

פרק ז - רדיואקטיביות

1. בתרשים (4) מוצגים בצורה נכונה המסלולים של שלוש הקרינות: קרינת γ אינה מושפעת מהשדה החשמלי, קרינת α מוסטת בכיוון השדה החשמלי, וקרינת β^- מוסטת בכיוון מנוגד לכיוון השדה החשמלי.

2. שדה מגנטי יכול להשפיע רק על חלקיקים טעונים שנעים, לכן הוא משפיע על סוגי הקרינות הרשומים ב- א וב- ב.

שדה מגנטי אינו יכול להשפיע על כיוון התפשטות של קרינה אלקטרומגנטית, לכן אינו משפיע על סוגי הקרינה הרשומים ב-ג, ד ו-ה.

3. נוסחת התהליך: ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$

4. נחשב את אורך גל דה-ברוי של חלקיק ה- α :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot (4.0026 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27}) (5.78 \cdot 10^6 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19})}}$$

$$\lambda = 0.6 \cdot 10^{-14} \text{ m}$$

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-14}}{0.6 \cdot 10^{-14}} = 3 \frac{1}{3}$$

קוטר הגרעין שווה ל- $3 \frac{1}{3}$ אורכי גל.

5. א. נחשב את השינוי במסה של הגרעינים בתהליך התפרקות. כיוון שבתוצרים ובמגיבים אותו מספר אלקטרונים, השינוי במסה של הגרעינים, Δm , שווה לשינוי במסה של האטומים:

$$\Delta m = M({}^{234}_{90}\text{Th}) + M({}^4_2\text{He}) - M({}^{238}_{92}\text{U}) = 234.043593 + 4.00260 - 238.050784 = -0.004591 \text{ u}$$

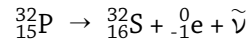
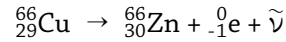
השינוי באנרגיה השקול לשינוי זה במסה:

$$\Delta E (\text{MeV}) = \Delta m (\text{u}) \cdot 931.4943261 \left(\frac{\text{MeV}}{\text{u}} \right) = -0.004591 \cdot 931.4943261 \text{ MeV} = -4.276 \text{ MeV}$$

לכן האנרגיה הקינטית של החלקיק ה- α (בהנחות שלא נפלט חלקיק γ , וש אפשר להזניח את אנרגיית הרתיעה של התוריום) היא

$$E_k = 4.276 \text{ MeV}$$

ב. (1) באתר הנדון רואים שנפלים חלקיקי α ב-3 ערכי אנרגיה. אחד הערכים הוא 4.198 MeV. ערך זה הוא הקרוב ביותר ל-4.276 MeV, ופליטה זו אינה מלווה בפליטת פוטון γ . שני חלקיקי ה- α האחרים שיכולים להיפלט נפלים עם ערכי אנרגיה נמוכים יותר, כי שתי התפרקויות אלה מלוות בפליטת γ . הערך הניסיוני 4.198 MeV קטן מהערך 4.276 MeV, כי הערך האחרון חושב ללא התחשבות ברתיעת גרעין התוריום, אשר במציאות חייב להתע. (2) שני חלקיקי ה- α האחרים נפלים כאשר גרעין התוריום המתקבל כתוצאה מהתפרקות נמצא (לזמן קצר מאוד) ברמות אנרגיה מעוררות. לכן ערכי האנרגיה של שני חלקיקי α אלה קטנים מהאנרגיה של חלקיק ה- α שנפלט כאשר התקבל אטום תוריום ברמת היסוד.



8. א. מהגרף אפשר לראות כי האנרגיה הקינטית המרבית של האלקטרון הנפלט בהתפרקות β^- הוא 1.16 MeV. אנרגיה זו שקולה לפחת במסה בתהליך ההתפרקות. כלומר כל האנרגיה המשתחררת בתהליך ההתפרקות מומרת לאנרגיה קינטית של האלקטרון, ולא נשאר "עודף" אנרגיה עבור חלקיק האנטי-נויטרינו.

ב. האנרגיה המשתחררת בגלל הפחת במסה בהתפרקות היא 1.16 MeV. כיוון שאנרגיית האלקטרון היא 1 MeV, אנרגיית חלקיק האנטי-נויטרינו היא **0.16 MeV** $1 - 1.16 = 0.16$.

9. נחשב את הפחת במסה בתהליך:

$$\Delta m = M({}^{210}_{84}\text{Po}) - M({}^{210}_{83}\text{Bi}) = 209.982848 - 209.984095 = -0.001247 \text{ u}$$

האנרגיה השקולה לפחת במסה:

$$\Delta E (\text{MeV}) = \Delta m (\text{u}) \cdot 931.4943261 \left(\frac{\text{MeV}}{\text{u}} \right) = -0.001247 \cdot 931.4943261 \text{ MeV}$$

$$\Delta E = -1.16 \text{ MeV}$$

מכאן שצריכה להפלט אנרגיה בשיעור של 1.16 MeV.

10. האפשרות הנכונה היא (1).

11. לא. פליטת פוטון היא תוצאה של מעבר רמות אנרגיה גרעיניות, מעבר המתרחש ללא שינוי הרכב הגרעין.

12. א. כעבור 25 שעות מתפרקים מחצית הגרעינים, לכן כעבור פרק זמן זה מחציתם עדיין לא התפרקו.

ב. כעבור 25 שעות התפרקו מחצית הגרעינים, וכעבור 25 שעות נוספות התפרקו מחצית מהשאר, כלומר עוד רבע מהמספר המקורי. סה"כ התפרקו כעבור 50 שעות 3/4 מהמספר המקורי של הגרעינים, לכן עדיין לא התפרקו 1/4 מהמספר המקורי של הגרעינים.

13. פתרון בדרך א:

נרשום בטבלה איזה חלק מהמדגם מתפרק במרווחי זמן של 12.5 שנה.

זמן (שנה)	חלק המדגם שהתפרק
0	0
12.5	$\frac{1}{2}$
25	$\frac{1}{2} + \frac{1}{4}$
37.5	$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}$
50	$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} = \frac{15}{16}$

כלומר כעבור 50 שנה התפרקו 15/16 מהמדגם.

פתרון בדרך ב:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{12.5}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{12.5} 50}$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-4 \ln 2}$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{\ln \frac{1}{16}}$$

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{16}$$

כלומר כעבור 50 שנה, יישאר $\frac{1}{16}$ מהדגם, כלומר ייתפרקו $\frac{15}{16}$ מהמדגם.

14. פתרון הנסמך ישירות על המושג "זמן מחצית החיים": ביום מסוים נותרו 2 ק"ג ממסת החומר המקורי, לכן 3

ימים לפני כן היו 4 ק"ג מחומר זה, 3 ימים לפני כן היו 8 ק"ג מהחומר, ו-3 ימים קודם לכן היו 16 ק"ג. כלומר 9

ימים לפני שנותרו 2 ק"ג מסת החומר היתה 16 ק"ג.

נעיר כי מסת החומר פרופורציונית למספר האטומים N.

פתרון הנסמך על נוסחאות:

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

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

המסה M של החומר שווה למכפלת מספר החלקיקים N במסה של אטום יחיד, m: $M = N \cdot m$ לכן:

$$\frac{M}{m} = \frac{M_0}{m} e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_{1/2}}}$$

נכפול את שני אגפי המשוואה ב-m, ונציב ערכים מספריים ידועים:

$$2 = M_0 e^{-\frac{\ln 2 \cdot 9}{3}} \Rightarrow 2 = M_0 e^{-3 \ln 2}$$

$$\frac{2}{M_0} = e^{\ln \frac{1}{8}}$$

$$\frac{2}{M_0} = \frac{1}{8}$$

$$M_0 = 16 \text{ kg}$$

15. כעבור זמן t יתפרקו 93.75% מגרעיני המדגם. כלומר כעבור זמן t ישאר 6.25% = 100 - 93.75 מגרעיני המדגם.

$$(1) \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{6.25}{100} N_0 = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{לכן:}$$

$$(2) \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{15} = 0.0462 \text{ h}^{-1} \quad \text{נחשב את } \lambda:$$

$$\frac{6.25}{100} = e^{-0.0462t} \quad \text{לאחר צימצום } N_0 \text{ בקשר (1), נציב בו את } \lambda \text{ שחושב בקשר (2):}$$

כאשר t נמדד בשעות (כי את λ בטאנו ב- h^{-1}).

$$\ln \frac{6.25}{100} = \ln(e^{-0.0462t}) \quad \text{נשווה בין ערכי ה-} \ln \text{ של שני האגפים:}$$

$$-2.7726 = -0.0462 t$$

$$t \approx 60 \text{ h}$$

כלומר כעבור 60 שעות יתפרקו 93.75% מגרעיני המדגם.

הערה: אפשר היה להגיע לתשובה גם ללא הנוסחה, אלא על סמך המושג "זמן מחצית החיים":

זמן (בשעות)	אחוז גרעיני המדגם שהתפרקו
0	0
15	מתפרקים 50%
30	מתפרקים 50% ממה שנשאר כלומר מ- 50%, דהיינו מתפרקים עוד 25%. לכן סה"כ התפרקו 75% = 50% + 25%
45	מתפרקים 50% ממה שנשאר כלומר מ- 25%, דהיינו מתפרקים עוד 12.5%. לכן סה"כ התפרקו 87.5% = 75% + 12.5%
60	מתפרקים 50% ממה שנשאר כלומר מ- 12.5%, דהיינו מתפרקים עוד 6.25%. לכן סה"כ התפרקו 93.75% = 87.5% + 6.25%

גם בשיטה זו מצאנו, שיתפרקו 93.75% כעבור שישים שעות, כנדרש.

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \quad \text{16. א.}$$

$$25 = 3200 e^{-\lambda \cdot 24}$$

$$\ln \frac{25}{3200} = \ln(e^{-\lambda \cdot 24})$$

$$\ln\left(\frac{1}{128}\right) = -24\lambda$$

$$\begin{aligned}\ln 2^{-7} &= -24 \lambda \\ -7 \ln 2 &= -24 \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \\ -7 &= -\frac{24}{T_{1/2}} \\ T_{1/2} &= \frac{24}{7} \approx 3.43 \text{ h}\end{aligned}$$

זמן מחצית החיים הוא בערך **3.43 שעות**.
ב. להחזיק את המדגם בתוך קופסת עופרת.

17. 226.025402 גרם רדיום-226 מורכבים ממספר אבוגדרו, N_A , של אטומים. לכן מספר האטומים ב-1 גרם של חומר זה:

$$\begin{aligned}N &= \frac{6.02 \cdot 10^{23}}{226.025402} = 2.66 \cdot 10^{21} \text{ אטומים} \\ R = \lambda N &\Rightarrow 3.7 \cdot 10^{10} = \lambda \cdot 2.66 \cdot 10^{21} \\ \lambda &= 1.39 \cdot 10^{-11} \frac{1}{s} \\ T_{1/2} &= \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{1.39 \cdot 10^{-11}} \\ T_{1/2} &= 5 \cdot 10^{10} \text{ s} = \frac{5 \cdot 10^{10} \text{ s}}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} \approx \mathbf{1585 \text{ years}}\end{aligned}$$

18. נעגל את המסה האטומית ל-214 u. מסה של 214 גרם $^{214}_{82}\text{Pb}$ כוללת מספר אבוגדרו - $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$ של אטומים, לכן מספר האטומים, N , המרכיבים $3 \cdot 10^{-14}$ ק"ג, דהיינו $3 \cdot 10^{-11}$ גרם הוא:

$$N = \frac{3 \cdot 10^{-11} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{214} = 8.4 \cdot 10^{10} \text{ אטומים}$$

נחשב את קבוע הדעיכה, λ :

$$\begin{aligned}R = \lambda N &\Rightarrow 3.7 \cdot 10^{10} = \lambda \cdot 8.4 \cdot 10^{10} \\ \lambda &= \mathbf{0.44 \text{ s}^{-1}}\end{aligned}$$

19. (א) $R = \lambda N$

(ב) $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

נציב את (ב) ב- (א) ונקבל:

(ג) $R = \frac{N \cdot \ln 2}{T_{1/2}}$

עתה נחשב את מספר האטומים שכלולים ב-1 גרם של האיזוטופ (נעגל את המסה האטומית ל-238 u).

(ד) $N = \frac{1 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{238} = 2.5 \cdot 10^{21} \text{ אטומים}$

נציב את (ד) ב- (ג) ונקבל:

$$R = \frac{2.5 \cdot 10^{21} \ln 2}{4.5 \cdot 10^9} = 3.9 \cdot 10^{11} \frac{\text{התפרקויות}}{\text{שנה}}$$

$$(א) \quad R = \lambda N \quad 20.$$

$$(ב) \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

נציב את (ב) ב- (א) ונקבל:

$$(ג) \quad R = \frac{N \cdot \ln 2}{T_{1/2}}$$

נחשב את מספר החלקיקים, N , ב-1 גרם. נעגל את המסה האטומית ל-40 u.

$$N = \frac{1 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{40} = 1.5 \cdot 10^{22} \text{ אטומים}$$

נציב ערך זה בקשר (ג) ונקבל:

$$R = \frac{1.5 \cdot 10^{22} \ln 2}{1.83 \cdot 10^9} = 5.68 \cdot 10^{12} \frac{\text{התפרקויות}}{\text{שנה}} =$$

$$= \frac{5.68 \cdot 10^{12}}{365 \cdot 24 \cdot 60} \frac{\text{התפרקויות}}{\text{שנייה}} = 1.8 \cdot 10^5 \text{ Bq}$$

21. התשובה היא (3).

22. א. בהתפרקות β^- נייטרון מתפרק לפרוטון, לאלקטרון ולאנטי-נויטרינו. לכן מספר הנייטרונים בגרעין קטן ביחידה, ומספר הפרוטונים גדל ביחידה, אבל סה"כ מספר הנוקלאונים אינו משתנה. במילים אחרות מספר המסה של האיזוטופ אינו משתנה, והוא נשאר 24.

ב. על פי התשובה לסעיף א, ברור כי המספר האטומי גדל ב-1, לכן המספר האטומי של איזוטופ המגנזיום הוא 12.

ג. (1) על פי הגרף, כעבור 25 שעות, פעילות המדגם היא גדולה מעט מ- $3 \cdot 10^{16}$ בקרל.

(2) על פי הגרף, כעבור 15 שעות, הפעילות יורדת מ- $10 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$ ל- $5 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$, מכאן שזמן מחצית החיים של האיזוטופ נתרן-24 הוא 15 שעות.

23. א. בפליטת חלקיק β^- מספר המסה אינו משתנה. הוא נשאר 225.

ב. בעקבות פליטת β^- המספר האטומי גדל ב-1 (כי נייטרון הופך לפרוטון), לכן המספר האטומי של התוצר הוא 87.

ג. משוואת ההתפרקות: ${}^{225}_{88}\text{Rn} \rightarrow {}^{225}_{87}\text{Fr} + {}^0_{-1}\text{e} + \tilde{\nu}$.

ד. כדי שהפעילות תרד מ-12,000 מיליקורי ל-6,000 מיליקורי, כלומר למחצית, צריכות לחלוף 4.5 דקות. לכן זמן מחצית החיים הוא $T_{1/2} = 4.5 \text{ min}$.

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow R = R_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} \quad \text{ה.}$$

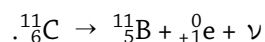
$$R = 12 e^{-\frac{\ln 2 \cdot 60}{4.5}} = 1.163 \cdot 10^{-3} \text{ Ci} = 1.163 \text{ mCi}$$

24. מהתפרקות β^+ של ${}^{107}_{48}\text{Cd}$ מתקבל ${}^{107}_{47}\text{Ag}$.

מהתפרקות β^+ של ${}^{38}_{19}\text{K}$ מתקבל ${}^{38}_{18}\text{Ar}$.

מהתפרקות β^+ של ${}^{120}_{51}\text{Sb}$ מתקבל ${}^{120}_{50}\text{Sn}$.

25. ההתפרקות היא התפרקות β^+ שבה נפלטים פוזיטרון ונויטרינו על פי משוואת התהליך:



26. התפרקות α גורמת לשינוי במספר המסה של גרעינים - המספר קטן ב-4. לכן האפשרות המתאימה היא (1).

27. א. ככל שגיל הממצאים עולה, כמות האיזוטופ פחמן-14 הולכת ופוחתת. כתוצאה מכך:

- הנוסחאות המתארות את קצב ההתפרקות הופכות לפחות מדויקות, כי הן תקפות לאוכלוסיה גדולה מאוד של גרעינים.
 - קרינת הרקע המגיעה מהממצאים (למשל התפרקות אשלגן רדיואקטיבי) הופכת להיות משמעותית, ואי אפשר להפריד בינה לבין קרינת האיזוטופ פחמן-14.
- ב. היחס קטן פי ארבעה, מכאן שכמות האיזוטופ הרדיואקטיבי פחמן-14 קטנה פי 4, לכן חלף זמן השווה לכפליים זמן מחצית החיים, דהיינו חלפו 11,472 שנה.

28. האפשרות המתאימה היא (4).

הסבר: אפשרויות (1) ו-(2) אינן מתאימות כי קרינת β^- אינה יכולה לעבור דרך שכבת קרקע שעוביה 4 מטר. זה מוריד את אפשרויות (1) ו-(2). אפשרות (3) אינה מתאימה, כי זמן מחצית החיים קצר מדי (אחרי כמה ימים עוצמת הקרינה תהיה קטנה מדי, ואי-אפשר יהיה לגלות אותה). נשארה אפשרות (4), שבה גם סוג הקרינה וגם זמן מחצית החיים מתאימים.

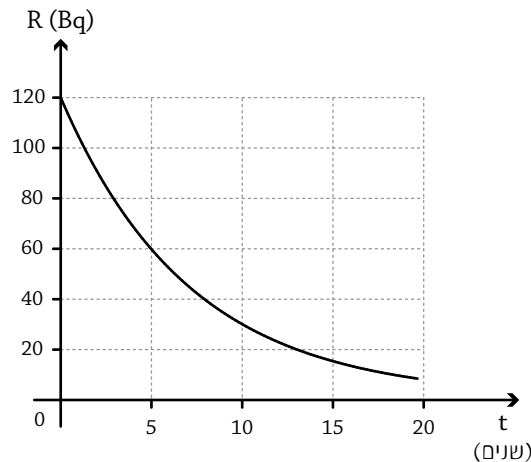
29. א. אין משתמשים במדידת קרינת ה- β^- כי קרינה זו אינה יכולה לחדור דרך שכבת אדמה שעוביה 5 מטר.

ב. אי אפשר לדעת מתי ייפלט אלקטרון מגרעין מסוים של קובלט-60, כי תהליך ההתפרקות הוא אקראי.

ג. (1)

זמן (שנים)	פעילות (Bq)
0	120
5	60
10	30
15	15
20	7.5

(2) לפניך גרף המציג את הפעילות שנמדדת על פני האדמה כפונקציה של הזמן:



(3) נחשב את קבוע הדעיכה:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5} = 0.1386 \text{ years}^{-1}$$

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

נחשב תוך כמה זמן הפעילות יורדת ל-10 Bq:

$$10 = 120 e^{-0.1386 \cdot t}$$

נחלק את שני האגפים ב-120, ונשווה בין ערכי ה- $\ln$ של שני האגפים:

$$\ln \frac{1}{12} = -0.1386 t$$

$$\mathbf{t = 17.93 \text{ years}}$$

30. א. מספר המסה לא השתנה, והוא נשאר 59. המספר האטומי גדל ב-1, לכן ערכו 27.

ב. (1) זמן מחצית החיים הוא פרק הזמן שבו מספר הגרעינים המקוריים קטן פי 2, לכן על פי הגרף זמן מחצית

החיים הוא 45 יום (מספר הגרעינים הרדיואקטיביים ירד מ- $10 \cdot 10^{19}$ ל- $5 \cdot 10^{19}$).

(2) לפי הגרף אפשר לראות שכעבור 30 יום נשארו קצת מעל $6 \cdot 10^{19}$ גרעינים. נחשב מספר זה ביתר דיוק:

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

$$N = 10^{20} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{45} \cdot 30}$$

$$N = 10^{20} e^{-0.462}$$

$$\mathbf{N = 6.3 \cdot 10^{19} \text{ גרעינים}}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

התפרקו 99% מגרעיני ברזל-95, לכן נותרו 1% מגרעינים אלה.

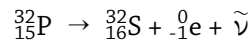
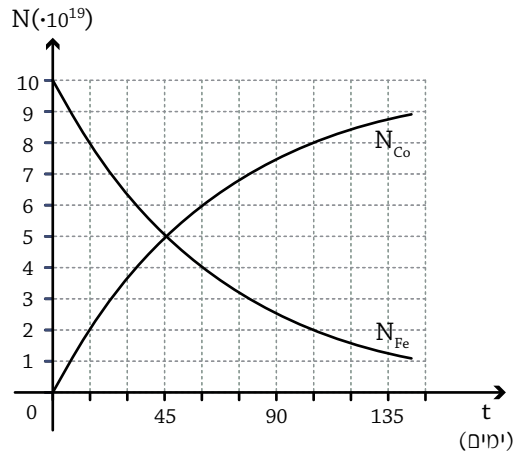
$$\frac{1}{100} N_0 = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$$

$$0.01 = e^{-\frac{\ln 2}{45} t}$$

$$\ln 0.01 = -\frac{\ln 2}{45} t \Rightarrow t = -\frac{45 \cdot \ln 0.01}{\ln 2}$$

$$t \approx 299 \text{ days}$$

ג. העקומה החדשה מסורטטת יחד עם העקומה הנתונה:



31. א. משוואת תהליך ההתפרקות:

(א) $R = \lambda N$ ב.

(ב) $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

נציב את קשר (ב) בקשר (א) ונקבל:

(ג) $R = \frac{\ln 2 \cdot N}{T_{1/2}} \Rightarrow N = \frac{R \cdot T_{1/2}}{\ln 2}$

זמן מחצית החיים המבוטא בשניות: $T_{1/2} = 14.3 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$, נציב זאת ב- (ג):

$$N_0 = \frac{1.5 \cdot 10^{13} \cdot 14.3 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{\ln 2} = 2.67 \cdot 10^{19} \text{ גרעינים}$$

ג. (1) נחשב את λ :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{14.3} = 0.0485 \text{ days}^{-1}$$

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

$$N = 2.67 \cdot 10^{19} e^{-0.0485 \cdot 30}$$

$$N = 6.23 \cdot 10^{18} \text{ גרעינים}$$

$$R = \lambda N = \frac{0.0485}{24 \cdot 60 \cdot 60} \cdot 6.23 \cdot 10^{18} \quad (2)$$

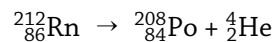
$$R = 3.5 \cdot 10^{12} \frac{\text{התפרקויות}}{\text{שנייה}}$$

ד. מספר גרעיני הגפרית, N_S , שהצטברו במשך 30 הימים:

$$N_S = N_0 - N = 2.67 \cdot 10^{19} - 6.23 \cdot 10^{18}$$

$$N_S = 2.05 \cdot 10^{19} \text{ גרעינים}$$

32. א. אטום ניטרלי של איזוטופ תוריום זה מורכב מ- 90 פרוטונים, 142 נייטרונים ו- 90 אלקטרונים.
 ב. נחשב את מספר הפרוטונים: בעקבות פליטת 6 חלקיקי α , מספר הפרוטונים קטן ב 12. בעקבות פליטת 4 חלקיקי β^- מספר הפרוטונים גדל ב- 4. כלומר סה"כ מספר הפרוטונים קטן ב- 8, לכן המספר האטומי של התוצר הסופי הוא $90 - 8 = 82$.
 נחשב את מספר הנוקלאונים: בעקבות פליטת 6 חלקיקי α , מספר הנוקלאונים קטן ב- $6 \cdot 4 = 24$. התפרקויות ה- β^- אינן משנות את מספר הנוקלאונים, לכן מספר המסה של התוצר הסופי הוא $232 - 24 = 208$.
 ג. אי אפשר לדעת כמה התפרקויות מסוג γ היו בתהליך ההתפרקות.
 ד. מספר הפרוטונים בגרעין של התוצר הסופי: בעקבות פליטת 2 חלקיקי β^- , עולה מספר הפרוטונים ב- 2, ובעקבות פליטת חלקיק ה- α יורד מספר הפרוטונים ב- 2, לכן מספר הפרוטונים אינו משתנה.
 מספר הנוקלאונים בגרעין של התוצר הסופי: פליטת חלקיקי ה- β^- אינה משנה את מספר הנוקלאונים, ובעקבות פליטת חלקיק ה- α מספרם קטן ב- 4, לכן בתוצר הסופי מספר הנוקלאונים יהיה $212 - 4 = 208$.
 בתוצר הסופי אותו מספר פרוטונים כמו ב- $^{212}_{82}\text{Pb}$, אך מספר הנוקלאונים שונה, לכן מתקבל איזוטופ של $^{212}_{82}\text{Pb}$. ההבדל בין התוצר הסופי והגרעין המקורי הוא מספר הנייטרונים בגרעין.



33. א. משוואת תהליך ההתפרקות:

- ב. נחשב את הפחת במסה בתהליך ההתפרקות. נתעלם ממסות האלקטרונים שמספרם בתוצרים שווה למספרם במגיב.

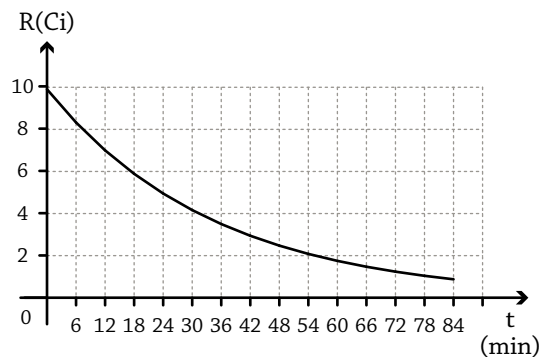
$$\begin{aligned}\Delta m &= M(^{208}_{84}\text{Po}) + M(^4_2\text{He}) - M(^{212}_{86}\text{Rn}) = \\ &= 207.981222 + 4.00260 - 211.990697 \\ &= -0.006875 \text{ u}\end{aligned}$$

הפחת באנרגיה השקול לפחת במסה:

$$\begin{aligned}\Delta E (\text{MeV}) &= \Delta m (\text{u}) \cdot 931.4943261 \left(\frac{\text{MeV}}{\text{u}} \right) = (-0.006875) \cdot 931.4943261 \\ \Delta E &= -6.4 \text{ MeV}\end{aligned}$$

- מכאן שמשתחררת אנרגיה בת **6.4 MeV**. אם נזניח את אנרגיית הרתיעה של גרעין הפולוניום - אנרגיית חלקיק ה- α היא 6.4 MeV.

- ג. בתרשים שלהלן מוצגת, באמצעות גרף, הפעילות של המדגם כפונקציה של הזמן.



- ד. אפשר לראות מהגרף כי הפעילות קטנה פי 2 כעבור 24 דקות, מכאן שזמן מחצית החיים של רדון-212 הוא **$T_{1/2} = 24 \text{ min}$** .

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{24} \approx \mathbf{0.029 \text{ min}^{-1}} \quad \text{ה.}$$

$$\begin{aligned} R &= R_0 e^{-\lambda t} && \text{ו. הביטוי הכללי הוא:} \\ R &= 9860 e^{-0.029t} && \text{לכן:} \end{aligned} \quad (\text{א})$$

כאשר t נמדד בדקות, ו- R במיליקירי.

$$R = 9860 e^{-0.029 \cdot 150} \quad \text{ז. נציב בביטוי (א) } t = 150 \text{ min ונקבל:}$$

$$\mathbf{R \approx 130 \text{ mCi}} \quad \text{לכן:}$$

$$R = \lambda N \Rightarrow N = \frac{R}{\lambda} = \frac{9860 \text{ mCi}}{0.029 \text{ min}^{-1}} = \quad \text{ח.}$$

$$= \frac{9860 \cdot 10^{-3} \cdot 3.7 \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{s}} \cdot \text{min}}{0.029} =$$

$$= \frac{9860 \cdot 10^{-3} \cdot 3.7 \cdot 10^{10} \cdot 60 \cdot \frac{1}{\text{s}} \cdot \text{s}}{0.029}$$

$$\mathbf{N = 7.55 \cdot 10^{14}} \quad \text{גרעינים}$$

34. א. מתכוונים שאי אפשר לדעת מתי גרעין מסוים יתפרק. התפרקותו של גרעין מסוים היא אקראית.
 ב. (1) אם קריאת הגלאי גדלה - סימן שעובי רדיד האלומניום קטן, ומכאן שהמערכת תגדיל את המרחק בין גלגלי המכש. (2) קרינת γ היא הרבה יותר חזקה מקרינת β^- , ושינויים קלים מאוד בעוצמת הקרינה עלולים לא להממד על ידי הגלאי.

$$\frac{R}{R_0} = \frac{R_0 e^{-\lambda t}}{R_0} = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{\ln 2 \cdot 8}{14 \cdot 24}} \quad \text{ג. (1)}$$

$$\frac{R}{R_0} = e^{-\frac{1}{42} \ln 2}$$

$$\frac{R}{R_0} \approx 0.984$$

- (2) השינוי בעובי הרדיד במהלך יום עבודה הוא 1.6%. עובי הרדיד יקטן, כי עוצמת הקרינה קטנה במהלך יום העבודה.