכלל העיקרי והחשוב ביותר הוא :

הקפדה תמידית על עבודה בהתאם לנוהלי

העבודה שנקבעו והמפורטים בהמשך קובץ זה.

בעבודה עם קרינה רדיואקטיבית/מייננת אנו מבחינים, מנקודת מבט של הסיכון, בין שני סוגי עבודה: מצד אחד קיימת עבודה עם מקורות קרינה חתומים ומכשירים פולטי קרינה מייננת שבהם הסיכון העיקרי הוא חשיפת הגוף לקרינה שבאה ממקור הנמצא מחוץ לגוף. במקרה כזה אנו מדברים על סיכוני **קרינה רדיואקטיבית/מייננת וסיכון של חשיפה חיצונית לקרינה.**

מצד שני, בעבודה עם חומרים רדיואקטיביים לא חתומים: אבקות, נוזלים וגזים בהם הסיכון העיקרי הוא חדירת החומר לגוף וחשיפת הגוף לקרינה ממקור שנמצא בתוך הגוף. במקרה כזה אנו מדברים על סיכוני **זיהום רדיואקטיבי וסיכון של חשיפה פנימית לקרינה מייננת** וזיהום חיצוני של אברי גוף (ידיים וכו').

סוג סיכון נוסף שיש להתייחס אליו הוא **הפגיעה בסביבה** כלומר פיזור של חומר רדיואקטיבי לסביבה באופן לא מבוקר ע"י שפיכת חומר רדיואקטיבי לביוב או פינוי פסולת רדיואקטיבית לפסולת רגילה. אנו חייבים למנוע גם סיכון זה.

בעבודה עם חומרים פולטי קרינת ביתא באנרגיה נמוכה, חומרים כמו: H-3, C-14, S-35, Ca-45 הסיכון העיקרי הוא **חשיפה פנימית לקרינה**. הסיכון של חשיפה חיצונית במקרה זה קטן ביותר היות והקרינה ברובה הגדול נבלעת על ידי התווך שבו נמצא החומר הרדיואקטיבי: דופן המבחנה וכו'.

בעבודה עם חומרים פולטי קרינת ביתא באנרגיה גבוהה וחומרים פולטי קרינת X וקרינת גמא, חומרים כמו: P-32, Na-22, Cr-51, Rb-86, I-125, בנוסף לסיכון של חשיפה פנימית לקרינה נוסף הסיכון של חשיפה חיצונית לקרינה. סיכון של חשיפה חיצונית בלבד קיים כאשר עובדים עם מכשירים פולטי קרינה מייננת ומקורות חתומים.

כיצד נקטין חשיפה חיצונית לקרינה ?

כאמור האמצעי העיקרי הוא הקפדה על נוהלי העבודה שנקבעו. באופן כללי ניתן לומר שבכדי להקטין את החשיפה החיצונית לקרינה עלינו להשתדל לעבוד עם **כמויות קטנות** ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי, עלינו לעבוד **זמן קצר** ככל האפשר **ובמרחק גדול** ככל האפשר ולהציב בינינו לבין מקור הקרינה **מיגון** (חומר מתאים שיעצור חלק מהקרינה). השפעת המרחק חשובה ביותר היות **ועוצמת קרינה רדיואקטיבית נמצאת ביחס הפוך לריבוע המרחק**, כלומר במרחק 10 ס"מ ממקור קרינה עוצמת הקרינה קטנה פי 100 מעוצמת הקרינה במרחק 1 ס"מ וכן במרחק כ 30 ס"מ נקבל עוצמה קטנה כמעט פי 1000. חובה עלינו לאמץ אמצעים ושיטות עבודה שיאפשרו הגדלת המרחק בינינו לבין מקור הקרינה. אמצעים כמו: שימוש בפיטורים אוטומטיים, שימוש במלקחיים מעבדתיות, שימוש במעמד למבחנות במקום החזקת המבחנות ביד וכו'.

המיגון מפחית את עוצמת הקרינה באופן משמעותי, חובה להתאים את המיגון בהתאם לסוג הקרינה ועוצמתה (עופרת לקרינת גמא, פרספקס לקרינת ביתא וכו'). **בכל מקרה שקיים מיגון אסור לנו לבטל אותו או לא להשתמש בו ללא אישור מבטיחות קרינה.** **לעובדים בעלי סיכון של חשיפה חיצונית לקרינה ניתן תג למעקב חשיפות.**

כיצד נקטין את הסיכון לחשיפה פנימית - חדירת חומר רדיואקטיבי לגוף

זיהום חיצוני של הגוף ?

בתחום זה אין כללים פשוטים. חומר רדיואקטיבי יכול לחדור לגוף באמצעות נשימה, בליעה, חדירה דרך העור ודרך פצעים פתוחים. אולם הדרך בעלת הסבירות הגבוהה היא על ידי זיהום הידיים בחומר רדיואקטיבי וחדירת הזיהום לגוף באמצעות זיהום המזון שנאכל. אנו חייבים לנקוט באמצעים שונים כדי להבטיח שחומר רדיואקטיבי לא יחדור לגופנו. חלק מהאמצעים קשור למבנה שבו אנו עובדים ולציוד עמו אנו עובדים. מעבדה מסודרת עם סידורי רחצה, מנדפים, אזורי עבודה, ציוד לעבודה עם נוזלים, חלוקים, כפפות ועוד. אך שוב האמצעי העיקרי הוא הקפדה על עבודה בהתאם לנוהלי העבודה. הקפדה על איסור אכילה ושתייה במעבדות. איסור בשימוש בפה ללקיחת נוזלים, הקפדה על בדיקה עצמית ובדיקת אזור העבודה הם רק חלק מנוהלי העבודה. **על כולנו לדעת שעובד שלא מקפיד על נוהלי העבודה לא מסכן רק את עצמו אלא מסכן את כל העובדים במעבדה והמבקרים בה.**

העבודה עם קרינה רדיואקטיבית/מייננת יכולה להיות בטוחה יותר אם

נקפיד כולנו על שמירת הנהלים.

עובדים בעלי סיכון של חשיפה פנימית לקרינה מתבקשים למסור דגימות שתן לבדיקת הימצאות חומרים רדיואקטיביים בגוף. אנו מבצעים 3-4 פעמים בשנה בדיקות שתן. **כאשר תתבקש למסור דגימת שתן עלייך לבצע את הוראות בטיחות קרינה ולמסור את הדגימה בנפח שיידרש ובמועד שיקבע.**

לאחר שעברנו על שיטות העבודה באופן כללי זה המקום לדבר על היבטים מעשיים של העבודה עם חומרים רדיואקטיביים. מרבית החומרים בהם משתמשים במחקר הרפואי והביולוגי פולטים קרינת β ולכן חשוב כבר בשלב זה לעמוד על עיקר שיטות העבודה. פרטים מלאים על החומרים השונים ושיטות העבודה אפשר למצוא בהמשך הקובץ.

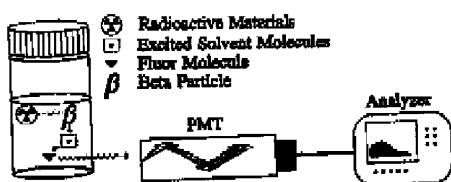
בעקרון ניתן לחלק את החומרים הרדיואקטיביים לשתי קבוצות: חומרים פולטי קרינת β באנרגיה נמוכה וחומרים פולטי קרינת β באנרגיה גבוהה. בקבוצה הראשונה נכללים החומרים H-3, C-14, P-33, S-35, Ca-45 ובקבוצה השנייה החומר העיקרי הוא P-32.

יש לדעת שרק מעצם העובדה שהחומר פולט קרינה באנרגיה נמוכה יותר אין פרוש הדבר שהחומר מסוכן פחות. לעתים הדבר ההפוך הוא הנכון.

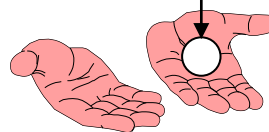
כאמור בחומרים פולטי β באנרגיה נמוכה הסיכון העיקרי הוא חשיפה פנימית לקרינה, כלומר חומר רדיואקטיבי חודר לגוף וחושף את הגוף מבפנים. כפי שראינו קרינת ה β תיבלם בגוף על ידי כ 12 מ"מ של רקמה (לכל היותר) וכל האנרגיה של הקרינה תעבור לתאים וכמובן תגרום לנזק. לכן חובה עלינו לנקוט בכל האמצעים כדי למנוע לחלוטין אפשרות של חדירת חומר רדיואקטיבי לגוף. כאשר אנו עובדים עם חומרים לא נדיפים ולא עם גזים או אבקות הרי שחומר רדיואקטיבי יכול לחדור לגוף בעיקר כתוצאה **מזיהום הידיים** וחדירה יחד עם אכילה ושתייה. בחלק מהחומרים במקרה של זיהום חיצוני תהיה גם חדירה דרך העור. כדי למנוע זיהום ידיים חובה עלינו להקפיד על עבודה עם כפפות בכל שלבי העבודה במעבדה וכן להקפיד על החלפת כפפות ובעיקר על בדיקת הידיים באמצעות **בדיקות מריחה** - שפשוף פיסת נייר קטנה רטובה על הידיים הכנסתה לוייל עם נוזל נצנץ וספירתה במכשיר מתאים. (כפי שראינו קודם לא ניתן לגלות חומרים אלה בעזרת מכשיר נייד לגילוי קרינה).

בדיקת מריחה

2. הכנסת הנייר לוייל עם נוזל נצנץ וספירה במונה מתאים



1. שפשוף פיסת נייר לחה על האזור הנבדק



בעבודה עם P-32 נוסף לסיכון של חשיפה פנימית גם הסיכון של חשיפה חיצונית וזאת בגלל האנרגיה הגבוהה של הקרינה אולם האנרגיה הגבוהה מאפשרת לנו לגלות בקלות יחסית את הקרינה במכשיר נייד לגילוי קרינה ולכן בכל מעבדה ימצא בהישג יד מכשיר מתאים. **הקפדה על נוהלי העבודה והקפדה על בדיקה עצמית בעזרת המכשיר המתאים תבטיח מניעה של חשיפה פנימית ל P-32.**

סקרנו את כללי העבודה שמאפשרים הקטנת החשיפה לקרינה (זמן, מיגון, מרחק וכמות) כללים אלה חובה עלינו ליישם בעבודה עם P-32. ראה נוהל עבודה עם P-32. מקור הקרינה העיקרי תמיד הוא המלאי של החומר שהמעבדה קונה. מריכוז זה אנו לוקחים כמות קטנה יחסית לצורך הניסוי.

בביצוע הפעולה קיימת אפשרות לחשיפה חיצונית

משמעותית בעיקר לידיים אם לא עובדים נכון.

עבודה נכונה מתחילה מהכנת אזור העבודה והכנת מיגון פרספקס מתאים. לעולם לא נפתח את ה"מצודה" (האריזה הממוגנת בדרך כלל עופרת מכוסה פלסטיק) בידיים. אלא נשתמש במיגון מתאים או במלקחיים מעבדתיות שמאפשרות לנו להתרחק מהבקבוק. הפעולה דורשת מיומנות ולכן בתחילת עבודתך עם חומרים רדיואקטיביים יבצע שלב זה עבורך עובד מיומן אחר מהמעבדה. אולם לאחר תרגול קצר אפשר לבצע את הפעולה ללא חשיפה משמעותית. נשתדל לא להוציא את הבקבוק שמכיל את מלאי החומר הרדיואקטיבי מהמצודה. כאשר הדבר הכרחי נעשה זאת אך ורק לזמן קצר, מאחורי מיגון פרספקס וכאשר אנו אווזים את הבקבוק במלקחיים.

לקיחת החומר לניסוי תעשה בעזרת פיטור אוטומטי שמאפשר לנו לשמור מרחק מהנוזל. מבחנות עם החומר רדיואקטיבי לא נחזיק בידיים. אפשר להכניסם למעמד מעבדתי מתאים ולהחזיק את המעמד (הרווחנו מרחק) או במידת האפשר נשתמש במעמד עשוי פרספקס או לצורכי העברה ואחסון ניתן להשתמש ב"מצודות" ישנות שיש לנו במעבדה.

נשתדל לבצע את כל שלבי העבודה מאחורי מיגון פרספקס. חובה עלינו לדאוג גם למיגון מתאים לפסולת המוצקה שלנו וגם לפסולת הנוזלית. במהלך הניסוי מרבית החומר הרדיואקטיבי יפונה לפסולת המוצקה והנוזלית ולכן חשוב למגן גם את הפסולת.

שמירה על נוהלים ושיטות עבודה תבטיח חשיפה מינימאלית

גם כאשר עובדים עם חומרים פולטי קרינת β באנרגיה גבוהה.

העבודה עם P-32 וכל החומרים הרדיואקטיביים מתבצעת בהתאם לנוהלי העבודה והבטיחות המפורטים לכל אחד מהחומרים, עמודים 76-91 בקובץ.

בסקירה קצרה זאת ניסיתי להעביר לכם את ההרגשה שניתן לעבוד בצורה בטוחה עם קרינה רדיואקטיבית/מייננת. מובן שיש לנו עוד הרבה ללמוד בנושא. לאחר שתלמד/י את הנהלים שמפורטים בהמשך הקובץ ותעביר/י לבטיחות קרינה את הדף עם הפרטים האישיים שלך ושל עבודה המתכננת, תוזמן/י להשתלמות קצרה בנושא עבודה בטוחה עם קרינה רדיואקטיבית. רק לאחר ההשתלמות ורק לאחר תדרוך ע"י אחראי המעבדה לגבי שיטות העבודה והכרת ציוד המעבדה תהיה/י רשאי להתחיל לעבוד עם קרינה רדיואקטיבית ובתנאי שהעבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי הבטיחות. בנוסף חובה עלייך לעבור בדיקת רופא תעסוקתי לפני תחילת העבודה בקרינה.

שמור/י קובץ זה אצלך ותוכל/י להיעזר בו בהמשך עבודתך.

ניתן לפנות אלי בכל שאלה הנוגעת לעבודה עם קרינה רדיואקטיבית.

(מספרי הטלפון מפורטים בהמשך הקובץ).

חשיפה פנימית לקרינה

מקור הקרינה בתוך הגוף



חשיפה לקרינה חיצונית

מקור הקרינה מחוץ לגוף.



טבלאות

1-סימנים מוסמכים לגדלים

| | | | | | |
|-----------|------|---|------------|-------|-------|
| 10^{18} | exa | E | 10^{-3} | milli | m |
| 10^{15} | peta | P | 10^{-6} | micro | μ |
| 10^{12} | tera | T | 10^{-9} | nano | n |
| 10^9 | giga | G | 10^{-12} | pico | p |
| 10^6 | mega | M | 10^{-15} | femto | f |
| 10^3 | kilo | K | 10^{-18} | atto | a |

2-יחידות

| גודל | יחידה חדשה | יחידה ישנה | הקשר |
|------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| אקטיביות | Becquerel (Bq) 1 becquerel = 1/s | Curie (Ci) | 1Bq=2.70 x 10 ⁻¹¹ Ci =27.0 pci 1Ci=3.7 x 10 ¹⁰ Bq = 37 Gbq |
| מנת בליעה | G ray(Gy) 1 Gy=1 J/kg | Rad(rad) 1 Rad=100 erg/gr | 1Gy=100 Rads 1Rad=0.01 Gy =10 mGy |
| מנה אקוויוולנטית | Sievert (Sv) 1 Sv= 1J/kg | Rem | 1Sv= 100 Rems 1 Rem = 0.01 Sv = 10 mSv |
| חשיפה | Coulomb/kg (C/kg) | Roentgen(R) | 1C/kg=3876 R =3.876 kR |

3-מעבר מקירי לבקרל

| μCi | kBq | μCi | Mbq |
|----------------|------|----------------|-------|
| mCi | Mbq | mCi | Gbq |
| Ci | Gbq | Ci | Tbq |
| 0.1 | 3.7 | 30 | 1.11 |
| 0.2 | 7.4 | 40 | 1.48 |
| 0.25 | 9.25 | 50 | 1.85 |
| 0.3 | 11.1 | 60 | 2.22 |
| 0.4 | 14.8 | 70 | 2.59 |
| 0.5 | 18.5 | 80 | 2.96 |
| 1 | 37 | 90 | 3.33 |
| 2 | 74 | 100 | 3.7 |
| 2.5 | 92.5 | 125 | 4.625 |
| 3 | 111 | 150 | 5.55 |
| 4 | 148 | 200 | 7.4 |
| 5 | 185 | 250 | 9.25 |
| 6 | 222 | 300 | 11.1 |
| 7 | 259 | 400 | 14.8 |
| 8 | 296 | 500 | 18.5 |
| 9 | 333 | 600 | 22.2 |
| 10 | 370 | 700 | 25.9 |
| 12 | 444 | 750 | 27.75 |
| 15 | 555 | 800 | 29.6 |
| 20 | 740 | 900 | 33.3 |
| 25 | 925 | 1000 | 37 |

דוגמה

$$1 \mu\text{Ci} = 37 \text{ kBq}$$

$$1 \text{ mCi} = 37 \text{ mBq}$$

באמצעות אתר האינטרנט של בטיחות קרינה

www.bgu.ac.il/radiation

ניתן להגיע למחשב שמבצע המרת יחידות וחישובי דעיכה.

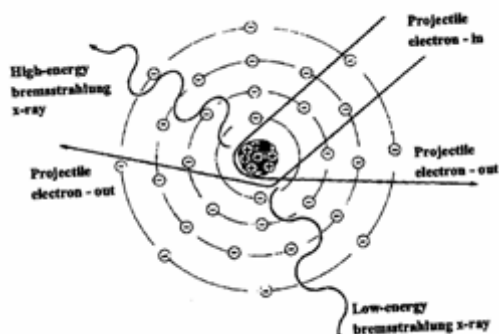
רקע ומושגים לעבודה עם קרינת X

קרינת X נתגלתה ע"י רנטגן בשנת 1895. הקרינה נתגלתה במקרה כאשר עבדו עם שפופרת אלקטרונים במתח גבוה. התכונה הבולטת של קרינת X הייתה שהקרינה חדרה חומרים שונים ולכן השימוש פנימיים של מערכות כולל גוף הוא השימוש לצרכים של במכשירים מדעיים שונים. רפואי אך רוב המכשירים שיש לא רפואי.



מבחינה היסטורית הרי שבסמוך לגילוי קרינת X נתגלתה גם קרינת γ השמות X ו γ ניתנו לקרינות עוד לפני שידעו משהו על תכונותיהם. רק מאוחר יותר התגלה ששני סוגי הקרינה הם בעצם קרינה אלקטרומגנטית כך שקרינת X וקרינת גמא באותה אנרגיה הן קרינות זהות. כיום ההבדל בשם מציין רק הבדל במקור הקרינה ולא הבדל בתכונות מהותיות.

קרינת גמא נפלטת כתוצאה של ירידה של גרעינים של חומרים לא יציבים ברמות אנרגיה כך שקרינת גמא נחשבת לקרינה שמקורה בגרעין של האטום. קרינת X לעומת זאת נפלטת כתוצאה מתהליכים שמחוץ לגרעין האטום. באופן עקרוני קיימות שתי צורות שונות לקבלת קרינת X: הראשונה היא כתוצאה מירידה של אלקטרונים ברמות אנרגיה בתוך האטום (קרינה אופינית) והשנייה כתוצאה מבלימה/איבוד אנרגיה של חלקיקים טעונים. הדרך השניה היא זאת שמנוצלת במכשירים לשימוש רפואי ולשימוש מדעי.



בשרטוט אנו רואים אלקטרון שהואץ

עובר בקרבת השדה החשמלי של גרעין כבד כמו טונגסטן (שבגרעין שלו 74 פרוטונים) כתוצאה מהשפעת השדה האלקטרון מואט ומשנה את כיוון תנועתו כלומר מאבד אנרגיה.

האנרגיה הזאת נפלטת כקרינת X.

נהוג לקרוא לקרינה זו **קרינת בלימה (Bremsstrahlung)** היות והאלקטרון נבלם בתהליך פליטת האנרגיה. באופן תיאורטי אלקטרון כזה יכול לאבד את כל האנרגיה שלו שתהפוך לקרינת X. (בעקרון הקרינה מתקבלת גם כתוצאה מאינטראקציה של קרינת ביתא=אלקטרונים בתוך).

באופן מעשי האלקטרון מאבד בדרך זאת רק חלק מהאנרגיה שלו. מאפיין חשוב של קרינת X המתקבלת בדרך זאת הוא שאנו מקבלים קרינת X באנרגיה רציפה. כלומר טווח של אנרגיות ולא באנרגיה בדידה.

במכשירים שבהם אנו עוסקים מתקבלת קרינת X כתוצאה מהתהליך שתואר. אנו מאיצים במכשיר אלקטרונים במתח גבוה ומפציצים בהם מטרה עשויה מחומר כבד שגורמת לבלימת האלקטרונים ולקבלת קרינת X.

כאמור הדרך הנוספת לקבלת קרינת X היא כתוצאה של ירידת אלקטרונים ברמת אנרגיה בתוך האטום. קרינת X המתקבלת בדרך זאת היא בדידה ואופיינית לכל אטום בהתאם להפרשים ברמות האנרגיה בקליפות השונות של האטום.

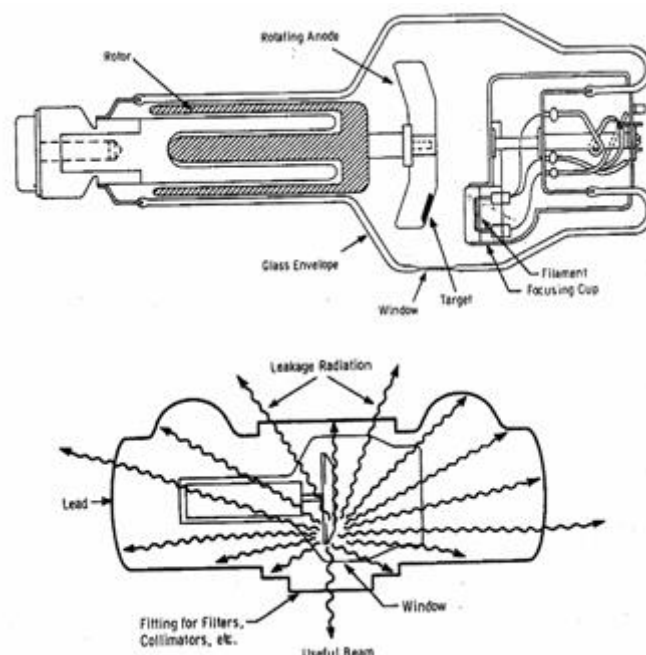
קיימים כמה דרכים שבהם אפשר לגרום לאלקטרונים לרדת ברמות אנרגיה. בכל הדרכים מדובר בשלב הראשון בהוצאה של אלקטרון אחד מהאטום מאחת הקליפות. המקום הפנוי יתמלא ע"י ירידה של אלקטרון מרמה גבוהה יותר ופליטת קרינת X.

ראינו שקרינה רדיואקטיבית מאופיינת כקרינה מייננת כלומר קרינה שמסוגלת לגרום להוצאת אלקטרונים מהאטום. קיים תהליך של הפיכה פנימית (Internal Conversion) שבו קרינת גמא שנפלטת מהגרעין גורמת להוצאת אלקטרון מאחת הקליפות הפנימיות וכתוצאה מכך ירידה של אלקטרונים ופליטת קרינת X. תהליך אחר הוא תהליך של תפיסת אלקטרון (Electron Capture) בתהליך זה אלקטרון מקליפה פנימית נתפס ע"י גרעין האטום ונקבל ירידה של אלקטרונים ברמות אנרגיה ופליטת קרינת X.

בשני המקרים התוצאה היא קרינת X בדידה ובאנרגיה נמוכה.

במכשירים בהם אנו עוסקים קרינת X מתקבלת כתוצאה מבלימה של אלקטרונים שהוצאו במתח גבוה.

תיאור סכמתי של שפופרת רנטגן על חלקיה העיקריים.



רכיבי השפופרת :

מקור אלקטרונים - פילמנט עשוי טונגסטן שמחומם ע"י הזרם החשמלי לטמפרטורה של 2000°C . בטמפרטורה כזו נוצרה פליטה מסיבית של אלקטרונים. הזרם שאנו מודדים במכשיר הוא זרם האלקטרונים שזורם בשפופרת כאשר : $1\text{mA}=6.25\times 10^{25}$ electrons/sec
ספק מתח גבוה - מספק מתח גבוה לצורך יצירת שדה חשמלי שבו יואצו האלקטרונים וירכשו אנרגיה. האנרגיה של האלקטרונים מתאימה למתח האצה, כך שאם יש לנו מתח של 80 kV אנו מדברים על אלקטרונים באנרגיה של 80 Kev.

מטרה - האלקטרונים מפציצים מטרה שעשויה מטונגסטן. היות ורק חלק מהאנרגיה של האלקטרונים הופך לקרינת X נוצר במטרה חום רב. ולכן חובה לספק אמצעי לקירור המטרה. יחס ההמרה של אנרגיית האלקטרון לאנרגיית קרינת X הוא נמוך יחסית ולהלן נוסחה מקורבת:

$$10^{-3} \times \text{משקל אטומי של המטרה} \times \text{אנרגיית האלקטרון} = \text{אנרגיית קרינת X}$$

בדרך כלל מרבית קרינת ה - X תתקבל באנרגיה של כ 0.3 x המתח מרבי.

קולימטור - מטרתו להגביל את גודל הקרן המתקבלת.

פילטר - קרינת X נוצרת באנרגיה רציפה שלא מתאימה ליישום הנדרש. כדי לקבל קרינת X באנרגיה בדידה אנו משתמשים בפילטר לבליעת קרינת X הראשונית ולפליטת קרינת X משנית שנקבעת לפי החומר שממנו עשוי הפילטר. בנוסף לכך הפילטר מקטין את עוצמת הקרינה המתקבלת.

בית השפופרת - מונע פליטת קרינת X לכיוונים לא רצויים. מה שמתקבל בסופו של דבר הוא קרינת X באנרגיה בדידה שאותה אנו מנצלים לצרכינו.

באוניברסיטה קיימים מכשירים שעובדים כדיפרקטורומטרים. במכשירים אלה קרינת X פוגעת בגבישים והפיזור של הקרינה נמדד. במכשירים מסוג זה אין קרינה גלויה. מתקן הניסוי בנוי כך שאין בדרך כלל אפשרות לדליפת קרינה החוצה. סוג שונה של מכשירים הוא מכשירים שבהם עובדים עם קרן שבחלקה לפחות גלויה. מובן שבמכשיר כזה הסיכון רב יותר. בשני סוגי המכשירים משתמשים בקרן ממוקדת בקוטר קטן יחסית, באנרגיה נמוכה אך בעוצמה גדולה. יש לדעת שמדובר בקרן ישירה בעוצמה של למעלה מ 10,000 רנטגן לשנייה, בעוצמה כזאת חשיפת אצבעות או ידיים תגרום לנזק מייד. גם לאחר שהקרינה עברה קולימציה עדיין יש בקרן עוצמה של כ-500 רנטגן לדקה. בקרן המפוזרת או המשנית עוצמת הקרינה נמוכה בהרבה. במידה והדבר תלוי בנו יש להימנע ככל האפשר מתכנון וביצוע של ניסויים בהם יש קרן גלויה. במידה וחובה לעבוד עם קרן גלויה חייב להיות מיגון מתאים שימנע פיזור קרינה לסביבה.

חובה לוודא לפני הפעלת המכשיר שהמיגון מוצב במקומו.

אסור להפעיל את המכשיר ללא המיגון!!

בחלק מהמכשירים אין מיתקן אוטומטי שלא מאפשר הפעלת המכשיר ללא מיגון ולכן מוטלת על המפעיל החובה לוודא שהמיגון מוצב במקומו לפני הפעלת המכשיר. במכשירים מסוג זה נוהגים לבדוק את מרכז הקרן בעזרת לוחיות פלורוצנטיות. יש להיזהר מאד בביצוע בדיקה כזאת. יש למנוע חשיפה של הידיים ולהשתמש בלוחית שמחוברת "לזרוע" ארוכה. אסור להכניס את הראש כדי להסתכל על הלוחית אלא להשתמש במראות מתאימות. יש לזכור שמעל למיגון יש בדרך כלל שדה קרינה משמעותי כתוצאה מהחזרות ופיזורים של הקרינה.

פעולות כמו מרכז או כיוון של הקרן יעשו אך ורק על ידי עובדים מיומנים.

פעולות כאלה חובה לבצע אך ורק במתח זרם מינימאליים.

ניתן לעבוד בצורה בטוחה עם מכשירים פולטי קרינת X כל עוד שומרים על כללי הבטיחות. כלל חשוב הוא לא לבצע כל פעולה שיש בה סיכוי להימצא בתוך הקרן הישירה או המוחזרת כאשר המכשיר בפעולה.

יש להפסיק את המכשיר לפני כל פעולה כזאת!

כלל חשוב לא פחות הוא הקפדה על קיום ופעולה תקינה של אמצעי הבטיחות שמותקנים במכשיר. בכל המכשירים מותקנים מפסקים שלא מאפשרים הפעלת המכשיר ללא התקנת מתקן ניסוי על פתח הקרן. וכן מפסקים שמפסיקים את פעולת המכשיר כאשר פותחים מכסים או מיגונים. **אסור בתכלית האיסור לנסות לעקוף או לבטל מפסקים אלה.** בכל המקרים הידועים שבהם נגרמה חשיפה משמעותית לקרינה ממכשיר קרינת X נמצא שהמפעילים ביטלו אמצעי בטיחות או שהאמצעים לא היו תקינים.

כפי שניתן לראות אנו עוסקים במכשירים מורכבים שיש בהם סיכון ולכן הפעלתם דורשת הכשרה טכנית וידע בבטיחות. מסיבה זאת אסור לעובדים שלא הוסמכו לכך להפעיל את המכשירים ובמיוחד אסור להם לנסות לתקן או לשנות את תנאי העבודה של המכשירים.

כל שינוי או טיפול במכשירים חייב להיעשות אך ורק ע"י עובדים מוסמכים !!!

חובה לבדוק את המכשיר לגילוי דליפת קרינה לאחר כל שינוי או תיקון !!

בדיקת המכשירים בעזרת מכשיר לגילוי קרינה בתדירות גדולה ככול האפשר, גם בהפעלה שגרתית של מכשיר קרינת X, היא אמצעי פשוט ויעיל להבטחת עבודה ללא חשיפה לקרינה. כיום לכל המכשירים שפועלים באוניברסיטה יש בהישג יד מכשיר לגילוי קרינה וחובה להשתמש בו בכל מקרה של תקלה או חשש לתקלה יש להודיע לבטיחות קרינה.

כדי לבדוק מכשיר שפולט קרינת X לדליפה אנו משתמשים במכשיר לגילוי קרינה שמבוסס על עקרון הגייגר. מכשיר כזה לא מיועד למדידת קרינת X ולכן אנו מקבלים תגובה מוגזמת אך הדבר מאפשר לנו יעילות גילוי ורגישות גדולה יותר, כאשר אין לנו עניין בבדיקה כמותית אלא איכותית בלבד (כלומר יש דליפה או אין דליפה).

יש לבדוק את מכשיר קרינת X עם כל הפעלה. **במידה ונתגלה חשש לדליפת קרינה יש להפסיק מיידית את פעולת המכשיר ולהודיע לבטיחות קרינה.** ניתן בעזרת מכשור מתאים למדוד ולקבוע האם מדובר בדליפה משמעותית של קרינה.

ברוב המכשירים הקיימים הגורם לדליפה ניתן לתיקון וגם אם מדדנו עוצמה לא משמעותית של קרינה עדיין חובה עלינו לדאוג לביטול הדליפה. בדרך כלל מדובר בהתקנה לא מדויקת של מתקן הניסוי. במקרים כאלה פעולה פשוטה של חיזוק בורג או הצמדה טובה יותר מונעים את דליפת הקרינה. במכשירים בהם לא ניתן לתקן את הגורם לדליפה יש אפשרות לשים מיגון מתאים. בגלל האנרגיה הנמוכה של קרינת X קל לעצור אותה. כמה מילימטרים של עופרת יספיקו. בכל מקרה המיגון יותקן רק לאחר אישור ובדיקה של אחראי בטיחות קרינה ורק לאחר שנבדק ונמצא שאין כל דרך אחרת להפסיק את דליפת הקרינה.

נוהלי הבטיחות המצורפים לקובץ זה מפרטים את הנהלים שנועדו להבטיח עבודה בטוחה. חובה להקפיד על ביצוע הנהלים. יש לזכור שעובד הפועל בניגוד לנוהל מסכן לא רק את עצמו אלא גם את כל מי שמשמש במכשיר אחריו וכל מי שעובד בסביבה.

בכניסה לכל חדר שבו מוצב מכשיר קרינת X מותקן שלט אזהרה מואר. חובה להדליק את השלט לפני הפעלת המכשיר. בעקרון אין טעם לעמוד בצמוד למכשיר בזמן פעולתו. אך מאידך אין להפקיר את החדר כאשר המכשיר פועל, יש להימצא בקרבת החדר או לנעול אותו.

חובה על המשתמשים לענווד תגים למעקב אחר חשיפות.

במקרה של תקלה או חשש לתקלה יש להפסיק מיידית את פעולת המכשיר. במקרה כזה אין צורך להתקרב למכשיר ויש להפסיק את המתח החשמלי ע"י לחיצה על לחצן חירום שמותקן בחלק מהחדרים או ע"י הפסקת החשמל מלוח החשמל שנמצא בכניסה לכל חדר. במידה והדבר לא אפשרי יש להזעיק חשמלאי שיגרום להפסקת החשמל בחדר.

חובה בכל מקרה של תקלה או חשש לתקלה להודיע מיידית לבטיחות קרינה.

כמו כל מתקן תעשייתי או מעבדתי אחר יש בהפעלה ובשימוש במכשירים פולטי קרינת X סיכון, הקפדה על עבודה בהתאם לנוהלים שנקבעו תבטיח למרות הסיכון הקיים עבודה בטוחה ללא כל פגיעה בעובדים.

ראה בהמשך נהלים לעבודה עם מכשירים פולטי קרינה.

נוהל בטיחות קרינה מייננת 2014-אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

(ללא נספחים)

אוניברסיטת בן - גוריון בנגב

| | | | |
|-----------|-------------|-------------------|--------------|
| מס' הנוהל | תאריך פרסום | מס' דף מס' / מתוך | מאיי / תשע"ד |
| 09-003 | 2014 | 1 / 6 | מאי / תשע"ד |

נהלי האוניברסיטה

נוהל: בטיחות קרינה מייננת

נספחים:

נספח א': מדבקת סימון מעבדה רדיואקטיבית/קרינה מייננת
נספח ב': רשימת טלפונים למסירת הודעות
הפניה לנוהל 09-006 – בדיקות רפואיות
הפניה: קובץ הוראות בטיחות קרינה

1. כללי

ממונה בטיחות קרינה באוניברסיטת בן-גוריון בנגב אחראי לבטיחות עובדי האוניברסיטה, הסטודנטים והמבקרים בה בכל הקשור לעבודה עם מקורות קרינה רדיואקטיבית, עם חומרים רדיואקטיביים ועם מכשירים פולטי קרינה מייננת באוניברסיטה. נוהל זה הנו נוהל כללי ובצידו מצויות הוראות מפורטות בקובץ הוראות בטיחות קרינה של האוניברסיטה.

2. מטרה

מטרת נוהל זה לקבוע כללים והנחיות לקיום מערך בטיחות הקרינה המייננת על מנת להבטיח את בטיחות העובדים ולקיים את דרישות החוק בנוגע לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים ועם מכשירים פולטי קרינה מייננת.

3. הגדרות

- 3.1 ממונה בטיחות קרינה (להלן: "ממונה")** – מי שמנכ"ל האוניברסיטה מינה אותו להיות ממונה בטיחות קרינה ומינויו אושר על ידי משרד הכלכלה.
- 3.2 מעבדה** – מקום שמבצעים בו בדיקות, אנליזות, ניסויים, מחקר ופיתוח, הדרכה, לימוד והוראה ומשתמשים בתוך כך בחומרים רדיואקטיביים ו/או במכשירים פולטי קרינה מייננת.
- 3.3 עובד קרינה** - "אדם העוסק בקרינה שחשיפתו התעסוקתית עלולה לעבור בשנה אחת את 1/10 המגה הגבולית, או העובד באחת או בכמה מהעבודות המפורטות בתוספת השלישית בהיקף של 200 שעות בשנה לפחות, אלא אם כן קבע מפקח עבודה אזרית אחרת" (מתוך תקנות הבטיחות בעבודה, התשנ"ג 1992, ראו להלן), לרבות כל עובד סגל אקדמי, מנהלי או טכני, גמלאי, אורח, סטודנט או מתנדב, שעבודתו קשורה במכשירים פולטי קרינה מייננת או בחומרים רדיואקטיביים, ואשר עלול להיחשף לקרינה פנימית או חיצונית, ובהתאם לקביעתו של ממונה בטיחות קרינה.
- 3.4 שטח האוניברסיטה** – כל אתרי האוניברסיטה, לרבות בניין הפתולוגיה, קומה 6 בביה"ח סורוקה, המכונים לחקר המדבר, קריית ברגמן, קריית טוביהו, מעבדה בביה"ח הפסיכיאטרי, בית חולים וטריטארי או כפי שיקבע המנכ"ל
- 3.5 קובץ הוראות בטיחות קרינה מייננת באוניברסיטה** – קובץ הוראות בטיחות קרינה שמפרסם הממונה על בטיחות קרינה, המתעדכן מעת לעת. הקובץ מכיל מידע כללי והוראות בטיחות קרינה מפורטות לכל תחומי העבודה בקרינה מייננת ובחומרים רדיואקטיביים. מהדורה מעודכנת של הקובץ נמצאת באתר האינטרנט של האוניברסיטה בכתובת: <http://www.bgu.ac.il/radiation>
- 3.6 דו"מטר** – תג פיקוח סכנות קרינה (פס"ק) המוצמד לדש הבגד, שמטרתו למודוד את רמת החשיפה של העובד לקרינה מייננת.
- 3.7 תקנות בטיחות עיקריות** –
תקנות הבטיחות בעבודה (ניהות תעסוקתית ובריאות העוסקים בקרינה מייננת), התשנ"ג 1992
תקנות הרוקחים (ניסודות רדיואקטיביים ומוצריהם), תשי"ם 1980
תקנות עבודת נשים (עבודה בקרינה מייננת תיקון), התשע"א 2011
תקנות החומרים המסוכנים (סילוק פסולת רדיואקטיבית), התשס"ב 2002

אוניברסיטת בן - גוריון בנגב

תאריך פרסום מס' הנוהל

09-003

2014
תשע"ד

מאי
אייר

דף מס' 2
מתוך : 6

נהלי האוניברסיטה

4. תוכן הנוהל

4.1 התחלת עבודה בקרינה מייננת

4.1.1 תחילת כל עבודה בחומרים רדיואקטיביים, בקרינה רדיואקטיבית או בקרינה מייננת מחייבת אישור מוקדם של הממונה. בכל מקרה תתבצע העבודה בהתאם לתקנות הבטיחות ולהוראות בטיחות קרינה המתפרסמות בקובץ הוראות בטיחות קרינה.

4.1.2 בהתאם לנוהל הדרכת עובדים, יופנו כל עובדי קרינה סגל מנהלי, טכני ואקדמי חדשים, המיועדים לעבוד בחומרים רדיואקטיביים ו/או בקרינה מייננת, ע"י ראש המחלקה לממונה בטיחות קרינה בהתאם למחלקה שבה הם עובדים לצורך רישום, הפניה לבדיקות והדרכה.

4.1.3 סטודנטים, גמלאים, אורחים, מתנדבים וכל אדם אחר, לרבות עובדי אוניברסיטה ותיקים, יופנו לממונה בטיחות קרינה על ידי מנהל המעבדה או החוקר האחראי לפני תחילת עבודתם בקרינה מייננת לצורך רישום, הפניה לבדיקות והדרכה.

4.2 הדרכת עובדים בקרינה מייננת

4.2.1 כל עובד חדש בקרינה מייננת יקבל את קובץ הוראות בטיחות קרינה ממונה בטיחות קרינה. העובד נדרש לקרוא את הקובץ ולמלא את פרטיו האישיים ופרטים על העבודה המתוכננת בדף המיועד לכך, כמו כן יחתום העובד על אישור שקרא את הקובץ ועל התחייבות לעבוד בהתאם לכל הוראות הבטיחות בקרינה, וישלח את הטופס לממונה בטיחות קרינה.

4.2.2 ממונה בטיחות קרינה יזמין עובדי קרינה החדשים להדרכה לאחר שקיבל מהם את דף האישור החתום. ההדרכה תתבצע על ידי הממונה ומרצים אורחים. באחריות ראש המחלקה לוודא שעובדי קרינה מהסגל המנהלי הטכני והאקדמי עברו הדרכה לפני תחילת עבודתם, ויקבלו בהמשך הדרכת ריענון ע"פ הנהלים.

באחריות, מנהל המעבדה, או החוקר האחראי, לוודא שסטודנטים, גמלאים, אורחים, מתנדבים או כל אדם אחר, לרבות עובדי אוניברסיטה ותיקים קבלו הדרכה לפני תחילת עבודתם, ויקבלו הדרכת ריענון בהמשך עבודתם ובהתאם לנהלים.

4.2.3 נוסף על הדרכה זו חייב כל מנהל מעבדה או חוקר אחראי, להדריך את העובד החדש לפני תחילת עבודתו.

4.2.4 הדרכת ריענון שנתיית בבטיחות קרינה ניתנת במערכת למידה מרחוק ובכל דרך אחרת שיקבע הממונה.

4.2.5 עובדים החשופים במסגרת עבודתם לחומרים מסוכנים, בנוסף לעבודתם עם קרינה מייננת, מחויבים לעבור הדרכת בטיחות.

4.3 בדיקות רפואיות

4.3.1 חובה לבצע בדיקות רפואיות כמפורט בתקנות הבטיחות או כפי שיקבע ממונה בטיחות קרינה. עובדי קרינה יעברו בדיקה רפואית כללית לפני התחלת העבודה בקרינה וכן אחת לשנה, בהתאם לנוהל בדיקות רפואיות של אוניברסיטת בן-גוריון.

4.3.2 הממונה מוסמך להפנות לבדיקות רפואיות מעבר לבדיקה השגרתית על פי הצורך.

4.3.3 עובד שהוזמן לבדיקות רפואיות חייב להתייצב במועד שנקבע לו. אי הופעה לבדיקות ללא אישור הממונה בכתב ומראש מהווה עבירה משמעותית ותגרום גם לביטול מידי של האישור שניתן לעובד לעבודה בקרינה. הממונה ישלח הודעה מיידית על ביטול האישור לעובד, לראש המחלקה, לסמנכ"ל משאבי אנוש, לסמנכ"ל פיתוח ולוגיסטיקה ולחוקר האחראי.

| מס' הנוהל | תאריך פרסום | מאי אייר | דף מס' מתוך : |
|-----------|-------------|----------|---------------|
| 09-003 | 2014 תשע"ד | מאי אייר | 3 / 6 |

נהלי האוניברסיטה

4.3.4 בנוסף לבדיקות הרפואיות הנ"ל באחריות הממונה להפנות לבדיקות שתן לגילוי זיהום רדיואקטיבי פנימי כנדרש בתקנות. עובד שהממונה דרש ממנו למסור דגימת שתן חייב למסור את הדגימה בזמן ובמקום שנדרש. אי מסירת דגימה כנדרש מהווה עבירת משמעות שתגרום גם לביטול האישור של העובד לעבודה בקרינה. הממונה ישלח הודעה מידית על ביטול האישור לעובד, לראש המחלקה, לסמנכ"ל משאבי אנוש, לסמנכ"ל פיתוח ולוגיסטיקה, ולחוקר האחראי.

4.4 עבודה בהתאם להוראות בטיחות קרינה מיינת

כל עבודה בקרינה חייבת להתבצע בהתאם להוראות המפורטות [בקובץ הוראות בטיחות קרינה](#) ולהנחיות העוסקות בביצוע עבודות במעבדות ייעודיות, ובכפוף לכל דין.

4.5 דו"מטר – תג מעקב חשיפה לקרינה

4.5.1 הממונה יקבע אלו עובדים יקבלו תגי דו"מטר אישיים למעקב אחר מידת החשיפה שלהם לקרינה חיצונית. עובד שקיבל תג אחראי לשלמותו וחייב לענד אותו במשך כל זמן עבודתו.

4.5.2 בסיום העבודה יאוחסן התג במקום שייקבע בתיאום עם הממונה. התג האישי ייבדק במעבדה מוסמכת אחת לחודש או חודשיים.

4.6 רכישת חומרים רדיואקטיביים ומכשירים פולטי קרינה מיינת

4.6.1 רכישה וקבלה של חומרים רדיואקטיביים ומכשירים פולטי קרינה מיינת תיעשה אך ורק באמצעות מחלקת רכש והספקה של האוניברסיטה.

4.6.2 אסור לעובד להזמין ולקבל חומרים רדיואקטיביים ישירות מהספק או מכל גורם אחר, לרבות ציוד וחומרים הניתנים בחינם.

4.6.3 אסור להכניס לאוניברסיטה ציוד פולט קרינה מיינת או חומרים רדיואקטיביים שלא באמצעות מחלקת רכש והספקה. בכל מקרה של הכנסת חומרים פולטי קרינה/חומרים רדיואקטיביים שלא באמצעות מחלקת הרכש יש לקבל אישור מראש של ממונה בטיחות קרינה.

4.6.4 יזם של רכישת חומרים רדיואקטיביים, מקורות קרינה ומכשירים פולטי קרינה מיינת חייב להצהיר על כך בעת הזנת הדרישה למערכת, גם כאשר הזנת הדרישה מתבצעת ע"י עובד אחר מטעמו.

יזם הדרישה יודיע לממונה בטיחות קרינה על הזנת הדרישה למערכת וימסור את כל המידע על הציוד/חומרים, המעבדה בה יעבוד, וזהות העובדים שישתמשו בחומר או יפעילו את הציוד.

4.6.5 מחלקת רכש והספקה לא תזמין חומרים רדיואקטיביים ומכשירים פולטי קרינה מיינת, שהיזם הצהיר עליהם ככאלה, ללא אישור ממונה בטיחות קרינה.

4.6.6 ממונה בטיחות קרינה יודא שהחומר או הציוד המוזמנים תואמים את האישור שיש לעובדים ולמעבדה ויאשר את ביצוע ההזמנה. אם ממונה בטיחות קרינה מחליט שלא לאשר את ביצוע ההזמנה, תימסר על כך הודעה למחלקת רכש והספקה וליזם.

4.6.7 בהגיע הציוד או החומרים למחסן תימסר הודעה על כך לממונה בטיחות קרינה. הממונה יבדוק שהחומרים או הציוד מתאימים להזמנה, וכך שאריזת החומרים והציוד עומדת בתקנות. לאחר אישור הממונה, יועבר הציוד למזמין. הפעלה ראשונית של ציוד/מכשור פולט קרינה מחייבת נוכחות ממונה בטיחות קרינה.

החומרים הרדיואקטיביים יועברו מהמחסן למעבדת היוזם ע"י הממונה, במקרים חריגים בלבד יאשר הממונה הספקה ישירה למעבדות. חובה לקבל אישור מראש מהממונה לכל חריגה מנהל זה.

אוניברסיטת בן - גוריון בנגב

| מס' הנוהל | תאריך פרסום | מס' דף מס' מתוך : |
|-----------|-------------------|-------------------|
| 09-003 | מאי 2014 תשע"ד | 4 6 |

נהלי האוניברסיטה

4.7 תקלות ומסירת הודעות לממונה בטיחות קרינה

עובד קרינה חייב לדווח מיד לממונה בטיחות קרינה על כל תקלה שיש בה חשש לפיזור חומרים רדיואקטיביים או חשש לחשיפה לקרינה מייננת (ראו נספח ב'). עובד קרינה ינקוט את כל הצעדים הנדרשים להקטנת החשיפה והפיזור, בהתאם לנהלים המפורטים בקובץ בטיחות קרינה, וימתין בקרבת מקום עד להגעת הממונה.

4.8 עבודות ניקיון במעבדות רדיואקטיביות

4.8.1 עבודות ניקיון במעבדות רדיואקטיביות תבוצענה בהתאם לקובץ הוראות בטיחות קרינה.

4.8.2 עבודות ניקיון במעבדות רדיואקטיביות תבוצענה רק לאחר שפועלי הניקיון קיבלו תדרוך מהאחראים על פעילות המנקים וממונה המבנה (ובתנאי שהאחראים עצמם קיבלו הדרכה בנושא מממונה בטיחות קרינה).

4.9 עבודות אחזקה במעבדה רדיואקטיבית ייעשו אך ורק באישור ממונה בטיחות קרינה ובהתאם לקובץ הוראות בטיחות קרינה.

4.10 שילוט בטיחות קרינה

4.10.1 כל המעבדות והמתקנים שעובדים בהם במקורות קרינה מייננת ובחומרים רדיואקטיביים יסומנו במדבקת סימון מיוחדת (ראו נספח א').

4.10.2 הממונה הוא הגורם היחיד באוניברסיטה הרשאי להציב ולחסיר שלטי אזהרה ומדבקות סימון "רדיואקטיבי/קרינה מייננת".

4.10.3 חובה לציית להוראות השילוט.

4.11 סמכות המסקת עבודות

הממונה רשאי להפסיק כל עבודה בחומרים רדיואקטיביים או בקרינה מייננת כאשר יש חשש לדעתו לחריגה מהתקנות ומחנחלים. הממונה רשאי להפעיל סמכות זו על פי שיקול דעתו הבלעדי.

5. אחריות

ממונה בטיחות קרינה, ממ"ח בטיחות וסמנכ"ל פיתוח לוגיסטיקה אחראים ליישום כל סעיפי הנוהל ולפיקוח עליהם.

6. תחולה

6.1 נוהל זה חל על כל עובדי האוניברסיטה, וכן על כל מי שמוגדר כעובד קרינה (ראו סעי' 3.3).

6.2 נוהל זה חל על כל אתרי האוניברסיטה או כפי שיקבע סגן הנשיא והמנכ"ל.

6.3 נוהל זה תקף מיום פרסומו ומבטל את הנהלים האלה: 09-001, 09-008.

12.3
דוד ברקת
סגן נשיאה ומנכ"ל

נוהל קבלת עובד למשרה של עובד קרינה

(בהתאם להוראות האוניברסיטה 09-003)

הגדרה: עובד קרינה הוא כל אדם: עובד סגל אקדמי, סגל מנהלי, סגל טכני או סטודנט (כולל אורחים, מתנדבים, משתלמים זרים, עולים חדשים וכל מעמד אחר) שבמסגרת עבודתו באוניברסיטה על כל שלוחותיה משתמש במכשירים פולטי קרינה מייננת, מקורות קרינה מייננת או חומרים רדיואקטיביים.

1. כל מישרה של עובד קרינה תצוין "כמשרה של עובד קרינה" ע"י היוזם בפנייתו למחלקת כוח אדם בבקשה לאישוש המשרה. הוראות אלה חלות גם על עובדים ותיקים הנדרשים במהלך עבודתם באוניברסיטה להתחיל לעבוד כעובדי קרינה.

2. מחלקת כוח אדם תפנה את העובד לשירות הרפואי לביצוע בדיקות רפואיות. יש לציין בהפניה שהעובד יועסק כעובד קרינה. **חובה לבצע את הבדיקות הרפואיות לפני תחילת העבודה בקרינה.**

3. מחלקת כוח אדם תפנה את העובד לבטיחות קרינה לקבלת הדרכה ואמצעי בטיחות. ממונה בטיחות קרינה ימסור לעובד אישור בכתב לעבודה בקרינה. העתק האישור ישלח למחלקת כוח אדם.

4. סטודנט שבמסגרת לימודיו לתואר גבוה או לביצוע פרוייקט גמר, חייב לבצע עבודה הכוללת עבודה בחומרים רדיואקטיביים ו/או מכשירים פולטי קרינה, **חובה על החוקר המנחה את הסטודנט להפנותו לבטיחות קרינה לקבלת הדרכה ואישור לפני תחילת עבודתו בקרינה. לצורך ניהול בטיחות קרינה סטודנט כזה נחשב ל"עובד קרינה".**

5. מעבדות הוראה לסטודנטים יבוצעו בהתאם לנוהל "עבודת סטודנטים עם חומרים רדיואקטיביים, מקורות קרינה ומכשירים פולטי קרינה", ראה בהמשך הקובץ.

6. **לא יועסק עובד קרינה ללא אישור מבטיחות קרינה !!!**

7. במקרים בהם קליטת העובד באוניברסיטה לא נעשית באמצעות מחלקת כוח אדם האחריות מוטלת על החוקר או מנהל המעבדה לוודא ביצוע בדיקות רפואיות, קבלת הדרכה ואישור לפני תחילת העבודה.

8. עובד קרינה שסיים עבודתו בקרינה או מתכוון לעזוב את עבודתו באוניברסיטה חייב להודיע על כך לבטיחות קרינה. מחלקת כוח אדם תעכב את המשך הטיפול בעובד עד לקבלת אישור מבטיחות קרינה.

בטיחות קרינה

נוהל אישור עבודה למעבדות רדיואקטיביות

הגדרה: מעבדה רדיואקטיבית לצורך הוראה זו היא כל אזור עבודה בו משתמשים ו/או מאחסנים מקורות קרינה רדיואקטיבית, חומרים רדיואקטיביים, או שמפעילים בו מכשירים פולטי קרינה רדיואקטיבית.

1. עובד המעונין לקבלת אישור למעבדה לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים ו/או מקורות קרינה, יפנה בבקשה בכתב לבטיחות קרינה תוך פירוט סוגי החומרים, כמויות בעבודה ובאחסון, תיאור קצר של השימוש ושמות העובדים שיעבדו במעבדה.

2. עובד המעונין להתקין מכשיר פולט קרינה רדיואקטיבית יפנה בקשה בכתב לבטיחות קרינה תוך פירוט סוג המכשיר, יצרן, מתח וזרם בעבודה, תיאור קצר של השימוש במכשיר ושמות העובדים שישתמשו במכשיר.

3. **חובה לפנות לבטיחות קרינה לפני תחילת התהליכים לרכישת חומרים רדיואקטיביים או מכשירים פולטי קרינה !!**

4. עם קבלת הבקשה יבקר אחראי לבטיחות קרינה באזור העבודה ובמקרה הצורך יודיע למבקש אלו סידורים יש לבצע באזור (בהתאם לדרישות משרד התמ"ת והמשרד להגנת הסביבה).

5. לאחר שהמבקש יודיע לבטיחות קרינה על השלמת הסידורים, יוזמנו נציגי משרד איכות הסביבה / העבודה לביקורת ואישור.

שים לב! התהליך מרגע קבלת הבקשה עד לקבלת האישור לוקח זמן !

רצוי לפנות לבטיחות קרינה מוקדם ככל האפשר.

6. לא יעסוק עובד בעבודות קרינה במקומות שלא קיבלו אישור ממשרד איכות הסביבה/משרד העבודה. במקומות שקיבלו אישור תתבצע העבודה אך ורק בהתאם לתנאי האישור. יש לבקש אישור מבטיחות קרינה לכל חריגה מהאישור הקיים.

בטיחות קרינה

נוהל בטיחות קרינה להזמנת ציוד פולט קרינה מייננת, מקורות קרינה וחומרים רדיואקטיביים

1. כללי

1.1 בכל מקרה של הזמנת ציוד שפולט קרינה רדיואקטיבית או קרינה מייננת, ציוד שמכיל חומרים רדיואקטיביים, מקורות קרינה רדיואקטיבית וחומרים רדיואקטיביים פתוחים

מוטלת האחריות לקבלת האישורים הנדרשים על היוזם.

1.2 הזמנת מכשיר פולט קרינה או חומר רדיואקטיבי ללא אישור בטיחות קרינה היא עבירה על חוקי מדינת ישראל ונהלי בטיחות קרינה של האוניברסיטה.

1.2 במקרים בהם מזין הדרישה למחשב הוא לא היוזם בעצמו חייב היוזם לדווח למזין הדרישה על הצורך בקבלת אישור בטיחות קרינה. האחריות מוטלת על יוזם הדרישה.

חובה לציין בדרישה את שם היוזם (לא רק את שם מזין הדרישה). דרישה ללא שם היוזם

לא תאושר!!

1.3 ציוד או חומרים שיגיעו לאוניברסיטה ושהזמנתם לא אושרה מראש על ידי בטיחות קרינה לא ימסרו ליוזם. במרבית המקרים לא ניתן יהיה לשחרר את הציוד מהמכס או שיחול עיכוב ניכר בשחרורו מהמכס דבר שמשמעותו נזק כספי משמעותי.

1.4 במקרה שחומר רדיואקטיבי או מכשיר פולט קרינה הגיע ליוזם למרות שלא קיבל אישור מבטיחות קרינה אסור להשתמש בחומרים או להפעיל את הציוד וחובה להודיע על כך מיידית לבטיחות קרינה.

1.5 אסור להכניס לאוניברסיטה ציוד וחומרים רדיואקטיביים שלא באמצעות מחלקת רכש והספקה. האיסור חל גם על ציוד וחומרים שמתקבלים ללא תשלום.

2. הזמנת מכשיר פולט קרינה מייננת

הגדרה-מכשיר פולט קרינה מייננת לצורך ניהול זה הוא כל מכשיר שמכיל

חומר רדיואקטיבי או שבזמן פעולתו נפלטת קרינה מייננת.

2.1 יוזם הזמנת מכשיר פולט קרינה יפנה לבטיחות קרינה לפני תחילת ההליכים הקשורים להזמנת המכשיר ויקבל מבטיחות קרינה הנחיות לגבי אישורים נדרשים, ציוד נילווה התקנות ושינויים (במידה ויש צורך).

2.2 היוזם יזין את הדרישה למערכת הממוחשבת ויפנה אותה לקניין המתאים. (בהתאם לסוג הציוד והאם הספק בחו"ל או בישראל).

2.3 בדרישה, בתיאור המורחב או בהערות חובה לציין במפורש שמדובר במכשיר שמכיל חומר רדיואקטיבי או שבהפעלתו נפלטת קרינה מייננת.

2.4 יוזם הרכישה יודיע לבטיחות קרינה בדואר אלקטרוני srebro@bgu.ac.il על הזנת הדרישה למערכת, כולל פרטים מלאים על המכשיר, מיקום מיועד, חוקר אחראי, מועד

הספקה מתוכנן וכל פרט רלוונטי אחר. ממונה בטיחות קרינה יאשר את הדרישה במערכת תפנית אם הדרישה לא חורגת מתנאי האישורים של העובדים ושל המעבדות. ממונה בטיחות קרינה יודיע ליוזם ולקניין במידה והוא החליט שלא לאשר את הדרישה. לא תאושר דרישה שלא התקבל עבורה המידע הנדרש בדואר האלקטרוני.

2.5 כאשר יגיע המכשיר/ציוד לאוניברסיטה תודיע מחלקת רכש והספקה לטיחות קרינה. התקנת המכשיר והפעלתו הראשונית חייבות להיעשות אך ורק בנוכחות בטיחות קרינה. 2.6 אסור להכניס לאוניברסיטה ציוד/מכשיר פולט קרינה ללא תיאום וקבלת אישור בטיחות קרינה מראש. הדבר נכון גם לציוד שמתקבל בחינם או בהשאלה ממוסד אחר או מספק.

3. הזמנת חומרים רדיואקטיביים ומקורות קרינה

3.1 עובד אוניברסיטה בעל אישור לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים המעוניין להזמין חומר רדיואקטיבי יקליד דרישה במערכת האי-תפנית ויצין את המספר של קניין כימיקלים (24). במידה ולא היוזם מזין את הדרישה חובה להכניס את שם היוזם.

במקרה כזה מוטלת האחריות על היוזם לוודא שהזנת הדרישה נעשית

בהתאם לנהלים. לא תאושר דרישה ללא שם היוזם!!

3.2 יש להקליד את הדרישה בתחילת שבוע על-מנת שבדרך כלל החומר יסופק בתחילת השבוע הקרוב. (יש לשים לב שלא כל החומרים מסופקים על בסיס שבועי).

3.3 יש למלא בדרישה את מירב הפרטים הידועים על החומר המוזמן: שם החומר, מספר קטלוגי של היצרן, שם הסוכן, שם החומר הרדיואקטיבי שבו מסומן החומר או סימנו, הכמות המוזמנת וכל פריט רלוונטי אחר. יש להקפיד על שימוש ביחידות הנכונות:

בסעיף יחידה יש לבחור $221 = \mu\text{Ci}$ מיקרוקירי או $222 = \text{mCi}$ מיליקירי. חובה בכל מקרה

לרשום בתיאור המורחב או בהערות שמדובר בחומר רדיואקטיבי.

3.4 יוזם הדרישה יודיע בדואר אלקטרוני לטיחות קרינה

srebro@bgu.ac.il את כל הפרטים על החומר המוזמן, כולל שם

המעבדה, מספר דרישה, חוקר אחראי, מיקום, העובדים שישתמשו בחומר

והאם החומר מיועד לשימוש במספר מעבדות. (במקרה כזה יש לפרט את

המעבדות והעובדים).

3.5 ממונה בטיחות קרינה יאשר את הדרישה במערכת תפנית אם הדרישה לא חורגת מתנאי האישורים של העובדים ושל המעבדות. ממונה בטיחות קרינה יודיע ליוזם ולקניין הכימיקלים

במידה והוא החליט שלא לאשר את הדרישה. לא תאושר דרישה שלא התקבל עבורה

המידע הנדרש בדואר האלקטרוני.

3.6 כאשר חומר רדיואקטיבי יגיע לאוניברסיטה תימסר הודעה לבטיחות קרינה.בטיחות קרינה תוודא שהזמנת החומר אושרה ותבדוק את שלמות האריזה והתאמתה להזמנה. במידה ויגיעו חומרים שהזמנתם לא אושרה הם לא ימסרו ליוזמים. בטיחות קרינה תחתום במחסן ותעביר את החומר ליוזם.

3.7 הזמנת חומרים רדיואקטיביים תעשה אך ורק במערכת הממוחשבת. אסור להזמין חומרים ישירות מהספקים ואסור לקבל חומרים רדיואקטיביים ישירות מהספקים כולל חומרים או דוגמאות שמסופקות בחינם.

אסור להכניס חומרים רדיואקטיביים לאוניברסיטה שלא באמצעות מחסן הכימיקלים כולל הבאה ישירה ע"י חוקרים שעובדים גם במוסדות אחרים.

3.8 במקרים חריגים תאושר הספקה ישירה למעבדות.

3.9 אסור ליוזם שקיבל חומר רדיואקטיבי להעביר חומר לעובדים אחרים ללא אישור בטיחות קרינה.

3.10 אסור לעובדי אוניברסיטה ולעובדים במעבדות השייכות לאוניברסיטה להזמין חומרים רדיואקטיביים באמצעות המרכז הרפואי האוניברסיטאי סורוקה ללא אישור בטיחות קרינה באוניברסיטה לפני העברת הדרישה לבית החולים.

3.11 הזמנות לחומרים רדיואקטיביים המיועדים למעבדות בית החולים מחייבות אישור ממונה בטיחות קרינה של בית החולים בנוסף לאישור ממונה בטיחות קרינה של האוניברסיטה. האחריות לקבלת האישורים מוטלת על היוזם.

3.12 הזמנת חומרים רדיואקטיביים ישירות מספקים בחו"ל שלא באמצעות סוכנים בישראל תתבצע בהתאם לנוהל זה. יש להעביר את הדרישה במערכת תפנית לטיפול קניין חו"ל ולציין בדרישה שמדובר בהזמנה של חומר רדיואקטיבי. (יש לשלוח אי מייל לבטיחות קרינה בהתאם לנוהל).

3.13 במקרה של היעדרות מתוכננת של ממונה בטיחות קרינה מהאוניברסיטה תימסר הודעה מראש לחוקרים ולקניינית כימיקלים. כדי למנוע עיכובים בהספקת החומרים מומלץ להזין את הדרישות מראש למערכת ולציין בדרישה את מועד ההספקה המבוקש. ממונה בטיחות קרינה יאשר את הדרישות בהתאם לנוהל. קניינית כימיקלים תתאם במקרה כזה עם הספקים הספקה ישירה של החומרים למעבדות.

3.14 במקרים חריגים בלבד יאשר ממונה בטיחות קרינה חריגה מנוהל זה.

בטיחות קרינה

נוהל בטיחות קרינה כללי לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים


נוהל זה מהווה סיכום של כל הוראות בטיחות קרינה


הקשורות לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים.

בהמשך הקובץ יש נוהלים מפורטים לתחומי העבודה השונים.

1. עבודה עם חומרים רדיואקטיביים תבוצע אך ורק במעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים ורק ע"י עובדים שקיבלו אישור לעבודה בקרינה. **העבודה תבוצע בהתאם לתנאי האישורים שניתנו לעובד ולמעבדה.** חריגה מתנאי האישור של העובד או המעבדה מחייבת אישור מוקדם של בטיחות קרינה.

2. כל עובד בחומרים רדיואקטיביים ינהל רישום מדויק של כל עבודה עם חומרים רדיואקטיביים. הרישום יכלול: תאריך, סוג החומר, אקטיביות ואירועים מיוחדים.

3. במעבדה בה עובדים עם חומרים רדיואקטיביים ילבשו כל העובדים חלוק מעבדה, כל זמן שהותם **מגיע עד מתחת לברך** עם חלוק שהזדהם.  במידת האפשר ניתן להשאיר את החלוק בתוך שקית ניילון מסומנת, לדעיכה. כאשר הדבר לא אפשרי, ייזרק החלוק לפסולת רדיואקטיבית.

4. עובד הבא במגע עם חומרים רדיואקטיביים ילבש **בתדירות גדולה ככל האפשר!** אסור להמשיך לעבוד עם חומרים רדיואקטיביים ילבש **יש לבדוק ולהחליף כפפות** כפפות לשימוש חד פעמי. יש ללבוש את הכפפות מכוסה בכפפה.  **כפפות מזהמות**. כפפה מזהמת הופכת להיות סיכון בטיחותי וכל הציוד שניגע בו יזדהם. יש להחליף מיידית כפפה מזהמת או חשודה בזיהום. **יציאה מהמעבדה תהיה תמיד עם כפפות חדשות.**

5. לפני תחילת העבודה יש להכין את אזור העבודה: יש לפרוש "חיתולים" על שולחנות המעבדה ולהכין מגשים מרופדים בחומר סופג. כל הפעולות הקשורות בטיפול בנוזלים רדיואקטיביים יעשו בתוך המגשים. "חיתול" שהזדהם יש להחליף בהקדם האפשרי. אסור להשאיר "חיתולים" מזהמים על שולחנות העבודה. יש לסמן את אזור העבודה במדבקות **"רדיואקטיבי"**. ניתן לקבל מדבקות כאלו מבטיחות קרינה.

6. יש להכין כלים לפינוי פסולת רדיואקטיבית מוצקה ונוזלית. **במעבדות שעובדות עם P-32 וחומרים פולטי קרינת גמא חובה להכין סידורי מיגון מתאימים לפסולת הנוזלית והמוצקה.**

7. רצוי ביותר להקטין ככל האפשר את כמות החומר הרדיואקטיבי בעבודה.

8. **יש להשתדל לבצע חלק גדול ככל האפשר משלבי העבודה בתוך מינדף. מומלץ לבצע את העבודה עם "תמיסת האם" (הריכוז המקורי הגבוה) בתוך מינדף.**

9. בעבודה עם חומרים פולטי קרינת ביתא באנרגיה גבוהה או חומרים פולטי קרינת גמא (חומרים כמו: Rb- 86,Cr- 51,I- 125, P- 32 וכו') יש לוודא הימצאות של מכשיר נייד לגילוי קרינה בהישג יד. המכשיר חייב להתאים לסוג הקרינה והחומר הרדיואקטיבי הנבדק. בכל מקרה של ספק יש להתייעץ עם בטיחות קרינה. בעבודה עם חומרים פולטי קרינת ביתא באנרגיה נמוכה (כמו C-14, H- 3) חובה לוודא הימצאות בהישג יד של מונה נצנץ נוזלי תקין.

10. בעבודה עם חומרים פולטי ביתא וגמא הניתנים לגילוי במכשיר בדיקה נייד, כמו: Rb- 86,Cr- 51,I- 125,P- 32, על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור עבודתו בתדירות גדולה במכשיר מתאים. חובה על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור עבודתו כולל ריצפת המעבדה בעזיבת המעבדה ובגמר העבודה. יש לבצע את הבדיקה בתשומת לב ולקרב את הגלאי ככול האפשר לאזור הנבדק. יש לעבור בתנועה איטית עם הגלאי מאזור לאזור (סריקה מהירה עלולה לא לגלות דבר). את הבדיקה העצמית יש לבצע במקום בו הרקע נמוך. כאשר אנו בודקים ציוד או אזור במקום שבו הרקע גבוה יש לבצע בדיקות "מריחה" בנוסף לבדיקה הישירה. בסוף יום העבודה חובה על כל העובדים ששהו במעבדה להיבדק גם אם לא עבדו בחומרים רדיואקטיביים.

11. בעבודה עם חומרים פולטי ביתא שלא ניתנים לגילוי במכשיר נייד, חומרים כמו: H-3, C-14, P-33, S-35, Ca-45, חובה להיבדק ולבדוק את אזור העבודה בבדיקות "מריחה" בתדירות גדולה ככל האפשר! (שפשוף פיסת נייר לחה על האזור הנבדק, הכנסת הנייר לנוזל נצנץ וספירה במכשיר מתאים ובמקביל ספירה של נייר נקי לקביעת הרקע). חובה להיבדק ולבדוק את אזור העבודה בגמר יום העבודה או בגמר ניסוי/יציאה מהמעבדה. העובדה שחומרים אלה לא ניתנים לגילוי באמצעות מכשיר נייד לא עושה אותם פחות

מסוכנים !!!

במעבדה ואסור להשתמש

מזון, אסור להכין שתייה במעבדה

המשמשים לאכילה או שתייה.

פיטאציה או כל עבודה אחרת



12. אסור לעשן, לאכול ולשתות

במעבדה בחומרי איפור. אסור לאחסן

ואסור לאחסן במעבדה כלים

13. אסור לבצע במעבדה רדיואקטיבית

באמצעות הפה. הוראה זו חלה על כל העובדים במעבדה ועל כל סוגי העבודות כולל העבודה

עם חומרים לא רדיואקטיביים !!

14. רצוי להשתמש במידה גדולה ככול האפשר בכלים לשימוש חד פעמי. בכל מקרה יש

להפריד בין הכלים לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים משאר הכלים במעבדה.

הכלים בהם משתמשים בשלבים הראשונים של הניסוי (באקטיביות גדולה יחסית) יהיו

תמיד חד פעמיים.

15. כל הציוד שבא במגע עם חומרים רדיואקטיביים (ריהוט, כלי עבודה, מכשור מעבדתי וציוד מכני), יסומן במדבקה "**רדיואקטיבי**". ציוד כזה לא יוצא מהמעבדה למעבדה אחרת ולא ישלח לתיקון באוניברסיטה או מחוץ לה ללא בדיקה ואישור בכתב של בטיחות קרינה. יש להשתמש במכשור ובציוד אך ורק בהתאם לייעודו המוצהר.
16. עובדים שקיבלו תג פס"ק חייבים לענוד אותו כל זמן שהותם במעבדה.
17. **בכל מקרה של זיהום רדיואקטיבי על העובד ובגדיו, או אזור עבודתו, או חשש לזיהום ובכל מקרה של תקלה יש להודיע מידית לבטיחות קרינה - ראה נוהל טיפול בתקלה.**
18. **אסור להשתמש במעבדה רדיואקטיבית במגבות שלא לשימוש חד פעמי ואסור להשתמש בסבון מוצק. חובה לרחוץ היטב את הידיים בכל יציאה מהמעבדה !!**
19. בגמר העבודה יש לפנות את הפסולת הרדיואקטיבית לנקודת הריכוז ולרכז את כל הכלים שבאו במגע עם חומרים רדיואקטיביים בנקודת השטיפה. **אסור לצבור פסולת רדיואקטיבית במעבדה! אסור לפנות פסולת נוזלית לביוב!** הטיפול בפסולת רדיואקטיבית יעשה בהתאם לנוהל טיפול בפסולת רדיואקטיבית.
20. אסור להשאיר חומרים רדיואקטיביים ללא השגחה על שולחנות העבודה או בכל מקום אחר שבו יש גישה לעובדים לא מוסמכים. חומרים רדיואקטיביים ניתן לאחסן בתוך מקרר, ארון או מינדרף **בתנאי שמקום האחסון נעול ומשולט בהתאם.**
21. **כאשר משתמשים במעבדה במבחנות מסוג "אפנדורף" הרי שחובה להשתמש במבחנות מאיכות טובה תוצרת חברת אפנדורף המקורית לפעולות כמו הרתחה, חימום, צנטריפוגה, עבודה עם אקטיביות גדולה וכל פעולה שבה יש אפשרות לפתיחת המכסה ופיזור החומר.**
22. ממונה בטיחות קרינה רשאי להיכנס לכל מעבדה בכל עת לצורך בדיקת העובדים והמעבדה. טכנאי בטיחות קרינה רשאי להפסיק כל עבודה עם חומרים רדיואקטיביים במידה בביצוע העבודה יש חריגה מנוהלי הבטיחות וסיכון העובדים ו/או הסביבה.
23. אסור להכניס תלמידים מתחת לגיל 18 לעבודה או לימוד במעבדות רדיואקטיביות ללא אישור מיוחד מהאחראי על בטיחות קרינה.
24. **עובדת קרינה שנכנסה להריון תודיע על כך בכתב בהקדם האפשרי לבטיחות קרינה. האחראי על בטיחות קרינה יאשר בכתב המשך עבודה בקרינה או יקבע הגבלות כמתחייב מתקנות הבטיחות.** (בהתאם לתקנות עבודת נשים תשל"ט 1979).
25. לפני התחלת העבודה עם חומרים רדיואקטיביים חייב העובד **לתרגל את מהלך הניסוי ולהכיר היטב את כל הציוד והמכשור שבו ישתמש לביצוע העבודה. יש לבצע תרגול של כל מהלך הניסוי ללא שימוש בחומר רדיואקטיבי.** הכרת הציוד כוללת גם את המכשור הנייד לגילוי קרינה וגם את המכשירים מסוג מונה נצנץ נוזלי.

קבלת הדרכה מאחראי המעבדה ומהעובדים הוותיקים במעבדה לגבי שיטות העבודה ואמצעי הבטיחות היא תנאי הכרחי לקבלת אישור העבודה.

26. ביצוע הניסויים בפעמים הראשונות יעשה אך ורק בפיקוח צמוד של האחראי למעבדה ושל בטיחות קרינה. העובד חייב לקבל את אישורו של האחראי למעבדה לפני התחלת העבודה עם החומרים הרדיואקטיביים.

27. העובד בחומרים רדיואקטיביים חייב להכיר את התכונות של כל חומר רדיואקטיבי וכל תרכובת שבה משתמשים בעבודה. (תכונות רדיואקטיביות אך גם תכונות כימיות ופיזיקליות). לדוגמה, עובד המשתמש בטריטיום חייב לדעת שקיים הבדל בסיכון בין מים המסומנים בטריטיום לבין טימיתין שמסומן בטריטיום. כמו כן חובה על העובדים לדעת על כל שינוי פיזיקלי שיכול להתרחש בעבודה עם החומר כמו פליטת גז או היווצרות חומרים נדיפים.

בכל מקרה אסור להתחיל לעבוד עם חומר רדיואקטיבי ללא הכרת תכונותיו.

28. הזמנת חומרים רדיואקטיביים תעשה אך ורק בהתאם לנוהל הזמנת חומרים רדיואקטיביים. עובד שקיבל חומר רדיואקטיבי, אחראי על החומר ואסור לו להעביר לעובד אחר חומר רדיואקטיבי ללא אישור בטיחות קרינה. אסור להכניס לאוניברסיטה חומר רדיואקטיבי שלא נתקבל מבטיחות קרינה.

29. האישור שניתן לעובד לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים ניתן אך ורק לחומרים נזליים. אסור לבצע ניסויים עם אבקות, גזים רדיואקטיביים או חומרים נדיפים ללא אישור מיוחד מבטיחות קרינה. אישור העבודה ניתן אך ורק לחומרים בכמויות כפי שנרשמו בטופס הבקשה לאישור העבודה בקרינה. כל שינוי בסוגי החומרים, כמויות, מקום עבודה וצורת העבודה מחייב אישור מבטיחות קרינה !!

30. הכלל החשוב ביותר בעבודה עם חומרים רדיואקטיביים הוא תכנון מראש של מהלך העבודה בצורה בטוחה. תקלות בעבודה מתרחשות כאשר אנו מנסים לאלתר או כאשר מסיבות שונות יש לחץ של זמן. אסור לעבוד עם חומרים רדיואקטיביים

כאשר יש לחץ של זמן !!!

בתכנון הניסוי יש לקחת בחשבון את הטיפול בפסולת, בדיקת אזור העבודה והבדיקה העצמית. תכנון מוקדם יאפשר העבודה ללא תקלות. בזמן ביצוע הניסוי יש להתרכז בעבודה בלבד. חשוב להשקיע מחשבה בתכנון הניסוי ובניתוח התוצאות אבל בעת ביצוע הניסוי יש להתרכז רק בביצוע נכון ומדויק של העבודה הטכנית.

בדרך כלל, בניסוי שתוכנן היטב מבחינה מדעית לא יהיו בעיות בטיחות.

בתכנון ניסויים חדשים חובה להתייעץ עם בטיחות קרינה.

בטיחות קרינה



נוהל בטיחות קרינה כללי לעבודה עם מקורות קרינה

מקור בנוהל זה הוא חומר רדיואקטיבי מוצק סגור בתוך כמוסה (קפסולה) או ספוח על חומר אחר בצורה שמבטיחה אי פיזור של החומר הרדיואקטיבי לסביבה. המקור משמש כמקור קרינה רדיואקטיבית חיצונית.

באוניברסיטה אנו משתמשים במקורות

קרינת גמא כמו: $Co-60, Cs-137$ ובמקורות נאטרוניים $AmBe$.

חלק מהמקורות שבשימוש הם בעוצמה גדולה ביותר של קרינה.

חובה להתייחס לעבודה עם מקורות פולטי קרינה כאל עבודה עם ציוד מסוכן. כל שימוש במקורות חייב להתבצע בתשומת לב ובהתאם לנוהלי הבטיחות.

עבודה שלא בהתאם לנוהלים



עלולה לגרום לחשיפה משמעותית לקרינה

כדי להקטין את החשיפה לקרינה יש לנקוט באמצעים שיבטיחו:

- שמירת מרחק גדול ככול האפשר בינינו לבין מקור הקרינה. עוצמת הקרינה ממקור נקודתי נמצאת ביחס הפוך לריבוע המרחק. הגדלת המרחק פי שתיים מקטינה את עוצמת הקרינה פי ארבע. הגדלת המרחק מ 1 ס"מ למרחק 30 ס"מ תקטין את עוצמת הקרינה פי 900.
- שימוש במיגון מתאים. יש להכניס בינינו לבין מקור קרינה חומר מיגון מתאים בהתאם לסוג הקרינה ועוצמתה.
- יש להימנע זמן קצר ככול האפשר באזור שבו יש קרינה.

שמירה על כללים אלה תקטין את החשיפה

ותאפשר ביצוע ניסויים בחשיפה מינימאלית.

בכל מקרה יש להתייעץ עם בטיחות קרינה בקביעת שיטות העבודה.

1. עבודה עם מקורות קרינה תבוצע אך ורק במעבדות שקבלו אישור לעבודה עם מקורות רדיואקטיביים ועל ידי עובדים שקיבלו אישור מבטיחות קרינה לעבוד עם המקורות.

העבודה תבוצע בהתאם לתנאי האישורים שניתנו לעובד ולמעבדה.

2. עבודה עם מכשירים שמכילים מקורות רדיואקטיביים תבוצע בהתאם לנוהל הפעלת מכשירים פולטי קרינה.

3. הזמנת מקורות קרינה תעשה בהתאם לנוהל הזמנת חומרים ומקורות רדיואקטיביים

4. אסור להכניס מקורות קרינה לאוניברסיטה

ללא אישור מוקדם מבטיחות קרינה.

אסור להעביר מקורות רדיואקטיביים מעובד לעובד אחר או

ממעבדה למעבדה.

5. עובדים שקבלו תג פס"ק חייבים לענוד אותו כל זמן שהותם במעבדה.

6. בכל מעבדה העובדת עם מקורות רדיואקטיביים נקבעו נוהלים מיוחדים. נוהל זה בא להוסיף על הנוהל שנקבע למעבדה. כל חריגה מהנוהלים שנקבעו מחייבת אישור מוקדם מבטיחות קרינה.

7. מקורות רדיואקטיביים יאוחסנו במקומות שקבלו אישור מבטיחות קרינה.

מקום האחסון יהיה נעול ומשולט.

8. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.

9. **אסור להשאיר מקורות קרינה ללא השגחה. כל מקור חייב**

להישמר בתנאים שנקבעו עבורו.

10. אסור לשלוח לתיקון, לפרק או לבצע שינויים במכשירים שמכילים מקורות קרינה ללא אישור בטיחות קרינה.

11. אין לגעת במקורות קרינה בידיים חשופות. יש להשתמש במלקחיים מתאימים.

12. מקורות חתומים שמאוחסנים בתוך "מצודות" (מיגון עופרת או פרפין) לא יוצאו מהן ללא נוכחות בטיחות קרינה.

13. מעבדות לסטודנטים בשימוש במקורות קרינה או במכשירים שמכילים מקורות קרינה יבוצעו באישור בטיחות קרינה ובהתאם לנוהלי בטיחות קרינה.

14. עובדת קרינה שנכנסה להריון חייבת להודיע בכתב, בהקדם האפשרי לבטיחות קרינה.

בטיחות קרינה



נוהל בטיחות קרינה לעבודה עם מפזר נאטרונים/מדי לחות

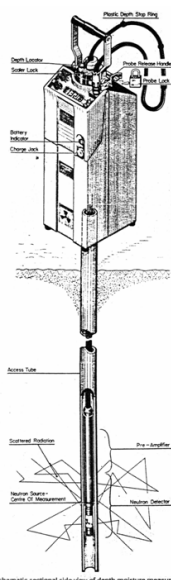
1. כללי

מפזרי הנאטרונים משמשים לבדיקת לחות וצפיפות הקרקע, המכשירים מכילים מקור נאטרונים באקטיביות של 10 mCi . שטף הנאטרונים במגע למקור 2.2×10^4 נאטרונים לשניה. המקור פולט גם קרינת גמא בעוצמה של 0.25 Rad/hr במגע למקור. עוצמת הקרינה במרחק 1 מטר תהיה כ- 0.022 mR/hr מקרינת נאטרונים ו- 0.025 mR/hr מקרינת גמא. הוצאת המקור מהמיגון עלולה לגרום

לחשיפה משמעותית לקרינה יש להקפיד על עבודה עם

המכשירים בהתאם לנוהל כדי למנוע חשיפות מיותרות נוהל זה

חייב להימצא בצמוד למכשיר ובמקום האחסון.



מד לחות קרקע

- הערכת הלחות בקרקע בעזרת נאטרונים מהירים - AmBe .
- גלאי שמגיב בעיקר לנאטרונים איטיים - BF3- .
- כמות הנאטרונים שתואט ותחזור לגלאי היא פונקציה של כמות המים בקרקע.
- בביצוע כיוול נכון ניתן לקבל מדידה כמותית של הלחות בקרקע כפונקציה של העומק .

2. הכנת הציוד

יש לבדוק את הגובה שבו בולטים הצינורות המשמשים להחדרת המקור, מעל פני הקרקע. משיקולי בטיחות רצוי שהצינורות יבלטו פחות ככול האפשר כך שכאשר המכשיר מוצב על הצינור לא יהיה רווח בין תחתית המקור לפני הקרקע.



רווח גדול מידי!!!





3. עובדים

3.1 השימוש במכשיר יעשה אך ורק על ידי עובדים שקיבלו הדרכה ואישור

בכתב מבטיחות קרינה להפעלת המכשיר ובהתאם לתנאי האישור!

3.2 העובדים יענדו תג פסי"ק למעקב אחר חשיפות לקרינה כל זמן שהותם בקרבת המכשיר. התגים אישיים ויוחלפו כל חודש. יש לשמור על שלמות התג ולהחליפו כנדרש. (תג נאוטרונים וגמא).

אסור לבצע ניסויים של הקרנת התגים !!!

3.3 כאשר התגים לא בשימוש יש לאחסנם במקום מוגן, רחוק ממקום אחסון המכשיר.

3.4 לא יעבדו עם המכשיר נשים בהריון וצעירים מתחת לגיל 18.

4. שיטת העבודה

4.1 המכשיר יוצב על הצינור המיועד לבדיקה. יש לוודא שאין רווח בין תחתית המכשיר לפני הקרקע.

4.2 העובד יפתח את נעילת הכבל ויוריד את המקור לצינור. הורדת המקור תעשה במהירות וברציפות.

4.3 אין לעמוד מעל המכשיר בעת הורדת המקור או החזרתו וכן במשך זמן המדידה.

4.4 בגמר המדידות יש להחזיר את המקור למכשיר ולנעול את הכבל.

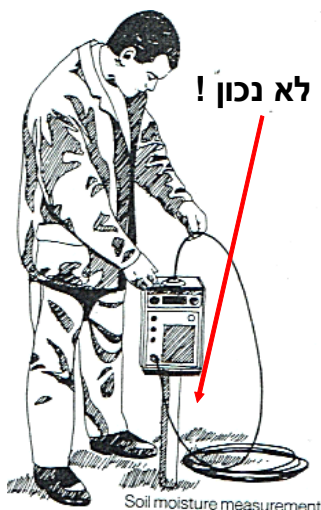
4.5 איו להשתמש במכשיר למטרות אחרות או בשיטת עבודה אחרת.

4.6 כל פעולה לא שגרתית מחייבת אישור מראש מבטיחות קרינה.

4.7 אסור בכל מקרה להוציא את המקור מהמכשיר כאשר המקור

עבודה עם מד לחות

גלוי!!!!



- הצב את המכשיר על הצינור.
- פתח את נועל הכבל.
- עמוד בצד המכשיר, לא מעליו ותוריד את המקור לצינור בזריזות.
- בגמר המדידות החזר את המקור למכשיר ונעל את הכבל.
- נשים בהריון וצעירים מתחת לגיל 18 לא יעבדו עם המכשיר.
- אחסון המכשיר בהתאם להוראות בטיחות קרינה.
- אסור להוציא את המקור מהמכשיר כאשר המקור גלוי!!!!

5. תקלות

- 5.1 **מקור גלוי:** אם המקור מסיבה כל שהיא נשלף מתוך המכשיר יש לנסות מידית להחזירו למקומו כאשר לא נוגעים במקור רק בכבל. ושומרים לפחות על מרחק של 1 מטר מהמקור. במידה ולא מצליחים להחזיר את המקור בזמן קצר ביותר- עד 15 שניות. יש לעזוב את המקור כמו שהוא, להתרחק ולהרחיק עובדים למרחק 2 מטר לפחות, לגדר ולשלט ולהודיע מידית לבטיחות קרינה. יש להמתין במקום. המשך הטיפול יעשה בנוכחות בטיחות קרינה.
- 5.2 **מקור תקוע באדמה:** יש לזכור שמבחינת בטיחות, כל זמן שהמקור בקרקע המצב בטוח. יש לנסות בזהירות וללא הפעלת כוח לשחרר את המקור. אין לעמוד מעל המכשיר בזמן הניסיונות לשחרר. במידה ולא מצליחים לשחרר את המקור או במידה והכבל נקרע והמקור תקוע בקרקע. יש לגדר ולשלט את המקום ולהודיע לבטיחות קרינה. המשך הטיפול יעשה בנוכחות בטיחות קרינה.
- 5.3 **גניבה:** במידה והמכשיר נגנב יש להודיע מידית עם גילוי הגניבה לבטיחות קרינה שתעביר הודעה לרשויות המתאימות.
- 5.4 **תאונת דרכים בזמן הובלה:** יש לבדוק מידית אם נפגע הארגז שמכיל את המקור ואם נפגע המכשיר. במידה ויש חשש לפגיעה במכשיר, יש להזיז את הרכב לשולי הדרך ולהרחיק אנשים למרחק 10 מטר. במידה ומגיעים ציוותי חילוץ יש להודיע להם שברכב נמצא מקור רדיואקטיבי ויש חשש לפריצתו. יש להודיע מידית לבטיחות קרינה. יש להישאר במקום עד הגעת בטיחות קרינה להמשך טיפול.
- 5.5 **שריפה בזמן הובלה או אחסון:** יש להרחיק את הרכב מהדרך ככול האפשר. יש לנסות למנוע הגעת האש למכשיר ולחלץ את המכשיר מהמקום. במידה והמכשיר עולה באש יש להתרחק מהמקום ולהרחיק אנשים מאזור מורד הרוח למרחק חמישים מטר. יש להודיע לבטיחות קרינה ולהמתין במקום. במידה ומגיעים ציוותי חילוץ יש להודיע להם על שרפת המקור ובמידה והם מטפלים ברכב חובה עליהם לעבוד עם הגנה על הנשימה ולא לעזוב את המקום ללא בדיקה של בטיחות קרינה.
- 5.6 **פגיעה במכשיר ובמקור/ריסוק:** יש לכסות את המכשיר בניילון ועפר. להודיע לבטיחות קרינה. לא לגעת במכשיר וחלקיו. לגדר ולשלט את האזור ולהמתין במקום להגעת בטיחות קרינה.

6. אחסון

- 6.1 המקור יאוחסן לא בצמוד לעובדים או אזורי עבודה קבועים. מקום האחסון יקבע בתיאום עם בטיחות קרינה.
- 6.2 המכשיר יאוחסן במקום מוגן מאש, הצפה ופריצה .
- 6.3 המכשיר יאוחסן בארגז המקורי. המכשיר והארגז יהיו נעולים.
- 6.4 החדר המשמש לאחסון יהיה נעול ובמידה והמכשיר מאוחסן בארון יהיה גם הארון נעול.
- 6.5 מקום האחסון יהיה משולט בשילוט מתאים.

7. הובלה

- 7.1 הובלת המכשיר ברכב תעשה אך ורק על ידי עובדים שעברו הדרכה וקיבלו אישור מבטיחות קרינה להובלת המכשיר !!
- 7.2 המכשיר יובל בתא המטען ברכב, בארגז המקורי כאשר המקור

נעול .



- 7.3 ברכב לא ימצאו נוסעים מלבד העובדים.
- 7.4 הרכב ישולט בשילוט מתאים כולל מספרי טלפון להתקשרות במקרה תקלה.
- 7.5 אסור לעזוב את המכשיר ברכב ללא השגחת עובד.
- 7.6 אסור לאחסן את המכשיר ברכב. המקור יאוחסן אך ורק במקום שנקבע.
- 7.7 המכשיר לא יובל בצמוד לנוסעים. במידה ואין ארגז מטען ברכב (כמו בגייפ או ברכב מסחרי) יש להרחיק את המכשיר מהנוסעים ככול האפשר.
- 7.8 בכל מקרה של תקלה בהובלה יש לפעול כמפורט בסעיף 5.

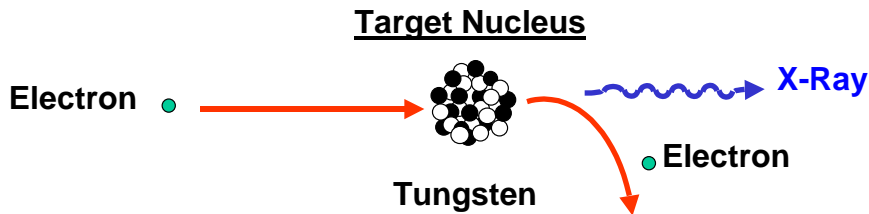
8. אחראי

בכל מחלקה שמפעילה מכשיר מד לחות ימונה אחראי למכשיר. כל פעולה תעשה בתיאום עם האחראי.

בטיחות קרינה

נוהל בטיחות קרינה כללי להפעלת מכשירים פולטי קרינה

(מכונות קרני X וכו')



נוהל זה הוא ניהול כללי. לחלק מהמכשירים נקבעו נוהלי עבודה מיוחדים.

חובה לוודא הכרת הנהלים המיועדים למכשיר שאתו תתבצע העבודה.

מכשירי קרני X מכל הסוגים מייצרים כמות גדולה ביותר של קרינה.

עוצמת הקרינה בתוך השפופרת יכולה להגיע למאות אלפי גריי לדקה.

אנו מוציאים מהשפופרת קרן צרה בעוצמה נמוכה יותר אבל עדיין

עוצמת הקרינה בקרן הישירה גבוהה ביותר
ומהווה סיכון חמור של חשיפה לקרינה.

חובה להתייחס להפעלת מכשירים פולטי קרינה כאל הפעלת ציוד מסוכן. כל הפעלה של המכשירים חייבת להתבצע בתשומת לב ובהתאם לנוהלי הבטיחות.

עבודה שלא בהתאם לנוהלים



עלולה לגרום לחשיפה משמעותית לקרינה

1. הפעלה של מכשירים פולטי קרינה תעשה אך ורק ע"י עובדים שקיבלו אישור מבטיחות קרינה להפעלת מכשירים פולטי קרינה ובהתאם לתנאי האישור.
2. חובה לבדוק את המכשיר בעזרת מונה גייגר מייד עם כל הפעלה של המכשיר. שיטת העבודה הנכונה היא: הכנסת הדגם לבדיקה, הכנת המכשיר לפעולה, הפעלת מונה הגייגר ורק אז פתיחת הקרן. במידה וקריאת הגייגר חריגה יש להתרחק מידית מהמכשיר ולהפסיק את המתח למכשיר ממפסק החירום או מלוח החשמל של החדר. **אסור במקרה כזה להתקרב למכשיר כדי להפסיק אותו.** באופן דומה יש לנהוג בכל מקרה שבו התרחש אירוע חריג. יש להודיע מידית לבטיחות קרינה על כל תקלה או חשש לתקלה.

במידה והדבר לא הכרחי מומלץ לא לעמוד בצמוד למכשיר בזמן פעולתו, אך אסור להפקיר את המכשיר! במידה ולא ניתן להימצא בקרבת המכשיר יש לנעול את הדלת. בכל הפעלה של המכשיר חובה להדליק את השלט המואר.

3. מפעיל המכשיר חייב לענוד תג פס"ק כל משך שהותו במעבדה ולוודא שבעת פעולת המכשיר לא יהיו נוכחים בחדר עובדים שלא עונדים תג פס"ק.

4. במכשירים שהורכבו בהם מגונים חובה על המפעיל לוודא שהמיגון נמצא במקומו, לפני הפעלת המכשיר.

5. אסור לבטל או לעקוף התקני בטיחות הקיימים במכשירים !!!

6. לאחר כל טיפול או שינוי שבוצע במכשיר (החלפת שפופרת, שינוי במתקן הניסוי וכו') או לאחר שהיה מופסק תקופה ארוכה, יופעל המכשיר אך ורק בנוכחותו של אחראי בטיחות קרינה.

7. יש לקבל מראש את אישורו של אחראי בטיחות קרינה לביצוע פעולה לא שגרתית במכשיר האישור הרגיל מתייחס אך ורק להפעלה שגרתית של המכשיר, כלומר הכנסת דגם רגיל ובדיקתו, כל פעולה אחרת מחייבת אישור מיוחד. אסור לנסות לתקן תקלות במכשיר. פעולות מיוחדות כמו עבודה עם קרן גלויה או כיוון הקרן יעשו אך ורק עובדים מיומנים שקיבלו אישור מבטיחות קרינה. פעולות כאלה יעשו במתח זרם מינימאלי.

8. **כאשר יש חשש לדליפת קרינה מהמכשיר/תקלה יש להפסיק מיידית את המתח למכשיר! במקרה כזה אין להתקרב למכשיר לצורך הפסקתו! הפסקת המתח ע"י מפסק חירום בחדר או מפסק ראשי בלוח החשמל הצמוד לחדר. יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.**

9. מעבדות לסטודנטים הכוללים שימוש במכשירים פולטי קרינה יעשו אך ורק בנוכחותו של טכנאי המכשיר או מדריך המעבדה (בתנאי שיש להם אישור לעבודה עם קרינה).

אסור לאפשר לסטודנטים במעבדת הוראה להפעיל בעצמם מכשירים פולטי קרינה !.

10. קניה של מכשיר פולט קרינה או שינוי מקום של מכשיר קיים יעשו אך ורק לאחר קבלת אישור מבטיחות קרינה. יש לדאוג לאישור לפני הזמנת המכשיר.

11. ממונה בטיחות קרינה רשאי להפסיק כל עבודה במכשיר פולט קרינה במידה ובביצוע העבודה יש חריגה מנוהלי בטיחות.

12. עובדת קרינה שנכנסה להריון חייבת להודיע בכתב, בהקדם האפשרי לבטיחות קרינה.

בטיחות קרינה

נוהל בטיחות קרינה למקרה תקלה

כללי

1. תקלה לפי הוראה זאת היא כל מצב שעלול לגרום לסיכון עובדים או ציוד במעבדה רדיואקטיבית.
2. מעבדה רדיואקטיבית בהוראה זאת היא כל מקום שבו עובדים עם חומרים רדיואקטיביים/מקורות קרינה/או מכשירים פולטי קרינה וכן כל מקום המשמש לאחסון פסולת רדיואקטיבית או חומרים רדיואקטיביים. כל מקום כזה משולט בשלט "זהירות רדיואקטיביות".
3. הוראה זאת חלה על כל עובדי האוניברסיטה וכל השוהים בה !.

תקלה או חשש לתקלה במכשיר פולט קרינה

1. הפסק מיידית המתח למכשיר על ידי לחיצה על מפסק החירום (במידה וקיים במעבדה) או על ידי הורדת המפסק הראשי בלוח החשמל המקומי הצמוד למעבדה. אין להתקרב למכשיר לצורך הפסקת פעולתו !
2. פנה את כל העובדים מהמעבדה ומהסביבה הקרובה ומנע אפשרות מעובדים נוספים להתקרב למקום.
3. הזעק את בטיחות קרינה. המתן במקום עד הגיעם.

תקלה או חשש לתקלה בשימוש במקור קרינה

1. פנה מיד את המעבדה מכל העובדים ומנע אפשרות מעובדים נוספים להתקרב למקום. אסור להתקרב לאזור המקור !!
2. רכז את העובדים שהיו במעבדה בזמן התקלה בחדר סמוך.
3. הזעק את בטיחות קרינה והמתן במקום עד הגיעם.

חשש לפיזור זיהום רדיואקטיבי

כללי: במקרה ונתגלה פיזור זיהום על העובד/אזור העבודה/רצפת המעבדה המטרה הראשונה היא למנוע את התפשטות הזיהום.

יש לפעול בהיגיון, לשמור על קור רוח ולהודיע בהקדם האפשרי לבטיחות קרינה.

1. במעבדה שנתגלה בה פיזור זיהום רדיואקטיבי ידאג העובד שגילה את הזיהום לפינוי העובדים מהמעבדה לחדר סמוך וימנע כניסה של עובדים נוספים לאזור. יש לבדוק את העובדים ואת נעלהם כדי למנוע פיזור זיהום.
2. יש להזעיק את בטיחות קרינה ובמקביל להמשיך בבדיקת העובדים ואזור העבודה.
3. כל העובדים שהיו במעבדה בזמן התקלה ימתינו במקום להגעתם של עובדי בטיחות קרינה. אסור לעזוב את האזור ללא בדיקה של בטיחות לקרינה.

4. עובד שנבדק וגילה זיהום רדיואקטיבי על עצמו יודיע מיד לבטיחות קרינה (רצוי באמצעות עובד אחר). בכל מקרה לא יעזוב עובד את מקום עבודתו במידה ויש חשש לזיהום העובד או בגדיו.

5. במקרה שבו נתגלה זיהום על חלוק, נעליים או בגדים אישיים יש להוריד את החלוק/בגדים/נעליים, לבדוק במכשיר מתאים את הגוף ובמידה והגוף נקי יש ללבוש חלוק נקי או כל בגד נקי אחר.

6. במידה ונמצא זיהום רדיואקטיבי על חלקי גופו של העובד יש לנסות בזהירות לנקות את האזור המזוהם במים וסבון. **אסור לבצע ניקוי בעזרת חומרי ניקוי (מלבד סבון רגיל) או שפשוף ללא נוכחות בטיחות קרינה.**

7. ניקוי אזורים מזוהמים יעשה בעזרת חומרי ניקוי מתאימים. הניקוי מתבצע תמיד מהאזור הפחות מזוהם לכיוון האזור ברמת הזיהום הגבוהה. חובה לנקוט באמצעי זהירות מתאימים: כפפות, חלוקים, פסולת וכו', בזמן פעולות הניקוי.

שריפה במעבדה רדיואקטיבית

1. במקרה שריפה במעבדה בה עובדים עם חומרים רדיואקטיביים/מקורות קרינה יש להודיע מידית לבטיחות קרינה בנוסף להזעקת הכבאים. יש לנסות למנוע את התפשטות האש לחומרים הרדיואקטיביים. עם הגעת הכבאים למקום יש להודיע להם שבדליקה מעורבים חומרים רדיואקטיביים.

2. במידה והשרפה מתרחשת במעבדה המשולטת בשלט פח אדום על רקע לבן בנוסח: (מבנה היחידה התת-קריטית 1-59, פיסיקה בנין 54 חדר 150)

מקורות רדיואקטיביים
במקרה שריפה יש להזעיק מיד את :
אחראי המעבדה.....טל'
אחראי בטיחות קרינה.....טל'.....

יש לפנות מיד את המעבדה, להזעיק את הכבאים ולא לבצע כל פעולות במעבדה ללא נוכחות אחראי המעבדה או עובדי בטיחות קרינה. עם הגעת הכבאים יש להפנות תשומת ליבם לשלט.

בכל מקרה של תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מידית לבטיחות קרינה.

0528795999

נוהל טיפול בפסולת רדיואקטיבית

הגדרה: פסולת רדיואקטיבית בנוהל זה היא פסולת של חומרים וציד המכילים חומרים רדיואקטיביים או שבאו במגע עם חומרים רדיואקטיביים ויש חשש שהם מזהמים בחומרים רדיואקטיביים.

חביות הפסולת מיועדות לפסולת רדיואקטיבית בלבד!!!

אסור לפנות לפסולת רדיואקטיבית חומרים כימיים מסוכנים

חומרים ביולוגיים, מסרטנים או מדבקים שלא בהתאם לנוהל.

1. כללי:



1.1 **נקודות ריכוז:** מיקום חדרי פסולת ונקודות ריכוז באוניברסיטה:

- ☸ חדר פסולת בקרית טוביהו (בית היאס). חדר 612 בניין H 3.
 - ☸ חדר פסולת בקרית האוניברסיטה, סככה בחצר.
 - ☸ נקודת ריכוז (סככה) במכונים למחקר שימושי.
 - ☸ חדר פסולת בבניין הפתולוגיה, בבית החולים קומה ראשונה.
 - ☸ חדר פסולת בבניין האשפוז החדש בבית החולים בפקולטה לרפואה בקומה השישית.
 - ☸ -נקודת ריכוז בבית חולים וטרינארי.
 - ☸ -חדר פסולת בנין מדעי החיים שדה בוקר.
 - ☸ נקודת ריכוז פסולת בבית חולים פסיכיאטרי.
 - ☸ -בניין הפקולטה לרפואה, חדר פסולת בכל קומה. חדר מרכזי בקומת המרתף. מספרי החדרים: 164, 264, 364, 464, 564, 071.
 - ☸ בניין 39 חדרי פסולת בקומות 1, 2, 3. מספרי החדרים: 155, 254, 354.
 - ☸ -בבניין 40, חדרי פסולת בקומות 0.1.2.3 מספרי החדרים: 054, 154, 254, 354. חדר פסולת מרכזי בקומת המרתף, חדר 180-.
 - ☸ בבניין 38, חדר פסולת בקומת הקרקע, חדר מספר 052.
- בכל נקודת ריכוז נמצאים מספר חביות עם שקי פלסטיק לריכוז הפסולת. מפתחות לחדרי הפסולת ניתן לקבל מבטיחות קרינה.

בבניין רפואה ובמתחם מדעי החיים וביוטכנולוגיה קיים מפתח אחיד לכל החדרים.
חשוב לזכור!!! הטיפול בפסולת לא מסתיים בהכנסת השקית לחבית. עובדי בטיחות

קרינה חייבים להכין את החבית לפנינו ולסגור אותה!!

חריגה מנוהל זה מסכנת את עובדי בטיחות קרינה!!!



1.2 פינוי פסולת מהמעבדות:

פינוי פסולת רדיואקטיבית מהמעבדות לנקודת הריכוז וחדרי הפסולת, **יעשה אך ורק על-ידי עובדים שקיבלו אישור לעבודה בקרינה** (אין למסור עבודה זאת לפועלי ניקיון). מנהל המעבדה והעובדים במעבדה יודאו שעובדי הניקיון מודעים לאיסור לגעת בפסולת רדיואקטיבית.

כאשר החביות מלאות יש להודיע לבטיחות קרינה. פינוי הפסולת מנקודת הריכוז באחריותו של אחראי בטיחות קרינה.

1.3 חיות מזוהמות-רדיואקטיביות:

פינוי חיות מעבדה מזוהמות או חלקי חיות כולל דם, יעשה לאחר תאום והנחיות של אחראי בטיחות קרינה. **אין לפנות חיות מעבדה או חלקי חיות לחביות הפסולת בנקודות הריכוז באופן שוטף!!** יש להקפיד את הפסולת עד לקבלת הודעה מבטיחות קרינה. רק לאחר קבלת אישור בטיחות קרינה, יש לארוז את הפסולת ב 2 שקיות נילון המיועדות לפסולת רדיואקטיבית, לסגור היטב ולפנות לחבית הפסולת בנקודת הריכוז. **חוקר המתכנן ניסוי הכולל עבודה רדיואקטיבית עם חיות מעבדה חייב להכין מראש מקפיד בגודל מתאים בהתאם למספר החיות ולתדירות פינוי הפסולת הרדיואקטיבית מהאוניברסיטה כ-2-3 פעמים בשנה.** בכל מקרה חובה לתאם עם בטיחות קרינה. אי הקפדה על נוהל זה גורמת לסיכון עובדים ולמפגעי ריח קשים. חריגה מנוהל זה תגרום לביטול האישור לעבודה רדיואקטיבית במעבדה.

1.4 מקורות קרינה: אסור לפנות לפסולת מקורות קרינה רדיואקטיביים חתומים גם לאחר שלא נמצא להם שימוש. חובה לתאם עם בטיחות קרינה פינוי מקורות.

1.5 שקיות לפסולת רדיואקטיבית:

חובה לאחסן ולפנות פסולת רדיואקטיבית

אך ורק בשקיות המיועדות לכך!

השקיות עשויות מניילון עבה ומסומנות בצורה ברורה. (המעבדות ירכשו את השקיות ממחסן הכימיקלים באוניברסיטה). השקיות מיועדות לכל סוגי הפסולת הרדיואקטיבית. (גם מכלים המכילים פסולת נוזלית ספוגה בורמיקוליט יוכנסו לשקיות וכן פסולת שעברה תהליך עיקור.)

אסור להשתמש בשקיות המיועדות לפסולת רדיואקטיבית למטרות אחרות.



1.6 פסולת רדיואקטיבית חדה:

פסולת רדיואקטיבית חדה (מזרקים, שברי זכוכית וכו') עלולה לגרום לקריעת השקיות וכן עלולה לפגוע בעובדים המטפלים בפסולת. **אסור לפנות לשקיות מזרקים לא מוגנים או פסולת חדה אחרת. מזרק ייזרק לפסולת רק כאשר הוא הוכנס חזרה לאריזתו המקורית.** במידה והדבר לא אפשרי יש לאסוף את המזרקים לקופסת פח או פלסטיק עבה, לסגור היטב את הקופסה ורק אז לפנותה לשקיות הפסולת. כך יש לנהוג גם בכל פסולת חדה אחרת. (חשוב להדגיש שכללים אלה חייבים לחול גם על פסולת חדה לא רדיואקטיבית).

1.7 פסולת רדיואקטיבית מדבקת, מסרטנת או ביולוגית:

פסולת רדיואקטיבית ביולוגית או פסולת רדיואקטיבית שהיא גם פסולת מחומרים מסרטנים או מדבקים (כולל פסולת של בעלי חיים וכולל דם) חייבת לעבור עיקור לפני הפינוי לפסולת הרדיואקטיבית. יש לבצע עיקור כימי באמצעות תמיסת סודיום היפוכלורית 5% מהולה 1:10 במי ברז. את המיהול יש להכין בכל יום מחדש. העיקור הכימי יבוצע במשך 30 דקות לפחות.

פינוי פסולת ללא ביצוע עיקור מהווה חריגה מתקנות המדינה

ומסכן את בריאות עובדי האוניברסיטה המטפלים בפסולת!!!

1.8 פסולת של חומרים פולטי גמא: פינוי פסולת של חומרים פולטי קרינת גמא (Rb-86, Na-22, Ru-103 וכו') מהמעבדה לחדר הפסולת יעשה רק לאחר תיאום עם בטיחות קרינה.

1.9 פסולת של פולטי ביתא באנרגיה גבוהה: (P- 32)

יש לפנות את הפסולת מהמעבדה לחביות כאשר היא מוגנת במיגון פרספקס מתאים. רק בצמוד לחביות יש להוציא את שקית הפסולת מהמיגון ולהכניסה לחבית.

1.10 חריגה מהנהל

במקרים מיוחדים כאשר לא ניתן לפעול בהתאם לנוהל יש לפנות לאחראי בטיחות קרינה. כל חריגה מהנהל מחייבת אישור מראש מבטיחות קרינה.

2. פינוי פסולת מוצקה.

2.1 בכל מעבדה רדיואקטיבית ימצא פח פסולת מסומן וסגור לאיסוף פסולת רדיואקטיבית. בתוך הפח תמצא שקית המיועדת לפסולת רדיואקטיבית. במעבדות המשתמשות בפולטי קרינת גמא וב- P-32 ימצא במעבדה מיגון מתאים לפסולת. (עופרת לפולטי גמא פרספקס ל- P 32).

2.2 אסור להשליך לפח המיועד לפסולת רדיואקטיבית פסולת רגילה. (פנוי הפסולת עולה כסף רב לאוניברסיטה ויש להשתדל להקטין ככל האפשר נפח הפסולת המפונה).

2.3 אסור להשליך פסולת רדיואקטיבית לפחי אשפה רגילים!!

2.4 כאשר יתמלא פח עם פסולת רדיואקטיבית, או בהתאם לצורכי העבודה במעבדה, יש לסגור את שקית הפוליאטילן ע"י סרט דביק.

2.5 עובד המעבדה יפנה את השקית בתוך הפח לאחת מנקודות הריכוז. בתוך החדר יוציא העובד את השקית ויכניסה לתוך חבית. יש לוודא שלא פוזר זיהום רדיואקטיבי תוך כדי פינוי הפסולת.

2.6 אסור לצבור פסולת רדיואקטיבית במעבדה. יש לפנות את הפסולת בתדירות גדולה ככל האפשר.



3. פינוי פסולת נוזלית.

3.1 אסור לפנות פסולת רדיואקטיבית לביוב.

3.2 פסולת נוזלית תפונה בתוך מיכל פלסטיק/זכוכית המכיל ורמיקוליט. (חומר שמיועד לספוג נוזלים). ניתן לרכוש ורמיקוליט ממחסן הכימיקלים באוניברסיטה.

3.3 יש למלא ורמיקוליט בכל נפח המיכל לפני הכנסת נוזל. יש להקפיד שבמיכל לא תישאר פסולת נוזלית לא ספוגה.

3.4 במידה ויש חשש לפליטת גזים יש להכניס את המיכל, ללא הפקק, לתוך מינדף למשך 24 שעות לפני הפינוי.

3.5 אסור להכניס לאותו מיכל חומרים מחמצנים/חומצות עם חומרים מחזרים. יש להכניס מכלים עם פסולת נוזלית שעלולה להגיב במגע עם חומרים אחרים בחביות נפרדות. מחלקות שבהן קיימת אפשרות לתגובה בין חומרי הפסולת חייבות להודיע לבטיחות קרינה כדי שחדר הפסולת יאורגן בהתאם.

3.6 בקבוקים/מכלים המכילים נוזלים לפינוי חייבים להיות עשויים מחומר שאינו מסיס, שאינו מתרכך ושאינו מושפע בכל אופן שהוא מהחומרים הנמצאים בבקבוק/מיכל. הבקבוק/מיכל חייב להיות עמיד בחום ולהתיישנות. דרישות אלה חלות גם על הפקק של הבקבוק/מיכל.

3.7 מיכל/בקבוק המשמש לפינוי פסולת רדיואקטיבית נוזלית חייב להיות משולט בהתאם. חובה להוריד מהמיכל/בקבוק את הסימון הקיים ולהדביק מדבקה סימון רדיואקטיבית. ניתן להשתמש בבקבוקים ריקים של משקאות ובתנאי שהורדו המדבקות והבקבוק משולט בצורה ברורה במדבקות סימון רדיואקטיבי ונמצא באזור העבודה הרדיואקטיבי במיגון מתאים.

3.8 אסור לצבור פסולת נוזלית במעבדה. לאיסוף הפסולת הנוזלית יש להשתמש בכלים בנפח קטן ככל האפשר, בהתאם לצורכי העבודה. יש לפנות את המכלים מהמעבדה בתדירות גדולה ככל האפשר. בכל מקרה אסור להשתמש בבקבוקים/מיכלים בנפח שעולה על 5 ליטר.

3.9 מיכל שהתמלא, יש לסגור היטב, להדביק את הפקק באמצעות סרט דביק, להכניס לשקיות המיועדות לפינוי פסולת רדיואקטיבית ולסגור את השקית היטב באמצעות סרט דביק.

3.10 את השק יש לפנות לאחת מנקודות הריכוז ולהכניסו לחבית.

סיכום: טיפול בפסולת רדיואקטיבית הוא חלק מהפעילות במעבדה. לעיתים קרובות הטיפול בפסולת מתבצע בסוף יום עבודה ובלחץ של זמן דבר הגורם לתקלות מיותרות. חובה לתכנן את העבודה במעבדה כך שגם הטיפול בפסולת ובדיקת המעבדה יעשו בתשומת לב וללא לחץ של זמן.

חשוב לזכור שבחלק גדול מהמיקרים הפסולת הרדיואקטיבית הנוזלית מכילה את מרבית האקטיביות שהייתה בניסוי!!!

נוהל מסירת הודעות לבטיחות קרינה

בכל מקרה של תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.

ניתן להיעזר במוקד מחלקת הביטחון בטלפון 61555 כדי לאתר את ממונה בטיחות קרינה.
1. ממונה בטיחות קרינה: מיכל ברעם, טלפון בעבודה (61314) 6461314. פאקס' 72171.

טלפון נייד- 95999 מטלפון פנימי באוניברסיטה, או :

0528795999

הודעות שגרתיות ניתן להעביר גם בדואר אלקטרוני: baramm@bgu.ac.il

2. ממלא מקום האחראי: אנטולי רודניאנסקי טלפון עבודה: **6472489 (72489)**, נייד: 0547256824.

3. מזכירות מחלקת בטיחות, טלפון: 6461550

4. אחראים על מעבדות:

רשימה של כל האחראים על מעבדות רדיואקטיביות נמצאת במקומות הבאים:

1. מוקד אחזקה-קריית האוניברסיטה

2. מוקד בטחון-קריית האוניברסיטה

3. מנהל מחלקת המשק.

4. מנהל מחלקת אחזקה.

5. משרד בטיחות קרינה-קריית האוניברסיטה בניין 63 חדר 110.

בטיחות קרינה

נוהל עבודת סטודנטים עם חומרים רדיואקטיביים,

מקורות קרינה ומכשירים פולטי קרינה

1. עבודת סטודנטים כעובדי קרינה

- 1.1 סטודנט שלצורך לימודיו או לצורך עבודת הגמר, עובד באופן שגרתי ומתמשך עם חומרים רדיואקטיביים/מקורות קרינה/מכשירים פולטי קרינה יחשב לעובד קרינה כקבוע בתקנות הבטיחות ויחולו לגביו כל נהלי הבטיחות הנהוגים לגבי עובדים באוניברסיטה.
- 1.2 אחראי המעבדה/מכשיר יודיע לבטיחות קרינה על כוונתו להעסיק סטודנטים לעבודה בקרינה ויעביר בכתב את שמות העובדים לפני התחלת העבודה בקרינה.
- 1.3 תקנות הבטיחות ונהלי האוניברסיטה אוסרים על התחלת עבודה בקרינה למי שלא קיבלו הדרכה ואישור מבטיחות קרינה.
- 1.4 כדי למנוע עיכובים בהתחלת העבודה יש להודיע לבטיחות קרינה מוקדם ככל האפשר על הכוונה לעבוד בקרינה רדיואקטיבית.
- 1.5 אחראי המעבדה/מכשיר אחראי כלפי החוק לבטיחות העובדים במעבדתו. מתן אפשרות לעבוד בקרינה לעובדים שלא קיבלו אישור מבטיחות קרינה מהווה עבירה על התקנות וחושף את אחראי המעבדה והאוניברסיטה לתביעות משפטיות.
- 1.6 חובה עלינו לדעת שמרבית התקלות/מיקרים מסוכנים, בעבודה בקרינה, שאירעו באוניברסיטה בשנים האחרונות אירעו לעובדים שלא קיבלו אישור מבטיחות קרינה לעבודה ובכל זאת ניתן להם לעבוד במעבדות.
- 1.7 אחראי המעבדה ידווח למעבדת קרינה, לפני התחלת העבודה, גם על סטודנטים שצריכים לעבוד בקרינה לזמן קצר בלבד. מיקרים כאלה יבדקו בהתאם לסוג העבודה והסיכון ולכל מקרה יקבעו הנהלים הדרושים.
- 1.8 מעבדות הוראה בשימוש בקרינה רדיואקטיבית יבוצעו בהתאם לכללים המפורטים בסעיף 2 בנוהל זה.

2. מעבדות הוראה לסטודנטים.

סטודנטים שבמסגרת לימודיהם מקבלים הדרכה במעבדות ומשתמשים בחומרים

רדיואקטיביים או מקורות קרינה רדיואקטיביים או במכשירים פולטי קרינה רדיואקטיבית,

יחולו לגביהם הכללים הבאים:

- 2.1 ביצוע מעבדות בקרינה לסטודנטים מחייב אישור מוקדם של בטיחות קרינה.
- 2.2 המעבדות יבוצעו אך ורק במעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים, מקורות קרינה או מכשירים פולטי קרינה.

2.3 יוזם המעבדה/אחראי הקורס/המרצה בקורס ימלא את הפרטים הנדרשים **בטופס בקשה לביצוע מעבדת סטודנטים בקרינה** (ראה דף מצורף) ויעביר את הטופס לבטיחות קרינה מוקדם ככל האפשר.

2.4 אחראי בטיחות קרינה יוודא שבביצוע המעבדה אין חריגה מתקנות הבטיחות ומהאישור שניתן למעבדה. במידת הצורך יקבע אחראי בטיחות קרינה את אמצעי הבטיחות הנדרשים.

2.5 העבודה המעשית במעבדה תתבצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה הנהוגים באוניברסיטה - באחריות יוזם המעבדה והמדריכים.

2.6 יוזם המעבדה יודיע לבטיחות קרינה גם על מועד מעבדת ההכנה.

2.7 יוזם המעבדה חייב לוודא שהמדריכים שיעבדו עם הסטודנטים בעת

ביצוע המעבדה, יהיו מנוסים בעבודה בקרינה ויהיו בעלי אישור לעבודה

בקרינה מבטיחות קרינה.

2.8 יש להודיע מיידיית לבטיחות קרינה על כל תקלה או חשש לתקלה במעבדה -באחריות יוזם המעבדה והמדריכים.

2.9 טפסים מתאימים להודעה על ביצוע המעבדות ניתן לקבל מבטיחות קרינה.

בטיחות קרינה

חובה למלא ולשלוח לבטיחות קרינה מוקדם ככול האפשר. אחראי המעבדה

חייב לוודא מילוי ומשלוח הטופס לבטיחות קרינה.

הודעה על ביצוע מעבדה לסטודנטים עם

חומרים רדיואקטיביים/מקורות קרינה או מכשירים פולטי קרינה

שם מרכז המעבדה/יוזם:

מחלקה:

מועד ביצוע המעבדה - תאריך:

שעת התחלה:

סיום:

מיקום המעבדה:

שמות המדריכים:

מועד ביצוע מעבדת הכנה: תאריך:

שעה:

נא למלא את הפרטים הבאים בהתאם לסוג העבודה (חומרים/מקורות/מכשירים)

1. עבודה עם חומרים רדיואקטיביים:

סוגי החומרים:

אקטיביות כללית במעבדה:

אקטיביות לכל סטודנט:

מספר הסטודנטים במעבדה:

תאור הפעולות שיבצעו הסטודנטים:

2. עבודה עם מקורות קרינה

פירוט סוגי המקורות ואקטיביות כל מקור:

פירוט הפעולות שיבצעו הסטודנטים:

3. עבודה עם מכשירי פולטי קרינה

סוג המכשיר:

הפעולות שיבצעו הסטודנטים:

שם המודיע:

חתימה:

תאריך:

נוהל בדיקות רפואיות לעובדי קרינה

1. **בהתאם לחוק והתקנות** במדינת ישראל חייב כל עובד קרינה לעבור בדיקה רפואית לפני כניסתו לעבודה, ובדיקה שנתית ע"י רופא תעסוקתי. (עובד קרינה לצורך נהל זה הוא כל אדם, בתחומי האוניברסיטה העובד עם קרינה רדיואקטיבית/מייננת או חומרים רדיואקטיביים).
2. הבדיקות הרפואיות לעובדי קרינה באוניברסיטה יבוצעו בהתאם לנוהל בדיקות רפואיות, הוראת הנהלה 05-017.
3. הבדיקות לעובדי קרינה יכללו בנוסף לבדיקות הרגילות: בדיקת שתן לגילוי חומרים רדיואקטיביים, בדיקות דם ובדיקות עיניים.
4. אחראי בטיחות קרינה רשאי להורות על ביצוע בדיקות נוספות בכל עת לפי קביעתו.
5. עובד שקיבל הודעות זימון לבדיקה רפואית **חייב** להתייצב במקום ובזמן שנקבע.
6. **ביצוע הבדיקות הוא חובה. עובד קרינה שלא יבצע בדיקות בעת שיידרש, תופסק מיידית עבודתו בקרינה.**
7. חובה על האחראי למעבדה לוודא שכל עובדי המעבדה מבצעים בדיקות רפואיות כנדרש.
8. **אחראי מעבדה שנתן אישור להשתמש בחומר רדיואקטיבי או מכשיר פולט קרינה מייננת, לעובד שלא עבר בדיקות רפואיות ולא קיבל הדרכה ואישור לעבודה, חושף את עצמו ואת האוניברסיטה לתביעות משפטיות.**
9. העובדים חייבים לבצע את הבדיקה בתיאום עם הקופה לה הם שייכים ולשלוח לאחראית על הבדיקות באוניברסיטה אישור על ביצוע הבדיקות והמלצת הרופא התעסוקתי.
10. חוקר המזמין למעבדתו עובד לא ישראלי חייב לדאוג למימון בדיקת הרופא התעסוקתי.
11. בדיקות שתן שנעשות ביוזמת בטיחות קרינה לא קשורות לבדיקות הרפואיות הכלליות. בדיקות השתן מיועדות לבדיקת חומרים רדיואקטיביים.

בטיחות קרינה

נוהל מעקב אחרי חשיפות עובדים לקרינה חיצונית



1. מעקב אחר חשיפות עובדים לקרינה חיצונית נעשה באמצעות תגים מיוחדים לגילוי קרינה. (להלן תגי פס"ק - פיקוח סיכוני קרינה). ממונה בטיחות קרינה יקבע בהתאם למהות עיסוקו של כל עובד קרינה את הצורך בתג פס"ק.
 2. עובד קרינה שקבל תג פס"ק חייב לענוד את התג במקום גלוי על בגדי עבודתו כל זמן שהותו באזור העבודה. יש לענוד את התג כך שהצד שעליו כתוב שם העובד יפנה אל הגוף.
 3. העובד אחראי לשלמותו של התג, אובדן תג גורם לאובדן כל האינפורמציה שנצברה בו ולחיוב כספי של המחלקה.
 4. בחלק מאזורי העבודה הוצבו תגי רקע. מטרתם לעקוב באופן קבוע אחרי רמת הקרינה באזור העבודה. יש לשמור על שלמות התגים ואין להשתמש בהם לכל מטרה אחרת.
 5. בגמר העבודה אין להשאיר את התג בתוך אזור הקרינה. יש לקבוע בתאום עם בטיחות קרינה מקום לאחסון התגים.
 6. אסור לבצע ניסויים לבדיקת התג ע"י חשיפתו לקרינה. חשיפת התג בכוונה מהווה עבירה על תקנות המדינה ותגרום לביטול האישור שניתן לעובד לעבודה בקרינה.
 7. עובד קרינה שסיים עבודתו בקרינה או שסיים עבודתו באוניברסיטה חייב להחזיר את התג לבטיחות קרינה.
 8. עובד קרינה חייב להודיע על כל שינוי במהות עבודתו בקרינה (חומרים, כמויות וכו')
 9. ראשי המחלקות/אחראים על המעבדות, אחראים על הודעה לבטיחות קרינה על כל עובד קרינה חדש במחלקה.
 10. התגים מוחלפים בתדירות של אחת לחודש או אחת לחודשיים בהתאם לסוג העבודה. ההחלפה נעשית ע"י בטיחות קרינה.
- עובד קרינה! אין לתג הפס"ק כל ערך כאשר הוא שוכב במגירה או מונח בפינת החדר. למען בטיחותך ענוד את התג כל משך שהותך באזור העבודה.**

בטיחות קרינה

נוהל עבודות אחזקה/בינוי במעבדות רדיואקטיביות ועבודות אחזקה/בינוי בשימוש בקרינה רדיואקטיבית

הגדרות:

מעבדה רדיואקטיבית - מעבדה רדיואקטיבית לצורך הוראה זו היא כל מעבדה המשולטת בשלט "זהירות רדיואקטיביות-קרינה מייננת" (ראה נוהל שילוט בטיחות קרינה). צורת הביוב והמפוחים של המנדפים מהווים חלק מהמעבדה.



עבודות אחזקה/בינוי - עבודות אחזקה/בינוי לצורך הוראה זו הן כל הפעולות הקשורות לציוד ולמבנה המבוצעות בצורה שגרתית או יזומה ע"י עובדי אחזקה או קבלנים או ביזמת אחראי המעבדה. עבודות אלה כוללות תיקונים, בדיקות, שינויים והתקנות.

1. יוזם עבודת אחזקה במעבדה רדיואקטיבית חייב להודיע לאחראי אחזקה שהעבודה תבוצע במעבדה רדיואקטיבית.

2. האחראי על עובדי אחזקה יפנה לבטיחות קרינה לקבלת אישור בטיחות קרינה לפני ביצוע העבודה.

3. ממונה בטיחות קרינה יקבע את ההגבלות ואמצעי הבטיחות הנדרשים לביצוע העבודה ויאשר בכתב את ביצוע העבודה.

4. בכל מקרה לא יכנס עובד אחזקה (עובד אוניברסיטה או עובד קבלן) למעבדה רדיואקטיבית לביצוע עבודות אחזקה ללא אישור מבטיחות קרינה. יוזם העבודה חייב לוודא שלעובדי אחזקה יש אישור מתאים.

5. המפוחים של מנדפים רדיואקטיביים ישולטו בשילוט מתאים.

6. לפני טיפול במערכת ביוב חובה לוודא שהמערכת לא קשורה למעבדות רדיואקטיביות. בכל מקרה של ספק חובה לפנות לבטיחות קרינה.

7. ביצוע של עבודות בשימוש חומרים רדיואקטיביים, מכשירים פולטי קרינה או מקורות קרינה על ידי קבלנים או עובדי אוניברסיטה בעת עבודה במבנים חדשים או בעבודות אחזקה/בינוי במבנים קיימים, מחייבים אישור מוקדם של בטיחות קרינה. בעבודות אלה נכללים בין היתר פעולות כמו: ביצוע צילומי רדיוגרפיה, טיפול בגלאי עשן כולל משלוח ואחסון, גילוי דליפות נוזלים וגזים בשימוש בסמן רדיואקטיבי, בדיקות קרקע המבוצעות ע"י מכון התקנים או חברות פרטיות והתקנת מדי גובה/צפיפות בשימוש במקורות קרינה.

בטיחות קרינה

נוהל ביצוע עבודות ניקיון במעבדות רדיואקטיביות

1. כללי



- 1.1 מעבדה רדיואקטיבית לצורך ניהול זה היא כל מעבדה שדלת הכניסה אליה או כל אזור אחר משולטים בשלט "זהירות רדיואקטיביות".
- 1.2 יש להשתדל שעובדות הניקיון המועסקות בניקוי מעבדות רדיואקטיביות תהיינה קבועות (במחלקות שבהן עובדות הניקיון לא צמודות, יש לבקש מקבלן הניקיון להימנע ככל האפשר להחלפת העובדות המועסקות בניקיון המעבדות הרדיואקטיביות). כמו כן, יש להשתדל שעובדות הניקיון תהיינה מסוגלות לקרוא עברית.
- 1.3 שטיפת רצפות ופינוי פסולת רגילה יבוצעו על ידי עובדות הניקיון ללא נוכחות טכנאי/עובד המעבדה. ניקוי אבק וניקוי שמשות יבוצעו במעבדות רדיואקטיביות אך ורק בפיקוח צמוד של עובדי המעבדה.
- 1.4 קבלן הניקיון חייב לספק לעובדות ציוד מגן שיכלול: חלוקים, נעלי עבודה, כפפות, וסינרים.
- 1.5 במקומות בהם עובדת הניקיון צמודה למעבדה תכלול העבודה גם שטיפת כלים. שטיפת כלים שבאו במגע עם חומרים רדיואקטיביים תעשה בהתאם לנוהל 'שטיפת כלים שבאו במגע עם חומרים רדיואקטיביים' (בהמשך קובץ זה).
- 1.6 עבודות ניקיון מיוחדות וכל חריגה מנוהל זה מחייבים אישור מוקדם של בטיחות קרינה.
- 1.7 עובדי המעבדה ואבות הבתים אחראים על הדרכת עובדות הניקיון ופיקוח על עבודתן במסגרת ניהול זה.
- 1.8 רמ"ח שירותי משק יהיה אחראי להעברת הוראות ניהול זה, לקבלן הניקיון והכללת הנוהל בהוראות העבודה הפנימיות העוסקות בפיקוח על הניקיון.
2. ניקיון במעבדות בהן עובדים עם חומרים רדיואקטיביים
- 2.1 כל פעולת ניקיון במעבדה תבוצע בלבישת חלוק, נעלי עבודה וכפפות.
- 2.2 לכל מעבדה יהיו סמרטוטי רצפה נפרדים שימשו בלעדית לניקוי המעבדה. אסור להשתמש לסמרטוטים לניקוי כמה מעבדות ומשרדים. סמרטוט הרצפה יאוחסן במעבדה.
- 2.3 פועלות הניקיון יפנו מהמעבדה אך ורק פסולת רגילה. הפחים שמכילים פסולת רדיואקטיבית ישולטו בצורה בולטת ופועלות הניקיון לא יגעו בהן. עובדי המעבדה חייבים לוודא שהפועלות הבינו הוראה זו. (במקרים מיוחדים יינתן אישור מבטיחות קרינה לפועלות הניקיון לפנות פסולת רדיואקטיבית. במקרה כזה הפינוי יעשה בנוכחות וליווי של טכנאי/עובד המעבדה).
- 2.4 אסור לפועלות הניקיון לגעת בכלים ובציוד שנמצא על שולחנות המעבדה ועל רצפתה.
- 2.5 אסור לפועלות הניקיון לפנות נזלים לביוב מלבד הנזל ששימש לשטיפת המעבדה.

3. שטיפת כלים שבאו במגע עם חומרים רדיואקטיביים.

שטיפת כלים תעשה אך ורק בהתאם לנוהל שטיפת כלים! בעיקרון שטיפת כלים שבאו במגע עם חומרים רדיואקטיביים תעשה אך ורק במעבדה שאושרה לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים. פועלות שיועסקו בשטיפת כלים ילבשו חלוק, סינר, נעלי עבודה וכפפות. טכנאי/עובד המעבדה ידריך את פועלות הניקיון ויקפיד על יישום ההוראות.

4. ניקיון במעבדות בהן עובדים עם מכשירים פולטי קרינה/מקורות קרינה.

4.1 כל המעבדות בהם עובדים עם מכשירי קרינה מצוידים בשלט מואר הנמצא מחוץ למעבדה בנוסח "**סכנת קרינה**". כאשר השלט מואר תתבצע עבודת הניקיון אך ורק בנוכחות עובד המעבדה שחייב להיות נוכח במעבדה בזמן פעולת המכשירים. **אסור לעובדות הניקיון להיכנס למעבדה כאשר השלט מואר ללא נוכחות עובד.**

4.2 במעבדות כנ"ל כאשר השלט לא מואר ניתן לבצע עבודות ניקיון (שטיפת רצפה ופינוי פסולת) ללא השגחה.

4.3 אסור לגעת בצידוד ומכשור הנמצאים במעבדה.

4.4 במעבדות מיוחדות שהגישה אליהן לא חופשית (יחידת תת-קריטית וכו') תבוצע בכל מקרה עבודת הניקיון בנוכחות עובד המעבדה.

בטיחות קרינה

נוהל שטיפת כלים שבאו במגע עם חומרים רדיואקטיביים

הגדרה: כל כלי מעבדה שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי או הכיל בתוכו חומר רדיואקטיבי בכל כמות שהיא חייב להיות מטופל בנפרד משטיפת הכלים האחרים של המעבדה.

1. שטיפת כלים שבאו במגע עם חומרים רדיואקטיביים תעשה אך ורק במעבדה שאושרה לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים וע"י עובדים שיש להם אישור לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים. במקרים מיוחדים כאשר שטיפת הכלים מבוצעת ע"י עובדות הניקיון, האחריות תהיה של עובדי המעבדה. יש לוודא שהפועלות עובדות בהתאם לנוהל ומשתמשות בכפפות, סינונים, חלוקים, ונעלי עבודה.

2. שטיפת כלים תעשה אך ורק לאחר פינוי הנוזל הרדיואקטיבי לפסולת בהתאם לנוהל טיפול בפסולת רדיואקטיבית נוזלית ורק לאחר שהכלים נבדקו לקביעת רמת הזיהום.

3. יש להשתדל, בעבודה עם חומרים רדיואקטיביים לעבוד עם כלים לשימוש חד פעמי !!, במיוחד חשוב הדבר בכל השלבים בעבודה שבהם עובדים עם כמויות גדולות של חומרים רדיואקטיביים.

4. כלי שהכיל כמות משמעותית של חומר רדיואקטיבי, הרי שגם לאחר פינוי הנוזל הרדיואקטיבי לפסולת הנוזלית נותרת בכלי כמות משמעותית של חומר רדיואקטיבי ולכן אסור להכניסו לניקוי יחד עם יתר הכלים.

5. בעבודה עם חומרים רדיואקטיביים שבהם ניתן לבדוק את הכלים בעזרת מכשיר לגילוי קרינה (P-32, Cr-51, Rb-86, I-125) חובה לבדוק את הכלים לפני שהם מוכנסים לשטיפה ולא להכניס לשטיפה הרדיואקטיבית הרגילה כלים שהמכשיר מגלה בהם קריאות של מעל שלוש פעמים הרקע.

6. בחומרים בהם הדבר לא אפשרי (H-3, C-14, S-35, Ca-45) ניתן לבצע בדיקת מריחה וספירתה בנצנץ נוזלי. במידה ולא מבצעים בדיקת מריחה אזי יש להתייחס לכל הכלים בהם היו כמויות משמעותיות של חומר רדיואקטיבי (מעל 10 μ Ci) ככלים מזוהמים ברמה גבוהה.

7. בחומרים רדיואקטיביים קצרי חיים ניתן להשאיר את הכלים לדעיכה במקום לשוטפם. יש למצוא במעבדה, בתאום בטיחות קרינה, מקום נפרד וסגור לכלים כאלה ולשלט בהתאם.

8. במקרים בהם לא ניתן לזרוק את הכלים לפסולת ולא ניתן להשאירם לדעיכה, יש לנקות את הכלים בנפרד מן הכלים האחרים. הניקוי יבוצע ללא פינוי נוזל הניקוי לביוב אלא לפסולת הרדיואקטיבית הנוזלית. ניקוי כזה חייב להתבצע אך ורק ע"י עובדי המעבדה (לא פועלות ניקיון) בעלי אישור לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים ובתוך המעבדה.

9. כלים מזהמים ברמה נמוכה (לאחר שנבדקו) יושרו באמבט מלא מים למשך 24 שעות לפחות. יש להחליף את המים באמבט במשך ההשריה ולשלט את האמבט בצורה בולטת.
10. **מומלץ ביותר להשתמש באמבט שנבנה במיוחד לשטיפת כלים.** בכל מקרה יש לוודא שצנרת המים לאמבט מחוברת היטב ולא טובלת באמבט. יש להבטיח שלא תהיה גלישה של המים מהאמבט. המים מהאמבט יוזרמו לביוב הרגיל. רצוי לא להשאיר מים זורמים כאשר אין עובדים במעבדה.
11. בגמר ההשריה ניתן לרחוץ את הכלים באמצעים המקובלים. כלים שבאו במגע עם חומרים רדיואקטיביים ישטפו בנפרד מכל יתר הכלים.

בטיחות קרינה

נוהל שילוט בטיחות קרינה

1. שילוט מעבדות

1.1 באוניברסיטה קיים שילוט תיקני לסימון מעבדות. השלט בגודל 25x17 סנטימטר בצבע אדום על רקע צהוב (ראה נספח).




1.2 השלט יודבק על כל פתחי הכניסה למעבדות רדיואקטיביות, כמו כן יודבק השלט בתוך המעבדות במקומות אחסון של חומר רדיואקטיבי.

1.3 בשלט יפורט מהות הסיכון במעבדה: חומרים רדיואקטיביים/מקורות קרינה/מכשירים פולטי קרינה. בשלט יופיע גם שם האחראי למעבדה, מספר טלפון וכיצד ניתן למסור הודעות לבטיחות קרינה.

1.4 במידה וחסר שילוט או שהשלט לא מעודכן יש להודיע לבטיחות קרינה.

2. סימון ציוד ואזור עבודה עם חומרים רדיואקטיביים

2.1 כל הציוד והכלים הבאים במגע עם חומרים רדיואקטיביים (צנטריפוגות, פיפטורים, אמבטים, מכלים, כלי אחסון, ריהוט ומכשור מעבדתי וכו') יסומנו במדבקה בנוסח- "רדיואקטיבי".  קיימות מדבקות רגילות ומדבקות עמידות במים.

2.2 חובה להתייחס לציוד כזה כמזוהם, אלא אם נבדק ונמצא נקי.

2.3 יש להשתמש בציוד זה אך ורק בהתאם לייעודו המוצהר.

2.4 אין להוציא ציוד כזה מחוץ למעבדה, למעבדה אחרת או לשלחו לתיקון באוניברסיטה

או מחוץ לה, ללא בדיקת הציוד ואישור בכתב של בטיחות קרינה.

2.5 יש להפריד בין הכלים לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים לבין שאר הכלים במעבדה.

2.6 עובד הבא במגע עם ציוד המסומן במדבקה "רדיואקטיבי" ילבש כפפות חד פעמיות.

2.7 אזור העבודה עם חומרים רדיואקטיביים חייב להיות מסומן באופן בולט במדבקות - "רדיואקטיבי", כולל שולחן עבודה, (להדביק את החיתולים לשולחן עם המדבקות), מיגוני פרספקס, פחי אשפה לפסולת רדיואקטיבית (כולל קופסאות לפסולת) וכו'.

2.8 חובה לוודא שילוט מתאים גם על המקרר שמשמש לאחסון חומרים רדיואקטיביים ועל דלת הכניסה למעבדה. בכל מקרה שיש צורך במדבקות נוספות יש לפנות לבטיחות קרינה.

3. שילוט מיוחד

3.1 במקרים מיוחדים: תקלות, פיזור חומר רדיואקטיבי, סכנת חשיפה וכו' יוצב שילוט מיוחד.

חובה לציית להוראות השילוט !!

שים לב!! שילוט הנוגע לבטיחות קרינה יעשה אך ורק ע"י עובדי

בטיחות קרינה. אסור להציב או להסיר שילוט

של בטיחות קרינה ללא אישור!!

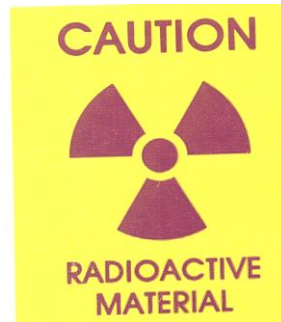
בטיחות קרינה

דוגמה למדבקות תקניות


CAUTION RADIOACTIVE MATERIAL
זהירות! חומר רדיואקטיבי
בטיחות קרינה אוניברסיטת בן גוריון 6461314

אוניברסיטת בן - גוריון
רדיואקטיבי


CAUTION RADIOACTIVE MATERIAL
זהירות! חומר רדיואקטיבי



שלט תקני


אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
בטיחות קרינה

זהירות רדיואקטיביות - קרינה מיננת!!



CAUTION RADIOACTIVITY!

סוג המקור:
חומרים רדיואקטיבים פתוחים
מקורות קרינה חתומים
מכשירים פולטי קרינה

הכניסה והעבודה מותרת באישור ממונה בטיחות קרינה בלבד!!

פרוט _____

IN CASE OF EMERGENCY

טל' בעבודה: 08-6461314 TEL.
טל' בבית: 08-6105881 TEL.
טל' בעבודה: _____ TEL.
טל' בבית: _____ TEL.

טל': 08-6568350 TEL.
טל': 08-6568222 TEL.

במקרה חרום/תקלה:
פנה מיד לממונה בטיחות קרינה: רפי סרברו
טל': 95999 או 052-8795999, בטחון 61555
האחראי למעבדה: _____

במקרה חרום
כאשר לא ניתן לאתר את אחראי בטיחות קרינה
וממלא מקומו יש לפנות לקמ"ג 24 שעות ביממה.

דף מידע ונוהלי עבודה עם טריטיום H-3

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| מחצית חיים פיזיקאלית | 12.5 שנים. |
| מחצית חיים אפקטיבית | 10 ימים. |
| סוג קרינה | β ביתא. |
| אנרגיית הקרינה | 18 KeV מקסימום. 5.6 KeV ממוצע. |
| דרגת סיכון | נמוכה. |
| אקטיביות מרבית | 10 mCi. |

נוהלי עבודה

1. העבודה תבוצע אך ורק ע"י עובדים שקיבלו אישור לעבודה עם טריטיום ובמעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם טריטיום. אישור העבודה הרגיל מתייחס אך ורק לעבודה עם החומר כנוזל. כל עבודה עם חומר רדיואקטיבי נדיף או אבקה או גז (או שקיים סיכוי לפליטת גז תוך כדי הניסוי) מחייבת אישור מיוחד של בטיחות קרינה.
2. העבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה כפי שהם מפורטים בקובץ "נוהלי בטיחות קרינה" של אוניברסיטת בן גוריון.
3. עבודה עם "תמיסת האם" (הריכוז הגבוה) תבוצע בתוך המינדף.
4. כל העברה של חומר רדיואקטיבי נוזלי בין חדרים ובתוכם תעשה בתוך מגש מרופד בחומר סופג.
5. רצוי לעבוד בכמויות קטנות ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי.
6. העובד ילבש חלוק מעבדה, נעליים סגורות וכפפות כל משך עבודתו עם החומר.
7. אסור לאכול, לעשן או לשתות במעבדה !! אסור לבצע פעולות של לקיחת נוזלים באמצעות הפה (פיפטאציה וכו'). לקיחת נוזלים תעשה באמצעים מיוחדים.
8. על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור העבודה בתדירות גדולה ככל האפשר ובמיוחד בעת עזיבת המעבדה ובגמר יום העבודה. בעבודה עם טריטיום לא ניתן להיבדק בעזרת המכשירים הרגילים לגילוי קרינה. הבדיקה תעשה באמצעות בדיקת "ממרח". משפטים על האזור הנבדק פיסת נייר לחה, מכניסים את הנייר "לזייל" עם נוזל נצנץ וסופרים במכשיר מתאים ובהתאם לחומר הנבדק. במקביל יש לספור גם פיסת נייר נקייה כדי לקבוע את הרקע. כל תוצאה ששונה באופן משמעותי מהרקע מצביע על פיזור זיהום רדיואקטיבי ומחייבת טיפול והודעה מיידית לבטיחות קרינה. לפני תחילת השימוש בחומר הרדיואקטיבי חייב העובד ללמוד להפעיל את מונה הנצנץ הנוזלי גם אם לא נעשה שימוש במכשיר זה לצורך הניסויים.

9. בעבודה עם טריטיום קיימת בעיה של חדירת הטריטיום דרך הכפפות בתהליך של חילוף איזוטופים. כדי למנוע זאת מומלץ לעבוד עם שני זוגות כפפות ולהקפיד על החלפת כפפות בתדירות גבוהה. (החלפה לפחות כל חצי שעה).
10. אסור לצבור פסולת במעבדה. בגמר ניסוי/יום העבודה יש לפנות פסולת רדיואקטיבית לחדר הפסולת. אסור לפנות פסולת נוזלית לביוב !!
11. כל הציוד שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי יסומן במדבקת סימון "רדיואקטיבי" כמו כן יש לסמן את אזור העבודה.
12. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.
13. תרכובות DNA המסומנות בטריטיום כמו THYMIDINE מסוכנות יותר מתרכובות מימיות המסומנות בטריטיום. חשוב להקטין את הכמויות בעבודה עם תרכובות DNA המסומנות בטריטיום ולמנוע כל אפשרות לחדירת החומר הרדיואקטיבי לגוף.
14. חובה להכיר את התכונות הרדיואקטיביות והכימיות של כל חומר ותרכובת לפני תחילת השימוש בהם.
15. המעקב אחר חשיפות פנימיות-קליטה של חומר רדיואקטיבי בגוף נעשה באמצעות בדיקות שתן. חובה למסור דגימה לבדיקה בהתאם לדרישת בטיחות קרינה.

בטיחות קרינה

דף מידע ונוהלי עבודה עם פחמן 14 - C

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| מחצית חיים פיזיקאלית | 5730 שנים. |
| מחצית חיים אפקטיבית | 10 ימים. |
| סוג קרינה | β ביתא. |
| אנרגית הקרינה | 156 KeV מקסימום. 49 KeV ממוצע. |
| דרגת סיכון | בינונית. |
| אקטיביות מרבית | 1 mCi. |

נוהלי עבודה

1. העבודה תבוצע אך ורק על ידי עובדים שקיבלו אישור לעבודה עם C-14 ובמעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם C-14. אישור העבודה הרגיל מתייחס אך ורק לעבודה עם החומר כנוזל. כל עבודה עם חומר רדיואקטיבי נדיף, או אבקה או גז (או שקיים סיכוי לפליטת גז תוך כדי הניסוי), מחייבת אישור מיוחד של בטיחות קרינה.
2. העבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה כפי שהם מפורטים בקובץ "נוהלי בטיחות קרינה" של אוניברסיטת בן גוריון.
3. עבודה עם "תמיסת האם" (הריכוז הגבוה) תבוצע בתוך מינדף.
4. כל העברה של חומר רדיואקטיבי נוזלי בין חדרים ובתוכם תעשה בתוך מגש מרופד בחומר סופג.
5. רצוי לעבוד בכמויות קטנות ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי.
6. העובד ילבש חלוק מעבדה, נעליים סגורות וכפפות כל משך עבודתו עם החומר.
7. אסור לאכול, לעשן או לשתות במעבדה !! אסור לבצע פעולות של לקיחת נוזלים באמצעות הפה (פיפטאציה וכו'). לקיחת נוזלים תעשה באמצעים מיוחדים.
8. על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור העבודה בתדירות גדולה ככל האפשר ובמיוחד בעת עזיבת המעבדה ובגמר יום העבודה. בעבודה עם C-14 לא ניתן להיבדק בעזרת המכשירים הרגילים לגילוי קרינה. הבדיקה תעשה באמצעות בדיקת "ממרח". משפטים על האזור הנבדק פיסת נייר לחה מכניסים את הנייר "לוייל" עם נוזל נצנץ וסופרים במכשיר מתאים ובהתאם לחומר הנבדק. במקביל יש לספור גם פיסת נייר נקייה כדי לקבוע את הרקע. כל תוצאה ששונה באופן משמעותי מהרקע מצביעה על פיזור זיהום רדיואקטיבי ומחייבת טיפול והודעה מיידית לבטיחות קרינה. לפני תחילת השימוש בחומר הרדיואקטיבי חייב העובד ללמוד להפעיל את מונה הנצנץ הנוזלי גם אם לא נעשה שימוש במכשיר זה לצורך הניסויים.

9. בעבודה עם C-14 קיימת בעיה של חדירה דרך הכפפות בתהליך של חילוף איזוטופי. כדי למנוע זאת מומלץ לעבוד עם שני זוגות כפפות ולהקפיד על החלפת כפפות בתדירות גבוהה. (החלפה לפחות כל חצי שעה). הדבר חשוב במיוחד בעבודה עם חומצות של הלוגנים המסומנים ב C-14.
10. אסור לצבור פסולת במעבדה. בגמר ניסוי/יום העבודה יש לפנות פסולת רדיואקטיבית לחדר הפסולת. **אסור לפנות פסולת נוזלית לביוב !!**
11. כל הציוד שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי יסומן במדבקת סימון "רדיואקטיבי" כמו כן יש לסמן את אזור העבודה.
12. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.
13. חובה להכיר את התכונות הרדיואקטיביות והכימיות של כל חומר ותרכובת לפני תחילת השימוש בהם.
14. המעקב אחר חשיפות פנימיות - קליטה של חומר רדיואקטיבי בגוף, נעשה באמצעות בדיקות שתן. חובה למסור דגימה לבדיקה בהתאם לדרישת בטיחות קרינה.
15. **במידה ובמהלך העבודה קיימת אפשרות של שחרור CO₂ מסומן**
ב C-14 חובה לעבוד בתוך מינדף, במידת האפשר במערכת סגורה
ולנקוט באמצעים לספיחת הגז ומניעת פליטתו לאוויר החופשי.
בכל מקרה ניסויים כאלה מחייבים אישור מיוחד מבטיחות קרינה.

בטיחות קרינה

דף מידע ונוהלי עבודה עם פוספט, זרחן P-32

| | |
|----------------------|-----------------------------------|
| מחצית חיים פיזיקאלית | 14.3 ימים. |
| מחצית חיים אפקטיבית | 13.5 ימים. |
| סוג הקרינה | β ביתא. |
| אנרגית הקרינה | 1.71 MeV מקסימום. 0.69 MeV ממוצע. |
| דרגת סיכון | בינונית. |
| אקטיביות מירבית | 1 mCi. |

עוצמת הקרינה במגע לפתח בקבוק המכיל 1 mCi 26 R/Hr. עוצמה זו גדולה

ביותר ומחייבת התייחסות לסיכון של חשיפה חיצונית.

טווח מירבי באוויר- 6 מטר, במים- 12 מ"מ.

מיגון נדרש: בעבודה עם כמויות עד 1 mCi ניתן להשתמש בפרספקס בעובי של 12mm.

בעבודה עם כמות גדולה יותר יש להוסיף מיגון עופרת בעובי של 3 mm לפחות.

כללי: בעבודה עם P-32 קיים בנוסף לסיכון של חשיפה פנימי לקרינה (כתוצאה מחדירה של חומר רדיואקטיבי לגוף) גם סיכון של חשיפה חיצונית לקרינה. הטווח הגדול של הקרינה באוויר והאנרגיה שלה מחייבים בנקיטת אמצעים להקטנת החשיפה החיצונית. הקפדה על כללי הבטיחות תמנע חשיפות מיותרות. בעבודה לא נכונה אפשר להיחשף לכמויות משמעותיות של קרינה במיוחד לידיים.

נוהלי עבודה

1. העבודה תבוצע אך ורק ע"י עובדים שקיבלו אישור לעבודה עם P-32 ובמעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם P-32. אישור העבודה הרגיל מתייחס אך ורק לעבודה עם החומר כנוזל. כל עבודה עם חומר רדיואקטיבי נדיף, או אבקה או גז (או שקיים סיכוי לפליטת גז תוך כדי הניסוי), מחייבת אישור מיוחד של אישור בטיחות קרינה.
2. העבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה כפי שהם מפורטים בקובץ "נוהלי בטיחות קרינה" של אוניברסיטת בן גוריון.
3. כל העברה של חומר רדיואקטיבי נוזלי בין חדרים ובתוכם תעשה בתוך מגש מרופד בחומר סופג.
4. רצוי לעבוד בכמויות קטנות ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי.
5. העובד ילבש חלוק מעבדה, נעליים סגורות וכפפות כל משך עבודתו עם החומר. יש לבדוק את הכפפות ולהחליפם בתדירות גדולה.
6. אסור לאכול, לעשן או לשתות במעבדה !! אסור לבצע פעולות של לקיחת נוזלים באמצעות הפה (פיפטאציה וכו'). לקיחת נוזלים תעשה באמצעים מיוחדים.

7. על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור העבודה בתדירות גדולה ככל האפשר ובמיוחד בעת עזיבת המעבדה ובגמר יום העבודה. בעבודה עם P-32 יש להיבדק במכשיר מתאים לגילוי קרינה (מונה גייגר). המכשיר חייב להימצא בהישג יד במהלך כל העבודה. יש לבדוק כפפות, ציוד, בגדים, רצפה ואזור העבודה. במקרה הצורך ניתן להיבדק גם באמצעות בדיקת מריחה.

8. אסור לצבור פסולת במעבדה. בגמר הניסוי/יום העבודה יש לפנות פסולת רדיואקטיבית לחדר הפסולת. **אסור לפנות פסולת נוזלית לביוב !!** בעבודה עם P-32 הפסולת המוצקה והנוזלית הופכת למקור קרינה משמעותי היות ורוב החומר הרדיואקטיבי מגיע לפסולת. **אסור לצבור פסולת במעבדה.** את הפסולת המוצקה והנוזלית יש להכניס למיגון פרספקס.

9. כל הציוד שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי יסומן במדבקת סימון "רדיואקטיבי" כמו כן יש לסמן את אזור העבודה.

10. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.

11. חובה להכיר את התכונות הרדיואקטיביות והכימיות של כל חומר ותרכובת לפני תחילת השימוש בהם.

12. המעקב אחר חשיפות פנימיות - קליטה של חומר רדיואקטיבי בגוף, נעשה באמצעות בדיקת שתן. חובה למסור דגימה לבדיקה בהתאם לדרישת בטיחות קרינה.

13. עבודה עם "תמיסת האם" (הריכוז הגבוה) תבוצע תמיד בתוך מינדף ומאחורי מיגון פרספקס. הבקבוק המכיל את הריכוז הגבוה חייב להישאר בתוך מצודת העופרת. אין לעבוד עם הבקבוק כשהוא חשוף. אסור לעבוד מעל בקבוק פתוח המכיל חומר בריכוז גבוה. הפתיחה הראשונה של הבקבוק המכיל את הריכוז הגבוה תעשה בזהירות רבה. יש לזכור שהפקק של הבקבוק עלול להיות מזוהם בצדו הפנימי ברמה משמעותית ביותר. **גם**

בעבודה עם כמויות קטנות של P-32 יש לעבוד מאחורי מיגון פרספקס.

14. במקרים בהם חובה להוציא את הבקבוק המכיל את מלאי החומר הרדיואקטיבי יעשה הדבר באמצעות מלקחיים מעבדתיות (לא להחזיק את הבקבוק ביד) ומאחורי מגן פרספקס מתאים ולזמן קצר ככל האפשר.

15. חלק מהחברות שמספקות P-32 בנו את מכסה המצודה כך שניתן בעזרתו לפתוח את הפקק של הבקבוק ללא כל חשיפה לידיים. (חברת NEN). בחברות אחרות פקק הבקבוק עשוי פרספקס להקטנת כמות הקרינה. בכל מקרה אין לפתוח את הפקק ביד אלא יש

להשתמש במלקחיים מעבדתיות.



16. לקיחת נוזלים מהבקבוק שמכיל את מלאי החומר הרדיואקטיבי תעשה אך ורק באמצעות פיפטורים אוטומטיים ולא בעזרת מזרק או אמצעי אחר שיש להחזיקו בצמוד לחומר הרדיואקטיבי.

17. שטיפת כלים תעשה בהתאם לנוהל שטיפת כלים. בכל מקרה חובה לבדוק כלים לפני שטיפתם. אסור לשטוף כלים מזוהמים בכיור. כלי שנבדק במכשיר לגילוי קרינה ונתן תוצאה שגבוהה מהרקע יש להשרות בנוזל ניקוי (את הנוזל יש לפנות לפסולת רדיואקטיבית).

18. בעבודה עם ^{32}P בכמות שגדולה מ- 0.5 mCi בניסוי, יענוד העובד תג פס"ק למעקב אחר חשיפה חיצונית.

19. מבחנות, מבחנות אפנדורף וכו' אין להחזיק ביד. יש להשתמש במעמד ממוגן או במעמד רגיל. כאשר הדבר אפשרי יש להכניס מבחנות המכילות אקטיביות גדולה למצודת עופרת.(בדרך כלל יש במעבדה מצודות ממשלוחים קודמים).

20. באריזות של חברת אמרשהם שמגיעות ללא הקפאה מוכנס לבקבוק בולם התזה.

להוציא את בולם
צריכה להעשות
הוצעת הבולם
את הטיפ לחלק
מהבקבוק וזורקים



לפני השימוש הראשון בחומר יש
התזה ולפנותו לפסולת. הפעולה
בזהירות ועל ידי עובדים מנוסים.
נעשית בעזרת פיפטור וטיפ. מכניסים
העליון של הבולם ומוצאים אותו

לפסולת. זהירות: הבולם מזוהם ברמה גבוהה.

21. יש אפשרות לקנות ^{32}P באריזת פלסטיק ללא עופרת. יש להימנע מכך היות והדבר מקשה על הבטיחות בעבודה ויש להחליף את האריזה לפני ביצוע הזמנה. יש לוודא בקטלוג את צורת האריזה.

22. חברת איזיטופ מספקת ^{32}P באריזה שונה.ראה תמונות. יש לפתוח את פקק הפרספקס, לסובב אותו ובעזרתו לפתוח את פקק הבקבוק. במידה ויש בולם התזה יש לחלצו בעזרת פיפטור וטיפ או פינצטה ולהכניסו לפסולת רדיואקטיבית. יש לפנות לבטיחות קרינה לקבלת נוהל מפורט.



בטיחות קרינה

דף מידע ונוהלי עבודה עם זרחן P-33

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| מחצית חיים פיזיקאלית | 25.6 יום. |
| מחצית חיים אפקטיבית | 10 ימים. |
| סוג קרינה | β ביתא. |
| אנרגית הקרינה | 249 KeV מקסימום. 81 KeV ממוצע. |
| דרגת סיכון | נמוכה. |
| אקטיביות מירבית | 10 mCi. |

נוהלי עבודה

1. העבודה תבוצע אך ורק על ידי עובדים שקיבלו אישור לעבודה עם P-33 ובמעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם P-33. אישור העבודה הרגיל מתייחס אך ורק לעבודה עם החומר כנוזל. כל עבודה עם חומר רדיואקטיבי נדיף, או אבקה או גז (או שקיים סיכוי לפליטת גז תוך כדי הניסוי), מחייבת אישור מיוחד של בטיחות קרינה.
2. העבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה כפי שהם מפורטים בקובץ "נוהלי בטיחות קרינה" של אוניברסיטת בן גוריון.
3. עבודה עם "תמיסת האם" (הריכוז הגבוה) תבוצע בתוך מינדף.
4. כל העברה של חומר רדיואקטיבי נוזלי בין חדרים ובתוכם תעשה בתוך מגש מרופד בחומר סופג.
5. רצוי לעבוד בכמויות קטנות ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי.
6. העובד ילבש חלוק מעבדה, נעליים סגורות וכפפות כל משך עבודתו עם החומר.
7. אסור לאכול, לעשן או לשתות במעבדה!! אסור לבצע פעולות של לקיחת נוזלים באמצעות הפה (פיפטאציה וכו'). לקיחת נוזלים תעשה באמצעים מיוחדים.
8. על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור העבודה בתדירות גדולה ככל האפשר ובמיוחד בעת עזיבת המעבדה ובגמר יום העבודה. בעבודה עם P-33 לא ניתן להיבדק בעזרת המכשירים הרגילים לגילוי קרינה. הבדיקה תעשה באמצעות בדיקת "ממרח". משפשפים על האזור הנבדק פיסת נייר לחה מכניסים את הנייר "לוייל" עם נוזל נצנץ וסופרים במכשיר מתאים ובהתאם לחומר הנבדק. במקביל יש לספור גם פיסת נייר נקייה כדי לקבוע את הרקע. כל תוצאה ששונה באופן משמעותי מהרקע מצביעה על פיזור זיהום רדיואקטיבי ומחייבת טיפול והודעה מיידית לבטיחות קרינה. לפני תחילת השימוש בחומר הרדיואקטיבי חייב העובד ללמוד להפעיל את מונה הנצנץ הנוזלי גם אם לא נעשה שימוש במכשיר זה לצורך הניסויים.

9. אסור לצבור פסולת במעבדה. בגמר ניסוי/יום העבודה יש לפנות פסולת רדיואקטיבית לחדר הפסולת. **אסור לפנות פסולת נוזלית לביוב !!**.
10. כל הציוד שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי יסומן במדבקת סימון " רדיואקטיבי" כמו כן יש לסמן את אזור העבודה.
11. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.
12. **חובה להכיר את התכונות הרדיואקטיביות והכימיות של כל חומר ותרכובת לפני תחילת השימוש בהם.**
13. **המעקב אחר חשיפות פנימיות - קליטה של חומר רדיואקטיבי בגוף, נעשה באמצעות בדיקות שתן. חובה למסור דגימה לבדיקה בהתאם לדרישת בטיחות קרינה.**

בטיחות קרינה

דף מידע ונוהלי עבודה עם סולפור S-35

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| מחצית חיים פיזיקאלית | 87.4 יום. |
| מחצית חיים אפקטיבית | 44.3 יום. |
| סוג הקרינה | β ביתא. |
| אנרגיית הקרינה | 167 KeV מקסימום. 49 KeV ממוצע. |
| דרגת סיכון | בינונית. |
| אקטיביות מירבית | 1 mCi. |

נוהלי עבודה

1. העבודה תבוצע אך ורק ע"י עובדיהם שקיבלו אישור לעבודה עם S-35 ובמעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם S-35. אישור העבודה הרגיל מתייחס אך ורק עם החומר כנוזל. לעבודה עם חומר רדיואקטיבי נדיף, או אבקה או גז (או שקיים סיכוי לפליטת גז תוך כדי הניסוי), מחייבת אישור מיוחד של בטיחות קרינה.

עבודה עם חומצות אמיניות מסומנות ב S-35 כמו METHIONINE, CYSTEINE מחייבת

אישור מיוחד. (ראה בהמשך הנוהל).

2. העבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה כפי שהם מפורטים בקובץ "נוהלי בטיחות קרינה" של אוניברסיטת בן-גוריון.

3. עבודה עם "תמיסת האם" (הריכוז הגבוה) תבוצע בתוך המינדף.

4. כל העברה של חומר רדיואקטיבי נוזלי בין חדרים ובתוכם תעשה בתוך מגש מרופד וחומר סופג מרופד.

5. רצוי לעבוד בכמויות קטנות ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי.

6. העובד ילבש חלוק מעבדה, נעליים סגורות וכפפות כל משך עבודתו עם החומר.

7. אסור לאכול, לעשן או לשתות במעבדה!! אסור לבצע פעולות של לקיחת נוזלים באמצעות הפה (פיפטאציה וכו'). לקיחת נוזלים תעשה באמצעים מיוחדים.

8. על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור העבודה בתדירות גדולה ככל האפשר ובמיוחד בגמר יום העבודה. בעבודה עם S-35 לא ניתן להיבדק בעזרת המכשירים הרגילים לגילוי קרינה. הבדיקה תעשה באמצעות בדיקת "ממרח". משפשים על האזור הנבדק פיסת נייר לחה מכניסים את הנייר "לוייל" עם נוזל נצנץ וסופרים במכשיר המתאים ובהתאם לחומר הנבדק. במקביל יש לספור גם פיסת נייר נקייה כדי לקבוע את הרקע. כל תוצאה ששונה באופן משמעותי מהרקע מצביעה על פיזור זיהום רדיואקטיבי ומחייבת טיפול והודעה מיידית לבטיחות קרינה. לפני תחילת השימוש בחומר הרדיואקטיבי חייב העובד ללמוד להפעיל את מונה הנצנץ הנוזלי גם אם לא נעשה שימוש במכשיר זה לצורך הניסויים.

9. אסור לצבור פסולת במעבדה. בגמר ניסוי/יום העבודה יש לפנות פסולת רדיואקטיבית לחדר הפסולת. **אסור לפנות פסולת נוזלית לביוב !!**.
10. כל הציוד שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי יסומן במדבקת סימון "רדיואקטיבי" כמו כן יש לסמן את אזור העבודה.
11. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.
12. **חובה להכיר את התכונות הרדיואקטיביות והכימיות של כל חומר ותרכובת לפני תחילת השימוש בהם.**
13. המעקב אחר חשיפות פנימיות - קליטה של חומר רדיואקטיבי בגוף, נעשה באמצעות בדיקות שתן. חובה למסור דגימה לבדיקה בהתאם לדרישת בטיחות קרינה.

עבודה עם CYSTEINE I METHIONINE

בנוסף לכללי העבודה שפורטו, העבודה עם חומצות אמינו מסומנות ב S-35 מחייבת אמצעים מיוחדים בגלל היווצרות תוצרים רדיואקטיביים נדיפים בעת התפרקות החומר במיוחד בתהליכים של הקפאה, הפשרה, אינקובציה ואחסון פסולת. ההערכה כיום היא שבכל שבוע מתפרק 0.01 של החומר. באופן מעשי המשמעות היא שממלאי של 5 מיליקירי נקבל בכל שבוע כ 0.5 מיקרוקירי כחומר נדיף. חובה עלינו לנקוט באמצעים שימנעו אפשרות לחדירת החומר לגוף באמצעות הנשימה ולפיזור זיהום רדיואקטיבי לסביבה.

1. **העבודה עם חומצות אמינו מסומנות ב S-35 מחייבת אישור מיוחד של בטיחות קרינה. האישור יינתן רק לאחר שהמעבדה תעמוד בדרישות בטיחות קרינה.**
2. יש לבצע את מרבית שלבי העבודה בתוך מינדף תקין.
3. **כל עבודה עם מלאי החומר הרדיואקטיבי חייבת להתבצע במינדף.**
4. הקפאה של החומר הרדיואקטיבי חייבת להיעשות בכלי אטום.
5. פעולות של חימום, טלטול וכו' יבוצעו בכלים אטומים ובמינדף.
6. **הפשרה של בקבוק מוקפא המכיל S-35 חייבת להתבצע במינדף. לפני תחילת ההפשרה יש להכין מזרק שבקצהו צמר גפן ולמלא אותו בפחם פעיל. יש להכניס את מחט המזרק לבקבוק מבלי שהמחט תבוא במגע עם הנוזל הקפוא. במצב כזה יש להפשיר במהירות את הבקבוק. בגמר ההפשרה יש לינוק את האוויר לתוך המזרק, להוציא את המזרק ולפנותו לפסולת רדיואקטיבית.**
7. אינקובציה תעשה בכלים אטומים. פתיחת הכלי לאחר אינקובציה חייבת להיעשות במינדף. ניתן לרכוש אמצעים מיוחדים שהותאמו לעבודה עם חומרים נדיפים.

8. במידה ולא ניתן לבצע הקפאה או אינקובציה בכלים אטומים יש לנקוט באמצעים לספיחת התוצרים הנדיפים. ניתן לעטוף את הכלים בנייר עשוי פחם פעיל או להכניס לכלי כפול ולמלא פחם פעיל.

9. יש לאחסן במעבדה פסולת לזמן קצר ככל האפשר. הפסולת תאוחסן במנדף בכלים אטומים.

10. כדי לוודא שלא פוזר זיהום רדיואקטיבי חובה לבדוק בגמר כל שלב בעבודה ובמיוחד לפני עזיבת המעבדה, את כל אזורי העבודה ובמיוחד במקומות בהם בוצעה הפשרה, אינקובציה, טלטול וכו'. חובה לבדוק את המים באינקובטור. הבדיקה תתבצע ע"י בדיקת מריחה.

בטיחות קרינה

דף מידע ונוהלי עבודה עם קלציום Ca - 45

| | |
|-----------------------|--------------------------------|
| מחצית חיים פיזיקאליים | 165 DAY. |
| מחצית חיים אפקטיבית | 165 DAY. |
| סוג קרינה | β ביתא. |
| אנרגיית הקרינה | 252 Kev מקסימום. 75 KeV ממוצע. |
| דרגת סיכון | גבוהה. |
| אקטיביות מרבית | 100 μ Ci. |

נוהלי עבודה

1. העבודה תבוצע אך ורק ע"י עובדים שקיבלו אישור לעבודה בחומרים אלה ובמעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם החומרים.
2. העבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה כפי שהם מפורטים בקובץ "נוהלי בטיחות קרינה".
3. עבודה עם "תמיסת האם" (הריכוז הגבוה) תבוצע תמיד בתוך המנדף
4. כל העברה של חומר רדיואקטיבי נוזלי בין חדרים ובתוכם תעשה בתוך מגש מרופד בחומר סופג.
5. רצוי לעבוד בכמויות קטנות ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי.
6. **Ca- 45 נחשב לחומר בדרגת סיכון גבוהה בגלל החשש מחשיפה פנימית. חשוב ביותר להקפיד על כל נוהלי העבודה ובמיוחד על הבדיקה של אזור העבודה והעובד עצמו.** בעבודה עם **Ca- 45** אין חשש מחשיפה חיצונית לקרינה.
7. העובד ילבש חלוק מעבדה, נעליים סגורות וכפפות כל משך עבודתו עם החומר.
8. **אסור לאכול, לעשן או לשתות במעבדה !! אסור לבצע פעולות עם הפה (פיפטאציה וכו'). לקיחת נוזלים תעשה באמצעים מיוחדים.**
9. על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור העבודה בתדירות גדולה ככל האפשר ובמיוחד בעת עזיבת המעבדה ובגמר יום העבודה. בעבודה עם **Ca-45** לא ניתן להיבדק בעזרת המכשירים הרגילים לגילוי קרינה. הבדיקה תעשה באמצעות בדיקת "מימרח". משפשפים על האזור הנבדק פיסת נייר לחה, מכניסים את הנייר "לוייל" עם נוזל נצנץ וסופרים במכשיר מתאים ובהתאם לחומר הנבדק. במקביל יש לספור גם פיסת נייר נקיה כדי לקבוע את הרקע. כל תוצאה ששונה באופן משמעותי מהרקע מצביעה על פיזור זיהום רדיואקטיבי ומחייבת טיפול והודעה מיידית לבטיחות קרינה.
10. **אסור לצבור פסולת במעבדה.** בגמר הניסוי/יום העבודה יש לפנות פסולת רדיואקטיבית לחדר הפסולת.
11. כל הציוד שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי יסומן במדבקת סימון "רדיואקטיבי" כמו כן יש לסמן את אזור העבודה.
12. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.

דף מידע ונוהלי עבודה עם כרום 51-Cr

| | |
|--------------------|---------------------|
| 27.7 DAY | מחצית חיים פיזיקלית |
| 26.4 DAY | מחצית חיים אפקטיבית |
| γ | סוג הקרינה |
| γ -0.32 MeV | אנרגיית הקרינה |
| | עוצמת קרינה במגע |
| 160 mR/hr | למקור חשוף של 1-mCi |
| בינוני נמוך. | דרגת סיכון |
| 1.6 mm-כ | עובי מחצית בעופרת |
| 1-mCi | אקטיביות מרבית |

נוהלי עבודה

1. העבודה תבוצע אך ורק ע"י עובדים שקיבלו אישור לעבודה בחומרים אלה ובמעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם החומרים.
2. העבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה כפי שהם מפורטים בקובץ "נוהלי בטיחות קרינה"
3. העובדים חייבים לענווד תג פס"ק כל משך שהותם במעבדה.
4. עבודה עם "תמיסת האם" (הריכוז הגבוה) תבוצע תמיד בתוך המינדף כאשר הבקבוק המכיל את תמיסת האם יושאר כל הזמן בתוך המצודה. אסור להוציא את הבקבוק מהמצודה ללא אמצעי מיגון.
5. כל העברה של חומר רדיואקטיבי נוזלי בין חדרים ובתוכם תעשה בתוך מגש מרופד בחומר סופג.
6. רצוי לעבוד בכמויות קטנות ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי.
7. העובד ילבש חלוק מעבדה, נעליים סגורות וכפפות כל משך עבודתו עם החומר.
8. אסור לאכול, לעשן או לשתות במעבדה !! אסור לבצע פעולות עם הפה (פיפטאציה וכו'). לקיחת נוזלים תעשה באמצעים מיוחדים.
9. בזמן ביצוע העבודה ימצא במעבדה מכשיר מתאים לגילוי קרינה. על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור העבודה בתדירות גדולה ככל האפשר ובמיוחד בעת עזיבת המעבדה ובגמר יום העבודה.
10. אסור לצבור במעבדה. בגמר ניסוי/יום העבודה יש לפנות פסולת רדיואקטיבית לחדר הפסולת.
11. כל הציוד שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי יסומן במדבקת סימון "רדיואקטיבי" כמו כן יש לסמן את אזור העבודה.
12. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.

דף מידע ונוהלי עבודה עם רובידיום Rb- 86

| | |
|----------------------|--|
| מחצית חיים פיזיקאלית | 18.66 DAY |
| מחצית חיים אפקטיבית | 13.2 DAY |
| סוג הקרינה | β, γ |
| אנרגית הקרינה | β - 1.78 MeV γ - 1.07 MeV |
| עוצמת קרינה במגע | |
| למקור חשוף של 1-mCi | 500 Mr/Hr |
| דרגת סיכון | בינוני |
| עובי מחצית בעופרת | 9 mm-כ |
| אקטיביות מרבית | 1-mCi |

נוהלי עבודה

1. העבודה תבוצע אך ורק ע"י עובדים שקיבלו אישור לעבודה בחומרים אלה ובמעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם החומרים.
2. העבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה כפי שהם מפורטים בקובץ "נוהלי בטיחות קרינה".
3. העובדים חייבים לענווד תג פס"ק כל משך שהותם במעבדה.
4. עבודה עם "תמיסת האם" (הריכוז הגבוה) תבוצע תמיד בתוך המנדף כאשר הבקבוק המכיל את תמיסת האם יושאר כל הזמן בתוך המצודה. אסור להוציא את הבקבוק מהמצודה ללא אמצעי מיגון.
5. כל העברה של חומר רדיואקטיבי נוזלי בין חדרים ובתוכם תעשה בתוך מגש מרופד בחומר סופג.
6. רצוי לעבוד בכמויות קטנות ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי.
7. העובד ילבש חלוק מעבדה, נעליים סגורות וכפפות כל משך עבודתו עם החומר.
8. אסור לאכול, לעשן או לשתות במעבדה !! אסור לבצע פעולות עם הפה (פיפטאציה וכו'). לקיחת נוזלים תעשה באמצעים מיוחדים.
9. בזמן ביצוע העבודה ימצא במעבדה מכשיר מתאים לגילוי קרינה. על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור העבודה בתדירות גדולה ככל האפשר ובמיוחד בעת עזיבת המעבדה ובגמר יום העבודה.
10. אסור לצבור פסולת במעבדה. בגמר ניסוי/יום עבודה יש לפנות פסולת רדיואקטיבית לחדר הפסולת.
11. כל הציוד שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי יסומן במדבקת סימון "רדיואקטיבי" כמו כן יש לסמן את אזור העבודה.
12. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.

דף מידע ונוהלי עבודה עם יוד 125 - I

| | |
|----------------|---------------------|
| .60.2 DAY | מחצית חיים פסיקאלית |
| .41.8 DAY | מחצית חיים אפקטיבית |
| γ, X | סוג הקרינה |
| .27-35 KeV | אנרגית הקרינה |
| גבוהה. | דרגת סיכון |
| .100- μ Ci | אקטיביות מרבית |

נוהלי עבודה

1. העבודה תבוצע אך ורק ע"י עובדים שקיבלו אישור לעבודה בחומרים אלה ובמעבדות שקיבלו אישור לעבודה עם החומרים.
2. העבודה תבוצע בהתאם לכל נוהלי בטיחות קרינה כפי שהם מפורטים בקובץ "נוהלי בטיחות קרינה".
3. **כל העברה של חומר רדיואקטיבי נוזלי בין חדרים ובתוכם תעשה בתוך מגש מרופד בחומר סופג.**
4. רצוי לעבוד בכמויות קטנות ככל האפשר של חומר רדיואקטיבי.
5. העובד ילבש חלוק מעבדה, נעליים סגורות וכפפות כל משך עבודתו עם החומר.
6. **אסור לאכול, לעשן או לשתות במעבדה!! אסור לבצע פעולות עם הפה (פיפטאציה וכו'). לקיחת נוזלים תעשה באמצעים מיוחדים.**
7. **על העובד לבדוק את עצמו ואת אזור העבודה בתדירות גדולה ככל האפשר ובמיוחד בעת עזיבת המעבדה ובגמר יום העבודה.** בעבודה עם I-125 לא ניתן להיבדק בעזרת המכשירים הרגילים לגילוי קרינה (מונה גייגר רגיל לא יעיל ל I-125) ויש צורך במכשור מיוחד. כאשר אין מכשיר נייד תעשה הבדיקה באמצעות בדיקת "מימרח". משפשפים על האזור הנבדק פיסת נייר לחה, מכניסים את הנייר למבחנה וסופרים במונה גמא. במקביל יש לספור גם פיסת נייר נקייה כדי לקבוע את הרקע. כל תוצאה ששונה באופן משמעותי מהרקע מצביעה על פיזור זיהום רדיואקטיבי ומחייבת טיפול והודעה מידית לבטיחות קרינה.
8. **אסור לצבור פסולת במעבדה.** בגמר ניסוי/יום העבודה יש לפנות פסולת רדיואקטיבית לחדר הפסולת. רצוי למגן את הפסולת.
9. כל הציוד שבא במגע עם חומר רדיואקטיבי יסומן במדבקת סימון "רדיואקטיבי" כמו כן יש לסמן את אזור העבודה.

10. על כל תקלה או חשש לתקלה יש להודיע מיידית לבטיחות קרינה.
11. הכמות המרבית לעבודה עם I-125 במעבדה רדיואקטיבית רגילה היא $100 \mu\text{Ci}$,
בתנאי שלא עובדים עם יוד חופשי. עבודה עם יוד חופשי תעשה אך ורק

במעבדות מיוחדות שיקבלו אישור מיוחד לכך.

12. **I-125 סווג כחומר בדרגת סיכון גבוהה עקב הנדיפות הגדולה שלו והחשש לחשיפה פנימית כתוצאה מנשימתו יחד עם זאת קיים גם סיכון של חשיפה חיצונית וחובה לנקוט באמצעים להקטנת החשיפה.**

13. אחסון I-125 יעשה במצודות עופרת בעובי של 3 mm לפחות ורצוי להשתמש ב"שמיכות" עופרת למיגון כמויות קטנות יותר בזמן העבודה.

14. רצוי לבצע כל עבודה עם I-125 בתוך מינדף. בכל מקרה, פתיחה של בקבוק המכיל I-125 תעשה במינדף וכן כל עבודה עם כמות שמעל ל- $10 \mu\text{Ci}$.

15. **בעבודה עם כמויות שקטנות מ- $10 \mu\text{Ci}$ בחומרים מסומנים שלא מכילים יוד חופשי, כאשר אין אפשרות לעבוד במנדף ניתן לעבוד על שולחנות העבודה. גם במקרה כזה חובה לפתוח בקבוקים אך ורק בתוך מנדף.**

16. תמיסות המכילות יונים של יוד אין להפוך לחומצות ואין לאחסנם בהקפאה, בשני המקרים הדבר גורם להגדלת הנדיפות.

17. **תרכובות מסוימות של יוד מסוגלות לחדור את כפפות הגומי הרגילות ולכן בכל מקרה של חשש כזה יש לעבוד עם שני זוגות כפפות או ללבוש כפפת ניילון על כפפת הגומי, יש להחליף את הכפפה החיצונית בתדירות גדולה ככל האפשר.**

18. בכל מקרה של חשש לחשיפה פנימית של יוד חובה להודיע מיידית לבטיחות קרינה. הדבר חשוב במיוחד היות וניתן גם במקרה כזה להקטין את כמות היוד הרדיואקטיבית שתיקלט בגוף על ידי הכנסת יוד לא רדיואקטיבי לגוף.

19. בכל מקום בו משתמשים ביוד רדיואקטיבי חובה להכין בהישג יד תמיסה אלקאלית של סודיום טיוסולפאט. במקרה של פיזור זיהום יש לטפל באזור המזוהם בתמיסה הנ"ל לפני ביצוע ניקוי.

בטיחות קרינה

טופס פרטים אישיים ופרטים על העבודה

חובה למלא את כל הפרטים בכתב ברור

שם: _____ ת.ז.: _____ שנת לידה: _____
מחלקה: _____ מעבדה: _____ טל' בבית: _____ טל' בעבודה: _____
מין: ז/נ / הריון: כן / לא מעמד: סטודנט/סגל טכני/ סגל מנהלי/ סגל אקדמי/ _____
תקופת עבודה משוערת בקרינה: _____ קופת חולים: _____
חוקר אחראי: _____ דואר אלקטרוני של העובד: _____

מלא את הפרטים בהתאם לסוג העבודה בקרינה!!

(חומרים, מקורות או מכשירים פולטי קרינה מייננת)

1) פירוט החומרים הרדיואקטיביים: סוגי החומרים: _____
אקטיביות כללית במעבדה (ובאחסון): _____ אקטיביות בניסוי: _____
תיאור קצר של השימוש בחומר הרדיואקטיבי: _____

2) פירוט מקורות קרינה: סוגי מקורות, אקטיביות של כל מקור ותיאור קצר של השימוש: _____

3) מכשיר פולט קרינה מייננת: סוג המכשיר: _____ יצרן: _____
מתח עבודה: _____ זרם: _____
תיאור השימוש: _____

התחייבות: קראתי בתשומת לב את הוראות העבודה והנהלים לעבודה בחומרים רדיואקטיביים, מקורות קרינה ומכשירים פולטי קרינה מייננת. הבנתי את הנהלים ואני מתחייב לעבוד בהתאם להוראות ולנהלים. ידוע לי שחובה עלי לפנות לממונה בטיחות קרינה במידה ולא הבנתי או שלא אוכל לבצע את עבודתי בהתאם להוראות ולנהלים. ידוע לי כי חריגה מהנהלים תגרום לביטול האישור לעבודתי בקרינה. ידוע לי שאסור לי להתחיל לעבוד בקרינה לפני קבלת אישור מבטיחות קרינה, אישור החוקר האחראי ואישור המרפאה התעסוקתית. אני מתחייב להודיע לבטיחות קרינה על

סיום עבודתי בקרינה.

שם: _____ חתימה: _____ תאריך: _____

נא לתלוש עמוד זה ולשלוח אותו

לבטיחות קרינה

במייל: baramm@bgu.ac.il