יחסות פרטית

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}=\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

אינוריאנט לורנץ: $E^2-P^2c^2=m^2c^4$

אפקט דופלר היחסותי:

למערכות צירים מתקרבות:

$$f_{observed}=\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}f_0 \qquad \lambda_{observed}=\sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}\lambda_0$$

למערכות צירים מתרחקות:

$$f_{observed}=\sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}f_0 \qquad \lambda_{observed}=\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}\lambda_0$$

- ☒ אם מהירות הפוטון כמהירות המערכת - $\beta>0$, אחרת $\beta<0$!

קרינת גוף שחור

עוצמת הפליטה של גוף שחור:

$$R_{[\frac{Watt}{m^2}]}=\sigma\cdot T^4 \quad \left(\sigma=5.67\cdot10^{-8}{}_{[\frac{Watt}{m^2(^oK)^4}]}\right)$$

חוק וין:

$$\lambda_{\max}\cdot T_{[^oK]}=2.898\cdot10^{-3}{}_{[m\cdot{}^oK]}$$

$$\frac{\nu_{\max}}{T}=5.879\cdot10^{10}{}_{[\frac{Hz}{^oK}]}$$

פיזור בראג

נוסחת בראג להתאבכות בונה: $2d\sin\theta=n\lambda$

אפקט קומפטון

נוסחת קומפטון:

$$\lambda_2-\lambda_1=\frac{h}{\underbrace{m}_{particle\ mass}\cdot c}(1-\cos\theta)=h_c(1-\cos\theta)$$

עיקרון אי הודאות של הייזנברג

$$\Delta x\cdot\Delta p=const.\geq\frac{\hbar}{2} \qquad \Delta E\cdot\Delta t=const.\geq\frac{\hbar}{2}$$

Δx ***- סטיית תקן:*** $\Delta x=\sigma=\sqrt{\langle x^2\rangle-\langle x\rangle^2}$

גלים

משוואת הגלים: $\frac{\partial^2\psi(x,t)}{\partial x^2}=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\psi(x,t)}{\partial t^2}$

פתרון כללי: $\psi(x,t)=F(x-vt)+G(x+vt)$

גל הרמוני: $\psi(x,t)=A\cos(kx-\omega t)$

$$k=\frac{2\pi}{\lambda} \quad \omega=2\pi f=\frac{2\pi}{T} \quad v_{phase}=\frac{\omega}{k} \quad v_{group}=\frac{\partial\omega}{\partial k}$$

האפקט הפוטואלקטרי

מהירות מקסימלית: $E_{k,\max}=e\cdot\underbrace{V_0}_{stopping\ potential}=\frac{m_e}{2}v_{\max}{}^2$

נוסחת איינשטיין: $e\cdot V_0=h\nu-\underbrace{\phi}_{work\ function}$

- ☒ **עוצמת האור משפיעה על עוצמת הזרם אך לא על מתח העצירה!**
- ☒ **לבדוק האם תנע האלקטרונים הנפלטים יחסותי או קלאסי! (האם $E<<m_ec^2$)**

קרינת X

תדירות סף: $h\nu_{cutoff}=\frac{hc}{\lambda_{cutoff}}=e\cdot\underbrace{V}_{acceleration\ voltage}$

קרינה קוית נובעת ממעברים פנימיים באנודה, קרינה רציפה נובעת מהאטת האלקטרונים בשפופרת ה X.

גלי דה-ברולי:

נוסחת דה-ברולי: $\lambda_{particle}=\frac{h}{p_{particle}} \quad f_{particle}=\frac{E}{h}$

עבור אלקטרון:

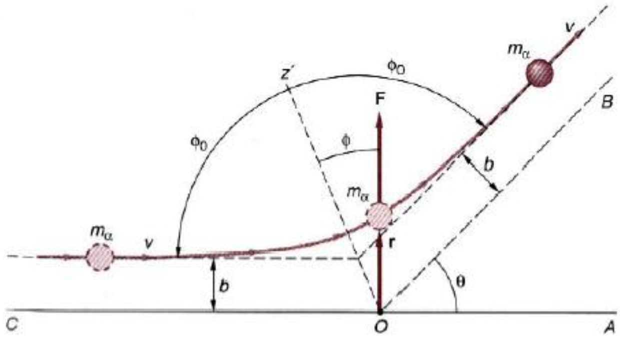
$$v_{phase}=\frac{\omega}{k}=\lambda_e\cdot\nu_e=\frac{h}{p}\cdot\frac{E}{h}=\frac{\frac{p^2}{2m}}{p}=\frac{m_ev_e}{2m}=\frac{v_{electron}}{2}$$

$$v_{group}=\frac{\partial\omega}{\partial k}=\frac{\hbar}{2m}\cdot2k=\frac{\hbar k}{m}=\frac{p}{m}=v_{electron}$$

$$\omega(k)=\frac{\hbar}{2m}k^2 \quad p_{electron}=\frac{h}{\lambda}=\hbar k \quad E_{electron}=\frac{p_e{}^2}{2m_e}=\frac{\hbar^2k^2}{2m}$$

פונקציית הגל של חלקיק: **הסיכוי למצוא חלקיק מסוים במרווח מסוים פרופורציונלי ל -** $|\psi|^2$ **:** $p(x)dx=|\psi(x)|^2\ dx$

פיזור רת'רפורד



פרמטר הפגיעה: $b = \frac{1}{2}\underbrace{\left(\frac{ke^2 z_1 z_2}{E_k}\right)}_{r_{\min}}\cot\left(\frac{\theta}{2}\right)$

מספר החלקיקים המפזרים:

$$\underset{\substack{\text{num.of nuclei}\\ \text{at target}}}{N_t} = \underset{\substack{\text{num.of nuclei}\\ \text{at target per cm}^2}}{n_t} \cdot \underset{\substack{\text{thickness}\\ \text{of layer}}}{t} \cdot \underset{\substack{\text{area of}\\ \text{beam}}}{s}$$

מס' החלקיקים היחסי שמתפזר בזוית גדולה מ - θ:

$$\underset{\substack{relative\\ scattered\\ particles}}{f} = \frac{\begin{pmatrix} num.of\ \ particles \\ scattered\ at\ angle \geq \theta \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} total\ num.of \\ particles\ scattered \end{pmatrix}} =$$

$$\frac{\underset{\substack{\text{particles hitting}\\ \text{target per cm}^2}}{j} \cdot N_t \cdot \pi b^2}{j \cdot s} = n_t \cdot t \cdot \pi b^2$$

$$df = \frac{1}{2} n_t t \pi r_{\min}{}^2 \frac{\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}{2\sin^3\left(\frac{\theta}{2}\right)} d\theta$$

מס' החלקיקים שפגעו בטבעת $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$:

$$N = j \cdot N_t \cdot S_{ring} = j \cdot N_t \cdot \pi(b_2^2 - b_1^2)$$

אלמנט שטח על המסך: $dS = 2\pi r \sin\theta \cdot r d\theta$

אלמנט זוית מרחבית: $d\Omega = \frac{dS}{r^2} = 2\pi \sin\theta d\theta$

$$\frac{dn}{d\Omega} = j \cdot s \cdot \frac{df}{d\Omega} = \frac{1}{16} j N_t \frac{r_{\min}{}^2}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

מרחק מינימלי של חלקיקים מהגרעין:

$$D_{\min} = \frac{1}{2}\frac{ke^2 z_1 z_2}{E_k}\left(1 + \frac{1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}\right)$$

תנאי לסטיה מנוסחת רת'רפורד: $D_{\min} \leq r_{nucleus}$

מודל בוהר לאטום המימן

תנע זויתי: $L = \vec{r} \times m\vec{v} = mvr = n \cdot \hbar$

משוואת כוחות:

$$\sum F = \underset{\substack{centripital\\ force}}{\frac{mv^2}{r}} - \underset{\substack{electrical\\ force, \frac{\partial V}{\partial r}}}{\frac{kze^2}{r^2}} (+\text{interactions}) = 0$$

רדיוס n: $r_n = \frac{n^2\hbar^2}{m_e \cdot z \cdot e^2}$

$$E_n = -z^2 \underbrace{\left(\frac{m_e e^4}{2\hbar^2}\right)}_{R_H} \cdot \frac{1}{n^2} = -z^2 R_H \cdot \frac{1}{n^2}$$

אנרגיה ברמה n:

$$R_H = 13.606 eV \quad \frac{1}{R_H} = 911.5\,\mathring{A}$$

רדיוס בוהר: $a_0 = \left(\frac{n^2\hbar^2}{m_e \cdot z \cdot e^2}\right)_{\substack{n=1\\ z=1}} = \frac{\hbar^2}{m_e \cdot e^2} \sim 0.529\,\mathring{A}$

מסה מצומצמת: $\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_{Nucleus}} + \frac{1}{m_{electron}}$

אנרגיה כוללת – במערכת 2 גופים: $E_k^{tot} = \frac{p^2}{2\mu}$

עקרון ההתאמה של בוהר: במעבר בין תופעות מאקרוסקופיות (קלאסיות) למיקרוסקופיות (קוונטיות) התכונות הפיזיקליות עוברות ברציפות

פליטת פוטון במעבר בין רמות אנרגיה:

$$\frac{1}{\lambda} = Rz^2\left(\frac{1}{n_i{}^2} - \frac{1}{n_f{}^2}\right)$$

$$R_\infty = \frac{E_0}{hc} = \frac{mk^2e^4}{4\pi c\hbar^3} \quad R = R_\infty\left(\frac{1}{1+\frac{m}{M}}\right)$$

חוק מוזלי

ספקטרום פליטה עבור חלקיקים לא דמויי מימן:

סדרת K (n=1): $\nu = \frac{c}{\lambda} = cR_\infty(1 - \frac{1}{n^2})(z-1)^2$

סדרת L (n=2): $\nu = \frac{c}{\lambda} = cR_\infty\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)(z-7.4)^2$

משוואת שרדינגר

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\Psi(x,t)}{\partial x^2}+V\cdot\Psi(x,t)=i\hbar\cdot\frac{\partial\Psi(x,t)}{\partial t}$$

פתרונות למשוואה

✓ אם V=const - $\Psi(x,t)=e^{\pm(kx\mp\omega t)}$

✓ אם V=V(x) - $\Psi(x,t)=\varphi(x)e^{-i\omega t}=\varphi(x)e^{-i\frac{Et}{\hbar}}$

לאחר הצבה במשוואה תתקבל המשוואה הבאה:

משוואת שרדינגר הבלתי תלויה בזמן

$$\frac{-\hbar}{2m}\varphi''(x)+V(x)\varphi(x)=E\cdot\varphi(x)$$

נדרוש כי $\int_{-\infty}^{\infty}\varphi(x)dx=1$, וכן $\varphi(x),\varphi'(x)$ רציפות.

בור פוטנציאל ריבועי חד מימדי אינסופי

$$\varphi(x)=\sqrt{\frac{2}{L}}\sin(kx)$$

$$k_n=\frac{n\pi}{L}=\sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}\qquad E_n=\frac{\hbar^2k^2}{2m}=\underbrace{\left(\frac{h^2}{8mL}\right)}_{E_1}\cdot n^2=E_1\cdot n^2$$

$$\Psi_n(x,t)=\varphi(x)e^{-i\omega t}=\sqrt{\frac{2}{L}}\cdot\frac{1}{2i}\left[\underbrace{e^{i(k_nx-\omega t)}}_{\text{left travelling wave}}-\underbrace{e^{-i(k_nx+\omega t)}}_{\text{right travelling wave}}\right]$$

בור פוטנציאל ריבועי חד מימדי סופי

$$\varphi(x)=\begin{cases}Ae^{\alpha x} & x\le-\frac{L}{2}\\ Be^{ikx}+Ce^{-ikx} & -\frac{L}{2}\le x\le\frac{L}{2}\\ De^{-\alpha x} & x\ge\frac{L}{2}\end{cases}$$

$$\alpha^2=\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}$$

מדרגת פוטנציאל

עבור $v=\begin{cases}0 & x\le 0\\ V_0 & x>0\end{cases}$,

$$\varphi(x)=\begin{cases}Ae^{ikx}+Be^{-ikx} & x\le 0\\ (A+B)e^{iKx} & x>0\end{cases}$$

$$k^2=\frac{2mE}{\hbar}\quad K^2=\frac{2m(E-V_0)}{\hbar}$$

מקדם החזרה: $R=\frac{B^2}{A^2}$ **מקדם העברה:** $T=\frac{C^2}{A^2}\cdot\frac{K}{k}$

אופרטורים ומדידות

אנרגיה - $E=i\cdot\hbar\cdot\frac{\partial}{\partial t}$ **תנע** - $P=-i\hbar\frac{\partial}{\partial x}$

ערך תוחלת של משתנה x: $<x>=\int_{-\infty}^{\infty}\Psi^*\cdot x\cdot\Psi dx$

(עבור פונק' גל לא מנורמלת, $<x>=\frac{\int_{-\infty}^{\infty}\Psi^*\cdot x\cdot\Psi dx}{\int_{-\infty}^{\infty}\Psi^*\cdot\Psi dx}$)

סיכוי המעבר בין רמות אנרגיה:

$$<\underbrace{e}_{\text{electron charge}}\ x\ \underbrace{E}_{\text{Electric field}}>=$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}\Psi^*\cdot e\cdot x\cdot E\cdot\Psi dx$$

אוסילטור הרמוני חד מימדי

עבור פוטנציאל מהצורה $\left(\omega^2=\frac{k}{m}\right)$ $V(x)=\frac{1}{2}kx^2$:

$$\varphi_n(y)=A_n\underbrace{H_n(y)}_{\text{Hermit polynomial}}\cdot e^{-\frac{y^2}{2}}\quad\left(y\equiv\left(\frac{mk}{\hbar^2}\right)^{\frac{1}{4}}x\right)\quad E_n=\left(n+\frac{1}{2}\right)\hbar\omega$$

סיכוי המעבר בין רמות ($\neq 0$ אך ורק אם $n=m\pm1$):

$$<\varphi_m|exE|\phi_n>=\int_{-\infty}^{\infty}\varphi_n^*\cdot|exE|\cdot\phi_m dx$$

פונקציות הגל הראשונות:

$$\Psi_0=\left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}}e^{-\frac{y^2}{2}}\qquad\Psi_1=\left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}}\sqrt{2}ye^{-\frac{y^2}{2}}$$

$$\Psi_2=\left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}}\left(\frac{2y^2-1}{\sqrt{2}}\right)e^{-\frac{y^2}{2}}\qquad\Psi_3=\left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}}\left(\frac{2y^3-3y}{\sqrt{3}}\right)e^{-\frac{y^2}{2}}$$

$$\alpha=\frac{m\omega}{\hbar}\qquad y=\sqrt{\alpha}x$$

מנהור

עבור פוטנציאל מהצורה: $V(x)=\begin{cases}0 & x\le 0\\ V_0 & 0<x<L\\ 0 & x\ge L\end{cases}$

$$\varphi(x)=\begin{cases}Ae^{ikx}+Be^{-ikx} & x\le 0 & k^2=\frac{2mE}{\hbar^2}\\ Ce^{-\alpha x}+De^{\alpha x} & 0<x<L & \alpha^2=\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}\\ Fe^{ikx} & x\ge L & k^2=\frac{2mE}{\hbar^2}\end{cases}$$

מקדם החזרה: $R=\frac{B^2}{A^2}$

מקדם העברה:

$$T=\frac{F^2}{A^2}=\frac{1}{1+\frac{V_0^2}{4E(V_0-E)}\sinh^2\left(\sqrt{\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}}\cdot L\right)}$$

בגבול שבו $\sqrt{\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}}\cdot L>>1$, $\boxed{T\to e^{-k\sqrt{V_0-E}L}}$

ביטוי מקורב נוסף: $T\xrightarrow{k\cdot l\ge 1.5}16\frac{E}{V_0}\left(1-\frac{E}{V_0}\right)e^{-2kL}$

<u>חלקיק בתיבה (בור פוטנציאל ריבועי תלת-מימדי אינסופי)</u>

עבור פוטנציאל מהצורה:
$$V(x,y,z)=\begin{cases} & 0\le x\le L \\ 0 & 0\le y\le L \\ & 0\le z\le L \\ \infty & otherwise\end{cases}$$

הפתרון ע"י הפרדת משתנים ופתרון לכל ציר למקרה החד מימדי:

$$\Psi_n(x,y,z)=A_n\underbrace{\sin(k_{n1}x)}_{\psi_{n1}(x)}\cdot\underbrace{\sin(k_{n2}y)}_{\psi_{n2}(y)}\cdot\underbrace{\sin(k_{n3}z)}_{\psi_{n3}(z)}$$

$$k_{n1}=\frac{n_1\pi}{L}\quad k_{n2}=\frac{n_2\pi}{L}\quad k_{n3}=\frac{n_3\pi}{L}$$

$$E_n=\frac{\hbar^2}{2m}\left[k_{n1}^2+k_{n2}^2+k_{n3}^2\right]=\underbrace{\frac{\hbar^2\pi^2}{2mL^2}}_{E_0}\left(n_1^2+n_2^2+n_3^2\right)$$

מצבים שונים בעלי אותה אנרגיה – **מצבים מנוונים**

אם הבור לא סימטרי:

$$k_{n1}=\frac{n_1\pi}{L_1}\quad k_{n2}=\frac{n_2\pi}{L_2}\quad k_{n3}=\frac{n_3\pi}{L_3}$$

$$E_n=\frac{\hbar^2}{2m}\left[k_{n1}^2+k_{n2}^2+k_{n3}^2\right]=\frac{\hbar^2\pi^2}{2m}\left(\frac{n_1^2}{L_1^2}+\frac{n_2^2}{L_2^2}+\frac{n_3^2}{L_3^2}\right)$$

<u>משוואת שרדינגר בקואורדינאטות כדוריות</u>

$$-\frac{\hbar^2}{2\underbrace{\mu}_{\text{reduced mass}}}\cdot\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\Psi}{\partial r}\right)-$$

$$\frac{\hbar^2}{2\mu}\cdot\frac{1}{r^2}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\Psi}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2\Psi}{\partial\varphi^2}\right]+$$

$$V(r)\Psi=E\Psi$$

הפתרון עבור אטום המימן:

$$\Psi_{n,l,m_l,m_s}=C_{n,l,m_l}\cdot R_{n,l}(r)\cdot\underbrace{f_{l,|m_l|}(\theta)\cdot e^{im_l\varphi}}_{Y_{l,m}(\theta,\varphi)-\text{spherical harmonics}}\cdot\chi$$

$f_{l,m_l}(\theta)$ פולינום טריג' שדרגתו l ,

$$R_{n,l}(r)=e^{-\frac{r}{na_0}}\cdot\frac{a_0}{r}\underbrace{L_{n,l}\left(\frac{r}{a_0}\right)}_{\text{Leguerre polynomials}}$$

(ניתן למצוא את n מהחזקה, או מדרגת הפולינום 1+)

$$E_n=-\left(\frac{kZe^2}{\hbar}\right)\frac{\mu}{2n^2}=-\frac{Z^2E_1}{n^2}\quad E_1=\frac{\mu}{2}\left(\frac{ke^2}{\hbar}\right)^2\sim 13.6_{[eV]}$$

אופרטור היטל התנע הזויתי: $\hat{L}_z=-i\hbar\frac{\partial}{\partial\varphi}$

סה"כ אלקטרונים בקליפה n: $2\sum_{l=0}^{n-1}(2l+1)=2n^2$

<u>מספרים קוונטיים</u>

	פונק' הגל	ערך תצפית	מס' קוונטי	ערכים אפשריים
φ	$g(\varphi)=e^{im\varphi}$	$<L_z>=m_l\hbar$	m_l	$-l\le m\le l$ $2l+1$ ערכים
θ	$f(\theta)$ פולינומי Legendre	$<L>=\sqrt{l(l+1)}\hbar$	l	$0\le l\le n-1$ n ערכים
r	$R(r)$-קשור לפולינומי Laguerre	$<H>=$ $E=-\frac{z^2E_0}{n^2}$	n המס' הקוונטי הראשי	$1\le n\le\infty$
spin	χ	$<S>=\sqrt{s(s+1)}\hbar=\sqrt{\frac{3}{4}}\hbar$ $<S_z>=m_s\hbar=\pm\frac{\hbar}{2}$	m_s	$s=\frac{1}{2}$ $m_s=\pm\frac{1}{2}$

במעבר בין רמות, כללי הברירה: $\Delta l=\pm1\quad\Delta m_l=0,\pm1$

<u>ספין</u>

אפקט זימן – בנוכחות שדה מגנטי קבוע $\vec{B}=B\hat{z}$,

$$E=E_n+\mu_BB\cdot m_l$$

בגלל כללי הברירה, באפקט זימן יש 3 מעברים שונים אפשריים

$$\mu_B=\frac{e\hbar}{2m_e}=9.27\cdot10^{-24}\left[\frac{J}{Tesla}\right]=5.79\cdot10^{-5}\left[\frac{eV}{Tesla}\right]=5.79\cdot10^{-9}\left[\frac{eV}{Gauss}\right]$$

עקרון פאולי – לא יתכנו שני פרמיונים בעלי אותו מצב קוונטי באותה רמת אנרגיה!

<u>ניסוי שטרן גרלך</u> – שדה מגנטי משתנה

$$\vec{F}_{B_z}=-\mu_z\frac{d\vec{B}_z}{dz}\hat{z}$$

$$\mu_z=-\mu_B\left(\frac{L_z}{\hbar}+2\frac{S_z}{\hbar}\right)=-\mu_B\underbrace{g_l}_{=1}m_l-\mu_B\underbrace{g_s}_{\sim2}m_s$$

אפקט זימן המורחב - $E_{n,m_l,m_s}=E_n+m_l\mu_BB+2m_s\mu_BB$

<u>הטבלה המחזורית</u>

$$\underbrace{1}_{n=1}\underbrace{s}_{l=0}^{\overset{\text{2 electrons in shell}}{2}}\quad\underbrace{2}_{n=2}s^2p^6\ \underbrace{3}_{n=3}s^2p^6d^{\cdots}\ldots\underbrace{s}_{l=0}^{\cdots}\ \underbrace{p}_{l=1}^{\cdots}\ \underbrace{d}_{l=2}^{\cdots}\ \underbrace{f}_{l=3}^{\cdots}\ \underbrace{g}_{l=4}^{\cdots}$$

לייזרים

מהוד – מערכת של מראה מחזירה 100%,מולה מראה מחזירה חלקית (99%) ובין לבין החומר הפעיל

בליעה: $I(x)=\underset{\text{initial intensity}}{I_0}\cdot e^{-\alpha x}\quad\left(\underset{\text{absorption coefficient}}{\alpha}>0\right)$

פליטה: אם קיים היפוך אוכלוסיה,

$$I(x)=\underset{\text{initial intensity}}{I_0}\cdot e^{\gamma x}\quad\left(\underset{\text{amplification coefficient}}{\gamma}\propto\Delta N>0\right)$$

הגבר - $\underset{gain}{G}=\gamma-\alpha$

תנאי לזירה

היפוך אוכלוסיה - $\Delta N=\underset{\text{atoms in higher state}}{N_2}-\underset{\text{atoms in lower state}}{N_1}>0$

(תנאי הכרחי)

סף לזירה – כאשר $G=\gamma-\alpha=0$, תתקיים לזירה כש $G\geq 0$

עירור חזק - התווך המעורר לרוב פולט קרינה ספונטנית בקצב של כ - $\tau=10^{-8}{}_{[\text{sec}]}$

פיזיקה גרעינית

- ✓ העדפה לגרעינים זוגיים – זוגיים
- ✓ ***דחייה חשמלית*** – על מנת להוסיף פרוטון לגרעין, $E_{coulomb}\propto z^2-(z-1)^2=2z-1$
- ✓ ***מודל קליפות גרעיניות*** – הקליפות מתמלאות לפי המספרים המגיים: $2,8,20,28,50,82...$

התפרקויות רדיואקטיביות

τ - ***זמן החיים הממוצע*** $t_{\frac{1}{2}}$ - ***זמן מחצית החיים***

להתפרקות ללא יצירה:

$$\begin{cases}dN=-\lambda Ndt\\ N(t=0)=N_0\end{cases}\Rightarrow \begin{array}{l}N(t)=N_0e^{-\lambda t}\\ R=\lambda N=\underbrace{\lambda N_0}_{R_0}e^{-\lambda t}\end{array}$$

$$\tau=\frac{1}{\lambda}\qquad t_{\frac{1}{2}}=\tau\ln(2)$$

להתפרקות עם יצירה R_0 ***קבועה:***

$$\begin{cases}dN+\lambda N=R_0\\ N(t=0)=0\end{cases}\Rightarrow \begin{array}{l}N(t)=\frac{R_0}{\lambda}(1-e^{-\frac{t}{\tau}})\\ R(t)=R_0(1-e^{-\frac{t}{\tau}})\end{array}$$

יחידות קרינה:

$$1_{[Ci]}=3.7\cdot 10^{10}\left[\frac{decays}{\sec}\right]$$

$$1_{[\mu Ci]}=3.7\cdot 10^{4}\left[\frac{decays}{\sec}\right]$$

$$1_{[RAD]}=100\left[\frac{erg}{gr}\right]$$

$$1_{[amu]}=\frac{1}{N_A}=1.6606\cdot 10^{-24}{}_{[g]}=931.5_{[MeV/c^2]}$$

מסות גרעיניות ואנרגיות קשר

$$B_{Atomic}=M_{nucleus}\cdot c^2+z\cdot m_e c^2-M_{Atom}c^2>0$$

$$B_{nuclear}=N\cdot\underset{\text{neutron mass}}{m_n}\cdot c^2+z\cdot\underset{\text{proton mass}}{m_p}c^2-M_{nucleus}c^2>0$$

$$=N\cdot\underset{\text{neutron mass}}{m_n}\cdot c^2+z\cdot\underset{\text{Hydrogen mass}}{m_H}c^2-M_{Atom}c^2$$

$$x+X\to y+Y+Q$$

פיחות המסה - $Q=\left(\Delta m\right)c^2=(m_x+m_X-m_y-m_Y)c^2$

פליטת α: פליטת גרעיני הליום ${}^4_2He^+$

$$A\to A-4\quad Z\to Z-2\quad N\to N-2$$

$$Q=\left(M_{{}^A_ZX}-M_{{}^{A-4}_{Z-2}Y}-M_{{}^4_2He}\right)c^2$$

פליטת β: קרינת אלקטרונים / פוזיטרונים

קרינת β^- ***- תגובה ספונטנית:*** $n\to p+e^-+\underset{\text{anti-neutrino}}{\bar{\nu}}$

$${}^A_ZX\to{}^{A-4}_{Z-2}Y+{}^4_2He\qquad Q=(M_{{}^A_ZX}-M_{{}^A_{Z+1}Y})c^2$$

קרינת β^+ ***- במאיצים:*** $<energy>+p\to n+\underset{positron}{e^+}+\underset{neutrino}{\nu}$

$${}^A_ZX\to{}^A_{Z+1}Y+e^-+\bar{\nu}_e\quad Q=(M_{{}^A_ZX}-(M_{{}^A_{Z-1}Y}+2m_e))c^2$$

תפיסת אלקטרון: $p+e^-\to n+\nu$

$${}^A_ZX\to{}^A_{Z-1}Y+e^++\nu_e\qquad Q=(M_{{}^A_ZX}-M_{{}^A_{z-1}Y})c^2$$

פליטת γ: ${}^A_ZX^*\to{}^A_ZX+\gamma$, קרינה אל"מ עם אורך גל קצר מאד, נובעת ממעברים בין הקליפות הגרעיניות – **קרינה בדידה!**

שימושי התפרקויות גרעיניות

תיארוך ${}^{14}C$ ***:***

$$\frac{\underset{\text{frequency in matter}}{{}^{14}C_N}}{\underset{\text{frequency in nature}}{{}^{14}C_{N_D}}}=e^{-\frac{t_{(age)}\cdot\ln(2)}{t_{1/2}}}\quad\begin{pmatrix}{}^{14}C_{N_D}=1.3\cdot 10^{-12}\\ t_{1/2}=5730_{[years]}\end{pmatrix}$$

הגרעין המרוכב: $\Delta t=\frac{\underset{\text{nuclear diameter}}{d}}{v}$, לכן לפי עיקרון אי הודאות רוחב פליטת γ :

$$\Delta E\geq\frac{\hbar}{2\Delta t}=\frac{\hbar v}{2d}\Rightarrow\Delta\nu=\frac{v}{4\pi d}$$

ביקוע והיתוך גרעיני:

אם רוצים לשלוט בתגובת ביקוע צריך שהניוטרונים יתנגשו בעצמים קלים אך לא ייקלטו בהם, דרוש ממתן (moderator), למשל מים כבדים / פחמן

הגדרות:

איזוברים – גרעינים בעלי אותו A

איזוטופים – גרעינים בעלי אותו Z

איזוטונים – גרעינים בעלי אותו N

גרעיני ראי – גרעינים המקיימים $N_1=Z_2,\ N_2=Z_1$

הגרעין היציב ל – A נתון:

$$z=\left[\frac{\left(m_n-M_H\right)+4a_4+\frac{a_3}{A^{\frac{1}{3}}}}{\frac{8a_4}{A}+\frac{2a_3}{A^{\frac{1}{3}}}}\right]$$

<u>מצב מוצק</u>

פוטנציאל גבישי ב $NaCl$**:** $V(r)=-\alpha\frac{e^2}{r_0}\left[\frac{r_0}{r}-\frac{1}{n}\left(\frac{r_0}{r}\right)^n\right]$

קבוע מודלונג: $\underline{fcc}:\alpha=1.7476\quad \underline{bcc}:\alpha=1.7627$

<u>מודל פרמי למתכת</u>

<u>מודל א' – בור פוטנציאל חד מימדי אינסופי</u>

$$E_n=E_1n^2=\frac{\hbar^2}{8m_eL^2}n^2$$

רמת פרמי: אם נמלא N אלקטרונים בזוגות עד $n=\frac{N}{2}$,

$$E_f=E_1\left(\frac{N}{2}\right)^2=\frac{\hbar^2}{32m_e}\left(\underbrace{\frac{N}{L}}_{\substack{\text{electron density}\\ \text{in potential hole}}}\right)^2\quad\left(\frac{N}{L}\cong\sqrt[3]{\frac{N}{V}}\right)$$

אנרגיה ממוצעת לאלקטרון: $\bar{E}_e=\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{\frac{N}{2}}E_1n^2\cdot\underbrace{2}_{\substack{\text{because}\\ \text{of spin}}}=\frac{E_f}{3}$

צפיפות המצבים: $g(E)=\frac{dN}{dE}$

צפיפות האכלוס: $n(E)dE=\underbrace{F(E)}_{\substack{\text{Fermi distribution}\\ \text{function}}}\cdot g(E)dE$

<u>מודל ב' – בור פוטנציאל אינסופי תלת-מימדי בעל צלע L</u>

$$E=E_1\left(n_1^2+n_2^2+n_3^2\right)=E_1R^2$$

$$N(E)=\underbrace{2}_{spin}\cdot\underbrace{\frac{1}{8}\cdot\frac{4}{3}\pi R^3}_{\substack{\frac{1}{8}\text{th of sphere}\\ \text{volume}}}=\frac{\pi}{3}\left(\frac{E}{E_1}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$E=\left(\frac{3}{\pi}N(E)\right)^{\frac{2}{3}}E_1$$

$$g(E)=\frac{\pi}{2}\cdot\frac{1}{E_1}\cdot\sqrt{\frac{E}{E_1}}=\frac{\pi L^3}{2}\left(\frac{8m_e}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}}\sqrt{E}$$

$$E_f\left(T=0^oK\right)=\frac{h^2}{8mL^2}\left(\frac{3N}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}}=\frac{h^2}{8m}\left(\frac{3}{\pi}\frac{N}{V}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\bar{E}=\frac{3}{5}E_f$$

אנרגיית פרמי לאלקטרונים חופשיים: $E_f=\frac{\hbar^2k_f^{\,2}}{2m_e}$

<u>מוליכות על</u>

קוי השדה המגנטי <u>לא נכנסים לחומר!</u>

נוצרת פונק' גל מקרוסקופית בגביש: $\varphi(r)=\underbrace{\varphi_0}_{\substack{\varphi_0^2-pair\\ density}}\cdot e^{-i\theta}$

תנאים למוליכות על: $\boxed{\underbrace{T<T_{critical}}_{temperature}\qquad\underbrace{H<H_{critical}}_{magnetic\ field}}$

תופעות במוליכי על

✓ בטבעת עם חתך ברוחב d, הסיכוי למנהור $\propto e^{-\sqrt{V_0}d}$

✓ השטף המגנטי שיכול לעבור דרך הטבעת: $\left(\Phi_0=\frac{h}{2e}\right)\quad\Phi_B=n\Phi_0$

<u>חלקיקים יסודיים</u>

<u>פרמיונים</u> – חלקיקים בעלי ספין חצי-שלם ($\frac{1}{2},\frac{3}{2}...$)

פרמיונים מורכבים מקווארקים ($u,d,\bar{u},\bar{d}$) ולפטונים ($e^{\pm},\mu^{\pm},\tau^{\pm},\nu_{e/\mu/\tau}$)

<u>בוזונים</u> – מתווכים ($\underbrace{\gamma}_{photons},z_0,w^{\pm},G$)

<u>קווארקים</u> – מרכיבים 2 קבוצות של חלקיקים:

<u>מזונים (Mesons)</u> הבנויים מקווארק ואנטי-קווארק, למשל $\pi^{\pm},\pi^0$ (המתווכים באינטראקציות בין פרוטונים)

<u>באריונים (Barions)</u> הבנויים מ – 3 קווארקים (פרמיונים), למשל p,n

<u>חומר ואנטי-חומר</u> – טעונים במטען הפוך. אם לא טעונים, בעלי Helicity הפוך. באנטי-חלקיקים המספרים הבאריוני והלפטוני **הפוכים בסימן!**

<u>חוקי שימור:</u>

באינטראקציות בין חלקיקים נשמרים: $\underbrace{L_e,L_\mu,L_\tau}_{Leptonic\ numbers}\ ,\ \underbrace{B}_{\substack{Barionic\\ number}}$

חלקיק	מטען	ספין	סוג
$e^{\pm},\mu^{\pm},\tau^{\pm}$	$\pm e$	$s=\frac{1}{2}$	לפטונים
ν_e,ν_μ,ν_τ	0	$s=\frac{1}{2}$	לפטונים
u up quark	$\frac{2}{3}e$	$s=\frac{1}{2}$	קווארקים
d down quark	$-\frac{1}{3}e$	$s=\frac{1}{2}$	קווארקים
γ photon	0	$s=1$	בוזונים

<u>הדרונים:</u>

באריונים:

החלקיק	מבנה	ספינים	מטען	ספין הבאריון
p	$u\,u\,d$	$\uparrow\uparrow\downarrow$	$+e$	$s=\frac{1}{2}$
n	$d\,d\,u$	$\downarrow\downarrow\uparrow$	0	$s=\frac{1}{2}$

מזונים:

למשל $\pi^{\pm}$, בנויים מקווארקים. בעלי ספין 0.