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

term, t, u	::=		term
	$\mid$	x	variable
	$\mid$	v	value
	$\mid$	$t\,u$	application
	$\mid$	$t\ ;\ u$	effect execution
	$\mid$	$\mathsf{case}\,t\,\mathsf{of}\,\{() \mapsto u\}$	pattern-matching on unit
	$\mid$	$\mathsf{case}\,t\,\mathsf{of}\,\{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\}$	pattern-matching on sum
	$\mid$	$\mathsf{case}\,t\,\mathsf{of}\,\{\langle x_1, x_2\rangle \mapsto u\}$	pattern-matching on product
	$\mid$	$\mathsf{case}\,t\,\mathsf{of}\,\{\,\mathsf{Ur}\ x \mapsto u\}$	pattern-matching on exponentiated value
	$\mid$	$\mathsf{case}\ t\ \mathsf{of}\ \{\underset{R}{\mathsf{roll}}\ x \mapsto u\}$	unroll for recursive types
	$\mid$	$\underset{A}{\mathsf{alloc}}\ d\,.\,t$	allocate data
	$\mid$	$t \triangleleft ()$	fill destination with unit
	$\mid$	$t \triangleleft u$	fill terminal-type destination
	$\mid$	$t \triangleleft 1.d\,.\,u$	fill sum-type destination with variant 1
	$\mid$	$t \triangleleft 2.d\,.\,u$	fill sum-type destination with variant 2
	$\mid$	$t \triangleleft \langle d_1, d_2\rangle\,.\,u$	fill product-type destination
	$\mid$	$t \triangleleft \mathsf{Ur}\ d\,.\,u$	fill destination with exponential
	$\mid$	$t \triangleleft \underset{R}{\mathsf{roll}}\ d\,.\,u$	fill destination with recursive type
	$\mid$	$\star l$	TODO: remove (only there for SemMut)
	$\mid$	(t)	S
	$\mid$	$t[\mathsf{var\_subs}]$	M

var_sub, vs	::=		variable substitution
	$\mid$	$x := t$	

var_subs	::=		variable substitutions
	$\mid$	vs	
	$\mid$	vs, var_subs	

heap_val, h	::=			
	$\mid$	$()$		
	$\mid$	$1.l$		
	$\mid$	$2.l$		
	$\mid$	$\langle l_1, l_2\rangle$		
	$\mid$	$\mathsf{Ur}\ l$		
	$\mid$	$\underset{R}{\mathsf{roll}}\ l$		
	$\mid$	$C\bar{l}$	M	generic for all the cases above

val, v	::=		unreducible value
	$\mid$	$\bullet$	no-effect effect. Not part of the user syntax
	$\mid$	$\underset{\lfloor A \rfloor}{l}$	allocated destination. Not part of the user synt
	$\mid$	$\lambda x{:}A\,.\,t$	lambda abstraction
	$\mid$	h	heap value

label, l	::=		label

label_stmt, s	::=		label statement
	$\mid$	$l \triangleleft v$	
	$\mid$	$l \triangleleft \oslash$	

	$\bar{l} \triangleleft \bar{v}$	M	generic for multiple occurences

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	::=		
	$\bot$		bottom type
	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	::=		
	$\bot$		bottom type
	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
	$\bar{l} : \bar{A}$		generic for multiple occurences

type_affects	::=		type affectations
	ta		
	ta, type_affects		

typing_context, Γ, Δ, $\mho$, Φ	::=		typing context
	|	$\emptyset$	
	|	{type_affects}	
	|	$\Gamma \sqcup \Delta$	
types, $\bar{A}$	::=		
	|	.	empty type list
	|	A	
	|	A types	
heap_constructor, C	::=		
	|	{()}	
	|	{1.}	
	|	{2.}	
	|	$\{\langle , \rangle\}$	
	|	{ Ur }	
	|	{ roll R}	
judg	::=		
	|	$\Phi \vdash \mathbb{H}$	
	|	Φ ; $\mho$; $\Gamma \vdash \mathbb{H} \mid t : A$	
	|	Φ ; $\mho$; $\Gamma \vdash t : A$	
	|	$C : \bar{A} \xrightarrow{c} A$	
	|	$A = B$	
	|	$t = u$	
	|	$\Gamma = \Delta$	
	|	$\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'$	
	|	type_affect $\in \Gamma$	
	|	label_stmt $\in \mathbb{H}$	
	|	names $(\Gamma) \cap$ names $(\Delta) = \emptyset$	
terminals	::=		
	|	()	
	|	$\mapsto$	
	|	$\star$	
	|	$\circledast$	
	|	$\oplus$	
	|	$\multimap$	
	|	:=	
	|	$\vdash$	
	|	$\sqcup$	
	|	;	
	|	$\cap$	
	|	$\emptyset$	
	|	$\longrightarrow$	
	|	$\triangleright$	
	|	$\neq$	
	|	$\in$	
	|	$\notin$	
	|	\n	

	$\langle$
	$\rangle$
	1.
	2.
	Ur
	$\triangleleft$
	$\mid$
	$\oslash$
	$\overset{\mathsf{c}}{\leftharpoondown}$
	$=$
	$\Downarrow$
	...
	$\overset{\mathsf{fix}}{=}$
	$\bot$
	$\bullet$

formula ::=

	judgement

Ctx ::=

	$\mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset$	Γ and Δ are disjoint typing contexts with no clashing
	$\mathsf{type\_affect} \in \Gamma$	

Heap ::=

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

Eq ::=

	$\mathsf{A} = \mathsf{B}$
	$\mathsf{t} = \mathsf{u}$
	$\Gamma = \Delta$

Ty ::=

	$\mathsf{R} \overset{\mathsf{fix}}{=} \mathsf{rec\_type\_def}$	
	$\Phi \vdash \mathbb{H}$	$\mathbb{H}$ is a well-typed heap given heap typing context Φ
	$\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathbb{H} \mid \mathsf{t} : \mathsf{A}$	
	$\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A}$	t is a well-typed term of type A given heap typing cont
	$\mathsf{C} : \bar{\mathsf{A}} \overset{\mathsf{c}}{\leftharpoondown} \mathsf{A}$	Heap constructor C builds a value of type A given argu

Sem ::=

	$\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'$	t reduces to t′, with heap changing from $\mathbb{H}$ to $\mathbb{H}'$
	$\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \Downarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'$	t reduces to t′, with heap growing from $\mathbb{H}$ to $\mathbb{H}'$

judgement ::=

	Ctx
	Heap
	Eq
	Ty
	Sem

user_syntax ::=

| metavariable
| term
| var_sub
| var_subs
| heap_val
| val
| *label*
| label_stmt
| label_stmts
| 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

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

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

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

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

$\boxed{\Gamma = \Delta}$

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

$\boxed{\Phi \vdash \mathbb{H}}$ $\mathbb{H}$ is a well-typed heap given heap typing context Φ

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

$$\frac{\Phi \;;\; \mho \;;\; \Gamma \vdash \lambda \mathsf{x}{:}\mathsf{A}\,.\,\mathsf{t} : \mathsf{A} \multimap \mathsf{B}}{\Phi \sqcup \{l : \mathsf{A} \multimap \mathsf{B}\} \vdash \mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \lambda \mathsf{x}{:}\mathsf{A}\,.\,\mathsf{t}\}} \textsc{TyHeap\_Lam}$$

$$\frac{\begin{array}{c}\mathsf{C} : \bar{\mathsf{A}} \overset{\mathsf{c}}{\rightharpoonup} \mathsf{A} \\ \Phi \sqcup \{\bar{l} : \bar{\mathsf{A}}\} \vdash \mathbb{H} \sqcup \{\bar{l} \triangleleft \bar{\mathsf{v}}\}\end{array}}{\Phi \sqcup \{\bar{l} : \bar{\mathsf{A}}, l : \mathsf{A}\} \vdash \mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \mathsf{C}\bar{l}, \bar{l} \triangleleft \bar{\mathsf{v}}\}} \textsc{TyHeap\_HeapVal}$$

$$\frac{}{\emptyset \vdash \mathbb{H}} \textsc{TyHeap\_Enlarge}$$ TODO: remove, needed for empty labels in SemMut

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

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi \vdash \mathbb{H} \\ \Phi \;;\; \mho \;;\; \Gamma \vdash \mathsf{t} : \mathsf{A}\end{array}}{\Phi \;;\; \mho \;;\; \Gamma \vdash \mathbb{H} \,|\, \mathsf{t} : \mathsf{A}} \textsc{TyCommand\_Def}$$

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

$$\frac{}{\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \emptyset \vdash \bullet : \bot}\ \textsc{TyTerm\_NoEff}$$

$$\frac{}{\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \emptyset \vdash {}^{l}_{\lfloor A \rfloor} : \lfloor A \rfloor}\ \textsc{TyTerm\_LDest}$$ TODO: we should have either l : A in P or l not in names(P)

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

$$\frac{C : \bar{A} \xrightarrow{c} A}{\Phi \sqcup \{\bar{l} : \bar{A}\} \;;\; \mathcal{U} \;;\; \emptyset \vdash C\bar{l} : A}\ \textsc{TyTerm\_HeapVal}$$

$$\frac{}{\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \{x : A\} \vdash x : A}\ \textsc{TyTerm\_Id}$$

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

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

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

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Gamma \vdash t : \bot \\ \Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Delta \vdash u : B \\ \mathsf{names}(\Gamma) \cap \mathsf{names}(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Gamma \sqcup \Delta \vdash t \;;\; u : B}\ \textsc{TyTerm\_WithEff}$$

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

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Gamma \vdash t : A_1 \oplus A_2 \\ \Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Delta \sqcup \{x_1 : A_1\} \vdash u_1 : B \\ \Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Delta \sqcup \{x_2 : A_2\} \vdash u_2 : B \\ \mathsf{names}(\Gamma) \cap \mathsf{names}(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{case}\,t\,\mathsf{of}\,\{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\} : B}\ \textsc{TyTerm\_PatS}$$

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Gamma \vdash t : A_1 \otimes A_2 \\ \Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Delta \sqcup \{x_1 : A_1, x_2 : A_2\} \vdash u : B \\ \mathsf{names}(\Gamma) \cap \mathsf{names}(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{case}\,t\,\mathsf{of}\,\{\langle x_1, x_2\rangle \mapsto u\} : B}\ \textsc{TyTerm\_PatP}$$

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

$$\frac{\begin{array}{l}R \overset{\mathsf{fix}}{=} \mu r\,.\,W \\ \Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Gamma \vdash t : R \\ \Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Delta \sqcup \{x : W[r := R]\} \vdash u : B \\ \mathsf{names}(\Gamma) \cap \mathsf{names}(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi \;;\; \mathcal{U} \;;\; \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{case}\ t\ \mathsf{of}\ \{\underset{R}{\mathsf{roll}}\ x \mapsto u\} : B}\ \textsc{TyTerm\_PatR}$$

$$\frac{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \{\mathsf{d} : \lfloor \mathsf{A} \rfloor\} \vdash \mathsf{t} : \bot}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \underset{\mathsf{A}}{\mathsf{alloc}}\ \mathsf{d}\,.\,\mathsf{t} : \mathsf{A}}\ \textsc{TyTerm\_Alloc}$$ TODO: add guard for LDest and NoEff

$$\frac{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \lfloor 1 \rfloor}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} \lhd () : \bot}\ \textsc{TyTerm\_FillU}$$

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

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \lfloor \mathsf{A}_1 \oplus \mathsf{A}_2 \rfloor \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \sqcup \{\mathsf{d}' : \lfloor \mathsf{A}_1 \rfloor\} \vdash \mathsf{u} : \mathsf{B} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{t} \lhd 1.\mathsf{d}'\,.\,\mathsf{u} : \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_FillV1}$$

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \lfloor \mathsf{A}_1 \oplus \mathsf{A}_2 \rfloor \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \sqcup \{\mathsf{d}' : \lfloor \mathsf{A}_2 \rfloor\} \vdash \mathsf{u} : \mathsf{B} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} \lhd 2.\mathsf{d}'\,.\,\mathsf{u} : \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_FillV2}$$

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \lfloor \mathsf{A}_1 \otimes \mathsf{A}_2 \rfloor \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \sqcup \{\mathsf{d}_1 : \lfloor \mathsf{A}_1 \rfloor, \mathsf{d}_2 : \lfloor \mathsf{A}_2 \rfloor\} \vdash \mathsf{u} : \mathsf{B} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{t} \lhd \langle \mathsf{d}_1, \mathsf{d}_2 \rangle\,.\,\mathsf{u} : \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_FillP}$$

$$\frac{\begin{array}{l}\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \lfloor !\mathsf{A} \rfloor \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \emptyset \sqcup \{\mathsf{d} : \lfloor \mathsf{A} \rfloor\} \vdash \mathsf{u} : \mathsf{B}\end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} \lhd \mathsf{Ur}\ \mathsf{d}\,.\,\mathsf{u} : \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_FillE}$$

$$\frac{\begin{array}{l}\mathsf{R} \overset{\mathsf{fix}}{=} \mu\,\mathsf{r}\,.\,\mathsf{W} \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \vdash \mathsf{t} : \lfloor \mathsf{R} \rfloor \\ \Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Delta \sqcup \{\mathsf{d} : \lfloor \mathsf{W}[\mathsf{r} := \mathsf{R}] \rfloor\} \vdash \mathsf{u} : \mathsf{B} \\ \mathsf{names}\,(\Gamma) \cap \mathsf{names}\,(\Delta) = \emptyset\end{array}}{\Phi\ ;\ \mho\ ;\ \Gamma \sqcup \Delta \vdash \mathsf{t} \lhd \underset{\mathsf{R}}{\mathsf{roll}}\ \mathsf{d}\,.\,\mathsf{u} : \mathsf{B}}\ \textsc{TyTerm\_FillR}$$

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

$$\frac{}{\{()\} : \cdot \overset{\mathsf{c}}{\leadsto} 1}\ \textsc{TyCtor\_U}$$

$$\frac{}{\{1.\} : \mathsf{A} \overset{\mathsf{c}}{\leadsto} \mathsf{A} \oplus \mathsf{B}}\ \textsc{TyCtor\_V1}$$

$$\frac{}{\{2.\} : \mathsf{B} \overset{\mathsf{c}}{\leadsto} \mathsf{A} \oplus \mathsf{B}}\ \textsc{TyCtor\_V2}$$

$$\frac{}{\{\langle , \rangle\} : \mathsf{A}\ \ \mathsf{B} \overset{\mathsf{c}}{\leadsto} \mathsf{A} \otimes \mathsf{B}}\ \textsc{TyCtor\_P}$$

$$\frac{}{\{\,\mathsf{Ur}\,\} : \mathsf{A} \overset{\mathsf{c}}{\leadsto} !\mathsf{A}}\ \textsc{TyCtor\_E}$$

$$\frac{\mathsf{R} \overset{\mathsf{fix}}{=} \mu\,\mathsf{r}\,.\,\mathsf{W}}{\{\,\mathsf{roll}\,\mathsf{R}\} : \mathsf{W}[\mathsf{r} := \mathsf{R}] \overset{\mathsf{c}}{\leadsto} \mathsf{R}}\ \textsc{TyCtor\_R}$$

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

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

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

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \lhd \lambda x{:}A\,.\,t\} \mid \star l \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \lhd \lambda x{:}A\,.\,t\} \mid \lambda x{:}A\,.\,t}\ \textsc{SemMut\_dLam}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \lhd C\,\bar{l}\} \mid \star l \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \lhd C\,\bar{l}\} \mid C\,\bar{l}}\ \textsc{SemMut\_dHeapVal}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\,t\,\mathsf{of}\,\{() \mapsto u\} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{case}\,t'\,\mathsf{of}\,\{() \mapsto u\}}\ \textsc{SemMut\_uPatU}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\,()\,\mathsf{of}\,\{() \mapsto u\} \longrightarrow \mathbb{H} \mid u}\ \textsc{SemMut\_PatU}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\,t\,\mathsf{of}\,\{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{case}\,t'\,\mathsf{of}\,\{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\}}\ \textsc{SemMut\_uPatV12}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \lhd v\} \mid \mathsf{case}\,1.l\,\mathsf{of}\,\{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\} \longrightarrow \mathbb{H} \mid u_1[x_1 := v]}\ \textsc{SemMut\_PatV1}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \lhd v\} \mid \mathsf{case}\,2.l\,\mathsf{of}\,\{1.x_1 \mapsto u_1, 2.x_2 \mapsto u_2\} \longrightarrow \mathbb{H} \mid u_2[x_2 := v]}\ \textsc{SemMut\_PatV2}$$

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

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l_1 \lhd v_1, l_2 \lhd v_2\} \mid \mathsf{case}\,\langle l_1, l_2\rangle\,\mathsf{of}\,\{\langle x_1, x_2\rangle \mapsto u\} \longrightarrow \mathbb{H} \mid u[x_1 := v_1, x_2 := v_2]}\ \textsc{SemMut\_PatP}$$

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

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

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{case}\ t\ \mathsf{of}\ \{\underset{R}{\mathsf{roll}}\ x \mapsto u\} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{case}\ t'\ \mathsf{of}\ \{\underset{R}{\mathsf{roll}}\ x \mapsto u\}}\ \textsc{SemMut\_uPatR}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \lhd v\} \mid \mathsf{case}\ \underset{R}{\mathsf{roll}}\ l\ \mathsf{of}\ \{\underset{R}{\mathsf{roll}}\ x \mapsto u\} \longrightarrow \mathbb{H} \mid u[x := v]}\ \textsc{SemMut\_PatR}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid t\ ;\ u \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'\ ;\ u}\ \textsc{SemMut\_uWithEff}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \mid \bullet\ ;\ u \longrightarrow \mathbb{H} \mid u}\ \textsc{SemMut\_WithEff}$$

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

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid t \lhd () \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t' \lhd ()}\ \textsc{SemMut\_uFillU}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \lhd \oslash\} \mid \lfloor^{l}_{1}\rfloor \lhd () \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \lhd ()\} \mid \bullet}\ \textsc{SemMut\_FillU}$$

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

$$\frac{\mathbb{H} \mid t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid t'}{\mathbb{H} \mid \lfloor^{l}_{A}\rfloor \lhd t \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \lfloor^{l}_{A}\rfloor \lhd t'}\ \textsc{SemMut\_uFillL'}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \varnothing\} \mid \underset{\lfloor \mathsf{A} \rfloor}{l} \triangleleft \lambda \mathsf{x}{:}\mathsf{A}\,.\,\mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \lambda \mathsf{x}{:}\mathsf{A}\,.\,\mathsf{t}\} \mid \bullet}\ \textsc{SemMut\_FillLLam}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \varnothing\} \mid \underset{\lfloor \mathsf{A} \rfloor}{l} \triangleleft \mathsf{C}\bar{l} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \mathsf{C}\bar{l}\} \mid \bullet}\ \textsc{SemMut\_FillLHeapVal}$$

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

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \varnothing\} \mid \underset{\lfloor \mathsf{A}_1 \oplus \mathsf{A}_2 \rfloor}{l} \triangleleft 1.\mathsf{d}\,.\,\mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft 1.l', l' \triangleleft \varnothing\} \mid \mathsf{t}[\mathsf{d} := \underset{\lfloor \mathsf{A}_1 \rfloor}{l'}]}\ \textsc{SemMut\_FillV1}$$

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

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \varnothing\} \mid \underset{\lfloor \mathsf{A}_1 \oplus \mathsf{A}_2 \rfloor}{l} \triangleleft 2.\mathsf{d}\,.\,\mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft 2.l', l' \triangleleft \varnothing\} \mid \mathsf{t}[\mathsf{d} := \underset{\lfloor \mathsf{A}_2 \rfloor}{l'}]}\ \textsc{SemMut\_FillV2}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \triangleleft \langle \mathsf{d}_1, \mathsf{d}_2 \rangle\,.\,\mathsf{u} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}' \triangleleft \langle \mathsf{d}_1, \mathsf{d}_2 \rangle\,.\,\mathsf{u}}\ \textsc{SemMut\_uFillP}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \varnothing\} \mid \underset{\lfloor \mathsf{A}_1 \otimes \mathsf{A}_2 \rfloor}{l} \triangleleft \langle \mathsf{d}_1, \mathsf{d}_2 \rangle\,.\,\mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \langle l_1, l_2 \rangle, l_1 \triangleleft \varnothing, l_2 \triangleleft \varnothing\} \mid \mathsf{t}[\mathsf{d}_1 := \underset{\lfloor \mathsf{A}_1 \rfloor}{l_1}, \mathsf{d}_2 := \underset{\lfloor \mathsf{A}_2 \rfloor}{l_2}]}\ \textsc{SemMut\_FillP}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \triangleleft \mathsf{Ur}\ \mathsf{d}\,.\,\mathsf{u} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}' \triangleleft \mathsf{Ur}\ \mathsf{d}\,.\,\mathsf{u}}\ \textsc{SemMut\_uFillE}$$

$$\frac{}{\mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \varnothing\} \mid \underset{\lfloor !\mathsf{A} \rfloor}{l} \triangleleft \mathsf{Ur}\ \mathsf{d}\,.\,\mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \mathsf{Ur}\ l', l' \triangleleft \varnothing\} \mid \mathsf{t}[\mathsf{d} := \underset{\lfloor \mathsf{A} \rfloor}{l'}]}\ \textsc{SemMut\_FillE}$$

$$\frac{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}'}{\mathbb{H} \mid \mathsf{t} \triangleleft \underset{\mathsf{R}}{\mathsf{roll}}\ \mathsf{d}\,.\,\mathsf{u} \longrightarrow \mathbb{H}' \mid \mathsf{t}' \triangleleft \underset{\mathsf{R}}{\mathsf{roll}}\ \mathsf{d}\,.\,\mathsf{u}}\ \textsc{SemMut\_uFillR}$$

$$\frac{\mathsf{R} \overset{\mathsf{fix}}{=} \mu\,\mathsf{r}\,.\,\mathsf{W}}{\mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \varnothing\} \mid \underset{\lfloor \mathsf{R} \rfloor}{l} \triangleleft \underset{\mathsf{R}}{\mathsf{roll}}\ \mathsf{d}\,.\,\mathsf{t} \longrightarrow \mathbb{H} \sqcup \{l \triangleleft \underset{\mathsf{R}}{\mathsf{roll}}\ l', l' \triangleleft \varnothing\} \mid \mathsf{t}[\mathsf{d} := \underset{\lfloor \mathsf{W}[\mathsf{r} := \mathsf{R}] \rfloor}{l'}]}\ \textsc{SemMut\_FillR}$$

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

```
Definition rules:          67 good    0 bad
Definition rule clauses:  137 good    0 bad
```