

כורי ביקוע גרעיניים

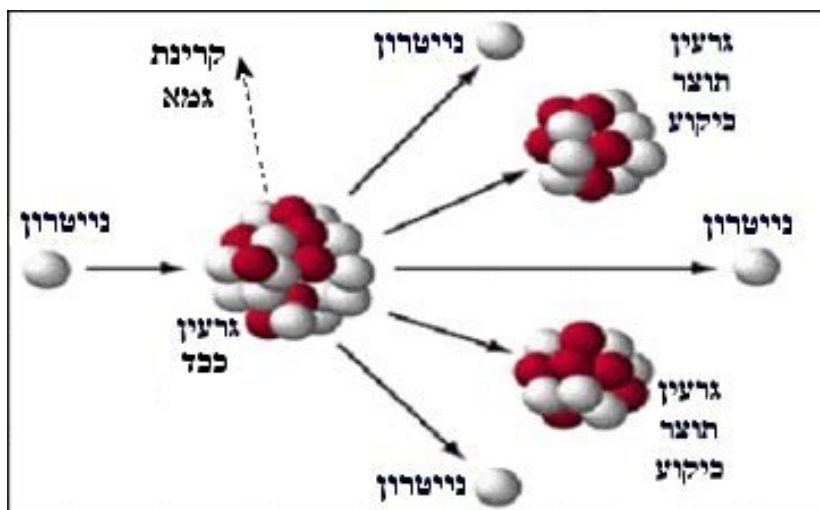
באפריל 1986 ארע פיצוץ אדיר בתחנת החשמל הגרעינית בצ'רנוביל, שבאוקראינה. שרשרת תקלות גרמה לפיצוץ בכור הביקוע הגרעיני ששימש להפקת אנרגיה, ממנו נהרגו באופן מיידי 30 בני אדם. הפיצוץ בצ'רנוביל נחשב לאחד מהאסונות הסביבתיים החמורים ביותר שהשפעותיו ניכרים עד היום. כתוצאה מהפיצוץ נוצר ענן חומרים רדיואקטיביים שהלך והתפשט באטמוספירה והגיע למרחק אלפי קילומטרים. חלק מהחומרים הומטר במי גשמים אל הקרקע, וחלקו צנח כאבק. את השפעתו חשו בכל רחבי אירופה ואפילו בארה"ב ויפן. חצי מיליון אנשים פונו מבתיהם. 2000 יישובים הפכו למעשה ל"ערי רפאים". גם ב-2006 עשרים שנים מאז התאונה, הכניסה לאזור מוגבלת מאוד.

על פי נתוני האו"ם, כתשעה מיליון בני אדם, מחציתם ילדים, נפגעו כתוצאה מהקרונה הרדיואקטיבית שנפלטה מהכור בצ'רנוביל. מומחים מעריכים כי כתוצאה מהענן הרדיואקטיבי יגרמו כמיליון מקרי סרטן חדשים, מחציתם יהיו קטלניים.

מהו התהליך של ביקוע גרעיני?

ביקוע גרעיני מתקבל כאשר מפציצים בנייטרונים גרעינים של יסודות כבדים*, כגון אורניום (U^{235}). הנייטרון הפוגע בגרעין, נבלע בו, וגורם ליצירת גרעין **בלתי יציב**, המתפרק (מתבקע) לשני גרעינים קלים יותר. בהתפרקות זו נפלטים גם מספר נייטרונים נוספים, וקרינת גמא (ראו איור). לתוצרי הביקוע הנפלטים יש אנרגיה קינטית (אנרגיית תנועה) רבה, אותה ניתן לנצל בכור הגרעיני. היסודות הכבדים המשמשים כדלק גרעיני מיוצרים בצורת מוטות, כדי שביניהם ניתן יהיה להכניס את מוטות הבקרה השולטים בקצב התגובה הגרעינית.

* הגרעין של יסוד כבד מורכב ממספר רב של פרוטונים ונייטרונים



שאלה 1

בתהליך ביקוע גרעיני של אורניום כתוצאה מפגיעת נייטרון, משתחררים לפחות 2 נייטרונים. כל אחד מהנייטרונים הנפלטים יכול לגרום לביקוע של אטומי אורניום אחרים. כל אחד מאטומי אורניום אלו יפלוט בתהליך הביקוע לפחות 2 נייטרונים נוספים, שכל אחד מהם יכול לביקוע אטומי אורניום נוספים. זוהי **תגובת שרשרת**, שבכל שלב בה נפלט מספר גדול יותר של נייטרונים.

אם התהליך שתואר אינו מבוצע בצורה מבוקרת, מספר גרעיני האורניום המתבקעים גדל באופן מהיר, וכך גדלה גם כמות האנרגיה המשתחררת, ונגרם הפיצוץ המוכר לאנושות **כפצצת האטום**.

א. אם בכל תהליך של ביקוע גרעיני נפלטים 2 נייטרונים, כמה נייטרונים יפלטו לאחר 4 שלבים?

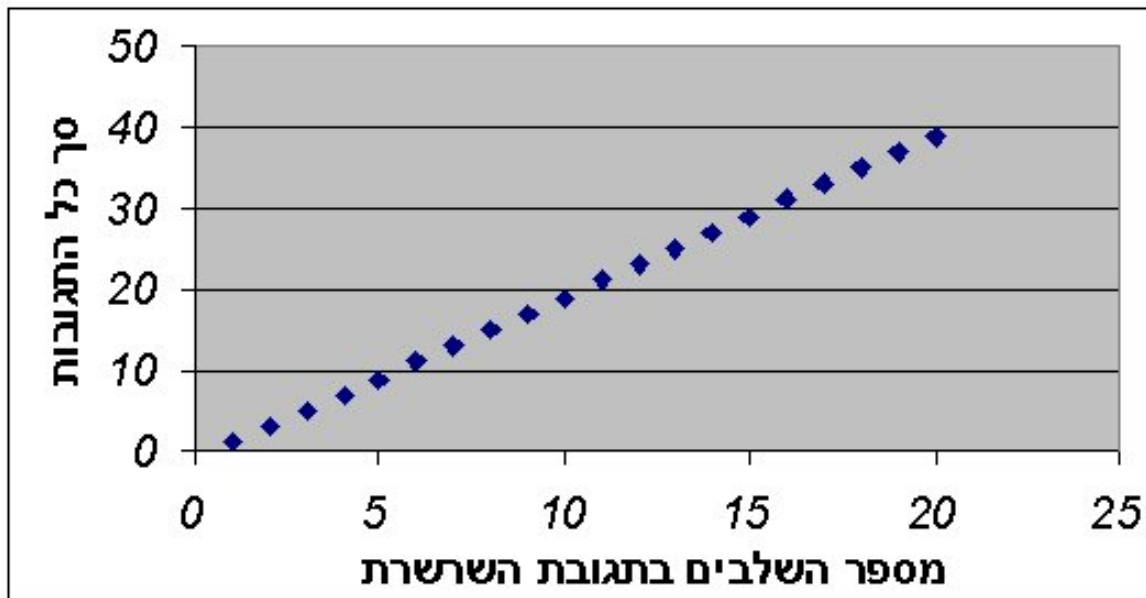
ב. לאחר איזה שלב יעלה מעל 100 סך כל מספר הנייטרונים שיפלטו מכל השלבים?
ג. מה תהיה תשובתכם לסעיף ב' אם מכל שלב של תהליך הביקוע הגרעיני היה נפלט רק נייטרון אחד?

שאלה 2

בכור גרעיני הדלק הוא בצורת מוטות דלק, וביניהם **מוטות בקרה** הבנויים מחומר הבולע נייטרונים, ומשמשים לוויסות תהליך שחרור האנרגיה בעת הביקוע הגרעיני. מוטות הבקרה מורדים על ידי מערכת אוטומטית אל בין מוטות הדלק הגרעיני ובולעים חלק מהנייטרונים שנפלטו בעת הביקוע. כתוצאה מכך קטן מספר הנייטרונים הפוגעים במוטות הדלק הגרעיני, ולכן מתרחשות פחות תגובות גרעיניות וקטן מספר הנייטרונים שמשתחררים כתוצאה מתגובות אלה. פעולה זו מונעת התרחשות של פיצוץ גרעיני. אסונות התרחשו בכורים גרעיניים כאשר מוטות הבקרה לא ירדו אל בין מוטות הדלק.

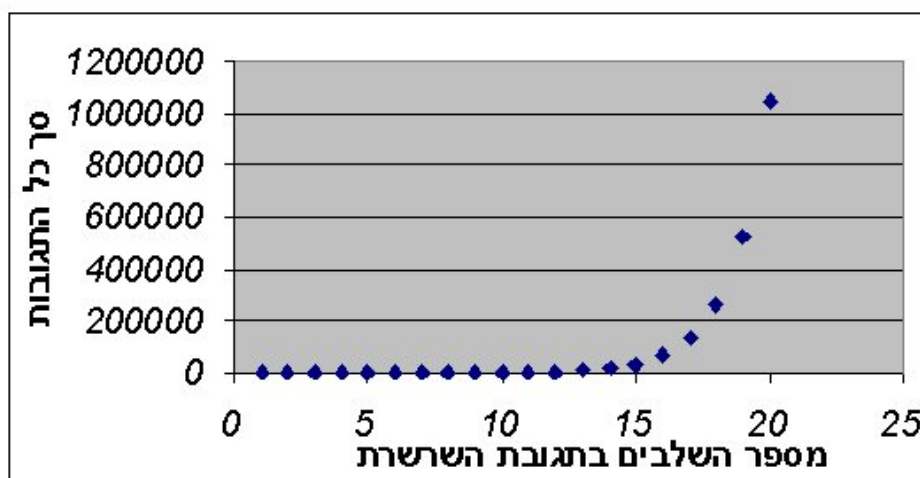
לפניכם שני גרפים המתארים את סך כל התגובות המתרחשות כפונקציה של מספר השלבים בתגובת השרשרת בשני מיקרים (בהנחה שכל נייטרון הנפלט בתגובה גרעינית נבלע במוטות הדלק או במוטות הבקרה, ואינו יוצא אל מחוץ למערכת):

♣ **ביקוע מבוקר** - מצב שבו בתהליך הגרעיני נבלעים רוב הנייטרונים בחומרים אחרים ולא באורניום, ובכל שלב רק **מספר קבוע** (בדוגמה בגרף: 2) של נייטרונים מסך כל הנייטרונים הנפלטים ימשיכו להיבלע בגרעיני אורניום נוספים. זוהי דוגמה **לגידול במספר קבוע (תוספת)**, המתואר על ידי **גרף קווי (ליניארי)**.



גרף 1: סך כל התגובות הגרעיניות כפונקציה של מספר השלבים בביקוע מבוקר (במספר קבוע)

♣ **ביקוע לא מבוקר** - מצב שבו בכל תהליך ביקוע גרעיני משתחררים 2 נייטרונים, שכל אחד מהם יוצר תגובה גרעינית. זהו **גידול בקצב קבוע (הכפלה)**, היוצר גרף מעריכי (בחזקה).



גרף 2: סך כל התגובות הגרעיניות כפונקציה של מספר השלבים בביקוע לא מבוקר

- הסבירו מדוע נראה הגרף של גידול בקצב קבוע כקו ישר שערכו כביכול קבוע (אפס) בשלבים הראשונים (עד לתגובה 14).
- לגבי כל אחד מהמקרים שתוארו, לאחר כמה שלבים יהיה סך כל מספר התגובות גדול ממיליון (10^6)?
- מתי על פי הגרף המעריכי יגיע מספר סך כל התגובות לכמות של יותר מ-2 מיליון? הסבירו את תשובתכם.

קטעי מידע לשאלות 3-5:

- א. התוצרים המתקבלים בסוף תגובת השרשרת של הביקוע הגרעיני הם רדיואקטיביים (פולטים קרינה מסוכנת ליצורים חיים). בחלק מהמקרים הקרינה נפלטת למשך זמן ארוך, היכול להימשך מאות אלפי שנים! לכן יש לאחסן, לתקופות ארוכות מאוד את טונות חומרי הפסולת (מוטות הדלק) שנוצלו בכורים הגרעיניים, כך שלא יגרמו נזקים.
- ב. בכור גרעיני המשמש להפקת חשמל לא מתרחש תהליך בעירה, ולכן אין פליטת מזהמים כגון פחמן דו-חמצני לאטמוספירה.
- ג. כור גרעיני יכול לשמש לייצור חשמל רק למשך מספר עשרות שנים. לאחר תקופת השימוש, קירות המבנה יהפכו להיות רדיואקטיביים, ויש לכסותו בבטון. לאחר סגירת הכור נמשכת פליטת קרינה רדיואקטיבית ולכן האזור הקרוב אליו הופך להיות מסוכן למגורי אדם.
- ד. שינוע (העברה) מוטות הדלק אל הכור הגרעיני ולאחר השימוש ממנו אל אתרי האחסון הוא יקר ומסוכן.
- ה. כמות האנרגיה הנפלטת בתהליך ביקוע גרעיני גבוהה בכמה סדרי גודל (פי כמעט 10 מיליון) מכמות האנרגיה הנפלטת בתהליך כימי, כמו תהליך השריפה של דלק מחצבי: נפט, פחם וגז. מתהליך הביקוע של גרם אחד של אורניום U^{235} ניתן להפיק כמות אנרגיה של 8.2×10^{10} ג'ול, השקולה לכמות האנרגיה המתקבלת בשריפת 2.3 טון פחם.
- ו. העלות הישירה (שאינה כוללת את עלות איחסון תוצרי הפסולת) של הפקת חשמל מדלק גרעיני נמוכה מזו של דלקים מחצביים (כגון: פחם ונפט).

שאלה 3

התבססו על קטעי המידע א'-ו' ורשמו שני נימוקים בעד ושני נימוקים נגד השימוש בדלק גרעיני להפקת חשמל בכורים גרעיניים.

שאלה 4

צוללות גרעיניות, שאספקת האנרגיה להפעלתן היא באמצעות כורי ביקוע גרעיני יכולות להישאר מתחת לפני המים למשך תקופות ארוכות (מעל חודש ימים).
התייחסו לתהליך הפקת אנרגיה מחומרי דלק מחצביים והסבירו מדוע צוללת המונעת באמצעות דלק מחצבי אינה יכולה לשהות מתחת לפני המים לתקופות ארוכות.

שאלה 5

לפניכם היגדים המתייחסים לדמיון ולשוני בין תחנת חשמל הפועלת באמצעות שריפת דלק מחצבי, לבין תחנת חשמל הפועלת באמצעות דלק גרעיני.
סמנו ליד כל היגד אם הוא מתייחס לדמיון או לשוני.

- | | |
|------------|--|
| דמיון/שוני | א. הפקת החשמל בתחנה מתבצעת באמצעות גנראטורים. |
| דמיון/שוני | ב. סיבוב הגנראטורים מבוצע באמצעות טורבינות. |
| דמיון/שוני | ג. האנרגיה המופקת היא תוצאה של התרחשות תגובה כימית. |
| דמיון/שוני | ד. סיבוב הטורבינות מבוצע באמצעות קיטור בלחץ (אדי מים חמים). |
| דמיון/שוני | ה. חימום המים ויצירת הקיטור מבוצעים באמצעות תהליך בעירה. |
| דמיון/שוני | ו. כמות חומר הדלק הדרושה להפעלת התחנה קטנה (עשרות קילוגרמים בשנה). |

שאלה 6

לאור הביקוש הגבוה לאנרגיה חשמלית הועלה צורך להקים בישראל תחנות חשמל נוספות.
הביע/י דעתך לגבי הקמת תחנת חשמל גרעינית בישראל.