

# Теория света и цвета. Методы представления графической информации

Быковских Дмитрий Александрович

09.11.2024

## └ Содержание

2024-12-16

## Содержание

- Теория света
- Теория цвета

# Теория света

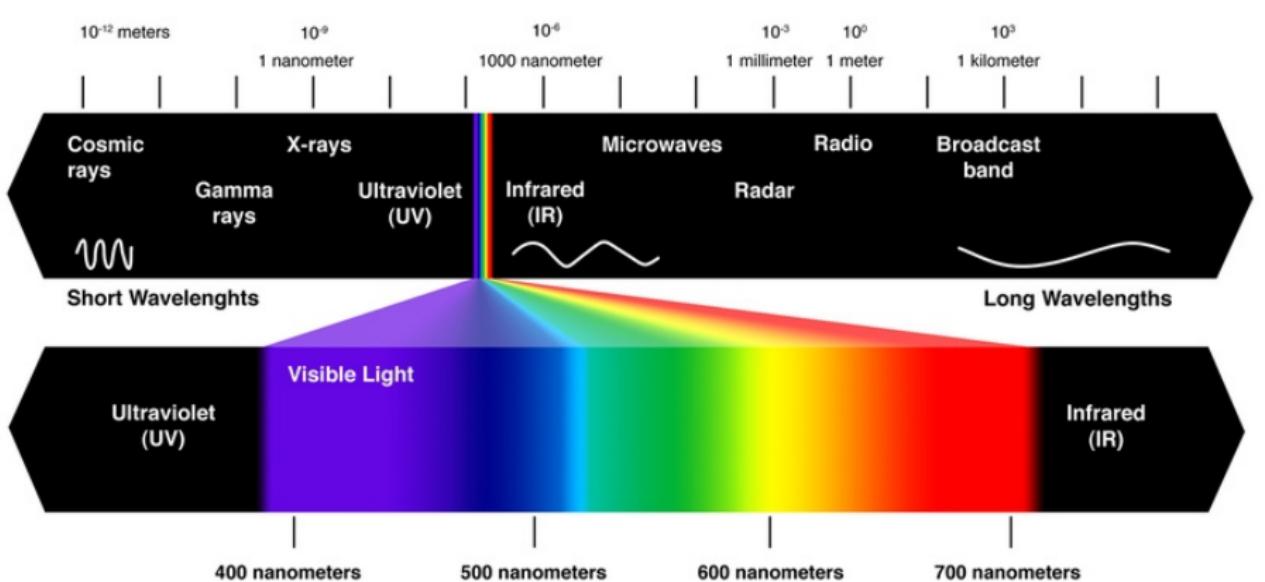
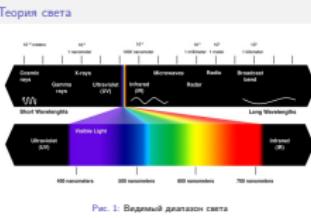


Рис. 1: Видимый диапазон света

## Теория света и цвета

2024-12-16

### Теория света



Свет — это электромагнитные (ЭМ) волны.

Цвет характеризуется тремя величинами:

Тон — это разные цвета (разные длины волн): синий, красный, зелёный.

Насыщенность: розовый — это ненасыщенный красный.

Светлота: розовый — это светло-красный, а бордовый — тёмно-красный.

Зеленый цвет находится по середине, поэтому лучше всего воспринимает человеческое зрение.

Дополнительные термины:

Гамут — охват цвета.

Гамма — охват яркости.

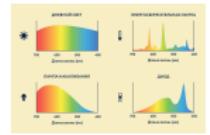


Рис. 2: Спектральное распределение излучения различных источников света

2024-12-16

## Спектральное распределение излучения

Оттенки серого (в диапазоне белый — чёрный) носят парадоксальное название ахроматических, т.е. бесцветных цветов. Парадокс разрешается, когда становится ясно, что под «отсутствием цвета» здесь понимается, естественно, не отсутствие цвета как такового, а отсутствие цветового тона, конкретного оттенка спектра. Наиболее ярким ахроматическим цветом является белый, наиболее тёмным — чёрный.

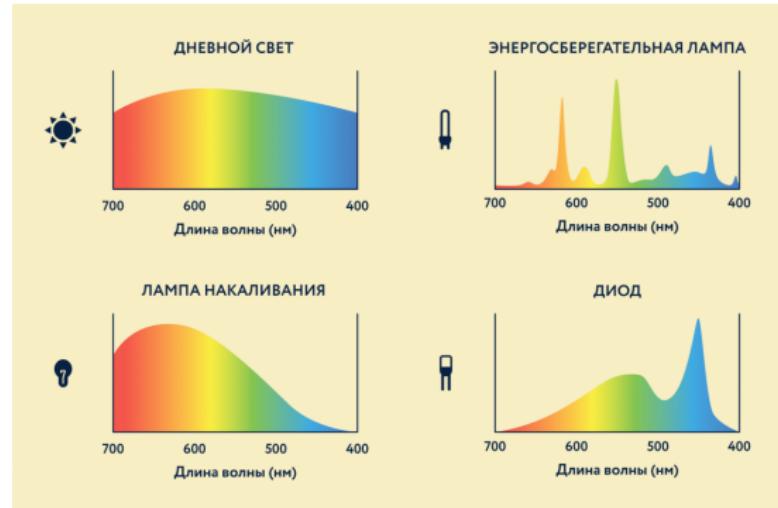
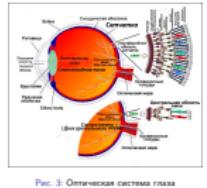


Рис. 2: Спектральное распределение излучения различных источников света



## Теория света и цвета

2024-12-16

### Строение человеческого глаза

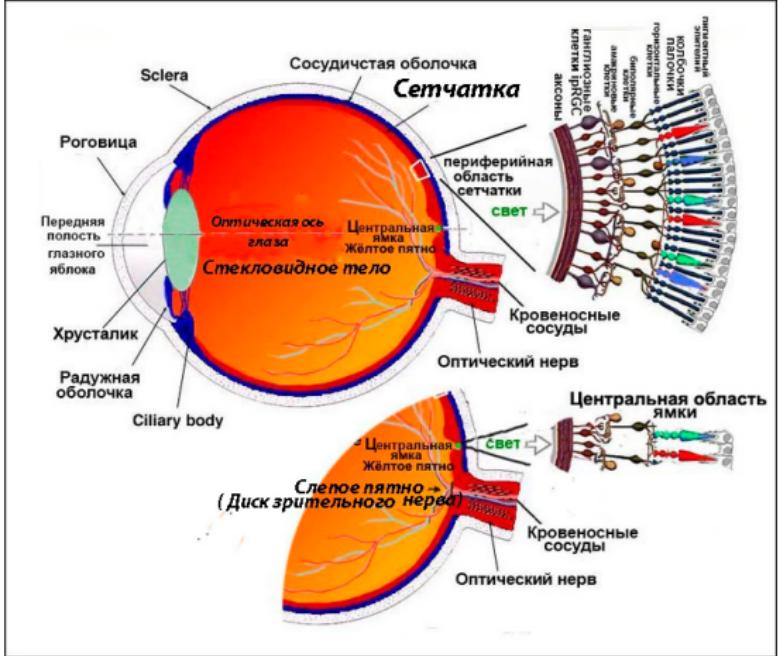


Рис. 3: Оптическая система глаза

Почему мы видим зелёные растения зелёными?

Потому что они поглощают весь видимый свет, кроме зелёной части, которая отражается и попадает на сетчатку.

Баланс белого (ББ). Человеческое зрение колеблется поступающий свет. Такая автокоррекция цвета в зрительной системе потребовалась нам по многим причинам — одна из них, чтобы мы могли адекватно различать цвет объектов в разных условиях освещения.

Палочки содержат пигмент родопсин. Его наибольшая чувствительность находится в области около 510 нм — бирюзовый цвет.

Колбочки содержат пигмент йодопсин в трёх вариациях. Каждый колбочковый пигмент состоит из хромофора (производное ретинола (витамина А)) и опсина. Хромофор во всех колбочках одинаковый, в то время как опсин разный — это отличие как раз и задаёт разные спектры поглощения!

Пики поглощения колбочек:

коротковолновые (S) — 426 нм, средневолновые (M) — 530 нм, длинноволновые (L) — 557 нм.

Фоточувствительные клетки сетчатки ipRGC

# Спектральная чувствительность глаза

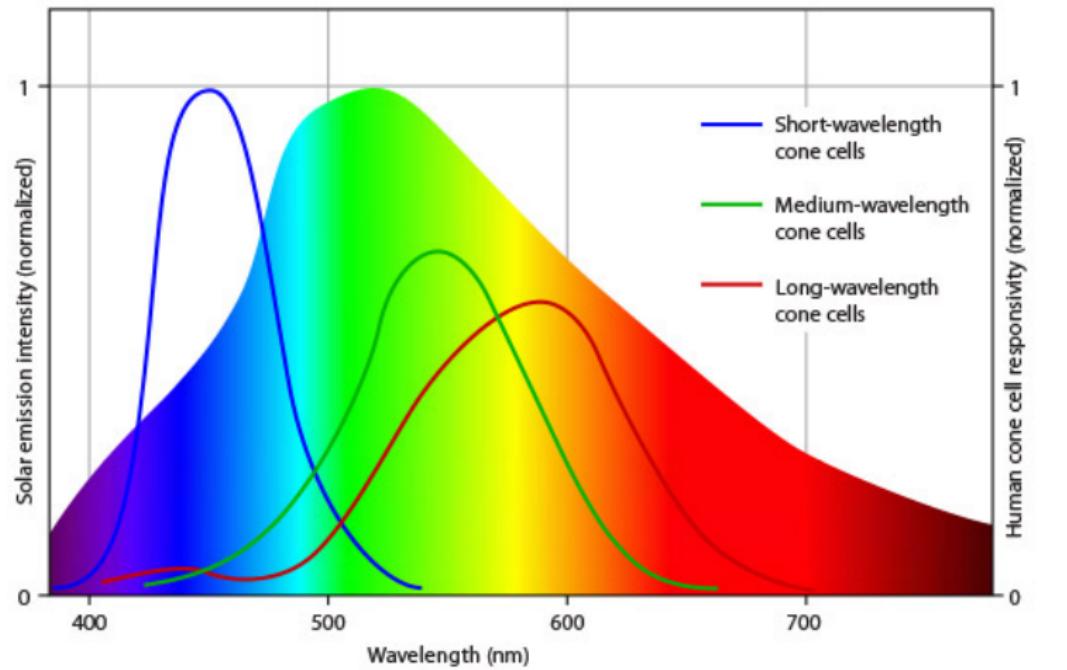


Рис. 4: Оптическая система глаза

## Теория света и цвета

2024-12-16

### Спектральная чувствительность глаза

#### Заметки



2024-12-16

## └ Функция-согласования-цвета-МКО-1931

$$X = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

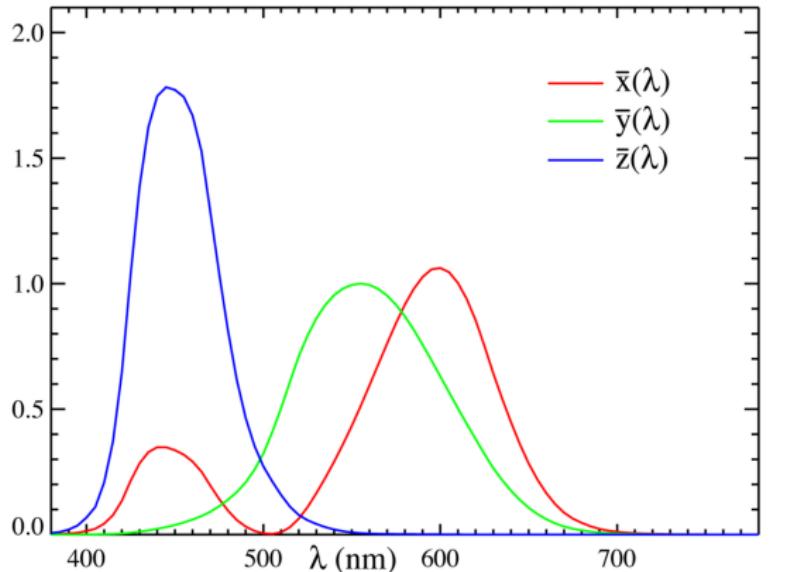


Рис. 5: Функция согласования цвета

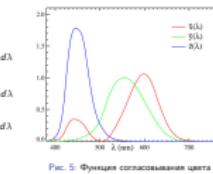


Рис. 5. Функция согласования цвета



Рис. 6: Хроматическая диаграмма

2024-12-16

## Диаграмма цветности цветового пространства МКО-1931

### Заметки

# Диаграмма цветности цветового пространства МКО-1931

Если формально построить сечение пространства XYZ плоскостью

$$X + Y + Z = \text{const},$$

то можно две оставшиеся линейно-независимыми координаты записать в виде

$$x = X/(X + Y + Z)$$

$$y = Y/(X + Y + Z)$$

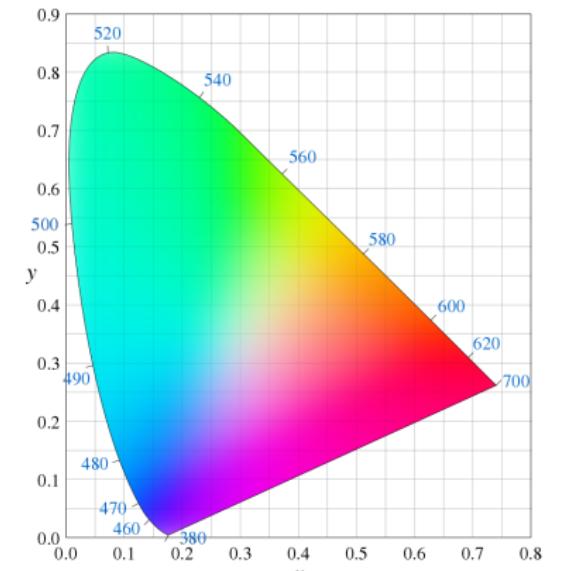


Рис. 6: Хроматическая диаграмма

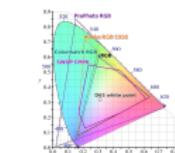


Рис. 7: Область цветов sRGB в сравнении с альтернативными стандартами

# Сравнение различных стандартов цветового спектра в пространстве цветов МКО-1931

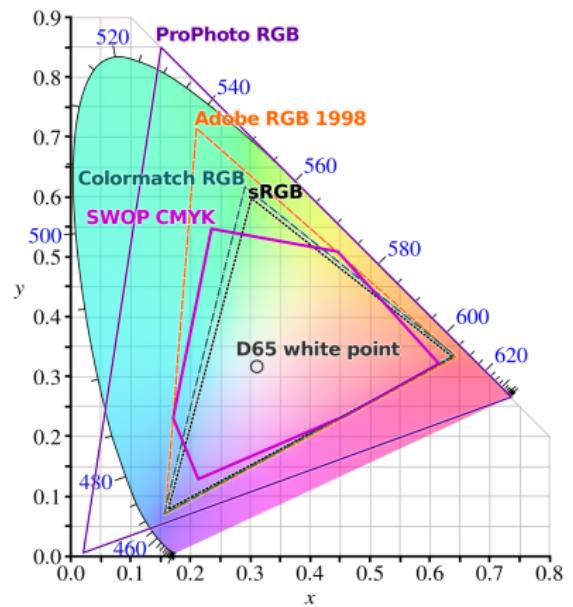


Рис. 7: Область цветов sRGB в сравнении с альтернативными стандартами

## Теория света и цвета

2024-12-16

### Сравнение различных стандартов цветового спектра в пространстве цветов МКО-1931

Пример. Для перевода линейных значений из пространства XYZ (CIE 1931 color space) в sRGB используется следующая матрица:

$$\begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

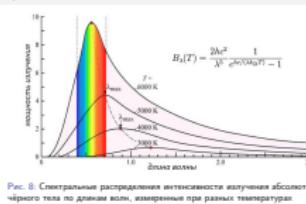
Здесь  $R_{\text{linear}}$ ,  $G_{\text{linear}}$  и  $B_{\text{linear}}$  определены в диапазоне [0, 1].  
Затем для каждой компоненты цвета используется формула

$$C_{\text{srgb}} = \begin{cases} 12.92C_{\text{linear}}, & C_{\text{linear}} \leq 0.0031308 \\ 1.055C_{\text{linear}}^{1/2.4} - 0.055, & C_{\text{linear}} > 0.0031308 \end{cases}$$

Эти значения также находятся в диапазоне [0, 1] и для перевода в [0, 255] их нужно умножить на 255 и округлить.

sRGB (standard RGB, 1996) создан совместно HP и Microsoft в 1996 году для унификации использования модели RGB в мониторах, принтерах и Интернет-сайтах. Adobe RGB (1998) — разработано компанией Adobe Systems, Inc. охватывает около 50% видимых цветов. ProPhoto RGB (2013) — Kodak, более 90% охвата видимых цветов, недостаток этого цветового пространства является то, что около 13% представленных цветов — это мнимые цвета, которые не существуют, и невидимые цвета.

SWOP is a color reproduction Specification for web offset lithography.



## Теория света и цвета

2024-12-16

## └ ЦВЕТОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА.

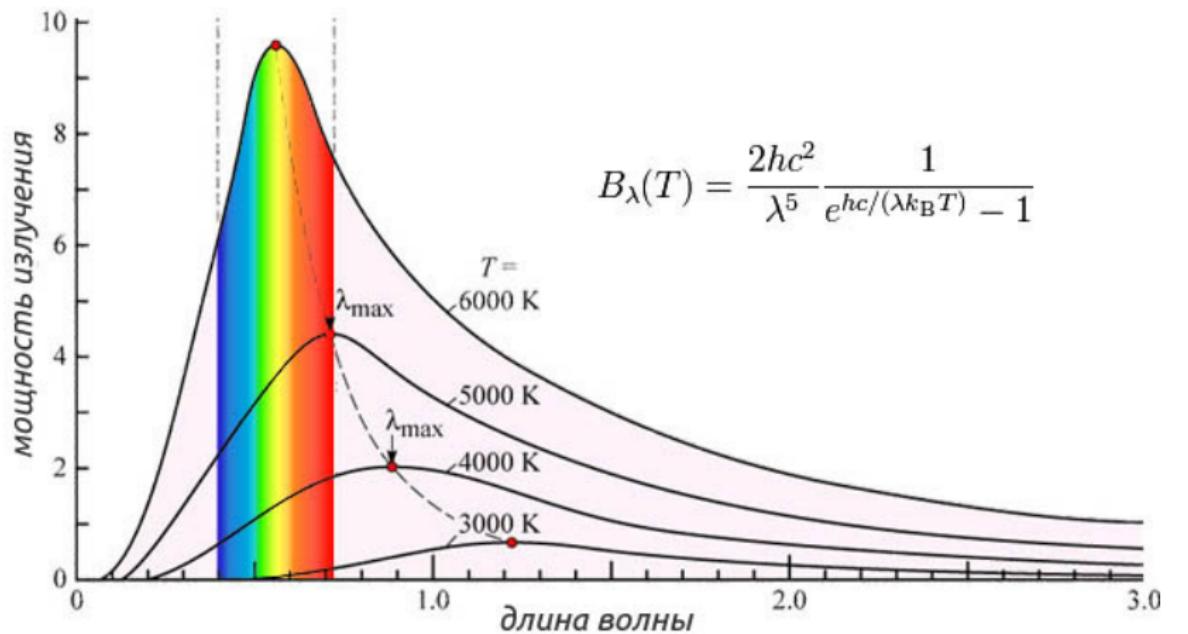


Рис. 8: Спектральные распределения интенсивности излучения абсолютно чёрного тела по длинам волн, измеренные при разных температурах

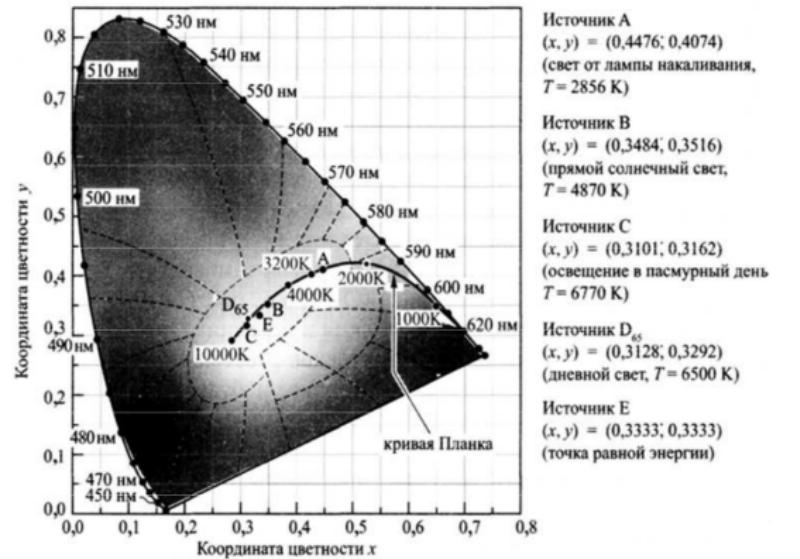
Белый свет имеет особые цветовые характеристики. Существует много оптических спектров излучения, при помощи которых можно создать излучение белого цвета. Среди этих спектров можно выделить спектр излучения абсолютно чёрного тела, часто называемого излучением Планка.

Данный спектр лежит в основе однозначного и очень полезного стандарта, позволяющего описывать спектр излучения при помощи одного единственного параметра — цветовой температуры. В качестве независимого стандарта, характеризующего белый свет, часто используют спектр излучения абсолютно чёрного тела, определяемый только одним параметром — температурой излучающего тела. Первым формулу, описывающую спектральную плотность светимости чёрного тела с заданной температурой, вывел Макс Планк в 1900 г.

Закон смещения Вина

$$\lambda_{\max} = 2898/T,$$

## Кривая излучения (кривая Планка) абсолютно черного тела в цветовом пространстве МКО 1931



**Рис. 9:** Цветовая диаграмма, на которой показаны кривая Планка и положение стандартных источников излучения белого света  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D_{65}$

## Теория света и цвета

110

-Кривая излучения (кривая Планка) абсолютно черного тела в цветовом пространстве МКО 1931

ростом температуры чёрного тела положение его излучения на спектрограмме сдвигается из области красных волн ближе к центру спектрограммы.

ростом температуры цвет свечения чёрного тела меняется от красного до голубовато-белого (красный – оранжевый – ёлтовато-белый – белый – голубовато-белый)

если источник белого света не попадает на кривую Планка, для его описания используется коррелированная цветовая температура.



Кривая излучения (кривая Планка) абсолютно черного тела в цветовом пространстве МКО 1931



Рис. 10: SDR (Standard Dynamic Range) и HDR (High Dynamic Range) в сравнении

# Tone Mapping и HDR



Рис. 10: SDR (Standard Dynamic Range) и HDR (High Dynamic Range) в сравнении

## Теория света и цвета

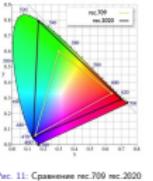
2024-12-16

### └ Tone Mapping и HDR

HDR - это сокращение обозначения "High Dynamic Range расширенный динамический диапазон. Эта технология улучшает детализацию изображения в самых темных и светлых сценах. Она делает картинку на экране более естественной и реалистичной даже в широком диапазоне контрастности.

Динамическое отображение тонов (Dynamic Tone Mapping) — это вычислительный процесс, в котором используется алгоритм для сегментации и анализа исходного изображения HDR в режиме реального времени и переназначения или изменения уровней теней, средних тонов и светлых участков в определенных областях изображения автоматически на основе коэффициентов

контрастности сцены. Целью этого процесса является максимально простое создание красивого и готового изображения без участия человека. Это автоматизированное редактирование изображений для потребительской фотографии и видеосъемки в массовом масштабе.



# Tone Mapping и HDR

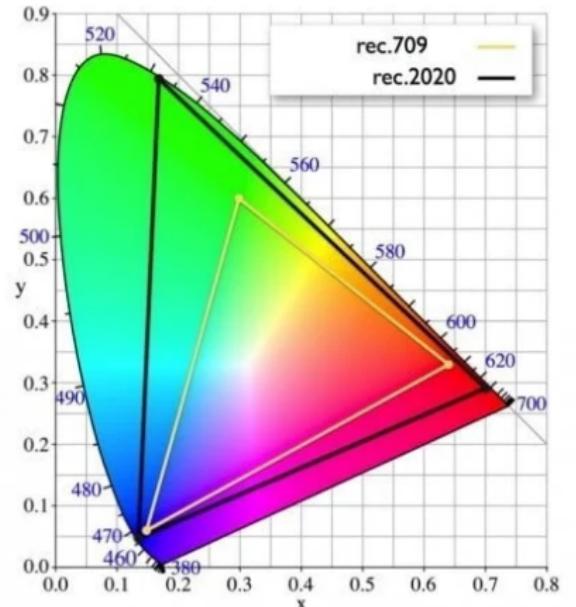


Рис. 11: Сравнение rec.709 rec.2020

## └ Tone Mapping и HDR

Почему фотографии с последних моделей телефона отображают цвета на экране по-другому?

SDR формат базируется на колориметрических параметрах, описанных в Rec. ITU-R BT. 709. (совпадает с sRGB, 35.9%) Они охватывают всего лишь 35.9% видимого человеческим глазом спектра системы CEI 1931.

В свою очередь HDR использует цветовые параметры Rec.ITU-R BT. 2020 (близко к Adobe Wide Gamut RGB, у которого охват спектра примерно 77.6%), охватывающие 75.8% спектра.

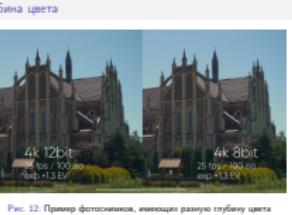


Рис. 12: Пример фотоснимков, имеющих разную глубину цвета

## Теория света и цвета

2024-12-16

### Глубина цвета



Рис. 13: Влияние «битности» цвета на плавность градиента

## Глубина цвета



Рис. 12: Пример фотоснимков, имеющих разную глубину цвета