 Plan for today Motivation for 4820 Svief Administrivia Case Study: Tilling Problems 	Instructor	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Prof	Michae	[• •	• •	• •	• •	• •	
 Motivation for 4820 Brief Administrivia Case Study: Tiling Problems 												
2 Brief Administrivia												
 Motivation for 4820 Brief Administrivia Case Study: Tiling Problems 												
 2) Brief Administrivia 3) Case Study: Tiling Problems 	Plan for	toda	· · · · · · ·				• •	• •	• •			
 Brief Administrivia Case Study: Tiling Problems 	h 		<u> </u>									• • •
	h	• • • •	· · · · · ·	2.0° · · ·	· · · ·	· · · ·	· ·	· ·	· ·	· · ·	· · ·	· · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	(D) Motiu	và tiôn	for 48		 	· · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · ·	· · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · ·	· · · ·
	(1) Motiv (2) Brief	vation Admic	for 48 uistrivia	· · · · ·	· · · ·	 . .<	 . .<	· · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · ·	 . .<	· · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	(1) Motiv (2) Brief	vation Admic	for 48 uistrivia	· · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	 . .<	 . .<	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	 . .<	· · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	D Motiu D Brief 3 Case	vation Admic Study	for 48 uistrivia Tiling	Problem	 			• •	• •			

Motivation
Algorithms is the study of how to solve computational problems
Computational Problem Examples
* given a road map, find the shortest path from A to B
* given a list of integers, return them in sorted order.
* given a social network, find a large <u>clique</u> (mutually-connected accounts)
Can we solve these problems? Can we solve them efficiently?
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

An	algorithm	is a we	ll-definad	Sequen	
	algorithm F steps to	slue	r compute	final	problem
				· · · · · · · · · ·	•••••
	computationa	R. recip		· · · · · · · · · ·	· · · · · · · ·
	* precise	inputs	/ outputs	· · · · · · · · ·	· · · · · · · ·
· · · · · ·	* langues	ve agnos			· · · · · · · ·
	· · · · · · · · · · · · · · · · ·	J J	· · · · · · · · · ·		· · · · · · · ·
· · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · · · · ·
	· · · · · · · · · · · · ·		· · · · · · · · · ·		· · · · · · ·
	· · · · · · · · · · · · · ·				
	· · · · · · · · · · · · · ·				

•		$\int d$	۱ý	•	4	Z'	2	\bigcirc	1	7	•	· ·	•	•	•	•	•••	•	•	•	•		•	•	••••	•		•••	•	•	· ·	•		· ·	•	•	•••
٠	• •		- }	٠	• •	0	•		٠	٠	0	• •	٠	٠	0	0	• •	٠	٠	٠	•			٠	• •	٠	٠	• •		•	• •		٠			•	• •
•	• •	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	•		•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •
•		•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	•		•	•		•	•		•	•	• •	•	•				
		٠	٠	۰	• •	٠	•	٠	٠	٠	•		٠	٠		•	• •	٠	٠	٠				٠	• •	•	٠			•	• •	٠	۰			·	
•	• •	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	•		•	•	• •	0	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	• •	
•		•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •
		•	•	•		•	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•				•		•	•		•	•		•	•		•	•	
		*	*	÷	• •				*	*	÷	• •		÷	÷	*	• •	*	*	0	*		*	*		•		• •		*	• •	*		• •		•	• •
•		•	•	•	••••	•	•	•	•	•	•	••••	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •		•	• •	•		• •	•		
•		•	•	•	••••	•	•	•	•	•	•	· ·	•	•	•	•		•	•	•	•	• •	•	•	· ·	•	•		•	•	••••	•	•	· ·	•		• •
•		•	•	•	• •	•		•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •
•					• •					*	0			÷						0				•		•		• •			• •					•	• •
•	• •	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	•		•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•		• •	•	•	• •
•		•	•	•	• •	•		•	•	•	•	• •	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •
•		•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•		•		•	•	• •	0	•	• •	•	•	• •	•	•	• •	•	•	• •

•			hu		د بر بر	18	2		-) ⁻ - ⁻	2° •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	· ·	•	•	•	•	•	• • • •	•	•	•		• •	•	•
•	, *	• •	1		· `\ <	• - • •	••••	C	•	י גר	e'	$\frac{1}{2}$	λĺ	γe	°∿	N	ب ب	λ 4	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	• •	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •		•
•	•	• •	• •	•	÷	e e	• •	•	•	•	->>	M	Jh	، ۲	7	· .)	41	g	o V ·	:11	m	. 2-	. 5	ho	, W		rf).	. 16		zv	ج	ÿ	. C	×~.	eq	•	0-f	、 (, .	÷
•	•	• •		•	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•		•		•	•			•
	•															٠													• •		٠					٠		•	0		. 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	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	•		٠	٠		• •			٠	0	٠	٠		٠	٠		٠	٠	٠	٠	0	٠	٠	0	٠	•		• •	٠	٠	0	٠	•	• •	٠	٠		٠	• •	•	٠
٠	•	• •		•		•	• •	•		•	۰	•	٠	٠	٠	٠		٠	٠	•	•		۰	٠	0	٠	•	٠			•	0	•	•		•	٠		•		•	٠
•	•	• •		•	•	•		•		•	•	*	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•		•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	•			•
		•				•		•		٠		٠	٠			٠		٠	•				٠		0	•						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	0	٠		٠	• •	0	٠	0	٠	٠	• •	٠	٠	٠	0			٠
٠	•	•		•	•	٠	• •	٠	٠	٠	٠	٠	٠	*	•	٠		٠	٠	٠		٠	٠		0	٠	•	*	• •	٠	•	0	•	•	• •	•	٠		٠		•	٠
•	•	•		٠		0	• •	•		٠	٠		٠	٠	•	٠		٠	٠	٠		٠	۰		0	٠	0	٠	• •	٠	٠	0	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	0	٠		•	• •		٠	0	٠	•	• •	٠	٠	٠	٠	• •		٠
•	•	•		۰	•	•	• •	•		•			•		•									•							•		•	•	• •	۰		•	٠			

Why 4820 ?	•
* It's a requirement. -> Why? Algorithms show up in every area of CS.	•
* The "algorithmic leas" on other fields	•
-> Algorithms give new perspectives in Econ, Bio, Physics, Sociology, Linguist	۲ کژر
	•
 	•
	•
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	•
 	•
· ·	•

	Jhy 4	820	· · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · ·	· · · · ·	 	· · · · ·	 	
· · · · · · · ★.	T+'s	· · · · · ·	vej	mire	ment			· · · · · ·	· · · · ·	· · · · · ·	
		alge	srith	mic (ens	DN	other	fields	· · · · ·	· · · · · ·	
· · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · .	A lige	svithu		re nev E	con, Bis	o, Physic	Sociology Sociology	gy, Linguistics
-¥	Unde	ev stun	iding » A	1 govi	e La Humic	ews .	of N alysis	lature	hatin		puputation
• • •				J							
· · ·	· · · · ·	 	· · · ·	· · · · ·	· · · · ·		- Who F		hot l	possible?	
· · · ·	· · · · ·	 	· · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · ·	· · · · · ·	 	· · · · ·	 	
 . .<<	· · · · · ·

Why 4820?
* It's a requirement.
+ The "algorithmic lens" on other fields
-> Algorithms give new perspectives in Econ, Bio, Physics, Sociology, Linguistics
* Understanding the Lows of Nature -> Algorithmic analysis reveals nature of computation (what is /is not possible?)
* Algorithmic Thinking is problem solving > Designing algorithms requires creativity > Analyzing algorithms requires clavity of thought
Precise definitions & mathematical proofs.

•	G v	uid ine	3 P1	nilosophy	· · · · ·	· · · · · · · ·	· · · · · · ·	· · · · · · · ·	· · · · · · ·
•	For	Man	J Com	putation.		roblems	· · · · · · · ·		· · · · · · ·
	the	VC IS	 	simple,	but.	inettic		algorithm	· · · · · · ·
•	· · · · ·	· · · · · ·		· · · · · · ·		· · · · · · ·	· · · · · · ·	· · · · · · · ·	· · · · · · ·
•						· · · · · · ·			
•	· · · · ·	· · · · · ·	· · · · · ·			· · · · · · ·		· · · · · · · · ·	
•									
•									
•		· · · · · ·		· · · · · · ·		· · · · · · ·	· · · · · · ·	· · · · · · · · ·	
٠									
٠									
٠								· · · · · · · · ·	

Guiding Philosophy
For many computational problems there is a simple, but inefficient algorithm.
eq. Shortest Path from A to B: - Iterate through every path in the road map. - If the path connects A to B, - Frecord the path and its distance
- Return the A->B path of minimum distance
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Guiding Philosophy
For many computational problems there is a simple, but inefficient algorithm.
eg. Shortest Path from A to B: - Iterate through every path in the road map. - If the path connects A to B, - record the path and its distance - Return the A>B path of minimum distance
Concern. There are exponentially many paths in a map.
As the map grows bigger, Brate force is prohibitively expensive!

Guiding Philosophy
For many computational problems there is a simple, but inefficient algorithm.
eq. Shortest Path from A to B: - Iterate through every path in the road map. - If the path connects A to B, - record the path and its distance
- Return the A>B path of minimum distance
Key austion: Can we do better?

Intermission	1: Administrivia
All information Q	course website cs. cornell.cdu/courses/cs 4820/2025sp
	EJ Discussions X Gradescope Ly Course Staff Office Hours
${-} \operatorname{Prelim} \#1$	13. Feb. 7:30.р
- Final Exam	27 Mar 7:30 p Finals Week TBD.

* Weekly Homework - Released on Wed after lecture
- Due Following Tues. L> "Grace Period" til Wed AM.	
* No slip days * No grace period on the grad	
Recommended (but Optional) HW & Released Today	

X Participating in Class
- Ask questions! La In lecture
In lecture
L, At Office Honrys
But also, Mahe space for your poers fo ash (answer questions
* Office Honry
- Best place to get help learning 4820 material
- HW help (not auswers) from peers 2 professor.
L > 39 TAS.
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

4820 is an Inclusive & Safe space for learning, × You belong have * You deserve respect from your peers & the course staff * We expect you to respect your peers & the course staff. For personal concerns La contact CS4820Sp25 @ gmail.com Lo Set up a meetig w/ Prof. Kim (on course site)

· · ·			· · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Case	Study.		Computational	Problems:	Tiling Problems
· ·	· · · · ·	· · · · · · ·	· · ·	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·
· ·	· · · · ·	· · · · · · ·	· · ·	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·
· ·	· · · ·	· · · · · · ·	· · ·	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · ·
	· · · · ·	· · · · · · ·	· · ·	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · ·
				· · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · ·
• •						· · · · · · · · · · · · · ·
• •						· · · · · · · · · · · · · · ·
						· · · · · · · · · · · · · ·

· · · · ·	Case	2	fudy	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		Com	putationa	-1 P	roblems:	Tiliva	Problems
		• •)							
· · · · ·			· · ·		· · · · · ·	· · ·		· · ·	· · · · · · ·	· · · · · · ·	· · · · · · ·
			· · · ·								
· · · · ·	Sho	ipe	· · ·	Tile Ł	· · · ·	· · ·	tiling		· · · · · · ·	· · · · · · ·	· · · · · · ·
		• •	• • •	• •	••••	• • •		• • •			
Defin	ition.	Α.	filing	of	. <u>.</u> . <u>.</u>	shape	S with	file -	t is an o	irrangemen	nt of
		10 0 10	ONEN	10.00	ina	Conia	γ of $+$	that	Complettin	Covers	
					<u> </u>					· · · · · · ·	
· · · · ·	· · · · ·		· · · · ·	· · ·	· · · · ·					· · · · · · · ·	
· · · · ·	· · · · ·				· · · · ·						
 <										
 	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	 . .<		 . .<		. .	· · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
 · · · · · · · · · <	 . .<	 . .<	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	 . .<<	· · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
 · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·<	 . .<	 . .<	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	 . .<	· · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	 		. .	· · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

	Example	#1. Don	nino - Tilive	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$. .
Given Shape S, can S be filed with Dominos?	* * * Dovninc	os ore $2x$	1 files	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	
	the Dou	nino - Tiling	Problem	. .	· · · · · · · · · · · ·
	Given	Shape S,	cam S	be filed with	Dominos?
	· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	. .	· · · · · · · · · · · · ·
		· · · · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · ·
		· · · · · · · · ·		· · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					

Example #1. Domino - Tiling
* Dominos are 2×1 files $2 \boxed{2}$
The Domino - Tiling Problem.
Given Shape S, can S be tiled with Dominos?
$\cdot \cdot $
S: 4 × 4 square
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Example #1. Donning - Tiling
* Dominos are 2×1 files $2 \boxed{2}$
The Domino-Tiling Problem. Given Shape S, can S be tiled with Dominos?
Claim. S can be Domino-tiled. Pf. By construction
S: 4 × 4 square

Example #1. Domino - Tiling
* Dominos are 2×1 files $2 \boxed{2}$
The Domino - Tiling Problem.
Given Shape S, can S be tiled with Dominos?
S:4×4 square
w/ corner removed
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Example #1. Domino - Tiling
* Dominos are 2×1 files $2 \boxed{2}$
The Domino - Tiling Problem.
Given Shape S, can S be filed with Dominos?
S:4×4 square Claim S' CANNOT be Domino - Tiled
w/corner removed Pf. By Parity Argument.
(odd vs. even)
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

*	٠										٠	•	•			٠			٠								٠	٠													
٠	٠	٠					7	٠	٠	•	•	٠		• •	٠	٠	•	٠	•	• •	٠	٠		٠	•	• •	٠	0		•	٠	٠		•		٠	• •		٠		٠
	•			•	•								•			•		•	•		•		•	•	•		•	•	•			•	•		۰ ۱	•			٠	•	
٠	٠	٠		•	•	• •	•		•	. 0	$\langle 1$	٠	6	х (2	2	5	Ne	a. A	2	W	1.	ÖC	ρġε	эςÌ	v		С	o '√	Ne	жS		re	m)√e	d	•		٠	٠	٠	٠
	٠	•		•	•		•	·	•	. C		•	, U	· · ·	•		8.	•	•	• •	/ .	[Į.			.) .	•	•			•	٠		•	•	•		•	٠	•	•
*	•	•		•	•		•	·	•	•		٠	٠	• •		•	•	٠	•	• •	•	•	٠	•		• •	٠	٠	٠	• •	٠	•	٠		•	٠		٠	•	٠	•
•	•			Ĩ	*	• •	•	٠	٠	٠	٠	٠	٠	• •	٠	٠	٠	٠	•	• •		٠	٠	٠	*	• •	٠				•	, ic	ブ	٠		٠	• •	٠	٠		•
٠	•	•	•	\							•	•	(•	2	11	•	h	, 2	• •	\mathbb{D}		nî	N ©	, - ,	·	1.	. é	$2\dot{o}$		(· ·	•	•	•	• •		٠	•	•
٠	•	٠	*	•	*	• •	•	•	•	٠	٠	•	\cup	,00	ν(.	٠	U	•	•	. •0.	- .	*		٠	•		٠	•	٠	• •	٠	٠	٠	•	٠	•	• •	٠	*	۰	*
	•	•	•	•	•	• •	• •	•	•		•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•		•	•	•	•	•	•			•	•	•
•	·	•	•	•	٠	• •	•	٠	•	•	•	٠	٠	• •	•	•	•	٠	•	• •	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					0											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		۰		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		•	•	۰	•
	•	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	۰	٠	• •	٠	٠	٠	•	٠	٠	• •		٠	٠	٠
•	·		٠	٠	٠		•		•	٠	٠	•	•	• •	٠	٠	٠	•	•	• •	0	٠	٠	٠	٠	• •	•	٠	٠	•	•	٠	۰	٠	٠	٠	• •	•	٠	۰	٠
٠	٠	•	•	•	•							•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•		•	٠	•		•	•	•		•	•		•	•	•	٠
٠	٠	٠		٠	•	• •	•	•				•	•		٠	٠		•			٠	•	٠	۰	•		•	٠	٠	•	•	•	۰		٠	•		•			٠
•	•	•	•	•	•		•	•	•	•		٠	•			•	•	٠	•		•	•	•			• •		•	•	• •	•	٠	٠		•	•	• •	•	•	٠	

S'' 6x6 square w/ opposing corners removed.
Claim: S'' CANNOT be Domino-Tiled.
Pf., By coloring argument.
- Every Domino covers exactly 1 white & 1 Blue square

S'' 6x6 square w/ opposing corners removed.
Claim S'' CANNOT be Domino-Tiled.
Pf., By coloring argument.
- Every Domino covers exactly 1 white & 1 Blue square - Thus, every shape that can be Domino Tiled has an equal number of White & Blue squares.

S'' 6x6 square w/ opposing corners removed.
Claim S'' CANNOT be Domino-Tiled.
Pf, By coloring argument.
- Every Domino covers exactly 1 white & 1 Blue square
- Thus, every shape that can be Domino Tiled has an equal number of White & Blue squares.
- But S" has 16 White squares & 18 Blue squares

•	•	•	•		•	•••	•		•	•		• •	• •	•	•	•	· · ·	J		2	•	•	. Or	b	97	ŀ	•	•	 	Th		• • •		sh	erp	es.	بر م	•	•	•
												-						0.0			•									۱.					. \			٠		
			•								•																													
٠	•	•	L_	T		۰ t		-1	٠	٠	-					*	٠		•	• •		٠	٠	٠				٠		٠				٠	٠		٠	٠	٠	
		٠		<u>ا</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		•		۰			٠	•	•	• •		٠	٠	•				۰	• •	٠					٠	• •		•	•	·
•	•	•		•	•		۰	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
•	·	•	•	•	•		٠	٠	•	•	•	•	• •	0	•	٠	٠	٠	0	• •	٠	٠	۰	0	• •	٠	٠		• •	٠	٠	•	• •	٠	٠	• •	٠	٠	0	•
٠	٠	٠		•	•		•	•	•	•	•	•		٠		٠	•	•	•	• •		•	•	•				•		•		•		•	•			٠	•	٠
٠	٠	•	•	•	•			٠			٠	•	• •	0	•	۰			0	• •	٠	٠	٠	0		٠	٠	0	• •		٠	•		٠		• •	٠	٠	0	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	۰		•	• •	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		•			•	•	۰	•	•	• •	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	•	0	•	•		0	٠	٠	۰	٠	0	• •	٠	٠	۰	0		٠	•	0	• •	٠	٠	•	•	٠	٠	• •	٠	٠	0	•
																																					•			
•	•		•	•	•		•	•	•	•	•	•		•	٠	٠	•	•	•	• •			•	•		•	•		• •	•	•	•		•		• •		•	•	•

		W.hat	about other	shapes.
Theorem.	There is that so	an effi	icient algorithm Domino-Tilizg	Dominio Tile Problem
· · · · · · · · · · ·		· · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · ·	See HW4
		· · · · · · · · ·		
. 	· · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· ·	· · · · · · · · · · · · ·
			· · · · · · · · · · · · · · · ·	
 	· · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·

	What	about		shapes.
Theorem, There that		icient algo Domino-	orithm Tiliug	Domino Tice Problem
Dominio Trie is For every she	~pe S, Dominic	Tile onto if and Scan I	only	
	if DOMINO TILE domino ~ Hiled,	E goegs	5 rannot tiliz	exists)

What about other shapes?
Theorem. There is an efficient algorithm Domino Tice
that solves the Domino-Tiling Problem. Dominio True is EFFICIENT
Let t(n) = Time steps Domino Tilt executes on shapes S of avea N.
Then, there exists CEN s.t. $L(n) \leq O(n^{C})$.
Dontino Tice vuns în polynomial time

• •	E	- - X	a	Ň.	ρĺ	e		#	- 2	, 2	•	• •] .	- V	0 (Μ	1)	n'	r D	•		 . 1 .		1	لم	•	•	•		•	•	•	•	•	• •	•	•	• •	
• •	~				0	0	٠	0			_			٠	•		•	٠	•	•	•	•	•	• •	•	•) .	•	•		•	•	•	•	•	• •		•	• •	
• •	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	• •	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•		•	•	• •	
• •	•	•	• •	·	٠	•	•	•	•	•	٠	• •	• •		•	•	·	•	•	•	•	•	•	• •	•	٠	•	٠	٠	•	• •	•	•	•	•	•	• •	•	•	• •	
							•	•		•	•			•						•	•																				
	٠		• •		٠		•	*		•	*			•						•				• •		۰			٠				*		•						
							*		•		•				٠	٠			٠	•				• •	٠		•			٠				٠		•		٠	٠		
										•	•			٠						•																					
					•			•	•	•	*		•	•									•						•						•						
o o	0			٠	٠	0	٠				0			٠	•	۰		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	• •	٠	٠	•	•	٠	*	• •		*	•	٠	•	• •	٠	٠	• •	
• •	•	•			•	•	•	•	•	•	0		• •	٠	•		•		•	•	•	•	•	• •	•	•			•	•					•	•			•	• •	
• •		•	• •	٠	0		•	•	•	٠	•			٠	•	۰	•	۰	٠	٠	•	•	•	• •	•	0	٠	۰		•	• •	٠	۰	•	0	•	• •	٠	٠	• •	
• •	٠	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	• •	•	•	٠	•	•	٠	•	٠	•	•	• •	•	٠		•	٠	•			•	•	٠	•		٠	•	• •	
	•			•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•	•	•	•		•	•	•	•			•	•		
																																							•		
							•	•		•	•			•						•	•																				
			• •		٠			•	•						•			٠		•			•	• •	•	0		٠				•	٠		•						
					٠																		•	• •		۰			٠	•					٠			٠	٠		
										•	•		• •	•									•	• •																	
					•			•	•	•	•		•								•		•			٠									•						
			• •	٠	٠	0	٠	•		٠	0			٠		۰		٠		٠	•		•	• •			٠	٠			• •	٠	۰		•	•				• •	
	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	0	•	٠	٠	•	• •	٠	*	•	٠	•	• •	٠	٠	• •	
• •	٠	•	• •		٠		٠	•	•	•	0		• •	٠	•	٠	•	٠	•	٠		•	•	• •	•	٠				•					•	•		•	٠	• •	
• •		•	• •	•		•	•	•	•	•	•	• •	•		•		•		•		•	•	•	• •	•		•			•		•		•		•			•	• •	

Example #2 Tromina t = L-shaped trominos														י ר י	- - -	-	 	1		1) مار	2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •													
• •	· ·	•	ł			•			_	S	h	<u></u> . 9	P	e	d	•	•	+	Y	ି ତ (M	1 (И		S.	•					 		-)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		• •	•
• •	· ·	Th	V		V		ب	N	И	C C	•	•		Γ	[]	ĺ	Ń	d		P	(c		oʻl	0	ų		• •	0 0	• •	• ·	• •		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	
· ·	• •				e e	N. N.	•		\sum			.pe	· · ·			· · ·				С			1 .	•	S.	· · ·			2	• ·	ti	(e	2 d	•		,√ <	it sh	h af		ď	•	•	. V		M	. v		- - - - - - - - - - - - - - - - - - -
· ·	· ·	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	· ·	• • •	• •	• •	· ·	· · ·		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	
• •	• •	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	• •	•	• •	• •	• •		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•
• •	• •	•		•	•	•	•			•	•	•	•		•	•	•	•			•	•	•	•		•	• •	•	• •	• ·	· ·		•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•
· · ·	• •	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	· ·	•	• •	• ·	· ·		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•
• •			٠		•	٠	٠			•	٠		٠		٠	•		•			•	٠	٠	٠	٠	٠		•	• •	• ·			٠	٠	٠	·		٠	٠	٠	٠	٠		•		٠		• •
		•	•	•	•	•	•			•	•	•			•	•	•	•			•	•	•	•	•	•			• •	o .			•	0	e e	•	•	•	•	•	•	a a	0 0	•	•	0 0	• •	· ·
• •	• •	٠	٠	0	٠	۰	۰			0	٠	٠	٠		•	٠	٠	٠			•	٠	٠	٠			• •		• •	• •	• •		٠	٠	0	٠	٠		0	0	٠	٠	٠	٠	0	٠	• •	

Example #2 Tromino - Tiling t= L-shaped trominos The Tromino - Tiling Problem. Given Shape S, can S be tiled with L-shaped Trominos! G: Is there an efficient algorithm that solves Tromino-Tiling? VOTE

Example #2 Tromino - Tiling t= L-shaped trominos The Tromino - Tiling Problem. Given Shape S, can S be tiled with L-shaped Trominos? Q: Is there an efficient algorithm that solves Tromino-Tiling? A: No one knows! MAJOR OPEN RESEARCH QUESTION

· -	F	f		e OV	۰ ۱	י רא נ	Īve	•	d			۰ ۲	101	M	al) _	-4	M_	e ,	÷	ol) 	9 97	Ή	m	•	r 	DV		Tre	on ON	Liu	10		Ti	12	, 1 1		,
•		· ~	th	-e1	1" •		· ·	0	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	• •	•	•	• •	•	•	•	• •	۰ ر	بر 		
•		•	• •	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	• •	•	•	• •		•	•	• •	•	• •		Þ
•		•	+	•	Y	0 V	• •	V.	e c	e		2	•	a	'n		•	A	+	•	i v	1	•	4	-8	2(Ç	• •	(from	· · · ·	Prof	•	Ki	m)	• •		,
		•		٠		•		٠				٠	•						•	٠	٠				٠	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	٠	•	• •	•	٠	٠	٠	٠		٠		•	٠	•	• •		•		•	٠	٠	• •	٠			,
•		•		٠								•					•	•		٠	•	•	•		٠	•			•			٠				٠	• •		
•				•	•	•			•		•	•	•	•	•			•		•	•	•	•	• •		•	•		•	•		•		•		•			
		•				•		•		•		*			•	• •	•			•			•	• •			•	• •							• •				
		0	• •	0	٠	٠	• •	٠		٠	٠	٠	۰	٠	٠	• •	٠	٠	٠	٠	٠	٠		• •	0		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	٠		• •	٠	٠			٠	•	• •	٠			
0					٠	٠	• •	٠		٠	۰	٠	٠	٠	٠	• •	٠	٠		٠	٠							• •	•		• •	٠	٠	•	• •	٠	• •		
		•		٠		•		٠				٠	•						•	٠	٠		•		٠	٠		• •				٠	•		• •	٠			
																																						· · ·	
0		0		0	٠	0	• •		0		٠	٠	٠		٠	• •	٠	٠	0	٠	۰						٠	• •			• •	٠	٠	٠	• •	۰	• •		
		•				•				•	•		•		•					•			•	• •	•		•						•						

Ţ	f		jor	۰ ۱	າ ໆ (ve	2	X		o/~	jn	งพ	ia	l	- 1	Hin	بو	•	0	Q	z zer	י רוַ [ħ	ч		Gov	•	1	VO	M	in	Ð		[i	12	7 '	 	•
	•	-77	Ń	л. •	· · ·	•	0		•	• •		•	•	0	0	*	•	o ,	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	• •		•	•	• •	9 9 9 8	•			• •	0
• •	0	• •	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	÷	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	• •	•	•	•	• •		÷	•	•	• •	•
• •	•	- 	•	Y	0,0		V.e		21	ve		. 4	an	•	0	A	{ +	•	· .	N	•	•	49	32	Ď		•	(-f	ron	P	of.		Ki	\sim		•	• •	
• •	•		•	•	• •		•	•	•		• •	•	•	•	•	•	•	• •	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•		•	•	•			٠	•	•		•
• •	٠	• •	٠		• •	•	٠	•			•	٠	٠	٠	٠	٠	•	•			•		•	• •					٠		•			٠			• •	
• •	•		•			•	•	•	•	• •	• •	·	•		•	•	· r	•	· ·		•	•	•		, V	•	•	· · ·	•	•	•	• •		•	•	•	• •	•
• •	•	.X	•	. Y	0 \(\)	•	· ∖	Ni	<u>л</u>		• •	Ź.	1.	M	•	•	ŗ	10·	+ · · ·	f	vom	<	Pro	f. :			~~	·)· · ·	•	•	•	• •		•		•	• •	•
• •	٠	• •	٠	٠	• •	•	0	٠					٠	0	0	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			
	•	• •	•	•	• •	•	0	•	•	• •	•		•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	• •	•	•	•	• •		•	•	•	• •	•
	•		•	•		•	•	•	•			•	•	•	•	•	•				•	•	•			•			•	•	•	• •		÷	•			•
• •																																						
• •																																						
• •																																						
• •	٠	• •		•	• •	•		٠	•						•	•		•	• •	•			•	• •		٠		• •	•					•			• •	

		т ді М		r poly	nomial	-time	olgor	<u>i Hm</u>		Tromin	o-Tilizg,	· · ·
· · · ·		 . Үои 	V.e		· · · · · ·	· · · · · ·	 	482		(from Poof.	Kim)	· · ·
· · · · · · · · · · · ·	· · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	\$1.M		vot from	Prof.				· · ·
· · · ·	 .¥	 	· · · ·	oveak			· · · · · · ·	· · · · ·	· · · ·			
										phy	· · · · · · ·	
· · · ·	· · ·	· · · ·	· · · ·							-	Internet	
· · ·	· · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	 			610c.k	chain		Secure .	Tuternet	· · ·

	yon then		a poly,	romial -	time	olgori	Hm	Trom	140-	Tiliza	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
· · · ·			Veceive	· · · · · · ·			482	(from Po	of. Ki		· · · ·
· · · · ·	· · · · · ·		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	5 1 M C		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	 Prof 			· · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · ·
 . .<		×.0 ×.0 · · · · ·	break	(No W					e . Tr	, tevne	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·								 			

The Tromino - Tiling Problem.	
Given Shape S, cam S	be tiled with L-shaped Trominos?
Theorem. Tromino-Tiling	is NP-Hard (NP-Complete)
Solving Tromino - Tiling Provs.	is the infamous NP
	problem, lurking in disguise.
	problem, lurking in disguise. See HW6
	problem, lurking in disguise. See HW6

• •	E	- - - xo	M	1P	le	•	#	· 	3		•	•	T	- 1	ר,	19	• •	-	h	بو ا		PI	a i	re		•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	0	•	•		•	• •	• •	•
	· · -			! ·				•	•		0	٠	٠		٠	. U			•	•	•	٠	•	0	٠	٠		•	0		٠	• •	•	•	٠	•		•	•	•		• •	•
	• •	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	•	•	•		• •	•
											0																	•			•												
		٠		٠			•	•					•			•				•			•	0				•			•				•		٠						
								•				•	•		•	•	•																•	٠						•		• •	
							•	•									•			•		•						•			•											• •	
	•	٠					•		•		•		•			•	•			•		٠	•	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	•	•	•	•	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			٠			•		• •	
	•	٠	• •		٠	٠	•	٠	•	•		•	٠	•	•	•	•		•	•		٠	•	٠			٠	*			•		•		•	٠	٠	•		*		• •	•
			• •	٠	٠	•	٠	0		•		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																																									
		•																																									
		•																																									

Example	#3. Tiling the Plane
Tiling	-the-Plane Problem
Given	a finite collection of files T= Zti,, tre J
Can	the infinite 2D-grid be filed using T?
· · · · · · · · ·	infinitely many copies of any $t \in T$.
· · · · · · · · · ·	
	. .
	. .
	· ·

Example #3. Tiling the Plane	· ·
Tiling-the-Plane Problem Given a finite collection of files T= {t_1,, t_e}	· · ·
can the infinite ZD-grid be filed using T?	· ·
infinitely many copies of any te	
	•••
e.g. Can the plane be filed w/ G. ?	• •
	· ·
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· ·
 	• •
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	• •

Example #3. Tiling the Plane
Tiling-the-Plane Problem Given a finite collection of files T= {t ₁ ,, t _k }
can the infinite 2D-grid be tiled using T? infinitely many copies of any teT.
e.g. Can the plane be filed w/ ff?
A: Yes!

		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	($\sum_{i=1}^{n}$, , , (V	e	, M	•	. (2			f	ĩν	Λi	1	- C	_	•	C	0	1	le		Ċ	+	، ۱۹	シレ	ר ַ			,f	•	•) f	· · · ·	e e					Γ	· · · · · ·	· · · ·	J.	£ 51	. ا			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			•	
•) X	0 V	•	•	N	/)	n Ni	a 1	- - -	ī	2	•		Ħ	rl	•		Б.	2 (;-]		l	ol ol	/ 4	Ĵ	δγ	· 、 、 、	ł	h	v	1	•	ł	h	27	ŀ	•	, (20 20	1 v	'e	ک.	•	•	T		l ř	2	2)	· L ·	Ţ	he		P	'lai	n Ne	
. ~	•	•		•	•	•		•	•	•	•		•	•		9	•	•		•	•	•		•	•	•		•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•			•	•	•	•	•		•	•
•	•	•		•	•	•		•	•	•										•	•			•	•	•		•	٠	•		•	٠		٠		•	٠	٠			•		•	٠		٠				•	•	•	•	٠	•	•	•
•	•	•		•	•			•	٠				٠			•	•	•		•	•	•		•	•	•		•	•	•		•	•	•			•	•	•		•	•		•	•	•	•	•			•	*	•	•	٠	•	*	•
•	•	•		•	•	•		•	·				•							•				•	٠			•	•			•					•	•						•							•					•	•	•
	•	•																																																						•		•
																																																										•
٠	٠	۰		•				•	٠	۰			٠				•	٠		•		•			۰	•		•	٠	•		•					•	٠	٠	•				•	•		٠				•	•	٠			٠	٠	•
	٠	0		•	٠	۰		٠	0				0	٠		,	٠	•		•	٠	٠		•	۰	٠		•		٠		٠	٠	٠			•	0	0	٠	٠			•	•	٠	٠	٠			0	٠	٠	٠	0	٠	٠	•
																																																										•

Tiling-the-Plane Problem Given a finite collection of tiles T= {ti, -, tre} can the infinite 2D-grid be tiled using T? Q: What is the best algorithm that solves Tilizg-The-Plane? Theorem. There does NOT exist any algorithm that solves the Tiling-The-Plane Problem. Tiling-The-Plane is Undecidable

•	WF		· · ·	70	•	 	e .		Car		•	al	00			ţ)\(ob	le	M	s S		ho	nt.		Ċ	XV V		- - -		e	•	50	1~~	<u>ə</u> d	?	· · ·
•	• •	• •	• •	•	•	••••	•	•	•	• •	•	•	•	• •	•	•	•	•	•	• •	•	•	•	• •	•	•	•	• •	•	•	•	•	• •	•	•	•	• •
	• •				٠		٠		•			٠		• •	•	٠			٠	• •		٠	٠			٠	•				•	٠	• •				
•		• •		•	•	• •	•	•	•	• •	•		•	• •	•	•	•	•	•		•	•	•	• •	•		•		•	•	•	•		•	•	•	
٠	o o			٠	0		٠	٠				0	٠	• •	٠	0	٠	٠	0		٠	٠	٠		•	0	٠	• •	٠		٠	0	• •	٠		٠	
٠	• •	•		٠	٠	• •	٠	٠	٠	• •	٠	0	٠	• •	٠	0	٠	٠	0	• •	٠	٠	٠	• •	•	0	٠	• •	٠	٠	٠	0	• •	٠	0	٠	0 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		• •			·	• •	٠		•	•					
•		•		•	•	• •	•	•	•	• •	•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	• •	•	•	•	•••	•	•	•	•		•	•	•	
																						•									•						
	• •	•			•	• •	٠					٠				•			•			•	٠						٠		•	٠	• •				• •
	0 0	•			٠				•	• •	٠	۰	•	• •	٠	٠			•	• •	•	٠		• •		٠	•	• •			٠	٠	• •			•	
•		•		•	•	• •	•		•		•	•	•		•	•	•	•	•			•	•	• •		•	•				•	•			•	•	• •
		•		٠	•	0 0				• •		٠				٠			•			٠				٠		• •			•	•			0		0 0
	• •	•			•	• •			•	• •	•	٠	٠			٠			٠	• •		•	•			٠	•				•	٠	• •			•	• •
٠	• •	•			٠		٠	•	*		٠	٠	٠	• •	٠		٠	•		• •	٠	٠	٠	• •	•	٠			•	•	٠		• •	٠		٠	
•	• •			•	•	• •	•	•	•		•	0	•	• •	•	0	•	•	0	• •	•	•	•	• •	•		•	• •	•	•	•		• •	•	•	•	• •
٠		•			0		٠	٠	٠	• •		0	٠	• •	٠	0	٠	٠	0		٠	٠	٠	• •	٠	0		• •	٠	٠	٠	0	• •	٠		٠	
٠	• •	•		٠	0	• •	٠	٠		• •	٠	0		• •		•	٠	•	0			٠		• •	٠		٠	• •	٠	٠	٠	•	• •			٠	• •
•	• •																																				• •
	• •	•			٠	• •			•		•	٠	•		•	٠			٠	• •		٠	٠			٠					•	٠	• •		٠		• •
	• •																																				
•	• •			•			•			- ·	•			- 1	•	•		•		- •	•	•			•	•			•				- •	•		•	- •

Why do we care about problems that a	can't be solved?
The Check-GPT Problem.	A820 basia avairable
* Write an inefficient algorithm A for * Ask GPT to return an efficient that solves the same pr	algorithm A*
* Return True iff A and A* solve	
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Why do we care about problems that can't be solved?
The Check-GPT Problem. * Write an inefficient algorithm A for 4820 homework * Ask GPT to return an efficient algorithm A* that solves the same problem as A. * Return True iff A and A* solve the same problem.
Theorem. Check-GPT is Undecidable! No algorithm (current or future) can reliably check the output of AI for correctness. See HW9