```
\ell ניתנת לניפוח: תהא \ell>0 שפה רגולרית אזי שפה ביתנת לניפוח ענה למת הניפוח: חבים ליחות למת הניפוח: חבים ליחות ל
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |arepsilon|=0 עבורה arepsilon\in\Sigma^* אלפבית אזי אוני יהי \Sigma
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               . אינסופית L^* אזי אזי L 
eq \{arepsilon\} וכן וכן L 
eq \varnothing אינסופית. שפה באשר באשר באשר
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      (w_1\dots w_n)^R=\langle w_n\dots w_1
angle אזי ל(w_1\dots w_n)\in \Sigma^* היפוך מילה: תהא
                                                                                                   \min\left\{\ell\in\mathbb{N}_{+}\mid\ell ניתנת לניפוח: תהא \mathcal{L} שפה רגולרית אזי \mathcal{L} ניתנת לניפוח: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   משפט: תהיינה \Sigma^* שפות רגולריות אזיL,\mathcal{L}\subset\Sigma^*
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                אזי \langle w_1 \dots w_n 
angle , \langle \omega_1 \dots \omega_m 
angle \in \Sigma^* אזי תהיינה מילים: שרשור מילים
                                                                                                                            . אינה רגולרית. אינה \left\{ x\in\left\{ 0,1\right\} ^{st}\mid\#_{0}\left( x\right) =\#_{1}\left( x\right) \right\}
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        . רגולרית L \cup \mathcal{L}
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        \langle w_1 \dots w_n \rangle \langle \omega_1 \dots \omega_m \rangle = \langle w_1 \dots w_n, \omega_1 \dots \omega_m \rangle
                                                                                                                                                                                  טענה: \{0^i 1^j \mid i > j\} אינה רגולרית.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         רגולרית. L \cap \mathcal{L}
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  (w_1\dots w_n)^m=\prod_{i=1}^m \langle w_1\dots w_n \rangle אזי איי m\in\mathbb{N} ויהי ווהי \langle w_1\dots w_n \rangle\in\Sigma^* תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    . רגולרית\overline{L}
                                                                                                                                                                 . אינה רגולרית \{a^p\mid a\in\Sigma, ראשוני ראשוני אינה אינה ראשוני
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       \#_\sigma\left(w
ight)=\left|\left\{i\in[n]\mid w_i=\sigma
ight\}
ight| אות אזי \sigma\in\Sigma אות אות w\in\Sigma^n מספר המופעים של אות במילה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            . רגולרית L \parallel \mathcal{L}
                            טענה: השפה \left\{a^ib^nc^n\mid n\in\mathbb{N},i\in\mathbb{N}_+
ight\}\cup\left\{b^nc^m\mid n,m\in\mathbb{N}
ight\} ניתנת לניפוח 1 וכן אינה רגולרית.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                תנלרית. בי לכל n \in \mathbb{N} מתקיים כי n \in \mathbb{N} רגולרית.
                    \sim_L = \left\{ (x,y) \in \left(\Sigma^*\right)^2 \;\middle|\; \forall z \in \Sigma^*. \left(yz \in L\right) \Longleftrightarrow \left(xz \in L\right) 
ight\} שפה אזי L \subseteq \Sigma^* הגדרה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       L^R = \left\{ w^R \mid w \in L 
ight\} שפה אזי L \subseteq \Sigma^* תהא תיפוך שפה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 . רגולרית L^*
                                                                                                                                                        . שפַה אזי חס הינו יחס שקילות שפַה אזי \sim_L \subseteq \Sigma^* עענה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          מסקנה: \{x \mid \#_1(x) = 0 \mod 2\} רגולרית.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           L_1 \parallel L_2 = L_1 L_2 = \{w\omega \mid (w \in L_1) \wedge (\omega \in L_2)\} שפות אזי ער שפות: תהיינה L_1, L_2 \subseteq \Sigma^* שרשור שפות: תהיינה
                                                                              L^m=\left\{\prod_{i=1}^k w_i \mid orall i\in [k] \,.w_i\in L
ight\}אוי איז א שפה תהא L\subseteq \Sigma^* תהא של שפה: תהא על שפה ויהי L\subseteq \Sigma^*
                                                                                                                                                                                                                                                                               אוטומט סופי לא־דטרמיניסטי מינוס (אסלד"ם): תהא Q 
eq \emptyset תהא הפבית הא לפבית הא O אוטומט סופי לא־דטרמיניסטי מינוס (אסלד"ם): הא עובה אוטומט סופי לא־דטרמיניסטי מינוס (אסלד"ם): היינה אוטומט היינה אוטו
                                                                                                      x\sim_{L(A)}y אוי x\sim_{A}y עבורם x,y\in\Sigma^{*} אוי אס"ד ויהיו x\sim_{L(A)}y
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        L^* = igcup_{k=0}^\infty L^k שפה אזי בL \subseteq \Sigma^* תהא סגור קליני של שפה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             Q אזי אוילד"ם אוי (Q, \Sigma, \delta, S, F) אוי מינוס: יהי ארדטרמיניסטי סופי ארדטרמיניסטי מינוס: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  .prefix (L)=\{y\in \Sigma^*\mid \exists x\in \Sigma^*.yx\in L\} שפה אזי עפה אזי עפה ברישא: תהא L\subseteq \Sigma^* אחת.
                                                                                                                       |Q| \geq \left|\Sigma^*/{\sim_A}
ight| \geq \left|\Sigma^*/{\sim_L(A)}
ight|מסקנה: יהי A אס"ד אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           .\Sigma אזי אסלד"ם אסלד אסלד אסלד (Q,\,\Sigma,\,\delta,\,S,\,F)יהי מינוס: מיניסטי מופי אדידטרמיניסטי אסלד
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  מסקנה: תהא \Sigma^*/\!\!\sim_L אזי אוים הבה עפה בL\subseteq \Sigma^* תהא מסקנה: מסקנה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          . אסלד"ם אזי (Q, \Sigma, \delta, S, F) יהי מינוסט מופי לא־דטרמיניסטס סופי אסלד"ם אזי מעברים באוטומט
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     אלגוריתם מכריע שפה: תהא A:\Sigma^*	o \{	ext{true},	ext{false}\} שפה אזי אלגוריתם L\subset\Sigma^* המקיים
                                                                                                . (סופית) איי ברוד: תהא \Sigma^*/\sim_L שפה אזי שפה אזי ברוד: תהא ברוד: תהא ברוד: תהא ברוד: תהא ברוד: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        S אזי אסלד"ם אסלד"ם אסלד"ם אזי אסלד"ם אזי אסלד"ם אזי אסלד"ם אזי אסלד"ם אזי אסלד"ם אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               A\left(x
ight)= true מקבל: לכל x\in L מתקיים \bullet
 עבורו y\in \Sigma^* והיי \Sigma^*/\sim_L שפה באשר \{x_1\dots x_n\} סופית תהא טופית הא שבה באשר באשר באשר באריינית עהא באשר באשר באריינית הא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            F אסלד"ם אזי (Q, \Sigma, \delta, S, F) אסלד"ם איניסטי מינוס: אסלד"ם אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               A\left(x
ight)= false מתקיים x
otin L לכל \bullet
                                                                                                                                                                                                                                                                               מתקיים מתקיים \hat{\delta}:\mathcal{P}\left(Q\right)	imes\Sigma^*	o\mathcal{P}\left(Q\right) אזיר שורה לכל \left(Q,\Sigma,\delta,S,F
ight) עבורה לכל מתקיים מותקיים מותקיים מורחבת: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         f:\{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^m אוי n,m \in \mathbb{N} ההיינה פולאנית: פונקציה בולאנית
אוטומט סופית ותהא \{x_1\dots x_n\} קבוצת פאטר באשר שפה באשר באשר באר תהא המחלקות: תהא המחלקות: עניגים של באיר אוטומט הופי דטרמיניסטי המחלקות: הא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             .\mathring{\delta}\left(q,x
ight)=igcup_{q\in \mathring{\delta}\left(T,x_{1}\ldots x_{n-1}
ight)}\delta\left(q,x_{n}
ight) מוכן לכל x\in \Sigma^{n} מתקיים \delta\left(T,arepsilon
ight)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   \{f_1 \dots f_n\} בסיט פונקציות בוליאניות: תהיינה f_1 \dots f_n פונקציות בוליאניות אזי
                                                                                                                                                                 באשר (Q,\Sigma,\delta,q_0,F) אזי אס"ד \Sigma^*/{\sim}_L
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       \mathcal{B} = \{\wedge, \vee, \neg\} בסיס דה־מורגן:
                                                                                                                                                                                                Q = [|\Sigma^*/\sim_L|] •
                                                                                                                                                                                                                                                                                   \hat{\delta}\left(S,x
ight)\cap F
eq arnothing המקיים x\in\Sigma^* אוטומט סופי אסלד"ם אוי אסלד"ם אוי יהי (Q,\Sigma,\delta,S,F) אוטומט סופי מינוס מקבל מילה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  הערה: תמיד נוסיף לבסיס את הפונקציות הקבועות.
                                                                                                                                                                                                                                                                               טענה: יהי M אסלד"ם ויהי x\in \Sigma^n עבורם q_0\ldots q_n\in Q וכן אזיי מקבל את מקבל אזיי מענה: יהי אזיי אסלד"ם ויהי אזיי מינה מקבל אזיי
                                                                                                                                                                                    .\delta(i, \sigma) = Class(x_i \sigma) \bullet
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      באשר f_1\dots f_n\in\mathcal{B} בסיס פונקציות בוליאניות תהיינה תהיינה תהיינה בוליאני: יהי k_1\dots k_n\in\mathbb{N}_+ באיר
                                                                                                                                                                                                         .q_0 = \operatorname{Class}(\varepsilon) \bullet
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                (q_n \in F \mid i \in [n] לכל q_i \in \delta (q_{i-1}, x_i)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              מעל G מכוון אזי איי גרף מכוון אזי אx_1 \dots x_m, y_1 \dots y_k \ \in \ \{0,1\}ותהיינה ותהיינה ותהיינה f_i \ : \ \{0,1\}^k i \ \to \ \{0,1\}
                                                                                                                                                                           .F = \left\{ i \in Q \mid x_i \in L \right\} \quad \bullet
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      L\left(M
ight)=\left\{x\in\Sigma^{*}\mid x מקבל את מינוס: יהי M אסלד"ם אזי אסלד"ם אזי אוטומט סופי לא־דטרמיניסטי מינוס: יהי א
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                המקיים \{f_1\ldots f_n, x_1\ldots x_m, y_1\ldots y_k\}
טענה: תהא X^*/\sim_L שפה באשר X^*/\sim_L שפה באשר אס"ד המחלקות של סופית תהא אס"ד המחלקות של \Sigma^*/\sim_L שפה באשר באשר ענה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                             אוטומט סופי דטרמיניסטי מינוס החזקה: יהי (Q',\Sigma,\delta',q_0,F') אסלד"ם אזי אס"ד M=(Q,\Sigma,\delta,S,F) באשר החזקה: יהי
                                                                                                                                                             .\delta_A(q_0,y) = Class(y) אזי y \in \Sigma^* ויהי L
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        Q' = \mathcal{P}(Q) \bullet
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               \deg^-(x_i) = 0 מתקיים i \in [m] לכל •
                                                                                                              .\delta'(T,x) = \bigcup_{q \in T} \delta(q,x) \bullet
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             \deg^-\left(f_i
ight)=k_i מתקיים i\in[n] לכל •
                                                                                                                                           L(N) = \{x \in [n]^* \mid \exists \sigma \in \Sigma. \#_{\sigma}(x) = 0\}
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     .q_0 = S \bullet
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              \deg^+\left(y_i
ight)=0 וכן \deg^-\left(y_i
ight)=1 מתקיים i\in[k] לכל •
 |Q|\geq 2^n איז L\left(A
ight)=\left\{x\in[n]^*\mid\exists\sigma\in\Sigma.\#_{\sigma}\left(x
ight)=0
ight\} עבורו עבורו n\in\mathbb{N}_+ איז n\in\mathbb{N}_+ איז n\in\mathbb{N}_+ טענה: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       .F' = \{ T \subseteq Q \mid T \cap F \neq \emptyset \} \bullet
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  .f_1 \ldots f_n שער: יהי מעגל בוליאני אזי
oxdot \in \Gamma ackslash \Sigma \subseteq \Gamma וכן \Sigma \subseteq \Gamma אלפבית עבורו \Gamma אלפבית יהי \Sigma אלפבית סיורינג (מ"ט): תהא Q 
eq \emptyset וכן
                                                                                                                                                                                                                                                                                                .\hat{\delta_A}\left(T,x
ight)=\hat{\delta_M}\left(T,x
ight) איי איז x\in\Sigma^* ויהי ויהי איז תהא M אס"ד החזקה של איז החזקה של ממה: יהי איז אסלד"ם יהי איז אס"ד החזקה איז תהא איז תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  E\left(C
ight) אזי מעגל בוליאני אזי מעגל מעגל מעגל יהי
יהיי \delta : (Q\setminus\{q_a,q_r\}) 	imes \Gamma 	o Q 	imes \Gamma 	imes \{L,R\} ותהא q_a \neq q_r באשר q_0,q_a,q_r \in Q יהיי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      \max_{v \in V(C)} \deg^+(v) מעגל בולינארי אזי :fan-out
                                                                                                                                                                                                  (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, q_a, q_r)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           \{G \leq C \mid 1 הוא של fan-out מעגל בולינארי אזי מעגל הולינארי אזי מעגל הייהי מעגל מעגל בולינארי אזי מעגל היידי היי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       \Sigma_{\varepsilon} = \Sigma \cup \{\varepsilon\}אזי אלפבית אזי יהי \Sigma יהי יהי סימון: יהי
                                                                                                                   Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, q_a, q_r מ"ט אזי מצבים במכונת טיורינג: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              שערוך מעגל בולינארי על קלט: יהי y_i וכן (x_1 \dots x_m) = v אזי v \in \{0,1\}^m הינו הפלט הוצר מעגל בולינארי על קלט: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                ותהיינה \delta:Q	imes\Sigma_{arepsilon}	o \mathcal{P}(Q) אוטומט טופי לא־דטרמיניסטי (אסל"ד): תהא Q
eq \emptyset קבוצה סופית יהי \Sigma אלפבית תהא
                                                                                                                  .\Sigma אזי מ"ט אזי (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, q_a, q_r) אלפבית במכונת טיורינג: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    (Q, \Sigma, \delta, S, F) אוז S, F \subset Q
                                                                                                          .\Gamma אזי ט מ"ט (Q,\,\Sigma,\,\Gamma,\,\delta,\,q_0,\,q_a\,,\,q_r) מי"ט אזי מינורינג: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        C\left(v\right)=\left(y_{1}\ldots y_{k}\right) מעגל בולינאני ויהי v\in\left\{ 0,1\right\} ^{m} אזי השערוך של V ע הוא מעגל בולינאני ויהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           Q אסל"ד אזי (Q, \Sigma, \delta, S, F) אסל"ד אזי אסל"ד אזי אסל"ד אזי
                                                                                                  .\delta אזי ט אזי (Q, \, \Sigma, \, \Gamma, \, \delta, \, q_0 \, , \, q_a \, , \, q_r) מ"ט מייט אזי מעברים מעברים מעברים מיורינג: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 C\left(w
ight)=1 עבורו w\in\{0,1\}^n אזי אזי מעגל בעל פלט מילה: יהי מעגל מקבל מילה: אזי מעגל מקבל מילה: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          .\Sigma אזי אזי (Q,\Sigma,\delta,S,F) אסל"ד אזי אסל"ד אזי אסל"ד אזי אזי
                                                                                                     q_0 מ"ט אזי ע (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, q_a, q_r) מ"ט אזי מצב התחלתי במכונת טיורינג:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               L\left(C
ight)=\left\{x\in\left\{ 0,1
ight\} ^{n}\mid x את מעגל: יהי C מעגל בעל פלט יחיד אזי C מקבל את C מעגל: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         .\delta אזי אזי (Q,\Sigma,\delta,S,F) אסל"ד אזי אסל"ד אזי אסל"ד אזי אסל"ד אזי
                                                                                                         .q_a אזי מייט מייט (Q,\,\Sigma,\,\Gamma,\,\delta,\,q_0,\,q_a\,,\,q_r) מצב מקבל במכונת טיורינג: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             מעגל מחשב פונקציה: תהא v \in \{0,1\}^n אזי מעגל בולינאני f: \{0,1\}^n 	o \{0,1\} מתקיים מעגל מחשב פונקציה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       S אזי אזי (Q, \Sigma, \delta, S, F) אסל"ד אזי אסל"ד אזי אסל"ד אזי אסל"ד אזי
                                                                                                          q_r איי מייט מ"ט (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, q_a, q_r) מצב דוחה במכונת טיורינג: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         F אזי אוי (Q, \Sigma, \delta, S, F) אזי אוי לא־דטרמיניסטי: אזי אוי אוי אוי מקבלים באוטומט פופי א
                                                                                                                                                                     .c \in \Gamma^*Q\Gamma^* קונפיגורציה: תהא M מ"ט אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             משפט אוניברסליות הראמירגן: תהא f:\{0,1\}^m	o\{0,1\}^k מעל מעל בסיס אוניברסליות משפט אוניברסליות הראמירגן: משפט אוניברסליות הראמירגן משפט אוניברסליות הראמירגן מערכות אווים אוניברסליות הראמירגן מערכות מערכות
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 q\in Qיהי אסל"ד ויהי איהי והי פביבת Sיהי יהי 
                                c=q_0v המקיימת v\in\Sigma^* עבורה קיים עבורה קיים מ"ט אזי קונפיגורציה קונפיגורציה מ"ט מ"ט אזי קונפיגורציה מרא מ"ט מ"ט מ"ט אזי קונפיגורציה מ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     .C\left(v\right)=f\left(v\right)מתקיים v\in\left\{ 0,1\right\} ^{m}
                                                                                                                                                                                                                                                                                          .E\left(q\right) = \left\{q' \in Q \mid \exists a \in Q^{k+1}.\left(a_{0} = q\right) \land \left(\forall i \in [k].a_{i} \in \delta\left(a_{i-1}, \varepsilon\right)\right) \land \left(a_{k} = q'\right)\right\}
                    .c=uq_{a}\,v המקיימים u,v\in \Sigma^{*} עבורה קיימים בורה מ"ט אזי קונפיגורציה מונפיגורציה מקבלת: תהא מ"ט אזי קונפיגורציה כרc\in \Gamma^{*}\,Q\,\Gamma^{*}
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               . מכאן והלאה כל המעגלים הם בוליאניים ומעל בסיס דה־מורגן.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               E\left(T
ight)=igcup_{q\in T}E\left(q
ight) אוי אי T\subseteq Q איז אסל"ד ויהי N אסל"ד ויהי פביבת S: יהי א
                       .c=uq_Tv המקיימים u,v\in \Sigma^* עבורה קיימים c\in \Gamma^*Q\Gamma^* איי אוי קונפיגורציה מ"ט אי קונפיגורציה בורה קיימים c\in \Gamma^*Q\Gamma^*
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              .i באורך מקבל מקבל עבורם עבורם \{C_n\,\}_{n\in\mathbb{N}} מעגלים: מעגלים של מעגלים משפחה אל
                                                                                                                                                                                                                                                                               מתקיים מתקיים לבורה לכל \hat{\delta}:\mathcal{P}\left(Q
ight)	imes\Sigma^*	o\mathcal{P}\left(Q
ight) אזי אסל"ד אי שסל"ד אזי עבורה לכל \left(Q,\Sigma,\delta,S,F
ight) בונה לכל מתקיים מונחנברים המורחבת: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    L\left(\mathcal{C}
ight)=\left\{x\in\left\{0,1
ight\}^{*}\mid x\in L\left(\mathcal{C}_{\left|x
ight|}
ight)
ight\} איי משפחה של משפחת מעגלים: תהא מעגלים: תהא
                                                                  הבאים אחד המקיימת עוברת/צעד: תהא קונפיגורציה אזי קונפיגורציה מ"ט תהא מ"ט תהא מ"ט תהא קונפיגורציה אזי קונפיגורציה אחד הבאים מ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                   \hat{\delta}\left(q,x
ight)=E\left(igcup_{q\in\hat{\delta}\left(T,x_{1}\ldots x_{n-1}
ight)}\delta\left(q,x_{n}
ight)
ight) מרץ לכל \hat{\delta}\left(T,\varepsilon
ight)=E\left(T
ight)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               L\left(\mathcal{C}
ight)=\mathcal{L} משפחה מכריעה שפה: תהא \mathcal{L}\subseteq\left\{ 0,1
ight\} ^{st} שפה אזי משפחה של מעגלים \mathcal{L}\subseteq\left\{ 0,1
ight\} ^{st}
                                              וכן c=uaqbv עבורם q,q'\in Qוקיימים וu,v\in\Gamma^*וקיימים a,b,b'\in\Gamma קיימים •
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      . שונה. שונה אלגוריתם שונה n\in\mathbb{N} לכל עבורה לכל מעגלים שונה. משפחה של מעגלים אלגוריתם שונה.
                                                                                                                                 c' = uq'ab'v וכן \delta(q, b) = (q', b', L)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                  .\hat{\delta}\left(S,x
ight)\cap F
eq arnothing המקיים x\in\Sigma^* אזי אזי (Q,\Sigma,\delta,S,F) יהי יהי מקבל מילה: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               . אהה. אלגוריתם יש אלגוריתם תכיפורמי: משפחה של מעגלים עבורה לכל n\in\mathbb{N} יש אלגוריתם אהה.
                                                                                                                                                                                                                                                                                       k_0 \ldots k_n \in \mathbb{N} ויהיו \sigma_1 \ldots \sigma_n \in \Sigma \setminus \{arepsilon\} עבורם x \in \Sigma^* יהי
\delta\left(q,b\right)=\left(q',b',L\right) כו c=qbv עבורם q,q'\in Q וקיימים u,v\in\Gamma^* וקיימים b,b'\in\Gamma פימים b,b'\in\Gamma
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        Cמספר השערים ב־|C| אזי |C| מספר השערים ב־
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        .c' = q'b'v וכן
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |\mathcal{C}_n| \leq S\left(n
ight) עבורה S: \mathbb{N} 	o \mathbb{N} איז מענלים: תהא מעגלים: תהא מעגלים: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                              וכן q_0 \in S עבורם q_0 \ldots q_n \in Q וכן \iff (x) אזי (x \in \Sigma^n אזי וויהי אסל"ד וויהי אסל"ד x \in \Sigma^n אזי (x \in \Sigma^n אזי וויהי אסל"ד וויהי
\delta\left(q,b
ight)=\left(q',b',R
ight)וכן c=uqbv עבורם q,q'\in Q וקיימים u,v\in\Gamma^* וקיימים b,b'\in\Gamma פיימים b,b'\in\Gamma
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               \mathcal{O}\left(n\cdot 2^n\right) טענה: תהא f בגודל f אזי קיים מעגל f:\left\{0,1\right\}^n 
ightarrow \left\{0,1\right\} טענה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                q_n \in F וכן i \in [n] לכל q_i \in \delta \left(q_{i-1}, x_i^{\varepsilon}\right)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |C|=\mathcal{O}\left(n\cdot 2^n
ight) וכן L\left(C
ight)=\mathcal{L} אזיי קיים מעגל L\subset\left\{0,1
ight\}^n און מסקנת: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          L\left(A
ight)=\left\{x\in\Sigma^{*}\mid x מקבל את A
ight\} מקבל איז איז אסל"ד איז אסל"ד איז אוטומט סופי לא־דטרמיניסטי: יהי A אסל"ד איז איז
 c_{i-1} וכן c_0=q_0x באשר באשר האנפיגורציות קבלת c_0\ldots c_n עבורו קיימות אויי באר מילה: תהא מ"ט אויי מקבלת מילה: עורץ אייט אויי באר באר אייט אויי אייט אויי אייט אויי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         \mathcal{O}\left(2^{n}\right) איי קיים מעגל f:\{0,1\}^{n} 
ightarrow \{0,1\} שענה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   L\left(N
ight)=L\left(M
ight) עבורו M עבור אזי קיים אסלד"ם איז אסל"ד אזי אסל"ד אזי קיים אסלד
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |C|=\mathcal{O}\left(2^{n}
ight) וכן L\left(C
ight)=\mathcal{L} אזי קיים מעגל C עבורו אזי אוכן \mathcal{L}\subseteq\left\{0,1
ight\}^{n} מסקנה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        L\left(A
ight)=L\left(M
ight) עבורו A עבור אזי קיים אסל"ד אזי קיים אס"ד א עבורו N
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   \mathcal{O}\left(rac{2^n}{a}
ight) אזי קיים מעגל f:\{0,1\}^n	o\{0,1\} בגודל f:\{0,1\}^n
 c_{i-1} כו כq_0 = q_0 x מכונת טיוריגג דוחה מילה: תהא מ"ט אזי אזי x \in \Sigma^*עבורו קיימות מיבורו באשר אונפיגורציות מילה: תהא אווי אזי מבורן איינות מיבורו איינות מיבורו מילה: מהא אווי איינות מיבורו איינות מיבורו מיבורות מיבורו מיבורו מיבורו מיבורו מיבורו מיבורות מיבורות
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          (L(N)=\mathcal{L} מסקנה: יהי \Sigma אלפבית ותהא בפה אזי (\mathcal{L} רגולרית) משקנה: יהי אל אלפבית ותהא בפה אזי (\mathcal{L} ראולרית) שפה אזי (\mathcal{L}
                                                                                                                                                          . עוברת ל־c_nוכן i \in [n]לכל לכל לים עוברת אוברת וכן i \in [n]
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              .rac{2^n}{10n} אשעה מעגל C בגודת בעזרת ניתנת לחישוב בעזרת f:\{0,1\}^n 	o \{0,1\} מענה קיים און: קיים און פיימת אינה היים און אינה ניתנת לחישוב בעזרת מעגל אינה ניתנת לחישוב בעזרת מעגל אינה ניתנת לחישוב בעזרת מעגל אינה היים אינה ניתנת לחישוב בעזרת מעגל אינה היים אינה מעגל אינה מעגל אינה מעגל אינה מעגל אינה מעגל אינה ניתנת לחישוב בעזרת מעגל אינה מעגל א
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          ביטוי רגולרי (ב"ר): יהי ב אלפבית אזי
                                                                                    L\left(M
ight)=\left\{x\in\Sigma^{st}\mid x שפה של מכונת טיוריגנ: תהא M מ"ט אזיM מקבל את שפה של מכונת טיוריגנ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             אוטומט טופי דטרמיניסטי (אס"ד): תהא Q 
eq Q קבוצה סופית יהי C אלפבית תהא \delta: Q 	imes \Sigma 	o \sigma ותהא וורהא q \in Q אוורה א
                                                              .a יהי a\in \Sigma_{arepsilon} אזי a\in \Sigma_{arepsilon}
                                                                                     מתקיים M' מסוג M וכן לכל M מסוג M מחקיים מודלים שקולים: מודלים אבורם לכל M מחקיים מודלים
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    Q אזי אוי אס"ד אזי אס"ד אזי (Q, \Sigma, \delta, q, F) אזי אוי דטרמיניסטי: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         R_1 \cup R_2 יהיו רגולרים אזי ביטויים וויים האזי היו •
                                                                                                                               L(A) = L(A') המקיימת M' מסוג A' מסוג •
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  .\Sigma אזי אזי (Q,\,\Sigma,\,\delta,\,q,\,F)יהי יהי דטרמיניסטי סופי אס"ד אזי אזי אזי אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                R_1R_2 יהיו רגולרים אזי ביטויים R_1,R_2 יהיו יהיו
                                                                                                                                L\left(B\right)=L\left(B'\right) המקיימת M מסוג B' מסוג B'
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 .\deltaאס"ד אזי (Q,\, \Sigma,\, \delta,\, q,\, F)יהי דטרמיניסטי: אס"ד אזי אזי אס"ד אזי מעברים באוטומט
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 R^*יהי ביטוי רגולרי אזי R
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         q אס"ד אזי (Q, \Sigma, \delta, q, F) אס"ד אזי דטרמיניסטי: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             שפה נוצרת מביטוי רגולרי: יהי Σ אלפבית אזי
 מכונת טיוריגג נחה: תהא Q 
eq \emptyset סופית יהי \Omega אלפבית יהי \Omega אלפבית עבורו \Omega וכן \Omega \subseteq \Omega וכן הייו היי \Omega
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    .F אס"ד אזי (Q, \Sigma, \delta, q, F) אס"ד אזי דטרמיניסטי: אס"ד אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           .L(\varnothing) = \varnothing •
אוי \delta : (Q\setminus\{q_a,q_r\}) 	imes \Gamma 	o Q 	imes \Gamma 	imes \{L,R,S\} ותהא q_a 
eq q_r באשר q_0,q_a,q_r \in Q
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             \delta (q,arepsilon)=q מתקיים מתקיים מורחבת: יהי \delta:Q	imes\Sigma^*	o Q אס"ד אזי אי אס"ד איז א מעברים ממורחבת: יהי יהי מתקיים אס"ד אזי אי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 L\left(a\right)=\left\{ a
ight\} אזי a\in\Sigma_{arepsilon} •
                                                                                                                                                                                                   .(Q,\Sigma,\Gamma,\delta,q_0,q_a,q_r)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           \hat{\delta}\left(q,x
ight)=\delta\left(\hat{\delta}\left(q,x_{1}\ldots x_{n-1}
ight),x_{n}
ight) מתקיים x\in\Sigma^{n} וכן לכל
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   L\left(R_1\cup R_2
ight)=L\left(R_1
ight)\cup L\left(R_2
ight) איי היו ביטויים רגולרים איי רגולרים איי היו R_1,R_2יהיי יהיו
                                                                                                 הערה: את כל הפעולות ממכונת טיורינג נכליל בצורה הטבעית עבור מכונת טיורינג נחה.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  L\left(R_1R_2
ight)=L\left(R_1
ight)L\left(R_2
ight) אוי רגולרים אוים אוים אוים רגולרים אוים
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  .\mathring{\delta}\left(q_{0},x
ight)\in F המקיים x\in\Sigma^{*} אזי אזי (Q,\Sigma,\delta,q_{0},F) ההי יהי מקבל מילה: הי הי מוטומט סופי דטרמיניסטי מקבל מילה: הי
                                                                                                                                           מסקנה: מכונת טיורינג ומכונת טיורינג נחה הינן מודלים שקולים.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              L\left(R^{*}\right)=L\left(R\right)^{*} יהי R ביטוי רגולרי אזי
oxdots בוכן \Sigma\subseteq\Gamma וכן ביסרטית: יהי אלפבית היהי ביסרטית: יהי \Omega\neq\varnothing תהא ותהא ביסרטית: יהי אלפבית עבורו עבורו קבוצה סופית יהי אלפבית היהי ביסרטית: יהי אותה אלפבית היהי ביסרטית: יהי ב
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        R\left(\Sigma
ight)=\left\{r\in\Sigma^{*}\mid ביטוי רגולרי רr
ight\} אלפבית אזי אלפבית יהי סימון: יהי
\delta:(Q\setminus\{q_a,q_r\})	imes\Gamma^k	o Q	imes\Gamma^k	imes\{L,R\}^k אויי מייו א פאטר פאטר q_0,q_a,q_r\in Q אויי איי איי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 הערה: היים סדר פעולות לביטויים רגולריים
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 L\left(A
ight)=\left\{x\in\Sigma^{st}\mid x מקבל את A מקבל אר אס"ד איזי A אס"ד איזי אוטומט סופי דטרמיניסטי: יהי A אס"ד איזי
                                                                                                                                                                                            .(k,Q,\Sigma,\Gamma,\delta,q_0,q_a,q_r)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      סוור הליוי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    L\left(A
ight)=\mathcal{L} המקיים A דיים אס"ד \mathcal{L}\subset\Sigma^* שפה אזי שפה אלפבית אזי שפה אלפבית אזי שפה רגולרית: יהי
                                                                                    הערה: את כל הפעולות ממכונת טיורינג נכליל בצורה הטבעית עבור מכונת טיורינג רב־סרטית.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              שרשור.
```

טענה:  $\{x \mid \#_1(x) = 1 \mod 2\}$  רגולרית.

טענה:  $\{y \ 1 \ 0^{2k} \mid (y \in \{0, 1\}^*) \land (k \in \mathbb{N})\}$  רגולרית.

 $L_1 \, (L_2 L_3) = (L_1 L_2) \, L_3$  שפות אזי אינה: יהיו  $L_1 \, , L_2 , L_3 \subseteq \Sigma^*$  ישנה: יהיו

 $0<|\Sigma|<leph_0$  אלפבית: קבוצה המקיימת אלפבית:

 $\Sigma^* = igcup_{n=0}^\infty \Sigma^n$  מילים: יהי  $\Sigma$  אלפבית אזי

 $L\subseteq \Sigma^*$  שפה: יהי  $\Sigma$  אלפבית אזי

חסר מעגלים מכוונים. G

 $(Q, \Sigma, \delta, q, F)$  אזי  $F \subseteq Q$ 

טענה: Ø רגולרית.

. טענה:  $\{\varepsilon\}$  רגולרית

 $\|w\|=n$  מילה אזי  $w\in \Sigma^n$  אלפבית ותהא אלפבית מילה אזי  $w\in \Sigma^n$ 

 $(L(r)=\mathcal{L}$  עבורו  $r\in R(\Sigma)$  קיים (קיים בורו  $\mathcal{L}\subset \Sigma^*$  עבורו  $\mathcal{L}\subset \Sigma^*$  אלפבית ותהא

 $\|xy^kz\| \in L$  מתקיים  $\|xy\| \leq \ell$  וכן  $\|xy\| \leq \ell$ 

שפה ניתנת לניפוח: שפה  $x,y,z\in \Sigma^*$  שפה ניתנת לניפוח: שפה  $x,y,z\in \Sigma^*$  שפה ניתנת לניפוח: שפה לכל עבורם לכל  $w\in \mathcal{L}$  באשר עבורם לכל

```
.
HALT _{arepsilon}=\{\,\langle\,M\,
angle\,\,|\,\,arepsilon\,\, עוצר על אווא M\,\}
                                                                                                                         ענדים. עוצרת אחרי p\left(\left|x\right|\right) אוצרת לכל היותר עוצרת V\left(x,w\right)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             .k אזי RAM מספר הרגיסטרים במודל RAM: יהי (k, \Pi) מודל
                                                                                          .CLIQUE = \{\langle G,k\rangle \mid k גרף א מכוון בעל קליקה מגודל G\} גרף הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               .HALT \leq_m HALT_{arepsilon} :
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           \Pi אזי RAM מודל (k, \Pi) אזי (RAM אזי RAM פקודות במודל
                                                                                                                                                                                                                                                                                               A <_m B אזי B \in \mathcal{P}\left(\Sigma^*\right) \setminus \left\{\Sigma^*,\varnothing\right\} ותהא A \in \mathcal{R} אזי A \in \mathcal{R} טענה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      T:\mathbb{N}	o\mathbb{N} וכן R_0\ldots R_k\in\mathbb{N} וכן PC וכן אזי RAM מודל (k,\Pi) יהי (RAM מודל פונפיגורציה במודל
                                                                                                                                                  .CLIOUE טענה: קיים מוודא פולינומי ל
                                        (u,v) \notin E מתקיים u,v \in I מתקיים u,v \in I עבורה לכל גרף אזיu,v \in I מתקיים היהי
                                                                                                                                                                                                                                                                       \overline{B}ל \overline{A}ה מיפוי מיפוי f רדוקציית מיפוי מ־A ל־B ל־\overline{A} רדוקציית מיפוי מ־A שפות ותהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               .PC אזי קונפיגורציה (T,R, PC) ותהא (RAM מודל (k,\Pi) יהי קונפיגורציה קונפיגורציה אזי
                                                                                          .
IS = \{\langle G,k\rangle \mid k הגדרה: מגודל א מכוון בעל קבוצה ב"ת מגודל הרף לא גרף א מכוון בעל הבוצה ה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          טענה: תהיינה A \leq_m B שפות באשר A, B אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     R אוי אוי (T,R, PC) אודל מודל (R, \Pi) מודל אוי קונפיגורציה (R, \Pi) קונפיגורציה אוי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   A \in \mathcal{RE} אוא B \in \mathcal{RE} אם •
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          T איי קונפיגורציה (T,R, PC) אודל RAM מודל (t,\Pi) יהי יהי קונפיגורציה איי (t,\Pi) אונפיגורציה איי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             A\in \mathrm{co}\mathcal{RE} אזי B\in \mathrm{co}\mathcal{RE} אם ullet
                                                                                                             .FACTOR = \{\langle N, k \rangle \mid \exists d \in [k] . (d|N)\} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  הערה: ריצת מודל RAM זהה לריצת מעבד MIPS.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          \overline{	ext{ACC}} \leq_m בענה: ACC \leq_m בענה: ACC \leq_m בענה:
                                                                                                                                                שענה: קיים מוודא פולינומי ל־FACTOR.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            טענה: מכונת טיורינג ומודל RAM הם מודלים שקולים.
                                                                .SUBSETSUM = \left\{ \langle S,t \rangle \mid (S \subseteq \mathbb{N}) \land \left( \exists T \subseteq S. \sum_{i \in T} i = t \right) \right\} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        .EQ \notin \mathcal{RE} \cup co\mathcal{RE} מסקנה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                \sqcup \in \Gamma \setminus \Sigma כו \Sigma \subset \Gamma אלפבית יהי אלפבית אלפבית (מטל"ד): תהא עQ 
eq \emptyset הוצה סופית היהי אלפבית יהי אלפבית עבורו
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          \mathcal{C}\subseteq\mathcal{P}\left(\Sigma^{*}
ight) אלפבית אזי הי ממנטית: יהי מלפבית אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                אזיי \delta : (Q\setminus\{q_a,q_r\}) 	imes \Gamma 	o \mathcal{P} (Q	imes\Gamma	imes\{L,R\}) ותהא q_a 
eq q_r באשר באשר q_0,q_a,q_r \in Q יהיי
                                                                                                                                           .SUBSETSUM: סענה: קיים מוודא פולינומי ל
                                                                                                                                                                                                                                                                                                         L_{\mathcal{C}}=\{\langle M
angle \mid L\left(M
ight)\in\mathcal{C}\} הגדרה: תהא תכונה סמנטית אזי
                                                                             (\mathcal{L}ט משפט: תהא שפה אזי (\mathcal{L}\in\mathcal{NP}) שפה אזי שפה אזי (\mathcal{L}\in\mathcal{NP}).
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, q_a, q_r)
                                                                                                                                                                                                                                                                                         L_{\mathcal{C}} \notin \mathcal{R} אזי חכונה סמנטית אזי \mathcal{C} \in \mathcal{P}\left(\mathcal{RE}\right) \setminus \{\mathcal{RE},\varnothing\} משפט רייס: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 קונפיגורציה אזי קונפיגורציה אי פונפיגורציה או עוברת: תהא אי קונפיגורציה או קונפיגורציה או קונפיגורציה או מטל"ד תהא או קונפיגורציה או פונפיגורציה או קונפיגורציה או קונפיג
                                                                                                                        .CLIQUE, IS, FACTOR, SUBSETSUM \in \mathcal{NP} :מסקנת:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              L_{\mathcal{C}} \in \mathcal{R} אזי \mathcal{C} \in \{\mathcal{RE}, \varnothing\} טענה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                השערה פתוחה \mathcal{P} \neq \mathcal{NP} השערה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             .PRIME = \{(p)_2 \mid p \in \mathbb{P}\} :הגדרה
וכן קיים f המחשבת מ"ט M המחשבה f:D 	o (\Gamma \setminus \{\sqcup\})^* אזי אזי D \subseteq \Sigma המחשבת מ"ט מ"ט מונקציה חשיבה פולינומית:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         .2 מספרים תמיד יעשה בבסיס
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 צעדים. עוצרת אחרי (|x|) אוצרת אחרי אחרי עוצרת אחרי מתקיים כי מתקיים אx\in\Sigma^*לכל כי המקיים המקיים עוצרת אחרי ווער מתקיים אוצרים אחרי ווער אחרי ווער אחרי אחרי ווער
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      .EQPRIME = \{\langle M \rangle \mid L\left(M\right) = \text{PRIME}\} .
 T_{N,\,x}מכונת טיוריגנ לא־דטרמיניסטית מקבלת מילה: תהא מטל"ד אזי בx\in \Sigma^* אזי מטל"ד מהבלת מילה: מקבלת מילה: מטוריגנ מיוריגנ א
                                                                                                                                                          . מ־A ל־B חשיבה פולינומית f
                                                                                                                                                                                                                                                                       L_{\mathcal{C}} \notin \mathrm{co}\mathcal{RE} אזי \mathcal{C} \in \mathcal{P}\left(\mathcal{RE} \setminus \{\varnothing\}\right) \setminus \{\varnothing\} אזי תהא הרחבה ראשונה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             .Nידי אינו מתקבל אינו סופי וכן x סופי וכן אינו אינו מטל"ד אזי אזי אוו מטל"ד אוי אינו מתקבל על אינו מילה: תהא אינו מטל"ד אזי אינו אינו אינו מעלה: תהא אינו מטל"ד אינו אינו אינו אינו מעלה על אינו מעלה: תהא אינו מטל"ד אינו מעלה: אינו מעלה: על אינו מעלה: אינו מעל
f:\Sigma^*	o\Delta^* שפה ותהא שפה B\subset\Delta^* שפה תהא באשר \Delta\subset\Sigma^* מעם באשר \Delta\subset\Delta^* אלפבייתים באשר אלפבייתים באשר ביהא
                                                                                                                                                                                                                                                              L_{\mathcal{C}} \notin \mathcal{RE} אזיי \varnothing \in \mathcal{C} באשר \mathcal{C} \in \mathcal{P} (\mathcal{RE}) \setminus \{\mathcal{RE}\} אזיי תהא שנייה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      L\left(N
ight)=\left\{x\in\Sigma^{*}\mid x מקבל את מה מטל"ד אוי N מטל"ד הוי תהא N מטל"ד אוי לא־דטרמיניסטית: תהא אוי מיוריגנ
                                                                                                                                                        A \leq_p B מיפוי פולינומית אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        .REG \notin \mathcal{RE} מסקנה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     x את הוחה את לא מקבלת לא עבורו תבא עבורו x\in \Sigma^* אזי אזי מטל"ד אזי תהא עוצרת אוצרת על עוצרת אווא מטל"ד אזי אווי עבורו אווי אווא דוחה את מכונת טיורינג ארדטרמיניסטית איני
                                                                                                                                                                     .CLIQUE \leq_p IS :טענה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 ALL = \{ \langle M \rangle \mid L(M) = \Sigma^* \} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          טענה: מכונת טיורינג ומכונת טיורינג לא־דטרמיניסטית הינו מודלים שקולים.
                                                                                     A\in\mathcal{P} אזי A\leq_{p}B וכן B\in\mathcal{P} שפות באשר A,B טענה: תהיינה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      \overline{\text{HALT}} \leq_m ALL למה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 שפות היהי אונברת ניתנות למניה בקורסיבית/שפות ניתנות למחצה/שפות יהי אלפבית אונה בריעות למחצה/שפות היהי אונברת היהי ב
                                                                                             \mathcal{NPH} = \left\{ \mathcal{L} \mid orall L \in \mathcal{NP} \left( L \leq_p \mathcal{L} 
ight) 
ight\} שפה שפה \mathcal{NP}
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          .ALL \notin \mathcal{RE} \cup co\mathcal{RE} :
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   \mathcal{RE} = \{ \mathcal{L} \subseteq \Sigma^* \mid \mathcal{L} = L(M) \text{ עבורה } M קיימת מ"ט M עבורה M
                                                                                                                           \mathcal{NPC} = \mathcal{NP} \cap \mathcal{NPH} שפה \mathcal{NP}-שלמה:
                                                                                                                                                                                                                אסט עליון לזמן ריצה של מכונת טיורינג: תהא M מ"ט אזי T:\mathbb{N} 	o \mathbb{N} עבורה לכל n\in \mathbb{N} ולכל א מתקיים כי M מתקיים כי מתקיים כי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 x עוצרת על M ממקיים כי x\in \Sigma^* וכן לכל בורה על L=L (M) שפה אזי מ"ט שפה אזי שפה בהא בהא על בורה על בורה אזי מיט שבה: תהא בהא בהא מכונת טיורינג מכריע שבה: תהא
                                                                                                 .(\mathcal{P}=\mathcal{NP})\Longleftrightarrow (\mathcal{L}\in\mathcal{P}) אזי \mathcal{L}\in\mathcal{NPC} טענה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     	ext{ACC}_{\mathcal{NP}} = \left\{\left\langle M, x, 1^t 
ight
angle אינים t צעדים t מקבלת לכל היותר מקבלת M\left(x, w
ight) מקבלת לכל היותר אחרי
                                                                                                                                                                                                                                                        .DTime (T\ (n))=\{L\ (M)\ |\ \mathcal{O}\ (T\ (n)) מ"ט שרצה בזמן M\} אזיי T:\mathbb{N} 	o \mathbb{N} הגדרה: תהא T:\mathbb{N} 	o \mathbb{N}
                                                                                                                                                            \mathrm{ACC}_{\mathcal{NP}}\in\mathcal{NPC} טענה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                \left\{0^{k}1^{k}\mid k\geq0
ight\}\in DTime \left(n^{2}
ight) טענה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          עבורו \Sigma \cup \{\$\} מעל האלפבית שפה: תהא \mathcal{L} \subseteq \Sigma^* שפה אזי מ"ט מונה עבור שפה: תהא
                                                       B\in\mathcal{NPC} אוי A\leq_p B וכן A\in\mathcal{NPC} שפות באשר A,B\in\mathcal{NP} אוי טענה: תהיינה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             \delta\left(q,\sigma
ight)=\left(q',\sigma',R
ight) מתקיים \sigma\in\Gamma ולכל q\in Q לכל
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  \left\{0^{k}1^{k}\mid k\geq0
ight\}\in DTime \left(n\log\left(n
ight)
ight) .
                                                                                          C\left(x
ight)=1 מעגל ספיק: מעגל x\in\left\{ 0,1
ight\} ^{n} עבורו קיים C עבורו קיים
                                                                                                                                                                                                                                                                                      L אזי L\in DTime (t(n)) ותהא t(n)=o(n\log(n)) אזי L רגולרית. L\in DTime
                                A\in M_{m	imes k} (\{p_i\}\cup\{\lnot p_i\}) וקיימת m\in\mathbb{N} בסוק עבורה עבורה עבורה \varphi\in CNF בסוק ווקיימת אבורה פסוק אומא
                                                                                                                                                                                                                                                                               \left\{0^{k}1^{k}\mid k\geq0
ight\}
otinegin{align}  DTime (t\left(n
ight)) אזיי t\left(n
ight)=o\left(n\log\left(n
ight)
ight) מסקנה: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              . מתקיים סופי אל אחר מספר ארסרט אל געדים כי מתקיים מתקיים לכל x
                                                                                                                                                   \varphi = \bigwedge_{i=1}^{m} \bigvee_{j=1}^{k} (A)_{i,k}
                                                                                                                                                                                                                 את מ"ט M על הקלט M כו פונקציה M על הקלט M בורה קיימת מ"ט M עבורה קיימת מ"ט עבורה עבורה M כו פונקציה M על הקלט M מישבת את
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         . לעולם אינ x לא על מתקיים מx \notin L לכל -
                                                                             kSAT =\{\langle \varphi \rangle \mid (\varphi \in kCNF) \wedge (ספיקה) אוי k \in \mathbb{N}_+ יהי הגדרה: יהי k \in \mathbb{N}_+
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               . מונה) שענה: תהא \mathcal{L}\subseteq \Sigma^* שפה אזי (\mathcal{L}\in\mathcal{RE}) שפה אזי ב\mathcal{L}\subseteq \Sigma^*
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      \mathcal{O}\left(T\left(n
ight)
ight) בזמן בזמן \left(T\left(n
ight)
ight)_{2}
                                                                                                                                        .kSAT \in \mathcal{NP} אזייk \in \mathbb{N}_{+} יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                T\left(n
ight)=\Omega\left(n
ight) אזי קבועה אזי חשיבה חשיבה T:\mathbb{N}
ightarrow\mathbb{N} תהא
                                                                                                                                                                           .2SAT \in \mathcal{P} :טענה
                                                                                                                                                                                                                 M באשר x ולכל קלט M ולכל מיור לכל מיור תיים מכונת מיורינג אוניברסלית עם טיימר: קיימת מ"ט אוניברסלית עם אוניברסלית עם טיימר: קיימת מ"ט אוניברסלית עם היימר אוניברסלית עם היימר אוניברסלית עם היימר מכונת מיור אוניברסלית עם היימר מיימר מכונת מ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               .$y$ הסרט לפני
                                                                                                                                                     .3SAT \in \mathcal{NPC} :משפט קוק־לוין
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                . עענה: תהא \mathcal{L} \subseteq \Sigma^* מונה לקסיקוגרפי). שפה אזי \mathcal{L} \subseteq \Sigma^* מונה לקסיקוגרפי).
                                                                                                                                                                                                                                                                         עוצרת על הקלט (M,x) תוך עוצרת כי מתקיים מתקיים עוצרת אודים מחקלט (M,x) עוצרת על הקלט אוצרת על מתקיים אודים.
                                                                                                         kSAT \leq_p \ellSAT אוי א k \leq \ell באשר א k, \ell \in \mathbb{N}_+ איי היי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      {\it co}{\cal R}{\cal E}=\left\{{\cal L}\subseteq \Sigma^*\mid \overline{\cal L}\in {\cal R}{\cal E}
ight\} אלפבית אזי אלפבית אזי יהי מ
                                                                                                                                                                                                                                                             מתקיים t\in\mathbb{N} ולכל x ולכל מ"ט M לכל מ"ט עבורם לכל חיים C\in\mathbb{R} וקיים וקיים אוניברסלית משפט:
                                                                                                                 .kSAT \in \mathcal{NPC} איזי k \in \mathbb{N} \setminus \{0,1,2\} מסקנה: יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          \mathcal{R}=\mathcal{RE}\cap \mathrm{co}\mathcal{RE} טענה:
                                                                                                                                                                                                                                                                   (M,x,t) אם M עוצרת על הקלט x לאחר לכל היותר t צעדים אזי t מקבלת את t
                                                                                                                                                              .3SAT \leq_p CLIQUE משפט:
                                                                                                                                                                                                                                                                             A(M,x,t) אם A(M,x,t) או לא עוצרת לאחר א צעדים אזי A(M,x,t) או או א דוחה את א שו
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          . חח"ע עד כדי שינוי שמות. f:\{M\mid u"ט M\}	o \{0,1\}^* מינוי שמות. פונקציה
                                                                                                                                                        .CLIQUE, IS \in \mathcal{NPC} מסקנה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          צעדים. C \cdot t \log (t) צעדים U \bullet
                                                                                          v השמה אזי A\in M_{m	imes k}\left(\left\{p_i
ight\}\cup\left\{\lnot p_i
ight\}
ight) ותהא
                                                                                                                                                                                                                                                                  משפט היררכיית הזמן: תהא t\left(n
ight)=o\left(rac{T(n)}{\log(T(n))}
ight) משפט היררכיית הזמן: תהא אT:\mathbb{N}	o\mathbb{N} אזי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  . מערה: נשתמש בסימון \langle \, \cdot \, \rangle על מנת לקודד כל אובייקט לקידוד בינארי.
                                                    .N\left(\bigwedge_{i=1}^{m}\bigvee_{j=1}^{k}\left(A\right)_{i,k},v\right)=\left|\left\{i\in[m]\;\middle|\;\overline{v}\left(\bigvee_{j=1}^{k}\left(A\right)_{i,k}\right)=\mathrm{True}\right\}\right|
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       הערה: נניח כי קידוד ופענוח הן פעולות פשוטות ובדיקת נכונות קידוד היא R.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              .DTime (t(n)) \subseteq DTime(T(n))
                                                                        C-\mathsf{CNF}=\{\langlearphi,k
angle\mid(arphi\in\mathsf{CNF})\land(\exists v\,(N\,(arphi,v)=k))\} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           .xעם אותחל Mשל הבינארי הקידוד הינו \langle M, x \rangle מילה מילה x מאותחל מ"ט תהא M הינו הקידוד מימון: מילה מילה מילה אוי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      .DTime (n^c)\subseteq DTime(n^d) אוי 1\leq c < d מסקנה: יהיו
                                                                                                                                                            C - CNF \in \mathcal{NPC} טענה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   עבורה \{0,\,1\} מעל שפט מכונת מייט אוניברסלית: אוניברסלית: עבורה משפט מכונת טיורינג אוניברסלית:
                                                                                                                                                                                                                 M' טענה: איז קיימת מ"ט איז איז איז איז פיימת T\left(n
ight) \geq n אוי איז איז איז איז שרצה איז שרצה איז תהא T\left(n
ight) \geq T באשר
                                                                                                           .DNFSAT = \{\langle \varphi \rangle \mid (\varphi \in {\sf DNF}) \land (\varphi)\} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      (x את מקבלת M) \Longleftrightarrow (\langle M,x\rangle את מקבלת של מתקיים M של איט ולכל אל לכל מ"ט M ולכל איט לכל או M
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             L\left(M\right) = L\left(M'\right) עבורה \mathcal{O}\left(T^{2}\left(n\right)\right)
                                                                                                                                                                        .DNFSAT \in \mathcal{P} :טענה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           (x) או דוחה את (x) אולכל קלט (x) של (x) אולכל מ"ט (x) אולכל קלט (x) אולכל קלט (x) אולכל מ"ט (x)
                                                                       .C — DNF = \{\langle arphi, k \rangle \mid (arphi \in {
m DNF}) \wedge (\exists v \, (N \, (arphi, v) = k))\} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                 M' שרצה אזי קיימת מ"ט T (n) איזי קיימת מ"ט ותהא M מודל תהא T (n) איזי T באשר T : \mathbb{N} איזי T באשר אזי סענה: תהא T
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         (x) מתקיים M מתקיים (M לא עוצרת עבור (M,x) אוצרת עבור M לא עוצרת עבור M
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             L\left(M\right) = L\left(M'\right) עבורה \mathcal{O}\left(T^{3}\left(n\right)\right)
                                                                                                                                                  .C-{
m CNF} \leq_p C-{
m DNF} טענה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           x \notin \operatorname{Im}(f) את דוחה את x \notin \operatorname{Im}(f) באשר x \in \{0,1\}^* לכל
                                                                                                                                                        .C-	exttt{DNF}\in\mathcal{NPC} מסקנה:
                                                                                                                                                                                                                 x\in \Sigma^n ולכל n\in \mathbb{N} בבורה לכל T:\mathbb{N} 	o \mathbb{N} מטל"ד אזי אוי T:\mathbb{N} 	o \mathbb{N} וולכל איז וולכל מיורינג לא־דטרמיניסטית: תהא
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   L \notin \mathcal{RE} \cup \mathrm{co}\mathcal{RE} שפה עבורה L \subset \{0,1\}^* טענה: קיימת
                              .PARTITION = \left\{S\subseteq\mathbb{N}\mid( מולטי קבוצה) \wedge\left(\exists T\subseteq S\left(\sum_{i\in T}i=\sum_{i\in S\setminus T}i\right)\right)
ight\} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  T\left( n
ight) בעומק לכל היותר T_{N,\,x} מתקיים כי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          .ACC = \{\langle M,x \rangle \mid (מ"ט) \wedge (מ"ט) \wedge (x מילה M) \wedge (
                                                                                                                                                                                                                                                      .NTime (T\left(n
ight))=\{L\left(N
ight)\mid\mathcal{O}\left(T\left(n
ight)
ight) מטל"ד שרצה בזמן מטל"ד שרצה בזמן N\} אזיT:\mathbb{N}
ightarrow\mathbb{N} הגדרה: תהא
                                                                                                                                                           .PARTITION \in \mathcal{NPC} :טענה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          ACC \in \mathcal{RE} טענה:
                                                                                                                                                                                                                 2^{\mathcal{O}(T(n))} שרצה בזמן M שרצה בזמן T אזי קיימת מ"ט M שרצה בזמן T ותהא T ותהא T ותהא T באשר T:\mathbb{N} 	o \mathbb{N}
                        (u \in C) \lor (v \in C) מתקיים \{u,v\} \in E עבורה לכל עבורה אזי C \subseteq V אזי גרף אז גרף אזי יהי G מתקיים יהי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             L\left(M
ight)=\{\langle N
angle \mid \langle N
angle 
otin L\left(N
ight)\} עבורה \{0,1\} עבור מ"ט M מעל א קיימת מ"ט M מעל
                                                                                   .VC = \{\langle G,k\rangle \mid k גרף א מכוון בעל כיסוי קודקודים מגודל G\} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            L(N) = L(M) עבורה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             \{\langle N \rangle \mid \langle N \rangle \notin L\left(N
ight)\} אזי קיימת מ"ט N המכריעה את ACC אזי המכריעה מ"ט מ"ט המכריעה את M
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             \mathcal{P} = igcup_{c \in \mathbb{N}} DTime (n^c): \mathcal{P} שפה
                                                                                                                                                                       .VC \in \mathcal{NPC} :טענה
                                                                                                  \mathcal{B}\subseteq \bigcup_{n=1}^{\infty}\left(\Sigma^{n}\to \Sigma\right)אלפבית אוי יהי פונקציות: יהי פונקציות: א
                                                                                                                                                                                                                                                                                                               .PATH =\{\langle G,s,t
angle \mid tיל מ־ס מסלול מ' מכוון עם מסלול מ' G\} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           .HALT = \{\langle M, x \rangle \mid (מ"ט) \wedge (מ"ט) \wedge (x ) עוצרת על M) \} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            .PATH \in \mathcal{P} :טענה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 .HALT \in \mathcal{RE} \setminus \mathcal{R} :טענה
f_1 \dots f_n \ \in \ \mathcal{B} תהיינה אk_1 \dots k_n \ \in \ \mathbb{N}_+ מעגל: יהי א אלפבית יהי בסיס פונקציות מעל
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          .PRIME \in \mathcal{P} משפט:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    .EMPTY = \{\langle M \rangle \mid (a"b) \land (L(M) = \varnothing)\} הגדרה:
G אוי גרף מכוון x_1 \ldots x_m, y_1 \ldots y_k \; \in \; \Sigma ותהיינה ווה לכל ווה לכל ווה איי גרף מכוון וותהיינה ווא איי גרף מכוון
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  \mathcal{NP} = igcup_{c \in \mathbb{N}} NTime (n^c): \mathcal{NP} שפה
                                                                                                                 המקיים \{f_1 \ldots f_n, x_1 \ldots x_m, y_1 \ldots y_k\}
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       \mathcal{P} \subseteq \mathcal{NP} :מסקנה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 M מתקיים כי x\in D מתקיים לכל עבורה לכל f:D	o (\Gamma\backslash \{\sqcup\})^* אזי שותהא מ"ט ותהא מ"ט ותהא מיט ותהא
                                                                                                                                                  .חסר מעגלים מכוונים G
                                                                                                                                                                                                                                                                                          .
HAMPATH = \{\langle G,s,t\rangle\mid tל המילטוני מ־sל המילטוני מסלול עם מכוון אוף מכוון עם מסלול המילטוני מ־
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         f(x) בסוף הריצה הינו x וכן הסרט בסוף הריצה הינו
                                                                                                                \deg^-(x_i) = 0 מתקיים i \in [m] לכל •
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                .HAMPATH \in \mathcal{NP} :טענה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          f:D	o (\Gamma\backslash \{\sqcup\})^* אזי חשיבה: תהא D\subseteq \Sigma אזי f:D	o (\Gamma\backslash \{\sqcup\})^* אזי מיט
                                                                                                               \deg^-\left(f_i
ight)=k_i מתקיים i\in[n] לכל •
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          השערה פתוחה השערה ואAMPATH \notin \mathcal{P}
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                \deg^+\left(y_i
ight)=0 וכן \deg^-\left(y_i
ight)=1 מתקיים i\in[k] יכל \bullet
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      \mathscr{EXP} = igcup_{k \in \mathbb{N}} DTime \left(2^{n^k}
ight) :\mathscr{EXP} שפה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      (x\in A)\Longleftrightarrow (f(x)\in B) מתקיים x\in \Sigma^* לכל חשיבה עבורה לכל
                                                                                                             הערה: נשמור על הטרמינולוגיה ממעגל בוליאני כהכללה טבעית.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 ר רדוקציית f:\Sigma^*	o\Delta^* שפה ותהא שפה תהא באשר A\subseteq\Sigma^* תהא ב\Sigma\subseteq\Delta שפה תהא באשר A\subseteq\Sigma
\mathcal{NEXP} = \bigcup_{k \in \mathbb{N}} \text{ NTime } \left(2^{n^k}\right) : \mathcal{NEXP} שפה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      A \leq_m B מיפוי אזי
 המקיימת 	au_{M,z}\in M_{T(n)+1}\left(\Sigma \uplus \Gamma\right) אזי אי של M\left(z\right) קונפיגורציות קונפיגורציות קונפיגורציות הריצה בc_{1}\ldots c_{i}
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           EXP C NEXP :
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   .EMPTY \in \operatorname{co}\mathcal{RE} :טענה
                                                                                                                                                                   R_i(\tau_{M,z}) = c_i
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             \mathcal{P} \subset \mathcal{NP} \subset \mathcal{EXP} \subset \mathcal{NEXP} מסקנה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   A\in\mathcal{R} אזי A\leq_{m}B וכן B\in\mathcal{R} שפות באשר A,B אזי איי
                                       . \delta\left(q_{r},\sigma
ight)=(q_{r},\sigma,R) וכן ו\delta\left(q_{a},\sigma
ight)=(q_{a},\sigma,R) כי נניח ניח ניח הקונפיגורציות הקונפיגורציות ניח כי
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       \mathcal{P} \subsetneq \mathcal{EXP} :טענה
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 B 
otin \mathcal{R} אזי A \leq_m B וכן A 
otin \mathcal{R} שפות באשר A, B אזי A \leq_m B וכן
                                           .CIRSAT = \{\langle C, x \rangle \mid ( מעגל בוליאני C) \land (\exists w \in \{0,1\}^* (C(x,w)=1))\} הגדרה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             \mathcal{NP} \subsetneq \mathcal{NEXP} טענה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                . בו עברנו על זה פורמלית, מסומן . את רדוקציית המיפוי, לא עברנו על זה פורמלית, מסומן ..
       כך \Sigma \uplus \Gamma חשיבה מעלים מעל T (n) הגדיה מיט רצה מ"ט רצה אותהא M מ"ט רצה בזמן באשר רובה בזמן חשיבה בזמן המאר מ"ט רצה בזמן מעלים מעל דריה.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  (\mathcal{P} = \mathcal{NP}) \Longrightarrow (\mathcal{EXP} = \mathcal{NEXP}) טענה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            \{\langle M \rangle \mid \langle M \rangle \not\in L\left(M
ight)\} \leq 	ext{ACC} מסקנה:
                                                                                                 C_{\mathrm{inp}}\left(z\right)=R_{0}\left(	au_{M,z}\right) אוי z\in\Sigma\sqcup\Gamma יהי •
                                                                                                                                                                                                                                                                                                            x על M הינו ריצת M מ"ט ויהי x \in \Sigma^* אזי (אינו ריצת M אל על M
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 .ACC \leq_m HALT מסקנה:
       C_{	ext{next}}\left(R_i\left(	au_{M,z}
ight)
ight)=R_{i+1}\left(	au_{M,z}
ight) איי i\in\{0,\ldots,T\left(n
ight)-1\} יהי z\in\Sigma\uplus\Gamma יהי •
                                                                                                                                                                                                                                                                                        מוודא לשפה: תהא \Sigma \cup \{","\} מעל אלפבית V מעל אזי מ"ט \mathcal{L} \subset \Sigma^* מוודא מוודא לשפה:
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    .ACC < EMPTY מסקנה:
```

עבורו  $V\left(x,w\right)$  מקבלת.  $w\in\Sigma^*$  אזי קיים  $x\in\mathcal{L}$  אזי קיים שלמות: יהי

.( $\mathcal{L}$ טענה: תהא  $\mathcal{L}\subseteq \Sigma^*$  מוודא ל־ $\mathcal{L}$ ) שפה אזי טענה: תהא  $\mathcal{L}\subseteq \Sigma^*$ 

. דוחה  $V\left(x,w\right)$  מתקיים כי $w\in\Sigma^*$  אזי לכל  $x
otin\mathcal{L}$  אזי היי אותות: יהי

מתקיים כי  $x,w\in \Sigma^*$  המקיים כי לכל  $p\in \mathbb{N}$  (בורו קיים ל-2 ע שפה אזי מוודא ל-2 שפה אזי מודא ל-2 ע שפה אזי מוודא בולינומי לשפה: תהא

.REG  $= \{\langle M \rangle \mid$  רגולרית  $L\left(M
ight)\}$ 

 $ext{EQ} = \{\langle M_1, M_2 \rangle \mid L\left(M_1
ight) = L\left(M_2
ight)\}$  הגדרה:

.REG  $\notin \mathcal{R}$  :טענה

.EQ  $\notin \mathcal{R}$  :טענה

המסיימת  $v \in \Sigma^*$  עבורה פיים c עבורה מיים m מ"ט רב־סרטית אזי הונפיגורציה c עבורה היים  $v \in \Sigma^*$  המסיימת

 $.c = q_0 v \sqcup q_0 \sqcup \dots q_0 \sqcup$ 

. מסקנת: יהי $1 \in \mathbb{N}_+$  אזי מכונת טיורינג ומכונת טיורינג רב־סרטית הינן מודלים שקולים.

 $(k,(\pi_1\ldots\pi))$  אזי א $(k,(\pi_1\ldots\pi_p)$  ותהיינה  $k\in\mathbb{N}$  יהי

 $.C_{\mathrm{out}}\left(R_{T\left(n
ight)}\left( au_{M,z}
ight)
ight)=M\left(z
ight)$  איז  $z\in\Sigma$  ש ריהי  $\bullet$ 

 $C_{M,n}^{\Sigma \boxplus \Gamma}\left(z
ight) = \left(C_{ ext{out}} \circ C_{ ext{next}} \circ \ldots \circ C_{ ext{next}} \circ C_{ ext{inp}}
ight)\left(z
ight)$  איי  $z \in \Sigma \boxplus \Gamma$  יהי

 $\left|C_{M,n}^{\Sigmaoxplus T}
ight|=\mathcal{O}\left(T^{2}\left(n
ight)
ight)$  אזי  $T\left(n
ight)$  אזי  $T\left(n
ight)$  אוא מ"ט רצה בזמן באשר הבזמן באשר א חשיבה בזמן באשר וותהא  $n\leq T\left(n
ight)$  חשיבה בזמן באשר וותהא  $.f\left(1^{n}
ight)=\left\langle C_{M,\,n}^{\Sigma}
ight
angle$  עבורה poly  $\left(T\left(n
ight)
ight)$  שייבה אשיבה שייבה אונקציה poly  $\left(T\left(n
ight)
ight)$ 

מסקנה: תהא  $T:\mathbb{N} o\mathbb{N}$  ויהי  $T:\mathbb{N} o\mathbb{N}$  אזי  $z\in\Sigma$  שובה בזמן באשר  $T:\mathbb{N} o\mathbb{N}$  מיט רצה בזמן מיט רצה בזמן באשר

סענה: או מעגל פולינומית f מעגל פולינומית איז קיימת פולינומית f עבורה לכל מעגל בוליאני מעל מעגל פולינומית איז קיימת פולינומית f עבורה לכל מעגל בוליאני או איז קיימת פולינומית פולינומית איז עבורה לכל מעגל בוליגני איז איז קיימת פולינומית איז איז איז איז מעל בוליגני מעל ביי 

 אוי קיימת פונקציה חשיבה מ"ט רצה בזמן מ"ט אוי תהא T ( n ) אוי חשיבה חשיבה חשיבה מיט רצה מ"ט רצה מ"ט רצה בזמן אוי חשיבה מונקציה חשיבה מיט רצה מ"ט רצה בזמן מ"ט רצה בזמן מ"ט רצה מ 

.CIRSAT  $\in \mathcal{NPC}$  :טענה מסקנה: תהא  $f:\{0,1\}^* o \{0,1\}$  ותהא ותהא  $n\leq T$  (ח) אשיבה בזמן באשר דומת השיבה תהא אותה ותהא בזמן באשר דומט איני משפחת האינית לחישוב על  $T:\mathbb{N} o \mathbb{N}$ .  $\sqrt{T\left(n\right)}$  אוי לא ניתנת לחישוב על ידי מ"ט בזמן f אוי ל $O\left(T\left(n\right)\right)$  מעגלים מגודל

.CIRSAT  $\leq_p$  3SAT :טענה .3SAT  $\leq_p$  SUBSETSUM :טענה

.SUBSETSUM  $\in \mathcal{NPC}$  מסקנה:

.3SAT  $\leq_p$  HAMPATH טענה:

.HAMPATH  $\in \mathcal{NPC}$  מסקנת:

.co $\mathcal{NP}=\left\{L\mid\overline{L}\in\mathcal{NP}
ight\}$  :co $\mathcal{NP}$  שפה השערה בתוחה מערה בתוחה מערה בתוחה השערה מתוחה השערה מערה בתוחה מערה השערה בתוחה מערה בתוחה השערה בתוחה בתו

אזי  $A \leq_{p} B$  שפות באשר A, B אזי אינה  $A\in\mathcal{NP}$  אא  $B\in\mathcal{NP}$  אם •

 $A\in\mathrm{co}\mathcal{NP}$  אזא  $B\in\mathrm{co}\mathcal{NP}$  אם •

 $(co\mathcal{NP}=\mathcal{NP})\Longleftrightarrow (\mathcal{L}\in co\mathcal{NP})$  אזי  $\mathcal{L}\in\mathcal{NPC}$  מסקנה: תהא  $\mathcal{L}\in\mathcal{NPC}$  אזי אזי

 $\mathcal{P} \subseteq \mathcal{NP} \cap co \mathcal{NP}$  טענה:

.FACTOR  $\in \mathcal{NP} \cap \mathrm{co}\mathcal{NP}$  : השערה פתוחה מתוחה  $\mathcal{P} 
eq \mathcal{NP} \cap \mathrm{co}\mathcal{NP}$  השערה

.MATMULT =  $\{\langle A,B,C\rangle \mid (A,B,C\in M_n\left(\mathbb{Z}\right)) \wedge (A\cdot B=C)\}$  הגדרה:  $\mathbb{P}_{r\leftarrow\{0,1\}^n}$   $(D\cdot r=0)\leq 0.5$  איי D
eq 0 באשר באשר באטר באשר מענה: תהא תהא

 $\mathcal{O}\left(n^2
ight)$  אשר רצה בזמן M עבורה משקנה: קיימת מ"ט אשר אשר אשר א

. דוחה  $M\left(x\right)$  אשר אינו קידוד של שלשת מטריצות  $x\in\left\{ 0,1\right\} ^{st}$  לכל

 $x=\langle A,B,C \rangle$  וכן  $A\cdot B=C$  המקיימות  $A,B,C\in M_n\left(\mathbb{Z}\right)$  עבורו קיימות  $x\in\{0,1\}^*$  לכל

 $x=\langle A,B,C \rangle$  וכן  $A\cdot B 
eq C$  המקיימות  $A,B,C \in M_n\left(\mathbb{Z}
ight)$  עבורו קיימות עבורו א לכל  $x\in\{0,1\}^*$  $\mathbb{P}\left( \left( n\right) \right) \leq2^{-100}$ מקבלת  $M\left( x\right) )$ מקבלת

.Cב אזי נוסחה אריתמטית: יהי  $\{+, \times\}$  אזי מעגל מעל  $\mathbb F$  עם הבסיס שדה יהי ויהי שדה יהי נוסחה ב

 $arphi\equiv 0$  אזי arphi ( $x_1\dots x_n$ ) =0 מתקיים  $x_1\dots x_n\in \mathbb{F}$  אזי עבורה מעל arphi עבורה אריתמטית מעל  ${\it ZE}_{\mathbb F}=\{\langlearphi
angle\midarphi\equiv0$  עבורה  ${\it F}$  עבורה אריתמטית מעל  ${\it G}$  $\overline{\mathrm{ZE}}_{\mathbb{Z}_2}\in\mathcal{NPC}$  טענה:

> $2^h$  מעל  $^{\mathbb{F}}$  אזיי אחשבת פולינום מדרגה לכל היותר אריתמטית בעומק אזיי  $^{\mathbb{F}}$  אזיי מחשבת נוסחה אריתמטית בעומק אזי  $\deg\left(f
> ight)<|\mathbb{F}|$  באשר  $f\in\mathbb{F}\left[x_1,\ldots,x_n
> ight]$  המחשבת שנה: תהא arphi נוסחה אריתמטית מעל

 $(\varphi \equiv 0) \iff (f = 0)$ 

 $\deg\left(\prod_{i=1}^n x_i^{d_i}\right) = \sum_{i=1}^n d_i \text{ in } d_1 \ldots d_n \in \mathbb{N} \text{ in } i \text{ in } d_1 \ldots d_n \in \mathbb{N}$  דרגה טוטאלית של פולטום: תהא ווא  $d_i \in M_{k \times n} (\mathbb{N}) \text{ in } i \text{ in } f \in M_{k \times n} (\mathbb{N})$  האיי  $\deg\left(\sum_{i=1}^k \prod_{j=1}^n x_j^{d_i,j}\right) = \max_{j} \left\{\deg\left(\prod_{j=1}^n x_j^{d_i,j}\right) \middle| i \in [k]\right\}$  אווא  $f \neq 0 \text{ in } f \in \mathbb{F}[x_1,\ldots,x_n]$  ווהא  $f \neq 0 \text{ in } f \in \mathbb{F}[x_1,\ldots,x_n]$  $\mathbb{P}_{a_1,\ldots,a_n\leftarrow S}\left(f\left(a_1\ldots a_n\right)=0\right)\leq \frac{\deg(f)}{|S|}$ 

.poly (|arphi|) מקבלת בזמן M (x) מתקיים מעל  $x=\langle arphi \rangle$  וכן  $arphi \equiv 0$  ומקיימת מעל  $\mathbb R$  המקיימת arphi המקיימת arphi וכן arphi = 0

מכונת טיורינג אקראית: תהא T חשיבה בזמן אזי מ"ט דו־סרטית M בעלת מ"ט דו־סרטית T חשיבה התחלתית מכונת מיורינג אקראית: תהא מכונת מ"ט דו־סרטית מ"ט דו  $x \in \{0, 1\}^T(|x|)$ 

> . T אזי אקראית טיורינג אכונת מכונת מיורינג אקראית: חשיבה בזמן חשיבה אותהא מכונת מיורינג אקראית: תהא אוי T $r\in\{0,1\}^{T(|x|)}$  ווהי  $x\in\{0,1\}^*$  ווהי T(n) מ"ט אקראית עם זמן ריצה וויהי T(n) יהי זמן: תהא אווי

אוי  $r\in\{0,1\}^{T(\lfloor x \rfloor)}$  ויהי  $x\in\{0,1\}^*$  יהי וואי אוי אקראית. עם מטן אקראית עם אטן ריצה אקראית עם מטן איז אקראית. אקראית של מכונת מיווינג אקראית: איי  $x\in\{0,1\}^{T(|x|)}$  איריע אקראית. תהא  $X\in\{0,1\}^*$  יהי T(n) יהי אקראית עם זמן ריצה M מ"ט אקראית. תהא

> עבור  $M\left(x;r
> ight)$  משתנה מקרי לקבלת  $M\left(x
> ight)$  יהי x קלט אזי שימון: תהא M מ"ט אקראית עם זמן ריצה  $T\left(n
> ight)$  יהי  $T\left(n
> ight)$ . אקראית  $r \in \{0,1\}^{T(|x|)}$

המקיימת כי החל ממקום  $T\left(n
ight)$  הותה פולינומי החל מפה עבורה עבורה קיימת שפה בהחל עבורה חל ממקום  $lpha:\mathbb{N} o [0,1]$  המא שפה בהחל ממקום

.  $\mathbb{P}_{r\leftarrow\{0,1\}T(n)}$  (מקבלת  $M\left(x;r\right)$  )  $\geq \alpha\left(n\right)$  מתקיים מתקיים  $x\in\mathcal{L}\cap\Sigma^{n}$  לכל •

 $\mathbb{P}^{\mathbb{P}}_{r \leftarrow \{0,1\}T(n)}$  (מקבלת  $M\left(x;r
ight) = 0$  מתקיים  $x \notin \mathcal{L} \cap \Sigma^n$  לכל  $\bullet$ 

 $\mathcal{RP}\left(\beta\right)\subseteq\mathcal{RP}\left(\alpha\right)$  אזי מסויים מסויים מחר באשר  $\alpha\leq\beta$  באשר  $\alpha,\beta:\mathbb{N} o [0,1]$  טענה: תהיינה

 $\mathcal{RP}\left(lpha
ight)\subseteq\mathcal{NP}$  אזי מסויים מסויים החל 0<lpha באשר  $lpha:\mathbb{N} o[0,1]$  עענה: תהא  $.\infty\mathcal{RP}\left(lpha
ight)=\left\{\overline{L}\mid L\in\mathcal{RP}\left(lpha
ight)
ight\}$  איי  $lpha:\mathbb{N}
ightarrow\left[0,1
ight]$  הגדרה: תהא

 $T\left(n
ight)$  טענה: M עם זמן מ"ט אקראית שפה M אזי בא ש"ט אינימת A אזי היימת מ"ט אקראית מ"ט אA עם זמן ריצה פולינומי  $lpha: \mathcal{L} \in \mathfrak{m}$ מתקיים  $n \in \mathbb{N}$  מחקיים מסויים כי החל

 $\mathbb{P}_{r\leftarrow\{0,1\}T(n)}$  מקפית  $M\left(x;r
ight)=1$  מתקיים  $x\in\mathcal{L}\cap\Sigma^{n}$  לכל  $x\in\mathcal{L}\cap\Sigma^{n}$ 

 $\mathbb{P}_{r\leftarrow\{0,1\}}T(n)$  מקבלת  $M\left(x;r
ight) \leq 1-lpha\left(n
ight)$  מתקיים  $x
otin \mathcal{L}\cap\Sigma^{n}$  לכל  $x
otin \mathcal{L}\cap\Sigma^{n}$ 

 $\mathbb{ZE}_{\mathbb{R}}\in\omega\mathcal{RP}\left(0.99
ight)$  טענה:  $\mathcal{RP}\left(n^{-c}
ight)=\mathcal{RP}\left(1-2^{-n}\frac{d}{a}
ight)$  און  $c,d\in\mathbb{N}$  און  $c,d\in\mathbb{N}$  טענה: יהיו

 $\mathcal{RP}=\mathcal{RP}\left(0.5
ight):\mathcal{RP}$  שפה

 $\mathbb{P}_{r\leftarrow\{0,1\}}T(n)$  (מקבלת  $M\left(x;r
ight)\geqeta\left(n
ight)$  מתקיים  $x\in\mathcal{L}\cap\Sigma^{n}$  לכל  $\bullet$ 

 $\mathbb{P}_{r\leftarrow\{0,1\}T(n)}$  מקבלת)  $M\left(x;r\right))\leq\alpha\left(n\right)$ מתקיים  $x\notin\mathcal{L}\cap\Sigma^{n}$ לכל לכל

 $\mathcal{L} \in \mathcal{BPP}\left( lpha, eta 
ight)$  אוי  $\mathcal{BPP} = \mathcal{BPP}\left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}\right)$  : $\mathcal{BPP}$  שפה

 $\mathcal{RP}\left(lpha
ight)=\mathcal{BPP}\left(0,lpha
ight)$  איי  $lpha:\mathbb{N} o[0,1]$  טענה: תהא .co $\mathcal{RP}\left(lpha
ight)=\mathcal{BPP}\left(1-lpha,1
ight)$  איי  $lpha:\mathbb{N}
ightarrow\left[0,1
ight]$  טענה: תהא

טענה: תהיינה ממקום מחליים אזי  $lpha \leq eta \leq \gamma \leq \delta$  עבורן  $lpha, eta, \gamma, \delta: \mathbb{N} o [0,1]$  טענה: תהיינה  $\mathcal{BPP}(\alpha, \delta) \subseteq \mathcal{BPP}(\beta, \gamma)$ 

משפט צ'רנוף־הופדינג: יהי  $\delta>0$  יהי אוי היו ח $\delta>0$  יהי צ'רנוף־הופדינג: יהי משפט א'רנוף

 $\mathbb{P}\left(\left|p-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^nA_i\right|\geq\delta\right)\leq 2^{-\Theta\left(\delta^2n\right)}$   $\mathbb{P}\left(\left|p-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^nA_i\right|\geq\delta\right)\leq 2^{-\Theta\left(\delta^2n\right)}$  סענה: יהי (a,b) החל ממקום מסויים (a,b) שינה (a,b) החל ממקום מסויים (a,b) $\mathcal{BPP}\left(\alpha\left(n\right)-n^{-c},\alpha\left(n\right)+n^{-c}\right)\subseteq\mathcal{BPP}\left(2^{-n^d},1-2^{-n^d}\right)$  אאי



