



שיבא - מרכז רפואי אקדמי מצטיין



המחלקה לבטיחות, גהות והגנת הסביבה

רפואה/קרדילוגיה גרעינית לומדת בטיחות קרינה

צפריר בן יהודה

ממונה בטיחות קרינה

מתוך תקנות הקרינה המייננת

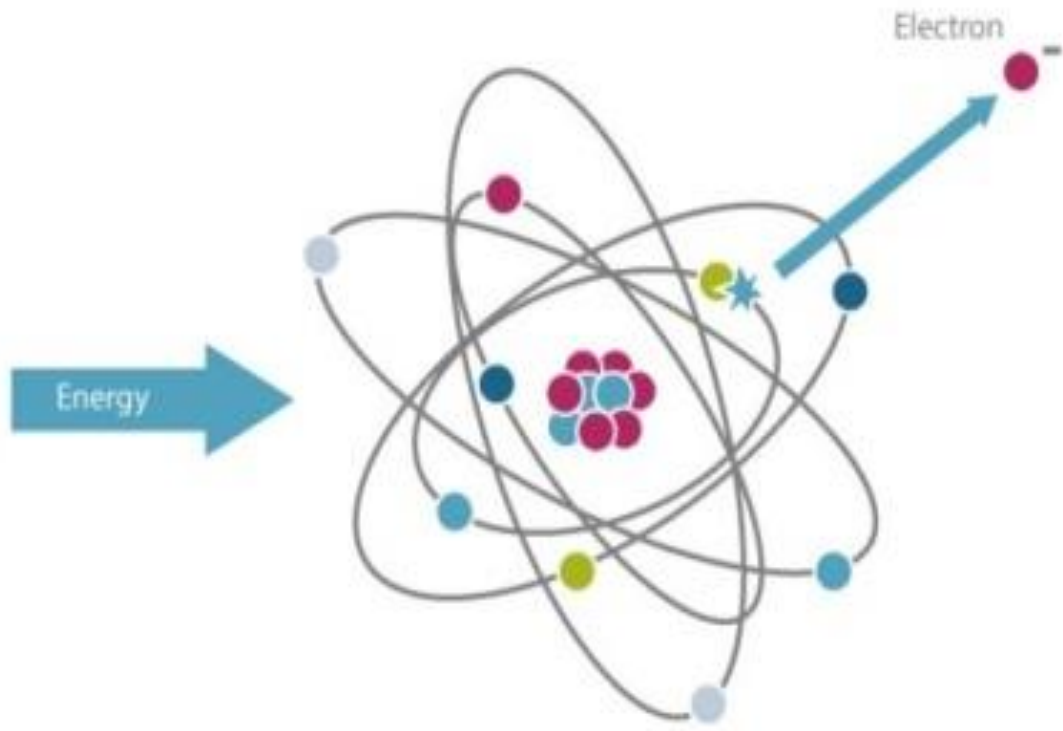
התשנ"ג-1992 פרק 4 סעיף א-8

ידריך ויאמן, בכתב ובעל-פה...
כל עובד קרינה חדש מיד עם
קבלתו לעבודה, וכל עובד קרינה
אחר, באופן שוטף וקבוע, אחת
לשנה לפחות...

מטרת הלומדה - לרענן את ידע העובד בנושא בטיחות קרינה, בהתאם לנושאים הבאים:

- סוגי קרינה וחשיפה.
- תכולת המכון רפואה גרעינית והמכון לקרדיולוגיה גרעינית
- יישום עקרונות בטיחות קרינה בעבודת המכון.
- כיצד נתמודד עם זיהום/שפך רדיואקטיבי.

מהי קרינה מייננת?



- מסוגלת למסור אנרגיה לאטום של רקמה ולשחרר אלקטרון



- קרינה בלתי מייננת "רק" מחממת

סלולר
וחשמל



לייזר



סוגי קרינה

• קרינת אלפא α

• קרינת ביתא β

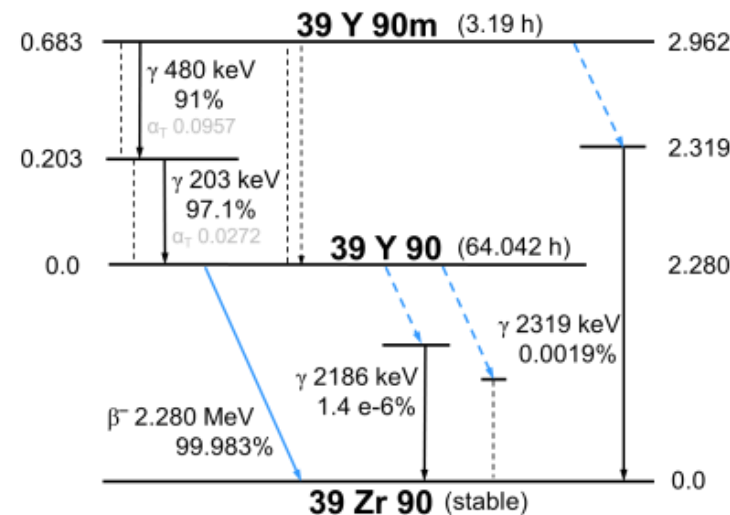
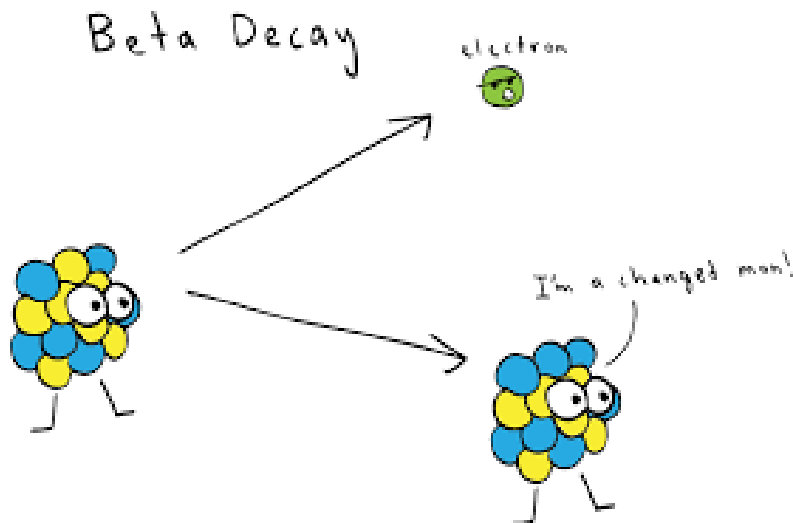
• קרינת גמא γ

קרינה של חלקיקים המהווים גרעינים של היסוד הליום -2 פרוטונים ו
2- נויטרונים.

- 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 מכוח יינון גדול ביותר כך שהקרינה מאבדת את האנרגיה שלה בטווח קצר ביותר.
- התוצאה של פליטת חלקיק אלפא היא קבלת גרעין של יסוד חדש.
- דוגמא לפולט אלפא הוא החומר XOFIGO המכיל רדיום 223 ומשמש לטיפול בחולים עם סרטן הערמונית וגרורות בעצמות.



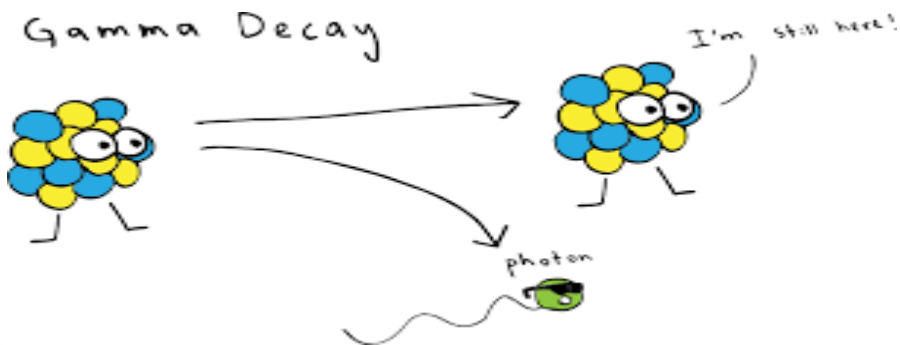
- קרינת ביתא נפלטת כאשר בגרעין של איזוטופ רדיואקטיבי מתרחש תהליך של הפיכת נויטרון לפרוטון או פרוטון לנויטרון. תוצאת התהליך היא פליטה של חלקיקים טעונים, **אלקטרונים או פוזיטרונים**.
- טווח קרינת ביתא באנרגיה גבוהה באוויר הוא עד כמה מטרים. לצורך בלימתה נזדקק לכ 20 -מילימטרים של מים או כ 12 מילימטרים פרספקט.
- דוגמא לפולט ביתא באנרגיה גבוהה (2280 keV) הוא האיזוטופ Y-90.
- איזוטופ זה ניתן כ Microspheres במהלך צנתור טיפולי בסרטן הכבד.



סוגי קרינה

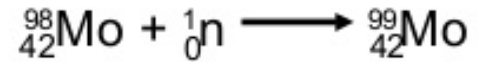
קרינת גמא γ

- קרינת גמא היא קרינה אלקטרומגנטית לכל דבר (אורך גל קצר ביותר = אנרגיה גבוהה) ללא מסה וללא מטען חשמלי (פוטונים) ובכל זאת הקרינה מייננת.
- 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 קרינת X הזהה בתכונותיה לקרינת גמא.
- קרינת X מיוצרת באופן מלאכותי ע"י הפצצת מתכת כבדה באלקטרונים. בלימת האלקטרונים פולטת אנרגיה בצורת קרינת X.
- דוגמא לפולט גמא הוא האיזוטופ Tc-99m.

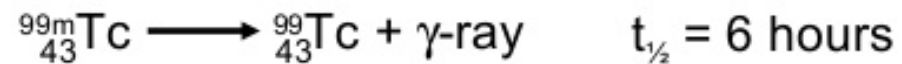
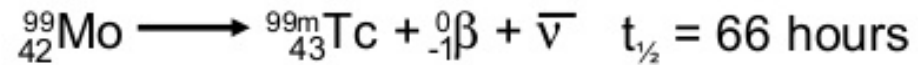
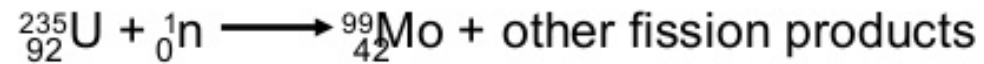


Radioisotopes in Medicine

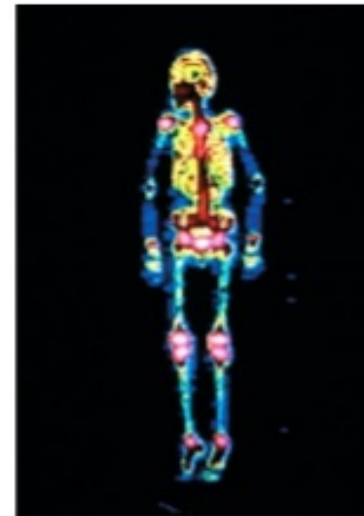
Research production of ^{99}Mo



Commercial production of ^{99}Mo



Bone Scan with
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$



23.7

סוגי
קרינה

קרינת
גמא
 χ

- חומרים פתוחים פולטי קרינת α הם בעלי סיכון גבוה במקרה של חשיפה פנימית.
- חומרים פולטי קרינת β באנרגיה גבוהה וחומרים פולטי קרינת γ מהווים בנוסף לסיכון של חשיפה פנימית, גם סיכון של חשיפה חיצונית לקרינה.
- מכשירים פולטי קרינה X ומקורות קרינה חתומים (מקורות המשמשים לכיול) מהווים סיכון של חשיפה חיצונית.
- אמצעי בטיחות ונהלי עבודה, נקבעים בהתאם לחומר הרדיואקטיבי אתו עובדים ובהתאם למכשיר או למקור הקרינה.

סוגי קרינה

איזוטופים עיקריים בהיתר של רפואה +קרדיולוגיה גרעינית

שימוש	סוג קרינה עיקרי	מיקום	איזוטופ
דיאגנוסטי	γ -141keV	קר"ג + רפ"ג	Tc-99m
דיאגנוסטי	γ -71keV	קר"ג	Tl-201
דיאגנוסטי	γ -511keV	רפ"ג	F-18
טיפול	γ -365keV β -606keV	רפ"ג	I-131
טיפול	γ -208keV β -497keV	רפ"ג	Lu-177
טיפול	α -5700keV	רפ"ג	Ra-223
טיפול	β -2284keV	רפ"ג	Y-90

לחץ על המילה [המודגשת](#) למעבר לדוגמה

מנה גבולית

גבול המנה השנתי ב mSv

חזה	עובד קרינה	ציבור
חזה	20-50*	1
עובדת בהריון	1	1
עין/ראש	150	15
גפיים ועור	500	50

חשיפה
לקרינה

מנה גבולית

50* מנה מקסימלית לשנה. 100 מנה מקסימלית ל 5 שנים (ממוצע של 20 לשנה).

ערכי חשיפות ממוצעות

חשיפה	
2.4	רקע ממוצע בישראל
10	CT כל גופי
100	המנה הנמוכה ביותר הקשורה להעלאת הסיכון לסרטן
250	מנה שהורשו לקבל עובדים שטיפלו בפוקושימה
500	מנה מותרת לעובדים לצורך הצלת חיים

מנות קרינה
שונות

חשיפה ב mSv לשנה

השפעות הקרינה

- דטרמניסטית – מחלות קרינה, פגיעה באברי הגוף.

- סטוכסטית - עלולות להגדיל סטטיסטית את הסיכוי למחלות ממאירות בעתיד.

לאחר שהכרנו את סוגי הקרינה במכון
ואת סיכוני החשיפה מקרינה,
נכיר את סביבת העבודה.

סביבת עבודה

רפואה
גרעינית

תכולה

• קבלת חומרים

קרדיולוגיה
גרעינית



סביבת עבודה



• עמדת מדידת כיול לפני
הזרקה



רפואה
גרעינית

תכולה

קרדיולוגיה
גרעינית

סביבת עבודה



ניטור אזורי חדר הזרקה כללי.



רצפה + פנלים PVC אשר מונעת חדירת שפך. הקירות צבועים בצבע רחיצ.



חדר הזרקה במאמץ.

רפואה
גרעינית

תכולה

קרדיולוגיה
גרעינית

רפואה
גרעינית

תכולה

קרדיולוגיה
גרעינית

סביבת עבודה

מנדף רדיואקטיבי

• מיגון הצוות והמטופלים



קיר מיגון הפרדת
מטופלים לפני ואחרי הזרקה



סביבת עבודה

חדר בקרה PETCT



• חדרי בקרה ממוגנים



חדר בקרה מצלמה

רפואה
גרעינית

תכולה

קרדיולוגיה
גרעינית

סביבת עבודה

ארון פסולת ממוגן

• סידורי פסולת רדיואקטיבית

פח פסולת ממוגן



רפואה
גרעינית

תכולה

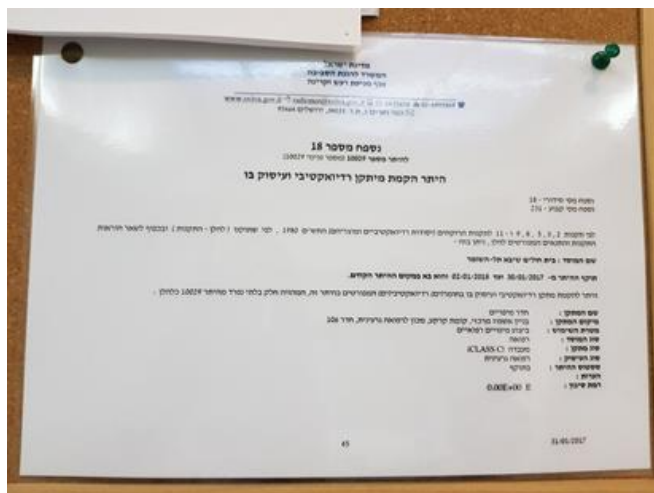
קרדילוגיה
גרעינית

היתרים ונהלים

תכולה

- היתר בר תוקף לשימוש בחומרים ובכמויות המצוינות.
- תיעוד הזמנת החומרים הרדיואקטיביים באישור ממונה בטיחות קרינה ובהתאם להיתר.
- הוראות בטיחות תלויות במקום נגיש.
- עובד בחומרים רדיואקטיביים עבר הדרכה תקופתית ובדיקות רפואיות תקופתיות.

היתר



נהלי בטיחות



לסיכום

•הסיכון ידוע, הסביבה מוכרת.

•מה עושים עכשיו?



האמצעי

6

המ"מים

המטרה

לבצע בדיקה/טיפול, תוך
חשיפה מינימאלית לצוות!



משך

השתדל לקצר את משך זמן החשיפה.

- עבוד בהתאם לנוהל הזרקת חומרים.
- עבוד בהתאם לנוהל עבודה עם מטופלים.
- צמצם ככל האפשר שהייה בקרבת מוזרק.
- יש לחלק העבודה בין העובדים.

מרחק

- החשיפה קטנה כפונקציה של המרחק בריבוע.
- יש להשתמש באמצעי עזר כמו מלקחיים באורך 30 ס"מ, אשר יקטינו את החשיפה פי 900 לעומת קרבה של 1 ס"מ.



- יש להתרחק ככל האפשר מהמוזרקים.

משך

מרחק

מיגון כללי

מיגון אישי

מידה

מודעות

מיגון כללי

מיגון מזרק זכוכית לפולטי β

מיגון מזרק עופרת לפולטי γ .



פח ממוגן



משך

מרחק

מיגון כללי

מיגון אישי

מדידה

מודעות

מיגון אישי

- חלוק תקני, נעליים סגורות, כפפות (שולי השרוולים בתוך הכפפות).
- במידה ויש חשש לזיהום יש ללבוש שני זוגות של כפפות וכיסוי נעליים.
- הורד את זוג הכפפות העליון מיד לאחר סיום הפעולה. במידה ויש חשש לזיהום החלף כפפות. (הורדת הכפפות מתבצעת ללא מגע של יד חשופה באזור חשוד ע"ג הכפפה).



משך

מרחק

מיגון כללי

מיגון אישי

מדידה

מודעות

מדידה

- עובדי המכון יענדו תג קרינה חזה.
- יש לוודא ששם העובד הרשום ע"ג התג יופנה לגוף וחלונות קליטת הקרינה שבצדו השני, יהיו חשופים לקרינה.
- עובדים המזריקים חומרים ר"א יענדו בנוסף תג אצבע/יד
- דו"ח חשיפות חודשי יהיה נגיש לעובדי הקרינה



משך

מרחק

מיגון כללי

מיגון אישי

מידה

מודעות

מודעות

- הזרקת חומרים ר"א לנבדקים
תעשה במזרקים מוגני קרינה.

- הזרקת FDG תתבצע בעזרת
מכשיר הזרקה אוטומטי



מודעות

עמדת בדיקת זיהום אישי



- בסוף יום עבודה, אשר כלל שימוש בחומרים ר"א, יבצע העובד בדיקת זיהום על גופו ולבושו.
- הבדיקה תבוצע בהתאם להוראות בדיקת זיהום לאחר יום העבודה ובעמדה הייעודית.

משך

מרחק

מיגון כללי

מיגון אישי

מדידה

מודעות

משך

מרחק

מיגון כללי

מיגון אישי

מדידה

מודעות

מודעות

- קיים איסור על אכילה/שתיה, עישון, איפור ואכסון מזון.

- העברת חומרים ר"א תבוצע ע"ג עגלה, כאשר החומר בתוך מיגון תקני.

- יש להשתמש במנדף כאשר עובדים עם חומרים נדיפים (I-131).

- עובדי קרינה החשופים לאיזוטופים של יוד רדיואקטיבי יעברו בדיקות Up-take אחת לשלושה חודשים

מנדף



מודעות

- וודא קיומו של נוהל בטיחות קרינה-חומרים רדיואקטיביים.
- וודא קיומו של נוהל הזרקת חומרים ר"א.
- וודא קיומו של הוראות לבדיקת זיהום ר"א לאחר יום העבודה.
- וודא קיומו של נוהל בטיחות קרינה-עובדת בהריון.
- וודא קיומו של נוהל בטיחות הצוות המטפל-מטופלים מוזרקים במיון/מחלקות.
- וודא קיומו של נוהל בטיחות הצוות המטפל-מוות מוחי במחלקות.

משך

מרחק

מיגון כללי

מיגון אישי

מדידה

מודעות

לסיכום

- סיכון הקרינה ידוע.
- הסביבה מוכרת.
- יודעים להתגונן מפני הקרינה.
- מה לעשות אם משהו משתבש?

זיהום ידיים



זיהום
אוכל/שתיה



זיהום
פנימי

זיהום

שפר

כיצד

נתמודד?

אחריות ודיווח

- היקף תקלה שתוצאתה פיזור זיהום רדיואקטיבי, יכול לנוע בין שפך מקומי במכון ללא סיכון משמעותי לעובדים, ועד לתקרית נרחבת החורגת מתחום המכון ובעלת פוטנציאל סיכון גבוה לעובדים ולסביבה.
- הטיפול בתוצאות התקלה מונחה על ידי שני עקרונות:

הגנה על העובדים מפני סיכוני קרינה.

איתור ומניעת התפשטות הזיהום.

- האחריות על ניקוי הזיהום הינה על נאמן בטיחות קרינה במקום התרחשות התקלה.
- ממונה בטיחות הקרינה יפקח על עבודות הטיהור.
- עובדי ניקיון לא יהיו מעורבים בשום שלב בניקוי הזיהום.
- חזרה לעבודה סדירה במעבדה תותנה באישור ממונה בטיחות הקרינה.

- במקרים הבאים יש לדווח מיד לממונה בטיחות הקרינה:
 - פיזור או שפך של חומר רדיואקטיבי.
 - זיהום עובד בחומר רדיואקטיבי.
 - חשש לזיהום פנימי של עובד.
 - חשש לחשיפה חיצונית של עובד.
 - אובדן או גניבה של חומר רדיואקטיבי.
 - שחרור בשוגג של חומר רדיואקטיבי לאוויר למים או לביוב.
- עם תום תהליך הטיהור יש לרשום דו"ח אירוע שיכלול: תוצאות הניטור האחרון, תיאור סיבת התקלה והצעדים שננקטו.
- יש להעביר הדו"ח לממונה בטיחות קרינה.

הכנות

- יש להודיע לממונה בטיחות קרינה.
- מנע את התקרבותם של אנשים מן הציבור אל האזור המזוהם.
- במידת הצורך הזעק עזרה.
- לבש כפפות חלוק וכיסויי נעליים.
- סמן את האזור המזוהם.
- הכן: נייר ספיגה, סמרטוטי כותנה, תמיסת ניקוי, מיכל לאיסוף פסולת רדיואקטיבית ומכשיר ניטור קרינה מכויל.

טיהור

- ספוג את הנוזל (או האבקה) בעזרת נייר סופג (או נייר רטוב במקרה של אבקה).
- יש לבצע את פעולות הניגוב מהיקפו של האזור המזוהם כלפי פנים .
- את הנייר המזוהם יש להכניס לתוך שקית ניילון ולאחר קשירתה להשליך לתוך פח לאשפה רדיואקטיבית.
- לאחר הספגת הזיהום וניקוי האזור המזוהם יש לבדוק את רמת הזיהום באמצעות מד זיהום רדיואקטיבי.
- יש לחזור ולנקות את אזור המזוהם באמצעות מים וסבון/תמיסת ניקוי ונייר סופג, עד לטיהור המוחלט של האזור.

תקלות

- תקלת פיזור נרחבת, היא תקלה החורגת מתחומי המכון, כגון פיזור גז רדיואקטיבי במבנה, אשר היקפה מחייב מעורבות של כוחות חיצוניים.

מוצק/נוזל

- הזהר את האנשים בסביבה והורה להם לפנות את המקום.
- הודע לממונה בטיחות הקרינה על התקלה והיקפה.
- חסום את הכניסות לאזור המזוהם בסרטי סימון ועל יד הצבת עובדים נוספים.
- רכז את עובדי המעבדה בקרבת מקום לשם מניעת התפשטות הזיהום אך במרחק מתאים מהזיהום למניעת חשיפה נוספת.
- נטר את המעורבים בתקלה.
- טיהור המקום יעשה בפיקוח ממונה בטיחות הקרינה ובאותה שיטה כמו בטיפול בתקלה מוגבלת.
- בסיום הפעילות מסור דו"ח אירוע לממונה בטיחות הקרינה.

גז/אבקה

- הודע לכל העובדים לפנות מיד את המקום.
- עצור נשימתך, כבה את מערכות סחרור האוויר (אוורור/ מיזוג אוויר) ועזוב את המקום.
- וודא שכל דלתות הגישה למקום התקלה סגורות. הצב שומרים או אזהרות על הדלתות למניעת כניסת אנשים לאזור המזוהם.
- עם בוא ממונה בטיחות הקרינה ועל פי הוראתו, יש להיכנס למעבדה עם ציוד מגן מתאים על מנת לוודא שלא נותרו עובדים לכודים במקום. בנוסף יש לכבות מכשירים בעלי פוטנציאל סיכון ובמידה וקיים מנדף במקום, להפעילו.
- העובדים החשודים כמזוהמים ינוטרו על ידי ממונה בטיחות הקרינה ותילקח מהם דגימת שתן במידית.
- עבודות הטיהור יחלו על פי החלטת ממונה בטיחות הקרינה ובפיקוחו (זיהום קירות באדי יוד למשל, עלול להשבית את המכון לתקופה ארוכה).

טיפול בעובד שהזדהם

- פשוט את הבגדים המזוהמים והכניסם לשק פסולת רדיואקטיבית.
- שטוף את העור בסבון עדין ומים פושרים במשך 2-3 דקות. אל תשפשף את העור ואל תשתמש במים חמים.
- נטר את הגוף המטוהר ורשום את הקריאות.
- המשך בפעולת הדקונטמינציה עד לרמת ניקיון בה הקריאות המתקבלות אינן יורדות עוד.
- אם העור נעשה מגורה, הפסק את פעולת הדקונטמינציה.
- דווח לממונה בטיחות הקרינה בכל מקרה של זיהום גופני.

טיפול בעובד שנפצע והזדהם

- ככלל, טיפול רפואי בפציעה תמיד קודם לדאגה הרדיולוגית.
- אדם שנפצע וזוהם או חשוד כמזוהם, יפונה ללא דיחוי למיון.
- הפצוע ילווה בעובד שידע לתת פרטים לרופא לגבי אופי הזיהום. מומלץ לצייד את המלווה במכשיר ניטור אך זאת מבלי לעכב את פינוי הפצוע.
- חשוב לזכור כי אין במכון מקורות קרינה פתוחים בכמות או באקטיביות הגדולים מספיק על מנת שימנעו מתן עזרה ראשונה לפצוע שהזדהם.
- בכל מקרה של פינוי, יש לידע את המיון על הפצוע המזוהם ולציין את סוג הזיהום. יש לשמור את כל הגורמים שתרמו לתאונה על מנת שניתן יהיה לשחזר את המנה אליה נחשף הפצוע.

סיפורו של שפך

ערכת טיפול בשפך



במכון לרפואה גרעינית, בתוך חדר הזרקת חומרים רדיואקטיביים למטופלים, התחיל מנטר הקרינה הסביבתי לצפצף.

הסתבר שעל ריצפת ה PVC קיים שפך של האיזוטופ $Tc-99m$ (מחצית חיים 6 שעות קרינת גמא וביתא-אלקטרונים).

עובד המכון פינה את העובדים, סימן את אזור השפך והחל לאחר הכנה מתאימה בטיהור האזור.

כמו כן נבדקו זיהומים על העובדים במקום (בעקר נעליים).

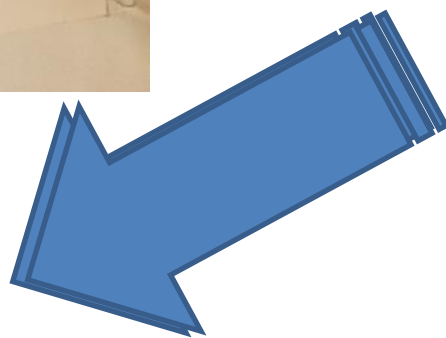
לאחר מספר פעולות טיהור, הסתבר שהקרינה אמנם ירדה אך לא המשיכה לרדת. מבדיקת הוברר כי יש סדקים ברצפת ה PVC.

חדר ההזרקות נסגר למשך 60 שעות על מנת שהקרינה תדעך פי כ 1000 ופעילות ההזרקה הועברה לחדר אחר.

רצפת ה PVC של החדר הוחלפה.

לסיכום

- כל עבודת שיפוץ או תחזוקה במתקן רדיואקטיבי, חייבים באישורו של ממונה בטיחות הקרינה.
- תיקון מכשירים או כלים המשמשים לעבודה עם חומרים רדיואקטיביים יעשה רק לאחר בדיקת העדר זיהום רדיואקטיבי.
- יש להקפיד על נעילת המתקנים הרדיואקטיביים בשעות הלילה, סופי שבוע, חגים או שעות של חוסר פעילות.
- על כל אירוע חריג בהקשר לחומרים רדיואקטיביים, פריצת שריפה במתקן רדיואקטיבי (ועוד) יש לדווח מידית :
- א. לממונה בטיחות הקרינה – צפריר בן יהודה (טל 7227, 69984) או ממלא מקומו בהעדרו – דרור אלעזרא (טל" 2049, 67148).
- ב. לחדר הבקרה של ביה"ח (טל" 2300 , 2500).



מפחיתה קרינה



עבודה נכונה