<u>דף נוסחאות בפיסיקה להנדסת תוכנה</u>

<u>מכניקה קלאסית</u>

m	v	p	a	t	F	E_k
מסה	מהירות	תנע/מספר גל	תאוצה	זמן	כוח	אנרגיה קינטית

$x(t) \overset{\frac{dx}{dt}}{\Rightarrow} v(t) \overset{\frac{dv}{dt}}{\Rightarrow} a(t) \overset{\int adt}{\Longrightarrow} v(t) \overset{\int vdt}{\Longrightarrow} x(t)$	$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$

$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$	$\frac{dp}{dt} = F$	יחס הדיספרסיה $v = \frac{1}{m}P$	הגדרה קלאסית של תנע $P = mv$

סוג התנגשות	אלסטית	פלסטית
אנרגיה קינטית	נשמרת, $E_{s1} + E_{s2} = E_{e1} + E_{e2}$	לא נשמרת (אך האנרגיה הכוללת תמיד נשמרת)
תנע במערכת מבודדת	נשמרת, $P_{s1} + P_{s2} = P_{e1} + P_{e2}$	

			מכונים גם כמשוואות תנועה		
W	V(x)	F	$\dot{x}$	$\dot{p}$	E
עבודה	פוטנציאל	כוח	קצב שינוי של מיקום לפי זמן	קצב שינוי של תנע לפי זמן	אנרגיה

$H = E_k + V = E \Rightarrow \quad E(final) = E(start) \quad \Rightarrow \quad W = K(final) - K(start)$		
$W = \int_{x_a}^{x_b} Fdx = V(x_a) - V(x_b)$	$\dot{p} = \frac{dp}{dt} = F = -\frac{dV(x)}{dx} = -\frac{dH}{dx}$	$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = \frac{dK(p)}{dx} = \frac{dH}{dp}$

<u>ניסוי שני הסדקים</u>

λ	k	Δθ	d
אורך גל	מספר גל	מרחק זוויתי בין פסי ההתאבכות	מרחק בין סדקים

הגדרה קוונטית של תנע $p = k = \frac{2\pi}{\lambda}$	$\Delta\theta = \frac{\lambda}{d}$

מתנדים/ אוסילטורים במימד 1– קפיצים, מטוטלות ותנודות

				מכונים גם כמשוואות תנועה			
W	V(x)	F	$\dot{x}$	$\dot{p}$	T	a	m	ω
עבודה	פוטנציאל	כוח	קצב שינוי של מיקום לפי זמן	קצב שינוי של תנע לפי זמן	מחזור זמן תנועה	קבוע המתנד	מסת אובייקט מחובר למתנד	תדירות תנועה

מתנד הרמוני (גוף קשור לקפיץ)	מטוטלת
משותף לשניהם $\omega = \sqrt{\frac{a}{m}}\ \dot{x} = \frac{p}{m} \to \ddot{x} = \frac{\dot{p}}{m} = -\frac{ax}{m} = -x\omega^2$	
סימונים x – מרחק מנקודת המנוחה $V(x) = \frac{ax^2}{2}$ $F = -\frac{dV(x)}{dx} = -\alpha x$	**סימונים** x – זווית מנקודת המנוחה $V(x) = -\mathrm{acos}(x)$ $F = -\mathrm{asin}\ (x)$

$x = Acos(\omega t + \varphi) \Longrightarrow \dot{x} = \frac{dx}{dt} = -A\omega sin(\ \omega t + \varphi) \Longrightarrow \ddot{x} = \frac{dx}{dt} = -A\omega^2 cos(\ \omega t + \varphi) = -\omega^2 x$	
משרעת תנועה זה |2A|	$\omega = \frac{2\pi}{T}$

גלים

n	L	λ	ψ	ω	K	E
מספר חצאי אורך גל	*מרחק*	*אורך גל*	*משוואת גל*	*תדירות גל*	*מספר גל*	*אנרגיה*

$\omega = ck$ כאשר c מהירות הקול	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
$\psi_n(x,t) = \left(A_n e^{ik_n x} + B_n e^{-ik_n x}\right)e^{-i\omega_n t} = \left(A_n \cos(k_n x) + B_n \sin(K_n x)\right)e^{-i\omega_n t}$ A_n, B_n נקבעים לפי נתוני עזר, לדוגמא צורת הפונקציה בזמן $t = 0$. פתרון כללי - $\psi(x,t) = \sum_n \psi_n(x,t)$.	

חשמל

V^{EM}	r	Q	$\mathcal{E}$	F	ρ	σ
פוטנציאל חשמלי	מרחק	מטען	שדה חשמלי	כוח חשמלי	צפיפות מטען של גוף	צפיפות מטען של משטח

מטען נקודתי	$V^{EM} = \frac{Q}{r}$	$\mathcal{E} = \frac{Q}{r^2}$
מטען גוף	$Q = \rho *$ נפח	$\mathcal{E} = \frac{4\pi Q}{(\text{שטחמעטפתגאוס})}$ חוק גאוס- שטח מעטפת גאוס זה חישוב שטח מעטפת עם המרחק של גוף אחר מהגוף בעל המטען.
מטען משטח	$Q = \sigma *$ שטח	

$W = -\triangle V = -q \triangle V^{EM}$ $W = q(V_A^{EM} - V_B^{EM})$ מתח-ΔV^{EM}	$V = qV^{EM}$ (פוטנציאל רגיל)	הפרש פוטנציאלים $\triangle V^{E.M} = -\mathcal{E} \cdot r$ ***כאשר השדה קבוע**	$\mathcal{E} = -\frac{dV^{EM}}{dr}$	$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} = q_2 \mathcal{E}_1 = -\frac{dV}{dr}$

שטף – שדה כפול שטח המעטפת בה הוא עובר $\mathcal{E} \cdot$ (שטח מעטפת)

נוסחאות חשובות לחלק זה

שטח מעטפת גליל	נפח גליל	שטח מעטפת כדור	נפח כדור
$S = 2h\pi r$	$V = h\pi r^2$	$S = 4\pi r^2$	$V = \frac{4}{3}\pi r^3$

מעגל חשמלי

V	τ	I	R	W	C	$\dot{Q}$
מתח	זמן דעיכה	זרם	התנגדות	העבודה/האנרגיה הנדרשת להטענת מוליך	קיבול מוליך	משוואה דיפרנציאלית של מעגל

מוליך בצורת לוחות

$C = \frac{A}{4\pi d}$ כאשר A הוא שטח אחד הלוחות וd הוא המרחק בין הלוחות.

$\tau = RC$	$W = \int_Q V\, dq$	עבור קבל: $W = \frac{Q^2}{2C}$	עבור נגד: $V^{EM} = IR$	עבור קבל: $V^{EM} = \frac{Q}{C}$

$V^T = \frac{temp}{q}$ q- מטען האלקטרון, לרוב עובדים עם 1	קשר בין זרם למתח $I = I_s(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$	$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q} = I$ צריך להזהר ולהגדיר מה זה זרם חיובי / שלילי כשמציירים את המעגל

חיבור במקביל – המתח זהה בכל הרכיבים במעגל. הזרם הכולל שווה לסכום הזרמים של הרכיבים.	חיבור בטור – הזרם זהה בכל הרכיבים במעגל. המתח הכולל שווה לסכום המתחים של הרכיבים.
הספק – כמות העבודה המושקעת ליחידת זמן $Power = \frac{dW}{dt}$	הספק חשמלי- $Power = V^{E.M} I$

דינמיקה סטוכטית– מעברים במערכת אתרים

Ɛ	P	D	W	w_{xy}	μ	$\frac{d<x>}{dt}$	F	t	V	a
כוח סטוכטי	יחס איזון	מקדם דיפוזיה	מטריצת מעברים	קצב תנועה מאתר y לאתר x	ניידות/ מוביליות	מהירות סחיפה	כוח	זמן	פוטנציאל	מרחק

$\frac{\triangle t}{t}=\frac{\triangle x}{x}$ *שגיאה יחסית בזמן שווה לשגיאה יחסית במקום	$\mu=\frac{wa^2}{temp}=\frac{D}{temp}$	מהירות $=\frac{d<x>}{dt}=\mu F=(w^+ + w^-)a$	$\frac{dP}{dt}=\dot{P}=\sum_n w_{mn}P_m$
$\frac{d<x^2>}{dt}=D=wa^2$	$\frac{w_{mn}}{w_{nm}}=e^{\left(\frac{V_n-V_m}{temp}\right)}$	$<x>=x_0+\mu Ft$	$(\Delta x)^2=Var(x)=2Dt->\frac{dVar(x)}{dt}=2D$

דינמיקה סטוכסטית של חלקיק בשרשרת

W=$-\gamma * 1+w^+D+w^-D^{-1}$

$\boldsymbol{\gamma}$- סכום המעברים מהאתר לפי עמודה.

1= מטריצה שבה יש אחדים על האלכסון (השאר אפסים)

אם מדובר בטבעת אז יש 1 בפינות המטריצה, אם מדובר בשרשרת אז אין (תואם להאם קיים מעבר בין האתר האחרון לראשון).

W אלכסונית בבסיס שבו D מתלכסן.

ערך עצמי של D – e^{-ik}

D=מטריצה שבה יש אלכסון אחדים מתחת לאלכסון הראשי (השאר אפסים) מכונה גם כ"אופרטור הזזה"). לדוגמה:

$$D=\begin{pmatrix}0&0&1\\1&0&0\\0&1&0\end{pmatrix}$$

$\boldsymbol{D^{-1}}$=מטריצה שבה יש אלכסון אחדים מעל לאלכסון הראשי (השאר אפסים). לדוגמה:

$$D^{-1}=\begin{pmatrix}0&1&0\\0&0&1\\1&0&0\end{pmatrix}$$

נוסחאות סטטיסטיות חשובות לנושא זה

$<x>$	Var(x)
תוחלת ערכי x	$<(x-<x>)^2>$

הזזות ותנע

$\|k>$	$\|x>$	N	a	$\widehat{D}$	$\hat{x}$	$\hat{P}$	$\hat{p}$
מצב מומנטום	מצב כלשהו	מספר האיברים בבסיס/ מספר המצבים	מרחק הזזה	אופרטור הזזה בa	אופרטור אלכסוני	אופרטור תנע	אופרטור תנע של חלקיק בודד

$\widehat{D}\|k>=e^{-i\hat{p}a}\|k>$	$\widehat{D}\|x>=\|x+a>$	$\hat{p}\|k>=k\|k>$	$\hat{x}\|x>=x\|x>$
$k=\frac{2\pi}{N}*(integer\ mod\ N)$ נזכיר ש $\|k>=\sum\frac{1}{\sqrt{N}}e^{ikx}\|x>=\frac{1}{\sqrt{N}}\begin{pmatrix}e^{ik*0}\\ \vdots\\ e^{ik*(N-1)}\end{pmatrix}$			

קיטוב פוטונים/ ספין 1

$\lvert\theta>$	$\lvert\leftrightarrow>$	$\lvert\updownarrow>$
קיטוב של פוטון בכיוון כלשהו	קיטוב של פוטון בכיוון ציר x	קיטוב של פוטון בכיוון ציר y

$prob(\theta_2\lvert\theta_1) = \lvert cos(\theta_2-\theta_1)\rvert^2$ ההסתברות למצוא פוטון בכיוון θ_2 אם הוא מקוטב בכיוון θ_1	$prob(\updownarrow\lvert\theta) = \lvert sin\theta\rvert^2$	$prob(\leftrightarrow\lvert\theta) = \lvert cos\theta\rvert^2$	$\lvert\theta> = cos\theta\lvert\leftrightarrow> + sin\theta\lvert\updownarrow>$
מצבי קיטוב אורתוגונליים (ניצבים) ב90 מעלות. כיוון ↔ נחשב זווית 0 לכן ↕ נחשב זווית 90.			

קיטוב אלקטרונים/ ספין חצי

$\lvert\theta>$	$\lvert\uparrow>$	$\lvert\downarrow>$	e_n	a_n	ψ
קיטוב של אלקטרון בכיוון כלשהו	קיטוב של אלקטרון בכיוון ציר z+	קיטוב של אלקטרון בכיוון ציר z-	מצב קיטוב בסיסי	ערך שמתאים לבסיס	מצב המערכת $\lvert\psi> = \sum\psi_n\lvert e_n>$

$prob(\theta_2\lvert\,\theta_1) = \cos^2(\frac{\theta_2-\ \theta_1}{2})$ ההסתברות למצוא אלקטרון בכיוון θ_1 אם הוא מקוטב בכיוון θ_2	$prob(\theta\lvert\downarrow) = \left\lvert sin\frac{\theta}{2}\right\rvert^2$	$prob(\theta\lvert\uparrow) = \left\lvert cos\frac{\theta}{2}\right\rvert^2$	$\lvert\theta> = cos\frac{\theta}{2}\lvert\uparrow> + sin\frac{\theta}{2}\lvert\downarrow>$ *כאשר הקיטוב במישור *ZX*
$\lvert\overrightarrow{n_{\theta,\varphi}}>= R(\varphi)R(\theta)\lvert\uparrow>= e^{-i\varphi S_z}e^{-i\theta S_y}\lvert\uparrow>= e^{-\frac{i\varphi}{2}}\cos(\frac{\theta}{2})\lvert\uparrow> + e^{\frac{i\varphi}{2}}\sin(\frac{\theta}{2})\lvert\downarrow>$ משמעות הביטוי היא שניתן לייצג כל מצב קיטוב כשרשור של סיבוב סביב ציר Y ואחריו שרשור סביב ציר Z			

שינוי בסיס

$\lvert\leftarrow>= \lvert\bar{x}>= \frac{1}{\sqrt{2}}(\lvert z> - \lvert\bar{z}>)$	$\lvert\rightarrow>= \lvert x>= \frac{1}{\sqrt{2}}(\lvert z> + \lvert\bar{z}>)$
$\lvert\bar{y}>= \frac{1}{\sqrt{2}}(\lvert z> - i\lvert\bar{z}>)$	$\lvert y>= \frac{1}{\sqrt{2}}(\lvert z> + i\lvert\bar{z}>)$
$\lvert\downarrow>= \lvert\bar{z}>= \frac{1}{\sqrt{2}}(\lvert x> - \lvert\bar{x}>) = \frac{1}{\sqrt{2}i}(\lvert y> - \lvert\bar{y}>)$	$\lvert\uparrow>= \lvert z>= \frac{1}{\sqrt{2}}(\lvert x> + \lvert\bar{x}>) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\lvert y> + \lvert\bar{y}>)$

$prob(\phi\lvert\psi) = \lvert<\phi\lvert\psi>\rvert^2$	ההסתברות למצוא את המערכת בכיוון וקטור בסיס היא המקדם של וקטור הבסיס במערכת בריבוע.
מצבי קיטוב אורתוגונליים (ניצבים) ב180 מעלות. כיוון ↑ נחשב זווית 0 לכן ↓ נחשב זווית 180.	

$\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$	$\lvert\uparrow>= \lvert z>$
$\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$	$\lvert\downarrow>= \lvert\bar{z}>$

אלגברה ליניארית

$\vec{u} = u_1\vec{e_1} + u_2\vec{e_2} + u_3\vec{e_3}\vec{v} = v_1\vec{e_1} + v_2\vec{e_2} + v_3\vec{e_3}$ $< u\|v >= u_1v_1 + u_2v_2 + u_3v_3 = \sum_i u_iv_i\,\delta_{ij} =< e_i\|e_j >= \begin{matrix} 1 & , e_i = e_j \\ 0 & , e_i \neq e_j \end{matrix}$ $< u\|\,\lambda\, v > = \lambda\ < u\,\|v >< \lambda\, u\,\|\,v > = \lambda^* < u\|v >$
$\vec{u} = u_1\vec{e_1} + u_2\vec{e_2} + u_3\vec{e_3} = u_1\|e_1 > +u_2\|e_2 > +u_3\|e_3 >= \|u >= \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix}$ $u_i =< e_2\|u > \|u\| = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{< u\|u >}$ מנורמל $u = \frac{u}{\|u\|}$
$A(\alpha\|u > +\beta\|v >) = \alpha A\|u > +\beta A\|v >$ $\|v >= A\|u > \rightarrow \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} = u_1\begin{pmatrix} A_{11} \\ A_{21} \\ A_{31} \end{pmatrix} + u_2\begin{pmatrix} A_{12} \\ A_{22} \\ A_{32} \end{pmatrix} + u_2\begin{pmatrix} A_{13} \\ A_{23} \\ A_{33} \end{pmatrix}$
$(A^t)_{ij} = A_{ji}$ $(A^\dagger)_{ij} = A_{ji}^* = ((A^*)^t)_{ij}$ אם $A^\dagger A = AA^\dagger = 1$ נאמר שA אופרטור אוניטרי, נסמן לרוב כU. אם $A^\dagger = A$ נאמר שA אופרטור הרמטי, נסמן לרוב כH. * הערה- משמעות A^* היא שלוקחים עבור כל איבר את הצמוד שלו, כלומר אם איבר הוא מספר ממשי אז זה לא משפיע אך אם האיבר הוא מהצורה $x + yi$ אז נחזיר $x - yi$ או הפוך(בהתאם לסימן של i).

אבולוציה

U(t)	H	E_n	n
אבולוציה לפי פרמטר נתון	יוצר של אבולוציה.	ערך עצמי של המילטוניאן	מצב עצמי של המילטוניאן

$U(t) = \left(U\left(\frac{t}{n}\right)\right)^n$	$U(t_1 + t_2) = U(t_2) * U(t_1)$
$U(\delta t) = 1 - iH\delta t$ כאשר δt מייצג ערך ממש קטן מייצגת אבולוציה קטנה של המערכת, *מכך נובע ש$U(t) = e^{-itH}$*	

$< i\|H\|j >$ להפעיל את H על מצב הבסיס j (לקבל את עמודה j ב-H) ולקבל את האיבר הi (האיבר בשורה i בעמודה j).	$U\|n >= e^{-iE_nt}\|n >$	$H\|n >= E_n\|n >$
$\|\psi^{t=0} >= \sum_n \psi_n\|n > \rightarrow \|\psi(t) >= U\|\psi^{t=0} >= \sum_n \psi_n e^{-iE_nt}\|n >$		

סיבובים

M_n	σ_i	S_n	R
גנרטור סיבוב סביב ציר n	מטריצת פאולי ה-i	יוצר סיבובים סביב ציר n	מטריצת סיבוב

***3x3* עולם ממשי**

$[M_i, M_j] = M_i M_j - M_j M_i$	$M_z = \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$M_y = \begin{pmatrix} 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$M_x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}$

$$M_n = n_x M_x + n_y M_y + n_z M_z$$

$R_z = \begin{pmatrix} cos\phi & -sin\phi & 0 \\ sin\phi & cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$R_y = \begin{pmatrix} cos\phi & 0 & sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -sin\phi & 0 & cos\phi \end{pmatrix}$	$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cos\phi & -sin\phi \\ 0 & sin\phi & cos\phi \end{pmatrix}$

סיבוב בϕמעלות סביב ציר n. $R_n(\Phi) = e^{-i\Phi M_n} = 1 - isin\Phi M_n - (1 - cos\Phi)M_n^2$

שרשור של סיבוב על ציר *n* ואחריו סיבוב על ציר *m*. $|\psi_{mn}> = R_m|\psi_n> = R_m R_n|\psi>$

סימטרי להזזה ציקלית (מעגלית) - $\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \cdots = \varepsilon_n$

***2x2* עולם מרוכב**

$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma_z^2 = 1$	$\sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$	$\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$
$S_i = \frac{1}{2}\sigma_i S_n = \sum_i n_i S_i$	$\sigma_z\sigma_x = i\sigma_y$ $\sigma_x\sigma_z = -i\sigma_y$	$\sigma_y\sigma_z = i\sigma_x$ $\sigma_z\sigma_y = -i\sigma_x$	$\sigma_x\sigma_y = i\sigma_z$ $\sigma_y\sigma_x = -i\sigma_z$

סיבוב בϕמעלות סביב ציר n. $R_n(\Phi) = e^{-i\Phi S_n} = e^{\frac{-i\Phi}{2}\sigma_n} = \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) - isin\left(\frac{\Phi}{2}\right)\sigma_n$

$$n = (n_x, n_y, n_z) = (sin\theta cos\varphi, sin\theta sin\varphi, cos\theta)\sigma_n = n\sigma = \begin{pmatrix} cos\theta & e^{-i\varphi}sin\theta \\ e^{i\varphi}sin\theta & -\cos\theta \end{pmatrix}$$

$$\downarrow$$

$$R_n(\Phi) = \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) - icos\theta\sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) & -ie^{-i\varphi}sin\theta\sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) \\ -ie^{i\varphi}sin\theta\sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) & \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) + icos\theta\sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) \end{pmatrix}$$

$R_x(\Phi)$	$R_y(\Phi)$	$R_z(\Phi)$
$\begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) & -i\sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) \\ -i\sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) & \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) & -\sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) \\ \sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) & \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} e^{-i\frac{\Phi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\Phi}{2}} \end{pmatrix}$

ערך תצפית ("ממוצע")

B	|a>	A	Ψ,ϕ
קצב שינוי ערך מצופה	מצב עצמי של A	אופרטור תצפית	מצבי מערכת

$Prob(\phi\|\Psi) = \| < \phi\|\Psi > \|^2$	$< A >= \sum_a aProb(a\|\Psi) = \sum_a a\| < a\|\Psi > \|^2 =< \Psi\|\mathrm{A}\|\Psi >$
בהינתן המילטוניאן H ואופרטור A ניתן להגדיר $B = i[H, A]$ כך ש $\frac{d<A>}{dt} =< B >$	

דינמיקה של חלקיק במערכת שני אתרים

P(t)	θ	H	S	c	ϵ
ההסתברות למצוא את החלקיק באותו מצב לאחר t זמן	זווית של וקטור עם ציר z	המילטוניאן	גנרטור סיבובים	קצב קפיצה של חלקיק	הפרש בין אתרים

$H = A\sigma_x + C\sigma_z + D\mathbb{I} = (2A, 0,2C) \cdot \vec{S} + D\mathbb{I} = \vec{\Omega} \cdot \vec{S} + D\mathbb{I}$			$\|\vec{\Omega}\| = \sqrt{(2A)^2 + (2C)^2}$
$\theta = \arctan\left(\frac{A}{C}\right) \rightarrow$	$\boxed{\|+>= cos\frac{\theta}{2}\|0 > +sin\frac{\theta}{2}\|1 >}$	$\boxed{\|->= -sin\frac{\theta}{2}\|0 > +cos\frac{\theta}{2}\|1 >}$ **מתקיים רק עבור $\boldsymbol{B = 0}$***	$E_\pm = \pm\frac{\Omega}{2} + D$
פורמולת רבי במערכת שני אתרים $P(t = 0) = 1 \rightarrow P(t) = \| < \Psi(t = 0)\|\Psi(t) > \|^2 = 1 - \sin^2\theta \sin^2(\frac{\Omega t}{2})$			

דינמיקה של חלקיק בח אתרים

$\hat{X}$	$\hat{p}$	c	a	V(x)	D^{-1}	D
אופרטור המיקום	אופרטור תנע	אמפליטודת המעבר	מרחק הזזה	פוטנציאל	מטריצה שבה יש אחדים מעל לאלכסון (השאר אפסים)	מטריצה שבה יש אחדים מתחת לאלכסון (השאר אפסים)

$D^{-1}\hat{x}D = \hat{x} + a$	$[\hat{x}, D] = aD$	$[\hat{x}, D^{-1}] = -aD^{-1}$	$[\hat{x}, f(\hat{p})] = if'(\hat{p})$	$[g(\hat{x}), \hat{p}] = ig'(x)$
מציאת הסיכוי למצוא חלקיק בזמן t ביחס למיקום ההתחלתי $P(t = 0) = 1 \rightarrow P(t) = \| < \Psi(t = 0)\|\Psi(t) > \|^2$				

מחשוב קוונטי

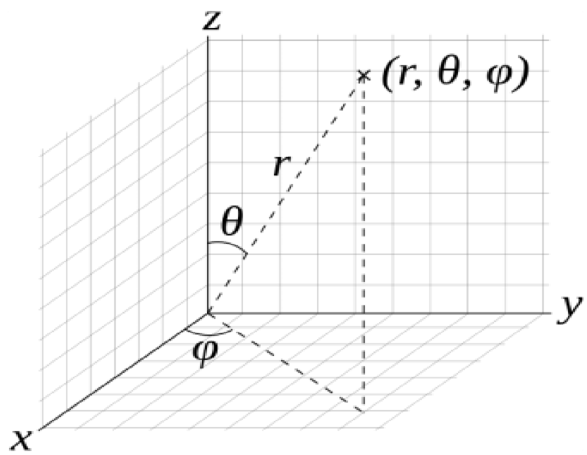
X	x_i	H	QFT
רגיסטר של קיוביטים	קיוביט	האדמארד	פורייה קוונטי

$X^A X^B = \sum_{ij} X_i^A X_j^B 2^{j+i}$	$X^A \cdot X^B = \sum_i X_i^A \cdot X_i^B$	$X = (x_0, x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=0}^{n-1} x_i 2^i$
האדמארד על ביט יחיד $H\vert x_0 >= \frac{1}{\sqrt{2}}(\vert 0 > +(-1)^{x_0}\vert 1 >)$ כלומר: $H\vert 0 > = \vert +> = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vert 0 > \ + \vert 1 >)$ $H\vert 1 > = \vert -> = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vert 0 > \ - \vert 1 >)$ $H\vert +> = \vert ->$ $H\vert -> = \vert +>$		
האדמארד על רגיסטר בעל n ביטים $H\vert X >= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_k (-1)^{kx} \vert k >$ כאשר $N = 2^n$		
פוריה על רגיסטר בעל n ביטים $QFT\vert X >= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_k J^{kx} \vert k >$ כאשר $N = 2^n, J = e^{-\frac{i2\pi}{N}}$		

שערי קיוביט

$Z = S^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} = \sigma_z = ie^{-i\pi S_z} = P(\pi) = iRZ(\pi)$	$S = T^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$	$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{\frac{i\pi}{4}} \end{pmatrix}$
$Y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} = \sigma_y = ie^{-i\pi S_y} = iR^2$	$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = \sigma_x = ie^{-i\pi S_x} = NOT$	
$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\sigma_x + \sigma_Z) = e^{-i\pi S_n} = Hadamard$		
$R = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - i\sigma_y) = e^{-\frac{i\pi}{2} S_n} = 90deg\ rotation$		
$P(\varphi) = e^{i\varphi Q} = e^{\frac{i\varphi}{2}} RZ(\varphi)$	$Q = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{2}(1 - Z)$	
שימו לב $\vert 00 > + \vert 10 >= (\vert 0 > + \vert 1 >) \otimes \vert 0 >$ נאמר ששני מצבים שזורים אם לא ניתן להוציא גורם חיצוני מצד ימין של המצבים או שהמצב השני תלוי ישירות במצב הראשון.		
כאשר שם של שער מתחיל עם האות C (לדוגמא CNOT,CX,CH)המשמעות היא שמפעילים את השער על הקלט רק במידה והקונטרול ביט הוא 1 אחרת תוצאת ביצוע השער זהה לקלט.		

נספח חזרות מרובות



פתרון משוואה דיפרנציאלית ממעלה ראשונה
$initial\ condition: f(0) = f_0$ $Equation: \frac{df}{dt} = -\lambda f + c$ $Solution:\ f(t) = \frac{c}{\lambda} + \left(f_0 - \frac{c}{\lambda}\right) e^{-\lambda t}$

נוסחת אויילר	
$e^{i\alpha} = cos\alpha + isin\alpha$ $e^{-i\alpha} = cos\alpha - isin\alpha \rightarrow \lvert e^{-i\alpha}\rvert^2 = 1$	
$e^{ix} - e^{-ix} = 2i\sin(x)$	$e^{ix} + e^{-ix} = 2cos\ (x)$

זהויות טריגונומטריות חשובות	
$\sin^4(x) = \frac{3 - 4\cos(2x) + \cos\ (4x)}{8}$	
$\cos(z) = 1 - \frac{z^2}{2} + \cdots$	
$\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$	$\tanh\left(\frac{x}{2}\right) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}}$
$sin\alpha = \cos(90° - \alpha)$ $cos\alpha = \sin\ (90° - \alpha)$	$cos2\alpha = \cos^2(\alpha) - \sin^2(\alpha)$ $\sin\alpha \cdot \cos\alpha = \frac{1}{2}\sin 2\alpha$
$\cos^2\alpha = \frac{1 + \cos\ (2\alpha)}{2}$	$\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1$
$\sin(-x) = -\sin x$	$\cos x = \cos(-x)$

$x = e^{i\theta} \rightarrow \overline{x} = e^{-i\theta}$	$x = a + ib \rightarrow \overline{x} = a - ib$	$\left\|e^{i\theta}\right\| = 1$
תוחלת קיטוב	**גודל של מספר מרוכב**	$\| \rightarrow\rightarrow>$
$< A >= \sum_n a_n P(e_n)$	$\|a + bi\| = \sqrt{a^2 + b^2}$	$\| \rightarrow> \otimes \| \rightarrow>$
כיוון אזימוטלי	וקטור יחידה	
כיוון ממוצע בבסיס החדש	$\vec{n} = \left(n_x, n_y, n_z\right) = (sin\theta cos\varphi, sin\theta sin\varphi, cos\theta), \quad \|\vec{n}\| = 1$	

נגזרות	
$\sin\left(f(x)\right)' = \cos\left(f(x)\right) \cdot f'(x)$	$\cos\left(f(x)\right)' = -\sin\left(f(x)\right) \cdot f'(x)$

אקספוננט בחזקת *i* וזווית
$e^{i*\frac{\pi}{2}} = i$
$e^{i*\pi} = -1$
$e^{i*\frac{3\pi}{2}} = -i$
$e^{i*2\pi} = e^0 = 1$

זוויות מוכרות		
$\cos(\alpha)$	$\sin(\alpha)$	α
1	0	0
$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{\pi}{6} = 30^o$
$\frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{\pi}{4} = 45^o$
$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\pi}{3} = 60^o$
0	1	$\frac{\pi}{2} = 90^o$
-1	0	$\pi = 180^o$