

# 第一章集合及其运算

陈建文

# 1. 集合的概念

## 定义1.1

通常把一些互不相同的东西放在一起所形成的整体叫做一个集合。构成集合的每个东西叫做集合的元素。给定一个集合 $A$ 和一个元素 $a$ ，用 $a \in A$ 表示 $a$ 是 $A$ 的一个元素，用 $a \notin A$ 表示 $a$ 不是 $A$ 的一个元素。

# 1. 集合的概念

有两种方法表示一个集合：

1. 把构成集合的那些元素全部列出来

# 1. 集合的概念

有两种方法表示一个集合：

1. 把构成集合的那些元素全部列出来

▶  $A = \{1, 2, 3\}$

# 1. 集合的概念

有两种方法表示一个集合：

1. 把构成集合的那些元素全部列出来

- ▶  $A = \{1, 2, 3\}$

- ▶  $C = \{a, b, c, \dots, z\}$

# 1. 集合的概念

有两种方法表示一个集合：

1. 把构成集合的那些元素全部列出来

- ▶  $A = \{1, 2, 3\}$

- ▶  $C = \{a, b, c, \dots, z\}$

2. 用概括集合中各元素的属性来表示集合  $\{x|P(x)\}$

# 1. 集合的概念

有两种方法表示一个集合：

1. 把构成集合的那些元素全部列出来

- ▶  $A = \{1, 2, 3\}$

- ▶  $C = \{a, b, c, \dots, z\}$

2. 用概括集合中各元素的属性来表示集合  $\{x|P(x)\}$

- ▶  $E = \{n|n \in \mathcal{Z} \wedge n \text{ is even}\}$

# 1. 集合的概念

有两种方法表示一个集合：

1. 把构成集合的那些元素全部列出来

- ▶  $A = \{1, 2, 3\}$

- ▶  $C = \{a, b, c, \dots, z\}$

2. 用概括集合中各元素的属性来表示集合  $\{x|P(x)\}$

- ▶  $E = \{n|n \in \mathcal{Z} \wedge n \text{ is even}\}$

- ▶  $E = \{n \in \mathcal{Z}|n \text{ is even}\}$



# 1. 集合的概念

存在一个集合，该集合中不包含任何元素，称为空集，记为 $\Phi$ 。

## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.1

设 $A, B$ 为两个集合, 如果 $A$ 中的每个元素都是 $B$ 中的元素, 则称 $A$ 为 $B$ 的**子集**, 记为 $A \subseteq B$ ; 如果 $A \subseteq B$ 且存在 $x \in B$ 使得 $x \notin A$ , 则称 $A$ 为 $B$ 的**真子集**, 记为 $A \subset B$ 。

## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.1

设 $A, B$ 为两个集合, 如果 $A$ 中的每个元素都是 $B$ 中的元素, 则称 $A$ 为 $B$ 的**子集**, 记为 $A \subseteq B$ ; 如果 $A \subseteq B$ 且存在 $x \in B$ 使得 $x \notin A$ , 则称 $A$ 为 $B$ 的**真子集**, 记为 $A \subset B$ 。

►  $\{1, 2, 4\} \subseteq \{1, 2, 3, 4, 5\}$

## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.1

设 $A, B$ 为两个集合，如果 $A$ 中的每个元素都是 $B$ 中的元素，则称 $A$ 为 $B$ 的**子集**，记为 $A \subseteq B$ ；如果 $A \subseteq B$ 且存在 $x \in B$ 使得 $x \notin A$ ，则称 $A$ 为 $B$ 的**真子集**，记为 $A \subset B$ 。

►  $\{1, 2, 4\} \subseteq \{1, 2, 3, 4, 5\}$

►  $\{1, 2, 4\} \subset \{1, 2, 3, 4, 5\}$

## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.1

设 $A, B$ 为两个集合, 如果 $A$ 中的每个元素都是 $B$ 中的元素, 则称 $A$ 为 $B$ 的**子集**, 记为 $A \subseteq B$ ; 如果 $A \subseteq B$ 且存在 $x \in B$ 使得 $x \notin A$ , 则称 $A$ 为 $B$ 的**真子集**, 记为 $A \subset B$ 。

►  $\{1, 2, 4\} \subseteq \{1, 2, 3, 4, 5\}$

►  $\{1, 2, 4\} \subset \{1, 2, 3, 4, 5\}$

$$A \subseteq B : \forall x \in A, x \in B \text{ 即 } \forall x (x \in A \rightarrow x \in B)$$

## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.1

设 $A, B$ 为两个集合, 如果 $A$ 中的每个元素都是 $B$ 中的元素, 则称 $A$ 为 $B$ 的**子集**, 记为 $A \subseteq B$ ; 如果 $A \subseteq B$ 且存在 $x \in B$ 使得 $x \notin A$ , 则称 $A$ 为 $B$ 的**真子集**, 记为 $A \subset B$ 。

►  $\{1, 2, 4\} \subseteq \{1, 2, 3, 4, 5\}$

►  $\{1, 2, 4\} \subset \{1, 2, 3, 4, 5\}$

$$A \subseteq B : \forall x \in A, x \in B \text{ 即 } \forall x (x \in A \rightarrow x \in B)$$

$$A \subset B : A \subseteq B \wedge \exists x \in B, x \notin A \text{ 即 } A \subseteq B \wedge \exists x (x \in B \wedge x \notin A)$$

设 $A = \{1, 2, 4\}$ ,  $B = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ , 则 $A \subseteq B$ , 其含义是

$$\forall x (x \in A \rightarrow x \in B)$$

对一些特殊的 $x$ 的值分析如下:

设 $A = \{1, 2, 4\}$ ,  $B = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ , 则 $A \subseteq B$ , 其含义是

$$\forall x x \in A \rightarrow x \in B$$

对一些特殊的 $x$ 的值分析如下:

- ▶ 当 $x = 1$ 时,  $1 \in A \rightarrow 1 \in B$ , 即 $T \rightarrow T$ , 其真值为 $T$ ;



设 $A = \{1, 2, 4\}$ ,  $B = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ , 则 $A \subseteq B$ , 其含义是

$$\forall x (x \in A \rightarrow x \in B)$$

对一些特殊的 $x$ 的值分析如下:

- ▶ 当 $x = 1$ 时,  $1 \in A \rightarrow 1 \in B$ , 即 $T \rightarrow T$ , 其真值为 $T$ ;
- ▶ 当 $x = 3$ 时,  $3 \in A \rightarrow 3 \in B$ , 即 $F \rightarrow T$ , 其真值为 $T$ ;

设 $A = \{1, 2, 4\}$ ,  $B = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ , 则 $A \subseteq B$ , 其含义是

$$\forall x (x \in A \rightarrow x \in B)$$

对一些特殊的 $x$ 的值分析如下:

- ▶ 当 $x = 1$ 时,  $1 \in A \rightarrow 1 \in B$ , 即 $T \rightarrow T$ , 其真值为 $T$ ;
- ▶ 当 $x = 3$ 时,  $3 \in A \rightarrow 3 \in B$ , 即 $F \rightarrow T$ , 其真值为 $T$ ;
- ▶ 当 $x = 0$ 时,  $0 \in A \rightarrow 0 \in B$ , 即 $F \rightarrow F$ , 其真值为 $T$ 。

## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.2

设 $A$ ,  $B$ 为两个集合, 如果 $A \subseteq B$ 且 $B \subseteq A$ , 则称 $A$ 与 $B$ 相等, 并记为 $A = B$ 。

## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.2

设 $A$ ,  $B$ 为两个集合, 如果 $A \subseteq B$ 且 $B \subseteq A$ , 则称 $A$ 与 $B$ 相等, 并记为 $A = B$ 。

►  $\{1, 2, 3, 4, 5\} = \{3, 4, 2, 1, 5\}$

## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.2

设 $A, B$ 为两个集合，如果 $A \subseteq B$ 且 $B \subseteq A$ ，则称 $A$ 与 $B$ 相等，并记为 $A = B$ 。

- ▶  $\{1, 2, 3, 4, 5\} = \{3, 4, 2, 1, 5\}$
- ▶  $\{x \in \mathcal{R} \mid x^2 - 5x + 6 = 0\} = \{2, 3\}$

## 2. 子集、集合的相等

### 定理2.1

空集为任一个集合的子集且空集是唯一的。

## 2. 子集、集合的相等

### 定理2.1

空集为任一个集合的子集且空集是唯一的。

证明.

## 2. 子集、集合的相等

### 定理2.1

空集为任一个集合的子集且空集是唯一的。

证明.

设 $A$ 为任意一个集合，显然对任意的 $x$ 属于空集，则 $x \in A$ ，因此空集为 $A$ 的子集。



## 2. 子集、集合的相等

### 定理2.1

空集为任一个集合的子集且空集是唯一的。

证明.

设 $A$ 为任意一个集合，显然对任意的 $x$ 属于空集，则 $x \in A$ ，因此空集为 $A$ 的子集。

以下证明空集是唯一的。用反证法。假设存在两个不相等的空集 $\phi$ 和 $\phi'$ ，则 $\phi \subseteq \phi'$ 并且 $\phi' \subseteq \phi$ ，从而 $\phi = \phi'$ ，矛盾。 □

$$\begin{aligned}
A \not\subseteq B &\Leftrightarrow \neg(A \subseteq B) \\
&\Leftrightarrow \neg(\forall x (x \in A \rightarrow x \in B)) \\
&\Leftrightarrow \exists x \neg(x \in A \rightarrow x \in B) \\
&\Leftrightarrow \exists x \neg(\neg(x \in A) \vee (x \in B)) \\
&\Leftrightarrow \exists x \neg(\neg(x \in A)) \wedge \neg(x \in B) \\
&\Leftrightarrow \exists x (x \in A \wedge x \notin B)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A \not\subseteq B &\Leftrightarrow \neg(A \subseteq B) \\
&\Leftrightarrow \neg(\forall x (x \in A \rightarrow x \in B)) \\
&\Leftrightarrow \exists x \neg(x \in A \rightarrow x \in B) \\
&\Leftrightarrow \exists x \neg(\neg(x \in A) \vee (x \in B)) \\
&\Leftrightarrow \exists x \neg(\neg(x \in A)) \wedge \neg(x \in B) \\
&\Leftrightarrow \exists x (x \in A \wedge x \notin B)
\end{aligned}$$

## 2. 子集、集合的相等

空集为任一个集合的子集。

## 2. 子集、集合的相等

空集为任一个集合的子集。

证明.

## 2. 子集、集合的相等

空集为任一个集合的子集。

证明.

用反证法。设存在一个集合 $A$ ,  $\phi \not\subseteq A$ , 则存在 $x \in \phi$ , 但 $x \notin A$ , 这显然是不可能的, 结论得证。



## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.3

集合 $S$ 的所有子集构成的集合称为 $S$ 的幂集，记为 $2^S$ 或者 $\mathcal{P}(S)$ 。

## 2. 子集、集合的相等

### 定义2.3

集合 $S$ 的所有子集构成的集合称为 $S$ 的幂集，记为 $2^S$ 或者 $\mathcal{P}(S)$ 。

例：

$$2^\phi = \{\phi\}$$

$$2^{\{1\}} = \{\phi, \{1\}\}$$

$$2^{\{1,2\}} = \{\phi, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}\}$$

$$2^{\{1,2,3\}} = \{\phi, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}, \{3\}, \{1, 3\}, \{2, 3\}, \{1, 2, 3\}\}$$



例:  
 $2^{\{\phi, \{\phi\}\}} =$

例:

$$2^{\{\phi, \{\phi\}\}} = \{\phi, \{\phi\}, \{\{\phi\}\}, \{\phi, \{\phi\}\}\}$$

试证：对于任意的集合 $A$ ,  $\{\phi, \{\phi\}\} \in 2^{2^{2^A}}$ 。

证明.

试证：对于任意的集合  $A$ ,  $\{\phi, \{\phi\}\} \in 2^{2^A}$ 。

证明.

根据幂集的定义,

试证：对于任意的集合 $A$ ， $\{\phi, \{\phi\}\} \in 2^{2^A}$ 。

证明.

根据幂集的定义， $\phi \in 2^A$ ,

试证：对于任意的集合 $A$ ， $\{\phi, \{\phi\}\} \in 2^{2^A}$ 。

证明.

根据幂集的定义， $\phi \in 2^A$ ，从而 $\{\phi\} \subseteq 2^A$ ，

试证：对于任意的集合 $A$ ， $\{\phi, \{\phi\}\} \in 2^{2^A}$ 。

证明.

根据幂集的定义， $\phi \in 2^A$ ，从而 $\{\phi\} \subseteq 2^A$ ，即 $\{\phi\} \in 2^{2^A}$ 。

试证：对于任意的集合 $A$ ， $\{\phi, \{\phi\}\} \in 2^{2^{2^A}}$ 。

证明.

根据幂集的定义， $\phi \in 2^A$ ，从而 $\{\phi\} \subseteq 2^A$ ，即 $\{\phi\} \in 2^{2^A}$ 。又因为 $\phi \in 2^{2^A}$ ，



试证：对于任意的集合 $A$ ， $\{\phi, \{\phi\}\} \in 2^{2^{2^A}}$ 。

证明.

根据幂集的定义， $\phi \in 2^A$ ，从而 $\{\phi\} \subseteq 2^A$ ，即 $\{\phi\} \in 2^{2^A}$ 。又因为 $\phi \in 2^{2^A}$ ，所以 $\{\phi, \{\phi\}\} \subseteq 2^{2^A}$ ，

试证：对于任意的集合 $A$ ， $\{\phi, \{\phi\}\} \in 2^{2^{2^A}}$ 。

证明.

根据幂集的定义， $\phi \in 2^A$ ，从而 $\{\phi\} \subseteq 2^A$ ，即 $\{\phi\} \in 2^{2^A}$ 。又因为 $\phi \in 2^{2^A}$ ，所以 $\{\phi, \{\phi\}\} \subseteq 2^{2^A}$ ，从而 $\{\phi, \{\phi\}\} \in 2^{2^{2^A}}$ 。  $\square$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.1

设 $A, B$ 为任意的两个集合，至少属于集合 $A$ 与集合 $B$ 之一的那些元素构成的集合称为 $A$ 与 $B$ 的并集，记为 $A \cup B$ 。

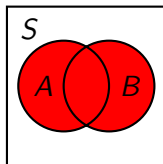
$$A \cup B = \{x | x \in A \vee x \in B\}$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.1

设 $A, B$ 为任意的两个集合，至少属于集合 $A$ 与集合 $B$ 之一的那些元素构成的集合称为 $A$ 与 $B$ 的并集，记为 $A \cup B$ 。

$$A \cup B = \{x | x \in A \vee x \in B\}$$

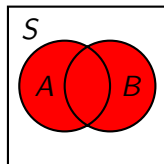


### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.1

设 $A, B$ 为任意的两个集合，至少属于集合 $A$ 与集合 $B$ 之一的那些元素构成的集合称为 $A$ 与 $B$ 的**并集**，记为 $A \cup B$ 。

$$A \cup B = \{x | x \in A \vee x \in B\}$$



例：

$$\{1, 2\} \cup \{2, 3\} = \{1, 2, 3\}$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.2

设 $A, B$ 为任意的两个集合，由既属于集合 $A$ 又属于集合 $B$ 的所有元素构成的集合称为 $A$ 与 $B$ 的交集，记为 $A \cap B$ 。

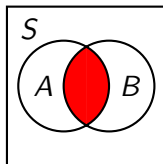
$$A \cap B = \{x | x \in A \wedge x \in B\}$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.2

设 $A, B$ 为任意的两个集合，由既属于集合 $A$ 又属于集合 $B$ 的所有元素构成的集合称为 $A$ 与 $B$ 的交集，记为 $A \cap B$ 。

$$A \cap B = \{x | x \in A \wedge x \in B\}$$

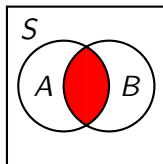


### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.2

设 $A, B$ 为任意的两个集合，由既属于集合 $A$ 又属于集合 $B$ 的所有元素构成的集合称为 $A$ 与 $B$ 的交集，记为 $A \cap B$ 。

$$A \cap B = \{x | x \in A \wedge x \in B\}$$



例：

$$\{1, 2\} \cap \{2, 3\} = \{2\}$$



### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.3

设 $A, B$ 为任意的两个集合，由属于集合 $A$ 但不属于集合 $B$ 的所有元素构成的集合称为 $A$ 与 $B$ 的差集，记为 $A \setminus B$ 。

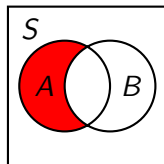
$$A \setminus B = \{x | x \in A \wedge x \notin B\}$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.3

设 $A, B$ 为任意的两个集合，由属于集合 $A$ 但不属于集合 $B$ 的所有元素构成的集合称为 $A$ 与 $B$ 的**差集**，记为 $A \setminus B$ 。

$$A \setminus B = \{x | x \in A \wedge x \notin B\}$$

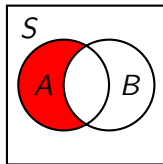


### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.3

设 $A, B$ 为任意的两个集合，由属于集合 $A$ 但不属于集合 $B$ 的所有元素构成的集合称为 $A$ 与 $B$ 的**差集**，记为 $A \setminus B$ 。

$$A \setminus B = \{x | x \in A \wedge x \notin B\}$$



例：

$$\{1, 2\} \setminus \{2, 3\} = \{1\}$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.4

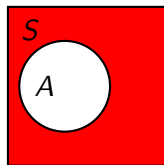
在许多实际问题中，常以某个集合 $S$ 为出发点，而所涉及的集合都是 $S$ 的子集。这个包含所考虑的所有集合的集合 $S$ ，称为该问题的全集。如果 $A$ 为 $S$ 的子集，则差集 $S \setminus A$ 称为集合 $A$ 对集合 $S$ 的余集，记为 $A^c$ 。

$$A^c = \{x | x \in S \wedge x \notin A\}$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.4

在许多实际问题中，常以某个集合 $S$ 为出发点，而所涉及的集合都是 $S$ 的子集。这个包含所考虑的所有集合的集合 $S$ ，称为该问题的**全集**。如果 $A$ 为 $S$ 的子集，则差集 $S \setminus A$ 称为集合 $A$ 对集合 $S$ 的**余集**，记为 $A^c$ 。

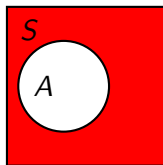


$$A^c = \{x | x \in S \wedge x \notin A\}$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.4

在许多实际问题中，常以某个集合 $S$ 为出发点，而所涉及的集合都是 $S$ 的子集。这个包含所考虑的所有集合的集合 $S$ ，称为该问题的**全集**。如果 $A$ 为 $S$ 的子集，则差集 $S \setminus A$ 称为集合 $A$ 对集合 $S$ 的**余集**，记为 $A^c$ 。



$$A^c = \{x | x \in S \wedge x \notin A\}$$

例：

$S = \{0, 1\}$ ,  $A = \{0\}$ , 则  $A^c = \{1\}$

### 3. 集合的基本运算

#### 定理3.1

设 $S$ 为全集,  $\emptyset$ 为空集,  $A, B, C$ 为 $S$ 的子集, 则

1.  $A \cup B = B \cup A, A \cap B = B \cap A.$
2.  $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C), (A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C).$
4.  $A \cup \emptyset = A, A \cap \emptyset = \emptyset.$
5.  $A \cup S = S, A \cap S = A.$
6.  $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C),$   
 $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C).$
7.  $A \cup A^c = S, A \cap A^c = \emptyset.$
8.  $C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B),$   
 $C \setminus (A \cap B) = (C \setminus A) \cup (C \setminus B).$
- 8'.  $(A \cup B)^c = A^c \cap B^c, (A \cap B)^c = A^c \cup B^c.$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$



$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ,

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ , 如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ,

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证 $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的 $x$ ，如果 $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则 $x \in A$ 并且 $x \in (B \cup C)$ ，

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证 $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的 $x$ ，如果 $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则 $x \in A$ 并且 $x \in (B \cup C)$ ，从而 $x \in A$ ，并且 $x \in B$ 或者 $x \in C$ ，

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，



$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，于是， $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，于是， $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

再证  $(A \cap B) \cup (A \cap C) \subseteq A \cap (B \cup C)$ 。

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，于是， $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

再证  $(A \cap B) \cup (A \cap C) \subseteq A \cap (B \cup C)$ 。

对任意的  $x$ ，

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，于是， $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

再证  $(A \cap B) \cup (A \cap C) \subseteq A \cap (B \cup C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ ，

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，于是， $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

再证  $(A \cap B) \cup (A \cap C) \subseteq A \cap (B \cup C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ ，则  $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，于是， $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

再证  $(A \cap B) \cup (A \cap C) \subseteq A \cap (B \cup C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ ，则  $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，从而  $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，于是， $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

再证  $(A \cap B) \cup (A \cap C) \subseteq A \cap (B \cup C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ ，则  $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，从而  $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，因此， $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，于是， $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

再证  $(A \cap B) \cup (A \cap C) \subseteq A \cap (B \cup C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ ，则  $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，从而  $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，因此， $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，即， $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，



$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

证明.

先证  $A \cap (B \cup C) \subseteq (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in A \cap (B \cup C)$ ，则  $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，从而  $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，因此， $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，即， $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，于是， $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 。

再证  $(A \cap B) \cup (A \cap C) \subseteq A \cap (B \cup C)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$ ，则  $x \in A \cap B$  或者  $x \in A \cap C$ ，从而  $x \in A$  并且  $x \in B$ ，或者  $x \in A$  并且  $x \in C$ ，因此， $x \in A$ ，并且  $x \in B$  或者  $x \in C$ ，即， $x \in A$  并且  $x \in (B \cup C)$ ，于是， $x \in A \cap (B \cup C)$ 。 □

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ,

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ , 如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ,

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ , 如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ , 则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ,

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，



$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，于是  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，于是  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

再证  $(C \setminus A) \cap (C \setminus B) \subseteq C \setminus (A \cup B)$ 。

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，于是  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

再证  $(C \setminus A) \cap (C \setminus B) \subseteq C \setminus (A \cup B)$ 。

对任意的  $x$ ，

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，于是  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

再证  $(C \setminus A) \cap (C \setminus B) \subseteq C \setminus (A \cup B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ ，

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，于是  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

再证  $(C \setminus A) \cap (C \setminus B) \subseteq C \setminus (A \cup B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ ，则  $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，于是  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

再证  $(C \setminus A) \cap (C \setminus B) \subseteq C \setminus (A \cup B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ ，则  $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，

$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，于是  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

再证  $(C \setminus A) \cap (C \setminus B) \subseteq C \setminus (A \cup B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ ，则  $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，



$$C \setminus (A \cup B) = (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$$

证明.

先证  $C \setminus (A \cup B) \subseteq (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in C \setminus (A \cup B)$ ，则  $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，于是  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ 。

再证  $(C \setminus A) \cap (C \setminus B) \subseteq C \setminus (A \cup B)$ 。

对任意的  $x$ ，如果  $x \in (C \setminus A) \cap (C \setminus B)$ ，则  $x \in C \setminus A$  并且  $x \in C \setminus B$ ，从而  $x \in C$  并且  $x \notin A$  并且  $x \notin B$ ，因此， $x \in C$  并且  $x \notin A \cup B$ ，于是  $x \in C \setminus (A \cup B)$ 。 □

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.5

设 $A, B$ 为两个集合,  $A \setminus B$ 与 $B \setminus A$ 的并集称为 $A$ 与 $B$ 的**对称差**, 记为 $A \triangle B$ 。

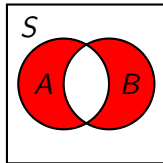
$$A \triangle B = (A \setminus B) \cup (B \setminus A)$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.5

设 $A, B$ 为两个集合,  $A \setminus B$ 与 $B \setminus A$ 的并集称为 $A$ 与 $B$ 的**对称差**, 记为 $A \triangle B$ 。

$$A \triangle B = (A \setminus B) \cup (B \setminus A)$$

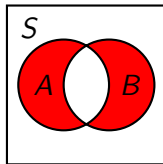


### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.5

设 $A, B$ 为两个集合,  $A \setminus B$ 与 $B \setminus A$ 的并集称为 $A$ 与 $B$ 的**对称差**, 记为 $A \triangle B$ 。

$$A \triangle B = (A \setminus B) \cup (B \setminus A)$$



例:

$$\{1, 2\} \triangle \{2, 3\} = ?$$

$$\{1, 2\} \triangle \{1\} = ?$$

$$\{1, 2\} \triangle \phi = ?$$

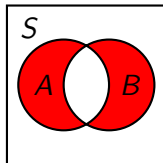
$$\{1, 2\} \triangle \{1, 2\} = ?$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.5

设 $A, B$ 为两个集合,  $A \setminus B$ 与 $B \setminus A$ 的并集称为 $A$ 与 $B$ 的**对称差**, 记为 $A \triangle B$ 。

$$A \triangle B = (A \setminus B) \cup (B \setminus A)$$



例:

$$\{1, 2\} \triangle \{2, 3\} = ?$$

$$\{1, 2\} \triangle \{1\} = ?$$

$$\{1, 2\} \triangle \emptyset = ?$$

$$\{1, 2\} \triangle \{1, 2\} = ?$$

#### 定理3.2

设 $S$ 为全集,  $A \in 2^S$ ,  $B \in 2^S$ , 则

$$A \triangle B = (A \cap B^c) \cup (A^c \cap B)$$

### 3. 集合的基本运算

#### 定理3.3

设 $S$ 为全集， $\emptyset$ 为空集， $A, B, C$ 为 $S$ 的子集，则

1.  $A \triangle B = B \triangle A$ .
2.  $(A \triangle B) \triangle C = A \triangle (B \triangle C)$ .
3.  $\emptyset \triangle A = A$ .
4.  $A \triangle A = \emptyset$ .
5.  $A \cap (B \triangle C) = (A \cap B) \triangle (A \cap C)$ .

### 3. 集合的基本运算

#### 定义3.6

以集合为元素的集合称为**集族**。如果 $I$ 为任意一个集合，对 $I$ 中每个元素 $\alpha$ 都有一个唯一的集合与之对应，这个集合记为 $A_\alpha$ ，那么所有这些 $A_\alpha$ 形成的集族可以用 $\{A_\alpha\}_{\alpha \in I}$ 表示，其中 $I$ 称为**标号集**。

#### 定义3.7

集族 $\{A_\alpha\}_{\alpha \in I}$ 中所有集合的并集 $\bigcup_{\alpha \in I} A_\alpha$ 定义为

$$\bigcup_{\alpha \in I} A_\alpha = \{x | \exists \alpha \in I, x \in A_\alpha\}$$

集族 $\{A_\alpha\}_{\alpha \in I}$ 中所有集合的交集 $\bigcap_{\alpha \in I} A_\alpha$ 定义为

$$\bigcap_{\alpha \in I} A_\alpha = \{x | \forall \alpha \in I, x \in A_\alpha\}$$

### 3. 集合的基本运算

例:

设  $I = \{x \in \mathbb{R} | 0 < x \leq 1\}$ ,  $\forall x \in \mathbb{R}, A_x = \{y \in \mathbb{R} | 0 < y < x\}$ , 则

$$\bigcup_{x \in I} A_x = ?, \bigcap_{x \in I} A_x = ?$$



### 3. 集合的基本运算

#### 定理3.4

设 $A$ 为任意集合,  $\{B_\alpha\}_{\alpha \in I}$ 为任意一个集族, 则

1.  $A \cap (\bigcup_{\alpha \in I} B_\alpha) = \bigcup_{\alpha \in I} (A \cap B_\alpha)$
2.  $A \cup (\bigcap_{\alpha \in I} B_\alpha) = \bigcap_{\alpha \in I} (A \cup B_\alpha)$
3.  $(\bigcup_{\alpha \in I} A_\alpha)^c = \bigcap_{\alpha \in I} A_\alpha^c$
4.  $(\bigcap_{\alpha \in I} A_\alpha)^c = \bigcup_{\alpha \in I} A_\alpha^c$

$$(\bigcup_{\alpha \in I} A_{\alpha})^c = \bigcap_{\alpha \in I} A_{\alpha}^c$$

证明.

设全集为 $S$ 。如果 $x \in (\bigcup_{\alpha \in I} A_{\alpha})^c$ , 则 $x \in S$ , 且 $x \notin \bigcup_{\alpha \in I} A_{\alpha}$ , 从而对任意的 $\alpha \in I$ ,  $x \notin A_{\alpha}$ 。于是, 对任意的 $\alpha \in I$ 都有 $x \in A_{\alpha}^c$ 。

因此,  $x \in \bigcap_{\alpha \in I} A_{\alpha}^c$ , 故 $(\bigcup_{\alpha \in I} A_{\alpha})^c \subseteq \bigcap_{\alpha \in I} A_{\alpha}^c$ 。

其次, 如果 $x \in \bigcap_{\alpha \in I} A_{\alpha}^c$ , 则对任意的 $\alpha \in I$ 都有 $x \in A_{\alpha}^c$ 。因此, 对任意的 $\alpha \in I$ 都有 $x \in S$ 且 $x \notin A_{\alpha}$ , 故 $x \notin \bigcup_{\alpha \in I} A_{\alpha}$ 。于是,

$x \in (\bigcup_{\alpha \in I} A_{\alpha})^c$ 。所以,  $\bigcap_{\alpha \in I} A_{\alpha}^c \subseteq (\bigcup_{\alpha \in I} A_{\alpha})^c$ 。

由集合相等的定义便知,  $(\bigcup_{\alpha \in I} A_{\alpha})^c = \bigcap_{\alpha \in I} A_{\alpha}^c$ 。



### 3. 集合的运算

#### 定义3.8

两个对象按照一定的顺序排列构成的整体称为一个有序对。如果第一个对象为 $a$ ，第二个对象为 $b$ ，则该有序对记为 $(a, b)$ 。

$(a, b) = (c, d)$ 当且仅当 $a = c$ 并且 $b = d$ 。

### 3. 集合的运算

#### 定义3.8

两个对象按照一定的顺序排列构成的整体称为一个有序对。如果第一个对象为 $a$ ，第二个对象为 $b$ ，则该有序对记为 $(a, b)$ 。

$(a, b) = (c, d)$ 当且仅当 $a = c$ 并且 $b = d$ 。

#### 定义3.9

设 $A$ 与 $B$ 为任意两个集合，则称集

合 $\{(a, b) | a \in A \wedge b \in B\}$ 为 $A$ 与 $B$ 的笛卡尔乘积，记为 $A \times B$ 。即

$$A \times B = \{(a, b) | a \in A \wedge b \in B\}$$

### 3. 集合的运算

#### 定义3.8

两个对象按照一定的顺序排列构成的整体称为一个有序对。如果第一个对象为 $a$ ，第二个对象为 $b$ ，则该有序对记为 $(a, b)$ 。

$(a, b) = (c, d)$ 当且仅当 $a = c$ 并且 $b = d$ 。

#### 定义3.9

设 $A$ 与 $B$ 为任意两个集合，则称集

合 $\{(a, b) | a \in A \wedge b \in B\}$ 为 $A$ 与 $B$ 的笛卡尔乘积，记为 $A \times B$ 。即

$$A \times B = \{(a, b) | a \in A \wedge b \in B\}$$

例：

如果 $X = \{1, 2\}$ ， $Y = \{3, 4, 5\}$ ，那么 $X \times Y = ?$ ， $Y \times X = ?$

### 3. 集合的运算

#### 定义3.8

两个对象按照一定的顺序排列构成的整体称为一个**有序对**。如果第一个对象为 $a$ ，第二个对象为 $b$ ，则该有序对记为 $(a, b)$ 。

$(a, b) = (c, d)$ 当且仅当 $a = c$ 并且 $b = d$ 。

#### 定义3.9

设 $A$ 与 $B$ 为任意两个集合，则称集

合 $\{(a, b) | a \in A \wedge b \in B\}$ 为 $A$ 与 $B$ 的**笛卡尔乘积**，记为 $A \times B$ 。即

$$A \times B = \{(a, b) | a \in A \wedge b \in B\}$$

例：

如果 $X = \{1, 2\}$ ， $Y = \{3, 4, 5\}$ ，那么 $X \times Y = ?$ ， $Y \times X = ?$

$$X \times Y = \{(1, 3), (1, 4), (1, 5), (2, 3), (2, 4), (2, 5)\}$$

$$Y \times X = \{(3, 1), (3, 2), (4, 1), (4, 2), (5, 1), (5, 2)\}$$

### 3. 集合的运算

#### 定义3.10

$n$ 个对象按照一定的顺序排列构成的整体称为一个 $n$ 元组。如果第一个对象为 $a_1$ ，第二个对象为 $a_2$ ， $\dots$ ，第 $n$ 个对象为 $a_n$ ，则该 $n$ 元组记为 $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。 $(a_1, a_2, \dots, a_n) = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 当且仅当 $a_1 = b_1, a_2 = b_2, \dots, a_n = b_n$ 。

### 3. 集合的运算

#### 定义3.10

$n$ 个对象按照一定的顺序排列构成的整体称为一个 $n$ 元组。如果第一个对象为 $a_1$ ，第二个对象为 $a_2$ ， $\dots$ ，第 $n$ 个对象为 $a_n$ ，则该 $n$ 元组记为 $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。 $(a_1, a_2, \dots, a_n) = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 当且仅当 $a_1 = b_1, a_2 = b_2, \dots, a_n = b_n$ 。

#### 定义3.11

设 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 为任意 $n$ 个集合，则称集合

$$\{(a_1, a_2, \dots, a_n) | a_i \in A_i, i = 1, 2, \dots, n\}$$

为 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 的笛卡尔乘积，记为 $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ ，简记为 $\prod_{i=1}^n A_i$ 。即

$$A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n = \prod_{i=1}^n A_i = \{(a_1, a_2, \dots, a_n) | a_i \in A_i, i = 1, 2, \dots, n\}$$



### 3. 集合的运算

#### 定义3.10

$n$ 个对象按照一定的顺序排列构成的整体称为一个 $n$ 元组。如果第一个对象为 $a_1$ ，第二个对象为 $a_2$ ， $\dots$ ，第 $n$ 个对象为 $a_n$ ，则该 $n$ 元组记为 $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。 $(a_1, a_2, \dots, a_n) = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 当且仅当 $a_1 = b_1, a_2 = b_2, \dots, a_n = b_n$ 。

#### 定义3.11

设 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 为任意 $n$ 个集合，则称集合

$$\{(a_1, a_2, \dots, a_n) | a_i \in A_i, i = 1, 2, \dots, n\}$$

为 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 的笛卡尔乘积，记为 $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ ，简记为 $\prod_{i=1}^n A_i$ 。即

$$A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n = \prod_{i=1}^n A_i = \{(a_1, a_2, \dots, a_n) | a_i \in A_i, i = 1, 2, \dots, n\}$$

例：

如果 $X = \{1, 2\}$ ， $Y = \{3, 4\}$ ， $Z = \{5, 6\}$  那么 $X \times Y \times Z = ?$

## 6. 有穷集合的基数

### 定义6.1

设 $X$ 和 $Y$ 为两个非空集合。一个从 $X$ 到 $Y$ 的映射 $f$ 为一个法则，根据 $f$ ，对 $X$ 中的每个元素 $x$ 都有 $Y$ 中唯一确定的元素 $y$ 与之对应。从 $X$ 到 $Y$ 的映射 $f$ 常记为 $f : X \rightarrow Y$ 。

### 定义6.2

设 $f : X \rightarrow Y$ ，如果 $\forall x_1, x_2 \in X$ ，只要 $x_1 \neq x_2$ ，就有 $f(x_1) \neq f(x_2)$ ，则称 $f$ 为从 $X$ 到 $Y$ 的单射。

### 定义6.3

设 $f : X \rightarrow Y$ ，如果 $\forall y \in Y$ ， $\exists x \in X$ 使得 $f(x) = y$ ，则称 $f$ 为从 $X$ 到 $Y$ 的满射。

### 定义6.4

设 $f : X \rightarrow Y$ ，如果 $f$ 既是单射又是满射，则称 $f$ 为从 $X$ 到 $Y$ 的双射，或者称 $f$ 为从 $X$ 到 $Y$ 的一一对应。

## 6. 有穷集合的基数

### 定义6.5

设 $A$ 为一个集合, 如果 $A = \Phi$ , 其**基数**定义为0; 如果 $A \neq \Phi$ 且存在一个自然数 $n$ 使得 $A$ 与集合 $\{1, 2, \dots, n\}$ 之间存在一个一一对应, 则定义 $A$ 的**基数**为 $n$ 。  $A$ 的基数记为 $|A|$ 。如果 $|A|$ 为0或某个自然数 $n$ , 则称 $A$ 为**有穷集**; 如果 $A$ 不是有穷集, 则称 $A$ 为**无穷集**。

## 6. 有穷集合的基数

### 定理6.1

设 $A, B$ 为两个不相交的有穷集, 则 $|A \cup B| = |A| + |B|$ 。

## 6. 有穷集合的基数

### 定理6.1

设 $A, B$ 为两个不相交的有穷集, 则 $|A \cup B| = |A| + |B|$ 。

### 定理6.2

设 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 为 $n$ 个两两不相交的有穷集, 则

$$|\bigcup_{i=1}^n A_i| = \sum_{i=1}^n |A_i|.$$

## 6. 有穷集合的基数

### 定理6.3

设 $A, B$ 为有穷集, 则 $|A \times B| = |A| \cdot |B|$ 。

## 6. 有穷集合的基数

### 定理6.3

设 $A, B$ 为有穷集, 则 $|A \times B| = |A| \cdot |B|$ 。

### 定理6.4

设 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 为 $n$ 个有穷集, 则

$$|A_1 \times A_2 \times \cdots \times A_n| = |A_1| \cdot |A_2| \cdot \cdots \cdot |A_n|.$$

## 6. 有穷集合的基数

### 定理6.5

设 $S$ 为有穷集,  $A \subseteq S$ , 则 $|A^c| = |S| - |A|$ 。



## 6. 有穷集合的基数

### 定理6.6

设 $A, B$ 为有穷集, 则 $|A \cup B| = |A| + |B| - |A \cap B|$ 。

## 6. 有穷集合的基数

### 定理6.6

设 $A, B$ 为有穷集, 则 $|A \cup B| = |A| + |B| - |A \cap B|$ 。

## 6. 有穷集合的基数

### 定理6.7

设 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 为 $n$ 个有穷集, 则

$$\begin{aligned} & \left| \bigcup_{i=1}^n A_i \right| \\ &= \sum_{i=1}^n |A_i| - \sum_{1 \leq i < j \leq n} |A_i \cap A_j| + \sum_{1 \leq i < j < k \leq n} |A_i \cap A_j \cap A_k| \\ & \quad - \dots \\ & \quad + (-1)^{n+1} |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n| \end{aligned}$$

证明.

用数学归纳法证明, 施归纳于  $n$ :

当  $n = 1$  时, 结论显然成立。

假设当  $n = k (k \geq 1)$  时结论成立, 往证当  $n = k + 1$  时结论也成立。实际上,

$$\begin{aligned} & \left| \bigcup_{i=1}^{k+1} A_i \right| \\ &= \left| \left( \bigcup_{i=1}^k A_i \right) \cup A_{k+1} \right| \\ &= \left| \bigcup_{i=1}^k A_i \right| + |A_{k+1}| - \left| \left( \bigcup_{i=1}^k A_i \right) \cap A_{k+1} \right| \\ &= \left| \bigcup_{i=1}^k A_i \right| + |A_{k+1}| - |(A_1 \cap A_{k+1}) \cup (A_2 \cap A_{k+1}) \cup \cdots \cup (A_k \cap A_{k+1})| \end{aligned} \tag{1}$$

证明 (续上页) .

由归纳假设

$$\begin{aligned} & \left| \bigcup_{i=1}^k A_i \right| \\ &= \sum_{i=1}^k |A_i| - \sum_{1 \leq i < j \leq k} |A_i \cap A_j| + \sum_{1 \leq i < j < t \leq k} |A_i \cap A_j \cap A_t| \quad (2) \\ & - \dots \\ & + (-1)^{k+1} |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k| \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & |(A_1 \cap A_{k+1}) \cup (A_2 \cap A_{k+1}) \cup \dots \cup (A_k \cap A_{k+1})| \\ &= \sum_{i=1}^k |A_i \cap A_{k+1}| - \sum_{1 \leq i < j \leq k} |(A_i \cap A_{k+1}) \cap (A_j \cap A_{k+1})| \\ & + \sum_{1 \leq i < j < t \leq k} |(A_i \cap A_{k+1}) \cap (A_j \cap A_{k+1}) \cap (A_t \cap A_{k+1})| \end{aligned}$$

证明 (续上一页) .

将(2)和(3)代入(1)得

$$\begin{aligned} & \left| \bigcup_{i=1}^{k+1} A_i \right| \\ &= \sum_{i=1}^{k+1} |A_i| - \sum_{1 \leq i < j \leq k+1} |A_i \cap A_j| + \sum_{1 \leq i < j < t \leq k+1} |A_i \cap A_j \cap A_t| \\ & \quad - \dots \\ & \quad + (-1)^{k+1+1} |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_{k+1}| \end{aligned}$$



## 6. 有穷集合的基数

### 定理6.8

设 $S$ 为全集,  $A_1, A_2, \dots, A_n$ 都是有穷集 $S$ 的子集, 则

$$\begin{aligned} & \left| \bigcap_{i=1}^n A_i^c \right| \\ &= |S| - \sum_{i=1}^n |A_i| + \sum_{1 \leq i < j \leq n} |A_i \cap A_j| - \sum_{1 \leq i < j < t \leq n} |A_i \cap A_j \cap A_t| + \cdots \\ &+ (-1)^n |A_1 \cap A_2 \cap \cdots \cap A_n| \end{aligned}$$

## 6. 有穷集合的基数

例:

在1000名大学毕业生的调查中，每个人至少掌握了一门外语，其中804人掌握了英语，205人掌握了日语，190人掌握了俄语，125人既掌握了英语又掌握了日语，57人既掌握了日语又掌握了俄语，85人既掌握了英语又掌握了俄语。试求这1000名大学生，英语、日语、俄语全掌握的有多少人？



## 习题

设 $M_1, M_2, \dots$ 和 $N_1, N_2, \dots$ 是集合 $S$ 的子集的两个序列, 对 $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots$ 有 $N_i \cap N_j = \emptyset$ 。另 $Q_1 = M_1, Q_n = M_n \cap (\bigcup_{k=1}^{n-1} M_k)^c, n = 2, 3, \dots$ , 试证

$$N_n \triangle Q_n \subseteq \bigcup_{i=1}^n (N_i \triangle M_i)$$

## 习题

设 $M_1, M_2, \dots$ 和 $N_1, N_2, \dots$ 是集合 $S$ 的子集的两个序列, 对 $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots$ 有 $N_i \cap N_j = \emptyset$ 。另 $Q_1 = M_1, Q_n = M_n \cap (\bigcup_{k=1}^{n-1} M_k)^c, n = 2, 3, \dots$ , 试证

$$N_n \triangle Q_n \subseteq \bigcup_{i=1}^n (N_i \triangle M_i)$$

证明.

对任意的 $x \in N_n \triangle Q_n$ ,  $x \in N_n \setminus Q_n$ 或者 $x \in Q_n \setminus N_n$ 。如果 $x \in Q_n \setminus N_n$ , 则 $x \in Q_n$  并且 $x \notin N_n$ 。

由 $Q_n = M_n \cap (\bigcup_{k=1}^{n-1} M_k)^c$ 知 $x \in M_n$ , 从而 $x \in M_n$ 并且 $x \notin N_n$ , 因此 $x \in N_n \triangle M_n$ , 于是 $x \in \bigcup_{i=1}^n (N_i \triangle M_i)$ 。



## 习题

设 $M_1, M_2, \dots$ 和 $N_1, N_2, \dots$ 是集合 $S$ 的子集的两个序列, 对 $i \neq j$ ,  $i, j = 1, 2, \dots$ 有 $N_i \cap N_j = \phi$ 。另 $Q_1 = M_1$ ,  $Q_n = M_n \cap (\bigcup_{k=1}^{n-1} M_k)^c$ ,  $n = 2, 3, \dots$ , 试证

$$N_n \triangle Q_n \subseteq \bigcup_{i=1}^n (N_i \triangle M_i)$$

证明 (续上页) .

如果 $x \in N_n \setminus Q_n$ , 则 $x \in N_n$ 并且 $x \notin Q_n$ 。

由 $Q_n = M_n \cap (\bigcup_{k=1}^{n-1} M_k)^c$ 知 $x \notin M_n$ 或者 $x \in \bigcup_{k=1}^{n-1} M_k$ 。

当 $x \notin M_n$ 时, 由 $x \in N_n$ 知 $x \in N_n \triangle M_n$ , 从

而 $x \in \bigcup_{i=1}^n (N_i \triangle M_i)$ ; 当 $x \in \bigcup_{k=1}^{n-1} M_k$ 时, 存

在 $i$ ,  $1 \leq i \leq n-1$ ,  $x \in M_i$ , 由 $x_i \in N_n$ 及

对 $i \neq j$ ,  $i, j = 1, 2, \dots$ 有 $N_i \cap N_j = \phi$ 知 $x \notin N_i$ , 从

而 $x \in N_i \triangle M_i$ , 因此 $x \in \bigcup_{i=1}^n (N_i \triangle M_i)$ , 结论得证。 □

# 习题

## 习题1

设集合  $S = \{\phi, \{\phi\}\}$ , 则  $2^S =$  \_\_\_\_\_。

## 习题2

下列命题中哪个是假的?

- A. 对每个集合  $A$ ,  $\phi \in 2^A$ 。
- B. 对每个集合  $A$ ,  $\phi \subseteq 2^A$ 。
- C. 对每个集合  $A$ ,  $A \in 2^A$ 。
- D. 对每个集合  $A$ ,  $A \subseteq 2^A$ 。

## 习题3

设集合  $A = \{1, 2, 3\}$ ,  $B = \{2, 3, 4\}$ , 则  $A \cup B =$  \_\_\_\_\_,  $A \cap B =$  \_\_\_\_\_,  $A \setminus B =$  \_\_\_\_\_,  $A \triangle B =$  \_\_\_\_\_,  $A \times B =$  \_\_\_\_\_。

## 习题4

设  $A$ ,  $B$ ,  $C$  为集合, 证明:  $(A \cup B) \setminus C = (A \setminus C) \cup (B \setminus C)$ 。

## 习题

### 习题5

下列等式是否成立:  $(A \cup B) \setminus C = A \cup (B \setminus C)$ ?

### 习题6

下列命题中哪个是真的?

- A. 对任意集合  $A, B$ ,  $2^{A \cup B} = 2^A \cup 2^B$ 。
- B. 对任意集合  $A, B$ ,  $2^{A \cap B} = 2^A \cap 2^B$ 。
- C. 对任意集合  $A, B$ ,  $2^{A \setminus B} = 2^A \setminus 2^B$ 。
- D. 对任意集合  $A, B$ ,  $2^{A \triangle B} = 2^A \triangle 2^B$ 。

### 习题7

设  $A, B, C$  为集合, 并且  $A \cup B = A \cup C$ , 则下列哪个断言成立?

- A.  $B = C$
- B.  $A \cap B = A \cap C$
- C.  $A \cap B^c = A \cap C^c$
- D.  $A^c \cap B = A^c \cap C$

# 习题

## 习题8

设 $A, B, C, D$ 为任意四个集合, 证明

$$(A \cap B) \times (C \cap D) = (A \times C) \cap (B \times D)$$

## 习题9

设 $A, B, C$ 为集合, 化简

$$(A \cap B \cap C) \cup (A^c \cap B \cap C) \cup (A \cap B^c \cap C) \cup (A \cap B \cap C^c) \cup (A^c \cap B^c \cap C) \cup (A \cap B^c \cap C^c) \cup (A^c \cap B \cap C^c)$$

## 习题10

证明

- 1)  $A \triangle B = (A \cup B) \cap (A^c \cup B^c)$
- 2)  $(A \triangle B)^c = (A \cap B) \cup (A^c \cap B^c)$
- 3)  $(A \triangle B)^c = (A^c \cup B) \cap (A \cup B^c)$

# 习题

## 习题11

设集合 $S$ 有 $n$ 个元素，证明 $2^S$ 有 $2^n$ 个元素。

# 习题选讲

## 习题11

设集合 $S$ 有 $n$ 个元素，证明 $2^S$ 有 $2^n$ 个元素。

$$|2^S| = 2^{|S|}$$

$$2^\phi = \{\phi\}$$

$$2^{\{1\}} = \{\phi, \{1\}\}$$

$$2^{\{1,2\}} = \{\phi, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}\}$$

$$2^{\{1,2,3\}} = \{\phi, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}, \{3\}, \{1, 3\}, \{2, 3\}, \{1, 2, 3\}\}$$



# 习题选讲

## 习题

$$\forall n P(n)$$

## 证明.

用数学归纳法证明，施归纳于 $n$ :

1. 当 $n = 0$ 时， $P(0)$ 成立。
2. 假设当 $n = k (k \geq 0)$ 时结论成立，往证当 $n = k + 1$ 时结论也成立。



$P(n)$ : 对任意的集合 $A$ ，如果 $|A| = n$ ，则 $|2^A| = 2^n$ 。

$$P(0)$$

$$\forall k \geq 0 P(k) \rightarrow P(k + 1)$$

$$P(0) \rightarrow P(1), P(1) \rightarrow P(2), P(2) \rightarrow P(3), \dots$$

# 习题选讲

## 习题11

设集合 $S$ 有 $n$ 个元素，证明 $2^S$ 有 $2^n$ 个元素。

321	
000	$\{\phi\}$
001	$\{1\}$
010	$\{2\}$
011	$\{1, 2\}$
100	$\{3\}$
101	$\{1, 3\}$
110	$\{2, 3\}$
111	$\{1, 2, 3\}$