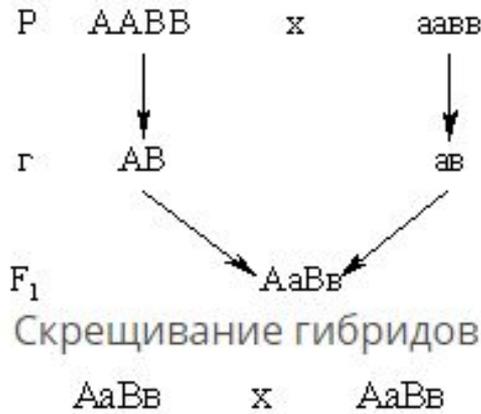


# **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ**

**Повторение  
и еще пара примеров:  
множественные аллели  
и признаки, за которые  
отвечает не один ген,  
а два или больше**

# Дигибридное скрещивание (гибридизация по двум генам)



Решётка Пеннета при дигибридном скрещивании

		Ж е н с к и е			
		Гаметы	$AB$	$Ab$	$aB$
М У Ж С К И Е	$AB$	$AABB$	$AABb$	$AaBB$	$AaBb$
	$Ab$	$AABb$	$AAbb$	$AaBb$	$Aabb$
	$aB$	$AaBB$	$AaBb$	$aaBB$	$aaBb$
	$ab$	$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$
	Гаметы				

- 9 комбинаций  $A-B-$ ,
- 3 комбинации  $A-bb$ ,
- 3 комбинации  $aaB-$ ,
- 1 комбинация  $aabb$ .

# Трибридное скрещивание (гибридизация по трем генам)

$AaBbCc \times AaBbCc$

♀ \ ♂	ABC	AbC	ABc	aBC	abC	aBc	Abc	abc
ABC	AABBCC	AABbCC	AABBCc	AaBBCC	AaBbCC	AaBBCC	AABbCc	AaBbCc
AbC	AABbCC	<b>AAbbCC</b>	AABbCc	AaBbCC	<b>AabbCC</b>	AaBbCc	<b>AabbCc</b>	<b>AabbCc</b>
ABc	AABBCc	AABbCc	<b>AABBcc</b>	AaBBCc	AaBbCc	<b>AaBBcc</b>	<b>AABbcc</b>	<b>AaBbcc</b>
aBC	AaBBCC	AaBbCC	AaBBCc	<b>aaBBCC</b>	<b>aaBbCC</b>	<b>aaBBCC</b>	AaBbCc	<b>aaBbCc</b>
abC	AaBbCC	<b>AabbCC</b>	AaBbCc	<b>aaBbCC</b>	<b>aabbCC</b>	<b>aaBbCc</b>	<b>AabbCc</b>	<b>aabbCc</b>
aBc	AaBBCC	AaBbCc	AaBBcc	<b>aaBBCC</b>	<b>aaBbCc</b>	<b>aaBBcc</b>	<b>AaBbcc</b>	<b>aaBbcc</b>
Abc	AABbCc	<b>AAbbCc</b>	<b>AABbcc</b>	AaBbCc	<b>AabbCc</b>	<b>AaBbcc</b>	<b>Aabbcc</b>	<b>Aabbcc</b>
abc	AaBbCc	<b>AabbCc</b>						

Это, конечно,  
только самые простые  
случаи скрещиваний.

Реально в природе  
постоянно скрещиваются  
организмы с разными  
аллелями по тысячам и  
десяткам тысяч генов.

# Абиссинские кошки

- Ген В отвечает за цвет животного:  
**коричневый (В) / рыжий (b),**
- ген D (ген осветления) – за плотность окраса:  
**«плотный» (D) / «осветленный» (d)** (укладывает гранулы пигмента в волосе иначе – на некотором расстоянии друг от друга)



Коричневый  
**В\_ D\_**



Рыжий  
(соррель)  
**bbD\_**



Голубой  
(осветленный  
коричневый)  
**В\_ dd**



Фавн  
(осветленный  
рыжий)  
**bbdd**

# Окраска волнистых попугайчиков

желтый x синий



все зеленые



9/16



3/16

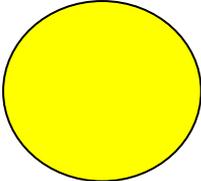
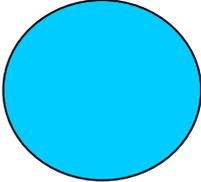
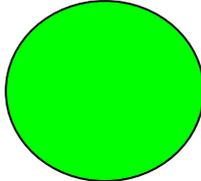
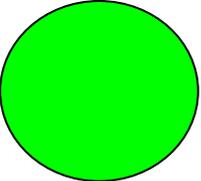
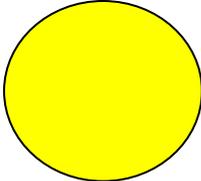
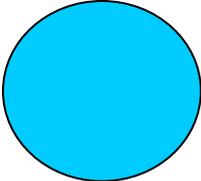
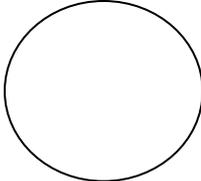


3/16

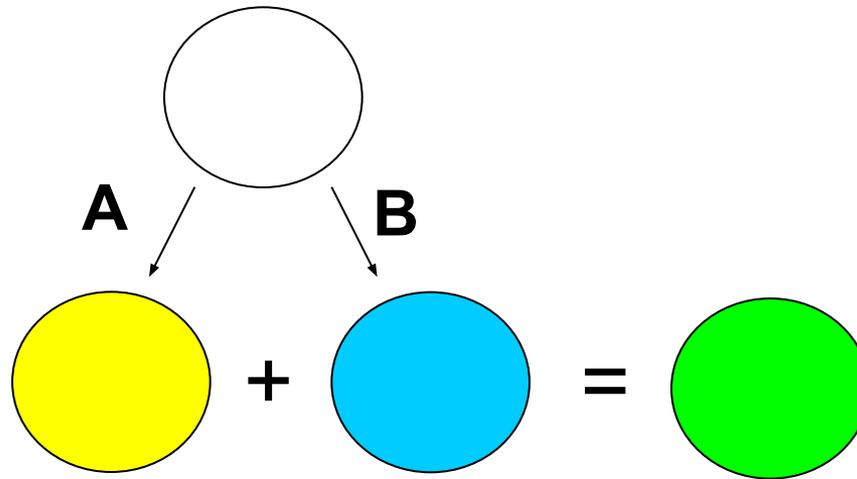


1/16

# За окраску отвечают два гена

-   $AAbb$  x  $aaBB$  
- желтые x синие
- $AaBb$  x  $AaBb$
- все  зеленые
- $A-B-$   $A-bb$   $aaB-$   $aabb$
- $9/16$   $3/16$   $3/16$   $1/16$
-    

# Схема взаимодействия этих генов



- Ген A кодирует фермент, катализирующий синтез желтого пигмента, а ген B кодирует фермент, катализирующий синтез синего пигмента. Когда есть оба пигмента, окраска получается зеленая (эффект нашего восприятия: смешение желтого и синего дает зеленый).

# На самом деле окраска разнообразнее



Почему?



Потому что за нее на самом деле отвечает больше генов!

Почему многие признаки  
в природе имеют  
**НОРМАЛЬНОЕ**  
распределение

# Гаусс и Лаплас

Независимо открыли и описали широко распространенное в природе НОРМАЛЬНОЕ распределение.



**Carl Friedrich GAUß**  
(1777–1855)



**Pierre-Simon LAPLACE**  
(1749–1827)

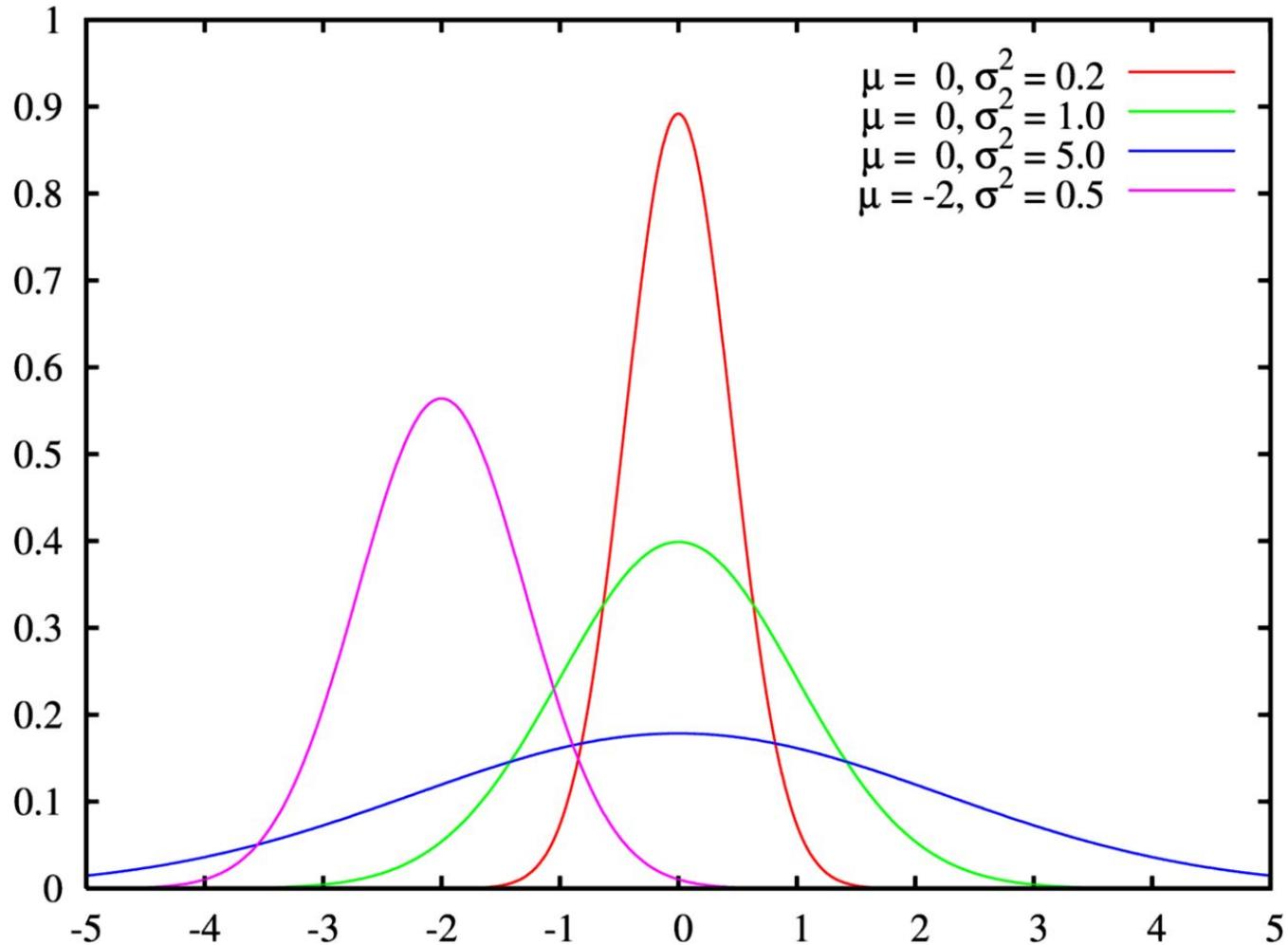
**НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ**, также называемое **распределением Гаусса** или **Гаусса — Лапласа** — распределение вероятностей, которое в одномерном случае задаётся функцией плотности вероятности, совпадающей с функцией Гаусса:

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

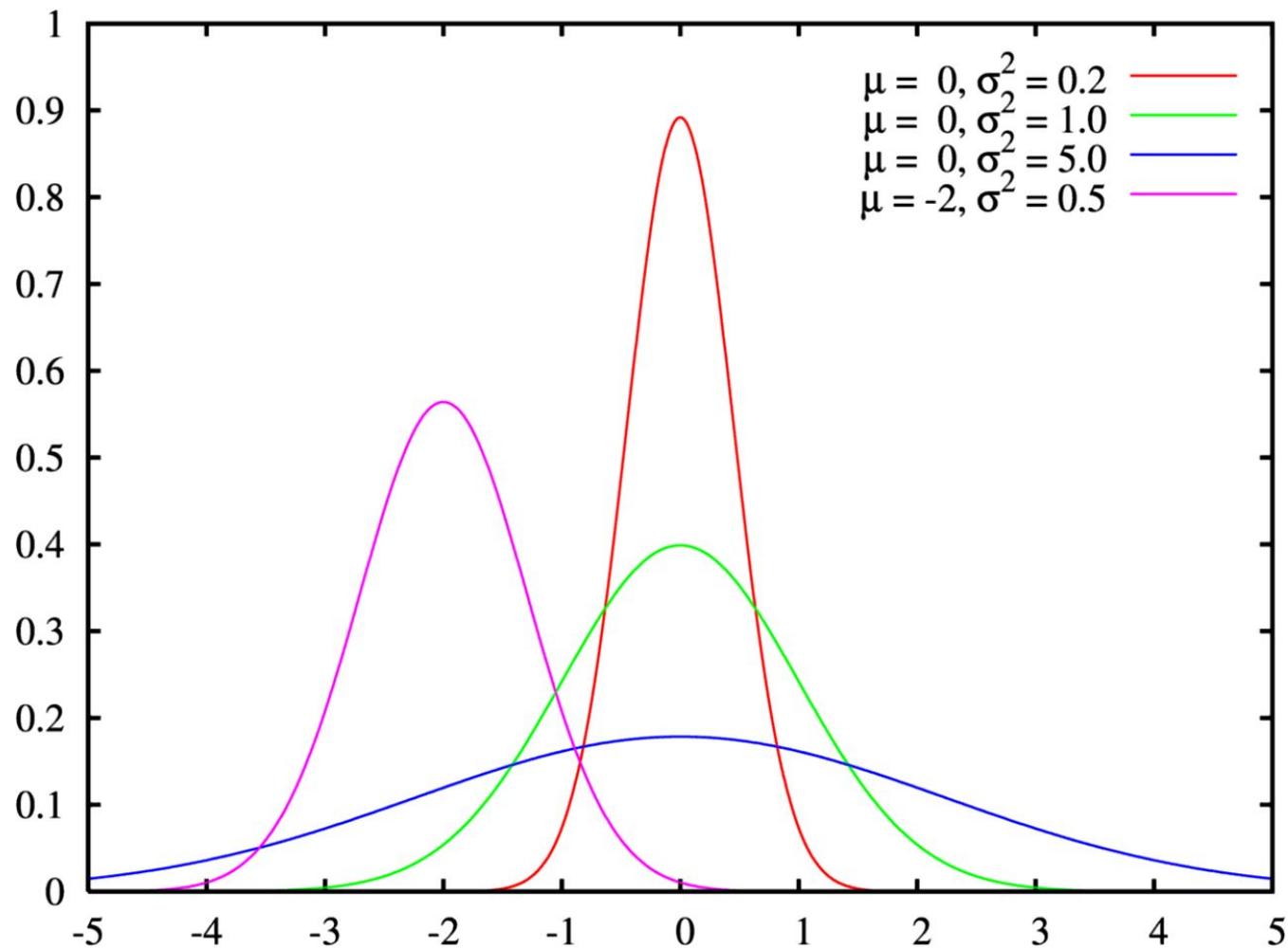
где параметр  $\mu$  — одновременно **математическое ожидание** (среднее арифметическое), **медиана** (значение посередине распределения) и **мода** (самое частое значение) распределения, а параметр  $\sigma$  — **среднеквадратическое отклонение** ( $\sigma^2$  — дисперсия, т.е. средний квадрат отклонения от среднего арифметического) распределения.

# Графики нормальных распределений

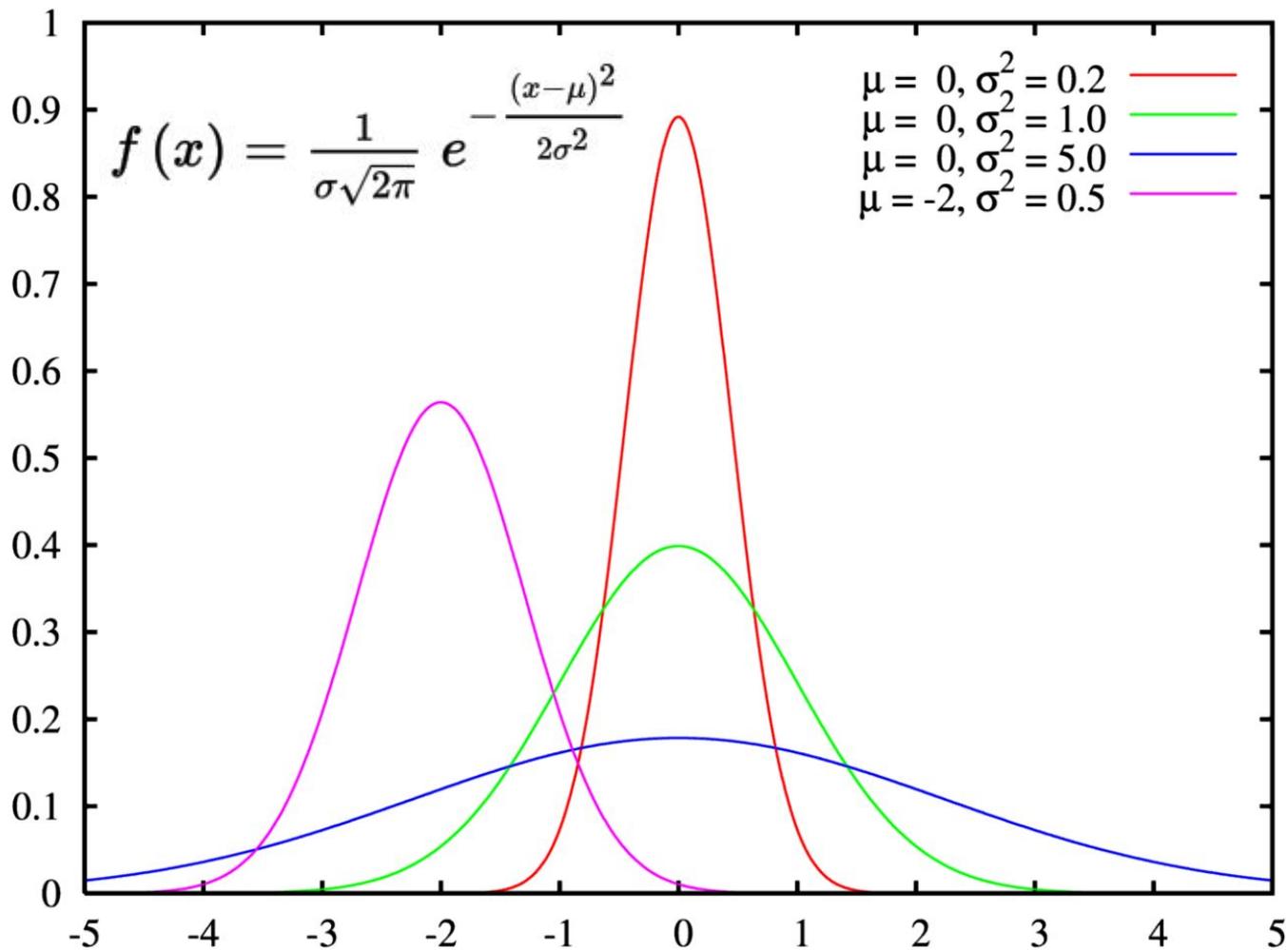
(по оси абсцисс значение признака, по оси ординат плотность вероятности, т.е. относительная вероятность события [относительно других событий])



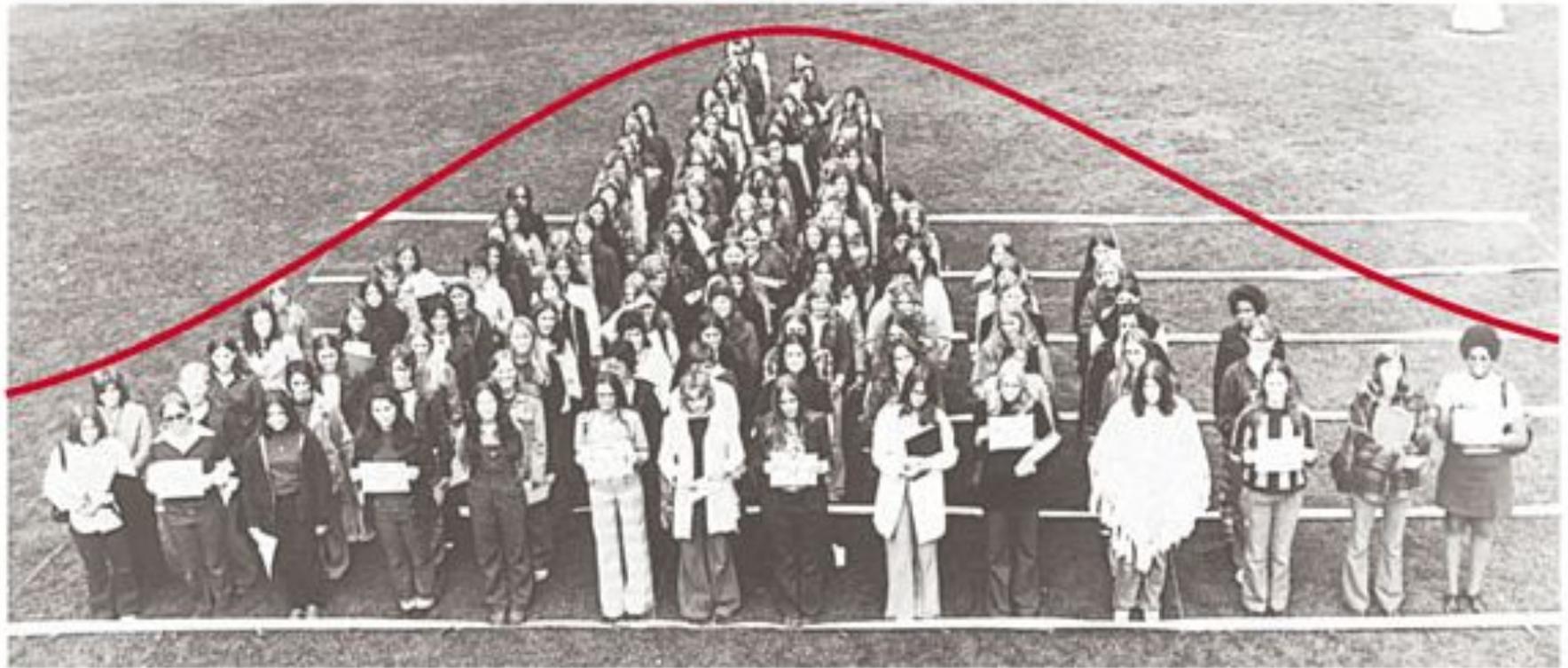
Кривую такой формы называют **ГАУССИАНА**



И это график **Гауссовой функции** (т.е. как раз такой функции, которой соответствует **зависимость плотности вероятности нормального распределения от значения признака**).



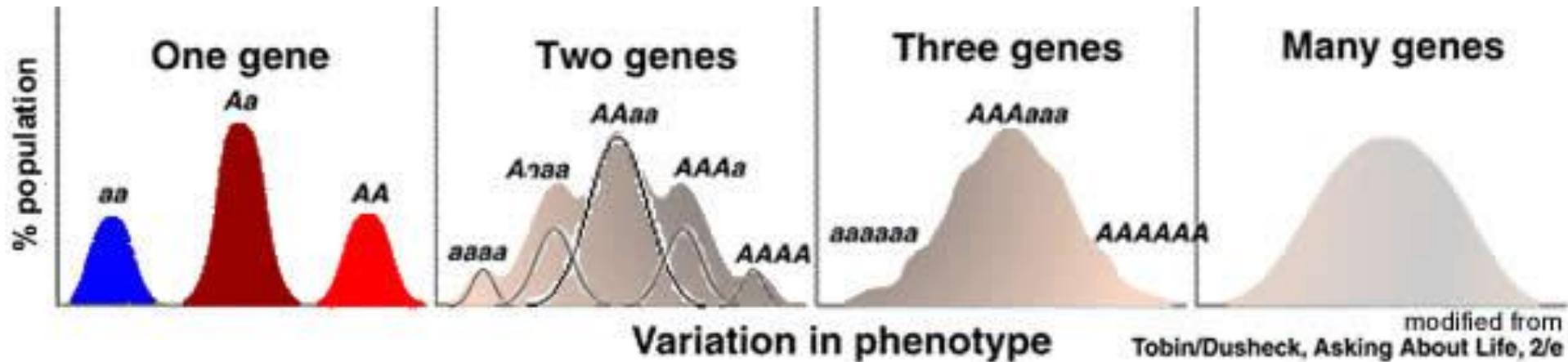
Number of individuals



Height in inches

**Значения очень многих признаков в популяции часто распределены нормально (так бывает, когда признак определяется большим числом малых независимых факторов, например определяется многими генами).**

Если генов, отвечающих за признак, мало, распределение будет далеким от нормального, но если их много, оно будет приближаться к нормальному.



**Еще один пример  
нормального распределения:  
цвет кожи у человека**

# **Еще один пример нормального распределения: цвет кожи у человека**

Цвет кожи зависит от нескольких генов  
с КУМУЛЯТИВНЫМ (суммирующимся) эффектом.

# **Еще один пример нормального распределения: цвет кожи у человека**

Цвет кожи зависит от нескольких генов с КУМУЛЯТИВНЫМ (суммирующимся) эффектом.

Чем больше доминантных аллелей,  
тем темнее кожа.

# Еще один пример нормального распределения: цвет кожи у человека

Цвет кожи зависит от нескольких генов с КУМУЛЯТИВНЫМ (суммирующимся) эффектом.

Чем больше доминантных аллелей,  
тем темнее кожа.

Поэтому у двух смуглых людей  
может родиться очень светлокожий ребенок,  
но случается это крайне редко  
(такие дети оказываются на одном  
из краев гауссианы потомства  
двух смуглых людей).

**Иногда (очень редко) может получиться и так**

- **Разнояйцевые близнецы: несут разный набор генов и могут быть так же мало похожи друг на друга, как обычные братья и сестры.**



В прошлый раз я вас  
задержал и в этот раз  
обещал отпустить пораньше,  
что и делаю.

На сегодня всё.

Через неделю поговорим о том,  
как гены включаются и  
выключаются.