25 April 2025	Completeness	Revisited
	Space - Bounded	Computation
Plan	· · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·
* Completeness Revisited	· · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·
* Announcements	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · ·
* Space - Bounded Computation		
		· · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·
	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·
	· · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·

Last Weeh: Undecidability	
This Week: Turing Machines	
What is Computable?
Today: TMs => Complete Proleens
· ·
· ·
· ·

Recall.
A problem L ENP-Complete if:
* LENP KENP, K reduces to L in polynomial- time
$\left(\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Recall
A problem LENP-Complete if:
* LENP * For all KENP, K reduces to L in polynomial- time
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
NP Why do NP-Complete
problems exist?

	time;
E E NI A It Can De Vevitied in polynomae	• • • •
	· · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · ·
	· · · · ·
	· · · · ·
	· · · · ·
	· · · · ·
· ·	
· ·	· · · · ·

Definition of NP	· · · · · · · · · · · · · · ·		
$ \left \begin{array}{c} & & \\ & & \\ & & \\ & & \\ \end{array} \right \in \mathcal{NP} $	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	verified in	polynomial-time
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
J	poly-time veriti	e_{\cdot} \cdot	
s s.t. s.t. X.E.L.	€ Jy ∈ Z ^{nc}	s.t. $V(x,y)$	accepts
· · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·		· · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·

LENP if L can be verified in polynomial-time. J poly-time verifier V
J poly-time verifier V
s.t. $X \in L \iff \exists y \in \mathbb{Z}^n$ s.t. $V(x, y)$ accepts
· ·
Idea. Complete problem must encode
(niving) Machine Computition of the

The	Computation	Tableau	· · · · · ·
· · · · · ·	J. 9stmt.		
$\frac{1}{1} = 0$		$X_{n} = \left\{ \begin{array}{c} y_{0} \\ y_{1} \\ y_{0} \\ y_{0$	
· · · · · ·	· · · · · · · · · · · · ·	<pre></pre>	· · · · · ·
· · · · · ·	Question	$Given \sim TM \cdot N$	· · · · · ·
	· · · · · · · · · · · ·	What does the tape & state	
· · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · ·	look like at the Tth step	
· · · · · ·	· · · · · · · · · · · · ·		· · · · · ·
· · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·	<pre></pre>	· · · · · ·
· · · · · ·		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · ·
· · · · · ·	· · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · ·
· · · · · ·	· · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · ·

The		D.m.,	p~t.	<u> </u>	è.	, ,	· · ·			<u>a</u>	•	•	• •	•	••••	•	· ·	•	•	• •	•	· ·	•	•	· ·	•	•	••••
		stont	• •	• •	•••	•			• •	•••	•	•	• •	•		•			•	• •	•	•••	•		• •	•	•	• •
$\frac{1}{1} = 0$		X	×	-			ŝ	Xn	#		ຍ	y,		-				m	•				•	۲۰۰۰	• _•			• •
		9	•1 •	• •	• •	•	• •	•	• •	• •	•		• •	•	• •		• •		•	• •	*	• •	*	٠	• •	٠	*	• •
	(Xo	×	-			ŝ	Xn	#		0	y,					ارب	m	•				0	• • •	• _•	Ð	•	• •
			• •									•	• •	•		•			•		•		•					
	• •				• •	•	• •	• •		• •	•	•	• •	•	• •	•	• •	•	•	• •	•	• •	•	•	• •	•	*	• •
	• •									• •	•	•	• •			•		•	•	• •	•		•	•		•	•	
	• •			• •	• •	•	• •	• •	• •	• •	•	•	• •	•	• •	•	• •	•	•	• •	•	• •	0	•	• •	•	•	• •
					• •	•	• •	•		• •	•	•	o o	•	• •	•	• •	•	•	• •	•	• •	0	•	••••	•	•	• •
 	• •	• • •			• •	•	• •			• •	•	•	• •	•	• •	•	• •	•	•	• •	•	• •	•	•	• •	0	•	• •
· · · · · ·	• •			• •	• •	•	• •	•	• •	• •	•	•	• •		••••	•	• •	•	•	• •	•	• •	•	•	••••	•	•	• •
	• •			• •	• •	•	• •		• •	• •	•	•	• •	•	• •	•	• •	•	•	• •	•	• •	0	•	• •	•	•	• •
	• •	• • •		• •	• •	•	• •	•	• •	• •	•		• •	•	• •		• •	•	•	• •	e e	• •	•		• •	÷	•	• •
	• •			• •	• •	•	• •	•	• •	• •	•	•	• •	•	• •	•	• •	•	•	• •	•	• •	•	•	• •	•	•	• •
						•	• •	. • . •		• •	•	•	- •	•	• •	•	• •	•	•	- • • •	•	• •	•	•		•	•	
	• •			• •	• •		• •	*	• •	• •			• 0 0		0 0 0		• •		÷	• • •		• •		÷	• •		٠	• •

The	Computation Tableau
· · · · · ·	J9stmt
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	$-\frac{1}{x_0} \times \frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_1} + \frac{1}{y_0} \times \frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_0} \times \frac{1}{y_0} - \frac{1}{y_0} + \frac{1}{y_0} \times \frac{1}{y_0} + 1$
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	$ \begin{array}{c c} & & & \\ \hline \\ \hline$
	$\frac{\sqrt{1-1}}{\sqrt{1-1}} = \frac{\sqrt{1-1}}{\sqrt{1-1}} = \sqrt{$
	Computation L'ACLEPT
T = w	$-1\sigma[8] - [-8] + [-7] - [-7] $
. <td>polynomial time verification successful if ends in [ACCEPT] in 5 n° steps.</td>	polynomial time verification successful if ends in [ACCEPT] in 5 n° steps.

The	Computation Tableau
· · · · · ·	J. 9stmt
$\overline{\mathbf{x}} = \overline{\mathbf{x}}$	$\frac{1}{ x_0 \times x_1 + y_0 \times$
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	$\frac{ Y_1 }{ X_0 \times x_1 + y_0 \times x_1 + y_$
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	$\frac{1}{ \mathcal{J} } = \frac{1}{ \mathcal{J} } = \frac{1}$
	loes Tablean window respect; $S(q, \tau) \rightarrow (q', \tau', M)$; AccEPT
T = w	$ - \sigma \sigma $
. 	i i

Tablean - SAT
Given Verifier TM V and input x
Does there exist a witness y and
completion c of the Tablean
consistent with V(x,y) (Accepts)
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Tablean - SAT
Given Verifier TM V and input x
Does there exist a witness y and
completion c of the Tablean
consistent with V(x,y) (Accepts)
Accept
$\sum_{i=1}^{n} h_{i}^{C_{i}}$

Tablean - SAT	•
Given Verifier TM V and input x	•
Does there exist a witness y and	•
completion c of the Tablean	•
consistent with V(x,y) (Accepts)	•
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	•
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	•
Theorem Tablean - SAT is NP - Complete.	•
Every LENP has a poly-time verifier	•
On instance $x \implies Construct tableau s.t.$	•
Tableau (x) <>> × EL. Satisfialde	•

Tablean - SAT
Given Verifier TM V and input x
Does there exist a witness y and
completion c of the Tablean
consistent with V(x,y) (Accepts)
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Theorem Tablean - SAT is NP - Complete.
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
[heorem (cook-Levin), Tablean-SAT Sp 3 SAT.
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Announcements	
× HW8 Ongoing	· · · · · · · ·
* Recitation on Saturday	· · · · · · · ·
- on Turize Machines!	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · ·
<pre>- · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·</pre>	· · · · · · · ·
. .	
· ·	· · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	

· · ·	Stendar	rd Measure		Comp	lexity	· · · · · ·	time	· · · · · · · · · · ·
•••	Other	Resources	· · · · · ·	Space	· · · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · · · · · · · ·
••••	· · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	 	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · · · · · · · ·
• •	· · · · · · ·		 	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · ·	 	· · · · · · · · · · ·
• •	· · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · · · · · · ·
••••	· · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · · · · · · · ·
• •	· · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · ·		 	· · · · ·	· · · · · ·	
• •	· · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · · · · · · ·
· ·	· · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · · · · · · · ·
· · ·	· · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · ·	· · · ·	· · · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·
• •								

Standard Measure of Complexity: Time
Other Resources: Space
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
A problem LE PSPACE if L is decided
by a Turing Machine M that uses
at most polynomial space.
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Standard Measure of Complexity: Time
Other Resources: Space
A problem LE PSPACE if L is decided by a Turing Machine M that uses
at most polynomial space.
Maccesses at most conk tape cells,
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

	•	•	•	*	•	• •	•	·	•	÷	•	• •	•		·	•	•	•	•		•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
*		· -	, ,	•	•		•	•	\mathcal{D}	\mathcal{C}	T	Λ.	C .		•	Ċ	2	•	*	•	•	•	•	•	• •	•	٠	•	*	*	• •	•	•	•	•	•	• •	٠	٠	•	•	•
	•		P	•	· \	:21		•	f	2	·٢	Ηt,	<u> </u>	-	•		· .	•			•	•	•	•	• •	•		٠				•			•	•	• •	•	٠	٠		•
•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	• •	•		•		•	•		•	•	•	•	•	• •	•	•	•		•		•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•		٠	•	٠	٠		• •	•	٠	•	٠	•		•		•	•	•	•		٠	٠		•	•		٠	•			•	• •	٠	٠		٠	٠
•	•		•	•		• •		•	٠		•	• •	•		•	٠			•		•	•	•	•		•	٠		•	•			•		•	•		٠	•	•	•	
٠	•	•	٠	•	•	• •	٠	٠	٠		•	• •	•		٠				*	•	•	٠	٠	٠		٠	٠		*	•	• •	٠	٠	•		•	• •	٠		•	•	•
												• •											•			•									•	•		•				
			٠	•			۰	٠							•							٠	٠	٠		٠	۰					٠				•						
				•																																		•				
							٠																			٠	٠					٠										
													•									•		•		٠				•						•		٠				
				•																				•		•	٠															
÷	÷	-	÷			• •	÷	÷	÷	÷					÷			÷		-		÷	÷	÷		÷	÷					÷			÷		• •	÷	÷			÷
٠	•	•	•	•	•	• •	•	•	۰	٠	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	٠	• •	٠	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	٠	•
•	•		•	•		• •	٠	٠	0		٠	• •	•		•		•	•		•	•	0	٠	٠	• •	•	0	٠		٠	• •	٠	•	•	٠	•	• •	0		٠		•
•		*	•	•	•	• •	•	•	٠	•	•	• •	•	*	•	•	•	•	*	•	•	•	•	•	• •	•	٠	•	*	*	• •	•	•	•	•	•	• •	٠	٠	٠	*	•
٠	•	•	٠	٠		• •	۰	٠	٠		•	• •	٠		٠	٠	•	•	٠	•	٠	٠	٠	٠	• •	٠	٠	•	٠	•		٠	٠	•	•	•	• •	٠	٠	•	٠	•
۰	•	•	٠	٠		• •	٠	٠	0	•	٠	• •	۰		٠	۰	•	•	٠	•	٠	0	٠	٠	• •	•	0	٠		٠	•	٠	٠	•	•	•	• •	0	٠	٠	٠	•
•		•	•	•	•		٠	•	٠	•	•	• •	•	•	•	•	•		•		•	•	•	•		•	٠		•	•	• •	•	•	•		•		٠	•	•	•	•
٠	•		•	٠		• •		٠	0		٠	• •			•		•	٠		٠		•	•	٠	• •	٠		٠		٠					•	•	• •			٠		•
•	•	•	•	•	•		•	•	٠	٠	•	• •	٠	٠	•	٠			•		•	•	•	•		•	٠		•	•		•	٠			•	• •	٠	٠		٠	•
•			•	•	•		•	•	٠	•	•	• •	•				•	•		•	•	•	•	•		•	٠	•		•	• •	•	•	•	•	•		٠	٠	•	•	•
٠	•		•	•			٠	٠	٠			• •	٠	٠	•	٠			٠		٠	٠	٠	٠		٠	۰					٠	٠			•	• •	٠	٠		٠	•
•			•	•		• •		٠	0		•	• •	٠						٠	•	•	٠	٠	٠	• •	٠	۰	•	٠	•	• •	٠	٠		•	•	• •	•		•		
					•		٠	•	٠	٠		• •	•	٠		٠					•	•	•	•		•	٠						•			•		٠	٠		٠	
•				•					0		•							•				•		•	• •	•		٠		٠					•					•		
					•				•	•			•	•		•					•	•	•	•		•							•			•		٠			•	
																									• •			٠											٠			
	•			•			٠	٠			•	• •						•						٠								٠				•						
											•																															
						• •			0		•							٠				•					0	٠		•					•			0		•		
٠	•		•	٠							•							•	0					•																		

•	•		P	•	. \	JS	· ·		P	> <	s P	• A	τ	Ē	· · · ·	•		• •	• •		•	•	•	•	•	••••	•	•	•	· ·	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•••	
	•	•	•	•	•	P	ص/ب	j -	- +;	~	مو		•		- N	i i i	•	• •	. C		N.1	, 0	, È	•	. C	کع د	ب ب	ج ج			٢٠	pe	· ~ -	- (-)))	۔ م	- - -	sp	م م ن		
•	•	•	•	•	•	•	••••	•	•	•			•	•	•	P	•			P	S	P .	A	< €		• •	• •	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•••	•
•	•	•	•	•	•	•	• •	•	÷	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	• •	•	•	÷	•	•	•	• •	•	•	÷	••••	•	•	•	•	• •	•	•	•	•		•
•	•	•	•	•	•	•	• •	•	0 0	•	•	•	•	•	0	о Ф	•	• •	· ·	•	•	0 0	•	•	•	• •	•	•	0	• •	0 0 0	•	0 0	•	• •	•	•	0	•	· ·	0 0 0
•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	• •		•	•	•	•	•	••••	•	•	•	••••		•	•	•	• •	•	•	•	•	· ·	•
•	•	•	•	•	•	•	• •			•	•	•	•	•	•	•	•	• •			•	•	•	•	•	• •		•	•	••••	•	•	•	•	• •			•	•		•
	•	•	•	•	•	•	• •		•		•	•	•	•	•	•	•	• •			•	•	•	•	•	• •		•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•
•	•	•	•	•	•	•	••••	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	• •	•	•	•	•	•	•	••••	•	•	•	••••	•	•	•	•	• •	•		•	•	· ·	•
•	•	•	•	•	•	•	· ·	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	• •	•	•	•	•	•	•	••••		•	•	• •	•	•	•	•	•••	•	•	•	•	· ·	•
0	•	•		•	•	•	• •	•	•	0	•	•	•	•	0	•	•	• •	• •	•	•	•	e e	•	•	• •		•	0 0	•••	•	•	0	0	• •	•	÷	•	•		÷
•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	• •	•	•	•	•	•	•	• •	• •	•	•	••••	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	· ·	•
•	•	•			•	•	• •		•			•	•	•	•		•	• •				•	•		•	••••	•	•	•	• •	•		•	•		•		•		••••	

, 2V ·	PSPACE		· · · · · · · · · · · · · · · · ·
	j-time TM	cannot access	super-poly-space
· · · · · · · · · ·	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$P \subseteq P S P A C \in P S P A C A C A C A C A C A C A C A C A C A$	· · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
[.V.T V.S	T.J. PACE	,	· · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · ·			
· · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · ·			
· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

PVS. PSPACE?
poly-time TM cannot access super-poly-space.
$P \subseteq PSPACE$
NP vs. PSPACE ?
- verifier runs in poly-time - try poly-length witness one-by-one (i.e. Reuse space)
$NP \subseteq PSPACE$
· ·

, PSPACE NP

PSPACE - Completeness ?
* LE PSPACE
* YKE PSPACE, K reduces to L in poly-time
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Ave There PSPACE - Complete Problems
Ave There PSPACE - Complete Problems
Are There PSPACE - Complete Problems
Are There PSPACE - Complete Problems
Are There PSPACE - Complete Prolieure
Are There PSPACE - Complete Prollems :

Directed St-Connectivity	· · · · · · · ·
Given a directed graph G w/ vertices	s,teV,
is there a path from s to t?	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·
	· · · · · · · ·

Consider the	"Tablean Graph" for Space-Bounded Machine
	19stowt
	Constate every possible
REFECT	State/lape contiguration
	→ · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	ACCEPT
	Joo Tirr Juc
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Consider the	"Tablean Graph" for Space-Bounded	Machine
	$\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n$
. .	$\frac{1}{\int_{0} \overline{\sigma_{c}} - \overline{-} \overline{\sigma_{n}} \overline{\sigma_{n}} - \frac{1}{1} \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{1$. .
	$\frac{1}{\tau_{o}} = \frac{1}{\tau_{o}} = $	
	. .	
	ACCEPT	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
. .	$\int \underbrace{\mathcal{O}_{e} \overline{\mathcal{O}_{1}} \overline{\mathcal{O}_{e} \overline{\mathcal{O}_{1}}} \overline{\mathcal{O}_{1}} \overline{\mathcal{O}_{1}} $	<u> </u>

Consider the "Tablean Graph" for Space-Bounded Machine 9 stor t X0 -Xn To Te - - Tu Turn - - $(u,v) \in E$ REJECT To Ti - Ti Turi -ACCEPT 0. 5. The

Consider the "Tablean Graph" for Space-Bounded Machine 19start Xo - Xn (Loo Te - - The Then - - 1 -) - U $(u,v) \in E$ REJECT State/Tape of M transitions from Verto Ve ACCEPT 0.01 -The - -

Consider the Tablean Graph' for Space-Bounded Machine 19stavit U To Te - - The June - - - U $\int (u,v) \in E$ $\int \left(\overline{\sigma_0 \sigma_1 - -\sigma_1 \sigma_2 \sigma_1 \sigma_2} - \frac{1}{\sigma_0 \sigma_1 \sigma_1 \sigma_2} \right) = \frac{1}{\sigma_0 \sigma_1 \sigma_1 \sigma_2 \sigma_2} + \frac{1}{\sigma_0 \sigma_1 \sigma_2 \sigma_2} + \frac{1}{\sigma_0 \sigma_1 \sigma_2 \sigma_2} + \frac{1}{\sigma_0 \sigma_1 \sigma_2} + \frac{1}{\sigma_0 \sigma_1$ State/Tape of M transitions from No to No So Machine M accepts × > ACCEPT $\int \sigma_e \sigma_1 - \sigma_2$ ⇐> I path from Start) The h to Accept

	. F.		· · ·	Ŧ	25	P F	f	Ē			•		باو	•	•	Ń	2 و	- 9	•	•	4	D D	•		οη	Ś	.d	م م		•		\sim	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •		
	• •		•	•	•	•	•				•			•					{		Xp	, On	ب	در	- <u>`</u> -	Q	lı	J		. (, CL	√ ⁻	් ර්	2		•		ب د		p l	ر مر	. า	• •	, .	
•	• •	•	•	0	•	0	0	•	•	•	•	•	0 0	0 0	•	•	0	•	(9	د {	Γì	مہ	zd	•		ìu	۴	: \ \	c Ì	<i>۲۱</i>	. ~			0 0	0		•	0 0	•	•	•	• •	0 1 0 2 0	
•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	
	• •		•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		• •	, . , .	
•	• •		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •		
	• •		•	•	•	•	•	•	•		•			•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				•	•		•	•	•	•	•	•	0	• •	9 9 9	
•	· ·		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	
•				•	•	0	÷	•	•	•	•	•	0	0 0	•		0	•	÷	0	e e	÷	0		0	•	•	•	•	•			0	•	0 0	•	•	•	0	÷	•	•	• •		
•	· ·		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	• •	
•				•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •		
		•	•	•	•						•								•									•		•	•	• •	•	÷						•		•	• •		
•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	• •	· ·	
								٠	٠					٠		٠			•	٠			٠					•				•					٠	٠						, .	

For PSPACE, we need to consider an
Exponentially - Lange graph. (defined implicitly)
For smaller space, we can consider poly-sized graph.
Theorem st-Connectivity is NL-Complete.
Nonde termistic
Log - Space