

1 Определения

1. Логические операции: конъюнкция, дизъюнкция и отрицание.

1) Конъюнкция - это сложное логическое выражение, которое считается истинным в том и только том случае, когда оба простых выражения являются истинными, во всех остальных случаях данное сложное выражение ложно.

Обозначение: $F = A \wedge B$.

Таблица истинности для конъюнкции:

| A | B | $A \wedge B$ |
|---|---|--------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

2) Дизъюнкция - это сложное логическое выражение, которое истинно, если хотя бы одно из простых логических выражений истинно и ложно тогда и только тогда, когда оба простых логических выражения ложны.

Обозначение: $F = A \vee B$.

Таблица истинности для дизъюнкции:

| A | B | $A \vee B$ |
|---|---|------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

3) Отрицание - это сложное логическое выражение, в котором если исходное логическое выражение истинно, то результат отрицания будет ложным, и наоборот, если исходное логическое выражение ложно, то результат отрицания будет истинным.

Обозначение: $F = \neg A$

Таблица истинности для отрицания:

| A | $\neg A$ |
|---|----------|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

2. Логические операции: импликация, XOR (исключающее или) и эквивалентность.

1) Импликация - это сложное логическое выражение, которое истинно во всех случаях, кроме случая, когда из истины следует ложь. То есть данная логическая операция связывает два простых логических выражения, из которых первое является условием (A), а второе (B) является следствием.

Обозначение: $F = A \rightarrow B$

Таблица истинности для импликации:

| A | B | $A \rightarrow B$ |
|---|---|-------------------|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

2) XOR (исключающее или) - это сложное логическое выражение, которое является истинным тогда и только тогда, когда оба простых логических выражения имеют разную истинность.

Обозначение: $F = A \oplus B$

Таблица истинности для исключающего или:

| A | B | $A \oplus B$ |
|---|---|--------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

3) Эквивалентность - это сложное логическое выражение, которое является истинным тогда и только тогда, когда оба простых логических выражения имеют одинаковую истинность.

Обозначение: $F = A \leftrightarrow B$

Таблица истинности для эквивалентности:

| A | B | $A \leftrightarrow B$ |
|---|---|-----------------------|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

3. Булевы функции. Задание таблицей истинности и вектором значений.

1) Булева функция - функция от N аргументов из N -ой степени множества $E = \{0,1\}$ в множество $E = \{0,1\}$. То есть:

$$f : E_2^n \rightarrow E_2, E_2 = \{0, 1\}$$

Булеву функцию от N переменных можно задать *таблицей истинности*:

| x_1 | x_2 | ... | x_{n-1} | x_n | $f(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$ |
|-------|-------|-----|-----------|-------|------------------------------------|
| 0 | 0 | ... | 0 | 0 | $f(0, 0, \dots, 0, 0)$ |
| 0 | 0 | ... | 0 | 1 | $f(0, 0, \dots, 0, 1)$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1 | 1 | ... | 1 | 0 | $f(1, 1, \dots, 1, 0)$ |
| 1 | 1 | ... | 1 | 1 | $f(1, 1, \dots, 1, 1)$ |

Значения переменных можно не хранить если принять соглашение о перечислении наборов переменных в определенном порядке. Обычно таким порядком принимается порядок возрастания целых чисел, заданных наборами переменных как двоичными числами. (Еще этот порядок называют *установленным*). Таблицу истинности можно "транспонировать", выписав последнюю строку:

$$f(0, 0, \dots, 0, 0), f(0, 0, \dots, 0, 1), \dots, f(1, 1, \dots, 1, 1)$$

Такой способ задания булевой функции называется заданием вектором значений.

4. Существенные и фиктивные переменные булевой функции.

Переменная x_i называется *существенной* переменной функции булевой функции f , если существует такой набор значений $a_1, \dots, a_{i-1}, a_{i+1}, \dots, a_n$, что:

$$f(a_1, \dots, a_{i-1}, 0, a_{i+1}, \dots, a_n) \neq f(a_1, \dots, a_{i-1}, 1, a_{i+1}, \dots, a_n)$$

В противном случае переменная x_i называется *фиктивной*.

5. Дизъюнктивная нормальная форма.

Дизъюнктивная нормальная форма (ДНФ) - это представление булевой формулы в виде дизъюнкции конъюнктов литералов. Любая булева формула может быть приведена к ДНФ. *Литерал* - это x или \bar{x} , где x - некая логическая переменная. *Конъюнкт* - это конъюнкция литералов. Например, $x_1 \wedge x_2 \wedge x_3$ - конъюнкт. k -дизъюнктивной нормальной формой называют ДНФ, в которой каждая конъюнкция содержит ровно k литералов.

6. Множество, подмножество, равенство множеств.

Множество — это совокупность каких-то элементов, полностью определяемая своими элементами. Элементами множества могут быть другие множества.

Будем говорить, что элемент x *принадлежит* множеству A , если он является его элементом. Обозначение: $x \in A$ (эта запись означает утверждение и принимает логические значения "истина" , "ложь" – входит или не входит в множество).

Если любой элемент множества A принадлежит множеству B , то множество A называется *подмножеством* множества B , обозначение $A \subseteq B$.

Равенство множеств $A = B$ — это утверждение, которое означает, что множества состоят из одних и тех же элементов. То есть: любой элемент множества A принадлежит множеству B и любой элемент множества B принадлежит множеству A .

Есть уникальное множество - *пустое*, - которое не содержит никаких элементов. Обозначение: \emptyset .

Если элементов в множестве мало, его можно задать, указав все эти элементы (в фигурные скобки). Порядок не играет роли. Поэтому $\{a, b, c, d\} = \{d, a, c, b\}$.

Количество элементов в множестве A , если оно конечно, непустое, обозначается $|A|$ и называется *мощностью множества*.

7. Операции с множествами: объединение, пересечение, разность, симметрическая разность. Диаграммы Эйлера-Венна.

1) *Объединение множеств*. Обозначение $A \cup B$. Это множество, состоящее в точности из тех элементов, которые принадлежат хотя бы одному из множеств A и B .

2) *Пересечение множеств*. Обозначение $A \cap B$. Это множество, состоящее в точности из тех элементов, которые принадлежат обоим множествам A и B .

3) *Разность множеств*. Обозначение $A \setminus B$. Это множество, состоящее в точности из тех элементов, которые принадлежат множеству A , но не принадлежат множеству B .

4) *Симметрическая разность множеств*. Обозначение $A \Delta B$. Это множество, состоящее в точности из тех элементов, которые принадлежат ровно одному из множеств: либо А, либо В.

5) *Диаграммы Эйлера-Венна* - геометрическая схема, с помощью которой можно изобразить отношения между множествами, для наглядного представления. При этом способе множество изображается условным кругом (или другой геометрической фигурой) и предполагается, что внутренность круга изображает элементы множества. (Я думаю, нарисовать сможете).

8. Законы Моргана (с обобщением на произвольное семейство множеств).

Законы де Моргана задают правило взятия отрицания от конъюнкции и дизъюнкции:

$$\neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$$

$$\neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y$$

(Доказывается по таблицам истинности).

Равенства обобщаются на случай нескольких переменных:

$$\neg(x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_n) = \neg x_1 \wedge \neg x_2 \wedge \dots \wedge \neg x_n$$

$$\neg(x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_n) = \neg x_1 \vee \neg x_2 \vee \dots \vee \neg x_n$$

Доказательство (для первой формулы, аналогично для второй):

1. База: Выражение верно для $n = 2$: $\neg(x_1 \vee x_2) = \neg x_1 \wedge \neg x_2$

2. Предположение: Пусть верно для $n = k - 1$:

$$\neg(x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_{k-1}) = \neg x_1 \wedge \neg x_2 \wedge \dots \wedge \neg x_{k-1}$$

3. Шаг: проверим для $n = k$. Сделаем замену $y = x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_{k-1}$

$$\begin{aligned} \neg(x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_k) &= \neg(y \vee x_k) = \neg y \wedge \neg x_k = \neg(x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_{k-1}) \wedge \neg x_k = \\ &= \neg x_1 \wedge \neg x_2 \wedge \dots \wedge \neg x_{k-1} \wedge \neg x_k \end{aligned}$$

(Последний переход выполнен по предположению индукции)

(*) На языке множеств законы де Моргана формулируются так: (I) элемент x не принадлежит объединению семейства множеств тогда и только тогда, когда он не принадлежит ни одному из этих множеств; (II) элемент x не принадлежит пересечению семейства множеств тогда и только тогда, когда он не принадлежит хотя бы одному из этих множеств. В таком виде законы де Моргана применимы и к бесконечным семействам множеств.

9. Закон контрапозиции.

Принцип контрапозиции - теорема равносильна обратной к противоположной. Тожество

$$x \rightarrow y = \neg y \rightarrow \neg x$$

выражает принцип контрапозиции. Этот принцип часто используется в математических доказательствах: вместо доказательства утверждения «если А, то В» зачастую удобнее изменить посылку и доказывать равносильное утверждение «если не В, то не А». Проверка тождества легко производится по таблице истинности.

10. Правило суммы.

Правило суммы для множеств. Если какое-то множество A разделено на две части B и C , не имеющие общих элементов, то $|A| = |B| + |C|$. (определение из чернивика книги. не примут - тыкните их в собственную книгу)

Комбинаторное правило суммы. Пусть объект A можно выбрать M способами, а объект B можно выбрать N способами, причём выбор одного объекта исключает одновременный выбор другого объекта. Тогда выбрать A или B можно $M + N$ способами.

11. Метод математической индукции.

Доказательства по индукции применяются, когда есть последовательность утверждений

$$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, \dots$$

и мы хотим доказать, что все они верны. Принцип индукции говорит, что для этого достаточно сделать две вещи:

1. Базис индукции: надо доказать, что A_1 (первое утверждение в цепочке) верно.
2. Шаг индукции: надо доказать (для произвольного n), что A_{n+1} верно, предполагая известным, что A_n верно.

Мы должны доказать, что из A_n следует A_{n+1} . Доказав следование и базу, мы можем применить шаг индукции к A_1 и получить A_2 . Постепенно применяя шаг, мы дойдем до любого A_n .

12. Формула включений и исключений.

Формула включений-исключений обобщает правило суммы и даёт выражение для объединения нескольких, возможно пересекающихся, множеств.

Пример для двух множеств:

$$|A \cup B| = |A| + |B| - |A \cap B|$$

Пример для трех множеств:

$$|A \cup B \cup C| = |A| + |B| + |C| - |A \cap B| - |A \cap C| - |B \cap C| + |A \cap B \cap C|$$

Общий вид:

$$|A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n| = |A_1| + \dots + |A_n| - |A_1 \cap A_2| - |A_1 \cap A_3| - \dots + |A_1 \cap A_2 \cap A_3| + \dots + |A_1 \cap A_2 \cap A_4| + \dots - (-1)^n |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n|$$

Удобно представить итоговую формулу в более компактном виде. Для этого введём обозначения. Через S будем обозначать подмножество множества $\{1, \dots, n\}$, каждое такое подмножество выделяет некоторое семейство подмножеств

$$\{A_i : i \in S\}$$

Через A_S обозначим пересечение всех множеств, входящих в семейство S , т.е.

$$A_S = \bigcap_{i \in S} A_i$$

В таких обозначениях формула включений-исключений записывается достаточно компактно:

$$|A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n| = \sum_{S \neq \emptyset} (-1)^{|S|+1} |A_S|$$

13. Правило произведения.

Из лекций: Если есть N способов выбрать 1-ый объект и после каждого выбора есть M способов выбрать 2-ой объект, то всего есть $N \times M$ способов выбрать два объекта.

Из книги: Правило произведения. Если объект интересующего нас вида строится в несколько шагов $(1, 2, \dots, k)$, и на каждом шаге есть выбор из какого-то числа вариантов (m_1, m_2, \dots, m_k) , причём количество выборов на каждом шаге не зависит от сделанных ранее выборов, то общее количество объектов N равно произведению количеств вариантов выбора для каждого из шагов: $N = m_1 \times m_2 \times \dots \times m_k$.

14. Комбинаторные числа. Число перестановок, число подмножеств размера k у n -элементного множества

Пусть $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ - множество из n элементов.

Комбинаторный объект - это подмножество с определенными свойствами из элементов множества A .

Комбинаторное число (связанное с комбинаторным объектом) - это количество комбинаторных объектов этого вида.

Некоторые комбинаторные числа имеют собственные названия и устоявшиеся обозначения.

В комбинаторике *размещением из n по k* называется упорядоченный набор из k различных элементов из некоторого множества различных n элементов. $(1, 3, 2, 5)$ — это 4-элементное размещение из 6-элементного множества $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

$$A_n^k = n(n-1)(n-2)\dots(n-k+1) = \frac{n!}{(n-k)!}$$

Перестановка — это упорядоченный набор из чисел $1, 2, \dots, n$, в котором числу i сопоставляется i -ый элемент из набора. Другими словами, это биекция на множестве $\{1, 2, \dots, n\}$. Например, $(2, 1, 3)$ — это перестановка $(1, 2, 3)$. Число всех перестановок обозначают за P_n . Так как перестановка — это то же самое, что размещение по n элементам, то

$$P_n = A_n^n = \frac{n!}{(n-n)!} = \frac{n!}{0!} = n!$$

Сочетаниями из n по k называется набор k элементов, выбранных из данного множества, содержащего n различных элементов. Наборы, отличающиеся только порядком следования элементов (но не составом), считаются одинаковыми, этим сочетания отличаются от размещений.

$$C_n^k = \frac{A_n^k}{k!} = \frac{n!}{(n-k)!k!} = \binom{n}{k}$$

Сочетанием с повторениями называются сочетания, в которых каждый элемент набора может встречаться несколько раз. Количество сочетаний с повторениями из n по k равно $C_{n+k-1}^k = C_{n+k-1}^{n-1}$. (можно доказать с помощью метода точек и перегородок)

15. Характеристическая функция и её использование при подсчёте числа элементов множества.

Характеристическая функция - это функция, определённая на множестве X , которая указывает на принадлежность элемента x , принадлежащего X , подмножеству A .

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

Можно определить понятие мощности подмножества A на множестве X , используя характеристическую функцию:

$$|A| = \sum_{x \in X} \chi_A(x)$$

16. Функции. Область определения и множество значений.

Функцией из множества A в множество B мы назовём такое соответствие, которое сопоставляет некоторым элементам множества A какой-то элемент множества B . Данному $x \in A$ (его называют аргументом функции) функция f из A в B либо не сопоставляет никакого элемента в B , либо сопоставляет ровно один такой элемент y .

Область определения функции f из A в B состоит в точности из тех элементов x множества A , которым сопоставлен элемент $f(x)$ множества B .

Обозначение: $Dom(f) = \{a | a \in A; \exists b : f(a) = b\}$

Элементы $f(x)$ для всех x из области определения функции f образуют *множество значений* функции f .

Обозначение: $Range(f) = \{b | \exists a \in A : f(a) = b\}$

17. Биномиальные коэффициенты, основные свойства. Бином Ньютона.

Хорошо известны формулы раскрытия скобок (формулы сокращенного умножения). Например, $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$. Оказывается, что есть подобная формула для любой целой неотрицательной степени — *бином Ньютона*:

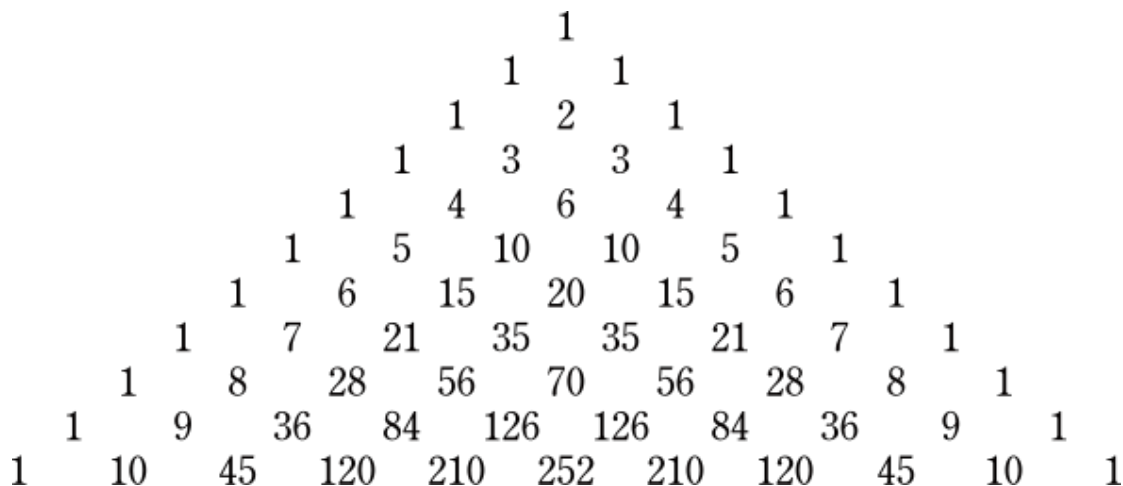
$$(a + b)^n = \binom{n}{0} a^n + \binom{n}{1} a^{n-1} b + \dots + \binom{n}{k} a^{n-k} b^k + \dots + \binom{n}{n} b^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^{n-k} b^k$$

$$\binom{n}{k} - \text{биномиальный коэффициент.}$$

Свойства биномиальных коэффициентов:

- $\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k} + \binom{n-1}{k-1}$
- k -й коэффициент есть количество сочетаний из n по $k - 1$.
- $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)!k!}$

Треугольник Паскаля - бесконечная треугольная таблица, в которой на вершине и по боковым сторонам стоят единицы, каждое из остальных чисел равно сумме двух чисел, стоящих над ним в предшествующей строке.



- $T(n, k) = \binom{n}{k}$
- Симметричность строк: $T(n, k) = T(n, n - k)$, n - строка, k - столбец.
- Возрастание чисел в первой половине строки: $T(n, i) < T(n, i + 1), 0 \leq i \leq n/2, i \in \mathbb{Z}$
- $\sum_{k=0}^n T(n, k) = 2^n$
- $\sum_{k=0}^n (-1)^k T(n, k) = 0$

Рекуррентная формула - формула вида $a_n = f(n, a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_{n-p})$, выражающая каждый член последовательности a_n через p предыдущих членов и возможно номер члена последовательности n .

Пусть функция f из множества A в множество B устанавливает соответствие между элементами множеств A и B . Пусть $X \subseteq A$ – подмножество множества A . Функция f сопоставляет ему *образ* $f(X) \subseteq B$ подмножества X . По определению $f(X)$ состоит в точности из тех элементов множества B , которые являются значениями элементов из X . Используя введённые нами для множеств обозначения, это можно записать как

8

Совокупность всех тех элементов $a \in A$, образом которых является данный элемент $b = f(a)$, $f(a) \in B$, называется *прообразом* элемента b и обозначается $f^{-1}(b)$

Подмножеству $Y \subseteq B$ можно сопоставить *полный прообраз* $f^{-1}(Y) \subseteq A$ подмножества Y . По определению $f^{-1}(Y)$ состоит в точности из тех элементов A , значения которых лежат в Y . Или формально:

$$f^{-1}(Y) = \{a | f(a) \in Y\}$$

20. Отображения (всюду определённые функции). Инъекции, сюръекции и биекции.

Отображение множества A в множество B - функция, которому каждому элементу $a \in A$ ставит в соответствие элемент $b \in B$.

Пусть $f : A \rightarrow B$. Тогда функция f называется:

1) *Инъективной (или инъекцией)*, если:

$$(b = f(a_1)) \ \& \ (b = f(a_2)) \Rightarrow (a_1 = a_2)$$

2) *Сюръективной (или сюръекцией)*, если:

$$\forall b \in B \ \exists a \in A : b = f(a)$$

3) *Биективной (или биекцией)*, если она сюръективна и инъективна. Биекции также называют *взаимно-однозначными функциями*.

21. Бинарные отношения. Транзитивность, симметричность, рефлексивность.

Бинарным отношением между множествами A и B называется подмножество R произведения $A \times B$. В том случае, когда $A = B$, мы говорим просто об отношении R на A .

Для бинарных отношений часто используется инфиксная форма записи:

$$aRb \stackrel{Def}{=} (a, b) \in R \subset A \times B$$

Пусть $R \subset A^2$. Тогда отношение R называется:

| | |
|--------------------------|---|
| <i>рефлексивным,</i> | если $\forall a \in A (aRa)$ |
| <i>антирефлексивным,</i> | если $\forall a \in A \neg(aRa)$ |
| <i>симметричным,</i> | если $\forall a, b \in A (aRb \Rightarrow bRa)$ |
| <i>антисимметричным,</i> | если $\forall a, b \in A (aRb \ \& \ bRa \Rightarrow a = b)$ |
| <i>транзитивным,</i> | если $\forall a, b, c \in A (aRb \ \& \ bRc \Rightarrow aRc)$ |
| <i>линейным,</i> | если $\forall a, b \in A (a = b \vee aRb \vee bRa)$ |

22. Теоретико-множественные операции с отношениями. Операция обращения.

Бинарные отношения — это множества пар элементов, связанных этими отношениями, поэтому к отношениям применимы все операции, выполняемые над множествами. Пусть $P \subseteq A \times A$ и $Q \subseteq A \times A$, тогда:

1) Пересечение отношений $P \cap Q$ - отношение, которое содержит только те упорядоченные пары, которые есть и в P и в Q :

$$P \cap Q = \{(x, y) \mid (x, y) \in P \wedge (x, y) \in Q\}$$

2) Объединение отношений $P \cup Q$ - отношение, которое содержит все упорядоченные пары отношения P и все упорядоченные пары отношения Q :

$$P \cup Q = \{(x, y) \mid (x, y) \in P \vee (x, y) \in Q\}$$

3) Разность отношений $P \setminus Q$ - отношение, которое содержит только те упорядоченные пары, которые содержатся в P , но не содержатся в Q :

$$P \setminus Q = \{(x, y) \mid (x, y) \in P \wedge (x, y) \notin Q\}$$

4) Симметрическая разность отношений $P \Delta Q$ - отношение, которое содержит только те упорядоченные пары, которые содержатся в объединении P и Q , но не содержатся в пересечении P и Q :

$$P \Delta Q = \{(x, y) \mid (x, y) \in (P \cup Q) \wedge (x, y) \notin (P \cap Q)\}$$

5) Дополнение отношения P - это отношение, состоящее из всех пар $(x, y) \in (A \times A)$, которые не входят в отношение P :

$$\bar{P} = \{(x, y) \mid (x, y) \in (A \times A) \wedge (x, y) \notin P\}$$

6) Обратным отношением P^{-1} к P называется такое отношение, которое содержит пару (x, y) тогда и только тогда, когда P содержит пару (y, x) :

$$P^{-1} = \{(x, y) \mid (y, x) \in P\}$$

23. Композиция бинарных отношений

Пусть $R_1 \subset A \times C$ - отношение между A и C , а $R_2 \subset C \times B$ - отношение между C и B . Композицией двух отношений R_1 и R_2 называется отношение $R \subset A \times B$ между A и B , определяемое следующим образом:

$$R \stackrel{Def}{=} R_1 \circ R_2 \stackrel{Def}{=} \{(a, b) \mid a \in A \ \& \ b \in B \ \& \ \exists c \in C \ (aR_1c \ \& \ cR_2b)\}$$

Другими словами, $aR_1 \circ R_2 b \iff \exists c \in C \ (aR_1c \ \& \ cR_2b)$.

24. Отношения эквивалентности.

Отношение на некотором множестве, которое одновременно рефлексивно, симметрично и транзитивно, называют *отношением эквивалентности*.

Классы эквивалентности - непересекающиеся подмножества множества X , при этом любые два элемента одного класса находятся в отношении R , а любые два элемента разных классов не находятся в отношении R .

25. Графы. Основные определения: ребра, вершины, степени вершин.

Граф G - совокупность двух множеств - непустого множества V (множества вершин) и множества E двухэлементных подмножеств множества V (E - множество ребер).

$$E = \{\{u, v\} \mid u, v \in V, u \neq v\}$$

Степень вершины u - количество вершин, смежных с u . Обозначение: $d(u)$.

26. Пути и циклы в графах.

Путь - последовательность вершин v_1, v_2, \dots, v_n , такая что $\forall i \in \{1, 2, \dots, n-1\}$: v_i и v_{i+1} - соединены ребром.

Простой путь - путь, такой что в нем все вершины различны.

Цикл - путь, такой что $v_1 = v_n$

Простой цикл - цикл, все вершины которого, кроме первой и последней различны.

27. Отношение достижимости (связанности) и компоненты связности графа.

Говорят, что вершина v достижима из вершины u , если существует путь v_1, v_2, \dots, v_n , где $v_1 = u$, а $v_n = v$. Связность вершины u и v означает их достижимость друг из друга.

Обозначение связности: $u \rightarrow v$

Основные свойства:

1) $u \rightarrow u \quad \forall u \in V$

2) если $u \rightarrow v$, то $v \rightarrow u$ (для неор.графов)

3) Транзитивность (для неор.графов): если $u \rightarrow v$ и $v \rightarrow w$, то $u \rightarrow w$

Компонента связности - подмножество множества вершин V графа G такое, что любая пара вершин в этом подмножестве связаны, а также любая вершина этого подмножества не связана с любой другой не из этого подмножества.

Компонента связности - класс эквивалентности по отношению достижимости (валидно, т.к. отношение достижимости является отношением эквивалентности, это следует из свойств).

28. Правильные раскраски графов. Формулировка критерия 2 - раскрашиваемости

Раскраска вершин графа называется правильной, если концы каждого ребра покрашены в разные цвета. *2-раскрашиваемые графы* - это графы, которые можно правильно раскрасить в 2 цвета. Граф 2-раскрашиваемый, когда в нем нет циклов нечетной длины.

Теорема. 2 - раскраска описанного типа возможна тогда и только тогда, когда в графе нет циклов нечетной длины.

29. Двудольные графы. Двудольные и двураскрашиваемые графы.

2-раскрашиваемые графы - это графы, которые можно правильно раскрасить в 2 цвета.

Граф $G(V, E)$ называется *двудольным*, если множество V может быть разбито на два непересекающихся множества V_1 и V_2 ($V_1 \cup V_2 = V, V_1 \cap V_2 = \emptyset$), причем всякое ребро из E инцидентно вершине из V_1 и вершине из V_2 (соединяет вершину из V_1 с вершиной из V_2). Множества V_1 и V_2 называются *долями* двудольного графа.

30. Подграфы. Изоморфизм графов. Клики и независимые множества.

Граф $G'(V', E')$ называется *подграфом* графа $G(V, E)$, если $V' \subset V$ & $E' \subset E$.

Изоморфизм графов. Говорят, что два графа, $G_1(V_1, E_1)$ и $G_2(V_2, E_2)$, *изоморфны*, если существует изоморфизм $h : V_1 \rightarrow V_2$, такой что две вершины u и v графа G_1 смежны тогда и только тогда, когда вершины $h(u)$ и $h(v)$ смежны в графе G_2 .

Клик называется такое подмножество вершин графа, каждая пара которых связана ребром.

Независимым множеством называется такое подмножество вершин графа, никакая пара которых не связана ребром.

31. Эйлеровы циклы.

Цикл называется *эйлеровым*, если он проходит по всем рёбрам графа, причём только один раз.

Критерии существования. Эйлеров цикл существует в неориентированном графе тогда и только тогда когда выполнены условия:

- 1) Граф связен.
- 2) Все вершины имеют четную степень.
- 3) Цикл проходит через все ребра.

Эйлеров цикл существует в ориентированном графе тогда и только тогда когда выполнены условия:

- 1) Граф сильно связен.
- 2) Для любой вершины v верно $d^-(v) = d^+(v)$

32. Деревья. Полные бинарные деревья.

Дерево - связный граф без простых циклов длины ≥ 3 . Для деревьев выполняются эти свойства:

- 1) G - связный граф, где нельзя удалить ни одного ребра без нарушения связности.
 - 2) G - связный граф, где число рёбер на единицу меньше числа вершин.
 - 3) G - связный граф, где для любых двух вершин u, v существует единственный простой путь из u в v .
 - 4) G - связный граф, где нет простых циклов длины больше 2.
- (Все 4 определения эквиваленты)

Еще свойства деревьев:

- 1) Для любых трёх вершин дерева, пути между парами этих вершин имеют ровно одну общую вершину.
- 2) Из любого связного неориентированного графа можно получить дерево удалением части ребер. (Полученное дерево будет называться остовным деревом исходного графа).
- 3) В любом дереве есть висячая вершина.

Полное бинарное дерево глубины n — неориентированный граф-дерево, вершины которого — двоичные слова длины не больше n , а рёбра соединяют слова, которые можно получить друг из друга добавлением (или исключением соответственно) символа в конец слова. Корень дерева — пустое слово.

33. Ориентированные графы, основные определения.

Ориентированный граф (орграф) - такой граф, в котором направление ребра

имеет значение; ребра (v, u) и (u, v) - разные. Записать можно следующим образом: $E = \{(A, B), (C, D), \dots\}$. Часто ребра в орграфе называют *дугами*.

Для орграфов и неорграфов верно, что $u \rightarrow v, v \rightarrow w \Rightarrow u \rightarrow w$.

Для ориентированных графов отличают входящую степень $d^-(v)$ — количество входящих в вершину ребер, то есть ребер вида (u, v) , и исходящую степень $d^+(v)$ — количество исходящих ребер, то есть ребер вида (v, u) .

Путь, простой путь, цикл, простой цикл - эквивалентно определениям для неорграфа.

34. Компоненты сильной связности ориентированного графа.

Будем говорить, что вершины u и v сильно связны, когда $u \rightarrow v$ и $v \rightarrow u$. Обозначается как $u \leftrightarrow v$.

Компонента сильной связности — определено только для орграфов; аналогично обычной компоненте связности, но между любой парой вершин в компоненте должна быть сильная связность.

Теорема: Вершины ориентированного графа можно однозначно разбить на непересекающиеся группы, называемые сильно связными компонентами, при этом:

- 1) Каждая вершина графа попадает ровно в одну группу;
- 2) Любые две вершины из одной группы сильно связаны;
- 3) Любые две вершины из двух разных групп не являются сильно связанными (в одну из сторон — или даже в обе — пути нет).

35. Отношения частичного порядка (строгие и нестрогие), линейные порядки

Отношение порядка - антисимметричное транзитивное отношение.

Нестрогое отношение порядка - рефлексивное отношение порядка.

Строгое отношение порядка - антирефлексивное отношение порядка.

Линейное отношение порядка - отношение порядка, обладающее свойством линейности ($\forall a, b \in A (a = b \vee aRb \vee bRa)$).

Частичное отношение порядка - отношение порядка, не обладающее свойством линейности.

Обычно отношение строгого порядка (линейного или частичного) обозначается знаком \prec , а отношение нестрогого порядка - знаком \preceq .

36. Отношение непосредственного следования

Отношение непосредственного следования - это отношение порядка \prec , такое что если $x \prec y$, то $\nexists z : x \prec z \wedge z \prec y$. Кратко записывается так:

$$\prec = \{(x, y) \mid (x \prec y) \wedge \neg(\exists z : x \prec z \wedge z \prec y)\}$$

37. Изоморфные отношения частичного порядка

Отношения частичного порядка $R_1 \subseteq A \times A$ и $R_2 \subseteq B \times B$ называются изоморфными, если существует такая биекция $f : A \rightarrow B$, что для $\forall x, y$ $xR_1y \iff f(x)R_2f(y)$