

# Биофизика цветного зрения



# Феноменология цветовосприятия



- Зрительный мир человека с нормальным цветовым зрением чрезвычайно насыщен **цветовыми оттенками**. Человек может различать примерно 7 миллионов различных **цветовых оттенков** .

**хроматические и  
ахроматические  
оттенки.**



# Хроматические оттенки

A close-up photograph of a woman's eye, heavily made up with vibrant pink and purple eyeshadow and long, dark eyelashes. The eye itself is a light, shimmering color. The background is a soft, out-of-focus mix of warm tones.

- Окраска поверхности предметов и характеризуемая тремя качествами:

- **1) Светлота** - признак “светлота” заменяется на “освещенность” (яркость). Монохроматические световые стимулы с одинаковой энергией, но разной длиной волны вызывающие различное ощущение яркости.
- **2) Насыщенностью** -определяется тем, каково в цвете содержание белого или черного.
- **3) Цветовой тон** - может быть изображен как цветовой круг, на котором задана последовательность : красный, желтый, зеленый, голубой и снова красный.



# Ахроматические оттенки

- Образуют последовательность от самого яркого белого к глубокому черному, который соответствует ощущению черного (серая фигура на белом фоне кажется темнее, чем та самая фигура на темном ).

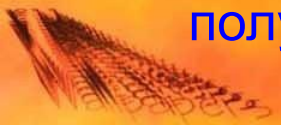
# Законы цветосприятия

- 1) Воспринимаемые цвета переходят один в другой плавно, без скачка.
- 2) Каждая точка в цветовом теле может быть точно определена тремя переменными.
- 3) В структуре цветового тела имеются полюсные точки - такие дополнительные цвета, как черный и белый, зеленый и красный, голубой и желтый, расположены на противоположных сторонах сферы.



# Аддитивное смешение цветов

- производится тогда, когда световые лучи с разной длиной волны падают на одну и ту же точку сетчатки.
- “уравнения смешения цветов”:
  - $a$  (красный, 671) +  $b$  (зеленый, 546) =  $c$  (желтый, 589)
- $a$ ,  $b$ ,  $c$  - коэффициенты освещенности
- Человек с нормальным цветовым зрением для красной составляющей коэффициент должен быть равным 40, а для зеленой 33 относительным единицам (если за 100 ед. взять освещенность для желтого). Если взять два монохроматических световых стимула, один в диапазоне от 430 до 555 нм, а другой в диапазоне от 492 до 660 нм, и смешать то цветовой тон смеси будет либо белым, либо соответствовать чистому цвету с длиной волны между длинами волн смешиваемых цветов. если длина волны одного превышает 660, а другого - не достигает 430 нм, то получаются **пурпурные цветовые тона**, которых в спектре нет.

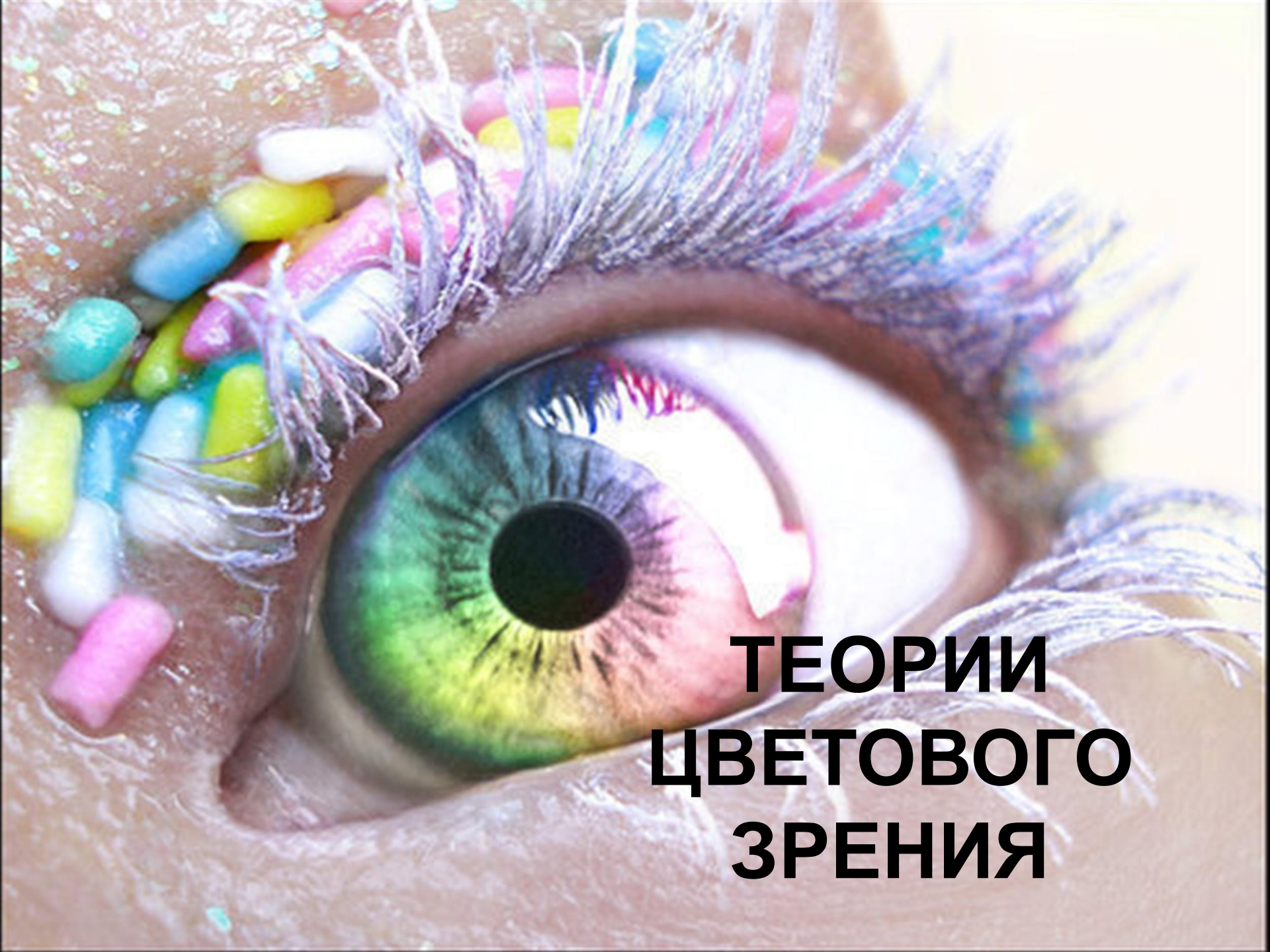




# Субтрактивное смешение цветов.

- Это чисто физический процесс. Если белый цвет пропустить через два фильтра с широкой полосой пропускания - сначала через **желтый**, а затем через **голубой**, - то получившаяся в результате субтрактивная смесь будет иметь **зеленый** цвет, поскольку световые лучи только **зеленого** цвета могут пройти через оба фильтра. Художник, смешивая краски, производит субтрактивное смешение цветов, поскольку отдельные гранулы красок действуют как цветные фильтры с широкой полосой пропускания.





# ТЕОРИИ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ



# Трехкомпонентная теория цветового зрения

- Цветовое зрение основано на 3-х независимых процессах. В трехкомпонентной теории цветового зрения предложено наличие **трех различных типов колбочек**. Комбинации получаемых от рецепторов сигналов обрабатываются в нейронных системах восприятия яркости и цвета. Правильность данной теории подтверждается законами смешения цветов, а также многими психофизиологическими факторами. Например, на нижней границе фотопической чувствительности в спектре могут различаться только три составляющие - **красный**, **зеленый** и **синий**.

# Зонная теория

- В зонной теории, предложенной 80 лет назад, была сделана попытка объединения этих двух конкурирующих теорий. Она показывает, что трехкомпонентная теория пригодна для описания функционирования уровня рецепторов, а оппонентная теория - для описания нейронных систем более высокого уровня зрительной системы.



# Аномалии цветового зрения

- **Аномалиями** обычно называют нарушения цветовосприятия. Они передаются по наследству. Лица с цветовой аномалией все являются трихроматами, т.е. им, как и людям с нормальным цветовым зрением, для полного описания видимого цвета необходимо использовать три основных цвета. Однако аномалы хуже различают некоторые цвета, чем трихроматы с нормальным зрением, а в тестах на сопоставление цветов они используют красный и зеленый цвет в других пропорциях.

... shape of my heart ...



# Дихроматы

- Дихроматы могут описывать все цвета, которые видят, только с помощью двух чистых цветов. У них нарушена работа красно-зеленого канала. Сине-фиолетовый конец спектра кажется им ахроматическим - как переход от серого к черному.



# Полная цветовая слепота

- Менее 0,01% всех людей страдают полной цветовой слепотой. Эти монохроматы видят окружающий мир как черно-белый фильм, различают только градации серого. Из-за того, что глаза монохроматов легко ослепляются, они плохо различают форму при дневном свете, что вызывает *фотофобию*. Поэтому они носят темные солнцезащитные очки даже при нормальном дневном освещении. В сетчатке монохроматов при исследовании обычно не находят никаких аномалий.

# Нарушения палочкового аппарата

- Люди с аномалиями палочкового аппарата воспринимают цвет нормально, но они плохо адаптируются к темноте. Причиной такой “ночной слепоты”, или **никталопии**, может быть недостаточное содержание витамина А1.



# Диагностика нарушений цветового зрения

- нарушения цветового зрения наследуются как признак, сцепленный с X-хромосомой, они чаще встречаются у мужчин, чем у женщин. Частота протаномалии у мужчин составляет примерно 0,9%, протанопии - 1,1%, дейтераномалии 3-4% и дейтеранопии - 1,5%.. У женщин дейтераномалия встречается с частотой 0,3%, а протаномалии - 0,5%.