

תאי יינון – המשך:

Henry הציע שיטה לכיול תאי ינון בהנחה שיש לנו חלל מלא באוויר בתוך מים. לפי הקשר של Bargg-Gray

$$D_w = J \left(\frac{\bar{w}}{e} \right) (\bar{S}_a^w)_q d_q$$

J- המטען החשמלי שנוצר ע"י ינון ליחידת מסה אוויר בחלל.

(\bar{w}/e) - אנרגיה ממוצעת להתפשטות מטען באוויר ליחידת מטען.

\bar{S}_a^w - יחס כושר העצירה בין מים לאוויר.

d- גורם תיקון הפולואנס ביחס לחלל.

אי התאמה בכיול בתוך האוויר ובתוך מים

בנתונים שפורסמו על ידי Grant נמצאה אי התאמה בכיול של מכונות ^{60}Co על ידי מדידות באוויר ובמים. ההבדל נע בתחום של כ- 3% ותלוי בגודל השדה של הקרינה.

השיטה המקובלת לחישוב דוזה נבלעת בקרן של ^{60}Co בעומק מסוים.

בתוך פאנטום מתוך מדידות באוויר היא:

$$DOSE_{w,a} = M_a * N_c * f_{med} * A_{eq} * BSF * \%DD / 100$$

באוויר.

M_a -קריאת הדוזימטר באוויר.

N_c - גורם תיקון לחשיפה של ^{60}Co

f_{med} - גורם מעבר מחשיפה לדוזה.

A_{eq} - הנחתה של מסת אוויר דחוסה קטנה.

BSF- גורם פיזור לאחור Backsettring

$\%DD$ - שינוי דוזה בעומק באחוזים.

לקבלת הדוזה בפנטום ע"י מדידה באותה נקודה בפנטום :

$$Dose_{ww} = M_w * N_c * C_\lambda$$

C_λ - גורם הכיול

במקרה הפרטי של ^{60}Co : $DOSE_{ww} = M_w * N_c * f_{med} * A_c$

A_c - גורם המיקום (הסחה והמקום) המתקבל עבור הנחתה ופיזור במים המוזז בתא היאון.

A_c תלוי רק ברדיוס החיצוני של התא כולל הכובע.

היחס בין דוזה מחושבת מתוך מדידה באוויר $Dose_{w,a}$ ובין דוזה מחושבת מתוך מדידה במים $Dose_{ww}$

מאפשר ביטול מס' גורמים, והשארת גורמים האחראים לאי ההתאמה בדוזה מים מול אוויר.

$$\frac{Dose_{ww}}{Dose_{wa}} = \frac{1}{M_a} (M_w * A_c) / (A_{eq} * BSF * \%DD / 100)$$

אם נציב את הערכים הנכונים של $\%DD$ ושל BSF

$$\frac{Dose_{ww}}{Dose_{wa}} = 1 \quad \text{ושל } A_c \text{ - גורם הזזת מקום, נקבל}$$

* דרך לבטל את גורם ההזזה A_c היא להוציא את מרכז התא אל צד הקרן (הזזה) לנקודת מדידה אפקטיבית.

שיטה נוספת: למקרה של תא גלילי או כדורי בעל רדיוס פנימי r הנמצא בעומק Z לאורך קרן מייננת בתוך תווך צפוף (פאנטום).

אם $R_{(z)}$ - הקריאה של התא

N - פקטור המעבר לדוזה.

$NR(z)$ הוא הדוזה הנבלעת למדידה נתונה ללא תיקון.

אז הדוזה האקטואלית תהא: $D_{(z)} = NR(Z)\delta(Z)$

$\delta(Z) \leq 1$ גורם תיקון ההזזה $D(z-ar) = NR(z)$

a - קבוע קטן מיחידה, ומכך $\delta(z) = \frac{D(z)}{D(z-ar)}$

$D(Z)$ אינו ידוע; נקבע ע"י מדידת אותה קרינה בתנאים זהים בעזרת תא יוניזציה בעל לוחות מקבילים עם רווח קטן שמדידתו $P(Z)$ בעומק Z בתוך.

עבור תאים קטנים או שינויי שדה קרינה קטנים במרחב (גרדיינט) ניתן לקרב

$$\delta(z) = 1 + ar \frac{\partial z}{p}$$

דוגמה:

מתוך מדידות בשדה בעל שטח $7.5 \times 7.5 \text{ cm}$

הגרפים חושבו מהמשוואה הנ"ל על סמך של מדידת לוחות והתאמה לריבועים מינימליים ל- ar :

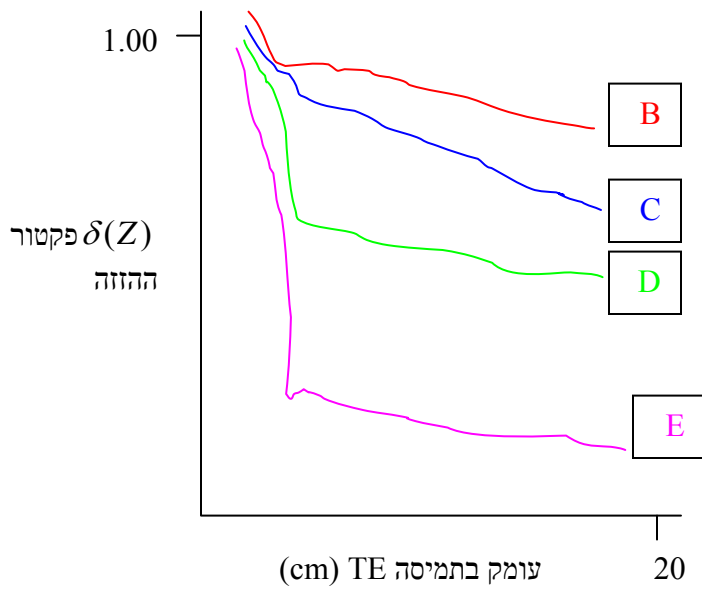
כל אות מייצגת גודל תא שונה:

B - 0.1 cm^3

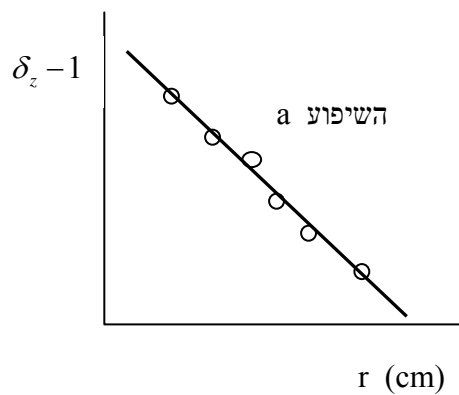
C - 0.5 cm^3

D - 1.0 cm^3

E - 8.0 cm^3



קבלת השיפוע a על פי המדידות בעומק Z כלשהו:



מאפייני תאי יינון

1. הרוויה (saturation)
2. החזרה מקירות התא.
3. הפרעות.

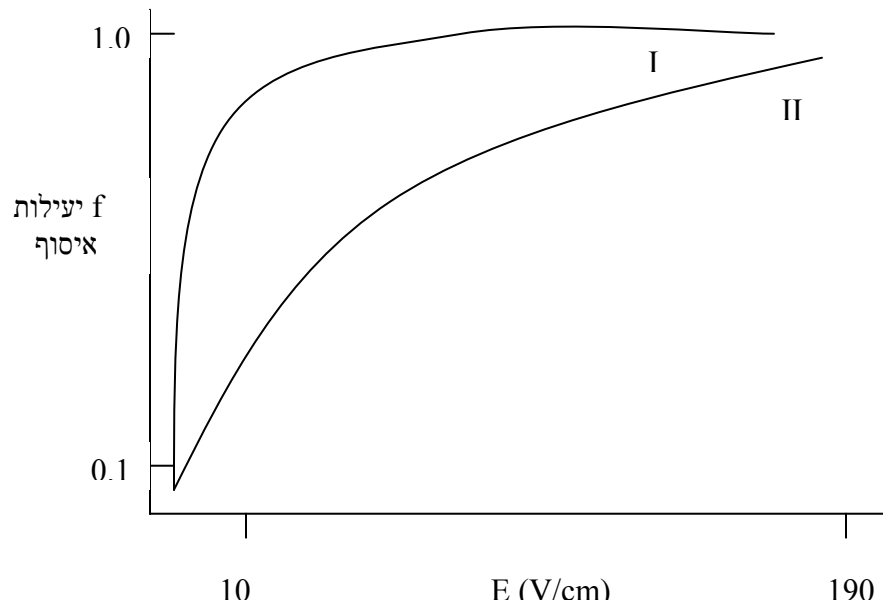
1. הרוויה

זרם רוויה מופיע כאשר כל זוגות היונים שנוצרו על ידי הקרינה בנפח התא נאספו. חלק מזרם הרוויה ייאסף על ידי דיפוזיה.

בגרף הבא מופיעות שתי פונקציות יעילות איסוף כתלות בשדה החשמלי, שנמדד בתא היינון:

I עבור קרני X 100 kVp (אנרגיה אפקטיבית של 30 keV).

II עבור קרני גמה של ^{60}Co .



2. השפעת קירות התא

משום שקירות התא מפזרים את הקרינה נקבל תרומה של קרינה מפוזרת בדוזה הנמדדת. גורמי פיזור חושבו עבור גרפיט, פרספקס, מים לכל עובי ועומק.

נניח שיש לנו נקודה בעומק X (g/cm^2) מתחת למשטח המוקרן.

הקרן היא חד אנרגטית וכן:

$$\text{Energy - fluence} = \Phi hv \quad [\text{MeV} / \text{cm}^2 \text{ sec}]$$

באנרגיות שבין 0.1-20 MeV עבור מספר Z נמוך רוב הבליעה תתקבל על ידי אינטראקציות קומפטון.

קצב הפלואנס:

$$\dot{F} = \Phi N \rho dA \frac{dT}{d\rho} f(\phi) e^{-\mu(x-t)}$$

t-x עומק הנקודה

dA – יחידת שטח

ϕ - זווית מרחבית

N – מספר האלקטרונים ליחידת מסה

$f(\phi)$ - מקדם הפיזור על פי משוואת קליין - נישנה.

עבור תא גלילי בעל רדיוס פנימי r ועובי קיר x :

$$F(\phi) = \Phi N dA dt f(\phi) e^{-\mu d}$$

d – המרחק אל משטח התווך לאורך קווי הקרינה הנכנסת.

תלות גורם הפיזור באנרגיה ובעובי מופיעה בשני הגרפים הבאים:

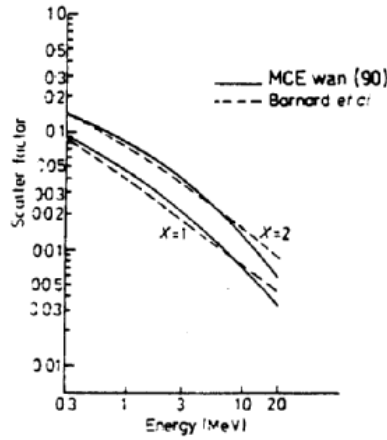


FIGURE 39. Variation of scatter factors with wall thickness or depth in the wall for 3 MeV photons. (From McEwan, A. C., *Phys. Med. Biol.*, 24, 621, 1979. With permission.)

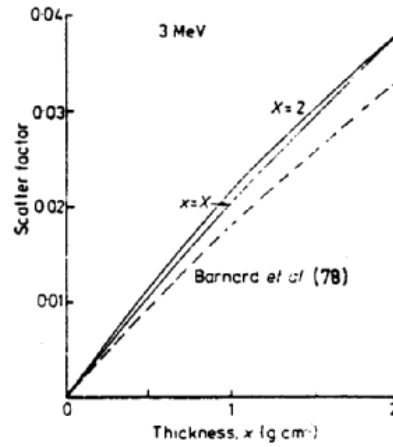


FIGURE 40. Variation of scatter factors with energy. (From McEwan, A. C., *Phys. Med. Biol.*, 24, 621, 1979. With permission.)

3. הפרעות

במקרה של הקרנה באלקטרונים, עצם קיום של גבול בין החלל המלא בגז לבין תווך מוצק מוביל לאי רציפות בכושר העצירה ובגורם הפיזור. אי רציפות זו משנה מאד את הטרנספורט של האלקטרונים בתווך.

תווך הטרוגוני שקיים בו משטח, גורם להגדלת הדוזה באזור המשטח עקב פיזור לאחור:

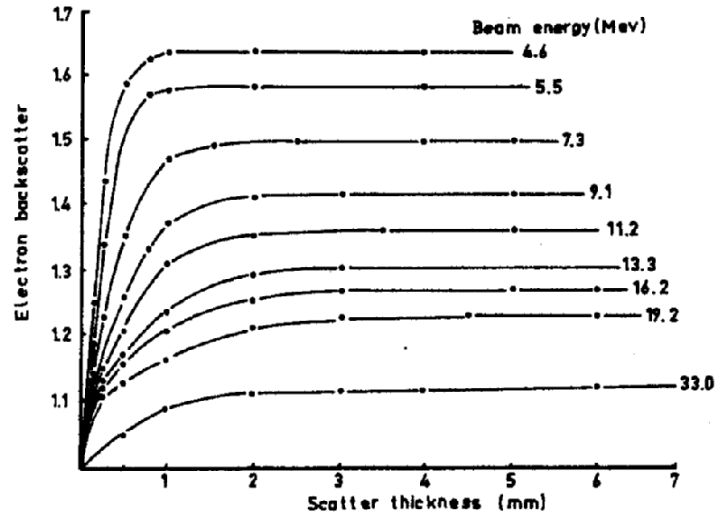


FIGURE 47. Dependence of electron backscatter on lead thickness and electron beam energy as determined at the scatterer surface. (From Klevenhagen, S. C., Lambert, G. D., and Arbabi, A., *Phys. Med. Biol.*, 27, 363, 1982. With permission.)

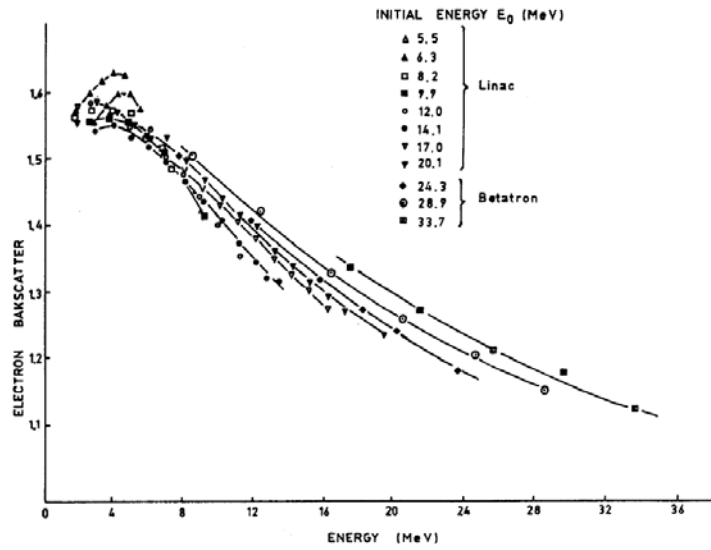


FIGURE 48. Variation of electron backscatter with beam energy at the scatterer surface for lead of "saturation thickness". (From Klevenhagen, S. C., Lambert, G. D., and Arbabi, A., *Phys. Med. Biol.*, 27, 363, 1982. With permission.)

פונקציה אנליטית מותאמת לנתונים הניסיוניים עבור עופרת:

$$EBF = 1 + 0.735e^{-0.052E_m}$$

E_m – אנרגיית קרן האלקטרונים הנכנסת למשטח.

תלות הפיזור לאחור במספר האטומי של המפזר:

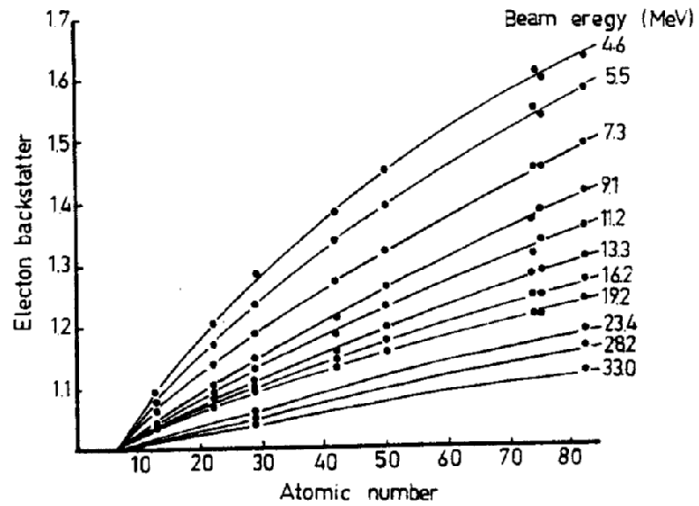


FIGURE 49. Variation of electron backscatter with atomic number Z of scattering material. Curves for different beam energies at the scatterer surface are shown. (From Klevenhagen, S. L., Lambert, G. D., and Arbabi, A., *Phys. Med. Biol.*, 27, 363, 1982. With permission.)

תלות ההיבנות של קרינה כתוצאה מפיזור לאחור היא מעריכת לפי עובי החומר המפזר.