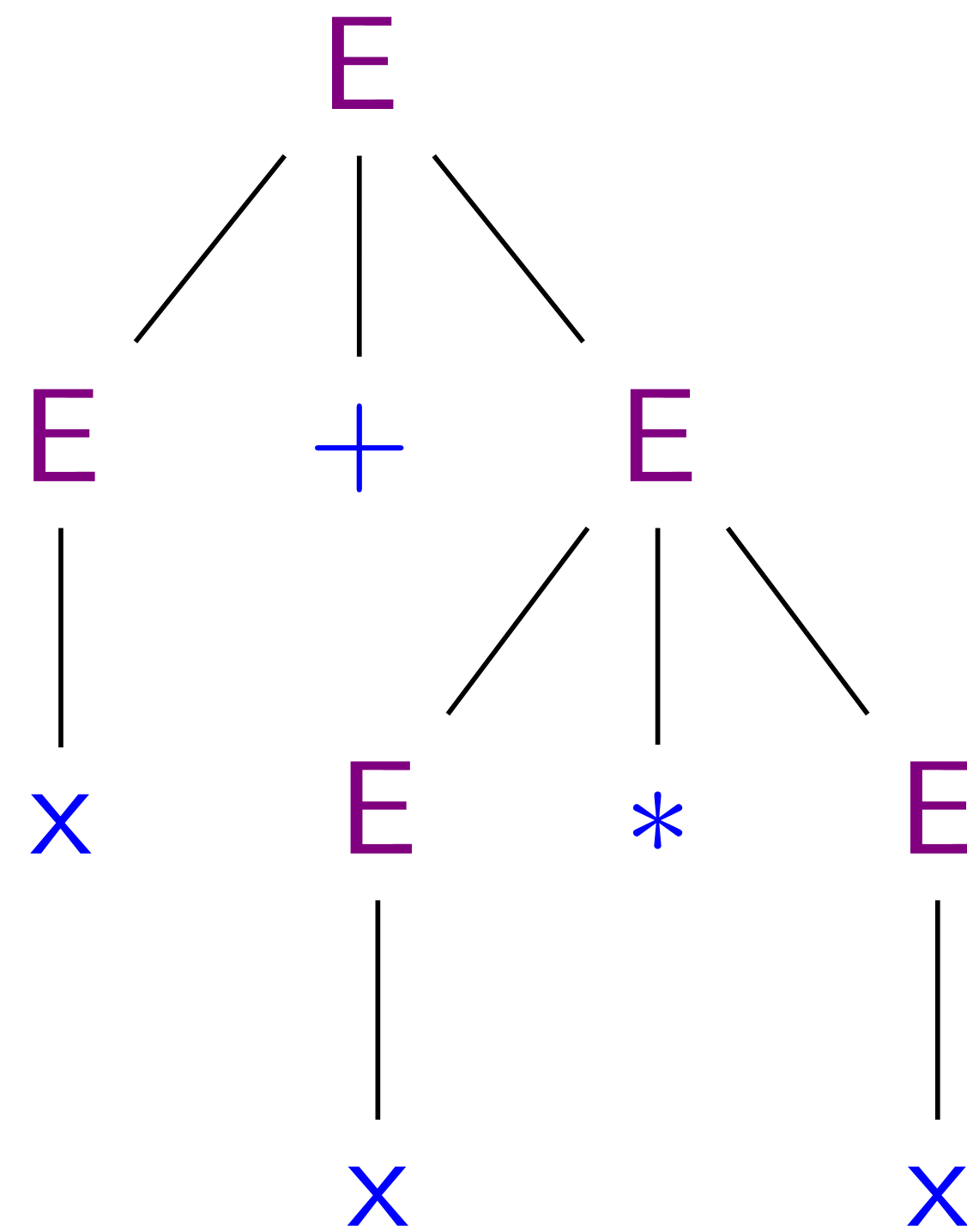
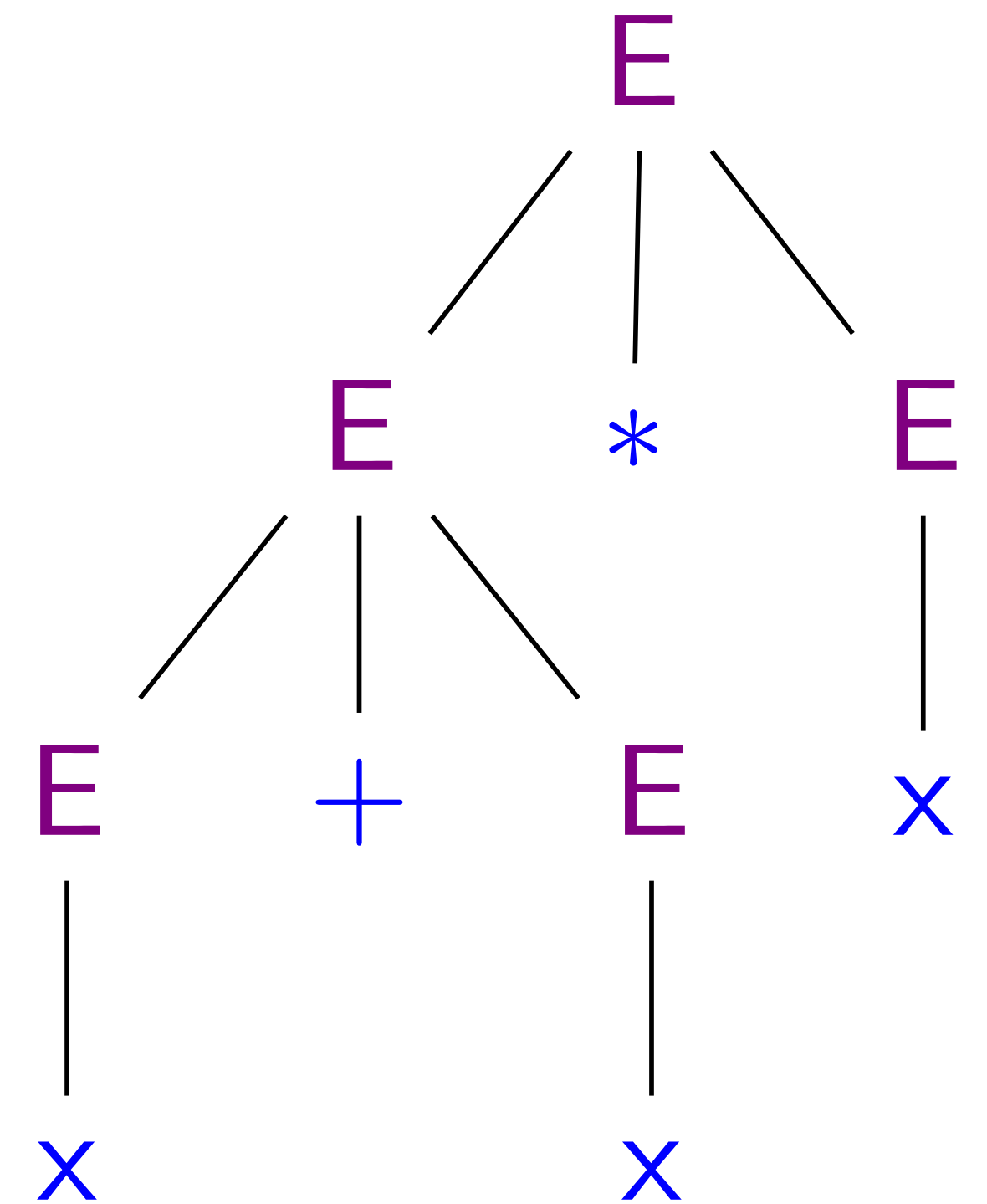


Süntaksanalüüs

Mitmesuse elimineerimine
Abstraktne süntaksipuu



$$E \rightarrow E + E \mid E * E \mid (E) \mid x$$



Mitmesus

Grammatika on mitmene (*ambiguous*), kui ühe lause jaoks leidub mitu süntaksipuud.
Mida teha, et sõna „ $x+x*x$ “ tõlgendataks õigesti?

Mis grammatika ütleb?

- Avaldis on avaldis plus avaldis.
- Avaldis on avaldis korda avaldis.
- Sulgavaldis on avaldis.
- Muutuja on avaldis.

Näiteks avaldised
 $2 + 3$ ja 4 saab kokku
panna avaldiseks
 $2 + 3 * 4$.

$$\begin{aligned} E &\rightarrow E + E \\ &| E * E \\ &| (E) \\ &| x \end{aligned}$$

Probleemipüstitus

- Võime avaldised $2 + 3$ ja 4 ühendada korrutusmärgiga. Meie saadud $2 + 3 * 4$ on aritmeetiline avaldis! 😊
- Aga avaldise väärtus ei ole avaldiste $2 + 3$ ja 4 korrutis. Avaldise väärtus on hoopis $2 + (3 * 4) = 14$. 😞
- Kuidas ehitada selline grammatika, mis oleks kooskõlas tehete väärtustamise järjekorraga? 🤔

Tagasi põhikooli...

- Liitmine: plussiga eraldatud **liidetavate** list.
Tulemuseks on nende **summa**.

$$L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

- Korrutamine: korrutusmärgiga eraldatud **tegurite** list.
Tulemuseks on nende **korrutis**.

$$T_1 * T_2 * \dots * T_n$$

- Põhiküsimus: kas $2 + 3$ on tegur?

$$T * 4$$

- Vastus: ainult siis kui sulud on ümber $(2 + 3)$.

$$\begin{array}{l} 2 + 3 * 4 \\ (2 + 3) * 4 \end{array}$$

Põhikoolist grammatikani

Regulaar-
avaldisena:
 $L(+L)^*$

- Avaldis on plussiga eraldatud liidetavad.
- Liidetavad on korrutusmärgiga eraldatud tegurid.
- Tegur on arvkonstant või sulgavaldis.

$$\begin{array}{l} E \rightarrow E + L \\ \quad | L \\ L \rightarrow L * T \\ \quad | T \\ T \rightarrow (E) \\ \quad | \textit{num} \end{array}$$

Üldisem skeem

- Iga prioriteeditaseme jaoks toome sisse uue mitte-terminali.
- Tugevama prioriteediga operaatoritele vastavad reeglid paigutame „sügavamale“, näiteks korrutamine on sügavamal kui liitmine.
- Vasakassotsiatiivse operaatori korral vasakrekursioon.
Paremassotsiatiivse operaatori korral paremrekursioon.

$\text{Exp} \rightarrow \text{Exp} + \text{Exp2}$

| Exp2

$\text{Exp2} \rightarrow \text{Exp2} * \text{Exp3}$

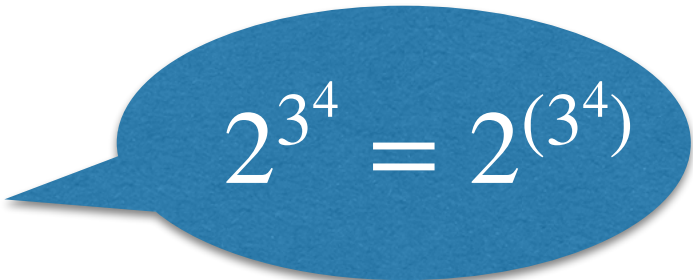
| Exp3

$\text{Exp3} \rightarrow \text{Exp4} ** \text{Exp3}$

| Exp4

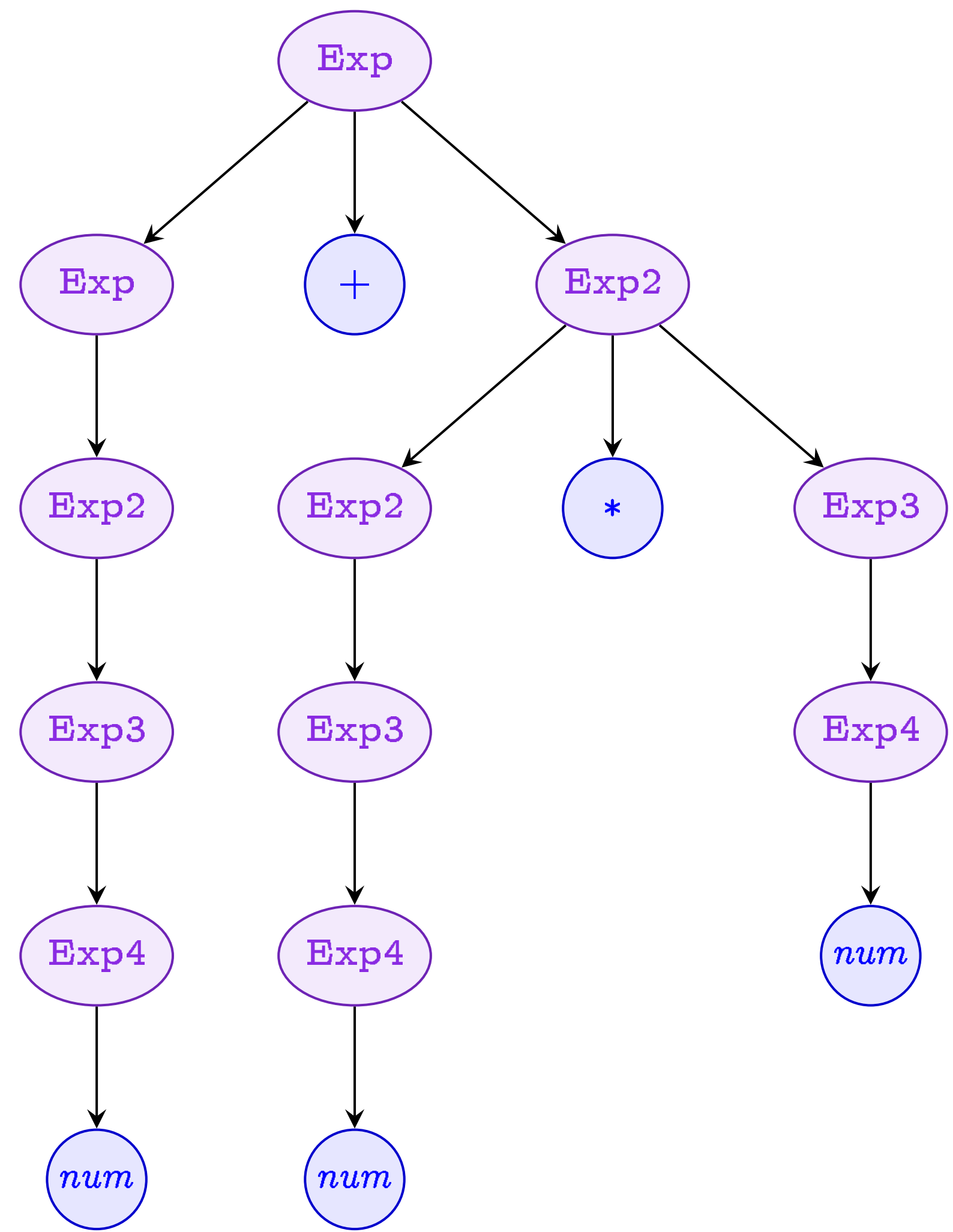
$\text{Exp4} \rightarrow (\text{Exp})$

| num


$$2^{3^4} = 2^{(3^4)}$$

$\text{Exp} \Rightarrow_{lm} \text{Exp} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{Exp2} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{Exp3} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{Exp4} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{Exp2} * \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{Exp3} * \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{Exp4} * \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{num} * \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{num} * \text{Exp4}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{num} * \text{num}$

Tahame saada
 $n + n \times n$,
 peame alustama
 liitmisega!

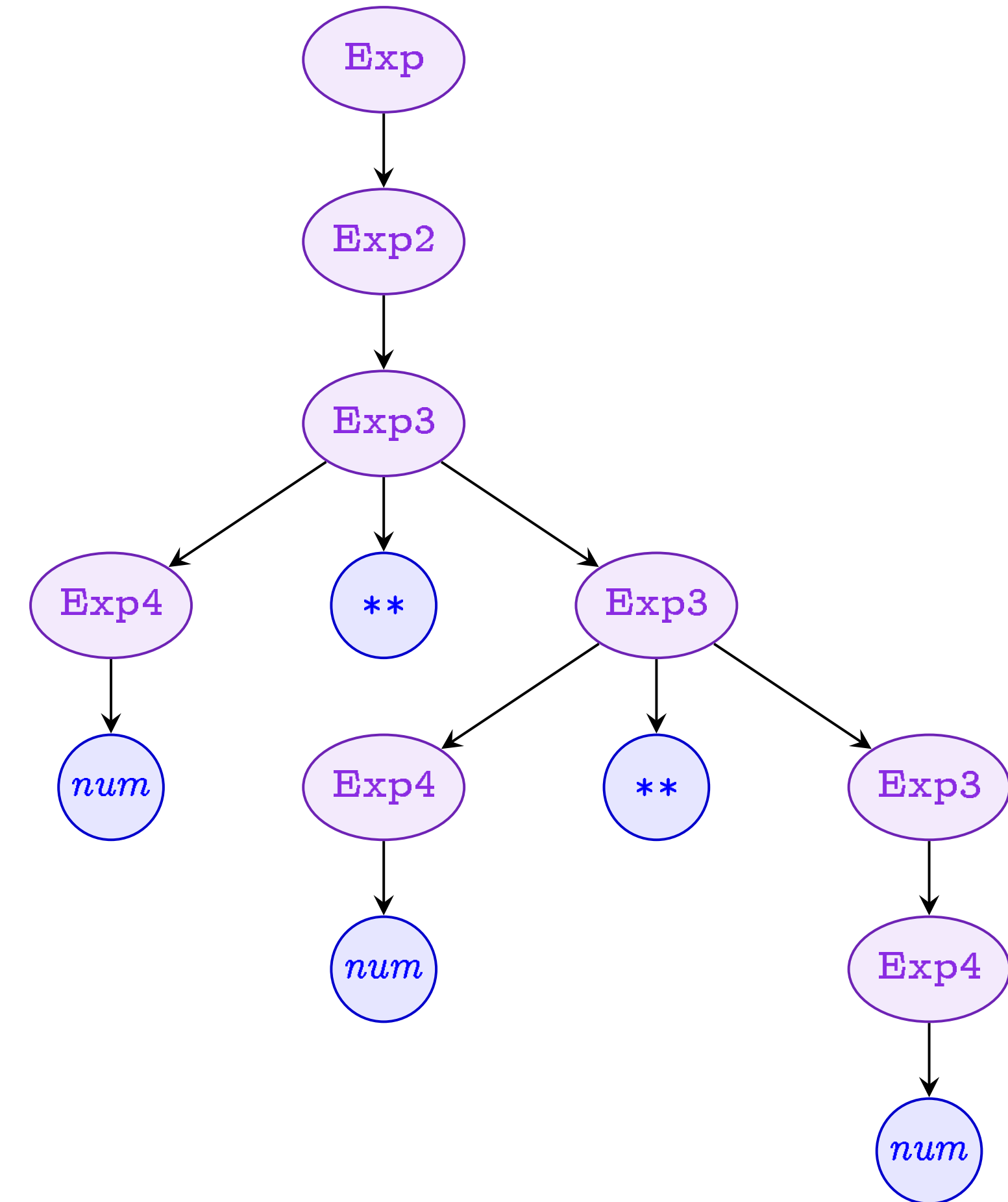


Exp	→	Exp + Exp2	Exp3	→	Exp4 ** Exp3
		Exp2			Exp4
Exp2	→	Exp2 * Exp3	Exp4	→	(Exp)
		Exp3			num

Näide: Prioriteetid

$\text{Exp} \Rightarrow_{lm} \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{Exp4} ** \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} ** \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} ** \text{Exp4} ** \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} ** \text{num} ** \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} ** \text{num} ** \text{Exp4}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} ** \text{num} ** \text{num}$

Saame ainult paremal
uesti astendada!

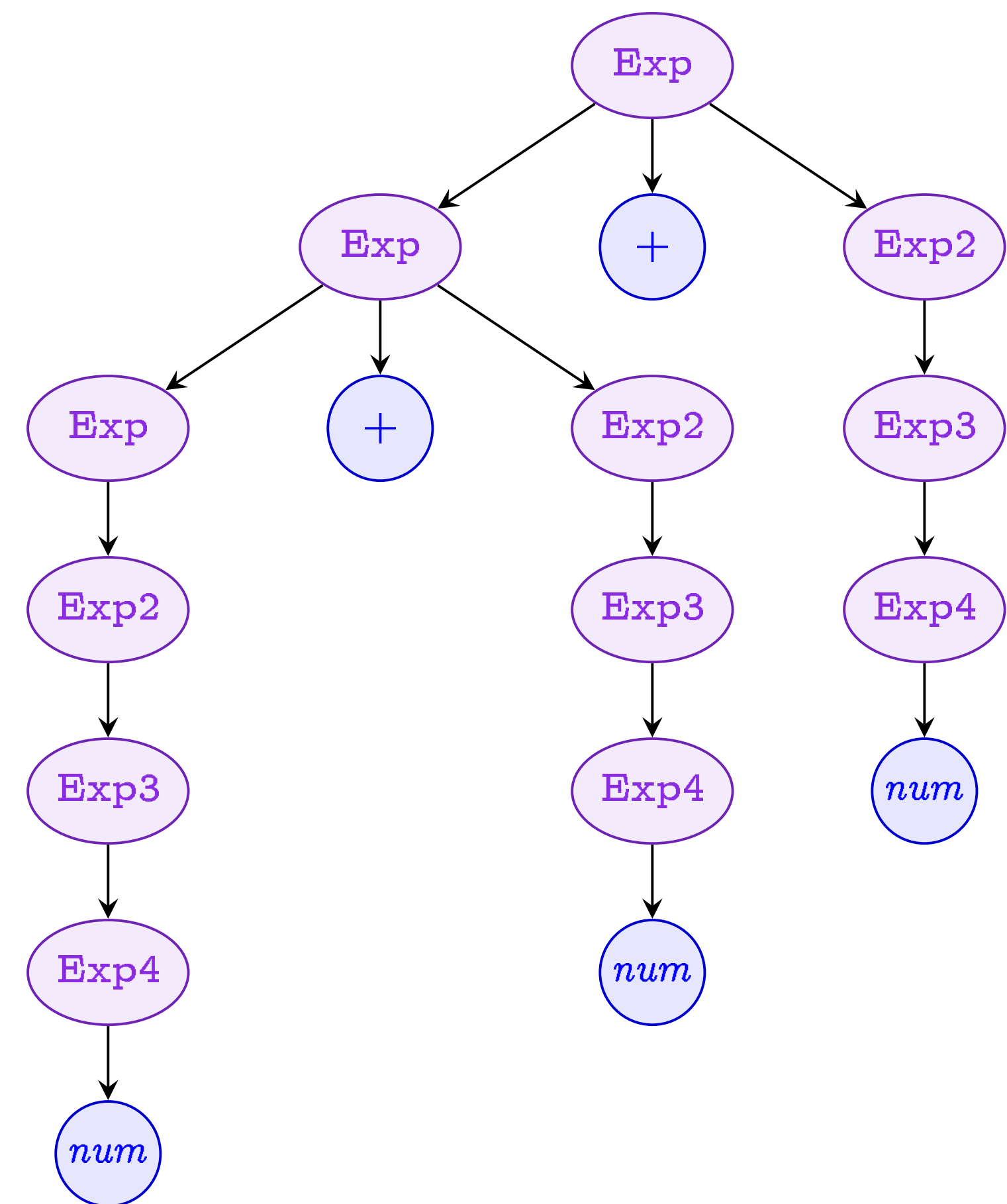


Exp	→	Exp + Exp2	Exp3	→	Exp4 ** Exp3
		Exp2			Exp4
Exp2	→	Exp2 * Exp3	Exp4	→	(Exp)
		Exp3			num

Paremassotsiatiivsus

$\text{Exp} \Rightarrow_{lm} \text{Exp} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{Exp} + \text{Exp2} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{Exp2} + \text{Exp2} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{Exp3} + \text{Exp2} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{Exp4} + \text{Exp2} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{Exp2} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{Exp3} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{Exp4} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{num} + \text{Exp2}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{num} + \text{Exp3}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{num} + \text{Exp4}$
 $\Rightarrow_{lm} \text{num} + \text{num} + \text{num}$

Saame ainult
vasakul uuesti liita!



Exp	→	Exp + Exp2	Exp3	→	Exp4 ** Exp3
		Exp2			Exp4
Exp2	→	Exp2 * Exp3	Exp4	→	(Exp)
		Exp3			num

Vasakassotsiatiivsus

AdditiveExpression:

MultiplicativeExpression

AdditiveExpression + MultiplicativeExpression

AdditiveExpression - MultiplicativeExpression

MultiplicativeExpression:

UnaryExpression

MultiplicativeExpression * UnaryExpression

MultiplicativeExpression / UnaryExpression

MultiplicativeExpression % UnaryExpression

Mitte ainult põhikoolis...

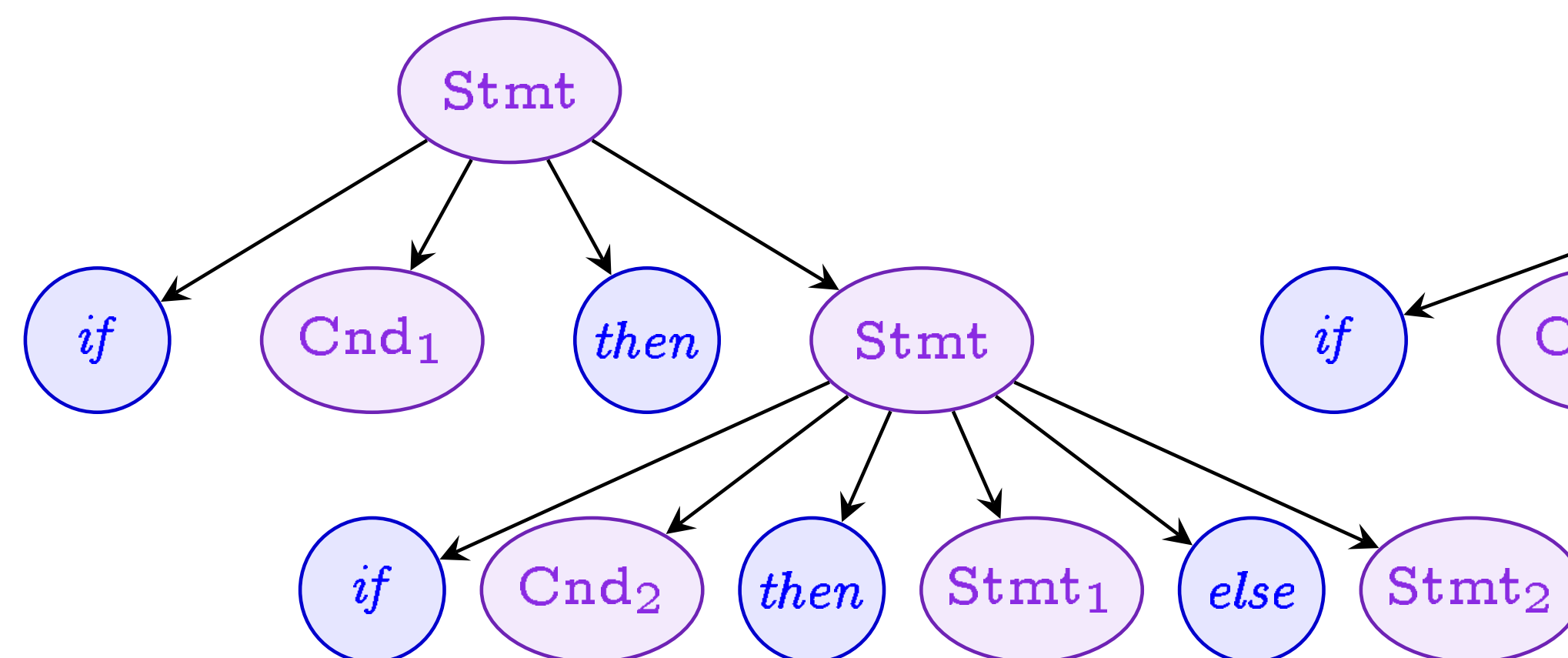
<https://docs.oracle.com/javase/specs/jls/se16/html/jls-15.html#jls-15.18>

Online mitmesuse näide!

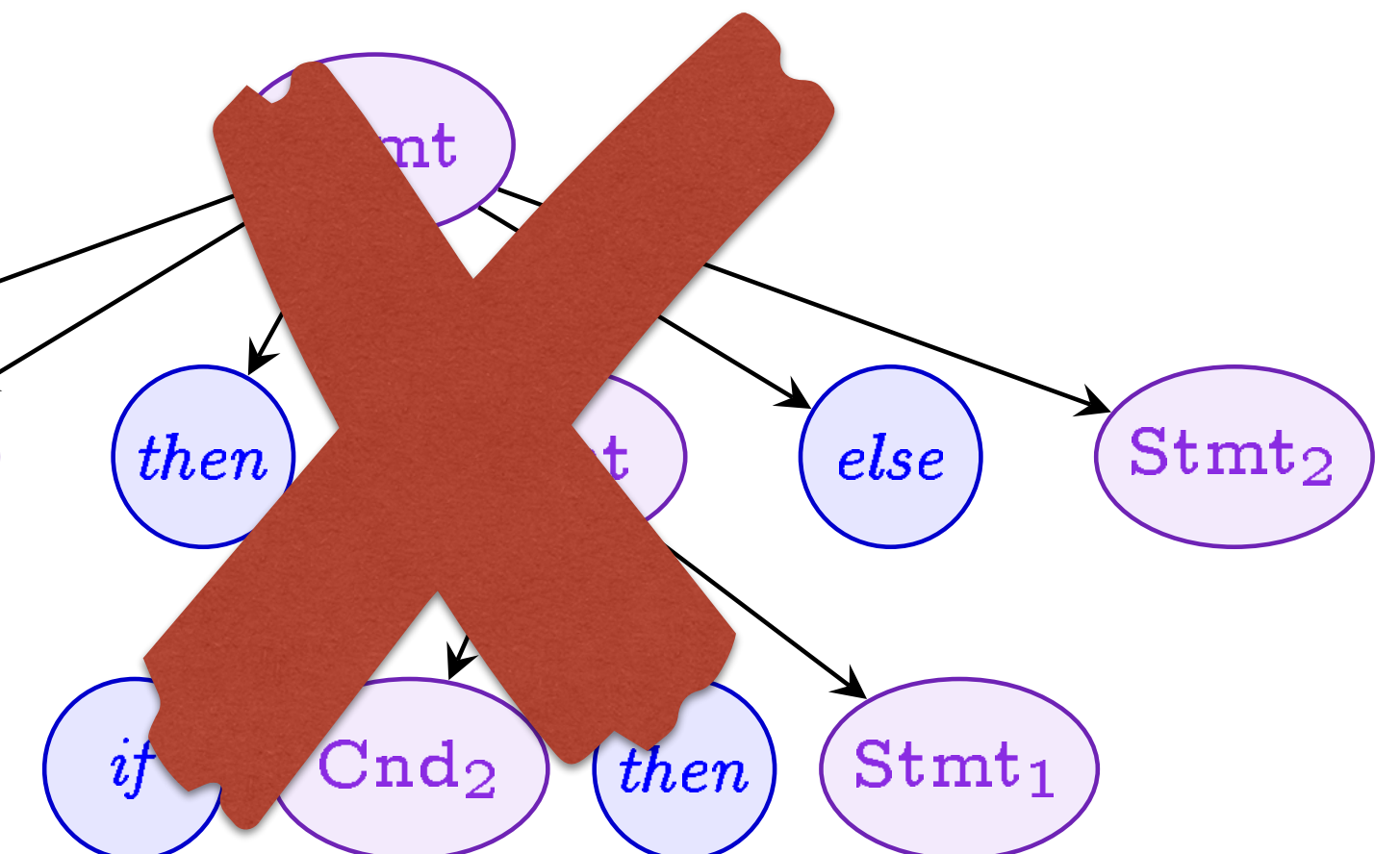
Stmt → *if* Cnd *then* Stmt
| *if* Cnd *then* Stmt *else* Stmt
| Other

Kellele kuulub see „else“?

if Cnd₁ *then* *if* Cnd₂ *then* Stmt₁ *else* Stmt₂

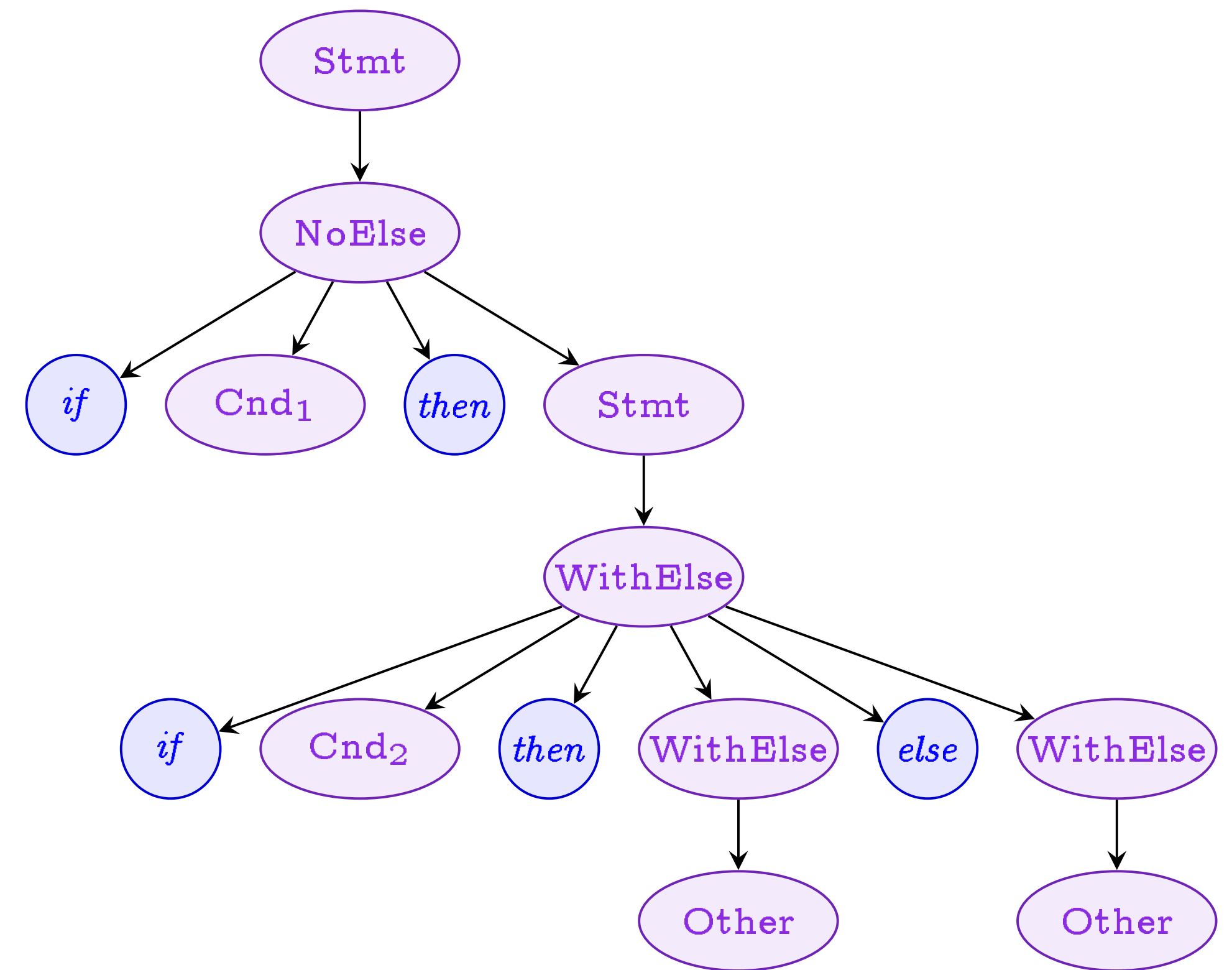


if Cnd₁ *then* (*if* Cnd₂ *then* Stmt₁ *else* Stmt₂)



if Cnd₁ *then* (*if* Cnd₂ *then* Stmt₁) *else* Stmt₂

Stmt → WithElse
 | NoElse
 WithElse → *if* Cnd *then* WithElse *else* WithElse
 | Other (Java Spec: “StatementNoShortIf”)
 NoElse → *if* Cnd *then* Stmt
 | *if* Cnd *then* WithElse *else* NoElse

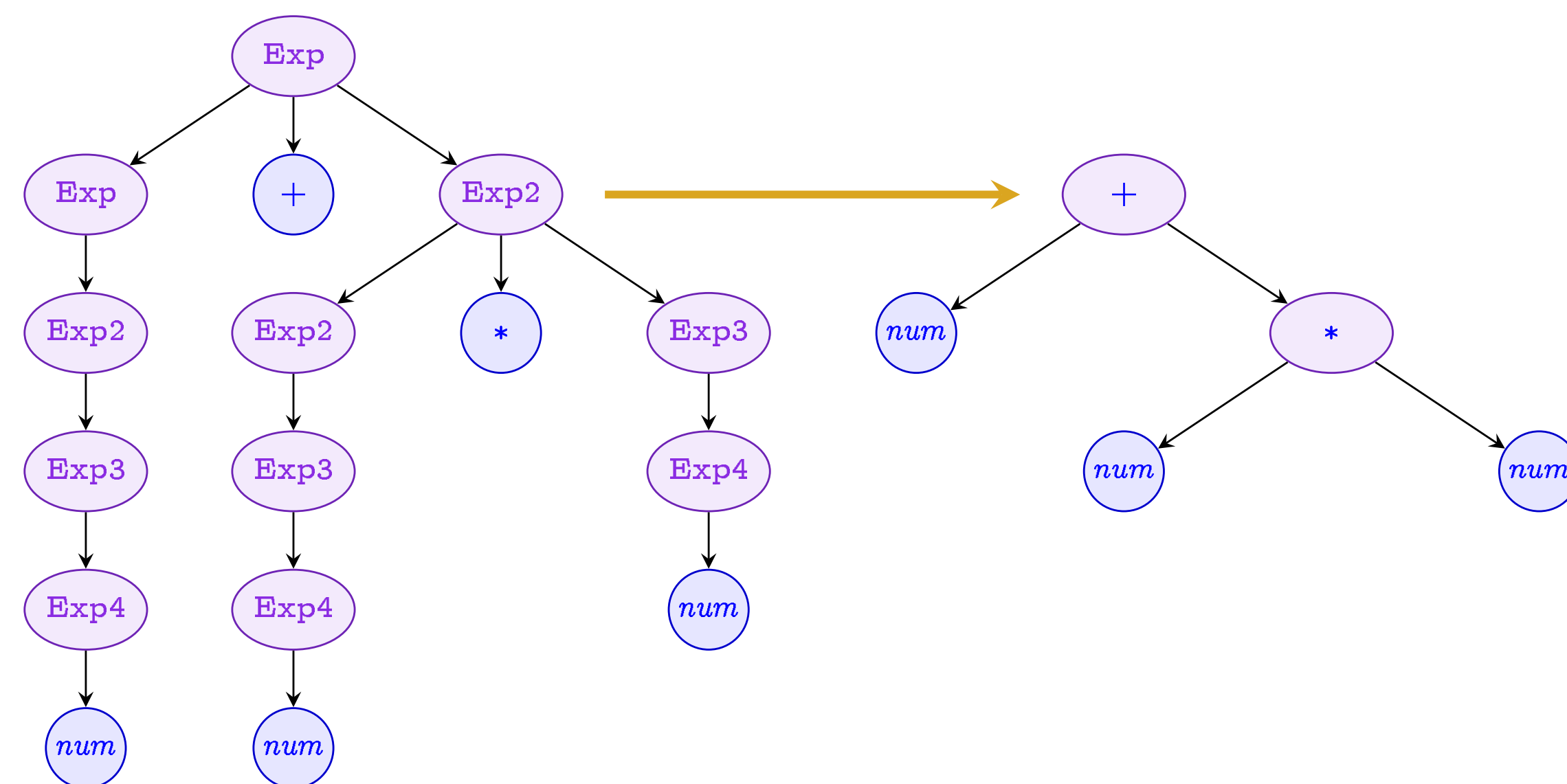


Ühene grammatika!

WithElse lubab ainult tasakaalus if-lauseid; NoElse lubab ka ilma else'ita tingimuslauseid.
 If-then-else korral on then-harus ilma else'ita tingimuslauseid keelatud.

Abstraktne süntaksipuu

- Mitmesust eemaldame „kihilise“ grammatika abil.
- Konkreetsele derivatsioonile vastavas süntaksipuus on ebaolulised vahetipud.
- Selle asemel kasutame edasiseks töötlemiseks abstraktset süntaksipuud (*abstract syntax tree*, **AST**).
- Tipud vastavad otse keelekonstruktsioonidele!



Kokkuvõte

- Mitmene avaldisgrammatika defineerib mugavalt avaldiste süntaksi.
- Ühene avaldisgrammatika on kooskõlas tehete tähendusega, näiteks lubab korrutada ainult tegureid.
- Grammatikast mitmesuse eemaldamiseks tegime selle kihiliseks, jälgides seejuures tehete prioriteete ja assotsiatiivsust.
- Nägime ka, kuidas if-lausete grammatikast mitmesust eemaldada.
(Keelasime if-then-else tingimuslausete then-harus ilma else'ita if-laused...)