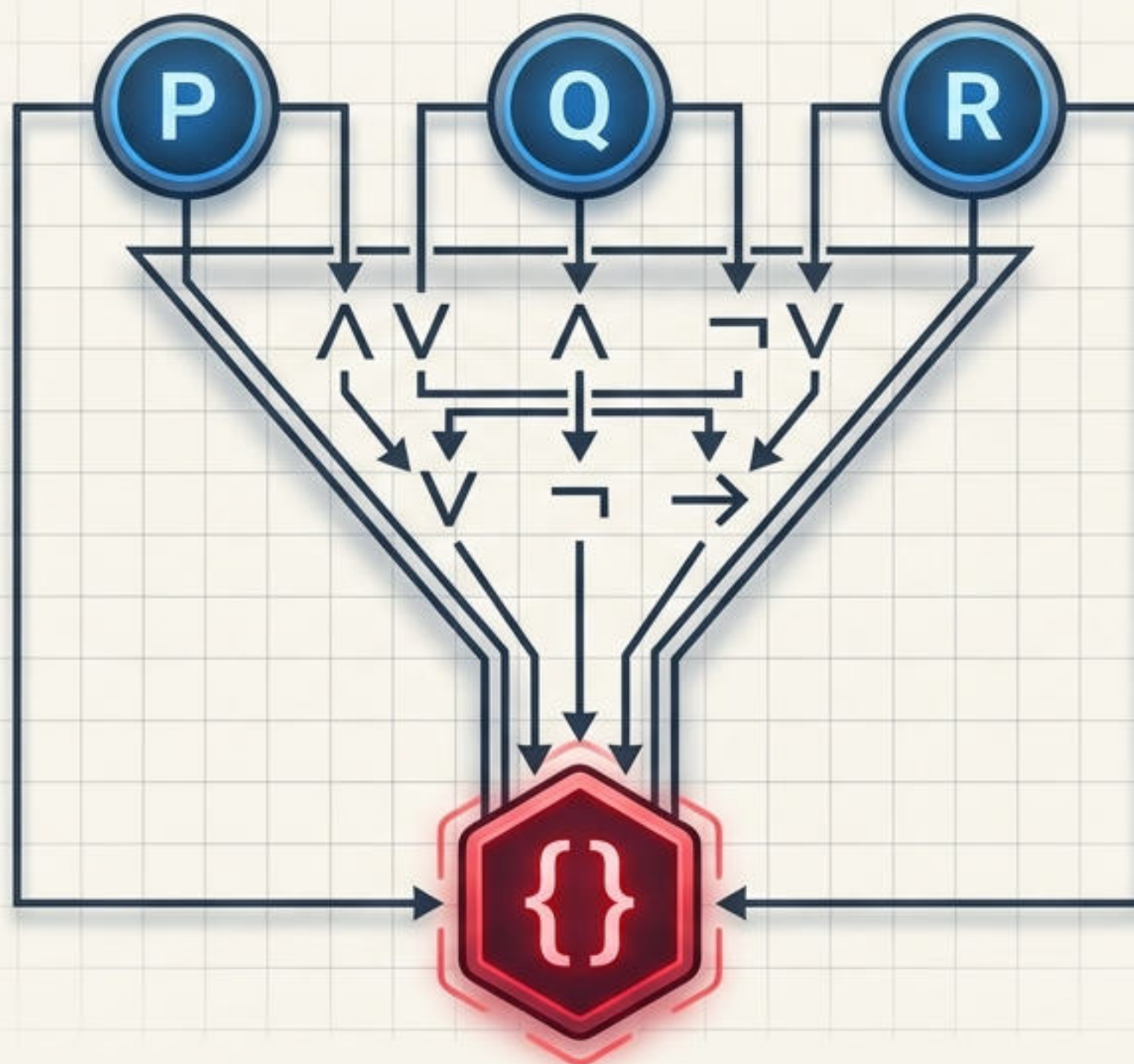
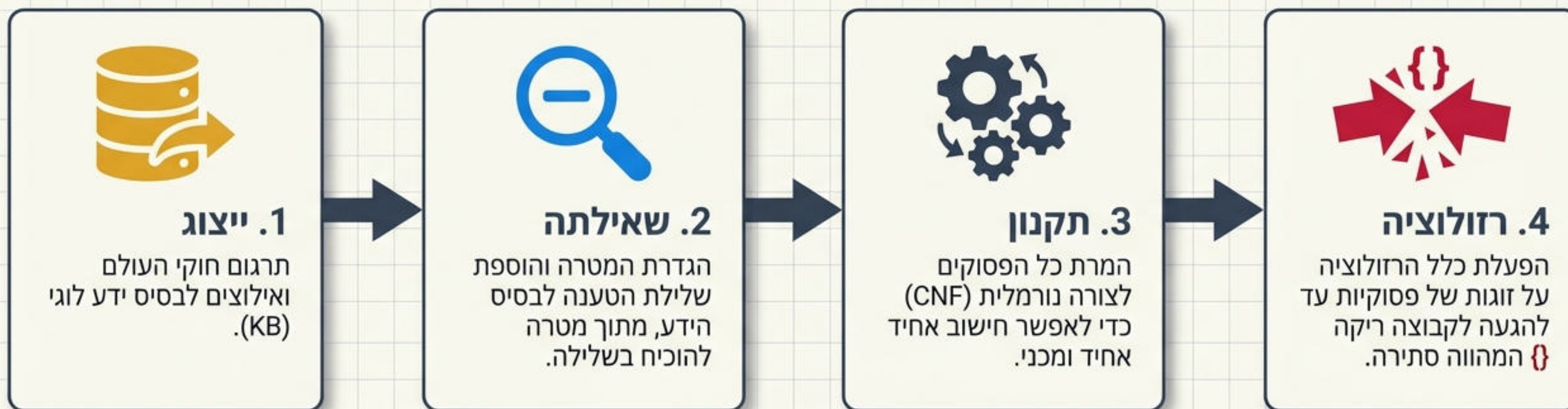


מילים למסקנות: המדריך השלם ללוגיקה ורזולוציה ב-AI

מתחשיב הפסוקים ועד לוגיקה מסדר ראשון (פרקים 7-9)



האלגוריתם של ההיגיון: איך סוכן AI חושב?



הגעה לסתירה מוכיחה שההנחה המקורית שלנו **שגויה** –
ולכן **השאילתה המקורית נכונה**.

ארגז הכלים: חוקי הברזל למעבר ל-CNF

ביטול גרירה (Implication)

$$A \Rightarrow B \equiv \neg A \vee B$$

דה-מורגן (De Morgan's)

$$\neg(A \wedge B) \equiv \neg A \vee \neg B$$

(ולזהפך עבור $\vee$)

ביטול שלילה כפולה
(Double Negation)

$$\neg(\neg A) \equiv A$$

פילוג (Distributive Law) פילוג

$$A \vee (B \wedge C) \equiv (A \vee B) \wedge (A \vee C)$$

מקרה בוחן 1: המסיבה (תחשיב הפסוקים)

$$[(\text{Food} \Rightarrow \text{Party}) \vee (\text{Drinks} \Rightarrow \text{Party})] \Rightarrow [(\text{Food} \wedge \text{Drinks}) \Rightarrow \text{Party}]$$

אגף שמאל

1. $(\text{Food} \Rightarrow \text{Party}) \vee (\text{Drinks} \Rightarrow \text{Party})$
2. $(\neg \text{Food} \vee \text{Party}) \vee (\neg \text{Drinks} \vee \text{Party})$
3. $(\neg \text{Food} \vee \text{Party} \vee \neg \text{Drinks})$

אגף ימין

1. $(\text{Food} \wedge \text{Drinks}) \Rightarrow \text{Party}$
2. $\neg(\text{Food} \wedge \text{Drinks}) \vee \text{Party}$
3. $(\neg \text{Food} \vee \neg \text{Drinks} \vee \text{Party})$

טאוטולוגיה (Tautology): כאשר שני האגפים משני צידי הגרירה $\Rightarrow$ זהים לאחר המעבר ל-CNF, המשפט הוא בעצם במבנה של $P \Rightarrow P$, ולכן הוא נכון תמיד!



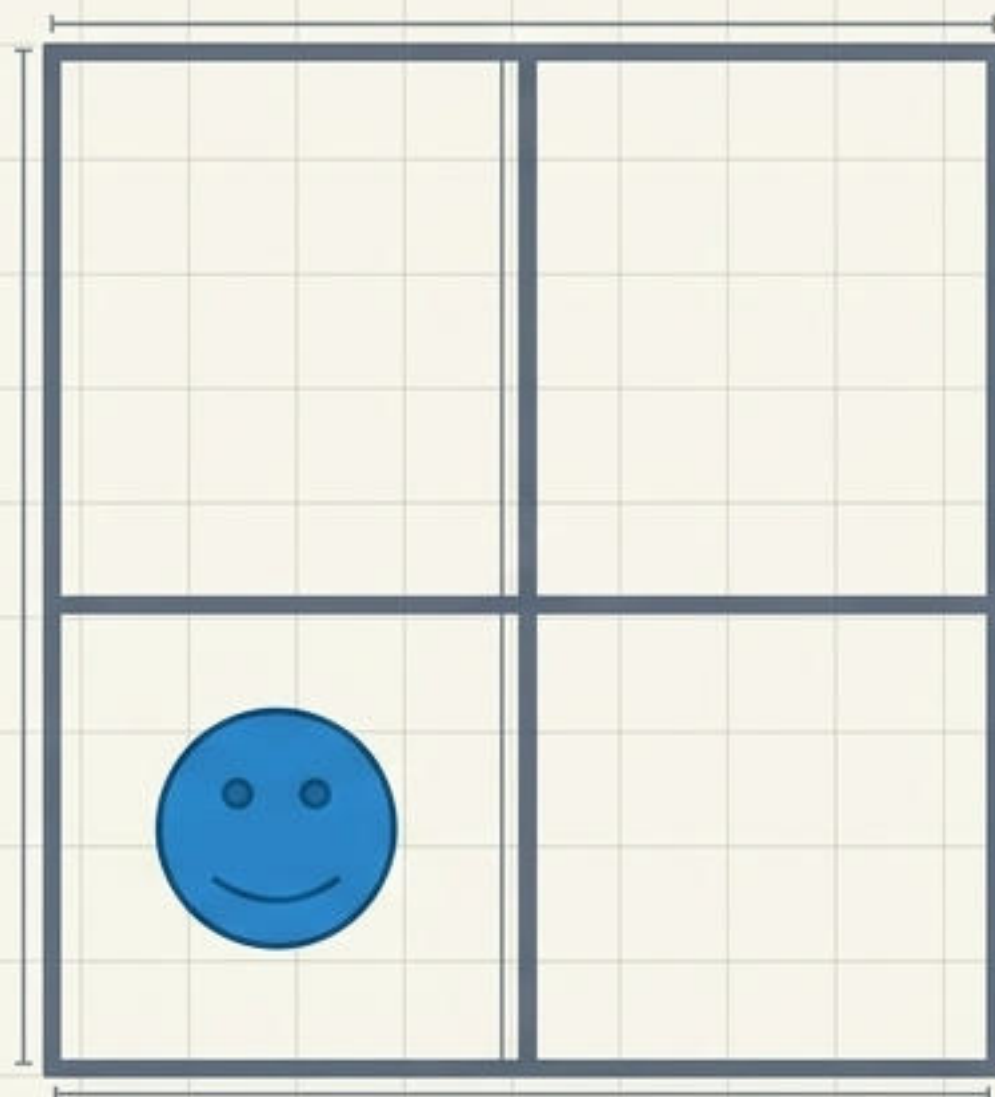
תרגום העולם ללוגיקה: סוכן האורניים

מילון משתנים:

A = האם הקיר השמאלי התחתון זוהר

B = האם הקיר הימני התחתון זוהר

X = האם יש אורניים בחדר הימני התחתון (היעד)



בסיס הידע (KB):

1. $\neg A$ (לא זוהר)

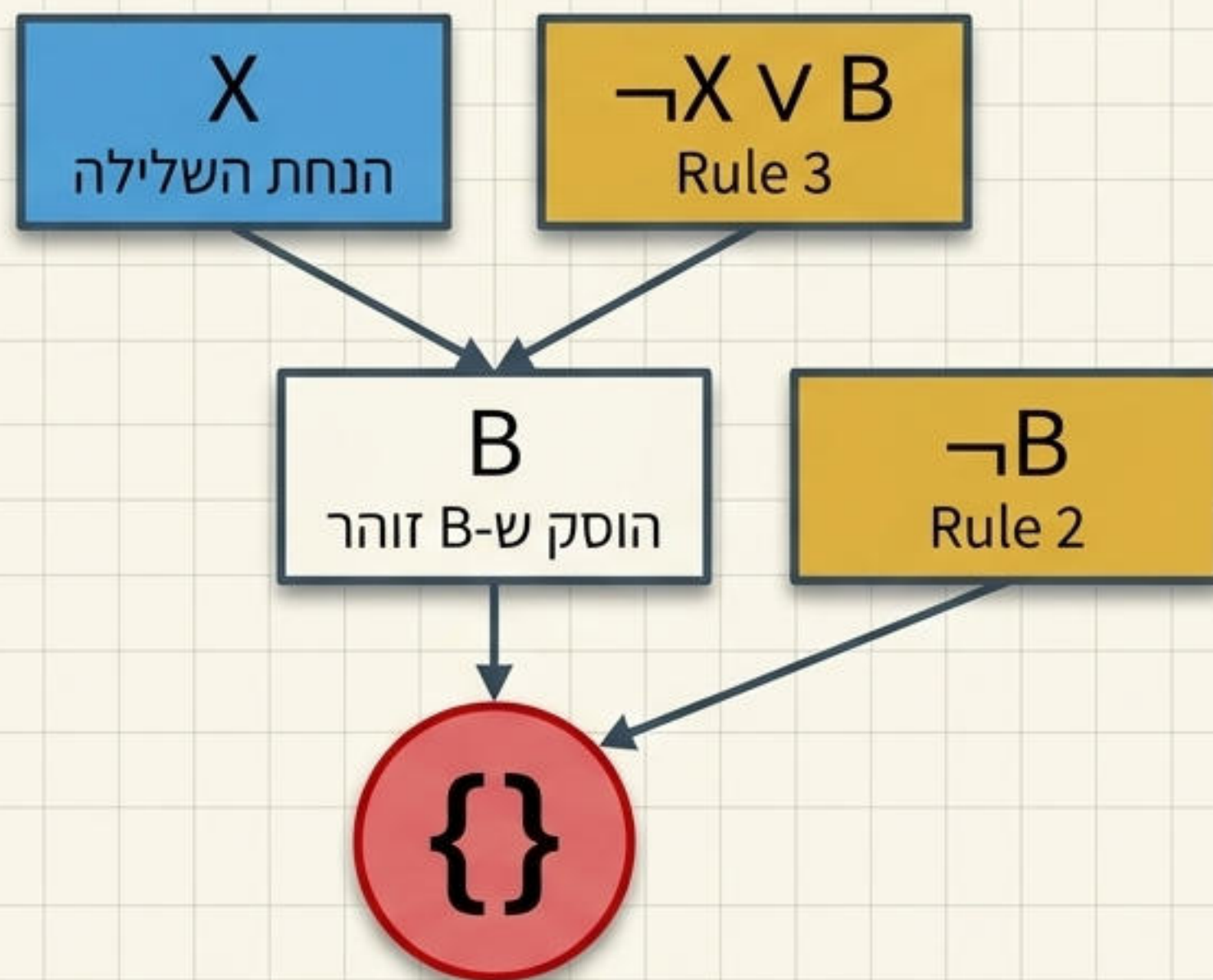
2. $\neg B$ (לא זוהר)

3. $X \Rightarrow B$ (אם יש אורניים, קיר צמוד זוהר)

השאלה:

צריך להוכיח שאין אורניים ($\neg X$).
נוסיף את שלילת הטענה X לבסיס הידע.

פיצוח התיק: הוכחה באמצעות עץ רזולוציה



הגעה לקבוצה ריקה מסמלת סתירה לוגית. מכיוון שחוקי בסיס הידע נכונים, הסתירה נובעת מההנחה X . מסקנה: הטענה המקורית $\neg$ נכונה. אין אורניום.

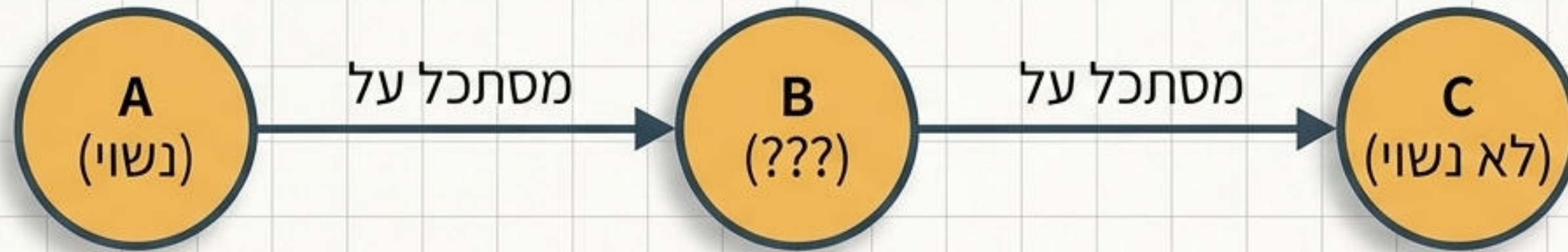
שדרוג מערכת: המעבר ללוגיקה מסדר ראשון (FOL)

תחשיב הפסוקים	לוגיקה מסדר ראשון
$P = \text{יורד גשם}$$Q = \text{הכביש רטוב}$ מוגבל: משתנים בינאריים ונוקשים. לא יכול לייצג חוקים לקבוצת אובייקטים.	The diagram illustrates the components of First-Order Logic (FOL). At the center is a blue box containing the logical statement $Rain(x) \Rightarrow Wet(x)$. Four arrows radiate from this central box to four circular nodes arranged around it. The top-left node contains the universal quantifier symbol $\forall$ and is labeled 'כמת כולל (For All)'. The bottom-left node contains the existential quantifier symbol $\exists$ and is labeled 'כמת ישי (Exists)'. The top-right node contains the text 'פרדיקטים (תכונות ויחסים)' (Predicates (properties and relationships)). The bottom-right node contains the text 'משתנים (Variables)' (Variables). An additional arrow labeled $Rain()$ points from the central box to the top-left node.

מילון עברית-לוגיקה: תבניות תרגום נפוצות

כל ה...	כל סטודנט שלומד...	$\forall x [A(x) \Rightarrow B(x)]$
יש לפחות אחד...	יש סטודנט שלמד...	$\exists x [A(x) \wedge B(x)]$
אף אחד לא...	אף אדם לא...	$\forall x [A(x) \Rightarrow \neg B(x)]$

חידת המבטים: למה בני אדם טועים והאלגוריתם צודק?

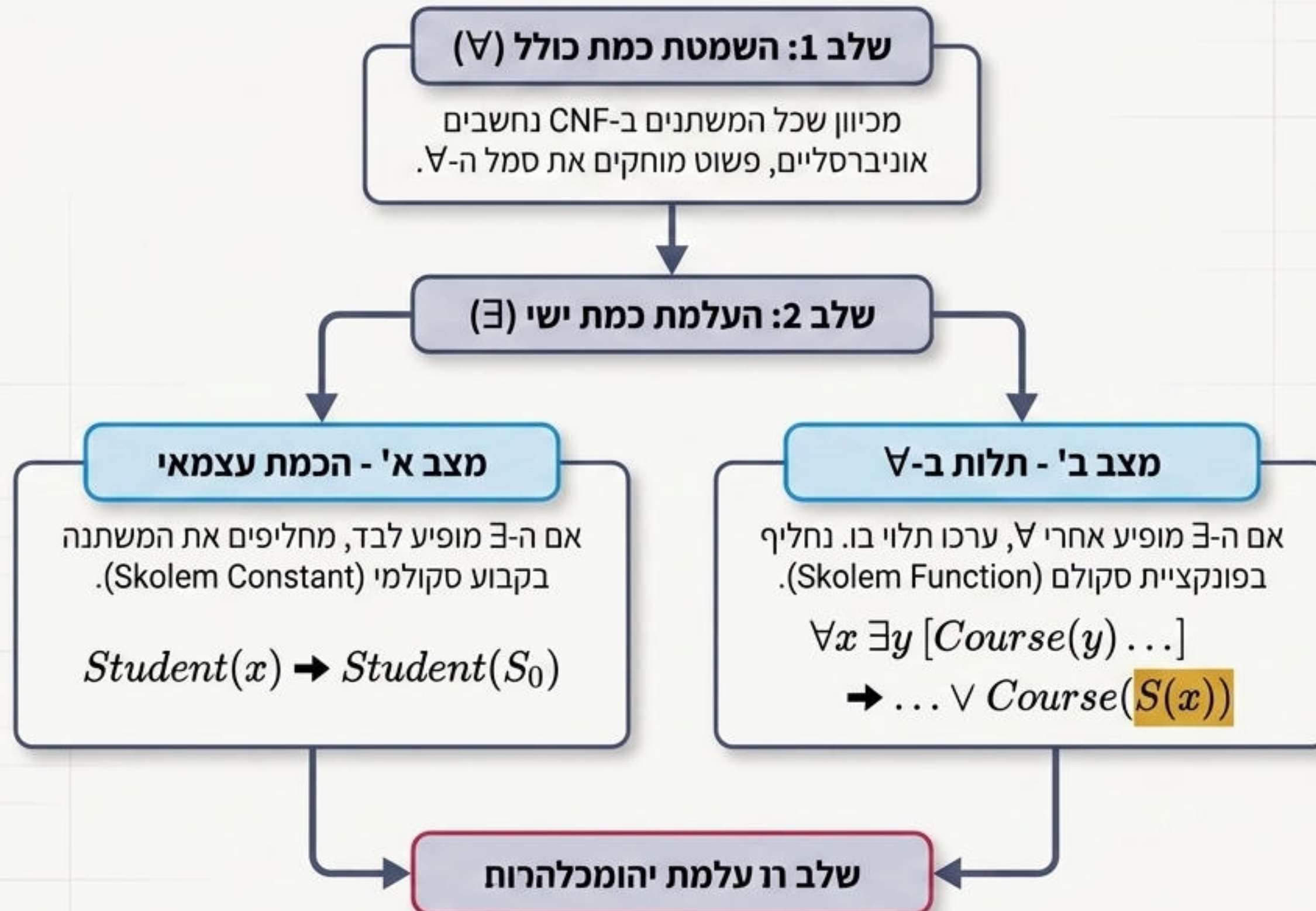


השאלה: האם אדם נשוי מסתכל על אדם לא נשוי?

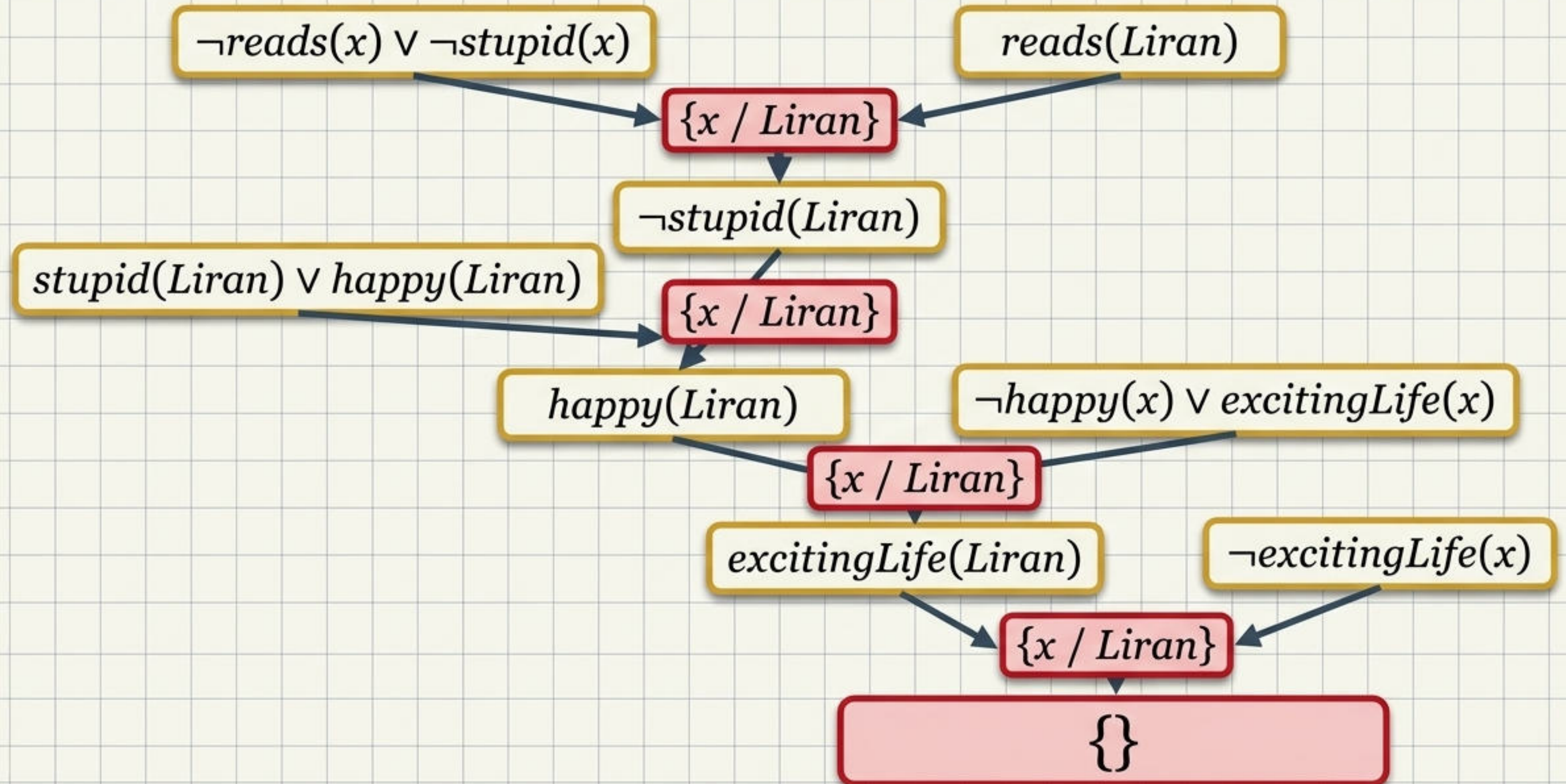
תרגום: $\exists x \exists y [looks_at(x,y) \wedge \neg married(y) \wedge married(x)]$	
הוספת שלילה: $\neg \exists x \exists y [looks_at(x,y) \wedge \neg married(y) \wedge married(x)]$	
CNF (דה-מורגן): $\neg looks_at(x,y) \vee married(x) \vee married(y)$	

האלגוריתם מכה את שני התרחישים האפשריים עבור B בו-זמנית.

סקולמיזציה: איך מעלימים כמתים?



רזולוציה עם משתנים: תהליך ההאחדה (Unification)



תיק חקירה מקצה לקצה: הסטודנטית והלוטו

עובדות (KB)

1. הדר לא לומדת:
 $\neg \text{Studies}(\text{Hadar})$

2. הדר בת-מזל:
 $\text{Lucky}(\text{Hadar})$

3. בר-מזל זוכה בלוטו:
 $\forall x (\text{Lucky}(x) \Rightarrow \text{Wins}(x))$

CNF והשאילתה

הוכח שהדר מאושרת.
נוסיף שלילה:
 $\neg \text{Happy}(\text{Hadar})$

לדוגמה:
 $\neg \text{Lucky}(x) \vee \text{Wins}(x)$

רזולוציה והאחדה כפולה

$2b, 9 \Rightarrow 10. \neg \text{Lucky}(\text{Hadar})$

$\{x/\text{Hadar}, y/\text{Math}\}$



תעלומת הרצח: מי הדובר אמת ומי הרוצח?

 גיא	 דודי	 עופר
אני לא רוצח. דודי חבר שלי. עופר שונא את דן.	אני לא רוצח, לא מכיר את האיש והייתי מחוץ לעיר.	אני לא רוצח. הייתי עם גיא גיא ודודי.
$\neg \text{Killer}(\text{Guy}) \Rightarrow$ $\text{Friend}(\text{Dudi}, \text{Dan}) \wedge$ $\neg \text{Friend}(\text{Ofer}, \text{Dan})$	$\neg \text{Killer}(\text{Dudi}) \Rightarrow$ $\neg \text{Friend}(\text{Dudi}, \text{Dan})$ $\wedge \neg \text{With}(\text{Dudi})$	$\neg \text{Killer}(\text{Ofer}) \Rightarrow$ $\text{With}(\text{Dudi}) \wedge$ $\text{With}(\text{Guy})$

אילוץ על (Master Constraint): רק אחד ביצע את הרצח

$$\begin{aligned}\text{Killer}(\text{Guy}) &\Rightarrow \neg \text{Killer}(\text{Dudi}) \wedge \neg \text{Killer}(\text{Ofer}) \\ \text{Killer}(\text{Dudi}) &\Rightarrow \neg \text{Killer}(\text{Guy}) \wedge \neg \text{Killer}(\text{Ofer}) \\ \text{Killer}(\text{Ofer}) &\Rightarrow \neg \text{Killer}(\text{Dudi}) \wedge \neg \text{Killer}(\text{Guy})\end{aligned}$$

יוריסטיקה: לעבוד חכם, לא קשה

3. $\text{Killer}(\text{Dudi}) \vee \neg \text{Friend}(\text{Dudi}, \text{Dan})$

4. $\text{Killer}(\text{Dudi}) \vee \neg \text{With}(\text{Dudi})$

5. $\text{Killer}(\text{Ofer}) \vee \text{With}(\text{Dudi})$

6. $\text{Killer}(\text{Ofer}) \vee \text{With}(\text{Guy})$

7. $\neg \text{Killer}(\text{Guy}) \vee \neg \text{Killer}(\text{Dudi})$

8. $\neg \text{Killer}(\text{Guy}) \vee \neg \text{Killer}(\text{Ofer})$

9. $\neg \text{Killer}(\text{Dudi}) \vee \neg \text{Killer}(\text{Ofer})$

10. $\neg \text{Killer}(\text{Dudi})$

העדפת פסוקי יחידה (Unit Clause Preference)

באיזו יוריסטיקה משתמשים כדי לייעל את הרזולוציה?

האלגוריתם מתעדף תמיד בחירת פסוקית ליטרל בלבד (כמו $\text{Killer}(\text{Dudi})$).

פעולה זו מצמצמת במהירות את אורך הפסוקיות הנגזרות, חותכת את מרחב החיפוש, ומובילה לסתירה הרבה יותר מהר מאשר רזולוציה של שתי פסוקיות ארוכות.

סיכום מערכת: מפת הדרכים להוכחה לוגית

1. קלט (Input): תרגום משפטים בעברית להצרנה בעזרת פרדיקטים (FOL) או משתנים (Prop).

2. מטרה (Goal): הוספת $\neg$ (שלילה) לטענה שאותה רוצים להוכיח, והכנסתה לבסיס הידע (KB).

3. מכבש ה-CNF (Standardization)

סטנדרטיזציה של משתנים
(מניעת התנגשויות)

הורדת שלילות פנימה
(דה-מורגן)

ביטול חוק הגרירה ($\Rightarrow$)

חוק הפילוג (Distributive)
 $\vee$ על $\wedge$

השמטת $\forall$
(הכל אוניברסלי)

סקולמיזציה
(החלפת $\exists$ בקבועים/פונקציות)

4. מנוע חיפוש (Resolution): חיפוש זוגות להאחדה (Unification) $\rightarrow$ ביטול נגדיים $\rightarrow$ קבוצה ריקה $\{\}$ המאשרת סתירה.