

$$p \rightarrow q, p \vdash q$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow q$	A
1, 2	3	q	1, 2 $\rightarrow E$

$$(\neg q), ((\neg q) \rightarrow ((\neg p) \rightarrow q)) \vdash ((\neg p) \rightarrow q)$$

1	1	$\neg q$	A
2	2	$\neg q \rightarrow \neg p \rightarrow q$	A
1, 2	3	$\neg p \rightarrow q$	1, 2 $\rightarrow E$

$$p \rightarrow q, q \rightarrow r, p \vdash r$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow q$	A
3	3	$q \rightarrow r$	A
1, 2	4	q	1, 2 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	r	3, 4 $\rightarrow E$

$$p \rightarrow (q \rightarrow r), p \rightarrow q, p \vdash r$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow q$	A
3	3	$p \rightarrow q \rightarrow r$	A
1, 2	4	q	$1, 2 \rightarrow E$
1, 3	5	$q \rightarrow r$	$1, 3 \rightarrow E$
1, 2, 3	6	r	$4, 5 \rightarrow E$

$$\neg(q), p \rightarrow q \vdash \neg(p)$$

1	1	p	A
2	2	$\neg q$	A
3	3	$p \rightarrow q$	A
1, 3	4	q	$1, 3 \rightarrow E$
1, 2, 3	5	$q \wedge \neg q$	$2, 4 \wedge I$
2, 3	6	$\neg p$	$1, 5 \neg I$

$$p \rightarrow (q \rightarrow r), p, \neg(r) \vdash \neg(q)$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	$\neg r$	A
4	4	$p \rightarrow q \rightarrow r$	A
1, 4	5	$q \rightarrow r$	$1, 4 \rightarrow E$
1, 2, 4	6	r	$2, 5 \rightarrow E$
1, 2, 3, 4	7	$r \wedge \neg r$	$3, 6 \wedge I$
1, 3, 4	8	$\neg q$	$2, 7 \neg I$

$$p \rightarrow \neg(q), q \vdash \neg(p)$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	$p \rightarrow \neg q$	A
1, 3	4	$\neg q$	$1, 3 \rightarrow E$
1, 2, 3	5	$q \wedge \neg q$	$2, 4 \wedge I$
2, 3	6	$\neg p$	$1, 5 \neg I$

$$\neg(p) \rightarrow q, \neg(q) \vdash p$$

1	1	$\neg p$	A
2	2	$\neg q$	A
3	3	$\neg p \rightarrow q$	A
1, 3	4	q	$1, 3 \rightarrow E$
1, 2, 3	5	$q \wedge \neg q$	$2, 4 \wedge I$
2, 3	6	p	$1, 5 \neg E$

$$p \rightarrow q \vdash (\neg(q) \rightarrow \neg(p))$$

1	1	p	A
2	2	$\neg q$	A
3	3	$p \rightarrow q$	A
1, 3	4	q	1, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	$q \wedge \neg q$	2, 4 $\wedge I$
2, 3	6	$\neg p$	1, 5 $\neg I$
3	7	$\neg q \rightarrow \neg p$	6 $\rightarrow I$

$$p \rightarrow (q \rightarrow r) \vdash (q \rightarrow (p \rightarrow r))$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	$p \rightarrow q \rightarrow r$	A
1, 3	4	$q \rightarrow r$	1, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	r	2, 4 $\rightarrow E$
2, 3	6	$p \rightarrow r$	5 $\rightarrow I$
3	7	$q \rightarrow p \rightarrow r$	6 $\rightarrow I$

$$q \rightarrow r \vdash ((\neg(q) \rightarrow \neg(p)) \rightarrow (p \rightarrow r))$$

1	1	p	A
2	2	$\neg q$	A
3	3	$q \rightarrow r$	A
4	4	$\neg q \rightarrow \neg p$	A
2, 4	5	$\neg p$	2, 4 $\rightarrow E$
1, 2, 4	6	$p \wedge \neg p$	1, 5 $\wedge I$
1, 4	7	q	2, 6 $\neg E$
1, 3, 4	8	r	3, 7 $\rightarrow E$
3, 4	9	$p \rightarrow r$	8 $\rightarrow I$
3	10	$(\neg q \rightarrow \neg p) \rightarrow p \rightarrow r$	9 $\rightarrow I$

$$p \rightarrow (p \rightarrow q), p \vdash q$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow p \rightarrow q$	A
1, 2	3	$p \rightarrow q$	1, 2 $\rightarrow E$
1, 2	4	q	1, 3 $\rightarrow E$

$$q \rightarrow (p \rightarrow r), \neg(r), q \vdash \neg(p)$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	$\neg r$	A
4	4	$q \rightarrow p \rightarrow r$	A
2, 4	5	$p \rightarrow r$	2, 4 $\rightarrow E$
1, 2, 4	6	r	1, 5 $\rightarrow E$
1, 2, 3, 4	7	$r \wedge \neg r$	3, 6 $\wedge I$
2, 3, 4	8	$\neg p$	1, 7 $\neg I$

$$p \rightarrow \neg(\neg(q)), p \vdash q$$

1	1	p	A
2	2	$\neg q$	A
3	3	$p \rightarrow \neg(\neg q)$	A
1, 3	4	$\neg(\neg q)$	1, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	$\neg q \wedge \neg(\neg q)$	2, 4 $\wedge I$
1, 3	6	q	2, 5 $\neg E$

$$\neg(\neg(q)) \rightarrow p, \neg(p) \vdash \neg(q)$$

1	1	$\neg p$	A
2	2	$\neg(\neg q)$	A
3	3	$\neg(\neg q) \rightarrow p$	A
2, 3	4	p	2, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	$p \wedge \neg p$	1, 4 $\wedge I$
1, 3	6	$\neg q$	2, 5 $\neg E$

$$(\neg(p) \rightarrow \neg(q)), q \vdash p$$

1	1	q	A
2	2	$\neg p$	A
3	3	$\neg p \rightarrow \neg q$	A
2, 3	4	$\neg q$	2, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	$q \wedge \neg q$	1, 4 $\wedge I$
1, 3	6	p	2, 5 $\neg E$

$$(p \rightarrow \neg(q)) \vdash (q \rightarrow \neg(p))$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	$p \rightarrow \neg q$	A
1, 3	4	$\neg q$	1, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	$q \wedge \neg q$	2, 4 $\wedge I$
2, 3	6	$\neg p$	1, 5 $\neg I$
3	7	$q \rightarrow \neg p$	6 $\rightarrow I$

$$(\neg(p) \rightarrow q) \vdash (\neg(q) \rightarrow p)$$

1	1	$\neg p$	A
2	2	$\neg q$	A
3	3	$\neg p \rightarrow q$	A
1, 3	4	q	1, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	$q \wedge \neg q$	2, 4 $\wedge I$
2, 3	6	p	1, 5 $\neg E$
3	7	$\neg q \rightarrow p$	6 $\rightarrow I$

$$(\neg(p) \rightarrow \neg(q)) \vdash (q \rightarrow p)$$

1	1	q	A
2	2	$\neg p$	A
3	3	$\neg p \rightarrow \neg q$	A
2, 3	4	$\neg q$	2, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	$q \wedge \neg q$	1, 4 $\wedge I$
1, 3	6	p	2, 5 $\neg E$
3	7	$q \rightarrow p$	6 $\rightarrow I$

$$(p \rightarrow q), (q \rightarrow r) \vdash (p \rightarrow r)$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow q$	A
3	3	$q \rightarrow r$	A
1, 2	4	q	1, 2 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	r	3, 4 $\rightarrow E$
2, 3	6	$p \rightarrow r$	5 $\rightarrow I$

$$(p \rightarrow (q \rightarrow r)) \vdash ((p \rightarrow q) \rightarrow (p \rightarrow r))$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow q$	A
3	3	$p \rightarrow q \rightarrow r$	A
1, 2	4	q	1, 2 $\rightarrow E$
1, 3	5	$q \rightarrow r$	1, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	6	r	4, 5 $\rightarrow E$
2, 3	7	$p \rightarrow r$	6 $\rightarrow I$
3	8	$(p \rightarrow q) \rightarrow p \rightarrow r$	7 $\rightarrow I$

$$(p \rightarrow (q \rightarrow (r \rightarrow s))) \vdash (r \rightarrow (p \rightarrow (q \rightarrow s)))$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	r	A
4	4	$p \rightarrow q \rightarrow r \rightarrow s$	A
1, 4	5	$q \rightarrow r \rightarrow s$	1, 4 $\rightarrow E$
1, 2, 4	6	$r \rightarrow s$	2, 5 $\rightarrow E$
1, 2, 3, 4	7	s	3, 6 $\rightarrow E$
1, 3, 4	8	$q \rightarrow s$	7 $\rightarrow I$
3, 4	9	$p \rightarrow q \rightarrow s$	8 $\rightarrow I$
4	10	$r \rightarrow p \rightarrow q \rightarrow s$	9 $\rightarrow I$

$$(p \rightarrow q) \vdash ((q \rightarrow r) \rightarrow (p \rightarrow r))$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow q$	A
3	3	$q \rightarrow r$	A
1, 2	4	q	1, 2 $\rightarrow E$
1, 2, 3	5	r	3, 4 $\rightarrow E$
2, 3	6	$p \rightarrow r$	5 $\rightarrow I$
2	7	$(q \rightarrow r) \rightarrow p \rightarrow r$	6 $\rightarrow I$

$$p \vdash ((p \rightarrow q) \rightarrow q)$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow q$	A
1, 2	3	q	1, 2 $\rightarrow E$
1	4	$(p \rightarrow q) \rightarrow q$	3 $\rightarrow I$

$$p \vdash ((\neg(q \rightarrow r) \rightarrow \neg(p)) \rightarrow (\neg(r) \rightarrow \neg(q)))$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	$\neg r$	A
4	4	$q \rightarrow r$	A
5	5	$\neg(q \rightarrow r) \rightarrow \neg p$	A
2, 4	6	r	2, 4 $\rightarrow E$
2, 3, 4	7	$r \wedge \neg r$	3, 6 $\wedge I$
2, 3	8	$\neg(q \rightarrow r)$	4, 7 $\neg I$
2, 3, 5	9	$\neg p$	8, 5 $\rightarrow E$
1, 2, 3, 5	10	$p \wedge \neg p$	1, 9 $\wedge I$
1, 3, 5	11	$\neg q$	2, 10 $\neg I$
1, 5	12	$\neg r \rightarrow \neg q$	11 $\rightarrow I$
1	13	$(\neg(q \rightarrow r) \rightarrow \neg p) \rightarrow \neg r \rightarrow \neg q$	12 $\rightarrow I$

$$p, q \vdash (p \wedge q)$$

1	1	p	A
2	2	q	A
1, 2	3	$p \wedge q$	1, 2 $\wedge I$

$$((p \wedge q) \rightarrow r) \vdash (p \rightarrow (q \rightarrow r))$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	$p \wedge q \rightarrow r$	A
1, 2	4	$p \wedge q$	1, 2 $\wedge I$
1, 2, 3	5	r	3, 4 $\rightarrow E$
1, 3	6	$q \rightarrow r$	5 $\rightarrow I$
3	7	$p \rightarrow q \rightarrow r$	6 $\rightarrow I$

$$(p \wedge q) \vdash p$$

1	1	$p \wedge q$	A
1	2	p	1 $\wedge E$

$$(p \wedge q) \vdash q$$

1	1	$p \wedge q$	A
1	2	q	1 $\wedge E$

$$p \rightarrow (q \rightarrow r) \vdash ((p \wedge q) \rightarrow r)$$

1	1	$p \rightarrow q \rightarrow r$	A
2	2	$p \wedge q$	A
2	3	p	2 $\wedge E$
2	4	q	2 $\wedge E$
1, 2	5	$q \rightarrow r$	1, 3 $\rightarrow E$
1, 2	6	r	4, 5 $\rightarrow E$
1	7	$p \wedge q \rightarrow r$	6 $\rightarrow I$

$$(p \wedge q) \vdash (q \wedge p)$$

1	1	$p \wedge q$	A
1	2	p	1 $\wedge E$
1	3	q	1 $\wedge E$
1	4	$q \wedge p$	2, 3 $\wedge I$

$$(q \rightarrow r) \vdash ((p \wedge q) \rightarrow (p \wedge r))$$

1	1	$q \rightarrow r$	A
2	2	$p \wedge q$	A
2	3	p	2 $\wedge E$
2	4	q	2 $\wedge E$
1, 2	5	r	1, 4 $\rightarrow E$
1, 2	6	$p \wedge r$	3, 5 $\wedge I$
1	7	$p \wedge q \rightarrow p \wedge r$	6 $\rightarrow I$

$$(p \vee q) \vdash (q \vee p)$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	$p \vee q$	A
1, 2	4	$q \vee p$	1, 2 $\vee I$
2	5	$p \rightarrow q \vee p$	4 $\rightarrow I$
1	6	$q \rightarrow q \vee p$	4 $\rightarrow I$

$$(q \rightarrow r) \vdash ((p \vee q) \rightarrow (p \vee r))$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	$q \rightarrow r$	A
4	4	$p \vee q$	A
2, 3	5	r	2, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	6	$p \vee r$	1, 5 $\vee I$
2, 3	7	$p \rightarrow p \vee r$	6 $\rightarrow I$
1, 3	8	$q \rightarrow p \vee r$	6 $\rightarrow I$
1, 2, 3	9	$p \vee q \rightarrow p \vee r$	6 $\rightarrow I$

$$(p \vee (q \vee r)) \vdash (q \vee (p \vee r))$$

1	1	p	A
2	2	q	A
3	3	r	A
4	4	$p \vee q \vee r$	A
5	5	$q \vee r$	A
1, 3	6	$p \vee r$	1, 3 $\vee I$
1, 2, 3	7	$q \vee p \vee r$	2, 6 $\vee I$
2, 3	8	$p \rightarrow q \vee p \vee r$	7 $\rightarrow I$
1, 3	9	$q \rightarrow q \vee p \vee r$	7 $\rightarrow I$
1, 2	10	$r \rightarrow q \vee p \vee r$	7 $\rightarrow I$
1, 2, 3	11	$q \vee r \rightarrow q \vee p \vee r$	7 $\rightarrow I$

$$(p \rightarrow q), (p \rightarrow (\neg q)) \vdash (\neg p)$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow q$	A
3	3	$p \rightarrow \neg q$	A
1, 2	4	q	1, 2 $\rightarrow E$
1, 3	5	$\neg q$	1, 3 $\rightarrow E$
1, 2, 3	6	$q \wedge \neg q$	4, 5 $\wedge I$
2, 3	7	$\neg p$	1, 6 $\neg I$

$$(p \rightarrow (\neg p)) \vdash (\neg p)$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow \neg p$	A
1, 2	3	$\neg p$	1, 2 $\rightarrow E$
1, 2	4	$p \wedge \neg p$	1, 3 $\wedge I$

$$p \vdash (q \rightarrow (p \wedge q))$$

1	1	p	A
2	2	q	A
1, 2	3	$p \wedge q$	1, 2 $\wedge I$
1	4	$q \rightarrow p \wedge q$	3 $\rightarrow I$

$$(p \wedge (q \wedge r)) \vdash (q \wedge (p \wedge r))$$

1	1	$p \wedge q \wedge r$	A
1	2	p	1 $\wedge E$
1	3	$q \wedge r$	1 $\wedge E$
1	4	q	3 $\wedge E$
1	5	r	3 $\wedge E$
1	6	$p \wedge r$	2, 5 $\wedge I$
1	7	$q \wedge p \wedge r$	4, 6 $\wedge I$

$$((p \rightarrow q) \wedge (p \rightarrow r)) \vdash (p \rightarrow (q \wedge r))$$

1	1	p	A
2	2	$(p \rightarrow q) \wedge (p \rightarrow r)$	A
2	3	$p \rightarrow q$	2 $\wedge E$
1, 2	4	q	1, 3 $\rightarrow E$
2	5	$p \rightarrow r$	2 $\wedge E$
1, 2	6	r	1, 5 $\rightarrow E$
1, 2	7	$q \wedge r$	4, 6 $\wedge I$
2	8	$p \rightarrow q \wedge r$	7 $\rightarrow I$

$$q \vdash (p \vee q)$$

1	1	q	A
1	2	$p \vee q$	1 $\vee I$

$$(p \wedge q) \vdash (p \vee q)$$

1	1	$p \wedge q$	A
1	2	p	1 $\wedge E$
1	3	$p \vee q$	2 $\vee I$

$$((p \rightarrow r) \wedge (q \rightarrow r)) \vdash ((p \vee q) \rightarrow r)$$

1	1	$(p \rightarrow r) \wedge (q \rightarrow r)$	A
2	2	$p \vee q$	A
1	3	$p \rightarrow r$	1 $\wedge E$
1	4	$q \rightarrow r$	1 $\wedge E$
1, 2	5	r	2, 3, 4 $\vee E$
1	6	$p \vee q \rightarrow r$	5 $\rightarrow I$

$$(p \rightarrow q), (r \rightarrow s) \vdash ((p \wedge r) \rightarrow (q \wedge s))$$

1	1	$p \rightarrow q$	A
2	2	$r \rightarrow s$	A
3	3	$p \wedge r$	A
3	4	p	3 $\wedge E$
1, 3	5	q	1, 4 $\rightarrow E$
3	6	r	3 $\wedge E$
2, 3	7	s	2, 6 $\rightarrow E$
1, 2, 3	8	$q \wedge s$	5, 7 $\wedge I$
1, 2	9	$p \wedge r \rightarrow q \wedge s$	8 $\rightarrow I$

$$(p \rightarrow q), (r \rightarrow s) \vdash ((p \vee r) \rightarrow (q \vee s))$$

1	1	p	A
2	2	r	A
3	3	$p \rightarrow q$	A
4	4	$r \rightarrow s$	A
5	5	$p \vee r$	A
1, 3	6	q	1, 3 $\rightarrow E$
2, 4	7	s	2, 4 $\rightarrow E$
1, 2, 3, 4	8	$q \vee s$	6, 7 $\vee I$
2, 3, 4	9	$p \rightarrow q \vee s$	8 $\rightarrow I$
1, 3, 4	10	$r \rightarrow q \vee s$	8 $\rightarrow I$
1, 2, 3, 4	11	$p \vee r \rightarrow q \vee s$	8 $\rightarrow I$

$$(p \rightarrow (q \wedge r)) \vdash ((p \rightarrow q) \wedge (p \rightarrow r))$$

1	1	p	A
2	2	$p \rightarrow q \wedge r$	A
1, 2	3	$q \wedge r$	1, 2 $\rightarrow E$
1, 2	4	q	3 $\wedge E$
1, 2	5	r	3 $\wedge E$
2	6	$p \rightarrow q$	4 $\rightarrow I$
2	7	$p \rightarrow r$	5 $\rightarrow I$
2	8	$(p \rightarrow q) \wedge (p \rightarrow r)$	6, 7 $\wedge I$

$$((\neg p) \rightarrow p) \vdash p$$

1	1	$\neg p$	A
2	2	$\neg p \rightarrow p$	A
1, 2	3	p	1, 2 $\rightarrow E$
1, 2	4	$p \wedge \neg p$	1, 3 $\wedge I$

$$(p \leftrightarrow q) \vdash (q \leftrightarrow p)$$

1	1	$p \leftrightarrow q$	A
1	2	$(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$	1 $\leftrightarrow E$
1	3	$p \rightarrow q$	2 $\wedge E$
1	4	$q \rightarrow p$	2 $\wedge E$
1	5	$q \leftrightarrow p$	3, 4 $\leftrightarrow I$

$$p, (p \leftrightarrow q) \vdash q$$

1	1	p	A
2	2	$p \leftrightarrow q$	A
2	3	$(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$	2 $\leftrightarrow E$
2	4	$p \rightarrow q$	3 $\wedge E$
1, 2	5	q	1, 4 $\rightarrow E$