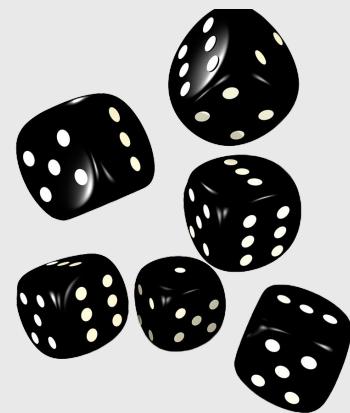
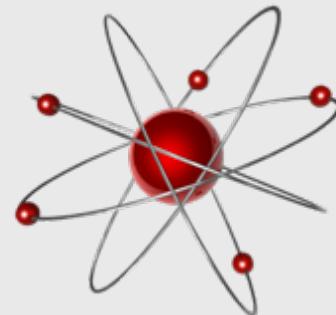


**Бывают ли в мире случайности**

# Случайны ли величины?



# Как устроен мир



X

# Как устроен мир



X

- **Сундук** – различные процессы порождения данных.  
Теория вероятностей изучает этот сундук. В реальности  
мы не видим его.

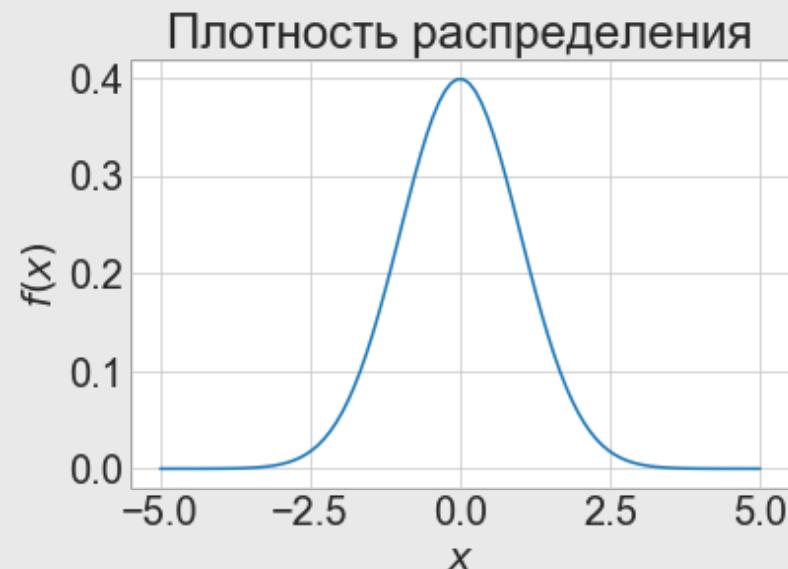
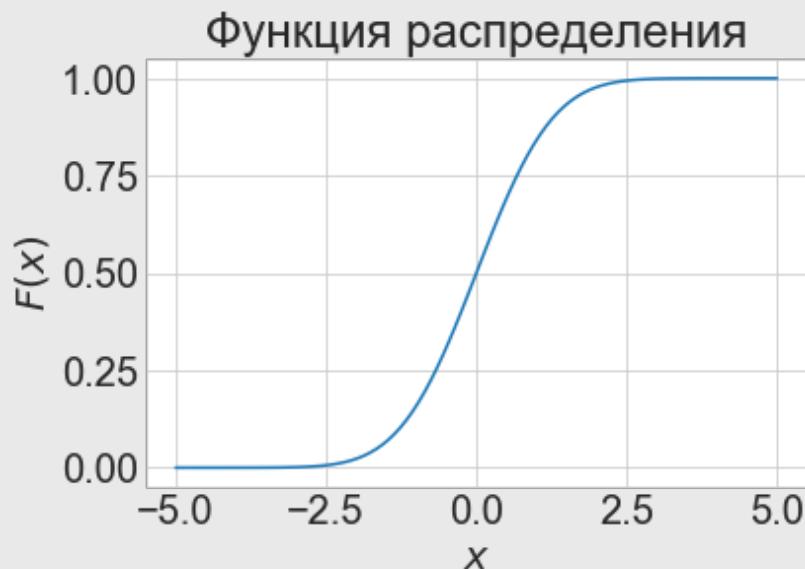
# Как устроен мир



X

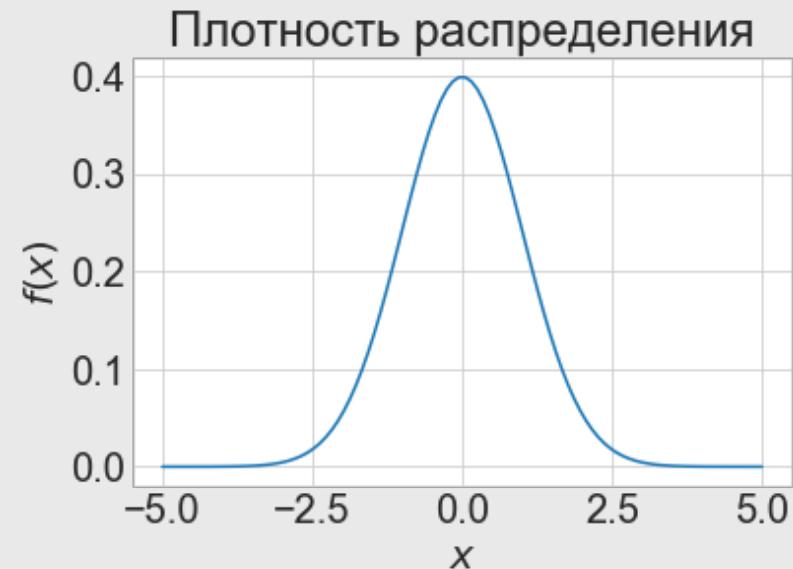
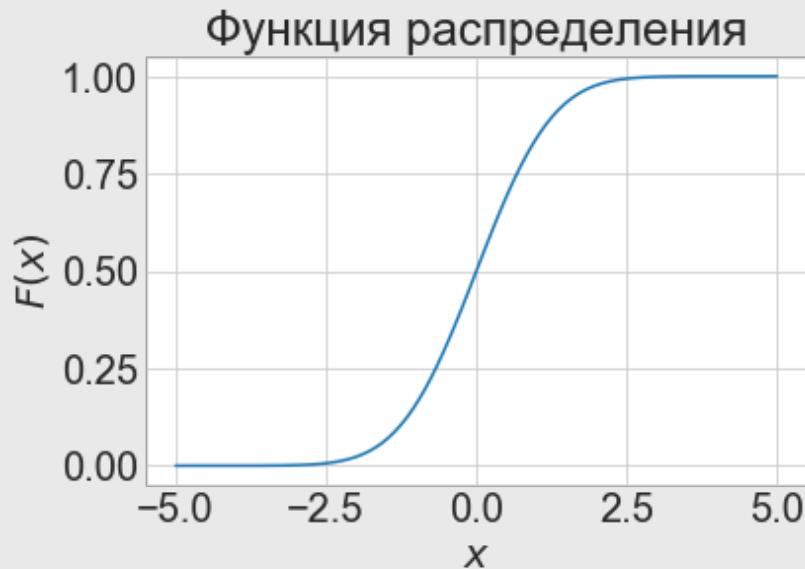
- **Сундук** – различные процессы порождения данных. Теория вероятностей изучает этот сундук. В реальности мы не видим его.
- Сундук порождает **выборки**. Математическая статистика изучает их и пытается восстановить внутренности сундука.

# Устройство сундука

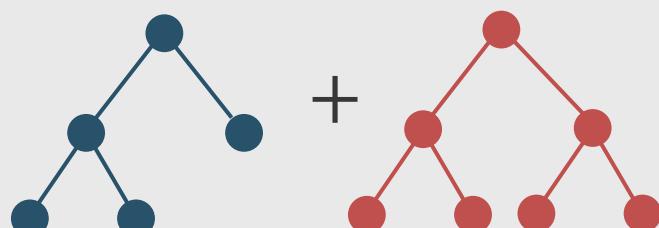


**Модель** – наше предположение о том, как сундук устроен.  
За каждой моделью стоят какие-то предпосылки,  
описывающие наше незнание.

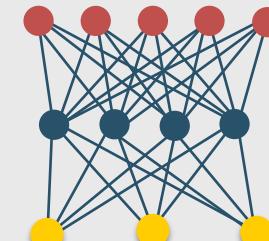
# Устройство сундука



**Модель** – наше предположение о том, как сундук устроен.  
За каждой моделью стоят какие-то предпосылки,  
описывающие наше незнание.

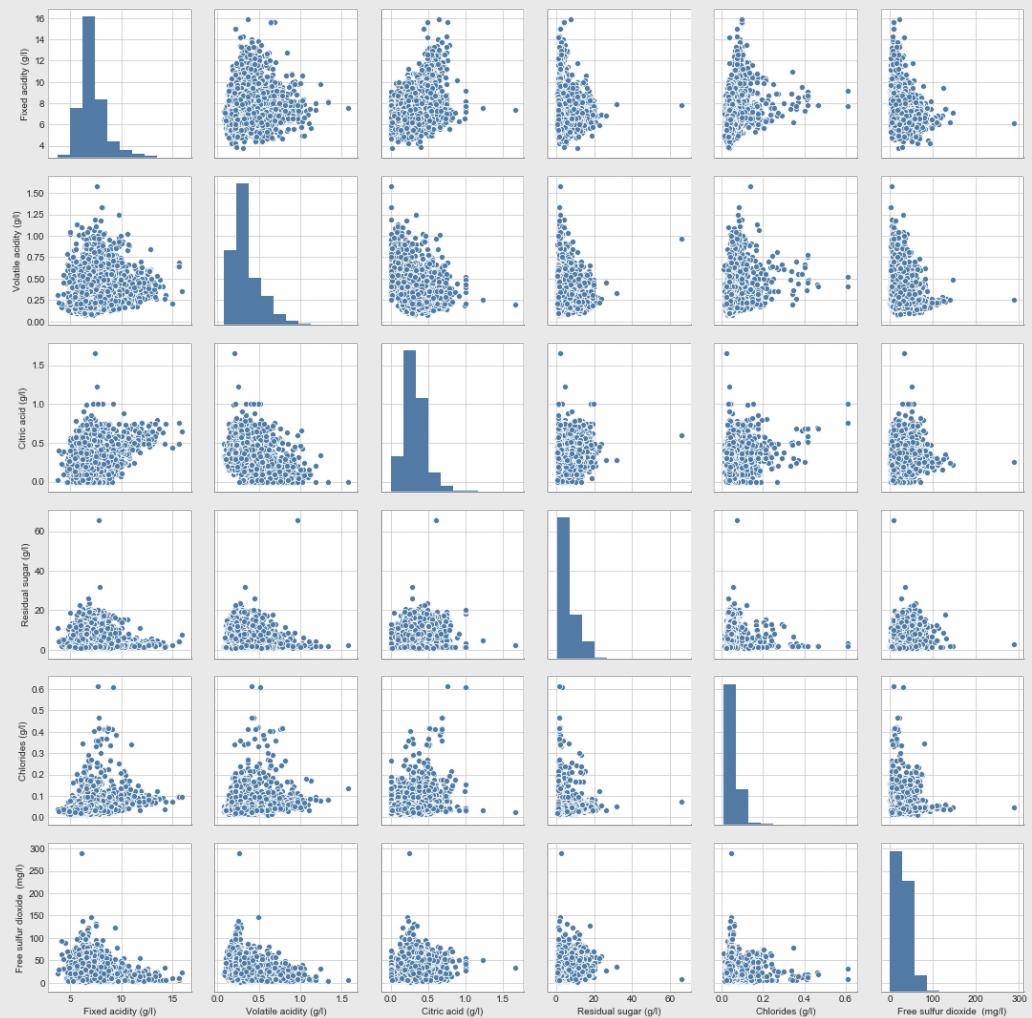


$$M = U V^T$$



# Что извергает сундук

- Сундук порождает выборки
- Мы пытаемся по ним восстановить его структуру
- Делаем это в рамках выбранной модели



# Что мы будем делать?

- Изучать выборки из сундука и их свойства



# Что мы будем делать?

- Изучать выборки из сундука и их свойства
- Предполагать, что внутри сундука, описывать своё незнание с помощью какой-то модели



# Что мы будем делать?

- Изучать выборки из сундука и их свойства
- Предполагать, что внутри сундука, описывать своё незнание с помощью какой-то модели
- Разбираться, насколько наши предположения согласуются с выборками – данными, предоставленными нам сундуком



# **Как устроены внутренности сундука: распределение**

# Случайная величина



X

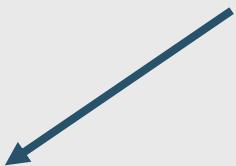
- **Сундук** – различные процессы порождения данных. Теория вероятностей изучает этот сундук. В реальности мы не видим его.
- Сундук порождает **выборки**. Математическая статистика изучает их, и пытается восстановить внутренности сундука.

# **Какими бывают случайные величины**

## **Случайны величины**

# Какими бывают случайные величины

## Случайные величины



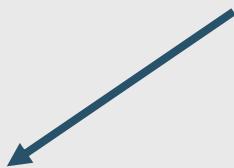
### Дискретные

Множество значений  
конечно или счётно

(число звонков, число  
очков на игральной кости,  
число ошибок на  
страницу текста)

# Какими бывают случайные величины

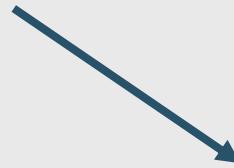
## Случайные величины



### Дискретные

Множество значений  
конечно или счётно

(число звонков, число  
очков на игральной кости,  
число ошибок на  
страницу текста)



### Непрерывные

Принимают бесконечное,  
континуальное число  
значений

(рост, время ожидания  
автобуса, вес)

# Дискретные случайные величины

**Распределение дискретной случайной величины** – таблица, которая описывает, какие значения принимает случайная величина с какой вероятностью

# Дискретные случайные величины

**Распределение дискретной случайной величины** – таблица, которая описывает, какие значения принимает случайная величина с какой вероятностью

Сумма вероятностей должна быть равна 1, каждая вероятность лежит между 0 и 1

# Дискретные случайные величины

**Распределение дискретной случайной величины** – таблица, которая описывает, какие значения принимает случайная величина с какой вероятностью

Сумма вероятностей должна быть равна 1, каждая вероятность лежит между 0 и 1

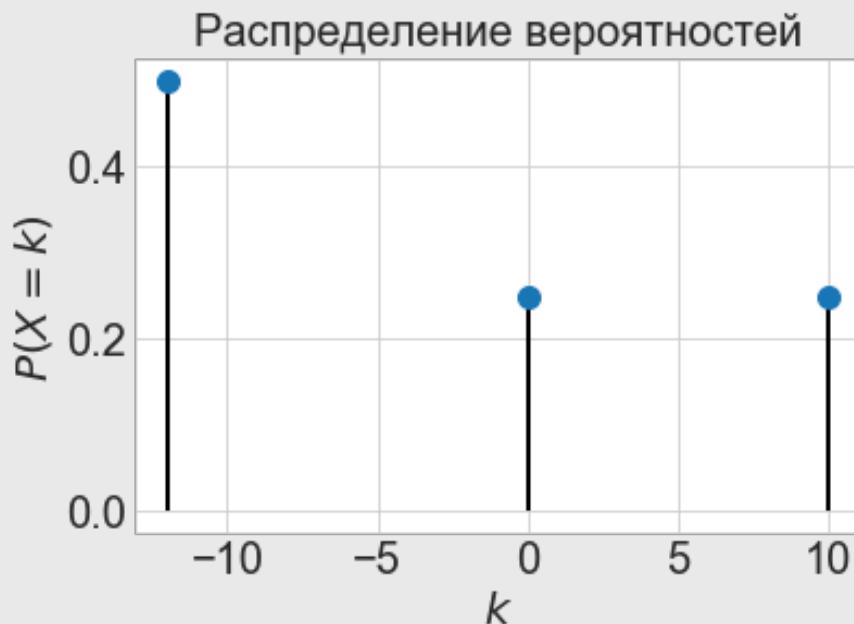
**Пример: лотерея**

$X$	-12	0	10
$\mathbb{P}(X = k)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

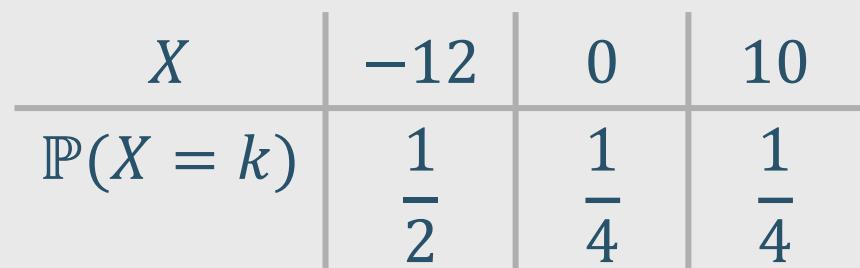
# Дискретные случайные величины

**Распределение дискретной случайной величины** – таблица, которая описывает, какие значения принимает случайная величина с какой вероятностью

Сумма вероятностей должна быть равна 1, каждая вероятность лежит между 0 и 1



**Пример: лотерея**



# Дискретные случайные величины

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть



# Дискретные случайные величины

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x) = \sum \mathbb{P}(X = k) \cdot [X \leq x],$$

# Дискретные случайные величины

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x) = \sum \mathbb{P}(X = k) \cdot [X \leq x],$$

$$[X \leq x] = \begin{cases} 1, & X \leq x \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

# Дискретные случайные величины

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x) = \sum \mathbb{P}(X = k) \cdot [X \leq x],$$

$$[X \leq x] = \begin{cases} 1, & X \leq x \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$



**Пример: лотерея**

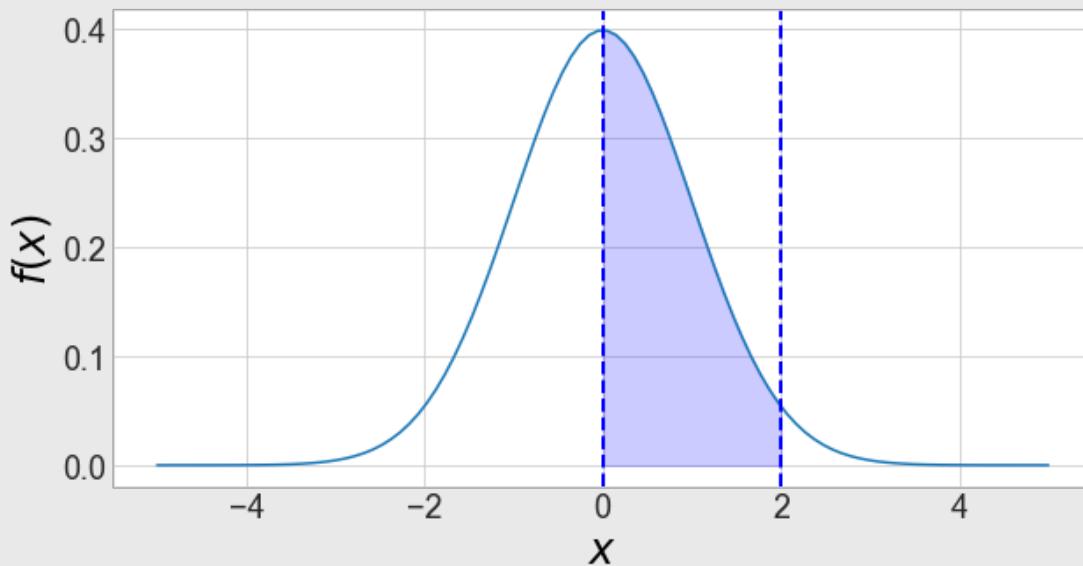
$X$	-12	0	10
$\mathbb{P}(X = k)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

# Непрерывные случайные величины

Распределение непрерывной случайной величины описывается **плотностью распределения вероятностей**.

# Непрерывные случайные величины

Распределение непрерывной случайной величины описывается **плотностью распределения вероятностей**.

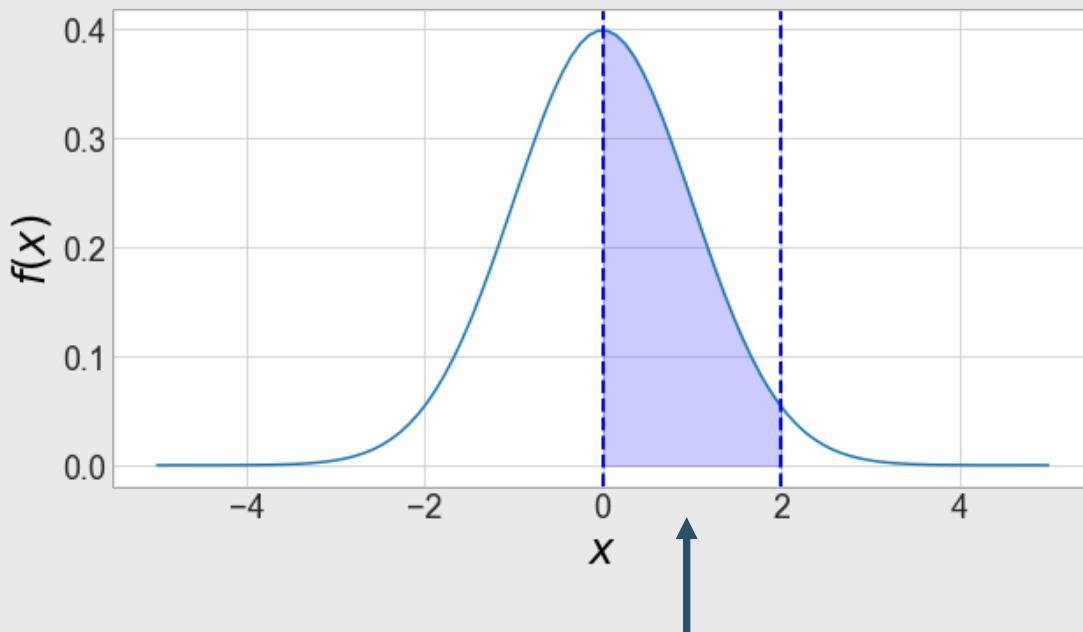


**Пример:**  
**нормальное**  
**распределение**

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}$$

# Непрерывные случайные величины

Распределение непрерывной случайной величины описывается **плотностью распределения вероятностей**.



Площадь равна вероятности попасть на отрезок от нуля до двух

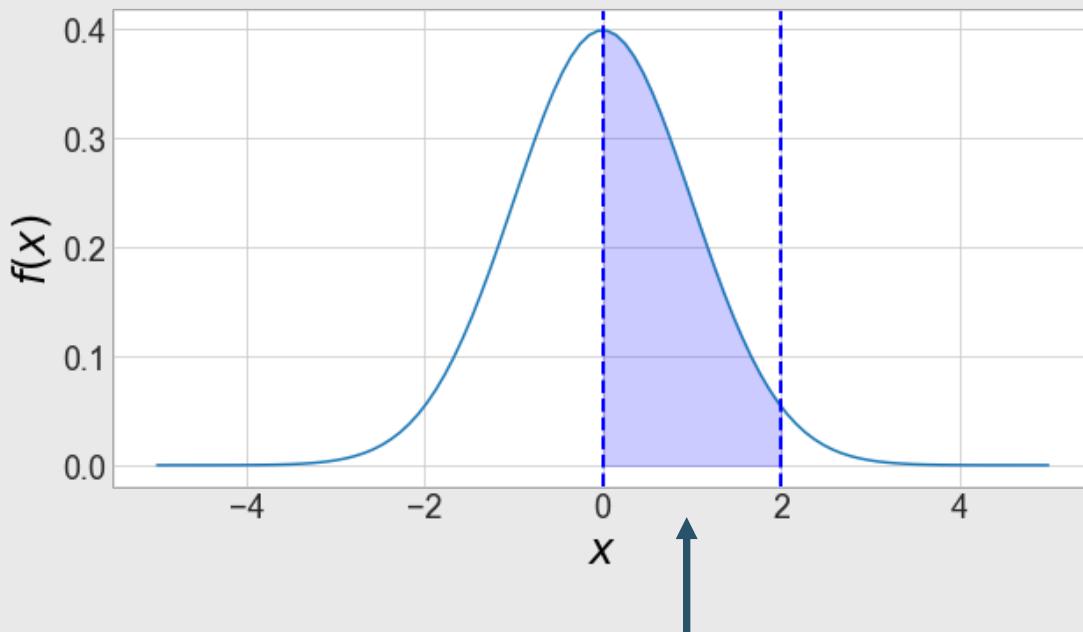
**Пример:**  
**нормальное**  
**распределение**

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}$$

$$= \int_0^2 f(x) \, dx$$

# Непрерывные случайные величины

Распределение непрерывной случайной величины описывается **плотностью распределения вероятностей**.



Площадь равна вероятности попасть на отрезок от нуля до двух

**Пример:**  
**нормальное**  
**распределение**

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}$$

$$= \int_0^2 f(x) \, dx$$

Площадь под всей плотностью должна быть равна 1

# Непрерывные случайные величины

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

# Непрерывные случайные величины

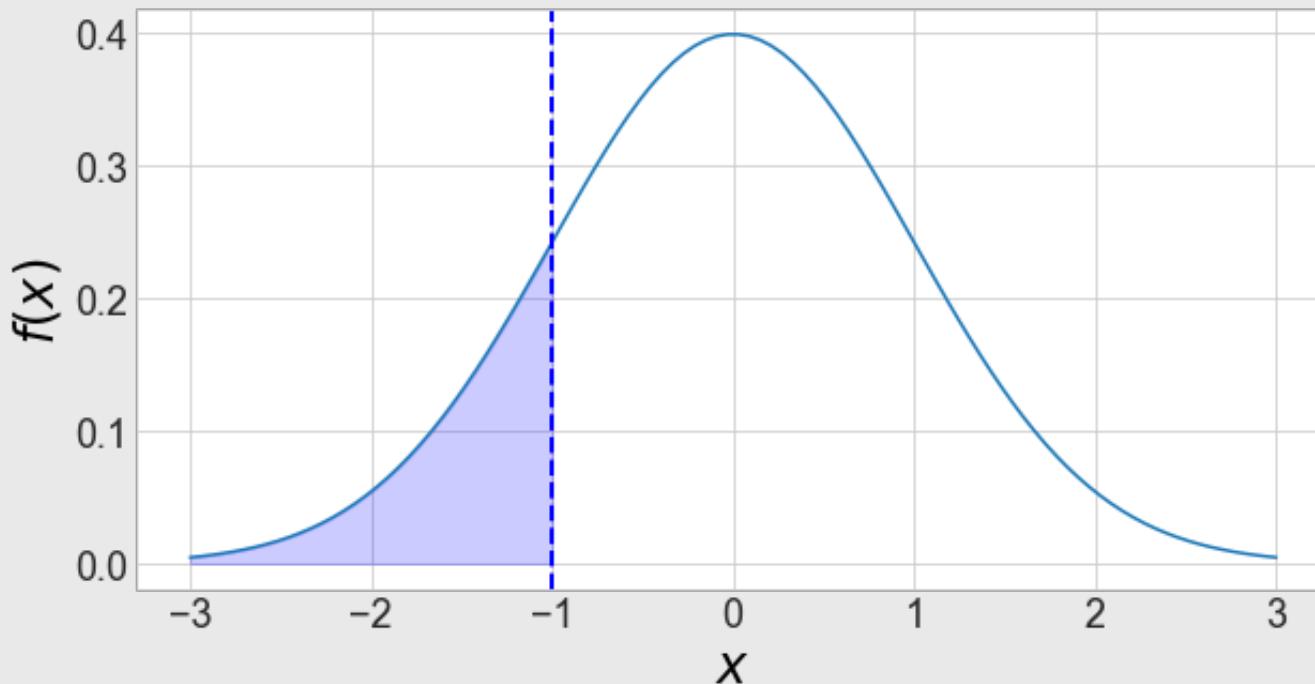
**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) \, dt, f(t) – \text{плотность}$$

# Непрерывные случайные величины

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

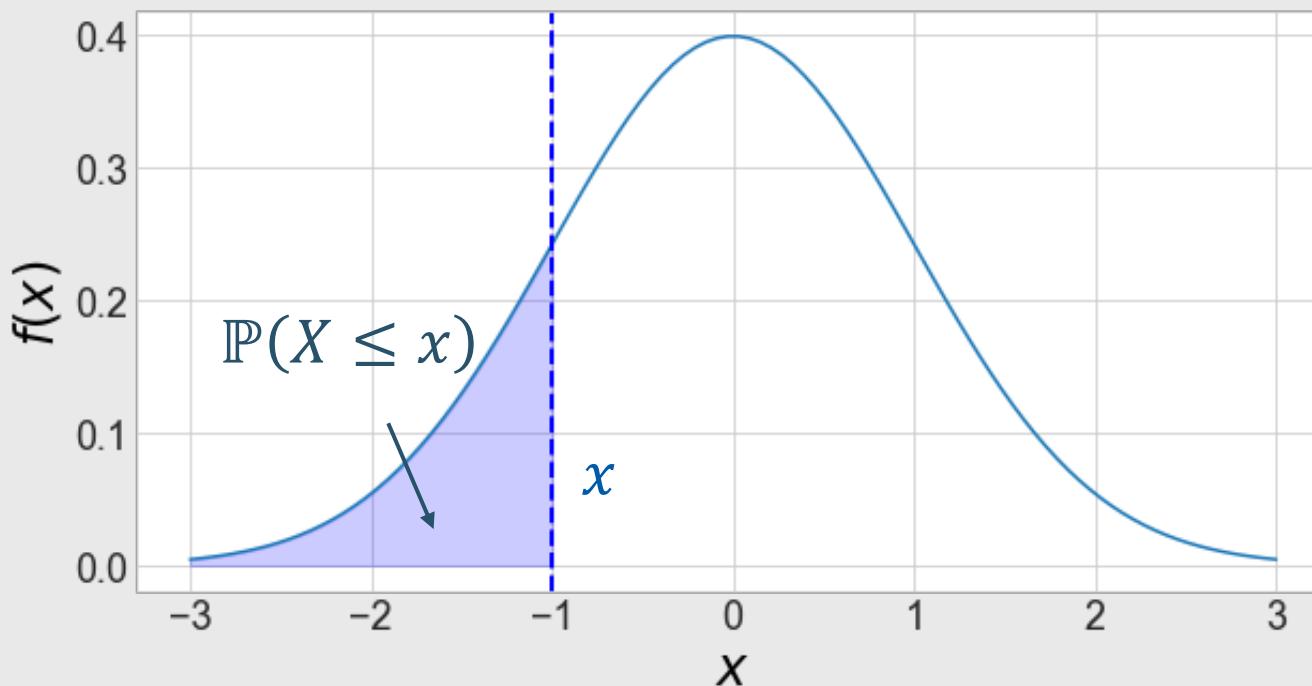
$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) \, dt, f(t) \text{ – плотность}$$



# Непрерывные случайные величины

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

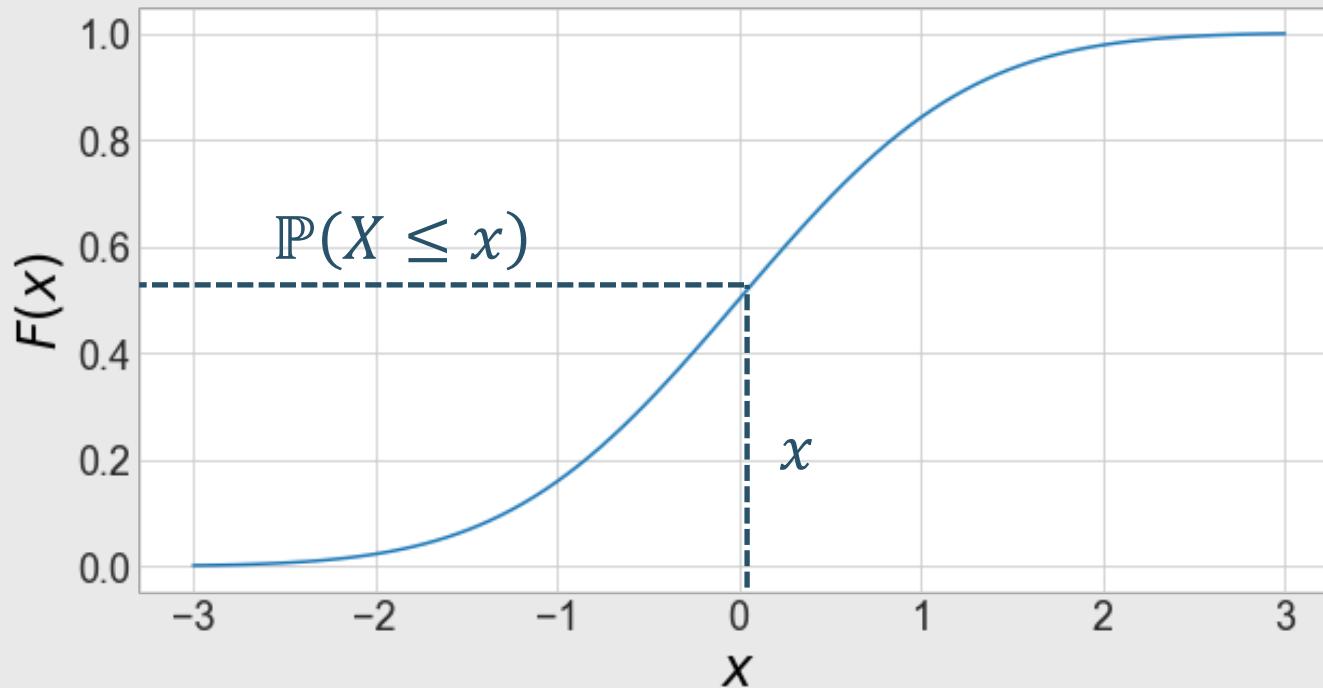
$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) \, dt, f(t) \text{ – плотность}$$



# Непрерывные случайные величины

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) \, dt, f(t) \text{ – плотность}$$



# Важные свойства

1. Плотность определена только для непрерывных случайных величин

# Важные свойства

1. Плотность определена только для непрерывных случайных величин
2.  $f(x) = F'(x)$

# Важные свойства

1. Плотность определена только для непрерывных случайных величин
2.  $f(x) = F'(x)$
3.  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \ dt = 1, \quad f(t) \geq 0 \quad \forall t$

# Важные свойства

1. Плотность определена только для непрерывных случайных величин
2.  $f(x) = F'(x)$
3.  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1, \quad f(t) \geq 0 \quad \forall t$
4.  $F(x)$  не убывает, лежит между 0 и 1

# Важные свойства

1. Плотность определена только для непрерывных случайных величин
2.  $f(x) = F'(x)$
3.  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \ dt = 1, \quad f(t) \geq 0 \quad \forall t$
4.  $F(x)$  не убывает, лежит между 0 и 1
5.  $\mathbb{P}(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(t) \ dt = F(b) - F(a)$

# Важные свойства

1. Плотность определена только для непрерывных случайных величин
2.  $f(x) = F'(x)$
3.  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \ dt = 1, \quad f(t) \geq 0 \quad \forall t$
4.  $F(x)$  не убывает, лежит между 0 и 1
5.  $\mathbb{P}(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(t) \ dt = F(b) - F(a)$
6. Вероятность того, что непрерывная случайная величина попадёт в точку, равна нулю

# **Характеристики случайных величин**

# Математическое ожидание

**Математическое ожидание** – среднее значение случайной величины

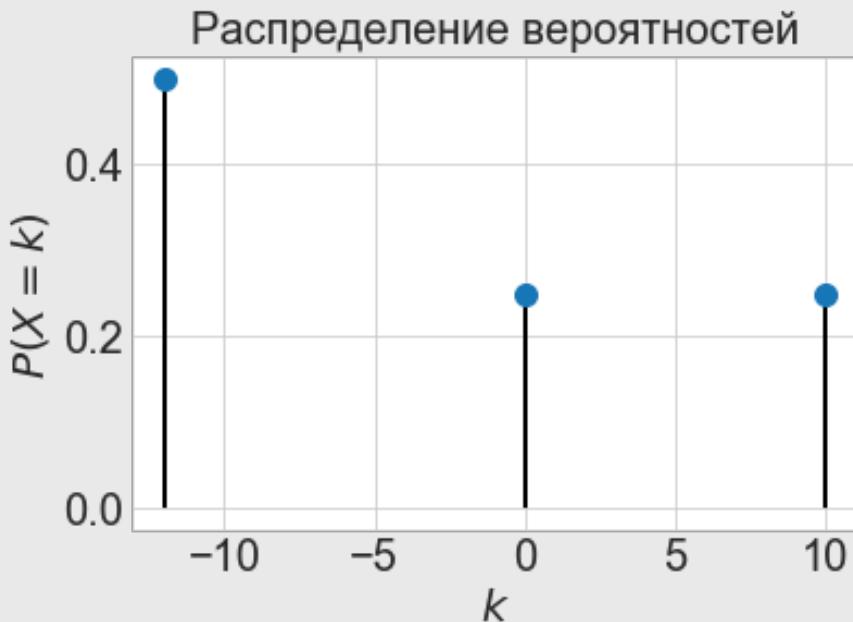
$$\mathbb{E}(X) = \sum_{k=1}^n k \cdot \mathbb{P}(X = k) \quad \mathbb{E}(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} t \cdot f(t) dt$$

# Математическое ожидание

**Математическое ожидание** – среднее значение случайной величины

$$\mathbb{E}(X) = \sum_{k=1}^n k \cdot \mathbb{P}(X = k)$$

$$\mathbb{E}(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} t \cdot f(t) dt$$



**Пример: лотерея**

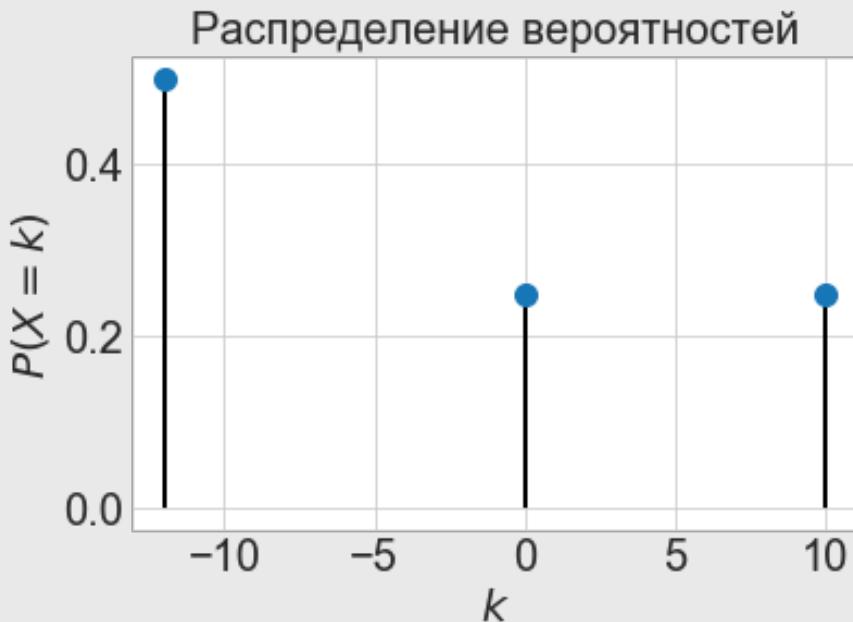
$X$	-12	0	10
$\mathbb{P}(X = k)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

# Математическое ожидание

**Математическое ожидание** – среднее значение случайной величины

$$\mathbb{E}(X) = \sum_{k=1}^n k \cdot \mathbb{P}(X = k)$$

$$\mathbb{E}(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} t \cdot f(t) dt$$



**Пример: лотерея**

X	-12	0	10
$\mathbb{P}(X = k)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

$$\mathbb{E}(X) = -12 \cdot 0.5 + 0 \cdot 0.25 + 10 \cdot 0.25 = -3.5 \text{ рубля}$$

# Свойства математического ожидания

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

# Свойства математического ожидания

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $\mathbb{E}(a) = a$

# Свойства математического ожидания

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $\mathbb{E}(a) = a$

2.  $\mathbb{E}(X + Y) = \mathbb{E}(X) + \mathbb{E}(Y)$

# Свойства математического ожидания

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $\mathbb{E}(a) = a$
2.  $\mathbb{E}(X + Y) = \mathbb{E}(X) + \mathbb{E}(Y)$
3.  $\mathbb{E}(a \cdot X) = a \cdot \mathbb{E}(X)$

# Свойства математического ожидания

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $\mathbb{E}(a) = a$
2.  $\mathbb{E}(X + Y) = \mathbb{E}(X) + \mathbb{E}(Y)$
3.  $\mathbb{E}(a \cdot X) = a \cdot \mathbb{E}(X)$
4.  $\mathbb{E}(X \cdot Y) = \mathbb{E}(X) \cdot \mathbb{E}(Y)$ , если независимы

# Свойства математического ожидания

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $\mathbb{E}(a) = a$
2.  $\mathbb{E}(X + Y) = \mathbb{E}(X) + \mathbb{E}(Y)$
3.  $\mathbb{E}(a \cdot X) = a \cdot \mathbb{E}(X)$
4.  $\mathbb{E}(X \cdot Y) = \mathbb{E}(X) \cdot \mathbb{E}(Y)$ , если независимы
5. Математическое ожидание случайной величины  
– не случайно

# Свойства математического ожидания

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $\mathbb{E}(a) = a$
2.  $\mathbb{E}(X + Y) = \mathbb{E}(X) + \mathbb{E}(Y)$
3.  $\mathbb{E}(a \cdot X) = a \cdot \mathbb{E}(X)$
4.  $\mathbb{E}(X \cdot Y) = \mathbb{E}(X) \cdot \mathbb{E}(Y)$ , если независимы
5. Математическое ожидание случайной величины  
– не случайно
6.  $\mathbb{E}(X - \mathbb{E}(X)) = \mathbb{E}(X) - \mathbb{E}(\mathbb{E}(X)) = \mathbb{E}(X) - \mathbb{E}(X) = 0$

# Дисперсия

**Дисперсия** – мера разброса случайной величины вокруг её среднего

$$Var(X) = \mathbb{E}(X^2) - \mathbb{E}^2(X)$$

# Дисперсия

**Дисперсия** – мера разброса случайной величины вокруг её среднего

$$Var(X) = \mathbb{E}(X^2) - \mathbb{E}^2(X)$$

**Пример: лотерея**

$X$	-12	0	10
$\mathbb{P}(X = k)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

$$\mathbb{E}(X^2) = (-12)^2 \cdot 0.5 + 0^2 \cdot 0.25 + 10^2 \cdot 0.25 = 97 \text{ рублей}^2$$

# Дисперсия

**Дисперсия** – мера разброса случайной величины вокруг её среднего

$$Var(X) = \mathbb{E}(X^2) - \mathbb{E}^2(X)$$

**Пример: лотерея**

$X$	-12	0	10
$\mathbb{P}(X = k)$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

$$\mathbb{E}(X^2) = (-12)^2 \cdot 0.5 + 0^2 \cdot 0.25 + 10^2 \cdot 0.25 = 97 \text{ рублей}^2$$

$$Var(X) = \mathbb{E}(X^2) - \mathbb{E}^2(X) = 97 - 12.25 = 84.75 \text{ рублей}^2$$

# Среднеквадратическое отклонение

Дисперсия случайной величины имеет размерность, равную квадрату размерности самой величины

# Среднеквадратическое отклонение

Дисперсия случайной величины имеет размерность, равную квадрату размерности самой величины

Чтобы вернуться к исходной размерности, из дисперсии часто извлекают корень и работают со среднеквадратическим отклонением:

$$\sigma(X) = \sqrt{Var(X)}$$

# Свойства дисперсии

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

# Свойства дисперсии

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $Var(a) = 0$

# Свойства дисперсии

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $Var(a) = 0$
2.  $Var(X + Y) = Var(X) + Var(Y)$ , если независимы

# Свойства дисперсии

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $Var(a) = 0$
2.  $Var(X + Y) = Var(X) + Var(Y)$ , если независимы
3.  $Var(a \cdot X) = a^2 \cdot Var(X)$

# Свойства дисперсии

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $Var(a) = 0$
2.  $Var(X + Y) = Var(X) + Var(Y)$ , если независимы
3.  $Var(a \cdot X) = a^2 \cdot Var(X)$
4.  $Var(X - Y) = Var(X) + Var(Y)$ , если независимы

# Свойства дисперсии

$X, Y$  – случайные величины       $a$  – константа

1.  $Var(a) = 0$
2.  $Var(X + Y) = Var(X) + Var(Y)$ , если независимы
3.  $Var(a \cdot X) = a^2 \cdot Var(X)$
4.  $Var(X - Y) = Var(X) + Var(Y)$ , если независимы
5. Дисперсия случайной величины – не случайна

# Мода

**Мода случайной величины** – значение, которому соответствует наибольшая вероятность (для дискретной случайной величины)

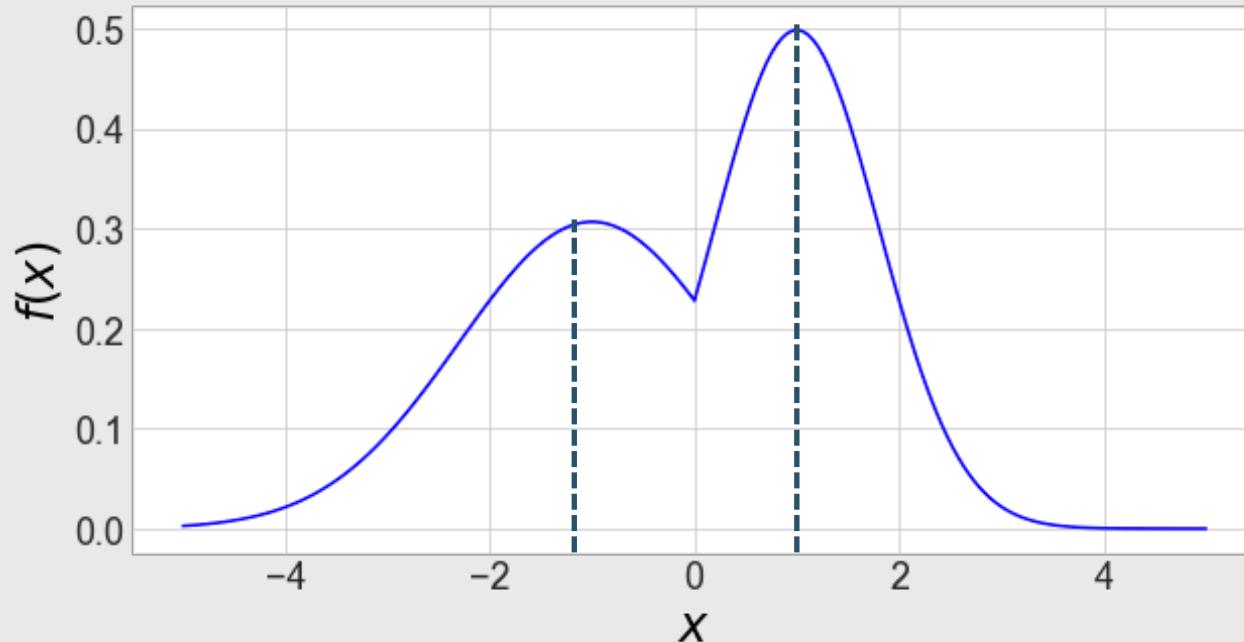
# Мода

**Мода случайной величины** – значение, которому соответствует наибольшая вероятность (для дискретной случайной величины) и **локальный максимум плотности** распределения (для непрерывной случайной величины)

# Мода

**Мода случайной величины** – значение, которому соответствует наибольшая вероятность (для дискретной случайной величины) и локальный максимум плотности распределения (для непрерывной случайной величины)

На практике встречаются мультимодальные распределения



# Медиана

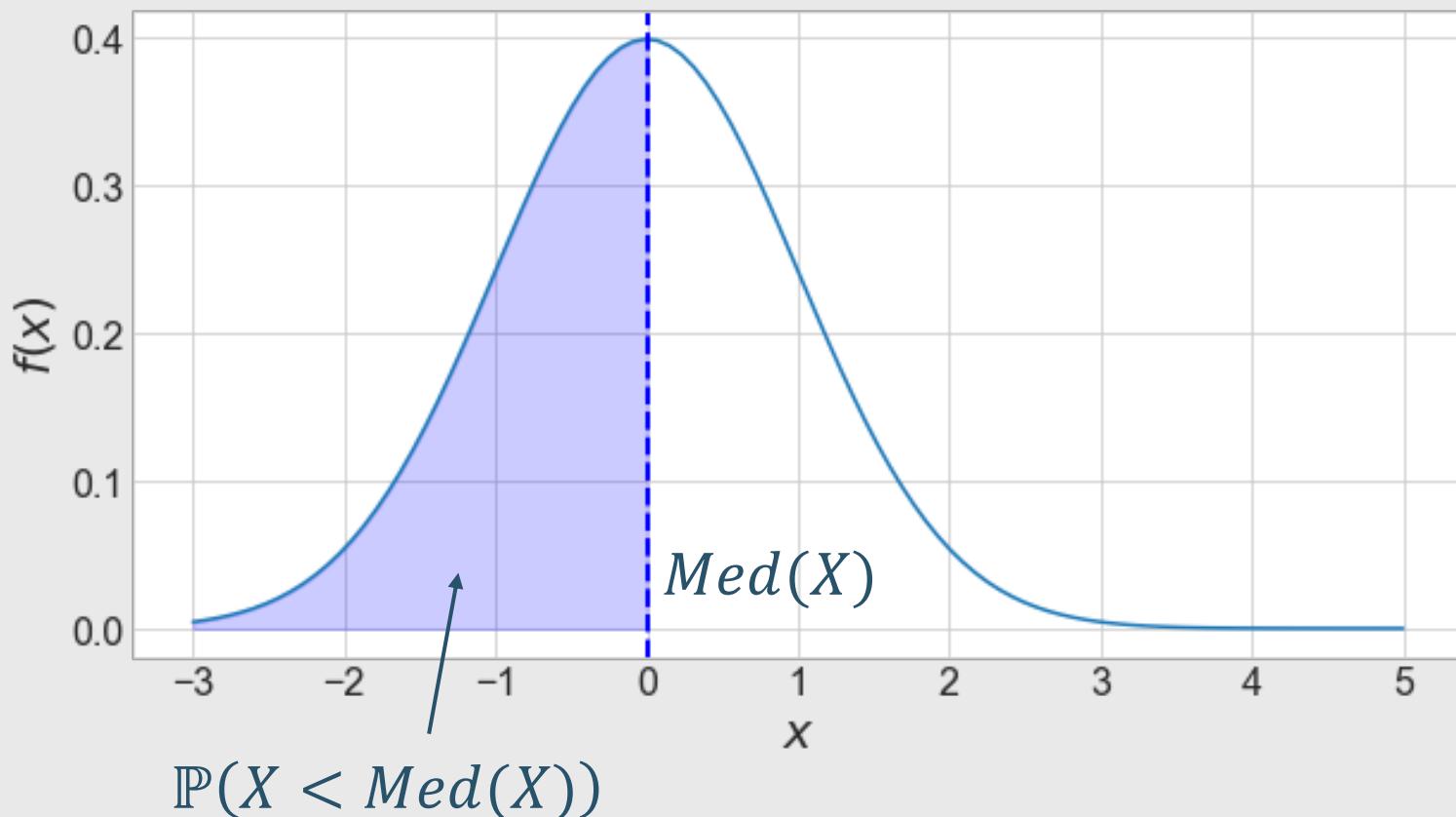
**Медиана случайной величины** – такое её значение, что

$$\mathbb{P}(X < \text{Med}(X)) = \mathbb{P}(X > \text{Med}(X)) = 0.5$$

# Медиана

**Медиана случайной величины** – такое её значение, что

$$\mathbb{P}(X < \text{Med}(X)) = \mathbb{P}(X > \text{Med}(X)) = 0.5$$



# Квантиль

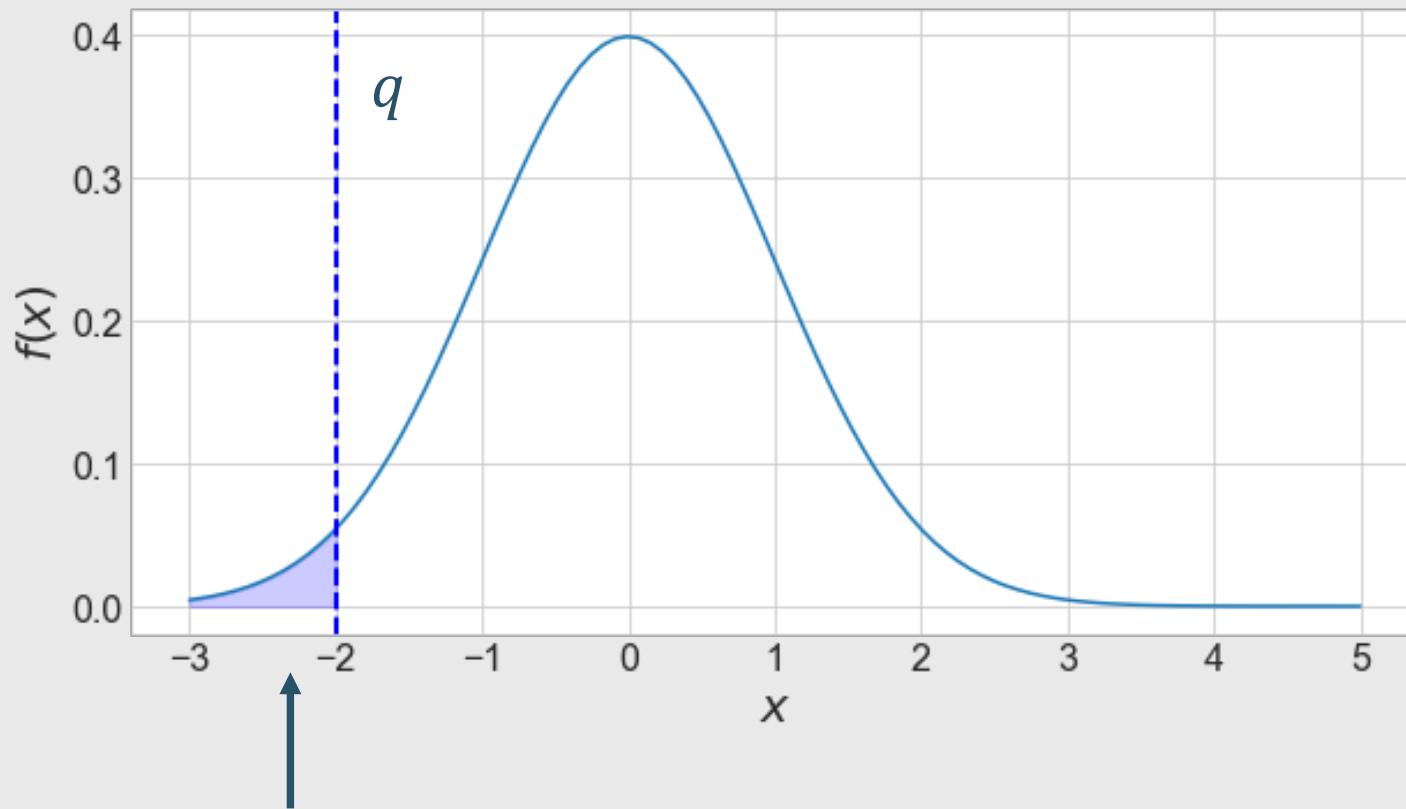
**Квантиль уровня  $\gamma$**  – это такое число  $q$ , что

$$\mathbb{P}(X \leq q) = \gamma$$

# Квантиль

**Квантиль уровня  $\gamma$**  – это такое число  $q$ , что

$$\mathbb{P}(X \leq q) = \gamma$$



Вероятность попасть в хвост равна  $\gamma$

# **Какими бывают случайные величины**

# Распределение Бернулли

- Пол родившегося ребёнка

# Распределение Бернулли

- Пол родившегося ребёнка

	мальчик	девочка
$X$	0	1
$\mathbb{P}(X = k)$	$1 - p$	$p$

# Распределение Бернулли

- Пол родившегося ребёнка

	мальчик	девочка
$X$	0	1
$\mathbb{P}(X = k)$	$1 - p$	$p$

Распределение Бернулли:

$$X \sim \text{Bern}(p)$$

# Распределение Бернулли

- Пол родившегося ребёнка

	мальчик	девочка
$X$	0	1
$\mathbb{P}(X = k)$	$1 - p$	$p$

**Распределение Бернулли:**

$$X \sim Bern(p)$$

$$\mathbb{E}(X) = 1 \cdot p + 0 \cdot (1 - p) = p$$

$$Var(X) = E(X^2) - E^2(X) = p - p^2 = p \cdot (1 - p)$$

# Биномиальное распределение

- Число попаданий в баскетбольную корзину



Источник: «Футурама». Автор Мэтт Грейнинг. FOX Network.

# Биномиальное распределение

- Число попаданий в баскетбольную корзину

**Биномиальная случайная величина:**  $X \sim Bin(p, n)$

$n$  – число испытаний

$p$  – вероятность успеха



Источник: «Футурама». Автор Мэтт Грейнинг. FOX Network.

# Биномиальное распределение

- Число попаданий в баскетбольную корзину

**Биномиальная случайная величина:**  $X \sim Bin(p, n)$

$n$  – число испытаний

$p$  – вероятность успеха



Futurama s03 e14. Автор Мэтт Грейнинг. FOX Network.

$$\mathbb{P}(X = k) = C_n^k \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n - k}$$

$k$  принимает значения от 0 до  $n$

# Биномиальное распределение

$$Y_i \sim Bern(p)$$

# Биномиальное распределение

$$Y_i \sim Bern(p)$$

$$X = Y_1 + \cdots + Y_n$$

# Биномиальное распределение

$$Y_i \sim Bern(p)$$

$$X = Y_1 + \cdots + Y_n$$

$$X \sim Bin(p, n)$$

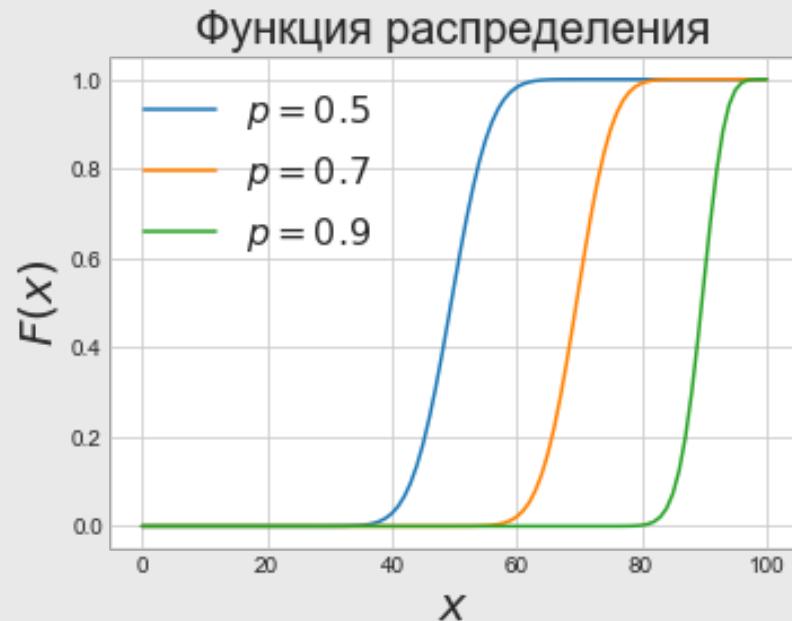
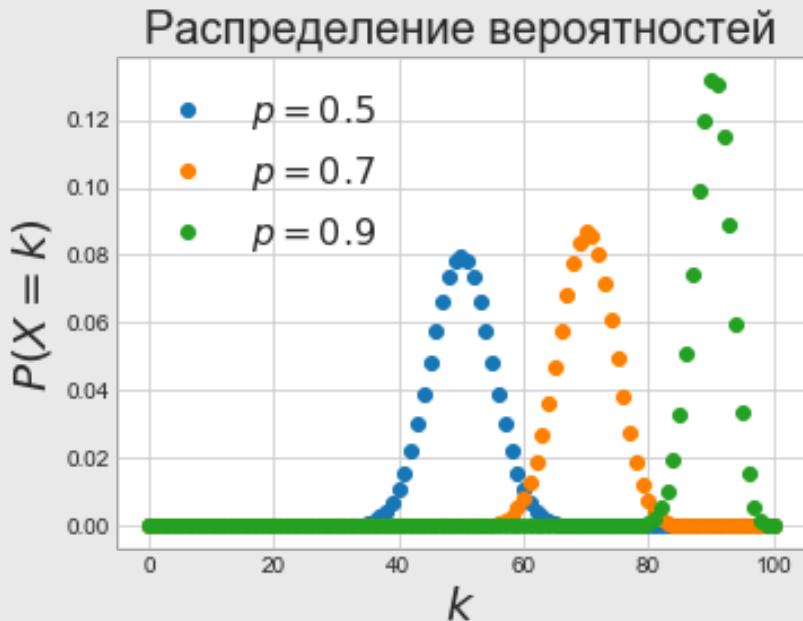
# Биномиальное распределение

$$Y_i \sim Bern(p)$$

$$X = Y_1 + \cdots + Y_n$$

$$X \sim Bin(p, n)$$

$$\mathbb{P}(X = k) = C_n^k \cdot p^k (1 - p)^{n-k}$$



# Биномиальное распределение

$$Y_i \sim Bern(p)$$

$$\mathbb{E}(X) = n \cdot p$$

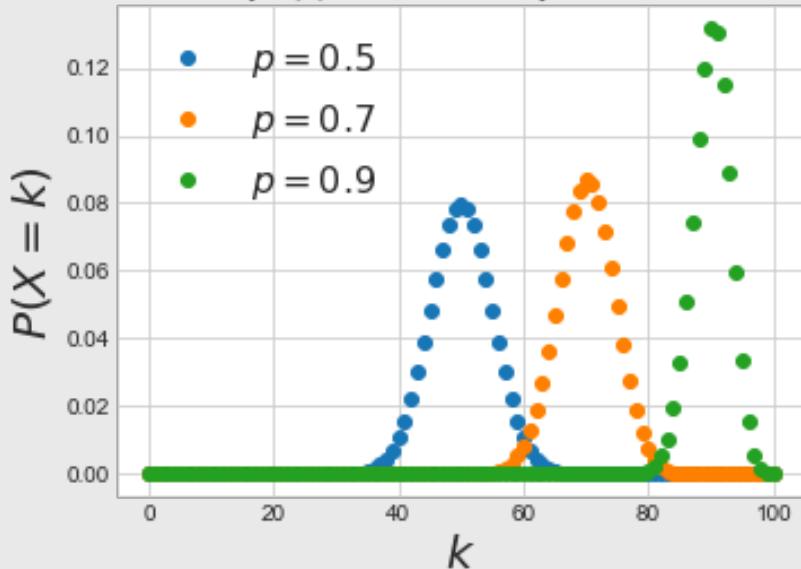
$$X = Y_1 + \dots + Y_n$$

$$Var(X) = n \cdot p \cdot (1 - p)$$

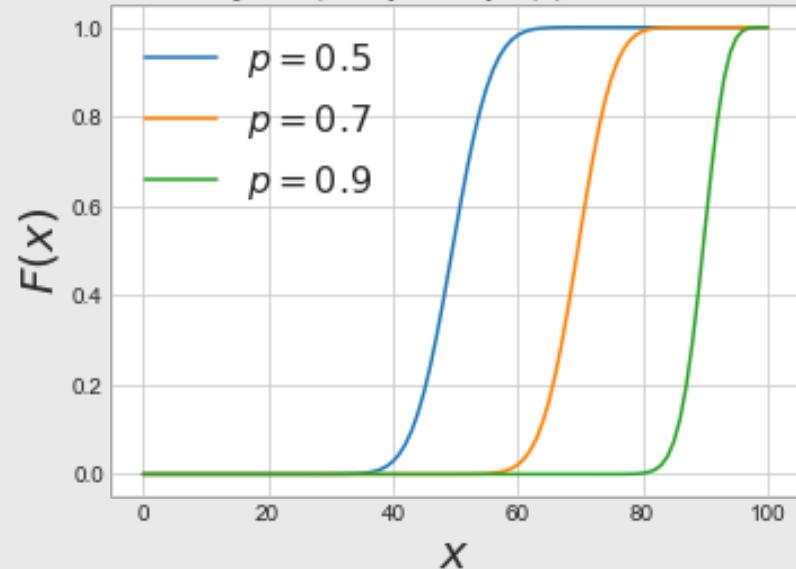
$$X \sim Bin(p, n)$$

$$\mathbb{P}(X = k) = C_n^k \cdot p^k (1 - p)^{n-k}$$

Распределение вероятностей



Функция распределения



# Геометрическое распределение

- Номер броска, когда произошло первое попадание в корзину

# Геометрическое распределение

- Номер броска, когда произошло первое попадание в корзину

**Геометрическая случайная величина:**  $X \sim Geom(p)$

$p$  – вероятность успеха

$k$  принимает значения  $0,1,2, \dots$

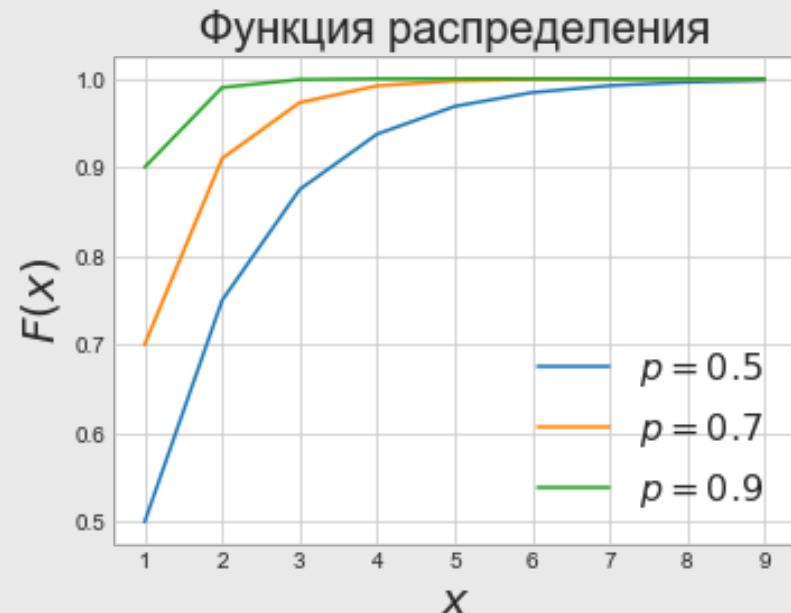
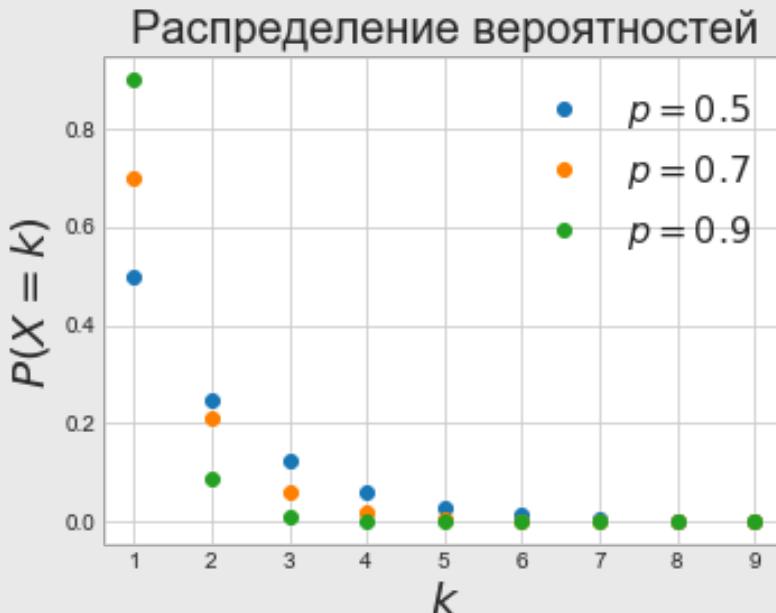
# Геометрическое распределение

- Номер броска, когда произошло первое попадание в корзину

**Геометрическая случайная величина:**  $X \sim Geom(p)$

$p$  – вероятность успеха

$k$  принимает значения 1,2,3,...



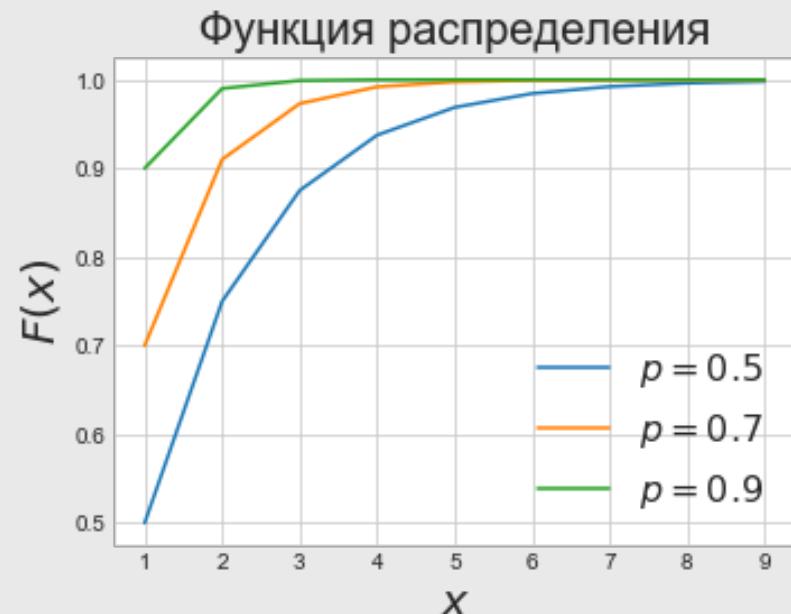
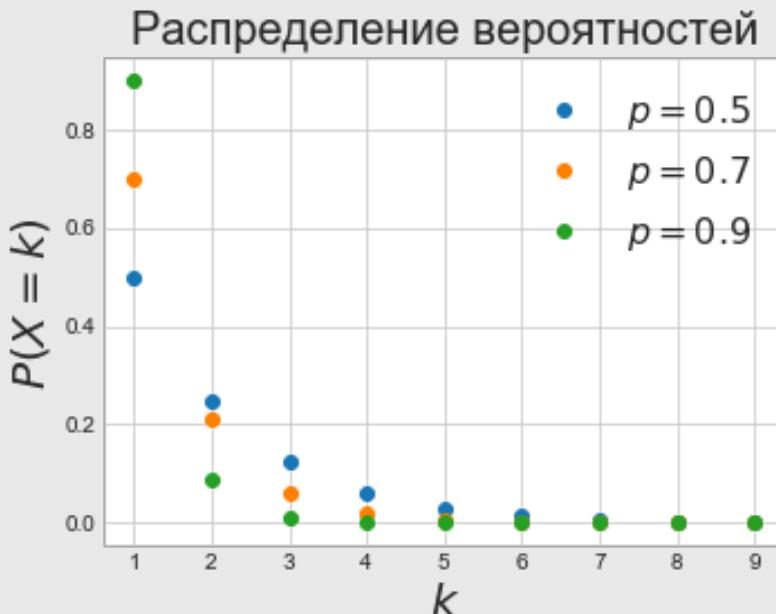
# Геометрическое распределение

- Номер броска, когда произошло первое попадание в корзину

**Геометрическая случайная величина:**  $X \sim Geom(p)$

$p$  – вероятность успеха

$k$  принимает значения 1,2,3,...  $\mathbb{P}(X = k) = p \cdot (1 - p)^{k-1}$



# Геометрическое распределение

- Номер броска, когда произошло первое попадание в корзину

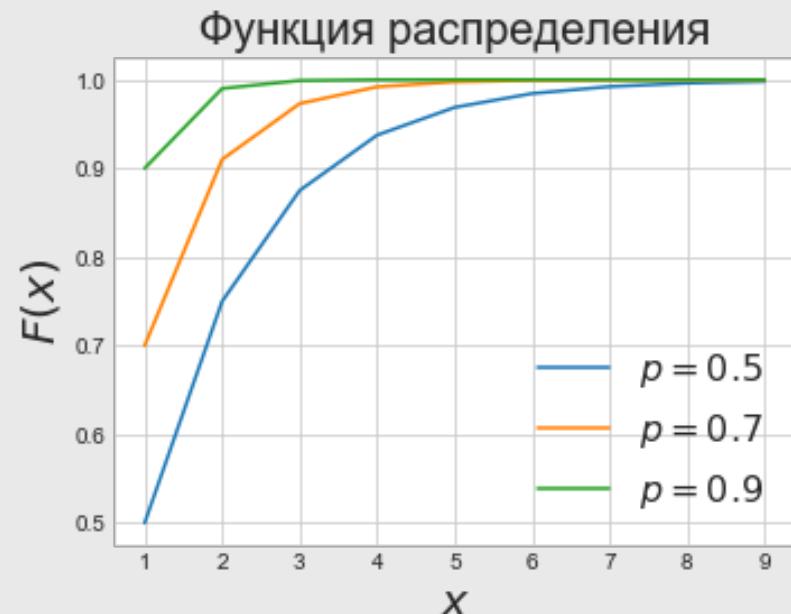
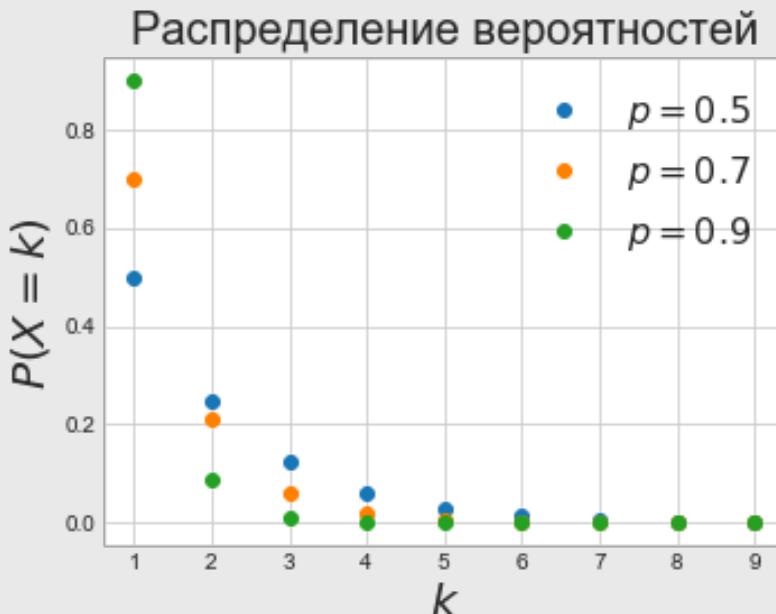
$$\mathbb{E}(X) = \frac{1}{p}$$

**Геометрическая случайная величина:**  $X \sim Geom(p)$

$$Var(X) = \frac{1-p}{p^2}$$

$p$  – вероятность успеха

$k$  принимает значения 1,2,3,...  $\mathbb{P}(X = k) = p \cdot (1 - p)^{k-1}$



# Произвольное дискретное распределение

- Подбрасывание игральной кости



# Произвольное дискретное распределение

- Подбрасывание игральной кости

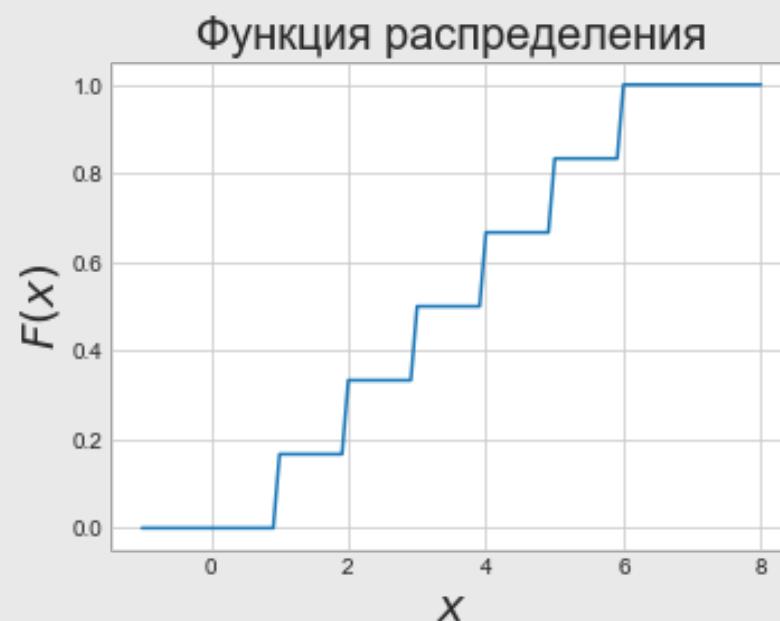
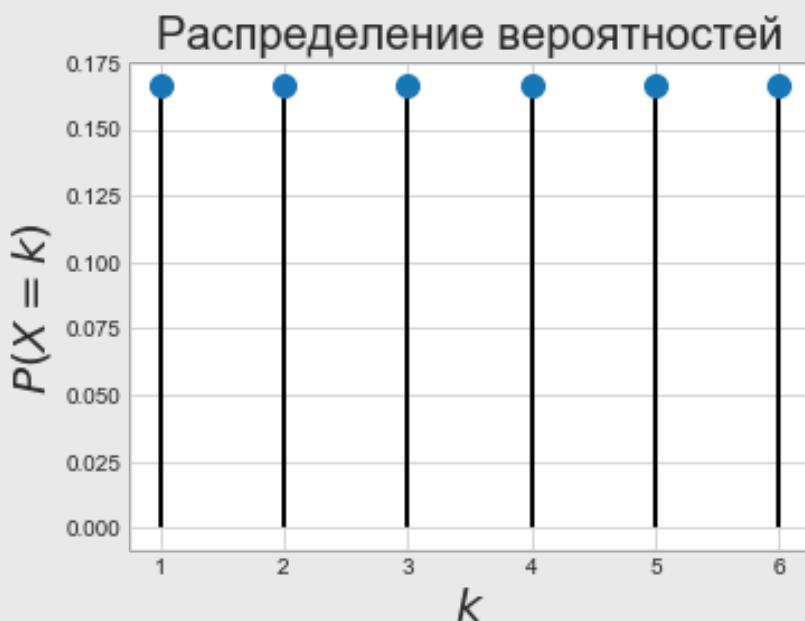
$X$	1	2	3	4	5	6
$\mathbb{P}(X = k)$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$



# Произвольное дискретное распределение

- Подбрасывание игральной кости

$X$	1	2	3	4	5	6
$\mathbb{P}(X = k)$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$



# Счётчики

- Число людей в очереди
- Число лайков под фото
- Число автобусов, проехавших за час мимо остановки

# Счётчики

- Число людей в очереди
- Число лайков под фото
- Число автобусов, проехавших за час мимо остановки

**Пуассоновская  
случайная величина:**

$$X \sim Poiss(\lambda)$$

# Счётчики

- Число людей в очереди
- Число лайков под фото
- Число автобусов, проехавших за час мимо остановки

**Пуассоновская  
случайная величина:**  
 $X \sim Poiss(\lambda)$



Распределение Пуассона  
хорошо описывает  
счётчики



♥ Нравится 15

# Распределение Пуассона

$$\mathbb{P}(X = k) = \frac{\lambda^k \cdot e^{-\lambda}}{k!} \quad X \sim Poiss(\lambda)$$

# Распределение Пуассона

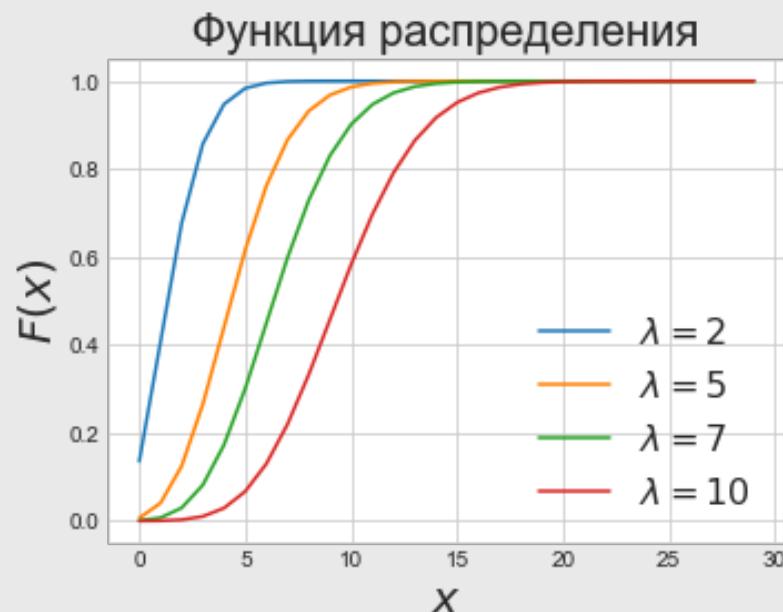
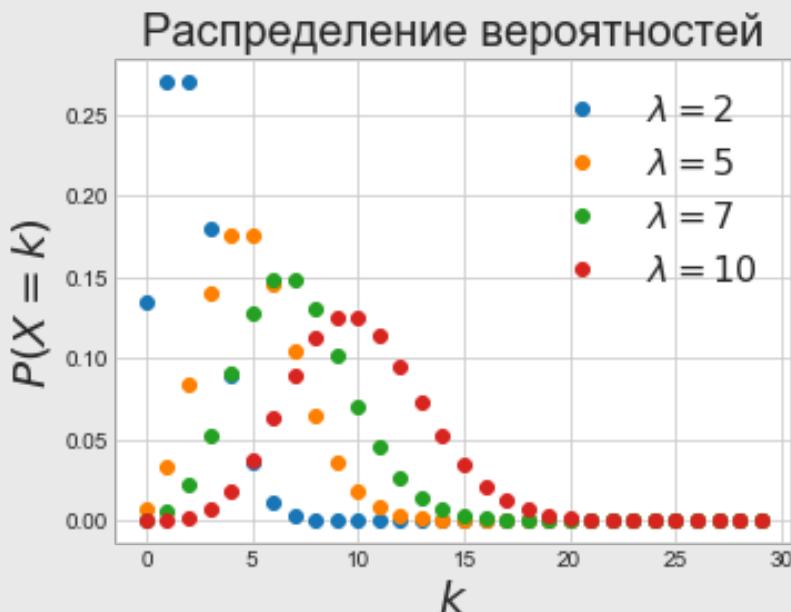
$$\mathbb{P}(X = k) = \frac{\lambda^k \cdot e^{-\lambda}}{k!} \quad X \sim Poiss(\lambda)$$

- Параметр  $\lambda$  интерпретируется как интенсивность потока событий
- $k$  принимает значения  $0, 1, 2, \dots$

# Распределение Пуассона

$$\mathbb{P}(X = k) = \frac{\lambda^k \cdot e^{-\lambda}}{k!} \quad X \sim Poiss(\lambda)$$

- Параметр  $\lambda$  интерпретируется как интенсивность потока событий
- $k$  принимает значения  $0, 1, 2, \dots$



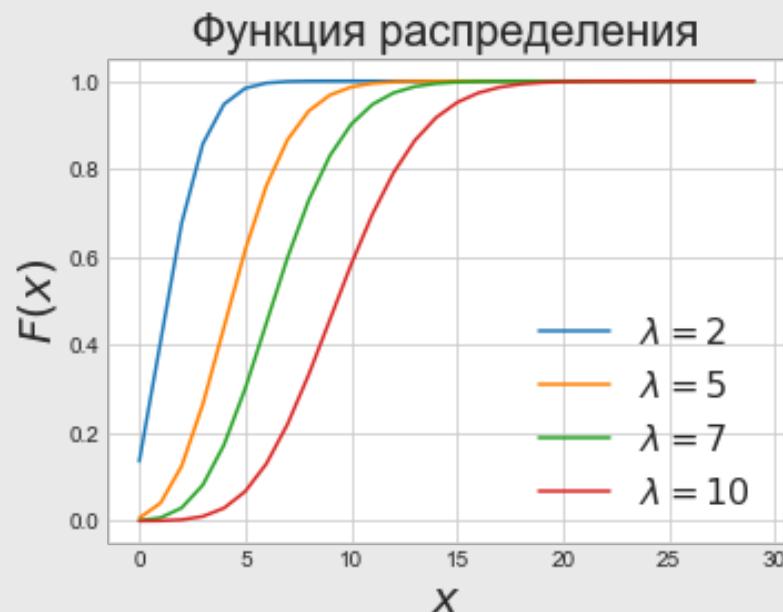
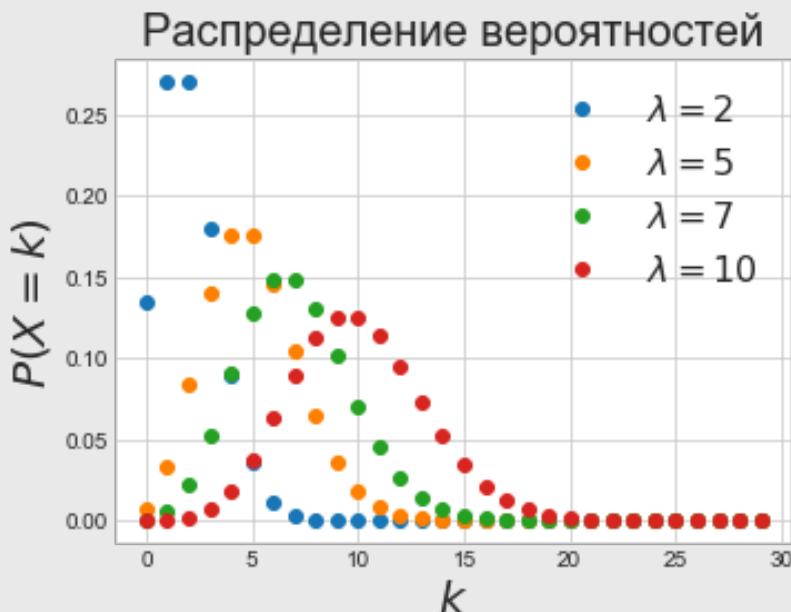
# Распределение Пуассона

$$\mathbb{P}(X = k) = \frac{\lambda^k \cdot e^{-\lambda}}{k!} \quad X \sim Poiss(\lambda)$$

- Параметр  $\lambda$  интерпретируется как интенсивность потока событий
- $k$  принимает значения  $0, 1, 2, \dots$

$$Var(X) = \lambda$$

$$\mathbb{E}(X) = \lambda$$



# Время до ...

- Время ожидания трамвая
- Время до прихода нового человека в очередь
- Время до поломки механизма

# Время до ...

- Время ожидания трамвая
- Время до прихода нового человека в очередь
- Время до поломки механизма

**Экспоненциальная  
случайная величина:**

$$X \sim Exp(\lambda)$$

# Время до ...

- Время ожидания трамвая
- Время до прихода нового человека в очередь
- Время до поломки механизма

**Экспоненциальная  
случайная величина:**  
 $X \sim Exp(\lambda)$

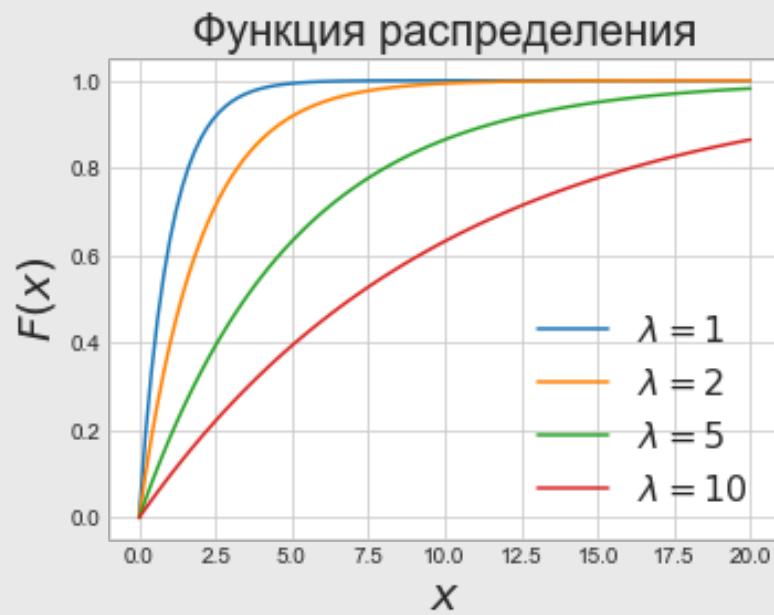
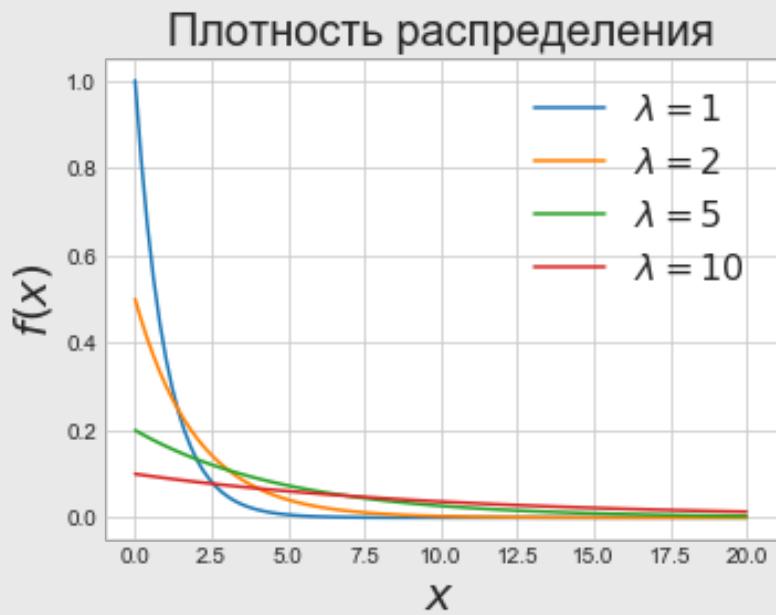
- Интервалы времени между событиями
- Модели времени жизни



# Экспоненциальное распределение

$$f_X(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}, x \geq 0$$

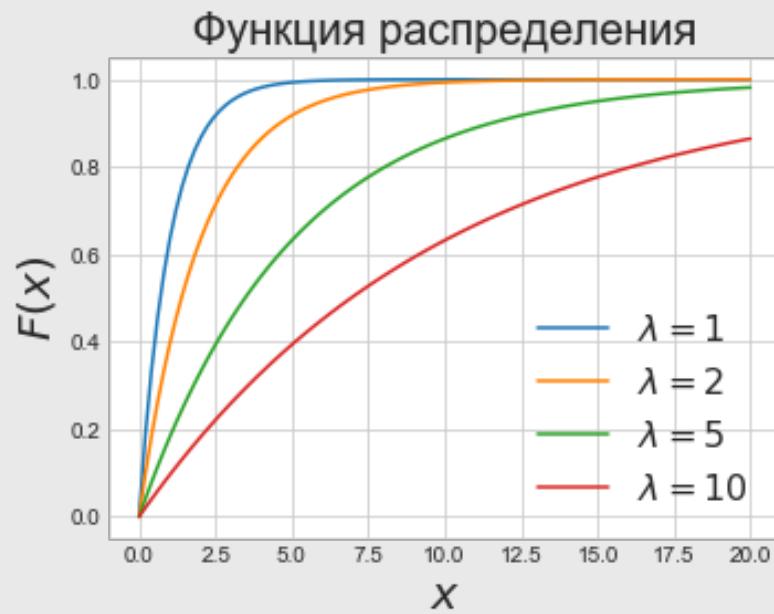
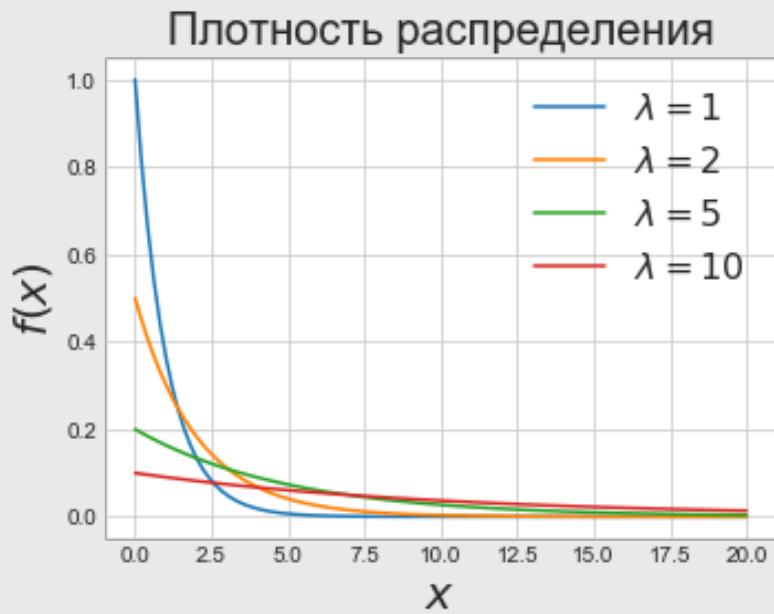
$$F_X(x) = 1 - e^{-\lambda \cdot x}, x \geq 0$$



# Экспоненциальное распределение

$$f_X(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}, x \geq 0$$

$$F_X(x) = 1 - e^{-\lambda \cdot x}, x \geq 0$$



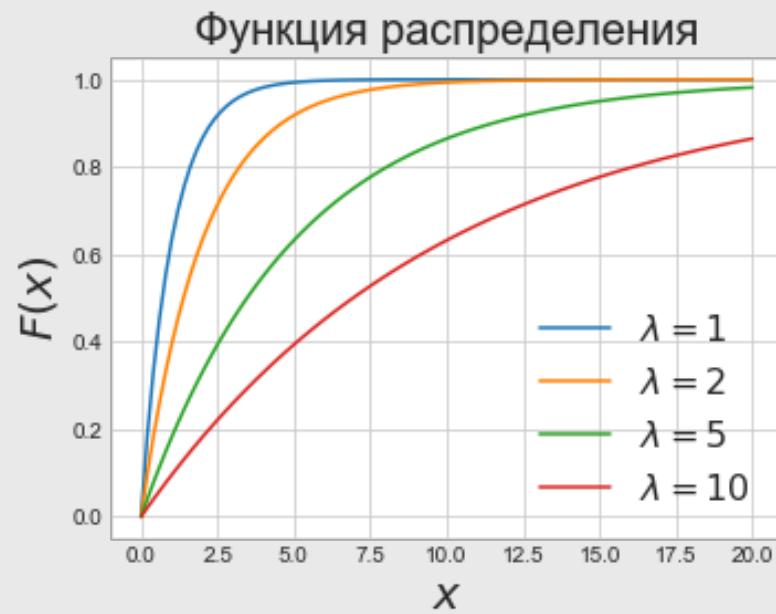
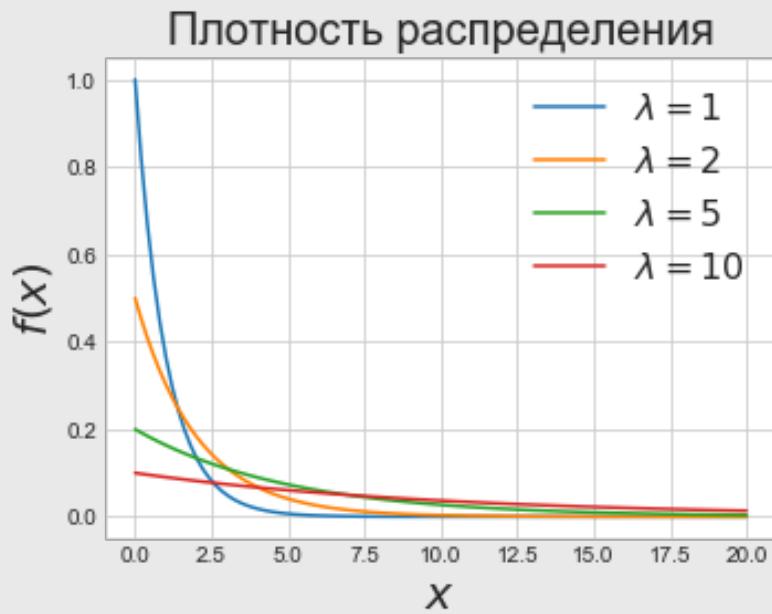
$$\mathbb{E}(X) = \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{Var}(X) = \frac{1}{\lambda^2}$$

# Экспоненциальное распределение

$$f_X(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}, x \geq 0$$

$$F_X(x) = 1 - e^{-\lambda \cdot x}, x \geq 0$$



У экспоненциального распределения нет памяти. Автобусы приходят на остановку случайно. Время, которое осталось ждать не зависит от того, сколько уже прошло времени.

$$\mathbb{E}(X) = \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{Var}(X) = \frac{1}{\lambda^2}$$

# Равномерное распределение

- Время рождения ребёнка

# Равномерное распределение

- Время рождения ребёнка

**Равномерная случайная величина:**  $X \sim U[a; b]$

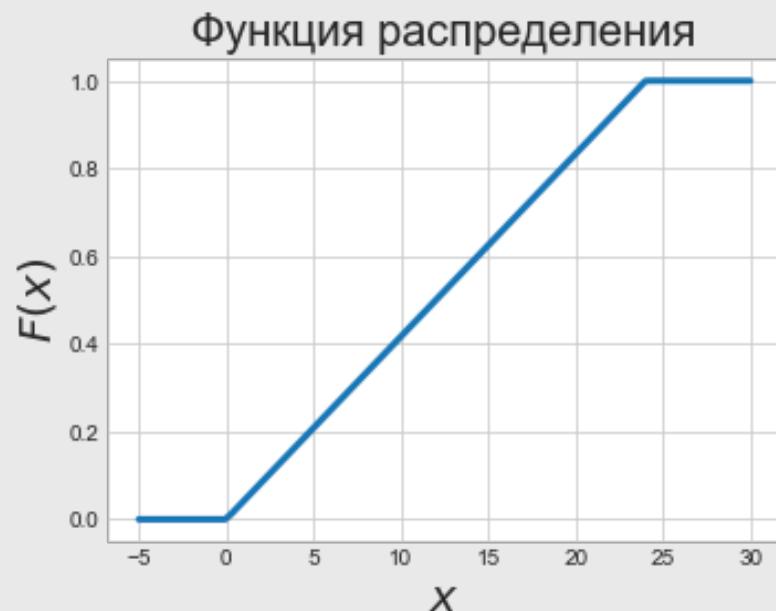
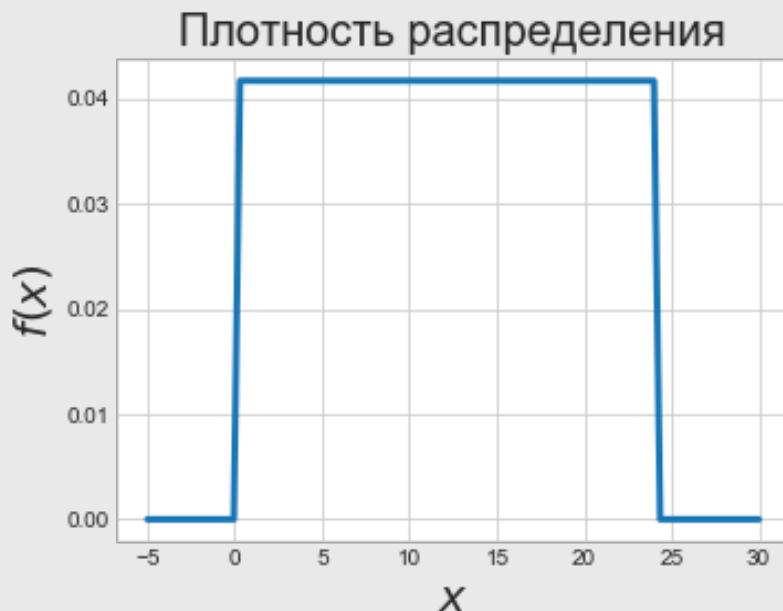
# Равномерное распределение

- Время рождения ребёнка

**Равномерная случайная величина:**  $X \sim U[a; b]$

$$f_X(x) = \frac{1}{b-a}, x \in [a; b]$$

$$F_X(x) = \frac{x-a}{b-a}, x \in [a; b]$$



# Равномерное распределение

- Время рождения ребёнка

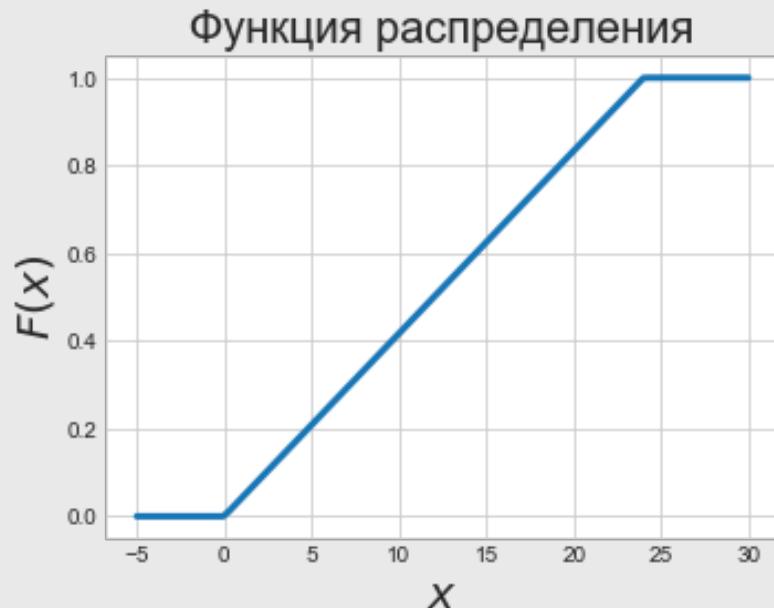
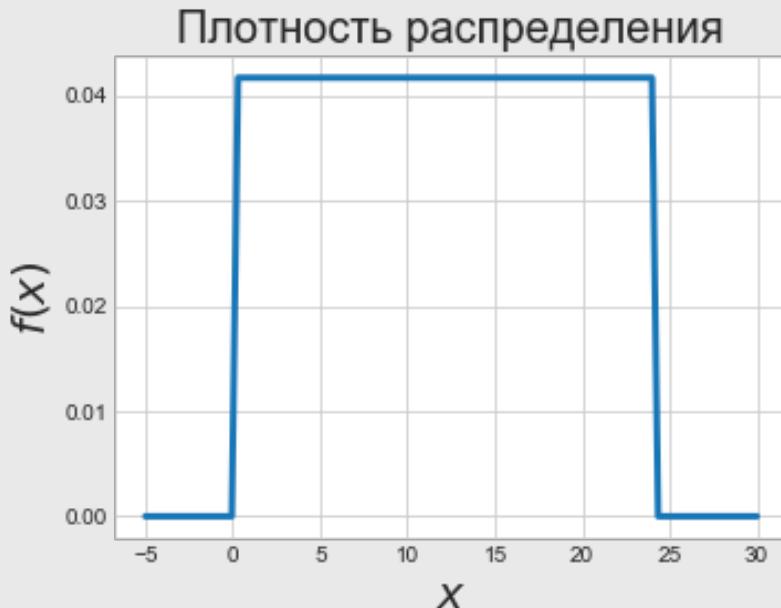
**Равномерная случайная величина:**  $X \sim U[a; b]$

$$f_X(x) = \frac{1}{b - a}, x \in [a; b]$$

$$\mathbb{E}(X) = \frac{a + b}{2}$$

$$\text{Var}(X) = \frac{(b - a)^2}{12}$$

$$F_X(x) = \frac{x - a}{b - a}, x \in [a; b]$$



# Нормальное распределение

- Погрешность весов

# Нормальное распределение

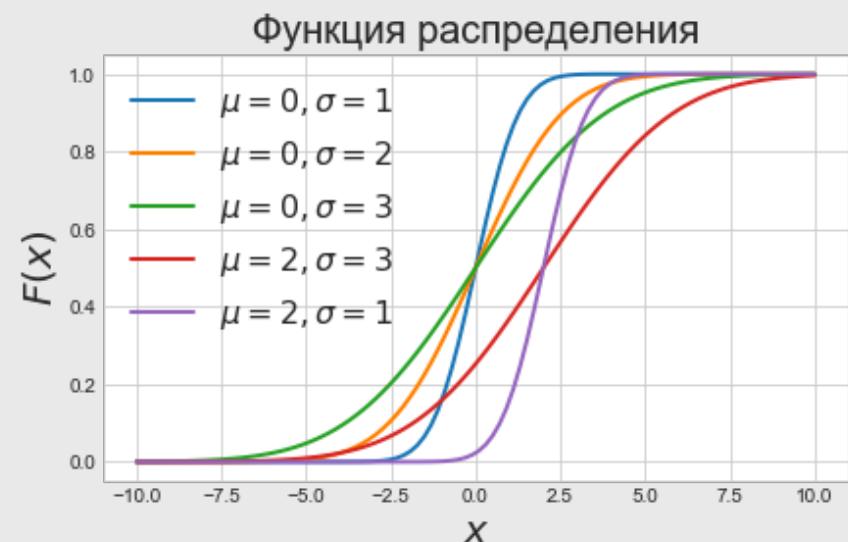
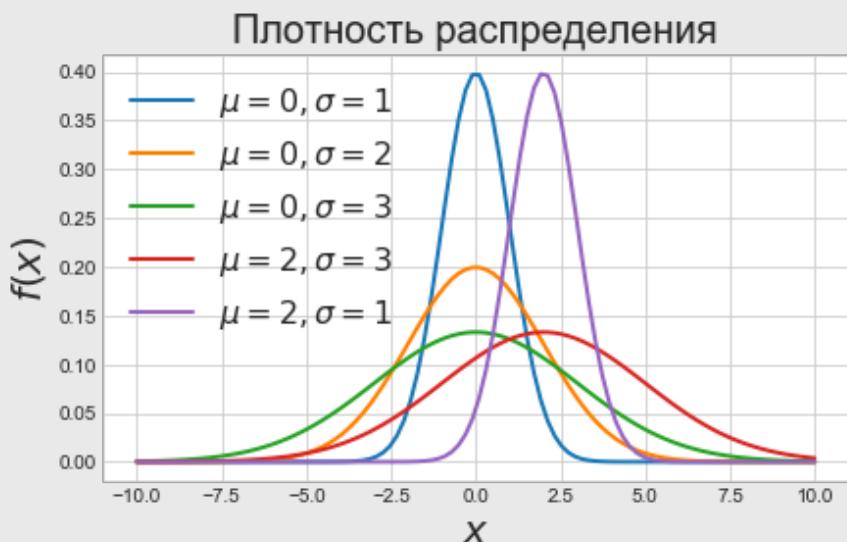
- Погрешность весов

**Нормальная случайная величина:**  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$

# Нормальное распределение

- Погрешность весов

**Нормальная случайная величина:**  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$



$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \pi \sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

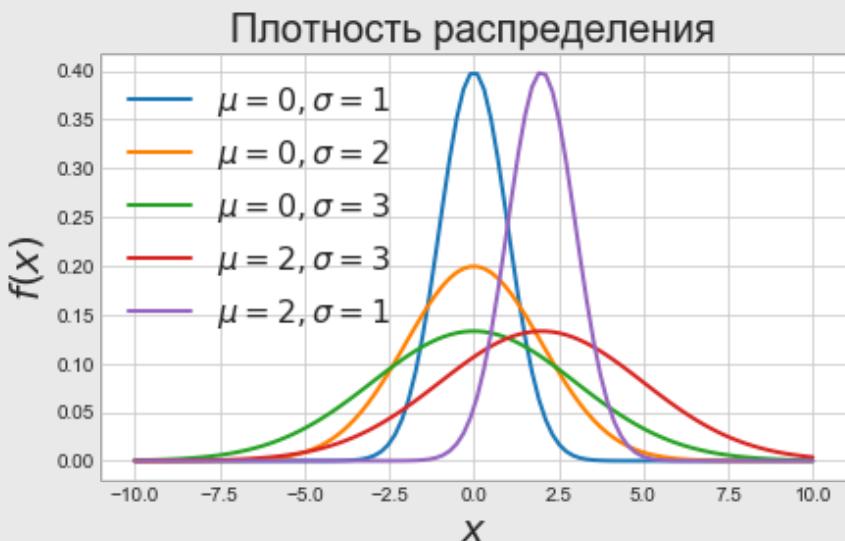
$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) \, dx$$

# Нормальное распределение

- Погрешность весов

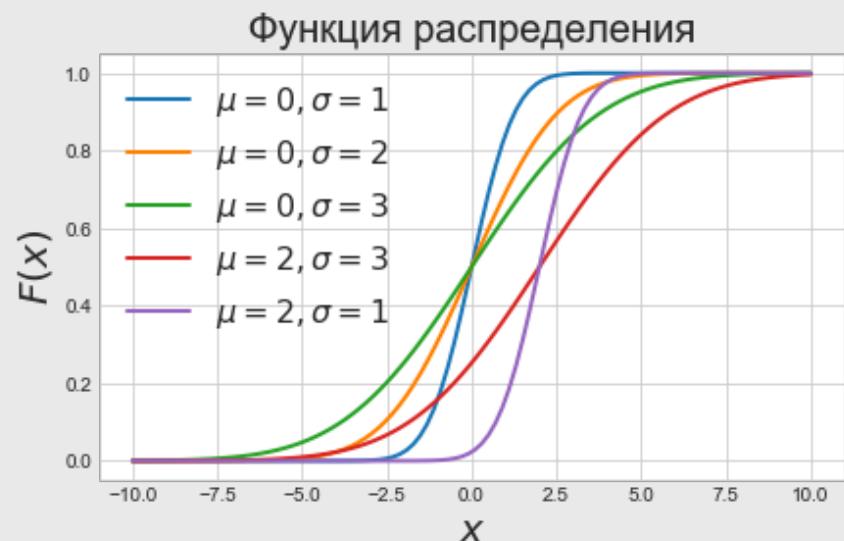
**Нормальная случайная величина:**  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$

$$\mathbb{E}(X) = \mu, \text{Var}(X) = \sigma^2$$



$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \pi \sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Функцию распределения нельзя найти в аналитическом виде, интеграл не берётся



$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) \, dx$$

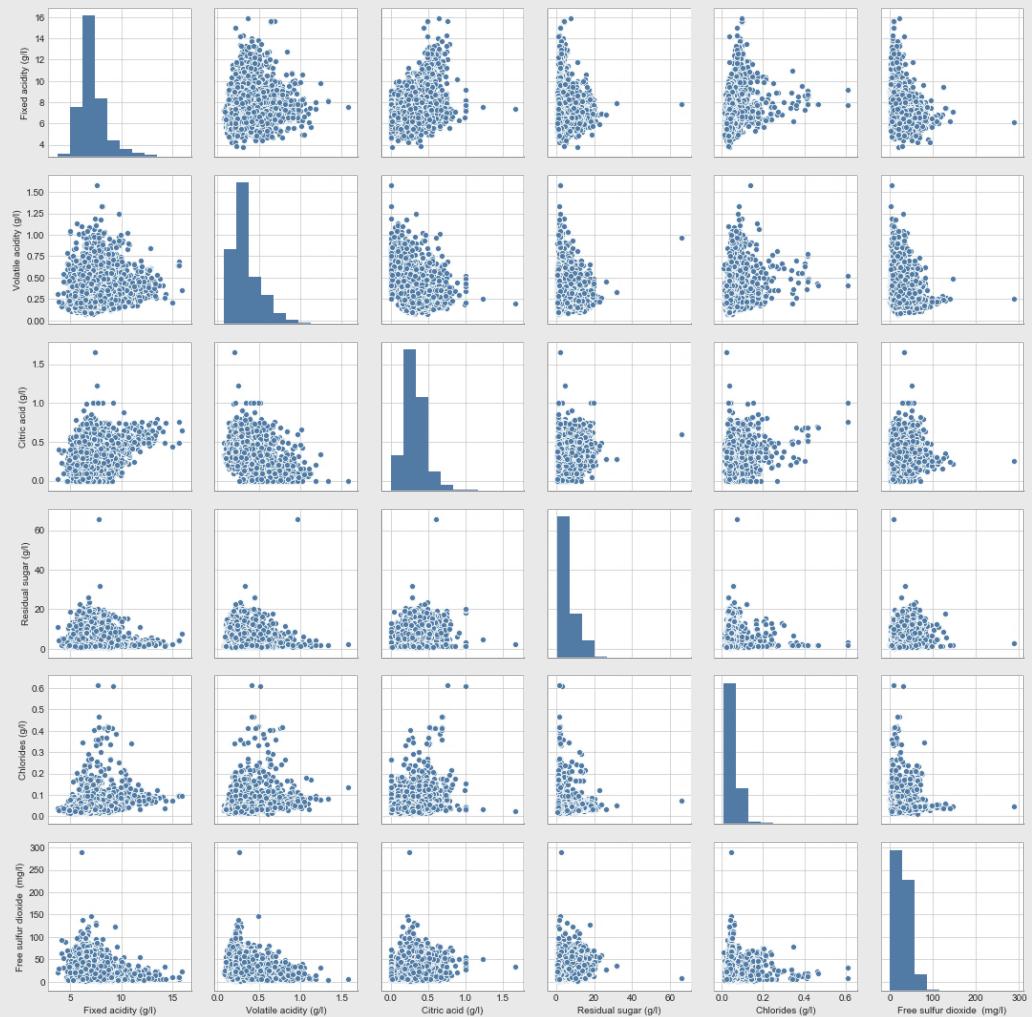
# Распределения бывают разными

Случайная величина	Распределение
Пол ребенка	$Bern(p)$
Попадания в корзину	$Binom(n, p)$
Число бросков до первого попадания	$Geom(p)$
Число людей в очереди	$Poiss(\lambda)$
Подбрасывание кости	Дискретное
Время между событиями	$Exp(\lambda)$
Время до поломки часов	$Exp(\lambda)$
Время рождения ребенка	$U[0; 24]$
Погрешность весов	$N(0, \sigma^2)$

# **Описательные статистики**

# Выбор из сундука

- Сундук порождает выборки
- Мы пытаемся по ним восстановить его структуру
- Делаем это в рамках выбранной модели



# Генеральная совокупность и выборка

**Генеральная совокупность** – это все объекты, которые нас интересуют при исследовании

# Генеральная совокупность и выборка

**Генеральная совокупность** – это все объекты, которые нас интересуют при исследовании

**Выборка** – это та часть генеральной совокупности, по которой мы собрали данные для исследования

# Генеральная совокупность и выборка

- В городе живёт 1 млн. человек

# Генеральная совокупность и выборка

- В городе живёт 1 млн. человек
- Провели опрос об уровне дохода (2.5 тыс. человек)

# Генеральная совокупность и выборка

- В городе живёт 1 млн. человек
- Провели опрос об уровне дохода (2.5 тыс. человек)
- Опубликовали средний доход по городу

# Генеральная совокупность и выборка

- В городе живёт 1 млн. человек
- Провели опрос об уровне дохода (2.5 тыс. человек)
- Опубликовали средний доход по городу
- Опрашивать абсолютно всех людей в городе долго

# Генеральная совокупность и выборка

- В городе живёт 1 млн. человек
- Провели опрос об уровне дохода (2.5 тыс. человек)
- Опубликовали средний доход по городу
- Опрашивать абсолютно всех людей в городе долго



генеральная  
совокупность

# Генеральная совокупность и выборка

- В городе живёт 1 млн. человек
- Провели опрос об уровне дохода (2.5 тыс. человек)
- Опубликовали средний доход по городу
- Опрашивать абсолютно всех людей в городе долго



генеральная  
совокупность

# Репрезентативность

- Выборки позволяют сделать выводы о всей генеральной совокупности

# Репрезентативность

- Выборки позволяют сделать выводы о всей генеральной совокупности
- Чтобы выводы были корректными, выборка должны быть **репрезентативной**

# Репрезентативность

- Выборки позволяют сделать выводы о всей генеральной совокупности
- Чтобы выводы были корректными, выборка должны быть **репрезентативной**
- **Репрезентативная выборка** – отражает свойства генеральной совокупности

# Репрезентативность

- Выборки позволяют сделать выводы о всей генеральной совокупности
- Чтобы выводы были корректными, выборка должны быть **репрезентативной**
- **Репрезентативная выборка** – отражает свойства генеральной совокупности

**Пример:** Добрыня, Илья и Алёна исследуют рост людей. Чья выборка репрезентативна?

# Репрезентативность

- Выборки позволяют сделать выводы о всей генеральной совокупности
- Чтобы выводы были корректными, выборка должны быть **репрезентативной**
- **Репрезентативная выборка** – отражает свойства генеральной совокупности

**Пример:** Добрыня, Илья и Алёна исследуют рост людей. Чья выборка репрезентативна?

- Добрыня опросил свою баскетбольную команду
- Илья опросил людей на остановке
- Алёна опросила всех своих подруг

# Репрезентативность

- Выборки позволяют сделать выводы о всей генеральной совокупности
- Чтобы выводы были корректными, выборка должны быть **репрезентативной**
- **Репрезентативная выборка** – отражает свойства генеральной совокупности

**Пример:** Добрыня, Илья и Алёна исследуют рост людей. Чья выборка репрезентативна?

**нет** • Добрыня опросил свою баскетбольную команду

**да** • Илья опросил людей на остановке

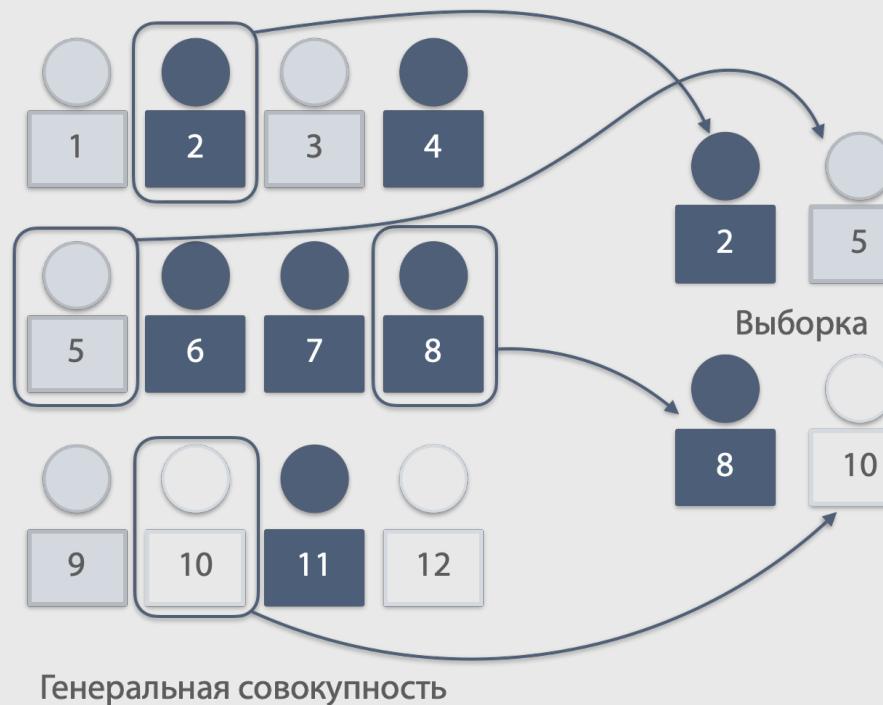
**нет** • Алёна опросила всех своих подруг

# Выборку бы, да репрезентативную бы

- Репрезентативность выборки определяет, насколько корректно делать выводы о всей генеральной совокупности, опираясь только на неё

# Выборку бы, да репрезентативную бы

- Репрезентативность выборки определяет, насколько корректно делать выводы о всей генеральной совокупности, опираясь только на неё
- Один из способов достижения репрезентативности: случайный отбор наблюдений



# Предпосылки

**Выборка:**  $X_1, X_2, \dots, X_n$

**Одно наблюдение:**  $X_i$

# Предпосылки

Выборка:  $X_1, X_2, \dots, X_n$

Размер выборки

Одно наблюдение:  $X_i$



# Предпосылки

Размер выборки

Выборка:  $X_1, X_2, \dots, X_n$

Одно наблюдение:  $X_i$

- Каждое наблюдение можно рассматривать как случайную величину, которая имеет такое же распределение, как и генеральная совокупность

# Предпосылки

Размер выборки

Выборка:  $X_1, X_2, \dots, X_n$

Одно наблюдение:  $X_i$

- Каждое наблюдение можно рассматривать как случайную величину, которая имеет такое же распределение как и генеральная совокупность

**Мы в дальнейшем будем всегда предполагать:**

- Наблюдения  $X_1, X_2, \dots, X_n$  независимы друг от друга
- Наблюдения имеют одинаковое распределение (как у генеральной совокупности)

**Краткая запись:**  $X_1, X_2, \dots, X_n \sim iid$

# Предпосылки

Размер выборки

Выборка:  $X_1, X_2, \dots, X_n$

Одно наблюдение:  $X_i$

- Каждое наблюдение можно рассматривать как случайную величину, которая имеет такое же распределение как и генеральная совокупность

**Мы в дальнейшем будем всегда предполагать:**

- Наблюдения  $X_1, X_2, \dots, X_n$  независимы друг от друга
- Наблюдения имеют одинаковое распределение (как у генеральной совокупности)

**Краткая запись:**  $X_1, X_2, \dots, X_n \sim iid$

► *iid* расшифровывается как *identically independently distributed* (независимы и одинаково распределены)

# Статистика

**Выборка:**  $X_1, X_2, \dots, X_n \sim iid$

**Статистика** – любая функция от наблюдений

**Примеры:** среднее, медиана, максимум и т.п.

# Статистика

**Выборка:**  $X_1, X_2, \dots, X_n \sim iid$

**Статистика** – любая функция от наблюдений

**Примеры:** среднее, медиана, максимум и т.п.



# Статистика

**Выборка:**  $X_1, X_2, \dots, X_n \sim iid$

**Статистика** – любая функция от наблюдений

**Примеры:** среднее, медиана, максимум и т.п.

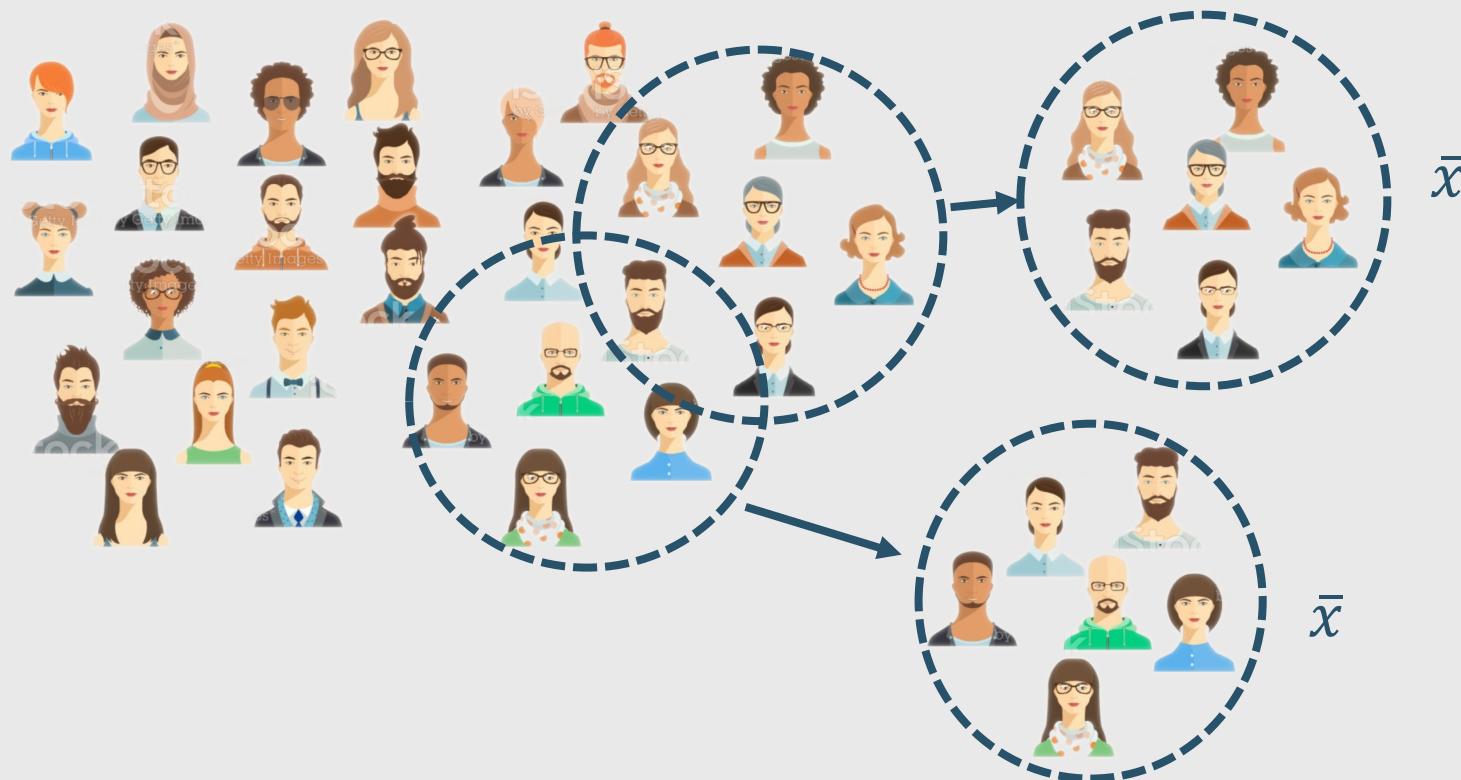


# Статистика

**Выборка:**  $X_1, X_2, \dots, X_n \sim iid$

**Статистика** – любая функция от наблюдений

**Примеры:** среднее, медиана, максимум и т.п.

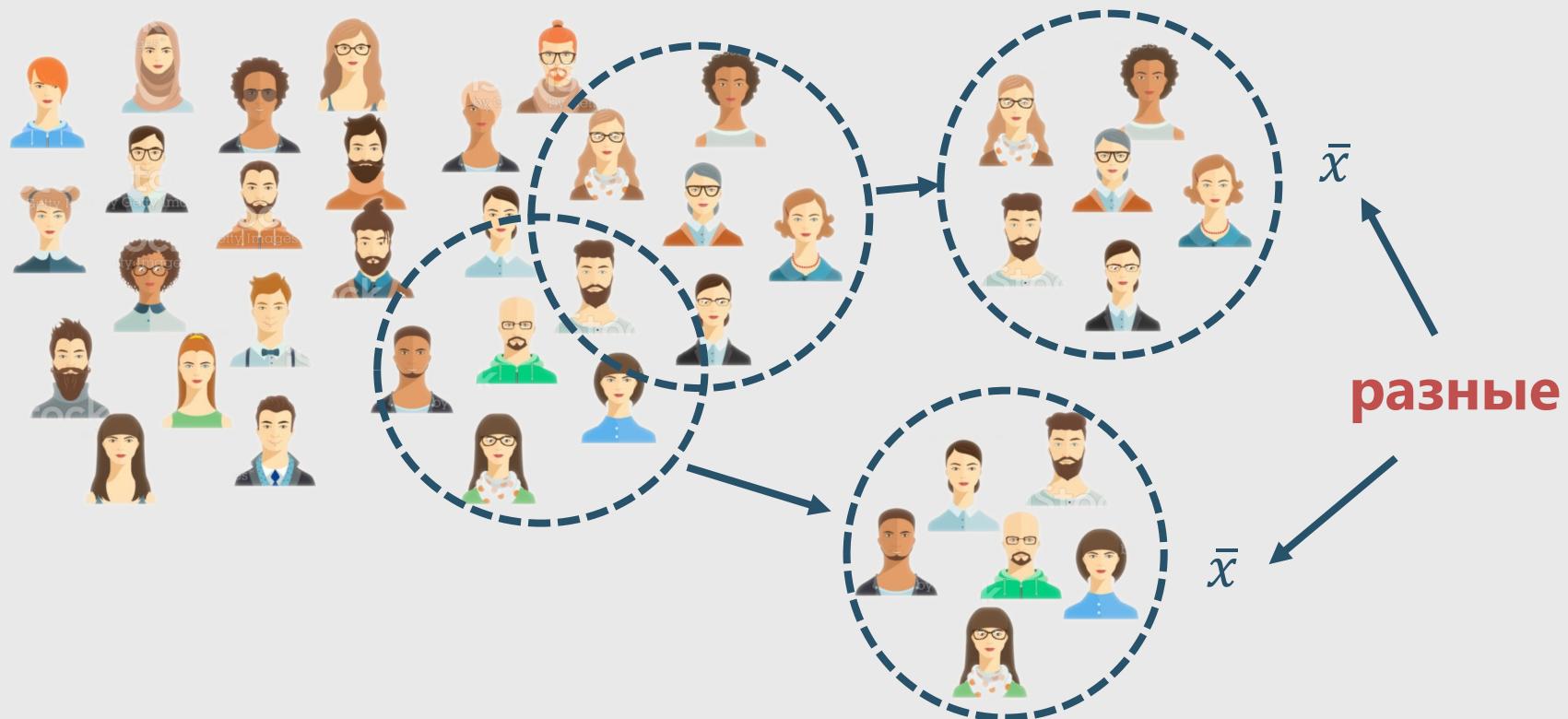


# Статистика

**Выборка:**  $X_1, X_2, \dots, X_n \sim iid$

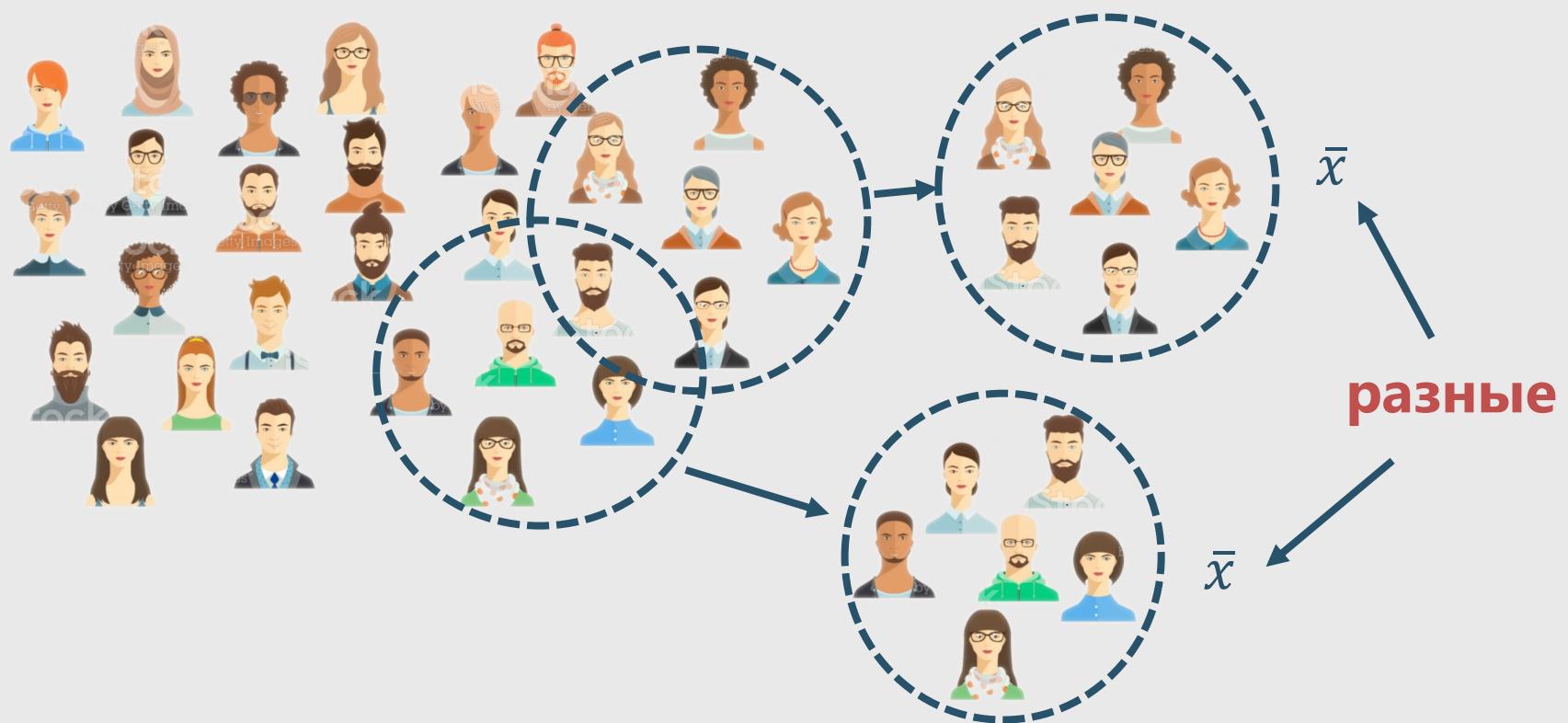
**Статистика** – любая функция от наблюдений

**Примеры:** среднее, медиана, максимум и т.п.



# Статистика

**Каждая статистика – случайная величина**, так как она вычисляется на основе случайной выборки, т.е. на основе других случайных величин



# Статистика

**Каждая статистика – случайная величина**, так как она вычисляется на основе случайной выборки, т.е. на основе других случайных величин

- ! Мы будем рассматривать любые статистики, посчитанные на основе выборки как случайные величины и изучать их свойства

# Выборка из сундука

	Название	Сборы	Год
0	Мстители: Война бесконечности (2018)	2048359754	2018
1	Черная Пантера (2018)	1346913161	2018
2	Мир Юрского периода 2 (2018)	1309484461	2018
3	Суперсемейка 2 (2018)	1242805359	2018

# Выборка из сундука

	Название	Сборы	Год
0	Мстители: Война бесконечности (2018)	2048359754	2018
1	Черная Пантера (2018)	1346913161	2018
2	Мир Юрского периода 2 (2018)	1309484461	2018
3	Суперсемейка 2 (2018)	1242805359	2018

- Строчка таблицы – наблюдение
- Столбец таблицы – переменная

# Какими бывают переменные

## Переменные

# Какими бывают переменные

## Переменные

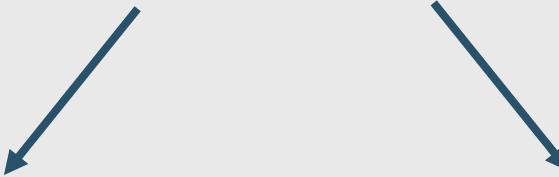


### Категориальные

Принимают значения из какого-то ограниченного множества: пол, цвет машины, страна сборки и т.п.

# Какими бывают переменные

## Переменные



### Категориальные

Принимают значения из какого-то ограниченного множества: пол, цвет машины, страна сборки и т.п.

### Непрерывные

Могут принимать бесконечное число значений: возраст, вес, цены, кассовые сборы и т.п.

# Какими бывают описательные статистики

## Описательные статистики

# Какими бывают описательные статистики

## Описательные статистики



### Меры центральной тенденции

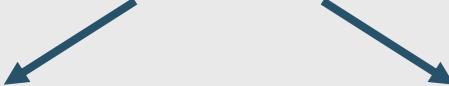
Отвечают на вопрос  
“а на что похожи  
типовыe наблюдения из  
выборки”

**Примеры:** среднее,  
мода, медиана

# Какими бывают описательные статистики

## Описательные

### статистики



### Меры центральной тенденции

Отвечают на вопрос  
“а на что похожи  
типовные наблюдения из  
выборки”

**Примеры:** среднее,  
мода, медиана

### Меры разброса

Отвечают на вопрос  
“а как сильно значения  
в выборке могут отличаться  
от типичных значений”

**Примеры:** дисперсия,  
стандартное отклонение,  
интерквантильный размах

# Среднее

Выборочный аналог математического ожидания, рассчитывается по формуле:

$$\bar{x} = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

# Среднее

Выборочный аналог математического ожидания, рассчитывается по формуле:

$$\bar{x} = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

**Пример:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3, x_5 = 0$

# Среднее

Выборочный аналог математического ожидания, рассчитывается по формуле:

$$\bar{x} = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

**Пример:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3, x_5 = 0$

$$\bar{x} = \frac{1 + 5 + (-4) + 3 + 0}{5} = 1$$

# Медиана

Чтобы найти медиану, данные нужно расположить в порядке возрастания. Медианой будет значение, которое оказалось в середине.

# Медиана

Чтобы найти медиану, данные нужно расположить в порядке возрастания. Медианой будет значение, которое оказалось в середине.

**Пример 1:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3, x_5 = 0$

# Медиана

Чтобы найти медиану, данные нужно расположить в порядке возрастания. Медианой будет значение, которое оказалось в середине.

**Пример 1:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3, x_5 = 0$

$-4, 0, 1, 3, 5$

# Медиана

Чтобы найти медиану, данные нужно расположить в порядке возрастания. Медианой будет значение, которое оказалось в середине.

**Пример 1:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3, x_5 = 0$

$$-4, 0, \textcolor{pink}{1}, 3, 5 \quad \Rightarrow \quad med = 1$$

# Медиана

Чтобы найти медиану, данные нужно расположить в порядке возрастания. Медианой будет значение, которое оказалось в середине.

**Пример 1:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3, x_5 = 0$

$$-4, 0, \textcolor{pink}{1}, 3, 5 \quad \Rightarrow \quad med = 1$$

Если число значений чётное, берётся среднее двух значений, которые «окружают» середину

**Пример 2:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3$

# Медиана

Чтобы найти медиану, данные нужно расположить в порядке возрастания. Медианой будет значение, которое оказалось в середине.

**Пример 1:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3, x_5 = 0$

$$-4, 0, \textcolor{pink}{1}, 3, 5 \quad \Rightarrow \quad med = 1$$

Если число значений чётное, берётся среднее двух значений, которые «окружают» середину

**Пример 2:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3$

$$-4, 1, 3, 5$$

# Медиана

Чтобы найти медиану, данные нужно расположить в порядке возрастания. Медианой будет значение, которое оказалось в середине.

**Пример 1:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3, x_5 = 0$

$$-4, 0, \textcolor{pink}{1}, 3, 5 \quad \Rightarrow \quad med = 1$$

Если число значений чётное, берётся среднее двух значений, которые «окружают» середину

**Пример 2:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3$

$$-4, \textcolor{pink}{1}, 3, 5$$

# Медиана

Чтобы найти медиану, данные нужно расположить в порядке возрастания. Медианой будет значение, которое оказалось в середине.

**Пример 1:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3, x_5 = 0$

$$-4, 0, 1, 3, 5 \Rightarrow med = 1$$

Если число значений чётное, берётся среднее двух значений, которые «окружают» середину

**Пример 2:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 3$

$$-4, 1, 3, 5 \Rightarrow med = \frac{1+3}{2} = 2$$

# Среднее и медиана

Среднее чувствительно к выбросам в данных,  
медиана не чувствительна

# Среднее и медиана

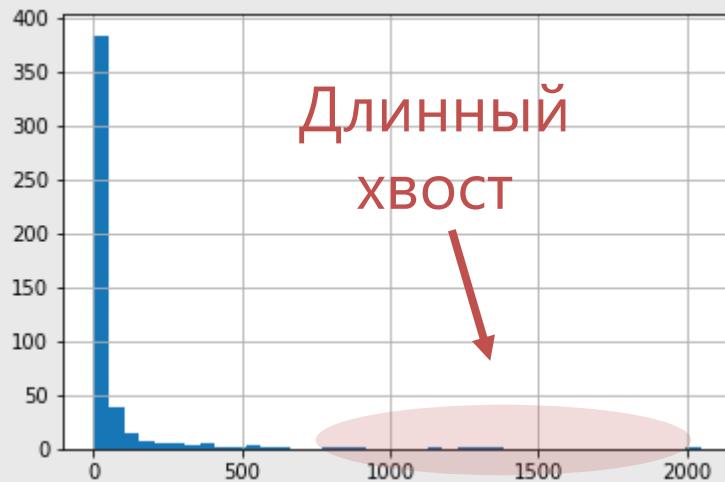
Среднее чувствительно к выбросам в данных,  
медиана не чувствительна

- Среднее и медиана отражают типичное значение
- Если в выборке нет выбросов, они примерно совпадают

# Среднее и медиана

Среднее чувствительно к выбросам в данных,  
медиана не чувствительна

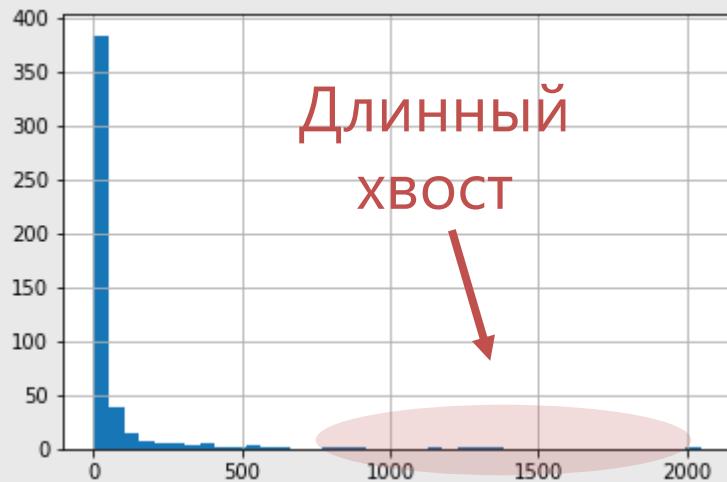
- Среднее и медиана отражают типичное значение
- Если в выборке нет выбросов, они примерно совпадают



# Среднее и медиана

Среднее чувствительно к выбросам в данных,  
медиана не чувствительна

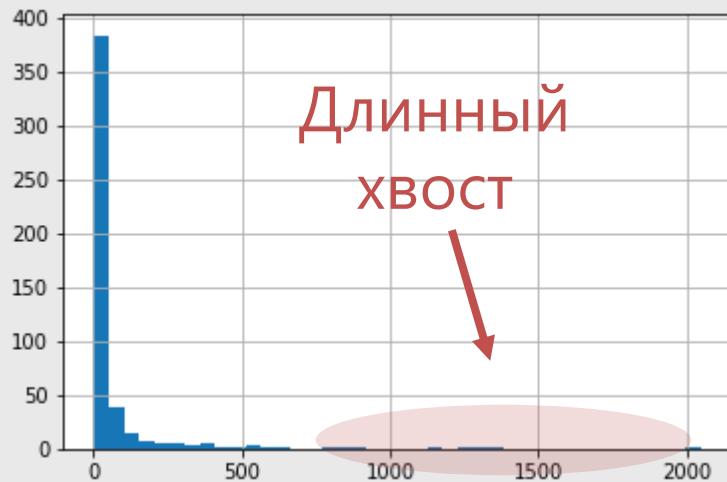
- Среднее и медиана отражают типичное значение
- Если в выборке нет выбросов, они примерно совпадают



# Среднее и медиана

Среднее чувствительно к выбросам в данных,  
медиана не чувствительна

- Среднее и медиана отражают типичное значение
- Если в выборке нет выбросов, они примерно совпадают



**Высокая зарплата сильно исказит среднее, но не медиану**

Вы	\$ 30000
Ваши коллеги	\$ 30000
Сын маминой подруги	\$ 430000
	Среднее: \$ 80000

# Выборочная дисперсия

- Хочется понимать, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

# Выборочная дисперсия

- Хочется понимать, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

**Алёна: 18 лет,**

**Карина: 22 года**

$$\bar{x} = \frac{18 + 22}{2} = 20$$

# Выборочная дисперсия

- Хочется понимать, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

Алёна: 18 лет,

Карина: 22 года

$$\bar{x} = \frac{18 + 22}{2} = 20$$

Отклонения от среднего:

$$x_1 - \bar{x} = 18 - 20 = -2$$

$$x_2 - \bar{x} = 22 - 20 = 2$$

# Выборочная дисперсия

- Хочется понимать, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

Алёна: 18 лет,

Карина: 22 года

$$\bar{x} = \frac{18 + 22}{2} = 20$$

Отклонения от среднего:

$$x_1 - \bar{x} = 18 - 20 = -2$$

$$x_2 - \bar{x} = 22 - 20 = 2$$

Среднее отклонение:  $\frac{-2 + 2}{2} = 0$

# Выборочная дисперсия

- Хочется понимать, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

Алёна: 18 лет,

Карина: 22 года

$$\bar{x} = \frac{18 + 22}{2} = 20$$

Отклонения от среднего:

$$x_1 - \bar{x} = 18 - 20 = -2$$

$$x_2 - \bar{x} = 22 - 20 = 2$$

Среднее отклонение:

$$\frac{-2 + 2}{2} = 0$$

⇒ в выборке нет  
неопределённости

# Выборочная дисперсия

- Хочется понимать, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

Алёна: 18 лет,

Карина: 22 года

$$\bar{x} = \frac{18 + 22}{2} = 20$$

Отклонения от среднего:

$$x_1 - \bar{x} = 18 - 20 = -2$$

$$x_2 - \bar{x} = 22 - 20 = 2$$

Среднее отклонение:

$$\frac{-2 + 2}{2} = 0$$

⇒ в выборке нет  
неопределённости



Как быть?

# Выборочная дисперсия

- Хочется понимать, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

Алёна: 18 лет,

Карина: 22 года

$$\bar{x} = \frac{18 + 22}{2} = 20$$

Отклонения от среднего:

$$x_1 - \bar{x} = 18 - 20 = -2$$
$$x_2 - \bar{x} = 22 - 20 = 2$$

Среднее отклонение:  $\frac{-2 + 2}{2} = 0$

Выход №1:  $\frac{|-2| + |2|}{2} = \frac{4}{2} = 2$

# Выборочная дисперсия

! Проблема меры, основанной на модуле в том, что она недифференцируема

Модуль неудобно использовать при теоретических выкладках

# Выборочная дисперсия

- Хочется понимать, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

Алёна: 18 лет,

Карина: 22 года

$$\bar{x} = \frac{18 + 22}{2} = 20$$

Отклонения от среднего:

$$x_1 - \bar{x} = 18 - 20 = -2$$
$$x_2 - \bar{x} = 22 - 20 = 2$$

Среднее отклонение:  $\frac{-2 + 2}{2} = 0$

Выход №2:  $\frac{(-2)^2 + 2^2}{2} = \frac{4 + 4}{2} = 4$

# Выборочная дисперсия



Для квадратичной функции  
всегда есть производная

Она обладает хорошими  
статистическими свойствами

Её удобно использовать  
для теоретических выкладок

# Выборочная дисперсия

- Это мера разброса. Показывает, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(X_1 - \bar{x})^2 + \dots + (X_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2$$

# Выборочная дисперсия

- Это мера разброса. Показывает, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(X_1 - \bar{x})^2 + \dots + (X_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2$$

**Пример:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 6 \quad \bar{x} = 2$

# Выборочная дисперсия

- Это мера разброса. Показывает, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(X_1 - \bar{x})^2 + \dots + (X_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2$$

**Пример:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 6 \quad \bar{x} = 2$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(1 - 2)^2 + (5 - 2)^2 + (-4 - 2)^2 + (6 - 2)^2}{4}$$

# Выборочная дисперсия

- Это мера разброса. Показывает, насколько сильно элементы выборки отклоняются от своего типичного значения

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(X_1 - \bar{x})^2 + \dots + (X_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2$$

**Пример:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 6 \quad \bar{x} = 2$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(1 - 2)^2 + (5 - 2)^2 + (-4 - 2)^2 + (6 - 2)^2}{4}$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1 + 9 + 36 + 16}{4} = 15.5$$

# Выборочная дисперсия

Удобнее искать дисперсию по более простой формуле:

$$\hat{\sigma}^2 = \bar{x^2} - \bar{x}^2$$

**Пример:**  $x_1 = 1, x_2 = 5, x_3 = -4, x_4 = 6 \quad \bar{x} = 2$

$$\bar{x^2} = \frac{1^2 + 5^2 + (-4)^2 + 6^2}{4} = 19.5$$

$$\hat{\sigma}^2 = 19.5 - 4 = 15.5$$

# Стандартное отклонение

- Дисперсия измеряется в квадратных величинах

# Стандартное отклонение

- Дисперсия измеряется в квадратных величинах
- Чтобы вернуться назад к исходным величинам, можно взять из неё квадратных корень

# Стандартное отклонение

- Дисперсия измеряется в квадратных величинах
- Чтобы вернуться назад к исходным величинам, можно взять из неё квадратный корень

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\hat{\sigma}^2}$$

**лет** =  $\sqrt{\text{лет в квадрате}}$

# Несмешённая выборочная дисперсия

- Обычно на практике используют другую формулу:

$$s^2 = \frac{(X_1 - \bar{x})^2 + \dots + (X_n - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2$$

# Несмешённая выборочная дисперсия

- Обычно на практике используют другую формулу:

$$s^2 = \frac{(X_1 - \bar{x})^2 + \dots + (X_n - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2$$

- Это несмешённая дисперсия

# Несмешённая выборочная дисперсия

- Обычно на практике используют другую формулу:

$$s^2 = \frac{(X_1 - \bar{x})^2 + \dots + (X_n - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2$$

- Это несмешённая дисперсия
- Что это значит, мы подробно обсудим в будущих неделях нашей специализации

# Перцентиль

**Перцентиль порядка  $k$**  – это такое число, что  $k\%$  выборки меньше этого числа

# Перцентиль

**Перцентиль порядка  $k$**  – это такое число, что  $k\%$  выборки меньше этого числа

- Перцентиль это выборочный аналог квантиля
- Проще всего вычислять его по упорядоченной выборке

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$$

# Перцентиль

**Перцентиль порядка  $k$**  – это такое число, что  $k\%$  выборки меньше этого числа

- Перцентиль это выборочный аналог квантиля
- Проще всего вычислять его по упорядоченной выборке

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$$

- Квартили – перцентили с шагом в 0.25:  
 $x_{(0.25 \cdot [n+1])}$      $x_{(0.5 \cdot [n+1])}$      $x_{(0.75 \cdot [n+1])}$

# Перцентиль

**Перцентиль порядка  $k$**  – это такое число, что  $k\%$  выборки меньше этого числа

- Перцентиль это выборочный аналог квантиля
- Проще всего вычислять его по упорядоченной выборке

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$$

- Квартили – перцентили с шагом в 0.25:  
 $x_{(0.25 \cdot [n+1])}$      $x_{(0.5 \cdot [n+1])}$      $x_{(0.75 \cdot [n+1])}$

**медиана**

# Перцентиль

**Перцентиль порядка  $k$**  – это такое число, что  $k\%$  выборки меньше этого числа

- Перцентиль это выборочный аналог квантиля
- Проще всего вычислять его по упорядоченной выборке

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$$

- Квартили – перцентили с шагом в 0.25:  
 $x_{(0.25 \cdot [n+1])}$      $x_{(0.5 \cdot [n+1])}$      $x_{(0.75 \cdot [n+1])}$

**медиана**

**Интерквантильный размах:**

$$IQR = x_{(0.75 \cdot [n+1])} - x_{(0.25 \cdot [n+1])}$$

# Перцентиль

Пример:

1, 5, 3, -1, -4, 3, 3, -10, 2, -1

-10, -4, -1, -1, 1, 2, 3, 3, 3, 5

упорядочили  
выборку

$$\Rightarrow med = \frac{1+2}{2} = 1.5$$

позиция медианы:

$$0.5 \cdot (10 + 1) = 5.5$$

# Перцентиль

Пример:

$1, 5, 3, -1, -4, 3, 3, -10, 2, -1$

$-10, -4, -1, -1, 1, 2, 3, 3, 3, 5$

упорядочили  
выборку

# Перцентиль

Пример:

1, 5, 3, -1, -4, 3, 3, -10, 2, -1

-10, -4, -1, -1, 1, 2, 3, 3, 3, 5

упорядочили  
выборку

позиция верхней квартили:  $0.75 \cdot (10 + 1) = 8.25$

# Перцентиль

Пример:

1, 5, 3, -1, -4, 3, 3, -10, 2, -1

-10, -4, -1, -1, 1, 2, 3, 3, 3, 5

упорядочили  
выборку

$$\Rightarrow \frac{-4+(-1)}{2} = -2.5$$

позиция верхней квартили:  $0.75 \cdot (10 + 1) = 8.25$

# Перцентиль

Пример:

1, 5, 3, -1, -4, 3, 3, -10, 2, -1

-10, -4, -1, -1, 1, 2, 3, 3, 3, 5

упорядочили  
выборку

$$\Rightarrow \frac{-4+(-1)}{2} = -2.5$$

**позиция верхней квартили:**  $0.75 \cdot (10 + 1) = 8.25$

- Перцентили в спорных случаях можно считать по-разному, каждая библиотека предоставляет разные варианты

# Перцентиль

Пример:

1, 5, 3, -1, -4, 3, 3, -10, 2, -1

-10, -4, -1, -1, 1, 2, 3, 3, 3, 5

$$\Rightarrow \frac{3 + 3}{2} = 3$$

упорядочили  
выборку

**позиция верхней квартили:**  $0.75 \cdot (10 + 1) = 8.25$

- Перцентили в спорных случаях можно считать по-разному, каждая библиотека предоставляет разные варианты

# Резюме

- Репрезентативная выборка – отражает свойства генеральной совокупность

# Резюме

- Репрезентативная выборка – отражает свойства генеральной совокупность
- Мы будем в дальнейшем предполагать, что все наблюдения, которые мы делаем, не зависят друг от друга

# Резюме

- Репрезентативная выборка – отражает свойства генеральной совокупность
- Мы будем в дальнейшем предполагать, что все наблюдения, которые мы делаем, не зависят друг от друга

Теоретическая величина	Выборочный аналог
Математическое ожидание	Выборочное среднее
Дисперсия	Выборочная дисперсия
Квантиль	Перцентиль
Медиана	Выборочная медиана
Мода	Выборочная мода

# **Гистограмма и эмпирическая функция распределения**

# Эмпирическая функция распределения

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x)$$

# Эмпирическая функция распределения

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x)$$

**Эмпирическая функция распределения** – функция, которая определяет для каждого  $x$  частоту события  $X \leq x$ , то есть

# Эмпирическая функция распределения

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x)$$

**Эмпирическая функция распределения** – функция, которая определяет для каждого  $x$  частоту события  $X \leq x$ , то есть

$$\hat{F}_n(x) = \widehat{\mathbb{P}}(X \leq x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [X_i \leq x],$$

# Эмпирическая функция распределения

**Функция распределения** – функция, которая определяет вероятность события  $X \leq x$ , то есть

$$F(x) = \mathbb{P}(X \leq x)$$

**Эмпирическая функция распределения** – функция, которая определяет для каждого  $x$  частоту события  $X \leq x$ , то есть

$$\hat{F}_n(x) = \widehat{\mathbb{P}}(X \leq x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [X_i \leq x],$$

где  $[ ]$  – индикаторная функция, то есть:

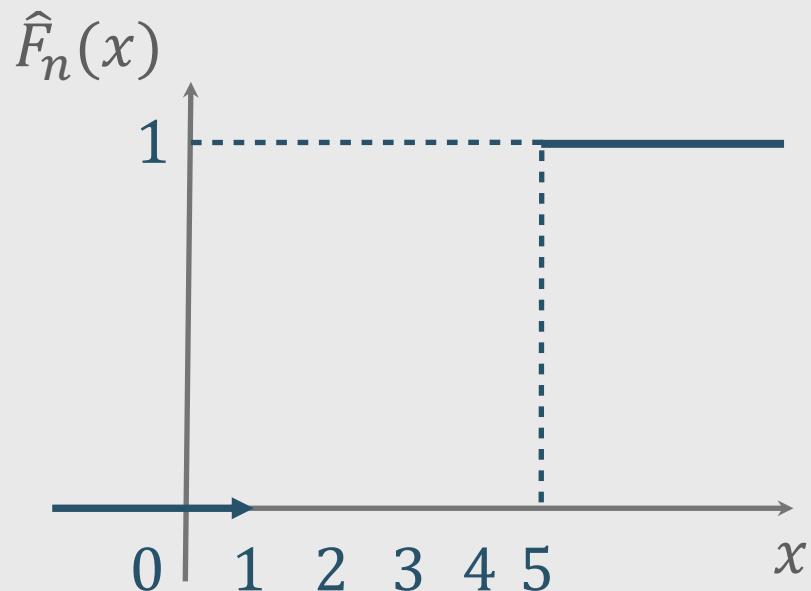
$$[X_i \leq x] = \begin{cases} 1, & X_i \leq x \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

# Эмпирическая функция распределения

**Пример:**  $x_1 = 2, x_2 = 5, x_3 = 2, x_4 = 3, x_5 = 1$

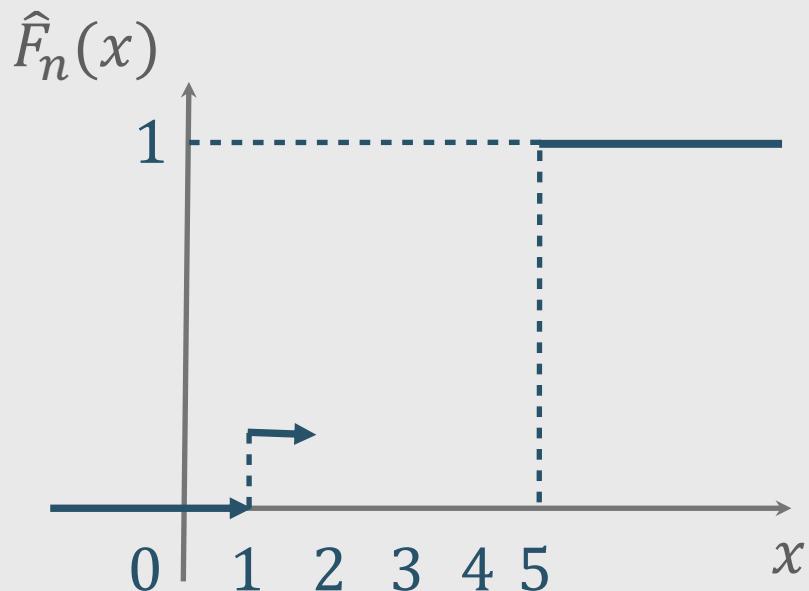
# Эмпирическая функция распределения

**Пример:**  $x_1 = 2, x_2 = 5, x_3 = 2, x_4 = 3, x_5 = 1$



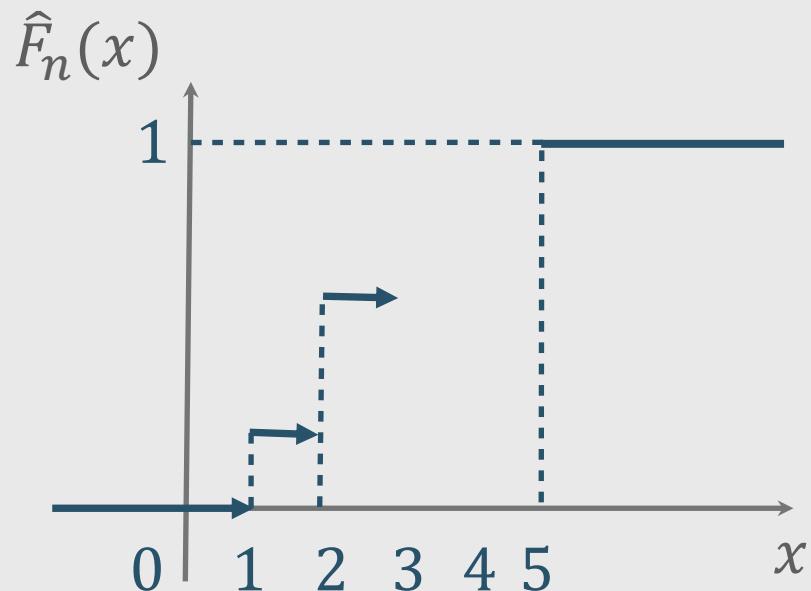
# Эмпирическая функция распределения

**Пример:**  $x_1 = 2, x_2 = 5, x_3 = 2, x_4 = 3, x_5 = 1$



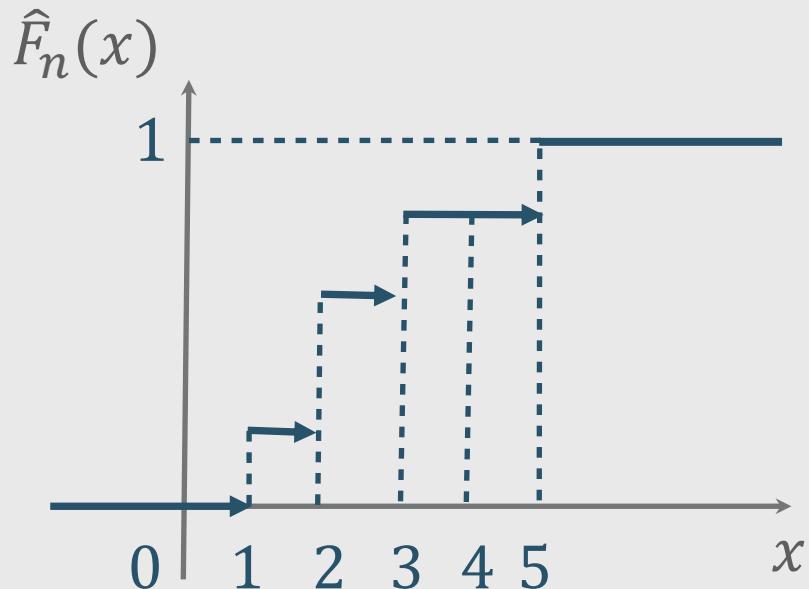
# Эмпирическая функция распределения

**Пример:**  $x_1 = 2, x_2 = 5, x_3 = 2, x_4 = 3, x_5 = 1$



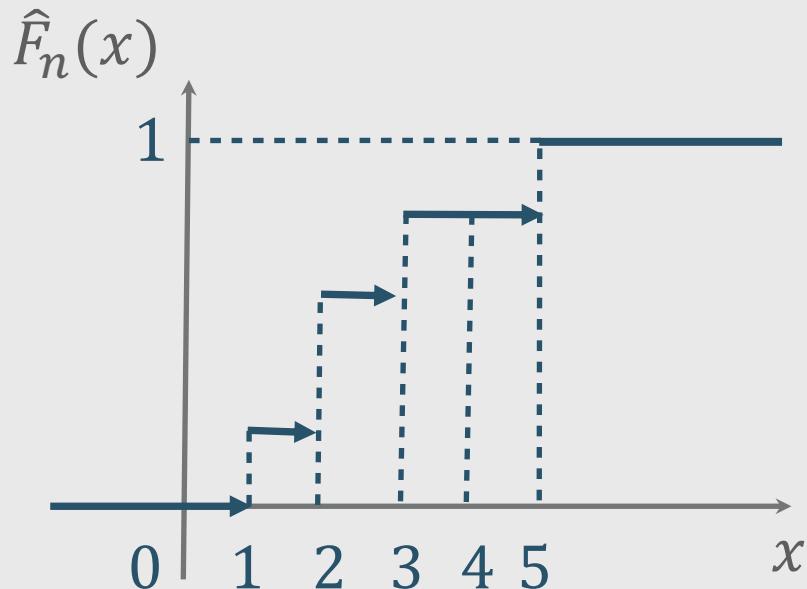
# Эмпирическая функция распределения

**Пример:**  $x_1 = 2, x_2 = 5, x_3 = 2, x_4 = 3, x_5 = 1$



# Эмпирическая функция распределения

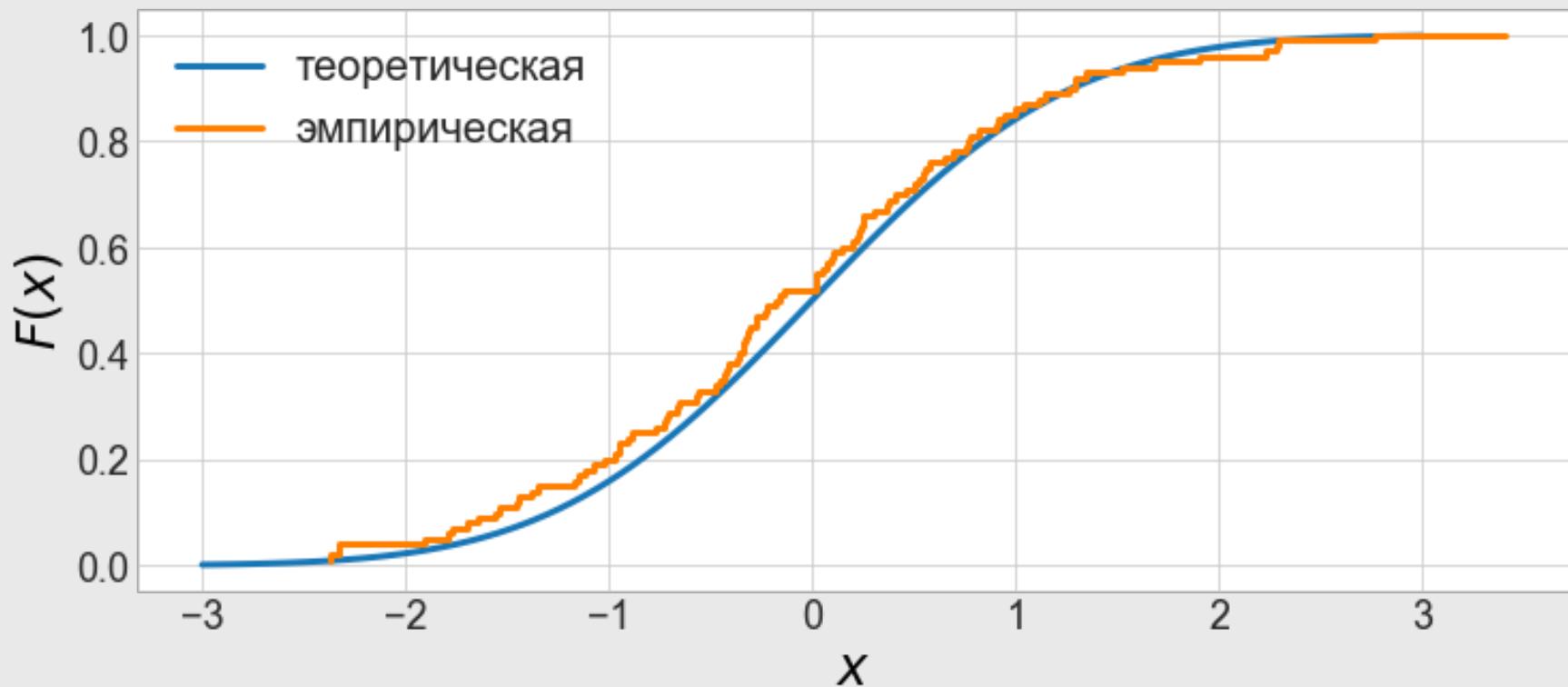
**Пример:**  $x_1 = 2, x_2 = 5, x_3 = 2, x_4 = 3, x_5 = 1$



По аналогии строится  
теоретическая функция  
распределения для  
дискретных случайных  
величин

# Эмпирическая функция распределения

Чем больше выборка, тем чаще ступеньки и тем больше эмпирическая функция распределения похожа на теоретическую.



# Гистограмма

**Гистограмма** – эмпирическая оценка плотности распределения. По оси  $x$  откладывают значения, по оси  $y$  частоты.

# Гистограмма

**Гистограмма** – эмпирическая оценка плотности распределения. По оси  $x$  откладывают значения, по оси  $y$  частоты.

Область возможных значений обычно дробят на отрезки, **бины**. Чем короче бины, тем детальнее рисуется гистограмма.

# Гистограмма

**Гистограмма** – эмпирическая оценка плотности распределения. По оси  $x$  откладывают значения, по оси  $y$  частоты.

Область возможных значений обычно дробят на отрезки, **бины**. Чем короче бины, тем детальнее рисуется гистограмма.

Сколько значений попали в текущий отрезок (бин)

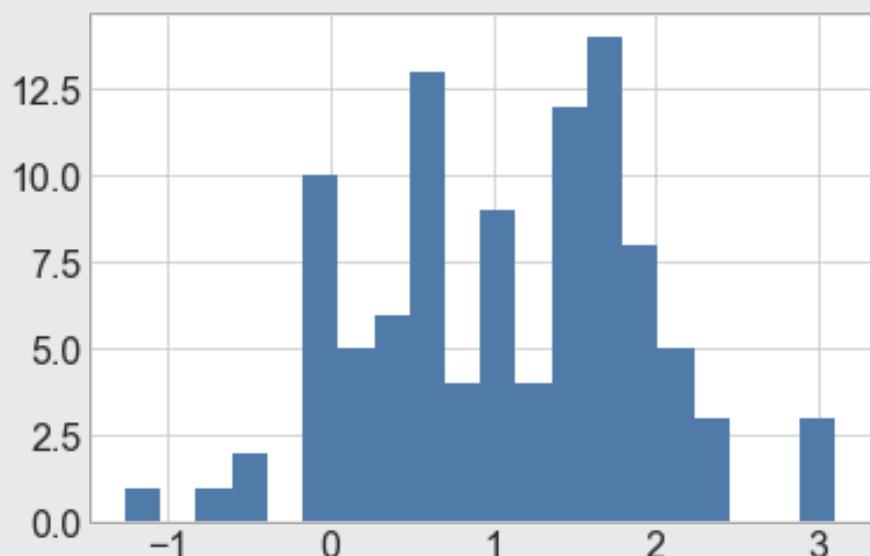


# Гистограмма

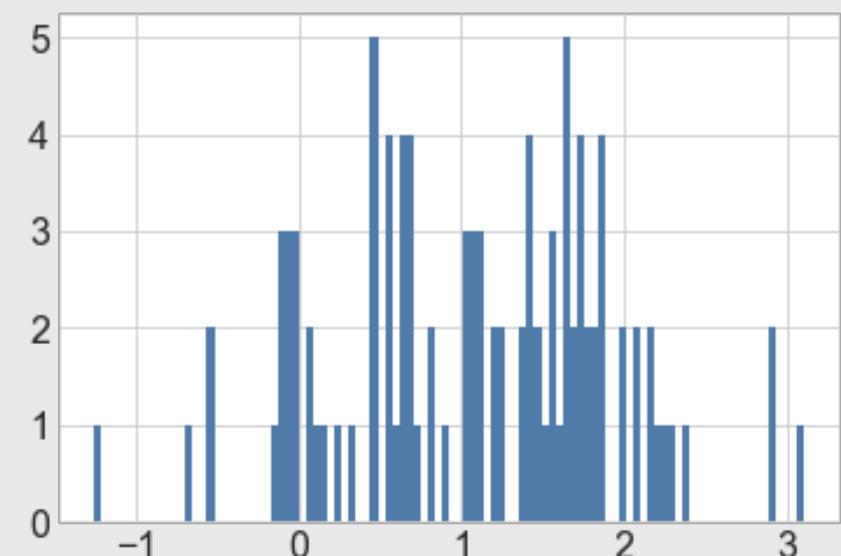
- Чем короче бины, тем чувствительнее гистограмма к шуму

# Гистограмма

- Чем короче бины, тем чувствительнее гистограмма к шуму
- Выборка объёма 100 из нормального распределения



**20 бинов**



**100 бинов**

# Гистограмма

- По гистограмме можно попытаться оценить плотность распределения случайной величины

# Гистограмма

- По гистограмме можно попытаться оценить плотность распределения случайной величины
- Позже мы подробнее поговорим про методы, которые позволяют это сделать, ядерное сглаживание (kernel density estimation)

