

פיזיקה גרעינית



תוכן העניינים

1. האפקט הפוטואלקטרי 1
2. האטום- התפתחות הסטורית ומודל האטום של בוהר 4
3. גרעין האטום, אנרגיית הגרעין ורדיואקטיביות 9

פיזיקה גרעינית

פרק 1 - האפקט הפוטואלקטרי

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים.....1

הסבר ותרגילים:

רקע:

אנרגיה של פוטון:

$$E_{ph} = hf$$

$$E(eV) = \frac{12400}{\lambda(\text{\AA})} = \frac{1240}{\lambda(nm)}$$

אפקט פוטואלקטרי:

$$E_{ph} = E_k + B$$

שאלות:

(1) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 1

תא פוטואלקטרי מסוים מוקרן באור בתדירויות משתנות. ברגע שהוא מוקרן באור בתדירות: $f = 8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, מתחילים להיפלט אלקטרונים מהקתודה.

- מה פונקציית העבודה של התא?
- כעת מקרינים את התא באור באורך גל של 300 ננומטר. מה תהיה האנרגיה המקסימלית של האלקטרונים הנפלטים?
- מה תהיה מהירותם?
- האם כל האלקטרונים הנפלטים בעלי מהירות זו? נמקו.

(2) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 2

- לתא פוטואלקטרי מסוים שורטט אופיין.
- הסבר כיצד ישתנה אופיין זה אם נאיר את התא עם 2 מנורות זהות לבדדה שהארנו בה קודם.
 - הסבר מה ישתנה באופיין אם נשתמש במקור אור בעל אורך גל ארוך יותר.
 - כיצד ישתנה האופיין אם נחליף הלוח הפולט במתכת בעלת פונקציית עבודה קטנה יותר.

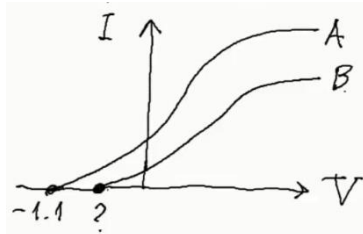
(3) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 3

בוצעו 2 ניסויים בתא פוטואלקטרי:

בפעם הראשונה התא הואר באור באורך גל: $\lambda_1 = 500$, ובפעם השנייה הואר

באור באורך גל: $\lambda_2 = 550$.

תוצאות האופיין של 2 הניסויים לפניך.



א. לאיזה מהאופיינים מתאים כל אחד מאורכי הגל?

ב. מצא את פונקציית העבודה של המתכת.

ג. מצא את האנרגיה הקינטית המקסימלית

של האלקטרונים הנפלטים באופיין B.

ד. מצא את ערך סימן השאלה באופיין.

ה. תאר כיצד ייראה אופיין B, אם נרחיק מעט את מקור האור שלו מהתא.

(4) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 4

תוצאות הניסוי של מיליקן מ-1916 מופיעות בטבלה הבאה:

$f(10^{14} \text{ Hz})$	$E_k (\text{eV})$
11.84	2.57
9.60	1.67
8.22	1.09
7.41	0.73
6.91	0.55

א. שרטט גרף של האנרגיה הקינטית כתלות בתדירות.

ב. מצא מהגרף את:

i. קבוע פלנק.

ii. את פונקציית העבודה של המתכת.

iii. את תדירות הסף של המתכת.

ג. הסבר את תוצאות המדידה האחרונה.

(5) אפקט פוטואלקטרי – תרגיל 5

מנורה שהספקה 60 וואט מאירה באורך גל מונוכרומטי של 620 ננומטר על תא פוטואלקטרי. ידוע שהאור עוקר אלקטרונים מהקתודה.

א. מה אנרגיית פוטון בודד של נורה זו?

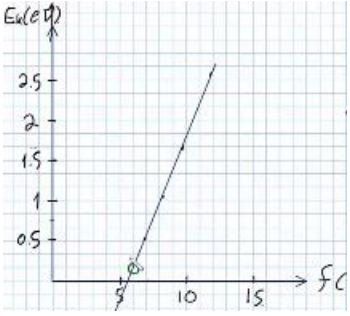
ב. מה הזרם שיראה האמפרמטר שמחובר לתא, אם 1% מהפוטונים

שנפלטים מהנורה מגיעים לתא, 2% מהפוטונים שמגיעים לתא

עוקרים אלקטרונים ו-5% מהאלקטרונים הנעקרים מגיעים לאנודה?

ג. מהו זרם הרוויה של התא?

תשובות סופיות:

- (1) א. 3.31eV ב. 0.82eV ג. $V = 5.37 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ד. לא.
- (2) ראה סרטון.
- (3) א. $\lambda_1 = A, \lambda_2 = B$ ב. $B = 1.38\text{eV}$ ג. $1.4 \cdot 10^{-19}\text{J}$ ד. 0.87V
- ה. ראה סרטון.
- (4) א.
- 
- ג. ראה סרטון. iii. $5.6 \cdot 10^{14}\text{Hz}$
- א. 2eV ב. $3 \cdot 10^{-4}\text{A}$ ג. 6mA
- ב. i. $4.16 \cdot 10^{-15}\text{eVS}$ ii. 2.33eV

פיזיקה גרעינית

פרק 2 - האטום - התפתחות הסטורית ומודל האטום של בוהר

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים..... 4

הסבר ותרגילים:

רקע:

הנחות בוהר:

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi}$$

$$E_{ph} = |E_f - E_i|$$

m_e – מסת האלק'

v_n – מהירות האלק' ברדיוס מסדר n .

r_n – הרדיוס ה- n .

$n = 1, 2, 3 \dots$ – מספר חיובי שלם

$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ – קבוע פלאנק.

E_{ph} – אנרגיית פוטון שנפלט/נבלע.

E_i ו- E_f הן אנרגיות האלק לפני ואחרי התהליך.

רמות אנרגיה באטום מימן:

$$E_n = -\frac{R^*}{n^2} \quad (U_\infty = 0)$$

$$R^* = \frac{2\pi^2 k^2 m_e e^4}{h^2} = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = 13.6 \text{ eV}$$

R^* – קבוע רידברג.

k – קבוע קולון.

$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$ – קבוע הפרמטיביות של הריק.

רדיוסי המסלולים המותרים של האלקטרון באטום מימן:

$$r_n = r_1 n^2$$

$$r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2} = 0.529 \text{ \AA}$$

r_1 – רדיוס הבסיס של האלק'

שאלות:

(1) תרגיל 1 אטום מימן

- איזו אינטראקציה תתרחש בין גז מימן ברמת היסוד ובין:
- אלקטרונים בעלי אנרגיה קינטית של 12 אלקטרון וולט?
 - פוטונים בעלי אנרגיה של 12 אלקטרון וולט?
 - פוטונים בעלי אנרגיה של 15 אלקטרון וולט?
 - אלקטרונים בעלי אנרגיה קינטית של 15 אלקטרון וולט?
- היעזרו בדיאגרמה לרמות אנרגיה של אטום מימן.

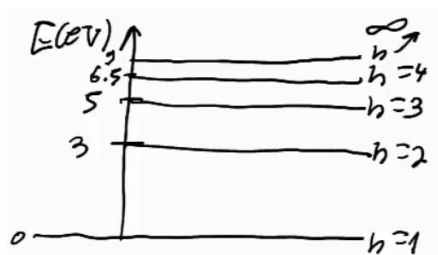
(2) תרגיל 2 אטום מימן

- בניסוי מסוים העבירו דרך גז מימן חד אטומי ברמת היסוד אלקטרונים שהואצו לאנרגיה קינטית של 13 אלקטרון וולט.
- כיצד ייראה ספקטרום הפליטה של גז זה?
 - מה הערכים האפשריים של האנרגיה הקינטית לאלקטרונים שהואצו לאחר מעברם בגז?
 - מה השינוי ברדיוס של האלקטרונים הקשורים שעוררו לרמה הגבוהה ביותר?

(3) תרגיל 3 אטום מימן

- בניסוי נוסף הקרינו גז מימן ברמת היסוד בפוטונים בעלי אורך גל גדול ושווה מ-100 ננומטר, וקטן או שווה מ-400 ננומטר.
- כיצד ייראה ספקטרום הבליעה של הגז?
 - כיצד ייראה ספקטרום הפליטה של הגז?
 - מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון האנרגטי ביותר?

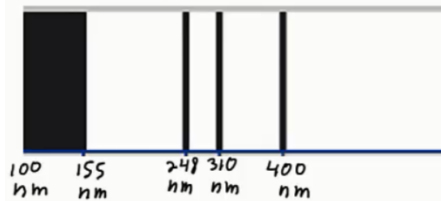
(4) גזים אחרים תרגיל 1



- נתונה דיאגרמת רמות האנרגיה של גז מסוים:
- איזו אינטראקציה תתרחש אם נקרין את הגז בפוטונים בעלי אנרגיה של 6 אלקטרון וולט?
 - איזו אינטראקציה תתרחש אם נאיץ אל הגז אלקטרונים בעלי אנרגיה קינטית של 6 אלקטרון וולט?
 - במידה ותתרחש אינטראקציה עם הגז, תאר מה יקרה לאחר מכן.

5) גזים אחרים תרגיל 2

- מעבירים דרך גז לא ידוע אור בטווח אורכי גל של: $180\text{nm} \leq \lambda \leq 700\text{nm}$.
 מקבלים ספקטרום בליעה בו חסרים 3 אורכי גל: $\lambda_1 = 620\text{nm}$, $\lambda_2 =$, $\lambda_3 = 248\text{nm}$, 400nm .
 א. חשבו ושרטטו את דיאגרמת רמות האנרגיה של גז זה.
 ב. כמה קווים ספקטרליים יהיו בספקטרום הפליטה במצב המתואר למעלה?
 ג. מאיצים אלקטרונים במתח של 5.5 וולט ולאחר מכן מכוונים אותם לתוך גז זה שנמצא מחדש ברמת היסוד.
 עם איזה אנרגיה קינטית יכולים האלקטרונים החופשיים להמשיך לאחר מעברם בגז?

6) גזים אחרים תרגיל 3

- בניסוי מסוים הוקרן גז לא ידוע באור בספקטרום רציף בתחום אורכי הגל של: $100\text{nm} \leq \lambda \leq 500\text{nm}$.
 ספקטרום הבליעה של הגז כולל 3 קווים דקים חשוכים, ותחום רציף חשוך כמתואר בתרשים.
 א. חשבו את הפרשי האנרגיה של 3 הרמות המעוררות האפשריות לחישוב ביחס לרמת היסוד.
 ב. ענו על הסעיפים הבאים:
 i. הסבירו מדוע קיימת בליעה רציפה - $\lambda \leq 155\text{nm}$.
 ii. חשבו את האנרגיה הדרושה ליינון אטום זה.
 ג. שרטטו דיאגרמת רמות אנרגיה לאטום. בחרו את אנרגיית רמת היסוד כרצונכם.
 ד. חשבו את אורכי הגל הנפלטים באטום זה.
 ה. מה המהירות המקסימלית של אלקטרון שיפלט מאטום זה?

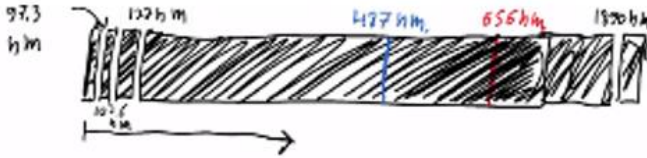
7) אטומים דמויי מימן תרגיל

- א. שרטטו את 5 רמות האנרגיה הראשונות של הליום דמוי מימן + רמת היינון.
 ב. מאיצים אלקטרונים חופשיים במתח של 50 וולט ואז יורים אותם לתוך גז זה.
 i. עד איזה רמה יעוררו האלקטרונים הקשורים?
 ii. עם איזה אנרגיה קינטית יכולים לצאת האלקטרונים החופשיים?
 ג. כמה קווי פליטה יהיו בספקטרום הפליטה של הליום זה, ומה אורכי הגל שלהם?
 ד. מאירים על גז זה בפוטונים בעלי אורך גל 62 ננומטר. תארו מה יקרה.

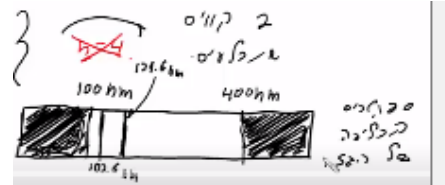
תשובות סופיות:

(1) ראה סרטון.

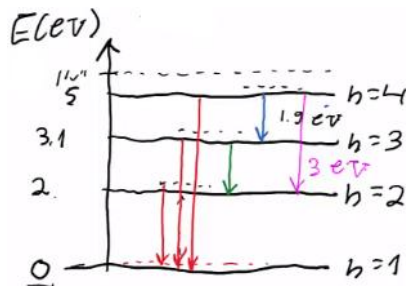
(2) א. 6 קווים בספקטרום הפליטה,

ב. 1. $E_k = 13\text{eV}$ - לא תהיה מסירה.2. $E_k = 2.8\text{eV} \leftarrow 10.2\text{eV}$ מסירה של 2.3. $E_k = 0.91\text{eV} \leftarrow 12.09\text{eV}$ מסירה של 3.4. $E_k = 0.25\text{eV} \leftarrow 12.75\text{eV}$ מסירה של 4.ג. $7.93 \cdot 10^{-10}\text{m}$ ב. ראה סרטון. ג. $2.42 \cdot 10^{-19}\text{J}$

(3) א.



(4) ראה סרטון.

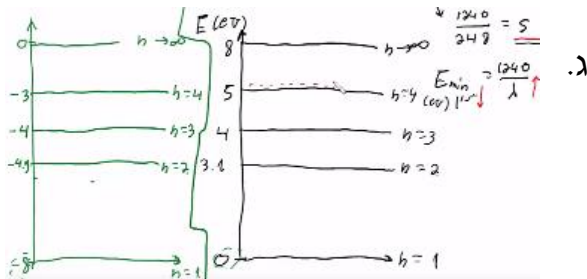
(5) א. $E_1 = 2\text{eV}$, $E_2 = 3.1\text{eV}$, $E_3 = 5\text{eV}$ 

ב. 6 קווים בספקטרום הפליטה. ג. ראה סרטון.

ב.i. ראה

(6) א. $\Delta E_{1 \rightarrow 2} = 3.1\text{eV}$, $\Delta E_{1 \rightarrow 3} = 4\text{eV}$, $\Delta E_{1 \rightarrow 4} = 5\text{eV}$

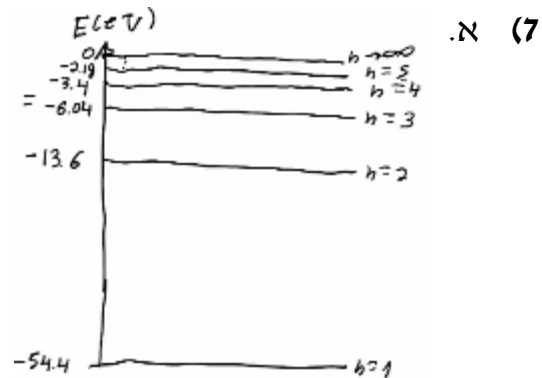
סרטון.

ב.ii. 8eV .
 $\lambda_{4 \rightarrow 3} = , \lambda_{3 \rightarrow 1} = 248\text{nm}$, $\lambda_{2 \rightarrow 1} = 653\text{nm}$, $\lambda_{1 \rightarrow 4} = 1240\text{nm}$, 1378nm

$$\lambda_{6 \rightarrow 1} = 400 \text{ nm}, \lambda_{5 \rightarrow 1} = 310 \text{ nm}$$

$$1.24 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

ב.i. עירור עד רמה $n = 4$.



ii. $E_k = 52 \text{ eV}, E_{k_{1 \rightarrow 2}} = 11.2 \text{ eV}, E_{k_{1 \rightarrow 3}} = 3.64 \text{ eV}, E_{k_{1 \rightarrow 4}} = 1 \text{ eV}$

ג. 6 קווים ספקטרליים: $\lambda_1 = 470 \text{ nm}, \lambda_2 = 122 \text{ nm}, \lambda_3 = 24.3 \text{ nm}$

$$\lambda_4 = 164 \text{ nm}, \lambda_5 = 25.6 \text{ nm}, \lambda_6 = 30.4 \text{ nm}$$

ד. ראה סרטון.

פיזיקה גרעינית

פרק 3 - גרעין האטום, אנרגיית הגרעין ורדיואקטיביות

תוכן העניינים

1. הגרעין- הסבר (ללא ספר)
2. אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים 9
3. רדיואקטיביות 11
4. תגובות גרעיניות 16

אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים:

רקע:

שקילות מסה-אנרגיה:

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

$$\Delta E(\text{MeV}) = \Delta m(u) \cdot 931.494 \frac{\text{MeV}}{u}$$

ΔE – האנרגיה שמשחררת בהתפרקות שבה המסה פוחתת/ האנרגיה שיש להשקיע במקרה שמסת המערכת גדלה.

c – מהירות האור.

$u = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ היא יחידת מסה אטומית.

שאלות:

(1) אנרגיית קשר גרעינית - תרגיל 1
חשבו את אנרגיית הקשר הגרעינית של ליתיום 7.

(2) אנרגיית קשר גרעינית - תרגיל 2
מצאו את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקליאון של פחמן 12.

תשובות סופיות:

$$\Delta E = 39.2 \text{ MeV} \quad (1)$$

$$E = 7.684 \quad (2)$$

רדיואקטיביות:

רקע:

דעיכה של מקור רדיואקטיבי:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{או} \quad \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

N – מספר גרעיני האב בזמן t .

N_0 – מספר גרעיני האב בזמן $t = 0$

$\frac{dN}{dt}$ – קצב ההתפרקות של החומר הרדיואקטיבי.

λ – קבוע דעיכה

פעילות (מינוס קצב ההתפרקות) של מקור רדיואקטיבי: $R = \lambda N$

זמן מחצית החיים: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

שאלות:

1) רדיואקטיביות - תרגיל 1

תוריום 228 מתפרק התפרקות אלפא ונוצר גרעין בת של רדיום 224.

א. השלם את משוואת התהליך: ${}_{90}^{228}\text{Th} \rightarrow ? \text{Ra} + ?$

ב. מצא את האנרגיה הקינטית המקסימלית האפשרית שתהיה לתוצר החסר.

נתון שמסתו האטומית של תוריום 228 היא: $228.0287411u$, ומסתו

האטומית של רדיום 224 היא: $224.020186u$.

ג. הסבר מדוע כמעט בכל המקרים האנרגיה הקינטית של התוצר השני

תהיה קטנה מהערך שחישבת בסעיף ב'!

2) רדיואקטיביות - תרגיל 2

עורכים ניסוי עם חומר רדיואקטיבי בשם ביסמוט (${}_{83}^{210}\text{Bi}$).

נמצא, שחומר זה מתפרק התפרקות בטא מינוס לחומר לא-ידוע בשם פולוניום (Po).

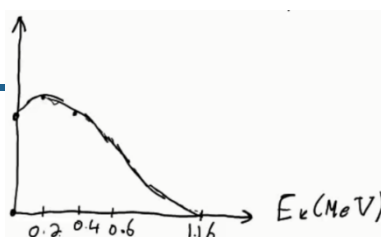
א. כתוב את משוואת ההתפרקות.

ב. בניסוי המשך עם חומר זה מודדים את מהירות החלקיקים הנפלטים

מהגרעין, ומשרטטים גרף של מספר החלקיקים הנפלטים בעלי אנרגיה

קינטית מסוימת, כתלות באנרגיה קינטית זו.

התקבל הגרף הבא:



- נתון שמסתו האטומית של ביסמוט זה היא: $209.98412u$, ושמסתו האטומית של פולוניום זה היא: $209.98287u$.
- הסבר כיצד נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי תומכת בחוק שימור מסה-אנרגיה.
 - הסבר מדוע שאר הנקודות בגרף לא סותרות חוק שימור זה, ואיזה תגלית היסטורית הוסקה בעזרת גרף זה.

3 רדיואקטיביות - תרגיל 3

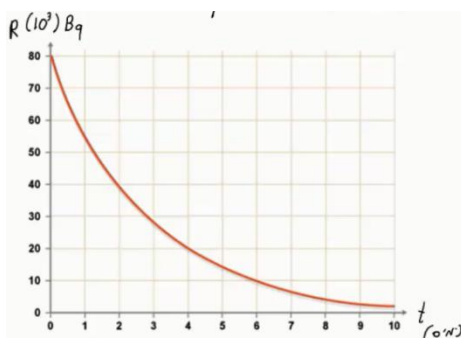
- נתון מדגם של חומר רדיואקטיבי בעל 10^{10} גרעינים וזמן מחצית חיים של יומיים וחצי.
- כמה גרעינים רדיואקטיביים יישארו במדגם לאחר יומיים וחצי?
 - כמה גרעיני בת ייווצרו לאחר 7 וחצי ימים?
 - כמה גרעיני אב יישארו לאחר 9 ימים?
 - מה תהיה הפעילות לאחר 9 ימים?

4 רדיואקטיביות - תרגיל 4

- נתון מדגם של נתרן $^{24}_{11}\text{Na}$ (שמתפרק התפרקות בטא מינוס למגנזיום $^{24}_{12}\text{Mg}$). מסת המדגם – 2 גרם. המסה האטומית של נתרן 24 היא: $23.990962u$.
- זמן מחצית החיים של נתרן היא 15 שעות.
- כתוב את משוואת תהליך ההתפרקות.
 - מה פעילות מדגם זה ברגע $t = 0$?
 - מה תהיה פעילותו (בבקרל) לאחר 30 שעות?
 - כמה גרעיני בת יוצרו לאחר 42 שעות?

5 רדיואקטיביות - תרגיל 5

חומר רדיואקטיבי מסוים מתפרק, כמופיע בתרשים הבא:



- מהו זמן מחצית החיים של החומר?
- מתי תהיה פעילותו 10^4 בקרל?
- מה תהיה פעילותו ברגע $t = 17\text{days}$?
- הוסף לתרשים עקומה המתארת את כמות גרעיני הבת שנוצרו בתהליך,

כתלות בזמן.

6 רדיואקטיביות - תרגיל 6

- אורניום $^{235}_{92}\text{U}$ מתפרק בשרשרת התפרקויות שכוללת 3 התפרקויות אלפא ו-2 התפרקויות בטא מינוס.
- א. מצא את המספר האטומי ומספר המסה של הגרעין החדש שנוצר.
- אותו $^{235}_{92}\text{U}$ ממשיך בשרשרת ההתפרקות שלו, ומסיים כאיזוטופ יציב של עופרת ($^{207}_{82}\text{Pb}$).
- ב. מצא כמה התפרקויות אלפא וכמה התפרקויות בטא מינוס עבר בתהליך.

7 רדיואקטיביות - תרגיל 7

- פעילותו של 1 ק"ג חומר אורגני (חי) נמדדה ושווה ל-231 בקרל.
- א. ענה על הסעיפים הבאים:
- מה תהיה פעילותו של חומר אורגני שמת לפני 5,736 שנה?
 - לפני 11,472 שנה?
- ב. פעילותה של ערימת חומר (1 ק"ג) שנחפרה באפריקה נמדדה, ונמצא כי היא שווה ל-160 בקרל.
- מתי הפסיק לתפקד חומר זה?
- ג. מה תהיה פעילותו של 1 ק"ג חומר אורגני שהפסיק לתפקד לפני שבוע?
- ד. מה תהיה פעילותו של 1 ק"ג חומר אורגני שהפסיק לתפקד לפני 65 מיליון שנה?

תשובות סופיות:

(1) א. ${}_{90}^{228}\text{Th} \rightarrow {}_{88}^{224}\text{Ra} + {}_2^4\text{He}$ ב. $\text{EvMeV}_{\max}$ ג. $\text{EvMeV}_{\max}$

(2) א. ${}_{83}^{210}\text{Bi} \rightarrow {}_{84}^{210}\text{Po} + {}_{-1}^0e + \bar{\nu}$ ב. הסברים בסרטון.

(3) א. $5 \cdot 10^9$ ב. $8.75 \cdot 10^9$ ג. $8.25 \cdot 10^8$

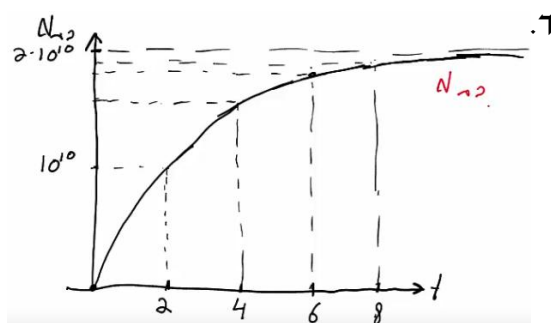
ד. 2645Bq

(4) א. ${}_{11}^{24}\text{Na} \rightarrow {}_{12}^{24}\text{Mg} + {}_{-1}^0e + \bar{\nu}$ ב. $6.43 \cdot 10^{17}\text{Bq}$ ג. $1.61 \cdot$

10^{17}Bq

ד. $4.3 \cdot 10^{22}$

(5) א. יומיים. ב. אחרי שישה ימים. ג. 221Bq



(6) א. ${}_{88}^{223}\text{Ra}$ ב. 7 התפרקויות אלפא ו-4 בטא.

(7) א.i. 115.5Bq א.ii. 57.75Bq ב. לפני 3,031 שנה

בערך.

ג. אי אפשר לדעת. ד. $R \rightarrow 0$

תגובות גרעיניות:

שאלות:

(1) תגובות גרעיניות - תרגיל 1

- יורים על גרעין $^{27}_{13}\text{Al}$, שמסתו האטומית: $26.981538u$, גרעין הליום. בתגובה נוצר גרעין לא ידוע, שמסתו: $29.9783138u$, וחלקיק נוסף – נויטרון. א. כתוב את משוואת התגובה הגרעינית, והשלם את המספרים לגרעין הלא-ידוע שסימונו P. ב. כמה אנרגיה מינימלית יש לתת לחלקיק האלפא בתגובה, כדי שתתרחש תגובה זו? ג. נותנים לו אנרגיה כפולה מהאנרגיה שחישבנו בסעיף ב'. לאן תלך אנרגיה זו לאחר התגובה?

(2) תגובות גרעיניות - תרגיל 2

- נתונה התגובה הבאה: $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{H} + ?$. א. השלם את התגובה. ב. נתון שאנרגיית הקשר לנוקליאון לדויטריום (^2_1H) היא: 1.11226MeV , ולהליום 3 (^3_2H) היא: 2.5727MeV . מצא כמה אנרגיה מינימלית יש להשקיע בתגובה הנ"ל, כדי שתקרה.

תשובות סופיות:

- (1) א. $^{27}_{13}\text{Al} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{30}_{15}\text{P} + ^1_0\text{n}$ ב. $\Delta E = 2.65\text{MeV}$ ג. אנרגיה קינטית לתוצרים ופליטה של אנרגיה בצורת פוטונים.
(2) א. $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{H} + ^1_0\text{n}$ ב. התהליך יקרה מעצמו (0).