

נתון חומר (דמיוני) עם משקל אטומי  $A=300$  בשם "תרגיליום". לגרעיני התרגיליום יש חתך להתנגשות עם חלקיקים בשם "תלמידונים" שערכו 10barn. בהתנגשות שכזו יש שלוש אפשרויות: א. בליעה של התלמידון – בסיכוי  $p_0$ , ב. פיזור של התלמידון בכיוון אקראי באופן איזוטרופי – בסיכוי  $p_1$ , ג. התלמידון מבקע את גרעין התרגיליום תוך בליעתו ופליטת שני תלמידונים חדשים בכיוון אקראי באופן איזוטרופי – בסיכוי  $p_2$ , (כמובן, מתקיים:  $p_0+p_1+p_2=1$ ). מכיוון שבאחת מהאפשרויות נפלטים שני תלמידונים מהתנגשות של תלמידון אחד, אוכלוסיית התלמידונים יכולה לגדול. מערכת קריטית מוגדרת ככזו בה מתקיים מצב גבולי בו אוכלוסיית התלמידונים היא יציבה (אינה דועכת ואינה גדלה).

מטלות:

- חשבו את המסה הקריטית (באמצעות האלגוריתם שיתואר להלן) עבור כדור של תרגיליום עם צפיפות חומרית אחידה  $\rho = 30 \text{ g/cm}^3$  ועם:  $p_0 = 0.2$ ,  $p_1 = 0.5$ ,  $p_2 = 0.3$ . האלגוריתם נסמך על בדיקה של כדורים ברדיוסים שונים. הציגו טבלה בה מפורט כל רדיוס שנבדק והאם כדור ברדיוס שכזה הוא תת קריטי או על קריטי. כמו כן, הציגו את הרדיוס הסופי שנבחר כקריטי ואת מסת הכדור שהתקבל.
- חשבו את תלות המסה הקריטית בצפיפות על ידי חישובה עבור הצפיפויות  $10 \text{ g/cm}^3$ ,  $20 \text{ g/cm}^3$ ,  $30 \text{ g/cm}^3$ ,  $40 \text{ g/cm}^3$  וכולי, עד  $100 \text{ g/cm}^3$ . הציגו טבלה עם הצפיפות והמסה הקריטית וכן גרף של המסה הקריטית כפונקציה של הצפיפות, העבירו קו מגמה (לא בהכרח ליניארי) והסבירו את הנוסחה.
- חשבו מסה קריטית עבור צפיפות  $\rho = 30 \text{ g/cm}^3$  עם ערכים שונים של הסיכויים, כפי שמופיע בטבלה הבאה:

0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	$p_0$
0.25	0.30	0.35	0.45	0.47	0.49	0.50	0.51	0.53	0.55	0.57	0.65	0.70	0.75	$p_1$
0.45	0.40	0.35	0.35	0.33	0.31	0.30	0.29	0.27	0.25	0.23	0.25	0.20	0.15	$p_2$

הציגו טבלה עם תוצאות המסה הקריטית לכל חישוב. חפשו פרמטר יחיד שהוא פונקציה פשוטה של שלושת הסיכויים, הציגו בגרף את המסה הקריטית כתלות בפרמטר זה, והסבירו את התוצאה ואת בחירת הפרמטר. הפרמטר צריך להיות כזה שעבור ערך זהה שלו, תתקבל מסה קריטית דומה גם עבור חישובים שונים בהם ערכי הסיכויים השונים לא יהיו זהים בין החישובים.

בהינתן צפיפות חומרית  $\rho \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$ , משקל אטומי  $A$  ומספר אבוגדרו  $N_{av} \approx 0.6 \cdot 10^{24}$

$$\rho_0 = \frac{N_{av} \rho}{A}$$

תהיה הצפיפות האטומית:

בהינתן חתך פעולה להתנגשות  $\sigma$ , יהיה המרחק הממוצע להתנגשות (mean free path)  $\frac{1}{\rho_0 \sigma}$ . נהוג לכתוב את חתך

הפעולה להתנגשות ביחידות barn שהן  $10^{-24} cm^2$ .

### תיאור האלגוריתם

מציאת המסה הקריטית נעשית על ידי בחינת התפתחות אוכלוסיית התלמידונים בכדור ברדיוס מוגדר. אם התפתחות האוכלוסייה מלמדת שהמערכת על קריטית, מקטינים את רדיוס הכדור ב-10% ובודקים שוב. אם המערכת תת קריטית, מגדילים את רדיוס הכדור ב-10% ובודקים שוב. כשמוצאים שני כדורים שהרדיוס שלהם שונה ב-10% ואחד מהם תת קריטי והשני על קריטי, נגדיר את הכדור שרדיוסו הממוצע בין שניהם, ככדור קריטי (ללא בדיקה) ומסתו היא המסה הקריטית המבוקשת. אפשר להשתמש במרחק הממוצע להתנגשות כרדיוס הראשון אותו בוחנים.

בחינת קריטיות בכדור ברדיוס נתון נעשית על ידי ביצוע 100 "ניסויים" נומריים לכל היותר. בכל ניסוי עוקבים אחרי התפתחות אוכלוסיית התלמידונים המתחילה בתלמידון אחד הנמצא במרכז הכדור ונע בכיוון אקראי. כל ניסוי מסתיים באחת משתי האפשרויות הבאות: (1) אין תלמידונים בכדור, (2) במהלך המעקב אחרי ההתפתחות נוצרו למעלה מ-10000 תלמידונים בכדור. מצב תת קריטי מוגדר כמצב בו כל 100 הניסויים מסתיימים באפשרות (1).

המעקב אחרי האוכלוסייה בכל ניסוי, מתבצע על ידי מעקב אחרי התלמידונים: נגדיר תלמידון תורן אחריו עוקבים (בהתחלה, פשוט התלמידון שבמרכז הכדור), נגריל מרחק להתנגשות, נשנה את מיקום התלמידון בהתאם לכיוונו ולמרחק המוגרל, אם המיקום החדש מחוץ לכדור – התלמידון נעלם וצריך לעבור לתלמידון הבא (נסביר בהמשך), אחרת נגריל את סוג ההתנגשות: אם בליעה – התלמידון נעלם וצריך לעבור לתלמידון הבא, אם פיזור – נגריל כיוון חדש, אם ביקוע – התלמידון נעלם, נוספים שני תלמידונים חדשים שמתחילים במיקום הנוכחי עם כיוונים אקראיים וצריך לעבור לתלמידון הבא. כדאי לשמור מבנה נתונים המרכז את התלמידונים שנוצרו (בכל ביקוע) וכשהתלמידון התורן נעלם, נגדיר את אחד מהתלמידונים שבמבנה הנתונים כתלמידון התורן ונעקוב אחריו עד שייעלם. בנוסף, נשמור את מספר התלמידונים שנוצרו כדי להפסיק את המעקב באפשרות (2), כלומר כשנוצרים 10000 תלמידונים. אפשרות (1) שצוינה לעיל מתרחשת כשכל התלמידונים שנוצרו במהלך הניסוי (שהחל עם תלמידון אחד במרכז) נעלמו ללא שנוצרו 10000 תלמידונים במהלך חייהם.