metavariable, x, xs, y, uf, f, d

term, t, u	::=			term
	|	x		variable
	|	z		value
	|	t u		application
	|	t ; u		pattern-matching on unit
	|	case t of $\{1.\mathsf{x}_1 \mapsto \mathsf{u}_1, 2.\mathsf{x}_2 \mapsto \mathsf{u}_2\}$		pattern-matching on sum
	|	case t of $\{\langle \mathsf{x}_1, \mathsf{x}_2\rangle \mapsto \mathsf{u}\}$		pattern-matching on product
	|	case t of $\{$ Ur x $\mapsto$ u$\}$		pattern-matching on exponentiated value
	|	alloc $\mathsf{d}_{\lfloor A\rfloor \to A}$. t		allocate data
	|	t $\triangleleft$ u		fill terminal-type destination
	|	t $\triangleleft$ 1.d′ ; u		fill sum-type destination with variant 1
	|	t $\triangleleft$ 2.d′ ; u		fill sum-type destination with variant 2
	|	t $\triangleleft$ $\langle \mathsf{d}_1, \mathsf{d}_2\rangle$; u		fill product-type destination
	|	$\star l$		note: $\star l$ is not a part of the user syntax
	|	fold_R t		
	|	unfold_R t		
	|	(t)	S	
	|	\n sp t \n spe	S	
	|	\n sp t	S	
	|	t[var_subs]	M	
var_sub, vs	::=			variable substitution
	|	x := t		
var_subs	::=			variable substitutions
	|	vs		
	|	vs, var_subs		
data_val, v	::=			data value
	|	()		unit
	|	λ x:A . t		lambda abstraction
	|	Ur t		exponential
val, z	::=			unreducible value
	|	v		
	|	$\circledast l$		note: $\circledast l$ is not a part of the user syntax
	|	$\overset{l}{\lfloor A\rfloor}$		note: l is not a part of the user syntax
label, l	::=			label
label_stmt, s	::=			label statement
	|	$l \hookrightarrow 1.l'$		
	|	$l \hookrightarrow 2.l'$		
	|	$l \hookrightarrow \langle l_1, l_2\rangle$		
	|	$l \hookrightarrow \oslash$		
	|	$l \hookrightarrow$ v		
	|	$l \hookrightarrow \mathsf{C}\bar{l}$	M	TODO: hide. $l \hookrightarrow \mathsf{C}\bar{l}$ is an alias for any heap co
	|	$l \hookrightarrow$ ...	M	

label_stmts	::=			label statements
	|	s		
	|	s, label_stmts		
heap_context, $\mathbb{H}$	::=			label statements
	|	$\emptyset$		
	|	{label_stmts}		
	|	$\mathbb{H}_1 \sqcup \mathbb{H}_2$		
type, A, B	::=			
	|	1		unit type
	|	R		recursive type bound to a name
	|	$A \otimes B$		product type
	|	$A \oplus B$		sum type
	|	$A \multimap B$		linear function type
	|	$\lfloor A \rfloor$		destination type
	|	$!A$		exponential
	|	(A)	S	
	|	$W[r := A]$	M	
type_with_hole, W	::=			
	|	r		type hole in recursive definition
	|	1		unit type
	|	R		recursive type bound to a name
	|	$W_1 \otimes W_2$		product type
	|	$W_1 \oplus W_2$		sum type
	|	$W_1 \multimap W_2$		linear function type
	|	$\lfloor W \rfloor$		destination type
	|	$!W$		exponential
	|	(W)	S	
rec_type_bound, R	::=			recursive type bound to a name
rec_type_def	::=			
	|	$\mu\, r\, .\, W$		
type_affect, ta	::=			type affectation
	|	$x : A$		var
	|	$l : A$		label
	|	$\bar{l} : \bar{A}$		labels
type_affects	::=			type affectations
	|	ta		
	|	ta, type_affects		
typing_context, Γ, Δ, $\mho$, Φ	::=			typing context
	|	$\emptyset$		
	|	{type_affects}		
	|	$\Gamma \sqcup \Delta$		

types, $\bar{\mathsf{A}}$	$::=$		
	$\mid$	$\bullet$	empty type list
	$\mid$	A	
	$\mid$	$\mathsf{A}\ \ \mathsf{types}$	
heap_constructor, C	$::=$		
	$\mid$	$(1.)$	
	$\mid$	$(2.)$	
	$\mid$	$(\langle,\rangle)$	
judg	$::=$		
	$\mid$	$\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H}$	
	$\mid$	$\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H} \mid \mathsf{t} : \mathsf{A}$	
	$\mid$	$\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A}$	
	$\mid$	$\mathsf{C} : \bar{\mathsf{A}} \overset{\mathsf{c}}{\rightharpoondown} \mathsf{A}$	
	$\mid$	$\mathsf{A}\ =\ \mathsf{B}$	
	$\mid$	$\mathsf{t}\ =\ \mathsf{u}$	
	$\mid$	$\Gamma\ =\ \Delta$	
	$\mid$	$\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'$	
	$\mid$	$\mathsf{type\_affect}\ \in\ \Gamma$	
	$\mid$	$\mathsf{label\_stmt}\ \in\ \mathbb{H}$	
	$\mid$	$\mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta)\ =\ \emptyset$	
terminals	$::=$		
	$\mid$	$\mapsto$	
	$\mid$	$\star$	
	$\mid$	$\circledast$	
	$\mid$	$\oplus$	
	$\mid$	$\multimap$	
	$\mid$	$:=$	
	$\mid$	$\vdash$	
	$\mid$	$\sqcup$	
	$\mid$	$;$	
	$\mid$	$\cap$	
	$\mid$	$\emptyset$	
	$\mid$	$\longrightarrow$	
	$\mid$	$\triangleright$	
	$\mid$	$\neq$	
	$\mid$	$\in$	
	$\mid$	$\notin$	
	$\mid$	\n	
	$\mid$	$\langle$	
	$\mid$	$\rangle$	
	$\mid$	1.	
	$\mid$	2.	
	$\mid$	Ur	
	$\mid$	$\hookrightarrow$	
	$\mid$	$\mid$	
	$\mid$	$\oslash$	
	$\mid$	$\overset{\mathsf{c}}{\rightharpoondown}$	

	$\mid$	$=$
	$\mid$	$\Downarrow$
	$\mid$	$\ldots$
	$\mid$	$\stackrel{\mathsf{fix}}{=}$
formula	$::=$	
	$\mid$	judgement
Ctx	$::=$	
	$\mid$	$\mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset$ — Γ and Δ are disjoint typing contexts with no clashin
	$\mid$	type_affect $\in \Gamma$
Heap	$::=$	
	$\mid$	label_stmt $\in \mathbb{H}$
Eq	$::=$	
	$\mid$	$\mathsf{A} = \mathsf{B}$
	$\mid$	$\mathsf{t} = \mathsf{u}$
	$\mid$	$\Gamma = \Delta$
Ty	$::=$	
	$\mid$	$\mathsf{R} \stackrel{\mathsf{fix}}{=}$ rec_type_def
	$\mid$	$\Phi \,;\, \mho \,;\, \Gamma \vdash \mathbb{H}$ — $\mathbb{H}$ is a well-typed heap given heap typing context Φ, u
	$\mid$	$\Phi \,;\, \mho \,;\, \Gamma \vdash \mathbb{H} \mid \mathsf{t} : \mathsf{A}$
	$\mid$	$\Phi \,;\, \mho \,;\, \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A}$ — t is a well-typed term of type A given heap typing con
	$\mid$	$\mathsf{C} : \bar{\mathsf{A}} \stackrel{\mathsf{c}}{\multimap} \mathsf{A}$ — Heap constructor C builds a value of type A given arg
Sem	$::=$	
	$\mid$	$\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'$ — t reduces to t', with heap changing from $\mathbb{H}$ to $\mathbb{H}'$
	$\mid$	$\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'$ — t reduces to t', with heap growing from $\mathbb{H}$ to $\mathbb{H}'$
judgement	$::=$	
	$\mid$	Ctx
	$\mid$	Heap
	$\mid$	Eq
	$\mid$	Ty
	$\mid$	Sem
user_syntax	$::=$	
	$\mid$	metavariable
	$\mid$	term
	$\mid$	var_sub
	$\mid$	var_subs
	$\mid$	data_val
	$\mid$	val
	$\mid$	*label*
	$\mid$	label_stmt
	$\mid$	label_stmts
	$\mid$	heap_context

| type
| type_with_hole
| rec_type_bound
| rec_type_def
| type_affect
| type_affects
| typing_context
| types
| heap_constructor
| judg
| terminals

$\boxed{\mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset}$ Γ and Δ are disjoint typing contexts with no clashing variable names or labels

$\boxed{\mathsf{type\_affect} \in \Gamma}$

$\boxed{\mathsf{label\_stmt} \in \mathbb{H}}$

$\boxed{\mathsf{A} = \mathsf{B}}$

$\boxed{\mathsf{t} = \mathsf{u}}$

$\boxed{\Gamma = \Delta}$

$\boxed{\mathsf{R} \overset{\mathsf{fix}}{=} \mathsf{rec\_type\_def}}$

$\boxed{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H}}$ $\mathbb{H}$ is a well-typed heap given heap typing context Φ, unrestricted typing context $\mho$ and linear

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi_1\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H}_1\\ \Phi_2\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \vdash \mathbb{H}_2\\ \mathsf{names}\,(\Phi_1) \cap \mathsf{names}\,(\Phi_2) = \emptyset\\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi_1 \sqcup \Phi_2\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathbb{H}_1 \sqcup \mathbb{H}_2}\ \textsc{TyHeap\_Union}$$

$$\frac{\begin{array}{l}\mathsf{C} : \bar{\mathsf{A}} \overset{c}{\rightharpoondown} \mathsf{A}\\ \Phi \sqcup \{\bar{l} : \bar{\mathsf{A}}\}\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H}\end{array}}{\Phi \sqcup \{\bar{l} : \bar{\mathsf{A}}, l : \mathsf{A}\}\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \mathsf{C}\bar{l}\}}\ \textsc{TyHeap\_Ctor}$$

$$\frac{}{\{l : \mathsf{A}\}\ ;\ \mho\ ;\ \emptyset \vdash \{l \hookrightarrow \oslash\}}\ \textsc{TyHeap\_Null}$$

$$\frac{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{v} : \mathsf{A}}{\Phi \sqcup \{l : \mathsf{A}\}\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \mathsf{v}\}}\ \textsc{TyHeap\_Val}$$

$\boxed{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H} \,|\, \mathsf{t} : \mathsf{A}}$

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H}\\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A}\\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H} \,|\, \mathsf{t} : \mathsf{A}}\ \textsc{TyCommand\_Def}$$

$\boxed{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A}}$ t is a well-typed term of type A given heap typing context Φ, unrestricted typing context

$$\frac{}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \{\mathsf{x} : \mathsf{A}\} \vdash \mathsf{x} : \mathsf{A}}\ \textsc{TyTerm\_Id}$$

$$\frac{}{\Phi\ ;\ \mho \sqcup \{\mathsf{x} : \mathsf{A}\}\ ;\ \emptyset \vdash \mathsf{x} : \mathsf{A}}\ \textsc{TyTerm\_Id'}$$

$$\frac{}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \emptyset \vdash () : \mathsf{1}}\ \textsc{TyTerm\_Unit}$$

$$\frac{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \emptyset \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \emptyset \vdash \mathsf{Ur}\ \mathsf{t} : !\mathsf{A}}\ \textsc{TyTerm\_Exp}$$

$$\frac{}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \emptyset \vdash \underset{\lfloor \mathsf{A} \rfloor}{l} : \lfloor \mathsf{A} \rfloor}\ \textsc{TyTerm\_LabelAsDest}$$

$$\frac{}{\Phi \sqcup \{ l : \mathsf{A} \}\ ;\ \mho\ ;\ \emptyset \vdash \circledast l : \mathsf{A}}\ \textsc{TyTerm\_DerefVal}$$

$$\frac{}{\Phi \sqcup \{ l : \mathsf{A} \}\ ;\ \mho\ ;\ \emptyset \vdash \star l : \mathsf{A}}\ \textsc{TyTerm\_Deref}$$

$$\frac{\begin{array}{l} \mathsf{R} \overset{\text{fix}}{=} \mu\, \mathsf{r} \,.\, \mathsf{W} \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{W}[\mathsf{r} := \mathsf{R}] \end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \underset{\mathsf{R}}{\mathsf{fold}}\ \mathsf{t} : \mathsf{R}}\ \textsc{TyTerm\_Fold}$$

$$\frac{\begin{array}{l} \mathsf{R} \overset{\text{fix}}{=} \mu\, \mathsf{r} \,.\, \mathsf{W} \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{R} \end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \underset{\mathsf{R}}{\mathsf{unfold}}\ \mathsf{t} : \mathsf{W}[\mathsf{r} := \mathsf{R}]}\ \textsc{TyTerm\_Unfold}$$

$$\frac{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \{ \mathsf{x} : \mathsf{A} \} \vdash \mathsf{t} : \mathsf{B}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \lambda\, \mathsf{x}{:}\mathsf{A} \,.\, \mathsf{t} : \mathsf{A} \multimap \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_Lam}$$

$$\frac{\begin{array}{l} \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A} \multimap \mathsf{B} \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \vdash \mathsf{u} : \mathsf{A} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset \end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{t}\ \mathsf{u} : \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_App}$$

$$\frac{\begin{array}{l} \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{1} \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \vdash \mathsf{u} : \mathsf{A} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset \end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{t}\ ;\ \mathsf{u} : \mathsf{A}}\ \textsc{TyTerm\_PatU}$$

$$\frac{\begin{array}{l} \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A}_1 \otimes \mathsf{A}_2 \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \sqcup \{ \mathsf{x}_1 : \mathsf{A}_1, \mathsf{x}_2 : \mathsf{A}_2 \} \vdash \mathsf{u} : \mathsf{B} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset \end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{case}\,\mathsf{t}\,\mathsf{of}\,\{ \langle \mathsf{x}_1, \mathsf{x}_2 \rangle \mapsto \mathsf{u} \} : \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_PatP}$$

$$\frac{\begin{array}{l} \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A}_1 \oplus \mathsf{A}_2 \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \sqcup \{ \mathsf{x}_1 : \mathsf{A}_1 \} \vdash \mathsf{u}_1 : \mathsf{B} \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \sqcup \{ \mathsf{x}_2 : \mathsf{A}_2 \} \vdash \mathsf{u}_2 : \mathsf{B} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset \end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{case}\,\mathsf{t}\,\mathsf{of}\,\{ 1.\mathsf{x}_1 \mapsto \mathsf{u}_1, 2.\mathsf{x}_2 \mapsto \mathsf{u}_2 \} : \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_PatS}$$

$$\frac{\begin{array}{l} \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : !\mathsf{A} \\ \Phi\ ;\ \mho \sqcup \{ \mathsf{x} : \mathsf{A} \}\ ;\ \Delta \vdash \mathsf{u} : \mathsf{B} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset \end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{case}\,\mathsf{t}\,\mathsf{of}\,\{\ \mathsf{Ur}\ \mathsf{x} \mapsto \mathsf{u} \} : \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_PatE}$$

$$\frac{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \{ \mathsf{d} : \lfloor \mathsf{A} \rfloor \} \vdash \mathsf{t} : \mathsf{1}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \underset{\lfloor \mathsf{A} \rfloor \to \mathsf{A}}{\mathsf{alloc}}\ \mathsf{d} \,.\, \mathsf{t} : \mathsf{A}}\ \textsc{TyTerm\_Alloc}$$

$$\frac{\begin{array}{l} \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \lfloor \mathsf{A} \rfloor \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \vdash \mathsf{u} : \mathsf{A} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset \end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{t} \lhd \mathsf{u} : \mathsf{1}}\ \textsc{TyTerm\_FillL}$$

$$\frac{\Phi \,;\, \mho \,;\, \Gamma \vdash t : \lfloor A_1 \oplus A_2 \rfloor \quad \Phi \,;\, \mho \,;\, \Delta \sqcup \{d' : \lfloor A_1 \rfloor\} \vdash u : B \quad \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset}{\Phi \,;\, \mho \,;\, \Gamma \sqcup \Delta \vdash t \triangleleft 1.d' \,;\, u : B} \quad \textsc{TyTerm\_FillV1}$$

$$\frac{\Phi \,;\, \mho \,;\, \Gamma \vdash t : \lfloor A_1 \oplus A_2 \rfloor \quad \Phi \,;\, \mho \,;\, \Delta \sqcup \{d' : \lfloor A_2 \rfloor\} \vdash u : B \quad \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset}{\Phi \,;\, \mho \,;\, \Gamma \vdash t \triangleleft 2.d' \,;\, u : B} \quad \textsc{TyTerm\_FillV2}$$

$$\frac{\Phi \,;\, \mho \,;\, \Gamma \vdash t : \lfloor A_1 \otimes A_2 \rfloor \quad \Phi \,;\, \mho \,;\, \Delta \sqcup \{d_1 : \lfloor A_1 \rfloor, d_2 : \lfloor A_2 \rfloor\} \vdash u : B \quad \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset}{\Phi \,;\, \mho \,;\, \Gamma \sqcup \Delta \vdash t \triangleleft \langle d_1, d_2 \rangle \,;\, u : B} \quad \textsc{TyTerm\_FillP}$$

$\boxed{C : \bar{A} \overset{c}{\rightharpoonup} A}$ Heap constructor C builds a value of type A given arguments of type $\bar{A}$

$$\frac{}{(1.) : A \overset{c}{\rightharpoonup} A \oplus B} \quad \textsc{TyCtor\_V1}$$

$$\frac{}{(2.) : B \overset{c}{\rightharpoonup} A \oplus B} \quad \textsc{TyCtor\_V2}$$

$$\frac{}{(\langle , \rangle) : A \quad B \overset{c}{\rightharpoonup} A \otimes B} \quad \textsc{TyCtor\_Pair}$$

$\boxed{\mathbb{H} \,|\, t \longrightarrow \mathbb{H}' \,|\, t'}$ t reduces to t', with heap changing from $\mathbb{H}$ to $\mathbb{H}'$

$$\frac{}{\mathbb{H} \,|\, \mathsf{fold}_{R}\ t \longrightarrow \mathbb{H} \,|\, t} \quad \textsc{SemMut\_Fold}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \,|\, \mathsf{unfold}_{R}\ t \longrightarrow \mathbb{H} \,|\, t} \quad \textsc{SemMut\_Unfold}$$

$$\frac{\mathbb{H} \,|\, t \longrightarrow \mathbb{H}' \,|\, t'}{\mathbb{H} \,|\, t\ u \longrightarrow \mathbb{H}' \,|\, t'\ u} \quad \textsc{SemMut\_uApp}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \,|\, (\lambda x{:}A\,.\,t)\ u \longrightarrow \mathbb{H} \,|\, t[x := u]} \quad \textsc{SemMut\_App}$$

$$\frac{\mathbb{H} \,|\, t \longrightarrow \mathbb{H}' \,|\, t'}{\mathbb{H} \,|\, t \,;\, u \longrightarrow \mathbb{H}' \,|\, t' \,;\, u} \quad \textsc{SemMut\_uPatU}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \,|\, () \,;\, u \longrightarrow \mathbb{H} \,|\, u} \quad \textsc{SemMut\_PatU}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow v\} \,|\, \star l \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow v\} \,|\, v} \quad \textsc{SemMut\_DerefVal}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow C\bar{l}\} \,|\, \star l \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow C\bar{l}\} \,|\, \circledast l} \quad \textsc{SemMut\_DerefCtor}$$

$$\frac{\mathbb{H} \,|\, t \longrightarrow \mathbb{H}' \,|\, t'}{\mathbb{H} \,|\, \mathsf{case}\, t\, \mathsf{of}\, \{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\} \longrightarrow \mathbb{H}' \,|\, \mathsf{case}\, t'\, \mathsf{of}\, \{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\}} \quad \textsc{SemMut\_uPatS}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 1.l'\} \,|\, \mathsf{case} \circledast l\, \mathsf{of}\, \{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 1.l'\} \,|\, u_1[x_1 := \star l']} \quad \textsc{SemMut\_PatSV1}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 2.l'\} \,|\, \mathsf{case} \circledast l\, \mathsf{of}\, \{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 2.l'\} \,|\, u_2[x_2 := \star l']} \quad \textsc{SemMut\_PatSV2}$$

$$\frac{\mathbb{H} \,|\, t \longrightarrow \mathbb{H}' \,|\, t'}{\mathbb{H} \,|\, \mathsf{case}\, t\, \mathsf{of}\, \{\langle x_1, x_2 \rangle \mapsto u\} \longrightarrow \mathbb{H}' \,|\, \mathsf{case}\, t'\, \mathsf{of}\, \{\langle x_1, x_2 \rangle \mapsto u\}} \quad \textsc{SemMut\_uPatP}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \langle l_1, l_2\rangle\} \mid \mathsf{case}\ \circledast l\ \mathsf{of}\ \{\langle x_1, x_2\rangle \mapsto u\} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \langle l_1, l_2\rangle\} \mid u[x_1 := \star l_1, x_2 := \star l_2]}\ \textsc{SemMut\_PatP}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\ t\ \mathsf{of}\ \{\,\mathsf{Ur}\ x \mapsto u\} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{case}\ t'\ \mathsf{of}\ \{\,\mathsf{Ur}\ x \mapsto u\}}\ \textsc{SemMut\_uPatE}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\ \mathsf{Ur}\ t\ \mathsf{of}\ \{\,\mathsf{Ur}\ x \mapsto u\} \longrightarrow \mathbb{H} \mid u[x := t]}\ \textsc{SemMut\_PatE}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid t \triangleleft u \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t' \triangleleft u}\ \textsc{SemMut\_uFillL}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid \overset{l}{\lfloor A \rfloor} \triangleleft t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \overset{l}{\lfloor A \rfloor} \triangleleft t'}\ \textsc{SemMut\_uFillL'}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid t \triangleleft 1.d'\ ;\ u \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t' \triangleleft 1.d'\ ;\ u}\ \textsc{SemMut\_uFillV1}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid t \triangleleft 2.d'\ ;\ u \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t' \triangleleft 2.d'\ ;\ u}\ \textsc{SemMut\_uFillV2}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid t \triangleleft \langle d_1, d_2\rangle\ ;\ u \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t' \triangleleft \langle d_1, d_2\rangle\ ;\ u}\ \textsc{SemMut\_uFillP}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid \mathsf{alloc}_{\lfloor A \rfloor \to A}\ d\,.\,t \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \oslash\} \mid t[d := \overset{l}{\lfloor A \rfloor}]\ ;\ \star l}\ \textsc{SemMut\_Alloc}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \oslash\} \mid \overset{l}{\lfloor A \rfloor} \triangleleft v \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow v\} \mid ()}\ \textsc{SemMut\_FillLV}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \oslash, l' \hookrightarrow C\bar{l}\} \mid \overset{l}{\lfloor A \rfloor} \triangleleft \circledast l' \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow C\bar{l}, l' \hookrightarrow C\bar{l}\} \mid ()}\ \textsc{SemMut\_FillLCtor}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \oslash\} \mid \overset{l}{\lfloor A_1 \oplus A_2 \rfloor} \triangleleft 1.d'\ ;\ t \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 1.l', l' \hookrightarrow \oslash\} \mid t[d' := \overset{l'}{\lfloor A_1 \rfloor}]}\ \textsc{SemMut\_FillV1}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \oslash\} \mid \overset{l}{\lfloor A_1 \oplus A_2 \rfloor} \triangleleft 2.d'\ ;\ t \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 2.l', l' \hookrightarrow \oslash\} \mid t[d' := \overset{l'}{\lfloor A_2 \rfloor}]}\ \textsc{SemMut\_FillV2}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \oslash\} \mid \overset{l}{\lfloor A_1 \otimes A_2 \rfloor} \triangleleft \langle d_1, d_2\rangle\ ;\ t \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \langle l_1, l_2\rangle, l_1 \hookrightarrow \oslash, l_2 \hookrightarrow \oslash\} \mid t[d_1 := \overset{l_1}{\lfloor A_1 \rfloor}, d_2 := \overset{l_2}{\lfloor A_2 \rfloor}]}\ \textsc{SemMut\_}$$

$\boxed{\mathbb{H} \mid t \ \Downarrow\ \mathbb{H}' \mid t'}$ t reduces to t', with heap growing from $\mathbb{H}$ to $\mathbb{H}'$

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid \mathsf{fold}_{R}\ t \ \Downarrow\ \mathbb{H} \mid t}\ \textsc{SemImm\_Fold}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid \mathsf{unfold}_{R}\ t \ \Downarrow\ \mathbb{H} \mid t}\ \textsc{SemImm\_Unfold}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \ \Downarrow\ \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid t\ u \ \Downarrow\ \mathbb{H}' \mid t'\ u}\ \textsc{SemImm\_uApp}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid (\lambda x{:}A\,.\,t)\ u \ \Downarrow\ \mathbb{H} \mid t[x := u]}\ \textsc{SemImm\_App}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \ \Downarrow\ \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid t\ ;\ u \ \Downarrow\ \mathbb{H}' \mid t'\ ;\ u}\ \textsc{SemImm\_uPatU}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid ()\ ;\ u \ \Downarrow\ \mathbb{H} \mid u}\ \textsc{SemImm\_PatU}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow v\} \mid \star l \ \Downarrow\ \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow v\} \mid v}\ \textsc{SemImm\_DerefVal}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \mathsf{C}\,\overline{l}\} \mid \star l \;\Downarrow\; \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \mathsf{C}\,\overline{l}\} \mid \circledast l}\ \textsc{SemImm\_DerefCtor}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\,\mathsf{t}\,\mathsf{of}\,\{1.\mathsf{x}_1 \mapsto \mathsf{u}_1, 2.\mathsf{x}_2 \mapsto \mathsf{u}_2\} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{case}\,\mathsf{t}'\,\mathsf{of}\,\{1.\mathsf{x}_1 \mapsto \mathsf{u}_1, 2.\mathsf{x}_2 \mapsto \mathsf{u}_2\}}\ \textsc{SemImm\_uPatS}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 1.l'\} \mid \mathsf{case}\,\circledast l\,\mathsf{of}\,\{1.\mathsf{x}_1 \mapsto \mathsf{u}_1, 2.\mathsf{x}_2 \mapsto \mathsf{u}_2\} \;\Downarrow\; \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 1.l'\} \mid \mathsf{u}_1[\mathsf{x}_1 := \star l']}\ \textsc{SemImm\_PatSV1}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 2.l'\} \mid \mathsf{case}\,\circledast l\,\mathsf{of}\,\{1.\mathsf{x}_1 \mapsto \mathsf{u}_1, 2.\mathsf{x}_2 \mapsto \mathsf{u}_2\} \;\Downarrow\; \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow 2.l'\} \mid \mathsf{u}_2[\mathsf{x}_2 := \star l']}\ \textsc{SemImm\_PatSV2}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\,\mathsf{t}\,\mathsf{of}\,\{\langle \mathsf{x}_1, \mathsf{x}_2\rangle \mapsto \mathsf{u}\} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{case}\,\mathsf{t}'\,\mathsf{of}\,\{\langle \mathsf{x}_1, \mathsf{x}_2\rangle \mapsto \mathsf{u}\}}\ \textsc{SemImm\_uPatP}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \langle l_1, l_2\rangle\} \mid \mathsf{case}\,\circledast l\,\mathsf{of}\,\{\langle \mathsf{x}_1, \mathsf{x}_2\rangle \mapsto \mathsf{u}\} \;\Downarrow\; \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \langle l_1, l_2\rangle\} \mid \mathsf{u}[\mathsf{x}_1 := \star l_1, \mathsf{x}_2 := \star l_2]}\ \textsc{SemImm\_PatP}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\,\mathsf{t}\,\mathsf{of}\,\{\,\mathsf{Ur}\ \mathsf{x} \mapsto \mathsf{u}\} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{case}\,\mathsf{t}'\,\mathsf{of}\,\{\,\mathsf{Ur}\ \mathsf{x} \mapsto \mathsf{u}\}}\ \textsc{SemImm\_uPatE}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\,\mathsf{Ur}\ \mathsf{t}\,\mathsf{of}\,\{\,\mathsf{Ur}\ \mathsf{x} \mapsto \mathsf{u}\} \;\Downarrow\; \mathbb{H} \mid \mathsf{u}[\mathsf{x} := \mathsf{t}]}\ \textsc{SemImm\_PatE}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \triangleleft \mathsf{u} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}' \triangleleft \mathsf{u}}\ \textsc{SemImm\_uFillL}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \overset{l}{\lfloor \mathsf{A} \rfloor} \triangleleft \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \overset{l}{\lfloor \mathsf{A} \rfloor} \triangleleft \mathsf{t}'}\ \textsc{SemImm\_uFillL'}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \triangleleft 1.\mathsf{d}' \;;\; \mathsf{u} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}' \triangleleft 1.\mathsf{d}' \;;\; \mathsf{u}}\ \textsc{SemImm\_uFillV1}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \triangleleft 2.\mathsf{d}' \;;\; \mathsf{u} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}' \triangleleft 2.\mathsf{d}' \;;\; \mathsf{u}}\ \textsc{SemImm\_uFillV2}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \triangleleft \langle \mathsf{d}_1, \mathsf{d}_2\rangle \;;\; \mathsf{u} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}' \triangleleft \langle \mathsf{d}_1, \mathsf{d}_2\rangle \;;\; \mathsf{u}}\ \textsc{SemImm\_uFillP}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t}[\mathsf{d} := \overset{l}{\lfloor \mathsf{A} \rfloor}] \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \sqcup \{l \hookrightarrow ...\} \mid ()}{\mathbb{H} \mid \underset{\lfloor \mathsf{A} \rfloor \to \mathsf{A}}{\mathsf{alloc}\ \mathsf{d}} \,.\, \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \sqcup \{l \hookrightarrow ...\} \mid \star l}\ \textsc{SemImm\_Alloc}$$

— *Changes start from there* —

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid \overset{l}{\lfloor \mathsf{A} \rfloor} \triangleleft \mathsf{v} \;\Downarrow\; \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \mathsf{v}\} \mid ()}\ \textsc{SemImm\_FillLV}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l' \hookrightarrow \mathsf{C}\,\overline{l}\} \mid \overset{l}{\lfloor \mathsf{A} \rfloor} \triangleleft \circledast l' \;\Downarrow\; \mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \mathsf{C}\,\overline{l}, l' \hookrightarrow \mathsf{C}\,\overline{l}\} \mid ()}\ \textsc{SemImm\_FillLCtor}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t}[\mathsf{d}' := \overset{l'}{\lfloor \mathsf{A}_1 \rfloor}] \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \sqcup \{l' \hookrightarrow ...\} \mid ()}{\mathbb{H} \mid \overset{l}{\lfloor \mathsf{A}_1 \oplus \mathsf{A}_2 \rfloor} \triangleleft 1.\mathsf{d}' \;;\; \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \sqcup \{l' \hookrightarrow ..., l \hookrightarrow 1.l'\} \mid ()}\ \textsc{SemImm\_FillV1}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t}[\mathsf{d}' := \overset{l'}{\lfloor \mathsf{A}_2 \rfloor}] \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \sqcup \{l' \hookrightarrow ...\} \mid ()}{\mathbb{H} \mid \overset{l}{\lfloor \mathsf{A}_1 \oplus \mathsf{A}_2 \rfloor} \triangleleft 2.\mathsf{d}' \;;\; \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \sqcup \{l' \hookrightarrow ..., l \hookrightarrow 2.l'\} \mid ()}\ \textsc{SemImm\_FillV2}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t}[\mathsf{d}_1 := \overset{l_1}{\lfloor \mathsf{A}_1 \rfloor}, \mathsf{d}_2 := \overset{l_2}{\lfloor \mathsf{A}_2 \rfloor}] \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \sqcup \{l_1 \hookrightarrow ..., l_2 \hookrightarrow ...\} \mid ()}{\mathbb{H} \sqcup \{l \hookrightarrow \oslash\} \mid \overset{l}{\lfloor \mathsf{A}_1 \otimes \mathsf{A}_2 \rfloor} \triangleleft \langle \mathsf{d}_1, \mathsf{d}_2\rangle \;;\; \mathsf{t} \;\Downarrow\; \mathbb{H}' \sqcup \{l_1 \hookrightarrow ..., l_2 \hookrightarrow ..., l \hookrightarrow \langle l_1, l_2\rangle\} \mid ()}\ \textsc{SemImm\_FillP}$$

```
Definition rules:         80 good    0 bad
Definition rule clauses: 149 good    0 bad
```