פרק 23

גרעין האטום, אנרגיית הגרעין ורדיואקטיביות

הגרעין- הסבר 1
אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים 6
רדיואקטיביות 7
תגובות גרעיניות 10
גרעין- בגרויות 11

אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים

שאלות

1) חשבו את אנרגיית הקשר הגרעינית של ליתיום 7.

2) מצאו את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקליאון של פחמן 12.

תשובות סופיות

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

2) $E = 7.684$

רדיואקטיביות

שאלות

1) תרגיל 1

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

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

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) תרגיל 2

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

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 הנפלטת 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 $209.98287u$.

i. הסבר כיצד נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי תומכת בחוק שימור מסה-אנרגיה.

ii. הסבר מדוע שאר הנקודות בגרף לא סותרות חוק שימור זה, ואיזה תגלית היסטורית הוסקה בעזרת גרף זה.

3) תרגיל 3

נתון מדגם של חומר רדיואקטיבי בעל 10^{10} גרעינים וזמן מחצית חיים של יומיים וחצי.

א. כמה גרעינים רדיואקטיביים יישארו במדגם לאחר יומיים וחצי?

ב. כמה גרעיני בת ייווצרו לאחר 7 וחצי ימים?

ג. כמה גרעיני אב יישארו לאחר 9 ימים?

ד. מה תהיה הפעילות לאחר 9 ימים?

4) תרגיל 4

נתון מדגם של נתרן 24 $\left({}^{24}_{11}\mathrm{Na}\right)$ שמתפרק התפרקות בטא מינוס למגנזיום (Mg).
מסת המדגם – 2 גרם. המסה האטומית של נתרן 24 היא 23.990962u .
זמן מחצית החיים של נתרן היא 15 שעות.

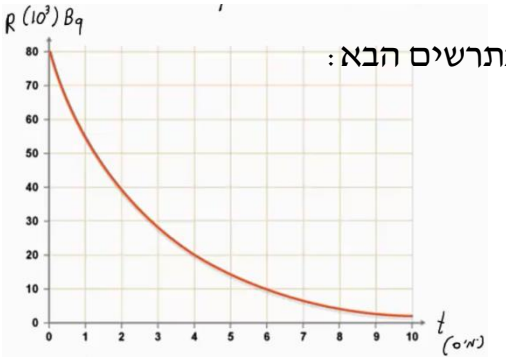
א. כתוב את משוואת תהליך ההתפרקות.

ב. מה פעילות מדגם זה ברגע $t=0$?

ג. מה תהיה פעילותו (בבקרל) לאחר 30 שעות?

ד. כמה גרעיני בת יוצרו לאחר 42 שעות?

5) תרגיל 5



חומר רדיואקטיבי מסוים מתפרק, כמופיע בתרשים הבא:

א. מהו זמן מחצית החיים של החומר?

ב. מתי תהיה פעילותו 10^4 בקרל?

ג. מה תהיה פעילותו ברגע $t=17$ days ?

ד. הוסף לתרשים עקומה המתארת את כמות גרעיני הבת שנוצרו בתהליך, כתלות בזמן.

6) תרגיל 6

אורניום 235 $\left({}^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ מתפרק בשרשרת התפרקויות שכוללת 3 התפרקויות אלפא ו-2 התפרקויות בטא מינוס.

א. מצא את המספר האטומי ומספר המסה של הגרעין החדש שנוצר.

אותו $\left({}^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ ממשיך בשרשרת ההתפרקות שלו, ומסיים כאיזוטופ יציב של עופרת $\left({}^{207}_{82}\mathrm{Pb}\right)$.

ב. מצא כמה התפרקויות אלפא וכמה התפרקויות בטא מינוס עבר בתהליך.

7) תרגיל 7

פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני (חי) נמדדה ושווה ל-231 בקרל.

א. i. מה תהיה פעילותו של חומר אורגני שמת לפני 5,736 שנה?

ii. לפני 11,472 שנה?

ב. פעילותה של עריכת 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. ${}^{228}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{224}_{88}\mathrm{Ra} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$ ב. $Ev_{max} = -5.55\,\mathrm{MeV}$ ג. $Ev_{max} < -5.55\,\mathrm{MeV}$

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

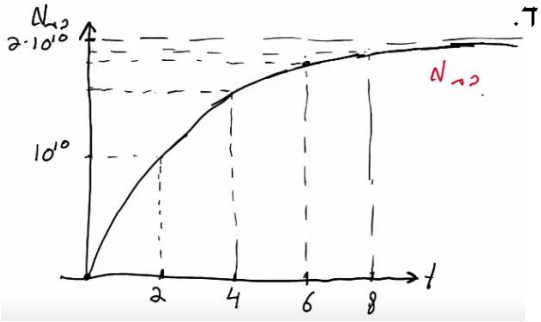
3) א. $5\cdot10^{9}$ ב. $8.75\cdot10^{9}$ ג. $8.25\cdot10^{8}$ ד. $2645\mathrm{Bq}$

4) א. ${}^{24}_{1}\mathrm{Na} \rightarrow {}^{24}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{0}_{-1}e + \bar{V}$ ב. $6.43\cdot10^{17}\,\mathrm{Bq}$ ג. $1.61\cdot10^{17}\,\mathrm{Bq}$

ד. $4.3\cdot10^{22}$

5) א. יומיים. ב. אחרי שישה ימים. ג. $221\mathrm{Bq}$

ד.



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

7) א1. $115.5\mathrm{Bq}$ א2. $57.75\mathrm{Bq}$ ב. לפני 3,031 שנה בערך.

ג. אי אפשר לדעת. ד. $R \rightarrow 0$

תגובות גרעיניות

שאלות

1) תרגיל 1

יורים על גרעין $^{27}_{13}\mathrm{Al}$, 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) תרגיל 2

נתונה התגובה הבאה: $^{2}_{1}\mathrm{H}+^{2}_{1}\mathrm{H}\rightarrow^{3}_{2}\mathrm{H}+?$.

א. השלם את התגובה.

ב. נתון שאנרגיית הקשר לנוקליאון לדויטוריום $\left(^{2}_{1}\mathrm{H}\right)$ היא $1.11226\,\mathrm{MeV}$,
ולהליום 3 $\left(^{3}_{2}\mathrm{H}\right)$ היא $2.5727\,\mathrm{MeV}$.
מצא כמה אנרגיה מינימלית יש להשקיע בתגובה הנ"ל, כדי שתקרה.

תשובות סופיות

1) א. $^{27}_{13}\mathrm{Al}+^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow^{30}_{15}\mathrm{P}+^{1}_{0}\mathrm{h}$ ב. $\Delta E=2.65\,\mathrm{MeV}$

ג. אנרגיה קינטית לתוצרים ופליטה של אנרגיה בצורת פוטונים.

2) א. $^{2}_{1}\mathrm{H}+^{2}_{1}\mathrm{H}\rightarrow^{3}_{2}\mathrm{H}+^{1}_{0}\mathrm{n}$ ב. התהליך יקרה מעצמו (0).

אנרגיית קשר של הגרעין ויציבות גרעינים:

שאלות:

1) תרגיל 1

חשבו את אנרגיית הקשר הגרעינית של ליתיום 7.

2) תרגיל 2

מצאו את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקליאון של פחמן 12.

תשובות סופיות:

1) $\Delta E = 39.2\,MeV$

2) $E = 7.684$

רדיואקטיביות:

שאלות:

1) תרגיל 1

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

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

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'?

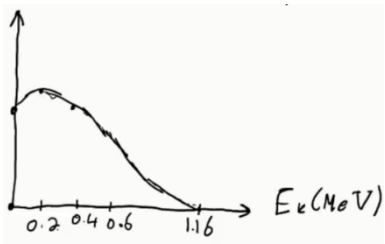
2) תרגיל 2

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

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 הנפלטת 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: $209.98287u$.

i. הסבר כיצד נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי תומכת בחוק שימור מסה-אנרגיה.

ii. הסבר מדוע שאר הנקודות בגרף לא סותרות חוק שימור זה, ואיזה תגלית היסטורית הוסקה בעזרת גרף זה.

3) תרגיל 3

נתון מדגם של חומר רדיואקטיבי בעל 10^{10} גרעינים וזמן מחצית חיים של יומיים וחצי.

א. כמה גרעינים רדיואקטיביים יישארו במדגם לאחר יומיים וחצי?

ב. כמה גרעיני בת ייווצרו לאחר 7 וחצי ימים?

ג. כמה גרעיני אב יישארו לאחר 9 ימים?

ד. מה תהיה הפעילות לאחר 9 ימים?

4) תרגיל 4

נתון מדגם של נתרן 24 $\left(^{24}_{11}\mathrm{Na}\right)$ שמתפרק התפרקות בטא מינוס למגנזיום $\left(\mathrm{Mg}\right)$.

מסת המדגם – 2 גרם. המסה האטומית של נתרן 24 היא: $23.990962\mathrm{u}$.

זמן מחצית החיים של נתרן היא 15 שעות.

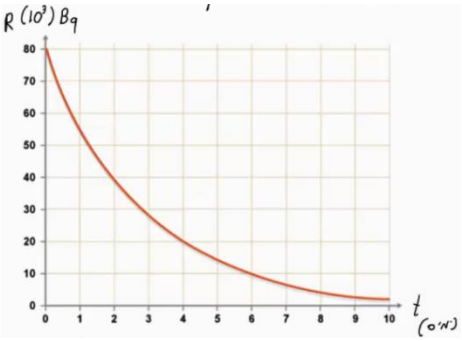
א. כתוב את משוואת תהליך ההתפרקות.

ב. מה פעילות מדגם זה ברגע $t=0$?

ג. מה תהיה פעילותו (בבקרל) לאחר 30 שעות?

ד. כמה גרעיני בת יוצרו לאחר 42 שעות?

5) תרגיל 5



חומר רדיואקטיבי מסוים מתפרק, כמופיע בתרשים הבא:

א. מהו זמן מחצית החיים של החומר?

ב. מתי תהיה פעילותו 10^4 בקרל?

ג. מה תהיה פעילותו ברגע $t=17\ \mathrm{days}$?

ד. הוסף לתרשים עקומה המתארת את כמות גרעיני הבת שנוצרו בתהליך, כתלות בזמן.

6) תרגיל 6

אורניום 235 $\left(^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ מתפרק בשרשרת התפרקויות שכוללת 3 התפרקויות אלפא ו-2 התפרקויות בטא מינוס.

א. מצא את המספר האטומי ומספר המסה של הגרעין החדש שנוצר.

אותו $\left(^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ ממשיך בשרשרת ההתפרקות שלו, ומסיים כאיזוטופ יציב של עופרת $\left(^{207}_{82}\mathrm{Pb}\right)$.

ב. מצא כמה התפרקויות אלפא וכמה התפרקויות בטא מינוס עבר בתהליך.

7) תרגיל 7

פעילותו של 1 ק״ג חומר אורגני (חי) נמדדה ושווה ל-231 בקרל.

א. ענה על הסעיפים הבאים:

i. מה תהיה פעילותו של חומר אורגני שמת לפני 5,736 שנה?

ii. 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:

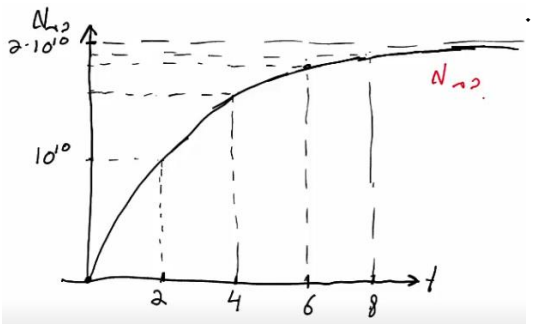
1) א. $^{228}_{90}Th \rightarrow ^{224}_{88}Ra + ^{4}_{2}He$ ב. $Ev_{max} = -5.55\,MeV$ ג. $Ev_{max} < -5.55\,MeV$

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

3) א. $5\cdot10^{9}$ ב. $8.75\cdot10^{9}$ ג. $8.25\cdot10^{8}$
ד. 2645Bq

4) א. $^{24}_{1}Na \rightarrow ^{24}_{12}Mg + ^{0}_{-1}e + \bar{V}$ ב. $6.43\cdot10^{17}\,Bq$ ג. $1.61\cdot10^{17}\,Bq$
ד. $4.3\cdot10^{22}$

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



6) א. $^{223}_{88}Ra$ 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) תרגיל 1

יורים על גרעין $^{27}_{13}Al$, 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) תרגיל 2

נתונה התגובה הבאה: $^{2}_{1}H+^{2}_{1}H\rightarrow^{3}_{2}H+?$.

א. השלם את התגובה.

ב. נתון שאנרגיית הקשר לנוקליאון לדויטוריום $\left(^{2}_{1}H\right)$ היא: $1.11226\,MeV$,
ולהליום 3 $\left(^{3}_{2}H\right)$ היא: $2.5727\,MeV$.
מצא כמה אנרגיה מינימלית יש להשקיע בתגובה הנ"ל, כדי שתקרה.

תשובות סופיות:

1) א. $^{27}_{13}Al+^{4}_{2}He\rightarrow^{30}_{15}P+^{1}_{0}h$ ב. $\Delta E=2.65\,MeV$

ג. אנרגיה קינטית לתוצרים ופליטה של אנרגיה בצורת פוטונים.

2) א. $^{2}_{1}H+^{2}_{1}H\rightarrow^{3}_{2}H+^{1}_{0}n$ ב. התהליך יקרה מעצמו (0).

גרעין – בגרויות:

שאלות:

1) בגרות 2020

בבקעת תמנע ליד אילת, סמוך למכרות נחושת עתיקים, נמצאו לאחרונה ערמות פסולת מימי הפקתה של הנחושת. מדידות הפעילות של פחמן רדיואקטיבי, ^{14}C, בפיסת עץ שנמצאה בערמות הפסולת אפשרו לקבוע באיזו תקופה היסטורית המכרות היו פעילים, כך הוכח, מעל לכל ספק, שמכרות הנחושת האלה פעלו בימיו של שלמה המלך.

שאלה זו עוסקת בקביעת גיל של פיסת עץ בעזרת האיזוטופ הרדיואקטיבי של פחמן ^{14}C.

האיזוטופ ^{14}C נוצר באטמוספרה, משוואת ההיווצרות היא: $^{14}_{7}N+^{1}_{0}n\rightarrow^{14}C+^{1}_{1}p$.

א. הסתמך על משוואת היווצרותו של ^{14}C באטמוספרה, וקבע מהו מספר הפרוטונים ומהו מספר הנייטרונים בגרעין של ^{14}C. הסבר את קביעותיך.

^{14}C מתפרק התפרקות רדיואקטיבית ל- ^{14}N.

ב. ענה על הסעיפים הבאים:

i. רשום את משוואת ההתפרקות הרדיואקטיבית של ^{14}C, וציין את סוג הקרינה הנפלטת.

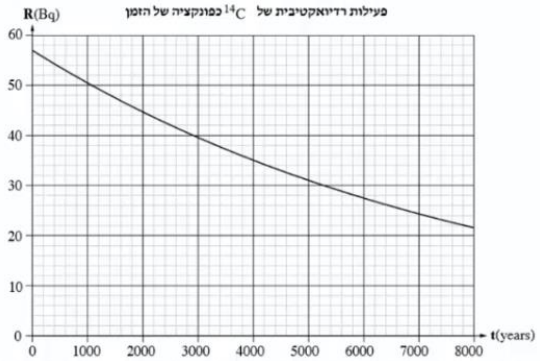
ii. מהו חוק השימור שהסתמכת עליו כדי לקבוע את סוג הקרינה הנפלטת בהתפרקות רדיואקטיבית זו?

אחוז הפחמן הרדיואקטיבי, ^{14}C, בכל יצור נשאר קבוע כל עוד הוא חי.

כאשר היצור מת, ^{14}C מתחיל להתפרק התפרקות רדיואקטיבית. מדענים מדדו את הפעילות של ^{14}C בזמן $t=0$ בפיסת עץ שנלקחה מעץ חי, באותה מסה ומאותו סוג עץ כמו פיסת העץ שנמצאה בערמת הפסולת, ומצאו כי: $R(0)=57Bq$.

נתון: זמן מחצית החיים של ^{14}C הוא: $T_{\frac{1}{2}}=5730_{years}$.

לפניך גרף הפעילות הרדיואקטיבית, R, של ^{14}C כפונקציה של הזמן, t.



המדענים מדדו את הגיל של פיסת העץ שנמצאה בערמת הפסולת בבקעת תמנע בשתי שיטות שרמת הדיוק שלהן שונה. בשיטה הראשונה הם מדדו בזמן t_1 את הפעילות של פיסת עץ שנמצאה בערמת הפסולת בבקעת תמנע ומצאו כי: $R(t_1)=40Bq$.

ג. קבע באמצעות הגרף את הגיל של פיסת העץ על פי השיטה הראשונה. נמק את קביעתך.

בשיטה השנייה, המדויקת יותר, הם מדדו את $N(t_1)$ - מספר גרעיני ^{14}C שנשארו בזמן t_1 בפיסת העץ שנמצאה בערמת הפסולת, וחשבו את ΔN - מספר הגרעינים שהתפרקו מתחילת ההתפרקות עד הזמן t_1.

המדענים מצאו כי: $\Delta N_{^{14}C}=N(0)-N(t_1)=4.63\cdot10^{12}$.

ד. חשב את קבוע הדעיכה λ ביחידות של $\frac{1}{sec}$.

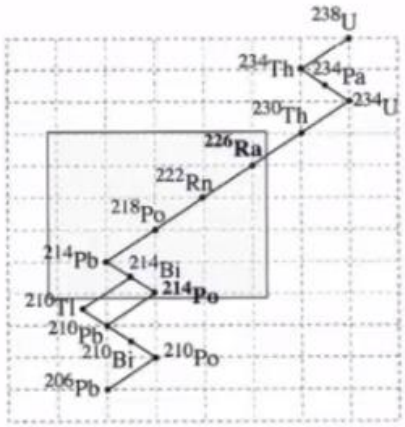
ה. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את הפעילות $R(t_1)$ המתקבלת על פי השיטה השנייה.

ii. קבע את הגיל של פיסת העץ באמצעות הגרף ובאמצעות $R(t_1)$ שחישבת בתת-סעיף i.

2) בגרות 2019

היום ידועות ארבע סדרות רדיואקטיביות. שאלה זו עוסקת בסדרת אורניום 238. רדיום 226 $\left(^{214}_{84}Po\right)$ הם איזוטופים רדיואקטיביים טבעיים השייכים לסדרה זו. פולוניום 214 הוא תוצר בשרשרת ההתפרקויות של רדיום 226 (ראה תרשים).



א. קבע את מספר התפרקויות α ואת מספר התפרקויות β^- שמתרחשות בשרשרת ההתפרקויות מרדיום 226 לפולניום 214. הסבר את קביעותיך.

באחד השלבים של השרשרת המתוארת נוצר האיזוטופ הרדיואקטיבי רדון 222 $\left(^{222}_{86}\mathrm{Rn}\right)$.
בשל הנזק שגז הרדון גורם לבריאות כשהוא מצטבר במקומות סגורים (כגון מרתפים ומקלטים), הוא מעורר עניין מדעי וטכנולוגי רב.

ב. קבע את המספר האטומי ואת מספר המסה של גרעין הבת Y הנוצר מהתפרקותו של רדון 222.

מדידות של מדגם רדון 222 הראו כי הפעילות הרדיואקטיבית שלו פוחתת פי 8 במשך 11,475 ימים.

ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את זמן מחצית החיים, $T_{\frac{1}{2}}$, של איזוטופ זה.

ii. חשב את קבוע הדעיכה λ של איזוטופ זה.

אנרגיות הקשר הגרעיניות של האיזוטופים רדיום 226 ופולוניום 214 הן: $E_{B(Ra)}=1732.62MeV$, $E_{B(Po)}=1666.02MeV$.

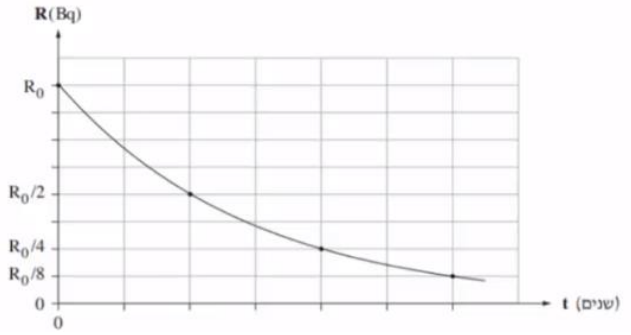
ד. קבע איזה משני האיזוטופים יציב יותר. נמק את קביעתך.

3) בגרות 2018 שאלה 5

סטרונציום טבעי הוא יסוד מתכתי יציב שהתגלה בשנת 1790.
האיזוטופ הרדיואקטיבי $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$ התגלה במהלך ניסויים גרעיניים שנערכו בשנות הארבעים של המאה ה-20.

א. ציין את המשמעות של המספרים 38 ו-90 המופיעים בסימון $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$.

נערכו שני ניסויים, ניסוי I וניסוי II.
ניסוי I נערך על מדגם של $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$ שמסתו $2gr$. זמן מחצית החיים של מדגם זה הוא 29 שנים. בגרף שלפניך מוצגת הפעילות R (ב- Bq - התפרקויות לשנייה) כפונקציה של הזמן t (בשנים) עבור מדגם זה.



ב. חשב לאחר כמה זמן ירדה הפעילות ל- $\frac{R_0}{8}$. פרט את חישובך.

ג. חשב (בקירוב) את מספר הגרעינים במדגם ברגע $t=0$ עבור מדגם זה שמסתו $2gr$.

ד. ענה על הסעיפים הבאים:

i. חשב את קבוע הדעיכה ביחידה $\frac{1}{sec}$.

ii. חשב את הפעילות R_0 (הפעילות ברגע $t=0$).

ניסוי II נערך על מדגם של האיזוטופ $^{90}_{38}Sr$ שמסתו $1gr$.

ה. העתק את הגרף למחברתך, וסמן את העקומה בספרה I.
הוסף למערכת הצירים שבמחברתך את העקומה עבור ניסוי II, וסמן אותה בספרה II.

4) בגרות 2018 שאלה 4

נתון הגרעין ^4_2He של האיזוטופ הליום 4.

א. מדוע גרעין זה נשאר יציב על אף כוחות הדחייה החשמליים הפועלים בו?

ב. כתוב דוגמה לגרעין שהוא איזוטופ נוסף של הליום (גם אם איזוטופ זה לא באמת קיים במציאות).

ג. נכנה את הגרעין ^4_2He "מערכת חלקיקים במצב 1". מפרקים את הגרעין ^4_2He עד שכל מרכיביו נמצאים במנוחה במרחק רב אלה מאלה. נכנה את מערכת החלקיקים הזו "מערכת חלקיקים במצב 2".
האם האנרגיה של מערכת החלקיקים במצב 1 גדולה מזו שבצב 2, קטנה או שווה לה?
העתק למחברתך את התשובה הנכונה מבין התשובות i-iv שלפניך, ונמק את תשובתך:

i. האנרגיה של מערכת החלקיקים במצב 1 גדולה מזו שבמצב 2.

ii. האנרגיה של מערכת החלקיקים במצב 1 שווה לזו שבמצב 2.

iii. האנרגיה של מערכת החלקיקים במצב 1 קטנה מזו שבמצב 2.

iv. אי אפשר לדעת, כי התשובה תלויה במצב שבו בוחרים את רמת האפס של האנרגיה.

נתון כי המסה האטומית של ^4_2He היא: $M\left(^4_2He\right)=4.002602u$, מסת אלקטרון היא: $m_e=0.000549u$, מסת פרוטון היא: $m_p=1.007276u$ ומסת ניוטרון היא: $m_n=1.008665u$.

ד. חשב את אנרגיית הקשר הגרעינית של גרעין איזוטופ ההליום ^4_2He.

ה. נתונים שני גרעינים שונים. כיצד אפשר לקבוע איזה מן הגרעינים יציב יותר?
העתק למחברתך את התשובה הנכונה מבין התשובות i-iv שלפניך.
אין צורך לנמק.

i. על פי אנרגיית הקשר הגרעינית.
ii. על פי אנרגיית הקשר הגרעינית חלקי מספר הנוקלאונים.
iii. על פי אנרגיית הקשר הגרעינית חלקי מספר הפרוטונים.
iv. על פי מספר הנוקלאונים.

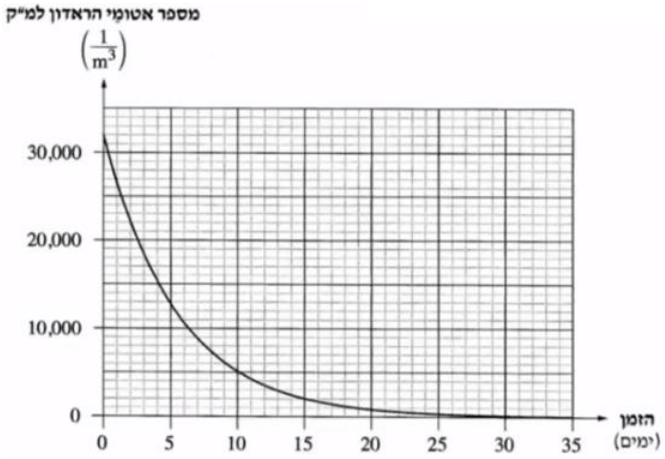
5) בגרות 2017

ראדון, $^{222}_{86}Rn$, הוא יסוד רדיואקטיבי טבעי שמקורו בקרקע והוא נמצא בכמויות קטנות גם במים. הראדון מתפרק לפולוניום, Po, שגם הוא יסוד רדיואקטיבי, ונפלטת קרינת אלפא.
האנרגיה של קרינת אלפא גבוהה מספיק כדי לגרום לפגיעה במולקולות בגוף האדם, וכך קרינה זו עלולה לגרום נזק לבריאות.
המשרד להגנת הסביבה קבע תקן לרמת האקטיביות (פעילות) המרבית המותרת של ראדון למ"ק (מטר מעוקב) במבני מגורים בישראל: $200\frac{Bq}{m^3}$, $\left(Bq=\frac{1}{sec}\right)$.

א. הסבר את המשמעות הפיזיקלית של המשפט: "רמת האקטיביות המרבית המותרת של הראדון למ"ק במבני מגורים בישראל היא: $200\frac{Bq}{m^3}$".

ב. בהתפרקות של גרעין ראדון לפולוניום נפלט חלקיק אלפא יחיד.
כתוב את המשוואה של התפרקות זו, וציין את מספר המסה ואת המספר האטומי של גרעין הפולוניום.

לפניך גרף של מספר אטומי ראדון למ"ק של דגימת ראדון כפונקציה של הזמן.
בתחילת המדידה מספר אטומי הראדון למ"ק היה: $32,000\frac{1}{m^3}$.



ג. על פי הגרף, קבע בקירוב את זמן מחצית החיים של הראדון. פרט את שיקוליך.
ד. ענה על הסעיפים הבאים:
i. רשום נוסחה המתארת אקטיביות כפונקציה של זמן.
ii. חשב כעבור כמה זמן מתחילת המדידה תגיע רמת האקטיביות למ"ק של דגימת הראדון אל התקן שקבע המשרד להגנת הסביבה.

6) בגרות 2015 שאלה 5

$^{235}_{92}U$ הוא איזוטופ רדיואקטיבי של אורניום. בתהליך שבו נויטרון איטי פוגע בגרעין $^{235}_{92}U$ הגרעין עשוי להתבקע. אחת האפשרויות לתוצרי ביקוע: איזוטופ של קסנון, $^{140}_{54}Xe$, איזוטופ של סטרונציום $^{93}_{38}Sr$ ונויטרונים אחדים.

א. ענה על הסעיפים הבאים:
i. רשום את משוואת התהליך, ומצא את מספר הנויטרונים המשתחררים במהלך הביקוע.
ii. נמק בעזרת אחד מחוקי השימור מדוע לא ייתכן שאחד החלקיקים המשתחררים במהלך ביקוע זה הוא פרוטון.
ב. הגדר מהי "אנרגיית קשר ממוצעת לנוקלאון בגרעין".

אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון בגרעין של סטרונציום, $^{93}_{38}Sr$, היא: $8.61MeV$,
ובגרעין של אורניום, $^{235}_{92}U$, היא: $7.59MeV$.

ג. האם אתה מצפה שאנרגיית הקשר לנוקלאון בגרעין של קסנון, $^{140}_{54}Xe$, תהיה גדולה מזו שבאורניום, $^{235}_{92}U$, קטנה ממנה או שווה לה? נמק.
ד. האנרגיה הקינטית הכוללת של התוצרים בתהליך המתואר בפתיח גדולה ב-$178MeV$ מסך כל האנרגיה הקינטית של המגיבים.
חשב את אנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון באיזוטופ $^{140}_{54}Xe$.

7) בגרות 2015 שאלה 4

בלוטת התריס שבגוף האדם מנצלת יוד, I, ליצירת הורמון המשפיע על קצב חילוף החומרים בתאי הגוף. אם קיימים בבלוטה אזורים פגומים – היוד אינו מגיע אליהם.
לצורך אבחון של פגמים בבלוטה על הנבדקים לשתות תמיסה המכילה איזוטופ רדיואקטיבי של יוד, ועל פי הקרינה הנפלטת אפשר לזהות את האזורים הפעילים של הבלוטה.

א. בהכנת היוד הרדיואקטיבי משתמשים באיזוטופ לא יציב של טלור (tellurium), $^{131}_{52}Te$, שפולט קרינת β^- והופך לאיזוטופ רדיואקטיבי של יוד.
זמן מחצית החיים של טלור הוא 25 דקות.
כמה פרוטונים וכמה נויטרונים נמצאים בגרעין של האיזוטופ הרדיואקטיבי של היוד שנוצר?

ב. האיזוטופ הרדיואקטיבי של היוד שנוצר מטלור מתפרק ל- $^{131}_{54}\text{Xe}$.
זמן מחצית החיים של איזוטופ היוד הוא 8 ימים.
רשום את המשוואה של התהליך הרדיואקטיבי הזה.

בתחילת התהליך, ברגע $t=0$, היו $2\cdot10^{18}$ גרעיני $^{131}_{52}\text{Te}$.
ברגע מסוים, t_1, הפרידו לשתי מבחנות את ה- $^{131}_{52}\text{Te}$ שנותר ואת היוד הרדיואקטיבי שנוצר. ברגע ההפרדה מספר גרעיני הטלור היה שווה למספר גרעיני היוד (10^{18} גרעינים בכל מבחנה).

ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. הגדר את המושג "פעילות רדיואקטיבית", $R_{(t)}$, וציין יחידות מתאימות.

ii. לאיזה משני החומרים יש פעילות גדולה יותר ברגע ההפרדה? חשב פי כמה.

ד. הסבר מדוע הזמן t_1 ארוך במקצת מזמן מחצית החיים של טלור.

ה. חשב מהו אחוז גרעיני יוד שיישארו במבחנת היוד ומהו אחוז גרעיני טלור שיישארו במבחנת הטלור כעבור יממה (24 שעות) מרגע ההפרדה.

8) בגרות 2014

כאשר מפציצים אלומיניום $(\text{A}\ell)$ בחלקיקי α, אחת התגובות שיכולה להתרחש בעקבות זאת היא היווצרות של איזוטופ זרחן (P), המלווה בפליטה של נויטרון.

תגובה זו מתוארת במשוואה שלפניך: $^{27}_{13}\text{A}\ell+^{4}_{2}\text{He}\rightarrow^{30}_{15}\text{P}+^{1}_{0}\text{n}$.

א. הראה כי במשוואה זו מתקיימים שימור של מספר הנוקלאונים ושימור של המטען החשמלי.

בשנת 1932 גילה הפיזיקאי האמריקני קארל אנדרסון את הפוזיטרון, שהוא ה"אנטי חלקיק" של האלקטרון. מסת הפוזיטרון שווה למסת האלקטרון, אך המטען החשמלי של הפוזיטרון הוא חיובי, ושווה בגודלו לגודל של מטען האלקטרון.

ב. איזוטופ הזרחן שנזכר בפתיח לשאלה הוא רדיואקטיבי. הוא מתפרק על ידי פליטה של פוזיטרון $^{0}_{+1}\text{e}$, ומתקבל איזוטופ יציב של צורן, Si.

i. הסבר את המושג "רדיואקטיביי".

ii. רשום את המשוואה המייצגת את תגובת הפירוק של איזוטופ הזרחן.

ג. זמן מחצית החיים של איזוטופ הזרחן הוא: 150 sec. חשב איזה חלק מדגימה של איזוטופ הזרחן יישאר ממנה 450 sec לאחר יצירתה.

ד. זמן החיים של פוזיטרון שנוצר בתגובה המתוארת בסעיף ב' הוא קצר. בתגובה שלו עם אלקטרון, הפוזיטרון והאלקטרון מתאיינים (מתחסלים), ונוצרים שני פוטוני גמא בעלי אותה תדירות.

i. הסבר כיצד תגובה זו מתיישבת עם עקרון שימור האנרגיה.

ii. חשב את האנרגיה של כל אחד משני הפוטונים שנוצרים.

9) בגרות 2013

רוב הכורים הגרעיניים מבוססים על תהליך הביקוע של גרעיני אורניום 235.
בעקבות ההתפרקות של גרעין האורניום נוצרים גרעינים של יסודות אחרים, וכמה ניוטרונים. אחת האפשרויות של התפרקות גרעין האורניום היא היווצרות גרעיני סלניום (Se) וצריום (Ce) (ראה טבלה) ושחרור כמה ניוטרונים.

הגרעין	$^{235}_{92}U$	$^{146}_{58}Ce$	$^{85}_{34}Se$
המסה האטומית (u)	234.9935	145.8782	84.9033

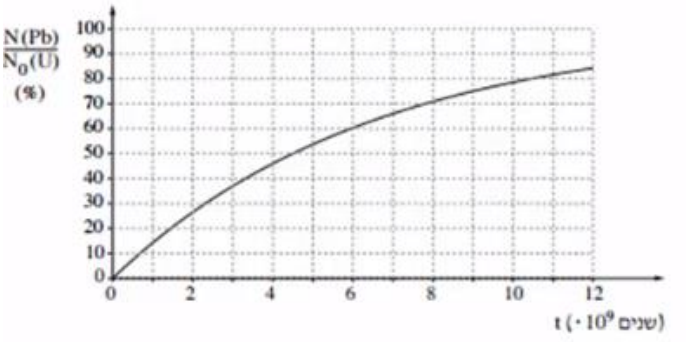
א. כתוב את המשוואה של תהליך ההתפרקות.
ב. מצא כמה אנרגיה משתחררת בתהליך הביקוע של גרעין אורניום אחד.
ג. בתהליך הביקוע חלק מאנרגיית הקשר הגרעינית הופכת לאנרגיה אחרת. הבא שתי דוגמאות לפחות לאנרגיות המתקבלות בתהליך הביקוע.
ד. הגדר "מהי אנרגיית קשר ממוצעת לנוקלאון".
ה. ביקוע גרעיני והיתוך (מיזוג) גרעיני הם שני תהליכים שאנרגיה משתחררת בהם. הסבר את ההבדל בין שני התהליכים, בהסברך התייחס לאנרגיית הקשר הממוצעת לנוקלאון.

10) בגרות 2012

סדרת האורניום היא סדרה של התפרקויות רדיואקטיביות המתחילה בגרעין $^{238}_{92}U$.

א. הגרעין $^{238}_{92}U$ מתפרק לגרעין תוריום Th, תוך כדי פליטת חלקיק α.
כתוב את המשוואה של התפרקות זו. ציין בה את מספר המסה ואת המספר האטומי של גרעין התוריום ושל חלקיק α.
ב. סדרת האורניום מסתיימת כאשר מתקבל איזוטופ של עופרת $^{206}_{82}Pb$.
חשב את המספר של התפרקויות α ואת המספר של התפרקויות β^- בסדרה זו.

בעקבות גילוי הרדיואקטיביות בתחילת המאה הקודמת, הציע רתרפורד לקבוע גיל של קרקע בעזרת ההתפרקות של אורניום 238 לעופרת 206.
במעבדה נבדקה דגימת קרקע. אפשר להניח שבקרקע שנדגמה לא היו אטומי $^{206}_{82}Pb$ בזמן $t=0$ (רגע היווצרות הקרקע), ושהמקור של אטומי $^{206}_{82}Pb$ המצויים בה הוא רק באטומי $^{238}_{92}U$ שהתפרקו.
נסמן: $N(Pb)$ הוא מספר אטומי העופרת ברגע מסוים, $N_0(U)$ הוא מספר אטומי האורניום שהיו בדגימה ברגע $t=0$.
בתרשים שלפניך גרף תאורטי ובו מוצג היחס $\frac{N(Pb)}{N_0(U)}$ כתלות בזמן.



ג. מהו האחוז של אטומי האורניום שהתפרקו לאטומי עופרת במהלך $6\cdot10^9$ השנים שחלפו מהזמן $t=0$? הסבר את תשובתך.

ד. מהו זמן מחצית החיים של $^{238}_{92}U$? הסבר את תשובתך.

ה. בקרקע שנדגמה נמצא שמפר אטומי העופרת הוא $\frac{2}{3}$ ממספר אטומי האורניום. חשב את גיל הקרקע בדגימה על פי נתון זה.

11) בגרות 2011

הגרעין $^{107}_{47}Ag$ קולט נויטרון והופך לגרעין חדש, $^{108}_{47}Ag$, שהוא רדיואקטיבי.

הגרעין $^{108}_{47}Ag$ מתפרק ופולט חלקיק β^-. מתהליך ההתפרקות מתקבל גרעין X.

א. כמה פרוטונים וכמה נויטרונים יש בגרעין $^{107}_{47}Ag$?

ב. האם הגרעין X הוא איזוטופ של היסוד Ag? הסבר.

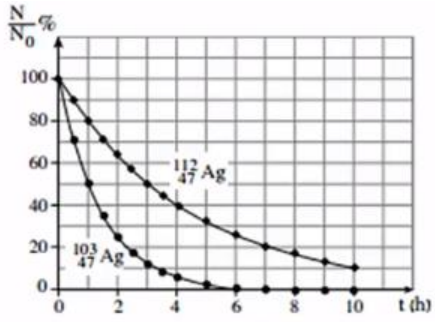
ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. רשום את המשוואות של שני התהליכים הגרעיניים המתוארים (קליטת הנויטרון ופליטת החלקיק β^-).

ii. ציין שני חוקי שימור שהשתמשת בהם בכתיבת המשוואות.

בתרשים שלפניך מוצגים שני גרפים: $\frac{N}{N_0}$ (באחוזים) כפונקציה של זמן, t, המתארים את תהליך ההתפרקות של האיזוטופים $^{103}_{47}Ag$ ו-$^{112}_{47}Ag$.

N_0 - מספר גרעיני האב ברגע $t=0$, N - מספר גרעיני האב ברגע t.



ד. נמצא שברגע $t=3h$, במדגם של איזוטופ $^{103}_{47}Ag$, נשארו $N=4\cdot10^{28}$ גרעיני אב.
חשב את מספר גרעיני האב N_0 במדגם זה ברגע $t=0$.

ה. במעבדה הכינו מדגמים של שני איזוטופים: $^{103}_{47}Ag$ ו- $^{112}_{47}Ag$.
פעילות (מספר התפרקויות בשנייה) של שני המדגמים ברגע $t=0$ שווה.
חשב את היחס בין מספר גרעיני האב בשני המדגמים ברגע $t=0$.

12) בגרות 2009

בשנת 1934 ערכו בני הזוג אירן קירי ופרדריק ז'וליו ניסוי. הם הטילו אלומה של חלקיקי α על רדיד אלומיניום - $^{27}_{13}A\ell$, והתרחשה תגובה גרעינית שהתקבל בה איזוטופ הזרחן, $^{30}_{15}P$, וחלקיק נוסף.

א. ענה על הסעיפים הבאים:

i. רשום את משוואת התהליך הגרעיני שהתרחש בעת הטלת חלקיקי ה- α על רדיד האלומיניום.

ii. ציין מהו החלקיק הנוסף שהתקבל בתגובה הגרעינית.

ב. ציין שני גדלים פיזיקליים שנשמרים בתגובה גרעינית.

ג. מסת האטום של האיזוטופ $^{27}_{13}A\ell$ היא: $M\left(^{27}_{13}A\ell\right)=26.981539u$.

נתון כי:

מסת אלקטרון: $m\left(^{0}_{-1}e\right)=0.000549u$.

מסת נויטרון: $m\left(^{1}_{0}n\right)=1.008665u$.

חשב את אנרגיית הקשר של גרעין $^{27}_{13}A\ell$.

ד. אנרגיית הקשר של גרעין $^{40}_{20}Ca$ היא: $342.073MeV$, ואנרגיית הקשר של גרעין $^{235}_{92}U$ היא: $1,783.963MeV$.
איזה משני גרעינים אלה יציב יותר? נמק.

13) בגרות 2008

א. תוצאות ניסוי רתרפורד (פיזור חלקיקי α על ידי עלה זהב) שוללות את מודל מבנה האטום שהציע תומסון (מודל המכונה לעיתים "מודל עוגת הצימוקים").
הסבר מדוע הן שוללות מודל זה.

ב. בהתפרקות רדיואקטיבית גרעין פולוניום $\left(^{214}_{84}Po\right)$ מתפרק לגרעין עופרת $\left(^{214}Pb\right)$. גרעין העופרת מתפרק התפרקות β^- לגרעין ביסמוט $^{214}_{83}Bi$.
רשום את משוואת התגובה הגרעינית שבה גרעין הביסמוט נוצר מגרעין העופרת.
ציין במשוואה גם את המספר האטומי של העופרת.

ג. מהו סוג ההתפרקות הרדיואקטיבית (המתוארת בסעיף ב'), שבעקבותיה גרעין העופרת נוצר מגרעין הפולוניום? רשום את המשוואה של התפרקות זו.
ציין במשוואה גם את מספר המסה של גרעין הפולוניום.

ד. הכינו במעבדה מדגם של איזוטופ עופרת 214. בתום הכנתו מצאו כי פעילות המדגם היא: $30,000Bq$ (כלומר 30,000 התפרקויות בשנייה).
כעבור מחצית השעה מצאו כי פעילות המדגם היא: $13,900Bq$.

i. חשב את זמן מחצית החיים של עופרת 214.

ii. חשב את מספר גרעיני עופרת 214 שהיו במדגם בתום הכנתו (כאשר פעילותו הייתה: $30,000Bq$).

14) בגרות 2004

הדויטריום הוא איזוטופ של מימן שגרעינו מורכב מפרוטון וניוטרון.
גרעין הדויטריום נקרא דויטרון.

א. הראה, בעזרת נתונים מהנספח, כי מסת הדויטרון שווה ל- $2.013552u$.
(הזנח את אנרגיית הקשר בין האלקטרון לגרעין).

ב. חשב, בעזרת נתונים ונוסחאות מהנספח, את אנרגיית הקשר הגרעינית של הדויטרון. הצג את תשובתך ביחידות של MeV.

ג. האם ייתכן שהדויטרון יהיה תוצר התפרקות β^- של גרעין אטום כלשהו? הסבר.

הטריטיום הוא איזוטופ של מימן (H) שמספר המסה שלו הוא 3. המסה של גרעין הטריטיום היא: $3.015500u$, והוא מתפרק בהתפרקות רדיואקטיבית לאיזוטופ של הליום (He), שמסת הגרעין שלו היא: $3.014931u$.

ד. ענה על הסעיפים הבאים:

i. רשום את הנוסחה של תהליך ההתפרקות.

ii. חשב את האנרגיה הקינטית הכוללת של תוצרי ההתפרקות.
הצג את תשובתך ביחידות MeV.

15) בגרות 2002

גרעין ביסמוט $^{211}_{83}Bi$ הוא גרעין רדיואקטיבי. לגרעין זה שני אופני התפרקות:
באחד נוצר גרעין הבת פולוניום $^{211}_{84}Po$, ובאחר נוצר גרעין הבת טליום $^{207}_{81}Tl$.

א. רשום את הנוסחה המתארת את התהליך הרדיואקטיבי המביא להיווצרות של כל אחד מגרעיני בת אלה.

ב. האם אפשר לקבוע מראש, לגבי גרעין ביסמוט $^{211}_{83}Bi$ מסוים, אם הוא עתיד להתפרק לגרעין $^{211}_{84}Po$ או לגרעין $^{207}_{81}Tl$? הסבר.

ג. חלק מגרעיני הבת שהתקבלו מהתפרקות הביסמוט ממשכים להתפרק בתהליך α לאיזוטופ יציב של עופרת, $^{}_{82}Pb$.
חלק אחר מגרעיני הבת שהתקבלו מהתפרקות הביסמוט מתפרק בתהליך β, לאותו איזוטופ של עופרת.
כתוב את הנוסחאות המתארות את שני התהליכים. ציין את מספרי המסה ואת המספרים האטומיים של כל הגרעינים המעורבים בכל אחד מהתהליכים.

ד. זמן מחצית החיים של גרעין $^{211}_{84}Po$ הוא 0.52 שניות.

זמן מחצית החיים של גרעין $^{207}_{81}T\ell$ הוא 4.77 דקות.

ברגע מסוים נמצאים במדגם של גרעיני ביסמוט שבתהליך התפרקות 10^{18} גרעיני $^{211}_{84}Po$ ו-10^{21} גרעיני $^{207}_{81}T\ell$.

i. חשב, עבור אותו רגע, את קצב ההצטברות של גרעיני האיזוטופ היציב של העופרת, שמקורם בגרעיני ה-$^{211}_{84}Po$ (ביחידות של גרעינים לשנייה).

ii. חשב, עבור אותו רגע, את קצב ההצטברות של גרעיני האיזוטופ היציב של העופרת, שמקורם בגרעיני ה-$^{207}_{81}T\ell$.

תשובות סופיות:

1) א. 6 פרוטונים , 8 נויטרונים.

ב.i. $^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e$, $^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{-}B$, הקרינה הנפלטת היא אלקטרון (או B^-).

ii. חוק שימור המטען. ג. $T \approx 2900_{years}$. ד. $T\frac{1}{2} = 3.836 \cdot 10^{-10}\frac{1}{sec}$.

ה.i. $R(t) = 39.2Bq$. ii. 3000 שנה.

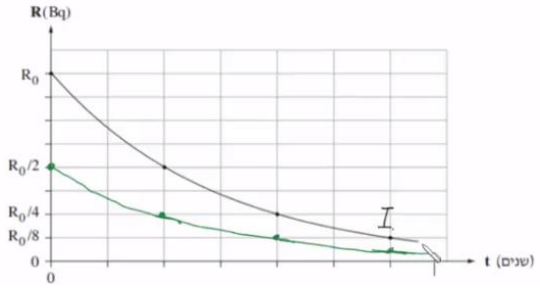
2) א. α - 3 התפרקויות , β^- - 2 התפרקויות. ב. מספר אטומי – 84 , מספר מסה – 218.

ג.i. $T_{\frac{1}{2}} = 3.825_{days}$. ii. $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6}\frac{1}{sec}$. ד. פולניום.

3) א. 38 – המספר האטומי (פרוטונים) , 90 – מספר המסה (נוקלואינים).

ב. 87 שנים. ג. $N = 1.34 \cdot 10^{22}$. ד.i. $\lambda = 7.57 \cdot 10^{-10}\frac{1}{sec}$.

ii. $R_0 = 1.01 \cdot 10^{13}Bq$. ה.



4) א. ראה סרטון. ב. $^{3}_{2}He$. ג. iii. ד. $\Delta 28.3MeV$ ה. ii.

5) א. ראה סרטון. ב. $^{222}_{86}R_n \rightarrow ^{218}_{84}Po + ^{4}_{2}He$. ג. $T_{\frac{1}{2}} = 3.8_{days}$.

ד.i. $R = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$. ii. $t = 18.5_{days}$. ה. ראה סרטון.

6) א.i. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{93}_{38}Sr + 3\cdot ^{1}_{0}n$. ii. ראה סרטון.

ב. האנרגיה שיש להשקיע או לתת לגרעין מסוים בממוצע כדי לעקור ממנו נוקלאון בודד. ג. גדולה. ד. $\frac{E_{B\,Xe}}{A} = 8.29MeV$.

7) א. $^{131}_{52}Te \rightarrow ^{131}_{53}I$. ב. $^{131}_{53}I \rightarrow ^{131}_{54}Xe + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ג.i. קצב התפרקות יסוד רדיואקטיבית / כמה התפרקויות ביחי' זמן (שניה), $B_q \leftarrow \frac{1}{sec}$.

ii. $R_{Te} > R_I$. ד. ראה סרטון. ה. יוד : 91.7% , טלור : $4.58 \cdot 10^{-16} \rightarrow 0$.

8) א. ראה סרטון. ב.i. חומר שהגרעין שלו אינו יציב והוא מתפרק/ יכול להתפרק בפרק זמן מסוים לגרעין אחר. ii. $^{30}_{15}P \rightarrow ^{30}_{14}Si + ^{0}_{+1}e + \nu$.

ג. $\frac{1}{8}$. ד.i. ראה סרטון. ii. 511keV כל פוטון.

9) א. $^{235}_{92}U \rightarrow ^{146}_{58}Ce + ^{85}_{34}Se + 4^{1}_{0}n$. ב. $\Delta E = 1105MeV$.

ג. אנרגיה קינטית לתוצרים , אנרגיה של פוטונים שנפלטים מהגרעין.

ד. האנרגיה שיש להשקיע כדי לעקור בממוצע נוקלאון בודד מהגרעין.

ה. ראה סרטון.

10) א. $^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$. ב. $N_{\alpha} = 8$, $N_{\beta^-} = 6$.

ג. 40%. ד. $T_{\frac{1}{2}} = 4.54 \cdot 10^{9}_{\text{years}}$. ה. $t = 3.35 \cdot 10^{9}_{\text{years}}$.

11) א. פרוטונים: 47 , נויטרונים: 60. ב. לא.

ג.i. תהליך 1: $^{107}_{47}Ag + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{108}_{47}Ag$, תהליך 2: $^{108}_{47}Ag \rightarrow ^{108}_{48}X + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ii. חוק שימור המטען, חוק שימור מס' הנוקלאונים הכולל.

ד. $N_0 = 3.2 \cdot 10^{29}$. ה. $\frac{1}{3}$.

12) א.i. $^{27}_{13}A\ell + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$. ii. נויטרון.

ב. חוק שימור המטען, חוק שימור מספר הנוקלאומים. ג. $E_b = 225MeV$ ד. $^{40}_{20}Ca$.

13) א. ראה סרטון. ב. $^{214}_{82}Pb \rightarrow ^{214}_{83}Bi + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ג. התפרקות α , $^{218}_{84}Po \rightarrow ^{214}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$. ד.i. $T_{\frac{1}{2}} = 0.45_{\text{hours}}$.

ii. $N_0 = 7.02 \cdot 10^{7}$.

14) א. הוכחה. ב. $\Delta E = 2.23MeV$. ג. לא. ד.i. $^{3}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ii. $\Delta E = 0.0186MeV$.

15) א. התפרקות β^-: $^{211}_{83}Bi \rightarrow ^{211}_{84}Po + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$, התפרקות α: $^{211}_{83}Bi \rightarrow ^{207}_{81}Te + ^{4}_{2}He$.

ב. לא. ג. $^{211}_{84}Po \rightarrow ^{207}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$ -ו $^{207}_{81}Te \rightarrow ^{207}_{82}Pb + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$.

ד.i. $R_{Po} = 1.33 \cdot 10^{18}Bq$. ii. $R_{Te} = 2.42 \cdot 10^{18}Bq$.