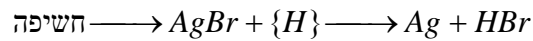


## 4. דוזימטריה בעזרת לוח צילום

זו שיטה ישנה לדוזימטריה בעלת שימושים רפואיים רבים הפנטום המתאים הוא לוחות פלסטיק מפוליאסטר מצויבים פילים בין הלוחות, ואז מודדים דוזה.

לוח צילום: פלסטיק מצופה ב-  $AgBr$  ברומיד הכסף שנעשה רגיש כתוצאה מחשיפה לקרינה.

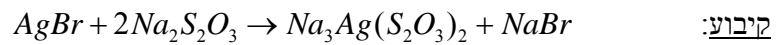
התהליך:



H - חומר מפתח

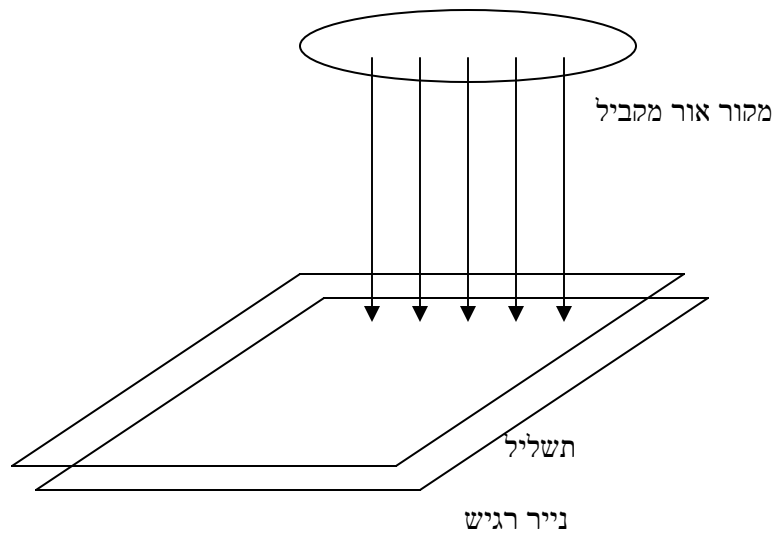
המפתח תורם מימן שנקשר ל-Br, ואז מסירים את ה- HBr.

(יותר חשיפה ← יותר כסף ← השחרה)



פיתוח: סילוק שאריות  $AgBr$

פיתוח הנגטיב באמצעות נייר רגיש לאור:



הקושי הוא בגרגריות החומר AgBr וזה מה שמכתיב את הרזולוציה של המדידה.  
 תחום הרזולוציה הוא של  $0.3 - 2 \mu m$  על פי גודל הגרגר.  
 הגדרה של צפיפות פוטוגרפית:

$$D_0 = \log \frac{I_0}{I} = \log o$$

opticity -O

$I_0$  - עוצמת השטף המגיע

I - עצמת השטף המועבר.

**TABLE 9**  
**Chemical Composition of Some Nuclear Emulsions (in gm/ml)**

	Ag	Br	I	C	H	O	N	S	Total	Silver halide (%)	Gel phase (%)
Iford G.K.L.	1.817	1.338	0.012	0.277	0.0534	0.249	0.074	0.007	3.828	82.8	17.2
Eastman NTA & NTB	1.35	0.97	0.04	0.29	0.05	0.39	0.09	—	3.19	74.0	26.0
Eastman NTC	0.74	0.53	0.02	0.40	0.07	0.46	0.11	—	2.34	55.0	45.0
Eastman NTB-4	1.755	1.335	—	0.289	0.0534	0.313	0.0761	—	3.822	80.8	19.2
Fuji ET-7A	1.74	1.26	0.049	0.278	0.0344	0.161	0.010	0.015	3.75	81.3	18.7
Agfa-Wolfen K-2	1.76	1.29	0.05	0.29	0.06	0.30	0.07	0.02	3.84	80.8	19.2

From Dudley, R. A., *Radiation Dosimetry*, Vol. II, Attix, F. H. and Roesch, W. C., Eds., Academic Press, New York, 1966, chap. 15. With permission.

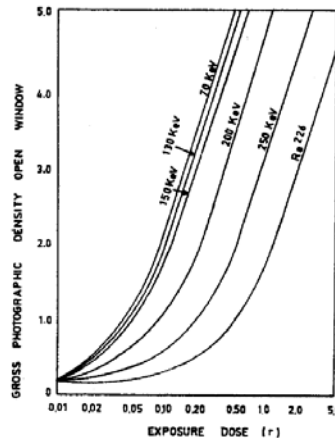


FIGURE 292. Characteristic curves for open-window area, obtained with different radiation qualities. (From Ehrlich, M., *The Use of Film Badges for Personnel Monitoring*, Safety Series No. 8, IAEA, Vienna, 1962. With permission.)

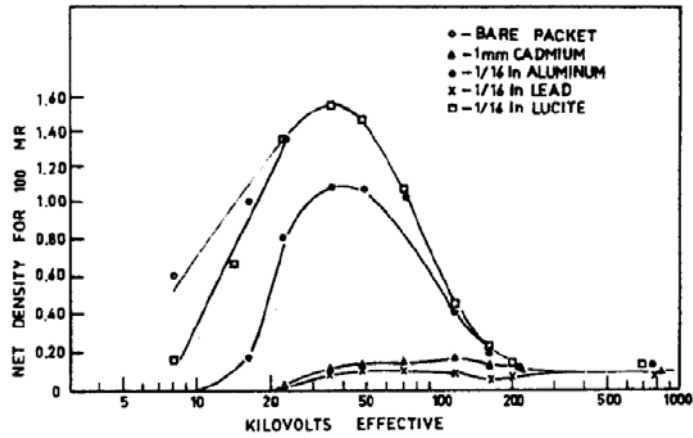


FIGURE 294. Photon energy response of film (Du Pont 502) in badge. (From Francois, H. et al., *Personnel Dosimetry Systems for External Radiation Exposure*, Tech. Rep. No. 109, IAEA, Vienna, 1970. With permission.)

הרגישות המכסימלית היא סביב 50 keV.

כללי

אם מס' הפוטונים שנבלעו בגרגר הם  $\bar{p}$  אז הצפיפות האופטית היא:

$$D_0 = D_m \left( 1 - e^{-\bar{p}} \sum_{i=0}^{r-1} \frac{\bar{p}^i}{i!} \right)$$

$r$  - מס' הפוטונים שצריך לבלום בגרגר על מנת שיהיה בר פיתוח.

$D_m$  - צפיפות אופטית ברויה.

מניחים שאפילו אם פוגע פוטון יחיד בגרגר הוא נעשה בר פיתוח:

$$\text{אז } r = 1$$

$$\bar{p} = \omega_0 s \rho$$

$s$  - שטח הגרגר

$\rho$  - צפיפות האלקטרונים שבגרגר

$\omega_0$  - קבוע תלוי בתנאי הפיתוח ובעוד גורמים.

$$D_0 = D_m (1 - e^{-\omega_0 s \rho})$$

דוגמה:

לוח צילום תוצרת KODAK בו

$$D_m = 12$$

$$\omega_0 = 1.33$$

עבור התפלגות גודל הגרגרים –  $f(s, s_0)$ :

$$D_0(\omega, s, \rho) = \int_0^{\infty} D_m (1 - e^{-\omega_0 \rho s}) f(s, s_0) ds$$

ואז  $\langle S \rangle$  הוא שטח ממוצע של גרגר.

שינוי של פקטור 0.01 ב  $D_0$  יכול להתגלות בראיה תחום הצפיפות הניתן למדידה:

$$0.1 < D_0 < 6$$

השפעת זמן הפיתוח על  $D_0$  מוצגת בגרף הבא:

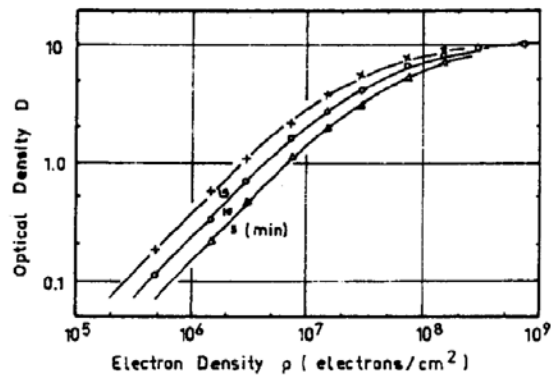


FIGURE 298. Effect of the development time on characteristic curve for type-N film. The numbers attached to the curves refer to the development time, T (min). (From Ohta, I. et al., *Nucl. Ins. Meth.*, 161, 35, 1979. With permission.)

צפיפות האלקטרונים בלוח היא פונקציה של זמן.

קושי: הלוח רגיש מאוד לתנאי סביבה, גם אחרי פיתוח.

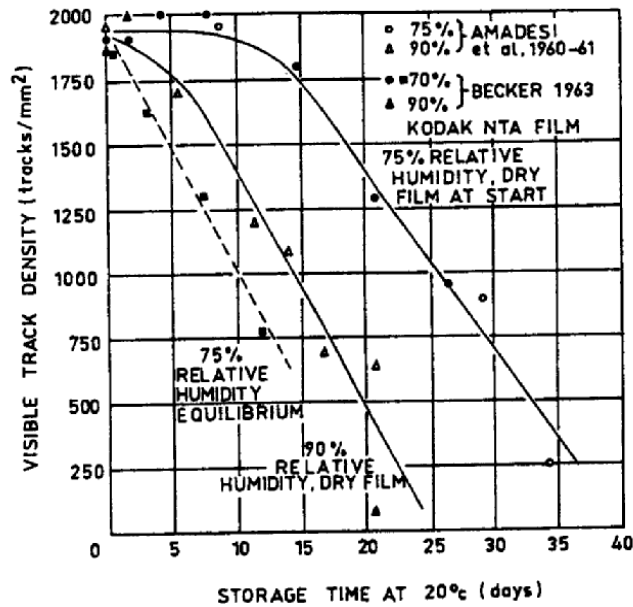


FIGURE 302. Visible recoil proton track density in Kodak NTA film as a function of storage time at 20°C, and 75 and 90% relative humidity, if the film (without additional wrapping) is irradiated after careful drying, and at 75% relative humidity, if permitted to equilibrate prior to neutron irradiation. (From Becker, K., *Atomkernenergie*, 23, 267, 1974. With permission.)

הקשר בין צפיפות האופטית הסופית לבין השטף

$$D_0 = kan \longrightarrow D_0 = kaN(1 - e^{-aF})$$

-N מס' הגרגרים ליח' שטח

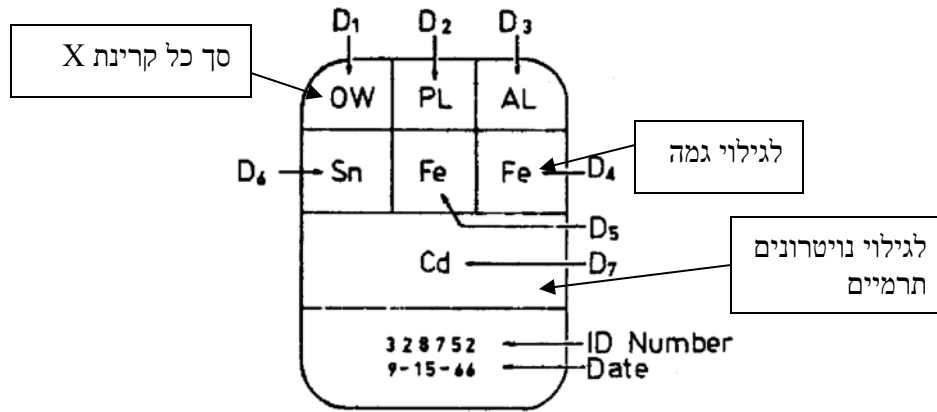
-a שטח ממוצע שמוחזק ע"י גרגר

-k = log<sub>10</sub> e - מעבר מבסיס טבעי לעשרוני

ומתקיים בשטף נמוך :

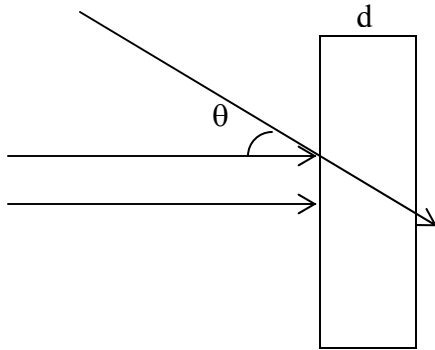
$$D_0 = k * a^2 NF$$

בעבר השתמשו בתגי קרינה המכילים לוח צילום:



**FIGURE 313.** Position and orientation of the filter system with respect to the film used by Eastes et al. (From Eastes, J. D. et al., *Proc. Int. Congr. Radiation Protection*, Rome, 1966, 80. With permission.)

קיימת תלות בזווית כניסת הקרינה:



בשפה:

$$\frac{D_{0\theta}}{D_{0o}} = \frac{1 - \exp\left(-\frac{\mu_a d}{\rho \cos \theta}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{\mu_a d}{\rho}\right)}$$

עבור אלקטרונים משניים:

$$\frac{D_\theta}{D_0} = \frac{1 - \exp\left(-\frac{\mu_a d}{\rho \cos \theta}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{\mu_a d}{\rho}\right)} (1 - k) \cos \theta + k \cos \theta$$

-k החלק מהאלקטרונים שנבלע בלוח.

### דוזימטריה של פוטונים

מקדם הבליעה של AgBr :

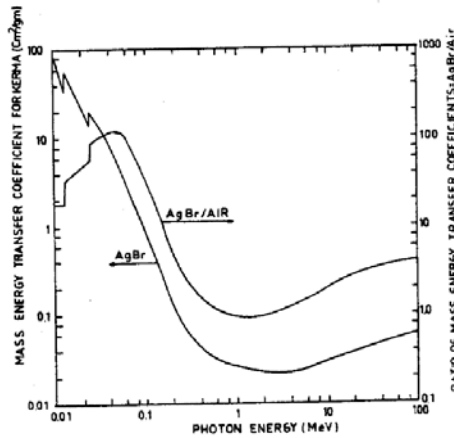


FIGURE 321. Left: mass energy transfer coefficient in AgBr as a function of photon energy. Right: ratio of the mass energy transfer coefficient in AgBr to that in air as a function of photon energy. (From Dudley, R. A., *Radiation Dosimetry*, Vol. II, Attix, F. H. and Roesch, W. C., Eds., Academic Press, New York, 1966, chap. 15. With permission.)

הרגישות לקרינת  $\gamma$  תלויה באנרגיה בהתאם למקדם הבליעה.

### דוזימטריה של אלקטרונים

צריכים להתייחס לגודל LET בחומר בתחום של 1-2 MeV :

$$\frac{1 \text{ electron}}{\text{cm}^2} * 1.6 * \frac{\text{MeVcm}^2 / \text{gr}}{\text{electron}} * \frac{1.6 * 10^{-10} \text{Gy}}{\text{MeV} / \text{gr}} = 2.56 * 10^{-10} \text{Gy}$$

1.6 ערך אופייני לפילים 40% AgBr + 60% פלסטיק.

השוואה עם רקמה:

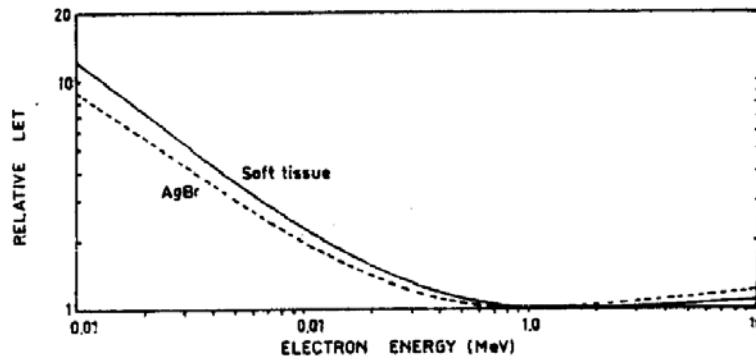


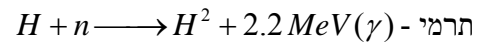
FIGURE 327. Relative LET of electrons in soft tissue and in AgBr as a function of electron kinetic energy. Each curve is separately normalized to unity at minimum LET. (From Dudley, R. A., *Radiation Dosimetry*, Vol. II, Attix, F. H. and Roesch, W. C., Eds., Academic Press, New York, 1966, chap. 15. With permission.)

### דוֹזִימֶטְרִית נוֹיטְרוֹנִים

ריאקציה גרעינית מצויה  $N^{14}(n, p)C^{14}$

חתך הפעולה:  $1.76 \text{ barn}$  אנרגיה משתחררת:  $E = 0.62 \text{ MeV}$

$$1 \frac{n}{\text{cm}^2} \longrightarrow 2.6 * 10^{-11} \text{ rad}$$



עבור נוטרונים מהירים :

רתיעת פרוטון יוצרת  $Ag^{108}$   $T_{1/2} = 2.4 \text{ min}$

שדועך ל-  $Ag^{110}$  תוך פליטת  $\beta$  ו  $\gamma$

$$\beta \longleftarrow T_{1/2} = 24 \text{ sec}$$

עבור שכבה כפולה:  $D_{\left(\frac{n}{\text{cm}^2}\right)} = 5.10^{-11} \text{ rad} * d$

שכבה בודדת:  $D_{\left(\frac{n}{\text{cm}^2}\right)} = 3.5 * 10^{-11} \text{ rad} * d$

$$\frac{mg}{\text{cm}^2} - \text{d} - \text{עובי השכבה ביחידות}$$

נוח לעיתים להשתמש בלוח ממיר העשוי Cd או Gd על מנת למדוד את ה-  $\gamma$ .



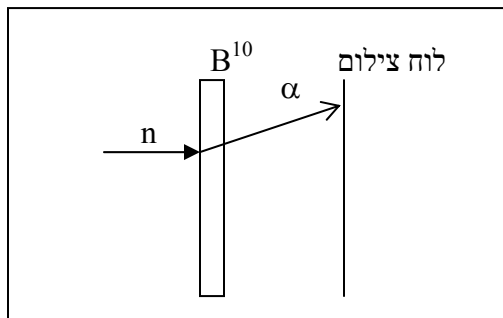
מציבים לוח  $B^{10}$  ואז מקבלים  $\alpha$  שניתן לספור את מס' המסלולים החוצים שלהם. (לפי אורך המסלול) דוגמה: לוח צילום מוקרן בזרם אלקטרונים באנרגיה 1MeV ובעוצמה  $1 \mu Amp$  כמה rad נמדוד בלוח צילום?

$$I = 1 \mu Amp = 10^{-6} \frac{C}{sec} = \frac{10^{-6}}{1.6 * 10^{-19}} = 6.25 * 10^{12} \frac{e}{sec}$$

$$D_e = 2.56 * 10^{-8} rad$$

$$D = 2.56 * 10^{-8} * 6.25 * 10^{12} = 16 * 10^4 rad = 160 krad$$

### מוני מסלולים



מכשיר למדידת שטף של נויטרונים:

הקרנה  $B^{10}$  בנויטרונים ← פליטת  $\alpha$

מניחים את לוח הצילום בתמיסת KOH או NaOH לתקופת זמן.

המסלולים הם הרס המולקולות כתוצאה ממעבר  $\alpha$  הנפלט מ  $B^{10}$  עקב פגיעה בנויטרונים. ספירת המסלולים: הצבת פילים בין לוחות מתכת שיש בניהם מתח חשמלי. במקום שעובר מסלול תהיה פריצת מתח. ספורים את הפריצות וכל פריצה מהווה מסלול.