

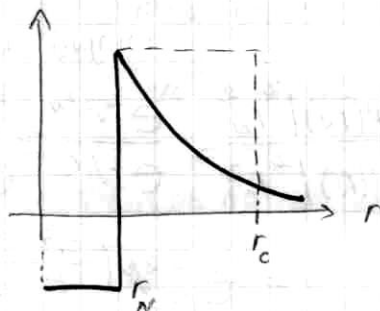
05/06/07 (5) . בינים שישי ה-9 תרגום השלמה.

(בינים שלשי (הוא אין תרגום).

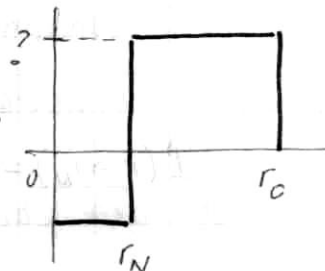
$$p+p \rightarrow d+e^++\nu$$

אנרגיה

$\Leftarrow$



$\Rightarrow$



העקום מחסום

פוטנציאל לכה, נגמר

עם מחסום ריבועי

החיה דוגמא:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

$$E = \frac{1}{2} \mu v^2 \quad v = |v_1 - v_2|$$

$$\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 \psi = [V(r) - E] \psi \quad V(r) = \frac{z_1 z_2 e^2}{r}$$

בגת (מצא) מהו אומה מחסום הפוטנציאל הריבועי (?):

$$V(r_c) = E = \frac{1}{r_c} \cdot z_1 z_2 e^2$$

$$V(r) = \underbrace{\frac{z_1 z_2 e^2}{r_c}}_E \cdot \frac{r_c}{r} = E \cdot \frac{r_c}{r}$$

:  $r_N$  -  $r_c$  סף הפוטון (NNNN)  $\delta$  (NNNN)  $\delta$  (NNNN)

$$\langle V(r) \rangle = \frac{\int_{r_N}^{r_c} 4\pi r^2 V(r) dr}{\int_{r_N}^{r_c} 4\pi r^2 dr} = \frac{\int_{r_N}^{r_c} 4\pi r^2 E \frac{r_c}{r} dr}{\int_{r_N}^{r_c} 4\pi r^2 dr} = \frac{E r_c^3 \frac{4\pi}{2}}{\frac{4\pi}{3} r_c^3} = E \cdot \frac{3}{2}$$

(16)  $r_N \rightarrow 0$

מתקן המחסום:

$$\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 \psi = \frac{E}{2} \psi$$

$$\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} (r\psi) = \frac{E}{2} \psi(r) \quad \text{פתרון:}$$

$$u = r\psi$$

$$\Rightarrow \frac{\hbar^2}{2\mu} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} = \frac{E}{2} \frac{u}{r}$$

$$\Rightarrow u'' = \frac{E\mu}{\hbar^2} u \Rightarrow u = A e^{\sqrt{\frac{E\mu}{\hbar^2}} r}$$

$$\beta \equiv \sqrt{\frac{E\mu}{\hbar^2}} \Rightarrow \boxed{\psi = \frac{A}{r} e^{-\beta r}}$$

הסיכוי למתחור:

$$\begin{aligned} P(r_c \rightarrow r_N) &= \frac{|\psi(r_N)|^2 r_N^2}{|\psi(r_c)|^2 r_c^2} = \frac{e^{2\beta r_N}}{e^{2\beta r_c}} \sim \frac{1}{e^{2\beta r_c}} \sim e^{-2\beta r_c} = \\ &= e^{-2\beta \left( \frac{z_1 z_2 e^2}{E} \right)} \cong e^{-\frac{2\sqrt{\mu}}{\hbar} z_1 z_2 e^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{E}}} \end{aligned}$$

אם חושבים את כל החישוב כמחזור של  $\pi$  מתקנים

את הסיכוי למתחור הבא:

$$\text{סיכוי (ואלית): } \boxed{g(E) = e^{-\frac{\pi \sqrt{2\mu}}{\hbar} z_1 z_2 e^2 \frac{1}{\sqrt{E}}}}$$

(אם מחשבים  $\delta$ )

הפוטון (ואלית)

(לא חקירות למחסום)

מחשבים.

$$\text{Gamow Energy: } \boxed{E_G = [\pi \alpha z_1 z_2]^2 \cdot 2\mu c^2}$$

$$\boxed{\alpha = e^2/\hbar c = \frac{1}{137}}$$

$$\mu c^2 = \frac{1}{2} m_p c^2 = 169 \text{ MeV}$$

הכיתה ראיון:

$$E_G \sim 493 \text{ keV}, \quad g(E) \sim e^{-2.2} \sim 10^{-10}$$

שאלה: נתון השטח של ניוטרונים מהטמט  $f_n = 1.1 \cdot 10^{11} \frac{1}{cm^2 \cdot sec}$

נתון גזאי ניוטרונים היפן (super kamioande) יש בו טנק ובו

50 kton מים שמצופה משפופות פוטומואלטיפליקטור. הטופופיות קולטת

את הקרינה הנקלטת כאשר נילרנו בעל אנרגיה סל מספיק גדולה

מתקש באלקטרון. מה קצב הגילוי פר ביבור ניוטרון פר יום אם  $10^{-6}$

מהניוטרונים הטמט יש מספיק אנרגיה לאינטרקציה הנ"ל:  $\sigma = 10^{-43} cm^2$  חתך פולסה.

$$M_{טנק} = 50 \cdot 10^3 ton = 5 \cdot 10^{10} gr$$

תשובה:

$$m_{H_2O} = 18 m_H = 3 \cdot 10^{-23} g$$

$$N_{H_2O} = \frac{M_{טנק}}{m_{H_2O}} = \frac{5 \cdot 10^{10} gr}{3 \cdot 10^{-23} gr} = \frac{5}{3} 10^{33}$$

$$N_e = [2+8] N_{H_2O} = 1.66 \cdot 10^{34}$$

(מס' אלקטרונים במימן - 2)  
מס' אלקטרונים בחמצן - 8

קצב:  $R = N_e \cdot f_n \cdot \sigma = 0.00018 \frac{1}{sec} = 15.7 day^{-1}$

$$\hookrightarrow 1.66 \cdot 10^{34} \cdot 1.1 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-43}$$

נתון

שאלה: כמה ניוטרונים זנוגרים דרך ציפון? לניה ששטח הציפון הוא  $1 cm^2$

$$1.11 \cdot 10^{11} \frac{1}{sec \cdot cm^2} \cdot 1 cm^2 = 1.11 \cdot 10^{11} \frac{1}{sec}$$

פתרון:

כעת נניח שכולנו עשויים ממים ונחשב את כמה הניוטרונים שיעשו

אינטרקציה בטנק הציפון:  $1.1 \cdot 10^{11} \frac{1}{cm^2 \cdot sec} \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-43} cm^2$  מס' אלקטרונים.

כעת ניצטר כיצד קיבלנו בכיתה את החור  $f_n = 1.1 \cdot 10^{11} \frac{1}{cm^2 \cdot s}$

$$R_{\mu p} = 3.9 \cdot 10^7 \frac{1}{cm^3 \cdot sec}$$

ניוטרונים אחד כל כמה שניות?

בסוף לא נעשה את זה כי יש רעש...

08/06/07

(6)

חומי מניין לכל נטליסטי - גישה איכותית:

$$h_e = \frac{z}{A} \cdot \frac{p}{m_p}$$

מרחק אופייני בין חלקיקים

$$\Delta x \sim \frac{1}{h_e^{1/3}} \sim \left[ \frac{z}{A} \frac{p}{m_p} \right]^{-1/3}$$

$$\left( \lambda_{dB} = \frac{h}{p} \right)$$

כ' מרחק אופייני קטן מאורך גל זה-בורה:  $\Delta x \ll 1$ 

סימון אי-הוודאות:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \sim \hbar$$

$$\Delta p_x \sim \hbar \left[ \frac{z p}{A m_p} \right]^{1/3}$$

$$P \sim n_e \cdot v_x \cdot p_x$$

↓                      ↓  
מהירות            תנע

$$v_x = \frac{p_x}{m}, \quad n_e = \frac{z}{A} \cdot \frac{p}{m_p}$$

↓

$$P \sim \underbrace{\frac{z}{A} \cdot \frac{p}{m_p}}_{n_e} \cdot \underbrace{\hbar \left[ \frac{z p}{A m_p} \right]^{1/3} \cdot \frac{1}{m_e}}_{v_x} \cdot \underbrace{\hbar \left[ \frac{z p}{A m_p} \right]^{1/3}}_{p_x}$$

↓

$$P \sim \left[ \frac{z p}{A m_p} \right]^{5/3} \cdot \frac{\hbar^2}{m_e}$$

התוצאה המדויקת עבור מרחק מנין אלקטרוני:

$$P_e = \left( \frac{3}{\pi} \right)^{2/3} \frac{\hbar^2}{20 m_e} \left[ \frac{z p}{A m_p} \right]^{5/3}$$

תרומה: מצאו אי-הוודאה שמה קיים שיוויון בין מרחק תרומה למרחק מנין עבור טמפר

הצתה של המימן (היא:  $T = 2.3 \cdot 10^7$  K)

$$P_{\text{MNR}} = \left( \frac{3}{\pi} \right)^{2/3} \frac{\hbar^2}{20 m_e} \left[ \frac{z p}{A m_p} \right]^{5/3}$$

פתרון:

$$P = n_e k_B T = \frac{p^2}{A m_p} k_B T$$

$$\left( \frac{z p}{A m_p} \right)^{2/3} = k_B T \frac{20 m_e}{\hbar^2} \left( \frac{\pi}{3} \right)^{2/3}, \quad f = \frac{3 M}{4 \pi r^3}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{1}{2m_p}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3M}{4\pi r^3}\right)^{\frac{2}{3}} = k_B T \frac{20m_e}{\hbar^2} \left(\frac{\pi}{3}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\Rightarrow \frac{M^{\frac{2}{3}}}{r^2} = k_B T (m_p)^{\frac{2}{3}} \frac{20m_e}{\hbar^2} \left(\frac{\pi}{3}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{4\pi}{3}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$|E_g| = 2|E_{th}| \quad \text{נ"ס ווייאלס'}$$

$$\frac{3}{2} N k_B T = \frac{1}{2} \frac{GM^2}{r}$$

$$N = \frac{M}{\bar{m}} = \frac{M}{(m_p/2)} \quad \bar{m} = \frac{m_H}{2} = \frac{m_p}{2}$$

$$\frac{3}{2} \frac{2M}{m_p} k_B T = \frac{1}{2} \frac{GM^2}{r}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{6k_B T}{m_p GM} \Rightarrow \frac{1}{r^2} = \frac{36(k_B T)^2}{m_p^2 (GM)^2}$$

$$M^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{36(k_B T)^2}{m_p^2 (GM)^2} = k_B T (m_p)^{\frac{2}{3}} \frac{20m_e}{\hbar^2} \left(\frac{\pi}{3}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{4\pi}{3}\right)^{\frac{2}{3}}$$

נ"ס הפקטורים המספריים נותנים בערך 8.8, סה"כ מקבלים:

$$M^{\frac{4}{3}} = \frac{k_B T}{m_p^{\frac{2}{3}} G^2 \frac{m_e}{\hbar^2}} \cdot 0.8$$

$$N \approx 3.6 \cdot 10^{-52} \text{ erg} \cdot g^{-\frac{4}{3}}$$

$$M \sim 0.1 M_\odot \quad \text{נ"ס אחר } k_B \text{ ואלה ה- } T \text{ הנתון:}$$

$$\rho \propto \frac{M}{r^3} \quad \text{נכיתה ואין את הקשר בין הווייאלס' למסה:}$$

$$(1) \quad \rho \propto r^{\frac{5}{3}} \sim \frac{M^{\frac{5}{3}}}{r^5}$$

$$(2) \quad \rho \sim \frac{GM\rho}{r} \sim \frac{GM^2}{r^4}$$

נ"ס הווייאלס' למסה:

$$\frac{M^{\frac{5}{3}}}{r^5} \sim \frac{M^2}{r^4}$$

תנאים: מה היא המסה ה"התחלתית" של ננס לבן שגילו האיום.

$$|E_{th}| = \frac{1}{2} |E_g| \quad \text{נ"ס ווייאלס'}$$

$$E_{th} = \frac{3}{2} k_B T \frac{M}{\bar{m}}$$

$$\bar{m} = m_{He} = \frac{2m_p + 2m_n + 2m_e}{3} = \frac{4m_p}{3}$$

ל חישוב-3 כי יש 3 סוגי חלקיקים.

(כך אין של חלקיק).

$$E_{th} = \frac{3}{2} k_B T \frac{M}{\frac{4}{3} m_p} = \frac{9}{8} k_B T \cdot \frac{M}{m_p}$$

$$E_g = \frac{3}{5} \cdot \frac{GM^2}{r}$$

$$\frac{9}{8} k_B T \frac{M}{m_p} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{GM^2}{r}$$

$$k_B T = \frac{4}{15} \cdot \frac{GMm_p}{r}$$

קטרי בין רדיוס למסה (ללא נדל ביטול):

$$r \sim M^{-\frac{1}{3}}$$

$$r = 2.3 \cdot 10^9 \left( \frac{Z}{A} \right)^{\frac{5}{2}} \left( \frac{M}{M_\odot} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$M^{\frac{4}{3}} \sim k_B T$$

$$M = 1 M_\odot \quad \text{נבחר גודל מסה:}$$

$$r \sim 7.2 \cdot 10^8 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow T \sim 6 \cdot 10^8 \text{ K} \quad \text{לפני}$$

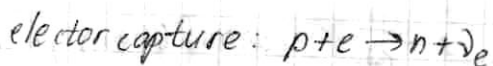
אם נציב גודל מסה זהו הקטור בין המסה למסה אחר  $1 M_\odot$  נקבל:

$$\Rightarrow \text{אנרגיה} \quad (2 \text{ פרקטור 2}). \quad T \sim 6 \cdot 10^8 \text{ K}$$

(גודל מסה)

כמה מינים של כוכב ניוטרונים:

אנ' מספיק מהירות:



$\geq 1 \text{ MeV}$  אנרגיה הדחשה פנים נק.