**例 2.26** 设 $A=\{\mathbf{t}, =, >\}$、$B=\{\mathbf{f}, <\}$，根据上述集合笛卡儿积和集合 *onto* 积的定义，可得如下集合：

$A\times B=\{(\mathbf{t},\mathbf{f}),(\mathbf{t},<),(=,\mathbf{f}),(=,<),(>,\mathbf{f}),(>,<)\}$

$A\otimes B=\{(\mathbf{t},\mathbf{f}),(=,<),(>,<)\}$ 第一种可能

$A\otimes B=\{(\mathbf{t},<),(=,\mathbf{f}),(>,<)\}$ 第二种可能

$A\otimes B=\{(\mathbf{t},\mathbf{f}),(=,<),(>,\mathbf{f})\}$ 第三种可能

$A\otimes B=\{(\mathbf{t},<),(=,<),(>,\mathbf{f})\}$ 第四种可能

$A\otimes B=\{(\mathbf{t},<),(=,\mathbf{f}),(>,\mathbf{f})\}$ 第五种可能

$A\otimes B=\{(\mathbf{t},\mathbf{f}),(=,\mathbf{f}),(>,<)\}$ 第六种可能

**注意** 这里给出了 $A\otimes B$ 的 6 个可能结果。在后面描述的算法中，当需计算 $A\otimes B$ 时，我们将选取其中的任意一个。

对于给定的谓词 $p_r$，生成其相应的 BOR、BRO、BRE 约束集时需要使用 $p_r$ 的抽象语法树，即 $AST(p_r)$。根据前面的内容我们知道：(a) $AST(p_r)$ 的每个叶结点代表一个布尔变量或一个关系表达式；(b) $AST(p_r)$ 的内部结点是布尔运算符，比如 $\wedge$、$\vee$、$\forall$、$\neg$，分别被称作 AND 结点、OR 结点、XOR 结点、NOT 结点。

下面，介绍四个根据谓词生成测试集的算法。前三个算法为只涉及奇异表达式的谓词生成 BOR、BRO、BRE 充分的测试集。最后一个算法称作 BOR-MI，为至少包含一个非奇异表达式的谓词生成测试集。练习 2.27 旨在探讨针对非奇异表达式应用前三种算法时会产生的问题。

算法：

### 1. 生成 BOR 约束集

给定谓词 $p_r$，$AST(p_r)$ 是 $p_r$ 的抽象语法树。用字符 $N$，$N_1$，$N_2$，... 表示 $AST(p_r)$ 中不同的结点，$S_N$ 表示结点 $N$ 的约束集。正如前面讨论的那样，$S_N^t$、$S_N^f$ 分别代表结点 $N$ 的“真”约束集和“假”约束集，$S_N=S_N^t\cap S_N^f$。下面的算法用于生成 $p_r$ 的 BOR 约束集（CSET）。

**从谓词 $p_r$ 的抽象语法树生成最小 BOR 约束集的算法 BOR-CSET**

**输入：** 谓词 $p_r$ 的抽象语法树 $AST(p_r)$。$p_r$ 只包含奇异表达式。

**输出：** 谓词 $p_r$ 的 BOR 约束集，放置在抽象语法树 $AST(p_r)$ 的根结点处。

**Begin of BOR-CSET**

**步骤 1** 标识 $AST(p_r)$ 每个叶结点 $N$ 的约束集 $S_N$，$S_N=\{\mathtt{t}, \mathtt{f}\}$，$S_N^t=\mathtt{t}$，$S_N^f=\mathtt{f}$。

**步骤 2** 以自底向上的方式遍历 $AST(p_r)$ 的每个非叶结点（内部结点）。如果结点 $N$ 是一个 AND 结点或 OR 结点，设 $N_1$、$N_2$ 是其直接后继。如果结点 $N$ 是一个 NOT 结点，设 $N_1$ 是其直接后继。$S_{N_1}$、$S_{N_2}$ 分别代表结点 $N_1$、$N_2$ 的 BOR 约束集。对每个非叶结点 $N$，计算 $S_N$ 如下：

2.1 $N$ 是 OR 结点

$S_N^f=S_{N_1}^f\otimes S_{N_2}^f$；

$S_N^t=(S_{N_1}^t\times\{f_2\})\cup(\{f_1\}\times S_{N_2}^t)$，其中 $f_1$、$f_2$ 分别是 $S_{N_1}^f$、$S_{N_2}^f$ 中的任一元素。

2.2 $N$ 是 AND 结点

$S_N^t=S_{N_1}^t\otimes S_{N_2}^t$；

$S_N^f=(S_{N_1}^f\times\{t_2\})\cup(\{t_1\}\times S_{N_2}^f)$，其中 $t_1$、$t_2$ 分别是 $S_{N_1}^t$、$S_{N_2}^t$ 中的任一元素。

2.3 $N$ 是 NOT 结点

$S_N^t=S_{N_1}^f$；

$S_N^f=S_{N_1}^t$。