КОМП’ЮТЕРНА ГРАФІКА

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Факультет інформаційних технологій

Кафедра інтелектуальних та інформаційних систем

Лектор

Тмєнова Наталія Пилипівна

Кандидат фізико-математичних наук,

доцент кафедри інтелектуальних та інформаційних систем

факультету інформаційних технологій

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

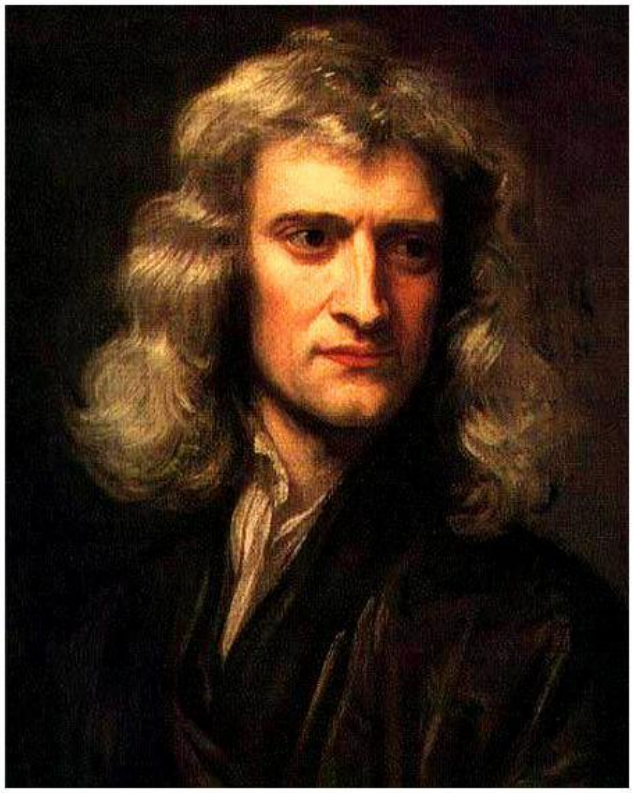
2.1 Дослід Ньютона

Для вивчення способів представлення кольору в комп'ютерних системах спочатку розглянемо деякі загальні аспекти.

Колір – це один із факторів нашого сприйняття світлового випромінювання.

Фільм

Світлом і кольором дослідники зацікавились досить давно. Одними із перших видатних досягнень в цій галузі були досліди **Ісаака Ньютона** в 1666 році по розкладанню білого кольору на складові.



Раніше вважалося, що білий колір є найпростішим. Ньютон скасував це.

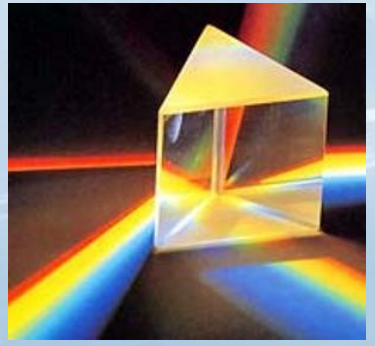
2.1 Дослід Ньютона

Дослід був таким.

Через маленький круглий отвір у вікні в затемнену кімнату проходив білий промінь світла (використовувалося сонячне світло).

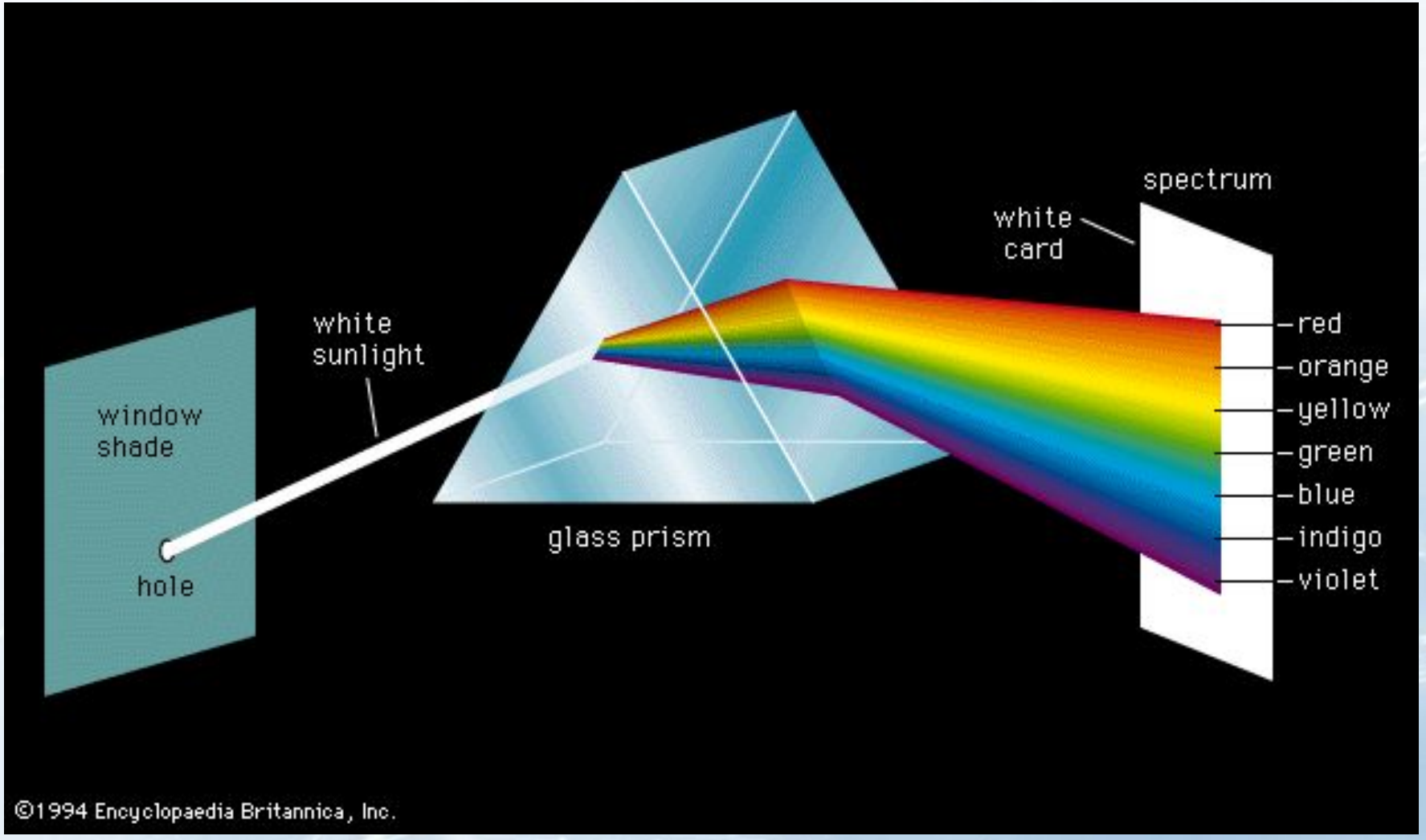
Промінь направлявся на скляну прямокутну призму. Пройшовши через призму, промінь заломлювався і, будучи напрямлений на екран, давав в результаті кольорову полосу – спектр. У спектрі були в наявності усі кольори райдуги, що плавно переходили один в одного.

Ньютон розбив весь спектр на 7 ділянок, що відповідали яскраво вираженим різним кольорам. Він вважав ці 7 кольорів основними: червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій і фіолетовий.



2.1 Дослід Ньютона

2.1 Дослід Ньютона



2.1 Дослід Ньютона

Ньютон припустив, що деякий колір утворюється шляхом змішування основних кольорів, взятих у певній пропорції.

Друга частина дослідів Ньютона була така. Промені, що пройшли через призму, направилися на двоякоопуклу лінзу, яка знову накладає різні кольори один на одного. Збігаючись, вони знову утворили на екрані білу пляму.

Відео 1.
Відео 2.

2.1 Дослід Ньютона

Наступні дослідження кольору виконували Томас Юнг, Джеймс Максвелл та інші вчені.

Вивчення людського кольоросприйняття було дуже важливою задачею, але основні зусилля були направлені на вивчення властивостей світла.

На даний момент фізики вважають, що світло має двоїстий характер. З одного боку, світло подається у вигляді потоку частинок (корпускулярна теорія Ньютона). З іншого боку, світло має хвильові властивості (хвильова теорія Християна Гюйгенса, 1678 р.).

2.2 Поняття колірної моделі

Людське око може сприйняти велику кількість кольорів, в той час як монітор та принтер у змозі відтворити лише обмежену частину цього діапазону.

У зв’язку з необхідністю опису різних фізичних процесів відтворення кольору були розроблені різноманітні колірні моделі.

В сучасних комп’ютерних програмах маніпулювання з кольором здійснюється за допомогою колірних моделей та режимів.

Колірні моделі (Color Model) подають засоби для концептуального та кількісного опису кольору. Режим (Mode) – це спосіб реалізувати певні колірні моделі в рамках конкретної графічної програми.

Колірні моделі використовуються для математичного опису певних колірних областей спектра.

2.2 Поняття колірної моделі

Більшість комп’ютерних колірних моделей засновані на використанні трьох основних кольорів, що відповідають сприйняттю кольору людським оком. Кожному основному кольору присвоюється певне значення цифрового коду, після чого решта кольорів визначається як комбінація основних кольорів.

Незалежно від того, що лежить в основі колірної моделі, будь-яка модель повинна відповідати таким вимогам:

- реалізувати визначення кольору деяким стандартним способом, який не залежить від можливостей певного пристрою;
- точно задавати діапазон кольорів, що відтворюються, оскільки жодна множина кольорів не є безмежною;
- враховувати механізм сприйняття кольорів – випромінювання або відбиття.

2.3 Типи колірних моделей

Більшість графічних пакетів дозволяють оперувати широким колом колірних моделей.

За принципом дії колірні моделі можна умовно поділити на 4 класи:

1. адитивні (RGB), що основані на додаванні кольорів;
2. субрактивні (CMYK), основані на відніманні кольорів;
3. перцепційні (HSB, HSL), що базуються на сприйнятті;
4. універсальні (Lab, XYZ), що охоплюють весь спектр кольорів, що сприймається оком людини.

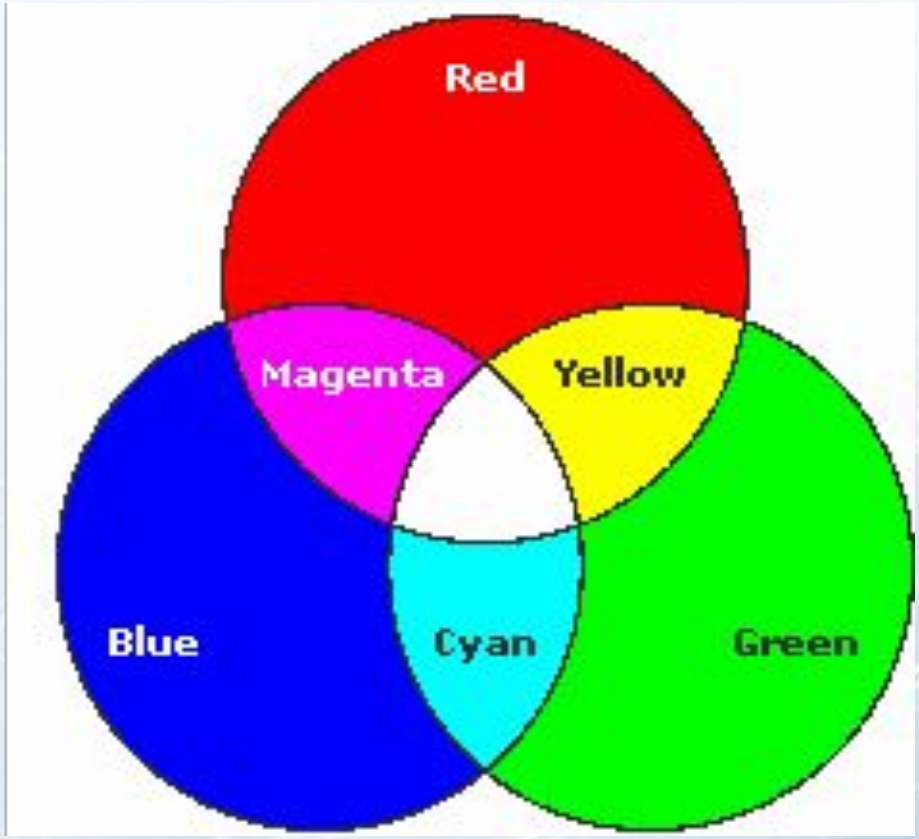
2.3.1 Адитивна колірна модель RGB

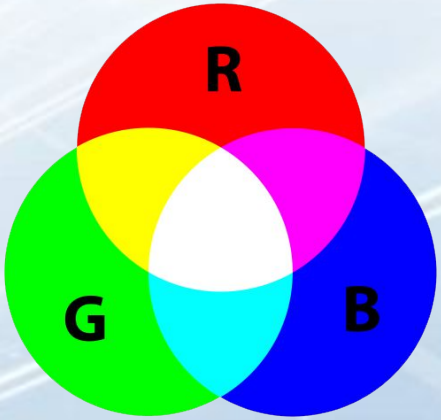
Адитивна модель відповідає сприйняттю кольорів людським оком. Ця модель використовується для опису кольорів, які отримуються за допомогою пристроїв, заснованих на принципі випромінювання. В якості основних кольорів вибрані **червоний (Red)**, **зелений (Green)** і **синій (Blue)**, які називаються **первинними кольорами** (основними кольорами).

Вибір основних кольорів обумовлений особливостями фізіології сприйняття кольору сітчаткою людського ока. При парному змішуванні первинних кольорів створюються **вторинні кольори**: блакитний, пурпуровий та жовтий. Первинні та вторинні кольори відносяться до базових кольорів.

Базовими кольорами називають кольори, за допомогою яких можна отримати практично весь спектр видимих кольорів.

2.3.1 Адитивна колірна модель RGB



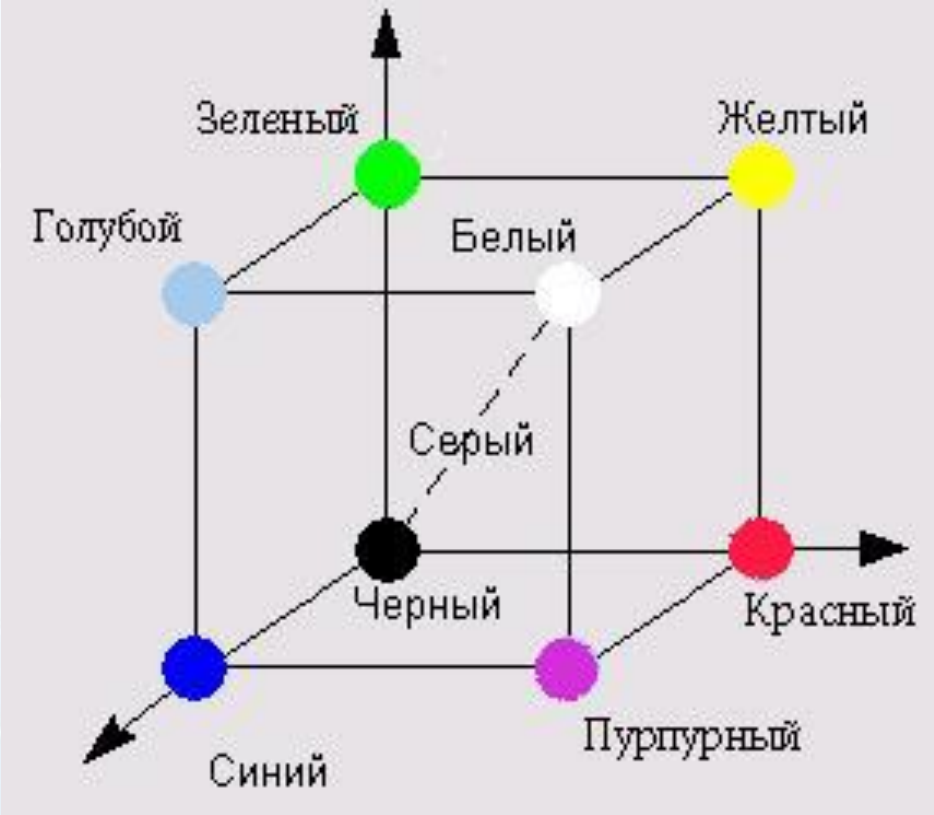


2.3.1 Адитивна колірна модель RGB

Для отримання нових кольорів за допомогою адитивного синтезу можна використовувати і різноманітні комбінації з двох основних кольорів, зміни складу яких приводять до зміни результуючого кольору. Однак для отримання певних кольорів необхідно додати третій первинний колір. Так, білий колір отримується при змішуванні трьох основних кольорів: червоного, зеленого і синього.

Математично колірну модель RGB краще подавати у вигляді куба. Якщо на вісі X відкладати червону складову, на вісі Y – зелену, а на вісі Z – синю, то кожному кольору можна поставити точку в середині куба, тобто задати вектором в системі R, G, B.

2.3.1 Адитивна колірна модель RGB



Чорному кольору відповідає центр координат – точка (0,0,0).

Білий колір виражається максимальним значенням компонент. Нехай це максимальне значення вздовж кожної вісі дорівнює 1. Тоді білий колір – це вектор (1,1,1).

Точки, що лежать на діагоналі куба від чорного до білого – це градації сірого. Їх можна вважати білим кольором різної яскравості.

2.3.1 Адитивна колірна модель RGB

Візуалізація за допомогою адитивної моделі.

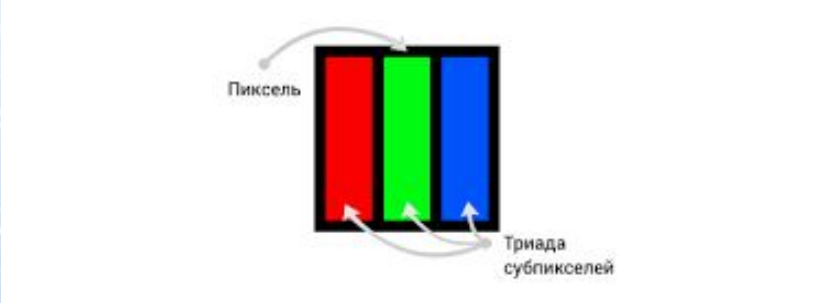
У графічних пакетах колірна RGB-модель використовується для створення кольорів зображення на екрані монітора. Його основними елементами є три електронні прожектори (гармати) і екран з нанесеними на нього трьома різними люмінофорами. Ці люмінофори мають різні спектральні характеристики. На відміну від ока вони не поглинають, а випромінюють світло. (Люмінофор – речовина, що може перетворювати енергію, яку поглинає, в світлове випромінювання.)

Один люмінофор під дією падаючого на нього електронного променя випромінює червоний колір, другий – зелений, а третій – синій.

2.3.1 Адитивна колірна модель RGB

Якщо роздивитись білий екран включеного монітора через лупу, то можна побачити, що він складається з великої кількості окремих точок червоного, зеленого і синього кольорів, об’єднаних в RGB-елементи у вигляді тріад основних точок. Під час розглядання зображення на екрані з деякої відстані ці кольорові складові RGB-елементів зливаються, створюючи ілюзію результуючого кольору.

Кожний із трьох компонентів RGB-тріади може приймати один з 256 дискретних значень: від 0 до 255. Коли всі три кольорові компоненти мають максимальне значення (255, 255, 255), отриманий колір здається білим, а коли всі три компоненти мають нульові значення (0, 0, 0), отриманий колір – чисто чорний.



2.3.1 Адитивна колірна модель RGB

Обмеження RGB-моделі.

При використанні RGB- моделі на практиці виникає дві проблеми.

- **Апаратна залежність.**

Ця проблема пов'язана з тим, що колір, якій виникає в результаті змішування кольорових складових RGB-елемента, залежить від типу люмінофора. При виробництві сучасних кінескопів застосовуються різні типи люмінофорів і установка одних і тих же інтенсивностей екранних променів у випадку різних люмінофорів призводить до синтезу різного кольору. Також перша проблема пов'язана з тим, що в процесі експлуатації відбувається старіння люмінофора і зміни характеристик електронних прожекторів. Для усунення (мінімізації) залежності RGB-моделі від апаратних засобів використовують різні пристрої і програмні градуювання.

2.3.1 Адитивна колірна модель RGB

- **Обмеження кольорової гами.**

Кольорова гама – це діапазон кольорів, який може розпізнавати людина або відображати пристрій незалежно від механізму отримання кольору (випромінювання або відбиття).

Обмеження кольорової гами пояснюється тим, що за допомогою адитивного синтезу неможливо отримати всі кольори видимого спектра. Хоча для відтворення фотореалістичних зображень на екрані монітора RGB-моделі достатньо.

2.3.2 Субтрактивні колірні моделі

На відміну від екрана монітору, в якому відтворення кольорів основане на випромінюванні світла, друкована сторінка може тільки відбивати колір.

Субтрактивні моделі найбільш точно описують кольори при виводі зображення на друк, тобто в поліграфії.

Субтрактивні кольори на відміну від адитивних отримуються відніманням первинних кольорів із загального променя світла. (Кольори, які використовують білий колір, віднімаючи від нього відповідні ділянки спектру, і називаються субтрактивними.)

Отже, якщо відняти з білого три первинних кольори Red, Green, Blue, ми отримаємо трійку додаткових (доповнюючих) кольорів CMY (C – Cyan – блакитний; M – Magenta – пурпуровий, Y – Yellow – жовтий).

2.3.2 Субтрактивні колірні моделі

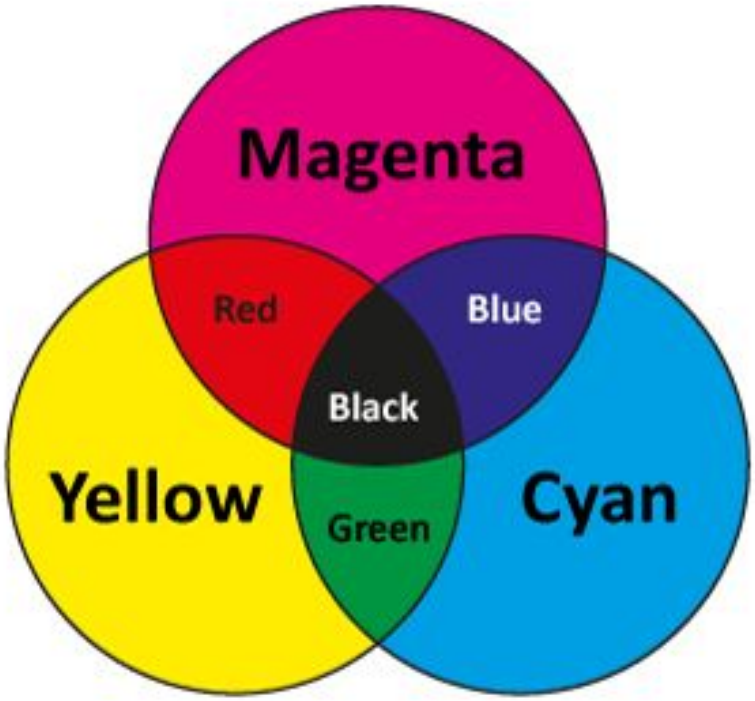
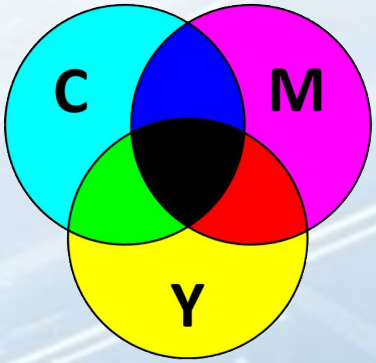


Рис. 2 - Субстрактивная модель CMYK



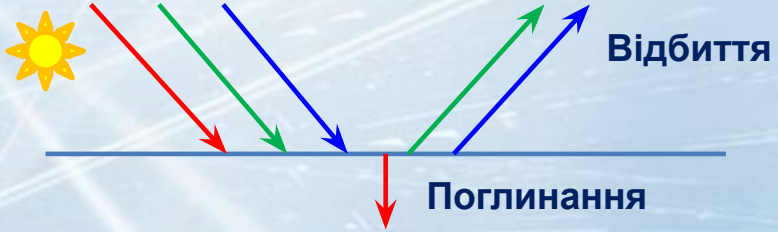
2.3.2 Субтрактивні колірні моделі

В цій системі білий колір з`являється як результат відсутності всіх субтрактивних кольорів, тоді як їх присутність дає чорний колір.

Відношення, які пов`язують адитивні і субтрактивні кольори, такі:

зелений + синій = блакитний;
зелений + червоний = жовтий;
червоний + синій = пурпуровий;
зелений + синій + червоний = білий;
блакитний + жовтий + пурпуровий = чорний;

Блакитний барвник поглинає червоний колір, пурпуровий – поглинає зелений, жовтий – поглинає синій. Кольори в цих парах називаються компліментарними.



2.3.2 Субтрактивні колірні моделі

Існує дві найбільш розповсюджені версії субтрактивної моделі: CMY і CMYK. Перша використовується у випадку, коли зображення виводиться на чорно-білому принтері, який дозволяє замінювати чорний картридж на кольоровий.

Теоретично при змішуванні трьох кольорів C, M, Y рівними пропорціями отримується чорний колір. Але у реальному технічному процесі отримання чорного кольору шляхом змішування трьох кольорів для паперу неефективне з ряду причин (виходить не чисто чорний колір, а брудно-коричневий або брудно-сірий; у випадку струйного друку змішування трьох пігментів змочує папір; один чорний пігмент дешевше трьох кольорових пігментів).

Тому під час друку використовується добавка додаткового чорного компонента кольору – Black. Тоді така модель називається CMYK (використовується літера «К» замість «В», щоб не було плутанини між Black і Blue).

2.3.2 Субтрактивні колірні моделі

Кожне з чисел, яке визначає колір в CMYK, являє собою процент фарби даного кольору, який входить у склад кольорової комбінації точки растра, що виводиться на пристрій друку.

Приклад.

Для отримання темно-помаранчевого кольору потрібно змішати 30% блакитної фарби, 45% – пурпурової, 80% – жовтої, 5% – чорної. Це може позначатися як (30,45,80,5) або C30M45Y80K5.

Важливо відмітити, що цифрове значення фарби в CMYK не може само по собі описати колір. Цифри – лише набір апаратних даних, які використовуються в друкарському процесі для формування зображення. На практиці реальний колір буде визначатися не тільки розміром точки растра на пристрої друку, існуючими цифрами в підготовленому до друку файлі, але й реаліями конкретного друкуючого процесу, на які можуть впливати такі фактори, як стан друкарської машини, якість паперу, вологість повітря в цеху та інше.

2.3.2 Субтрактивні колірні моделі

Обмеження CMYK-моделі.

CMYK-модель, як і RGB-модель, має два типи обмежень.

- **Апаратна залежність.**

CMYK-модель є ще більш апаратно-залежною моделлю, ніж RGB. Це пов'язано з тим, що в ній є найбільша кількість дестабілізуючих факторів, ніж в RGB-моделі:

- **варіація складу кольорових барвників, які використовуються для створення друкованих кольорів;**
- **тип паперу;**
- **спосіб друку;**
- **зовнішнє освітлення.**

2.3.2 Субтрактивні колірні моделі

❖ **Обмежений колірний діапазон.**

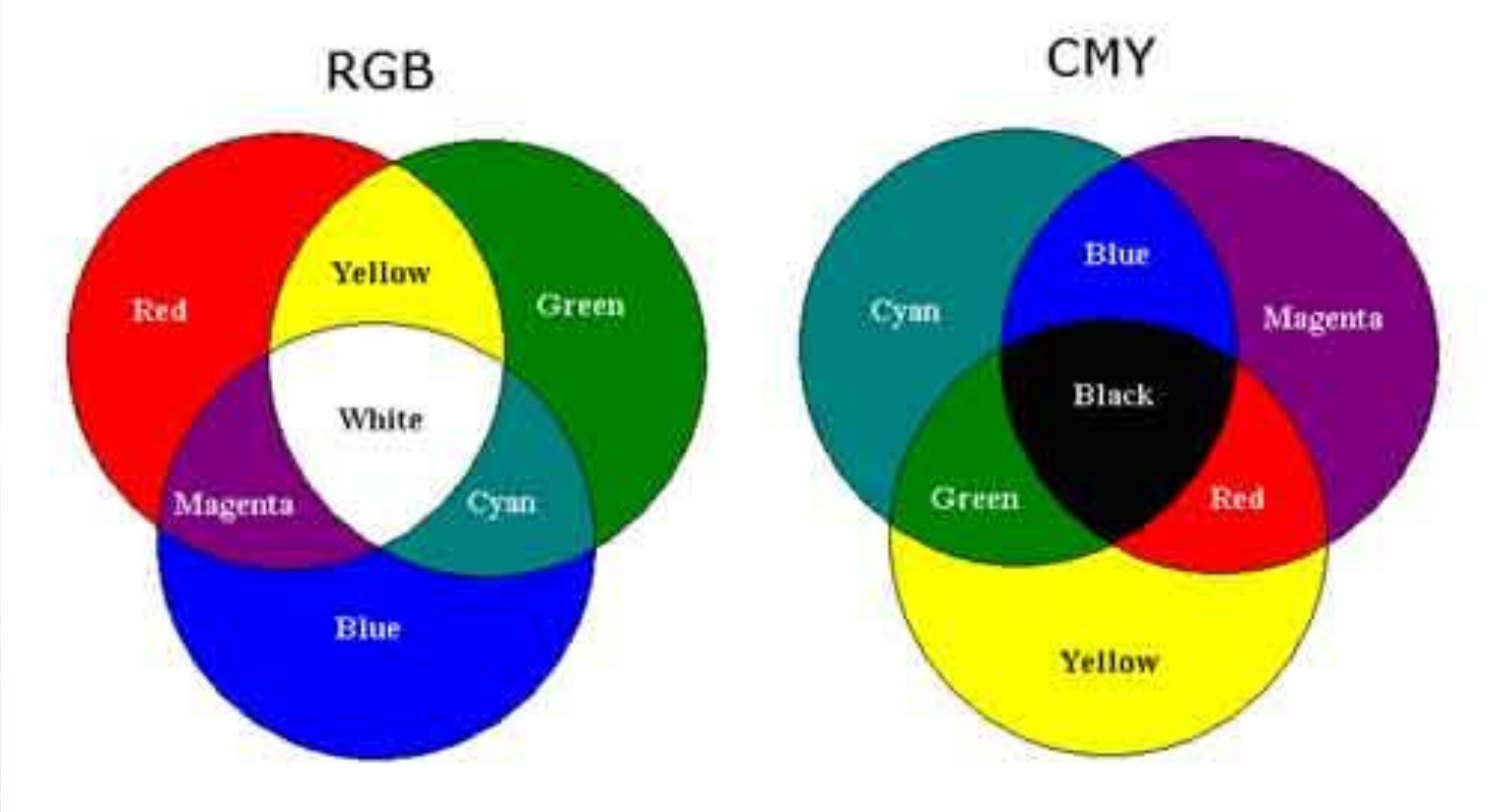
Кольорові барвники мають гірші характеристики порівняно з люмінофорами. Отже, CMYK-модель має більш вузький кольоровий діапазон, ніж RGB-модель.

Про екранні кольори, які неможливо точно відтворити під час друку, говорять, що вони лежать поза кольоровою гамою CMYK-моделі. Невідповідність кольорових діапазонів RGB і CMYK-моделей створює серйозну проблему – невідповідність друкованої картинки картинці на моніторі.

Для запобігання такої ситуації передбачений комплекс спеціальних засобів:

- **редагування зображення у форматі CMYK; використання CMYK-орієнтованих палітр.**
- **використання систем керування кольором – CMS (Color Management Systems).**

2.3.2 Субтрактивні колірні моделі



2.3.2 Субтрактивні колірні моделі

Таблиця 7.10

Приклади кодування кольорів у колірних моделях RGB і CMYK

Колір	*Модель RGB*			*Модель CMYK*			
	R	*G*	*B*	*C*	*M*	*Y*	*K*
Білий	255	255	255	0	0	0	0
Чорний	0	0	0	0	0	0	100
Смарагдовий	80	200	120	60	0	40	22
Рожевий	255	128	192	0	25	20	0
Сірий	122	122	122	0	0	0	50

2.3.3 Перцепційні колірні моделі

Для дизайнерів, художників, фотографів основним інструментом індикації і виведення кольору є око. Цей природний «інструмент» володіє кольоровою гамою, яка набагато перевищує можливості будь якого технічного пристрою (сканера, принтера).

CMYK і RGB-моделі є апаратно залежними. Для усунення апаратної залежності було розроблено ряд так званих перцепційних (інтуїтивних) колірних моделей. В їх основу закладено роздільне визначення яскравості і колірності. Такий підхід забезпечує ряд переваг:

- дозволяє використовувати колір на інтуїтивно зрозумілому рівні;
- загально спрощує проблему узгодження кольорів, після установлення значення яскравості можна зайнятися настройкою кольору.

2.3.3 Перцепційні колірні моделі

Прикладами перцепційних моделей є HSB, HSV, HSI, HSL-моделі. Спільним для них є те, що колір задається не у вигляді суміші трьох основних кольорів, а визначається шляхом вказування двох компонентів: колірності (колірного тону і насиченості) і яскравості.

Колірна модель HSB.

Модель HSB (Hue – колірний тон, Saturation – насиченість, Brightness – яскравість) або її наближений аналог HSL подані у більшості сучасних графічних пакетах.

Тобто у HSB-моделі всі кольори визначаються за допомогою комбінації трьох базових параметрів: колірного тону, насиченості і яскравості.

2.3.3 Перцепційні колірні моделі

1.Колірний тон.

Під колірним тоном розуміється світло з домінуючою довжиною хвилі. Кожний колірний тон займає визначене положення на периферії колірного круга і характеризується величиною кута в діапазоні від 0 до 360 градусів.

2.3.3 Перцепційні колірні моделі

Однак само по собі поняття колірного тону не має повної інформації про кольори. Доповнюючими компонентами є насиченість та яскравість.

2. Насиченість.

Насиченість характеризує чистоту (інтенсивність) кольору. Він визначає співвідношення між основним, домінуючим компонентом кольору і всіма іншими довжинами хвиль (кількість сірого), які беруть участь у формуванні кольору .

Кількісне значення цього параметра виражається у відсотках від 0% (сірий) до 100% (повністю насичений).

Чим вище значення насиченості, тим сильніше і ясніше відчувається колірний тон. Зниження насиченості приводить до того, що колір стає нейтральним, без чітко вираженого тону. (Якщо взяти кольорове фото і понизити насиченість до 0%, то отримаємо чорно-біле фото).

2.3.3 Перцепційні колірні моделі

Природні кольори мають низьку насиченість.

Якщо рухатись поперек колірного круга, то відбувається зменшення долі кольору, від якого ви віддаляєтесь, і зростання долі кольору, до якого ви наближаєтесь.

В результаті це приводить до зниження насиченості, яка має максимальне значення (100%) на поверхні кола і мінімальне (0%) – у центрі круга.

2.3.3 Перцепційні колірні моделі

3. Яскравість.

Яскравість кольору показує величину чорного відтінку, який добавлений до кольору. Тобто при нульовій яскравості ми нічого не бачимо, тому будь-який колір буде сприйматися як чорний. При відсутності чорного ми отримуємо чистий спектральний колір, а максимальна яскравість викликає відчуття сліпучого білого кольору.

Ахроматичні кольори (тобто білі, сірі і чорні) характеризуються тільки яскравістю. Це проявляється в тому, що одні кольори темніші, а інші світліші. Величина яскравості вимірюється у відсотках в діапазоні від 0% (чорний) до 100% (білий). В міру зниження процентного вмісту яскравості колір стає темнішим.

2.3.3 Перцепційні колірні моделі

Переваги і обмеження HSB-моделі.

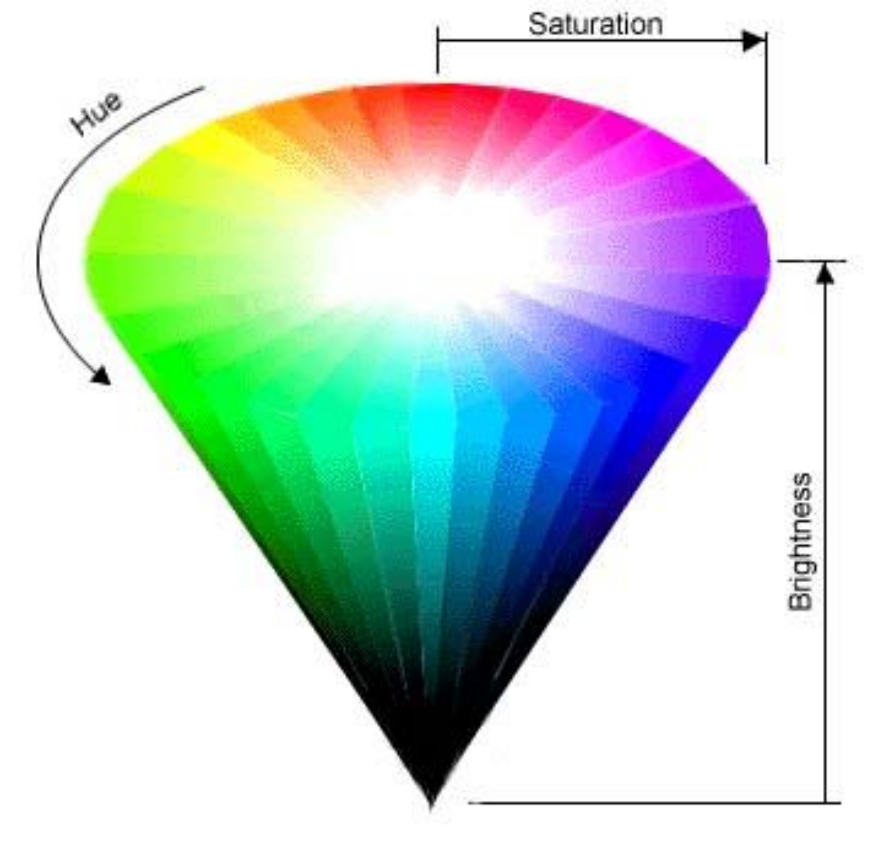
Переваги:

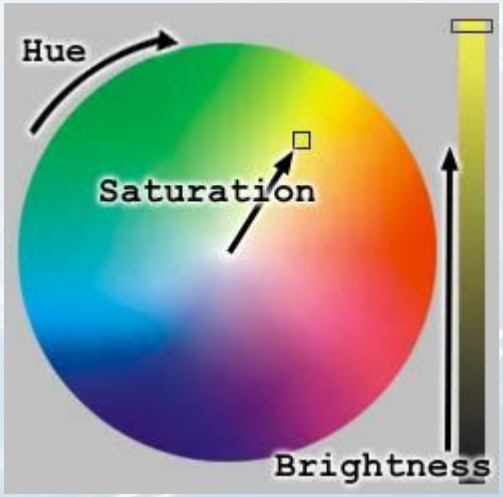
- відсутність апаратної залежності;
- модель більше відповідає природі кольору, добре підходить для сприйняття людиною: колірний тон є еквівалентом довжини світла, насиченість – інтенсивності хвилі, а яскравість – кількості світла.
- модель відрізняється більш простим і інтуїтивно зрозумілим механізмом управління кольором. Це пов’язано з тим, що колірний тон, насиченість та яскравість – незалежні характеристики кольору.

Недоліки:

- модель HSB має той же колірний простір, що і RGB-модель, а отже, і належний їй недолік – обмежений колірний простір;
- модель носить абстрактний характер.

2.3.3 Перцепційні колірні моделі





2.3.4 Універсальні колірні моделі (Lab, XYZ)

Модель Lab.

Успішною спробою створення апаратно-незалежної моделі кольору, основаної на людському сприйнятті кольору, є модель Lab.

Будь який колір в Lab визначається яскравістю (Lightness – L) та двома хроматичними компонентами: параметром *a*, який змінюється від зеленого до червоного, та параметром *b*, який змінюється від синього до жовтого (визначення каналів Lab основане на тому факті, що точка не може бути одночасно чорною і білою, червоною і зеленою, синьою і жовтою).

L: від 0% до 100%, *a* : від -128 до 127, *b*: від -128 до 127.

2.3.4 Універсальні колірні моделі (Lab, XYZ)

Отже, модель Lab є триканальною, яскравість у Lab повністю відділена від кольору, її кольорова гама безмірно широка і відповідає видимій кольоровій гамі для стандартного спостерігача. Гама Lab включає гами усіх інших колірних моделей, які використовуються у поліграфічному процесі.

На відміну від RGB і CMYK, заснованих на реальних процесах, модель Lab являє собою чисто математичну модель. Їй важко знайти аналогічну в реальному світі.

Переваги:

1. основана на сприйманні людиною кольору і її кольорова гама відповідає людському оку – вона включає в себе гами RGB і CMYK та перевищує їх;
2. Lab є апаратно-незалежною моделлю.

Ці переваги зробили Lab **стандартом** при переведенні зображень з одного колірного простору в інший у процесі їх підготовки. Ця модель часто використовується для покращення якості зображення (наприклад, для підвищення різкості, підвищення контрастності, видалення колірного шуму).

Контрольні питання до розділу 2

1. В чому полягає дослід Ньютона?
2. Що таке колірна модель?
3. Що таке колірний режим?
4. Які типи колірних моделей вам відомі?
5. Опишіть адитивну колірну модель RGB.
6. Що таке первинні та вторинні кольори?
7. Як математично краще подати колірну модель RGB?
8. Які обмеження RGB-моделі вам відомі?
9. Які характеристики мають субтрактивні моделі?
10. Як утворюються субтрактивні кольори?
11. В чому полягає відмінність між версіями субтрактивних моделей CMY і CMYK?
12. В чому полягає обмеження CMYK-моделі?
13. Що закладено в основу перцепційних моделей?
14. Назвіть приклади перцепційних моделей.
15. Опишіть колірну модель HSB.
16. В чому полягає обмеження HSB -моделі?
17. Опишіть колірну модель Lab.

Дякую за увагу!