

ОЗМ (Зір та колір)

Зір, око, колір, колірні моделі

Зміст

| | |
|---|----------|
| 1 Зір | 1 |
| 1.1 Фізіологія зору | 1 |
| 1.2 Характеристики зорового апарату | 1 |
| 1.2.1 Світлова чутливість | 1 |
| 1.2.2 Гострота зору | 1 |
| 1.2.3 Бінокулярність | 1 |
| 1.3 Вади зору | 1 |
| 1.3.1 Міопія | 2 |
| 1.3.2 Дальтонізм | 2 |
| 1.4 Альтернативні методи лікування | 2 |
| 1.5 Вибір окулярів | 2 |
| 1.5.1 Ступені аномалій зору | 3 |
| 1.5.2 Нумерація окулярних лінз | 3 |
| 1.5.3 Таблиця відповідності знаків лінз | 3 |
| 1.5.4 Підбір окулярів | 3 |
| 1.5.5 Окуляри при старечій далекозорості (пресбіопія) | 4 |
| 1.5.6 Причина ослаблення акомодатії | 4 |
| 1.5.7 Франклінівські окуляри | 4 |
| 1.5.8 Скло пантоскопічних окулярів | 4 |
| 1.5.9 Циліндричні окуляри й астигматизм | 5 |
| 1.5.10 Сфероциліндрична лінза | 5 |
| 1.5.11 Призматичні окуляри | 5 |
| 1.5.12 Кольорові окуляри | 5 |
| 1.5.13 Список скорочень | 5 |
| 1.6 Див. також | 6 |
| 1.7 Джерела | 6 |
| 1.8 Посилання | 6 |
| 2 Око | 7 |
| 2.1 Будова ока | 7 |
| 2.1.1 Зовнішня оболонка | 8 |
| 2.1.2 Середня оболонка | 8 |
| 2.1.3 Внутрішня оболонка | 8 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.1.4 | Кришталік | 8 |
| 2.1.5 | Склисте тіло | 8 |
| 2.1.6 | Передня і задня камери ока | 8 |
| 2.1.7 | Допоміжний апарат ока | 9 |
| 2.2 | Сприйняття зображення предметів | 9 |
| 2.3 | Сприйняття світла | 10 |
| 2.4 | Сприйняття кольору | 10 |
| 2.5 | Сприйняття розташування предметів у просторі | 10 |
| 2.6 | Еволюція і походження ока | 11 |
| 2.7 | Типи очей | 12 |
| 2.8 | Людське око | 12 |
| 2.8.1 | Руховий апарат ока людини | 12 |
| 2.9 | Цікаві факти | 13 |
| 2.10 | Примітки | 13 |
| 2.11 | Література | 13 |
| 2.12 | Посилання | 14 |
| 2.13 | Див. також | 14 |
| 3 | Світло | 15 |
| 3.1 | Фізична природа і властивості світла | 15 |
| 3.2 | Швидкість світла | 16 |
| 3.3 | Вивчення оптичних властивостей світла | 16 |
| 3.3.1 | Геометрична оптика | 16 |
| 3.3.2 | Фізична оптика | 17 |
| 3.3.3 | Фізіологічна оптика | 17 |
| 3.3.4 | Практичне використання оптики | 17 |
| 3.4 | Оптичні явища в природі. Джерела та приймачі світла | 17 |
| 3.5 | Світловий тиск | 17 |
| 3.6 | Сприйняття світла оком | 18 |
| 3.7 | Історія дослідження світла | 18 |
| 3.8 | Див. також | 19 |
| 3.9 | Примітки | 19 |
| 3.10 | Джерела | 19 |
| 4 | Видиме світло | 21 |
| 4.1 | Історія | 21 |
| 4.2 | Спектр видимого випромінювання | 22 |
| 4.3 | Див. також | 22 |
| 5 | Колір | 23 |
| 5.1 | Історія вивчення кольору | 23 |
| 5.2 | Семантика кольору | 23 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3 | Фізіологія сприйняття кольору | 24 |
| 5.4 | Спектральні і неспектральні кольори | 24 |
| 5.4.1 | «Основні» кольори | 24 |
| 5.4.2 | «Додаткові» кольори | 24 |
| 5.4.3 | Змішання спектральних кольорів | 25 |
| 5.4.4 | Ахроматичні кольори | 25 |
| 5.5 | Вимірювання кольору | 25 |
| 5.6 | Характеристики кольору | 25 |
| 5.6.1 | Яскравість | 25 |
| 5.6.2 | Насиченість | 26 |
| 5.6.3 | Ясність (світлота) | 26 |
| 5.6.4 | Кольоровий тон | 26 |
| 5.7 | Застосування кольору | 26 |
| 5.7.1 | У промисловості та дизайні | 26 |
| 5.7.2 | У літературі, мистецтві | 27 |
| 5.8 | Див. також | 27 |
| 5.9 | Примітки | 27 |
| 5.10 | Джерела | 27 |
| 5.11 | Посилання | 27 |
| 6 | Колориметрія (наука) | 28 |
| 6.1 | Сприйняття кольорів людиною | 28 |
| 6.2 | Див. також | 28 |
| 6.3 | Джерела | 28 |
| 7 | RGB | 29 |
| 7.1 | Кодування кольору | 29 |
| 7.2 | Переваги моделі | 30 |
| 7.3 | Недоліки | 30 |
| 7.4 | sRGB | 30 |
| 7.5 | Див. також | 30 |
| 7.6 | Примітки | 30 |
| 8 | СМУК | 31 |
| 8.1 | Значення К в аббревіатурі СМУК | 31 |
| 8.2 | Вимова СМУК українською | 31 |
| 8.3 | Сутність субтрактивної моделі | 31 |
| 8.4 | Чотири кольори СМУК | 32 |
| 8.5 | Здійснення друку за допомогою моделі СМУК | 32 |
| 8.6 | Колірна шкала СМУК | 32 |
| 8.7 | Див. також | 32 |
| 8.8 | Примітки | 32 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 9 | СІЕ XYZ | 33 |
| 9.1 | Джерела, дописувачі та ліцензії тексту і зображень | 34 |
| 9.1.1 | Текст | 34 |
| 9.1.2 | Зображення | 34 |
| 9.1.3 | Ліцензія вмісту | 36 |

Розділ 1

Зір

Зір — відчуття (сенсорне відчуття), що дозволяє сприймати світло; колір та зовнішню структуру навколишнього світу у вигляді зображення або картини.

У тварин і людини органами зору є очі; втім зорова картина є також продуктом обробки первинної зорової інформації мозком.

1.1 Фізіологія зору

На сьогодні вважається визнаним фактом, що в оці людини містяться 2 категорії фоточутливих елементів - рецепторів: високочутливі палички (рецептори) - такі, що відповідають за сутінковий (нічний) зір, і менш чутливі колбочки (рецептори) - такі, що відповідають за кольоровий зір.

У сітківці ока людини є 3 види колбочок, максимум чутливості яких припадає на червону, зелену і синю ділянки видимого спектру, тобто відповідає трьом "основним" кольорам. Криві їх спектральної чутливості частково перекриваються, що забезпечує розпізнавання тисяч кольорів і відтінків у спектральному діапазоні довжин світлових хвиль 400-700 нм. Дуже сильне світло подразнює всі 3 типи рецепторів і тому сприймається як випромінювання сліпучо-білого кольору.

Рівномірне подразнення всіх трьох елементів, відповідне денному світлу, також викликає відчуття білого кольору (Див. Психологія сприйняття кольору). Трикомпонентну теорію кольорового зору вперше сформулював у 1756 році М. В. Ломоносов, коли писав «про три матерії дна ока». Сто років потому її розвинув німецький вчений Г. Гельмгольц, який не послався на відому роботу Ломоносова «Про походження світла», хоча вона була опублікована і стисло викладена німецькою мовою.

1.2 Характеристики зорового апарату

1.2.1 Світлова чутливість

Світлова чутливість вимірюється величиною порогу сприйняття світлового подразника.

Око має різну чутливість у різних умовах. При поганому освітленні, зір зумовлений чутливістю паличок. Такий зір називається **скотопічним зором**. На противагу, **фотопічний зір** - це зір при доброму освітленні, коли основну роль у світлосприйнятті відіграють колбочки.

1.2.2 Гострота зору

Здатність різних людей бачити великі або менші деталі предмету з однієї і тієї ж відстані при однаковій формі очного яблука й однаковій заломлювальній силі діоптричної очної системи зумовлюється відмінністю у відстані між паличками і колбочками сітківки і називається гостротою зору.

Прийнято вважати, що при граничному куті розрізнення рівному 1', гострота зору дорівнює 1. Якщо око дозволяє розрізнити 30", то гострота зору дорівнює 2 і т. д.

1.2.3 Біокулярність

Розглядаючи предмет обома очима, ми бачимо його тільки тоді одиничним, коли осі зору очей утворюють такий кут збігання (конвергенцію), при якому симетричні виразні зображення на сітківках утворюються в певних відповідних місцях чутливої жовтої плями (fovea centralis). Завдяки такому біокулярному зору ми не тільки робимо висновки про відносне положення і відстань до предметів, але й сприймаємо враження рельєфу та об'єму.

1.3 Вади зору

Наймасовіший недолік — нечітка видимість близьких або віддалених предметів.

Видимість предметів змінюється з віком людини: десятирічна дитина бачить добре предмет не ближче 7 см, в 45 років — 33 см, а в 70 років необхідні окуляри для розгляду близьких предметів. Так протягом життя падає здатність кришталика змінювати свою кривину, розвивається далекозорість.

1.3.1 Міопія

Інший дефект зору — короткозорість. Розвивається короткозорість від тривалого напруження зору (спазм акомодациї), пов'язаного з недостатньою освітленістю. Встановлено, що в молодших класах середньої школи короткозорих дітей небагато, але їх стає більше в середніх і старших класах. Найчастіше короткозорість розвивається до 16—18 років.

Короткозорість і далекозорість виправляються окулярами та вправами для очей.

1.3.2 Дальтонізм

Якщо в сітківці ока відсутнє або послаблене сприйняття одного з трьох основних кольорів, то людина не сприймає деякі кольори. Є "кольоровосліпі" на червоний (протанопа), зелений (дейтеранопа) і синьо-фіолетовий (тританопа) колір. Рідко зустрічається парна або навіть повна колірна сліпота. Частіше зустрічаються люди, які не можуть відрізнити червоний колір від зеленого. Ці кольори вони сприймають як сірі. Така вада зору була названа дальтонізмом - на ім'я англійського вченого Д. Дальтона, який сам страждав таким розладом кольорового зору і вперше описав його.

Дальтоніків не допускають до керування транспортом. Дальтонізм невиліковний, передається спадково (причому, ця вада зчеплена зі статтю: абсолютна більшість хворих - чоловіки) або виникає після деяких очних і нервових хвороб. Дуже важливе правильне сприйняття кольорів для моряків, льотчиків, хіміків, художників.

1.4 Альтернативні методи лікування

Альтернативні методи лікування вад зору відомі ще з давніх часів. Згадки про методи лікування різних захворювань очей можна знайти в трактатах древньоіндійської системи йога. Відомий також метод Бейтса, який отримує все більшу популярність не лише в Сполучених Штатах Америки, батьківщині Бейтса й в Європі й Азії. Основні принципи доктора Бейтса викладені в його книгах і в книгах його численних прихильників. Основні принципи: правильне харчування, психологічне розслаблення,

пальмінг, соляризація.

1.5 Вибір окулярів

Вибираючи окуляри для нейтралізації аномалій, слід звертати увагу на те, чи зберігається нормальна гострота зору ока і чи не порушується біноклярний зір.

В більшості випадків очні яблука можна розділити на три групи:

1. *Еметропний вид* — нормальне око, яке без додаткової акомодациї збирає у фокус на сітківці тільки промені паралельні, бачить виразно, без жодної напруги предмети, розташовані дуже далеко. Тільки з наближенням предмету вступає у свою роль акомодуючий війковий м'яз, діяльність якого, проте, частково обмежується. Починаючи з деякої відстані (різної в залежності від віку) акомодация припиняється. Таким чином, для кожного еметропного нормального ока існують дві точки: дальня і найближча (*punctum remotum* і *p. proximum*), предмети між якими видно виразно.
2. *Міопний вид* — брахіметропний; короткозоре око, яке без акомодациї збирає в точку на сітківці промені, що тільки розходяться. Для паралельних променів фокус знаходиться перед сітківкою, отже, око не сприймає далеких предметів. Надлишок рефракції міопного ока порівняно з рефракцією нормального ока обмежує для міопа відстань між дальньою і найближчою точками тільки декількома сантиметрами (60—5).
3. *Гіперметропний вид* — далекозоре око, яке без акомодациї збирає у фокус на сітківці промені, що тільки сходяться, а від паралельних дає фокус позаду сітківки (у негативному просторі). Тільки за допомогою акомодациї гіперметропне око може збирати у фокусі паралельні промені і промені, що навіть розходяться, йдуть від предметів, розташованих перед оком. Гіперметропне око має недостатню рефракцію і без акомодациї зовсім не могло б бачити предмети виразно, навіть здалека (не було б далекозорим). У цьому легко переконатися, паралізувавши тимчасово акомодацию уприскуванням в око атропіну. Еметропне око після відомої операції видалення катаракти кришталика або після зрушення кришталика убік від зіниці стає гіперметропним, бо для ока втрачена рефракція кришталика. Тому можна сказати, що для гіперметропного ока унаслідок недостатньої рефракції *punctum remotum* в негативному просторі позаду сітківки, а *punctum proximum*, хоч і перед оком, але порівняно далеко.

Призначення окулярів для аметропних очей (міопного і гіперметропного) має на меті нейтралізувати аномалії, тобто для міопного ока - розширити простір між найближчою і дальньою точками, "відсунувши" останню в нескінченність, а для гіперметропного - пересунути дальню точку з негативного простору в нескінченність перед очима, зовсім не вдаючись до акомодатії. Тому для міопного ока треба користуватися розсіюючими лінзами (нейтралізують надлишок рефракції ока); а для гіперметропного — збірними лінзами, що доповнюють своєю рефракцією недостатню рефракцію ока.

Фокусні відстані таких окулярів повинні дорівнювати відстані punctum remotum до оптичного центру ока або його вузлової точки.

1.5.1 Ступені аномалій зору

Ступінь або сила міопії оцінюється дробом $1/R_m$ і позначається буквою $M = 1/R_m$; чим більше R_m , тобто чим віддаленіша punctum remotum, тим слабкіша міопія, і при R рівному нескінченності очі вважають нормальними. Міопію нейтралізують сферично увігнутим склом, оптична сила якого — $1/R_m$; якщо відстань R_m в метрах, то дріб отримує найменування діоптрії. Наприклад, для скла з показником заломлення 1,53, для середніх променів при $R = 18$ дюймів, сила скла $1/18 = 2,25D$ (діоптрій). Ступінь гіперметропії оцінюється теж дробом — $1/R_h$, і чим більше R_h , тим нижчий ступінь гіперметропії. Її також можна виправити або нейтралізувати сферичним опуклим збірним оптичним склом (+), сила якого = $+1/R_h$. Прийнято називати нижчими ступенями гіперметропії і міопії всі ступені до $1/12$, тобто до 3,25 D. Середніми — від $1/12$ до $1/6$, тобто 3,25D — 6,5D, і сильними аномаліями — всі ступені, більші від $1/6$ або 6,5 D.

Але не всі сферичні лінзи в однаковій мірі годяться для окулярів. Пласко опуклі лінзи зовсім непридатні для окулярів. Найвигідніші в оптичному відношенні — увігнуто-опуклі збірні і розсіюючі (+ і — меніски), оскільки ці лінзи, будучи зверненими до ока увігнутим боком, володіють найменшою сферичною аберациєю. За такими окулярами, названими Вульстеном (Wollaston) перископними, очі вільно можуть рухатися без шкоди для ясності зору.

1.5.2 Нумерація окулярних лінз

Здавна нумерація окулярних лінз велася за радіусом кривизни поверхонь і виражалася в дюймах. Але оскільки середній показник заломлення скла, з якого виготовляли і виготовляють окулярні лінзи, дорівнює $3/2$, точніше 1,53, а товщина лінз незначна, то з невеликою похибкою вважали головну фокусну віддаль скла рівною радіусу кривизни. Таким чином, окуляр-

ними лінзами +36 (плюс 36) і —8 (мінус 8) вважали збірні і розсіювальні лінзи з головними фокусними віддальми (отже - з радіусами кривизни), рівними 36 дюймів і 8 дюймів відповідно. Ця дюймова нумерація лінз у 1875 р. за ухвалою міжнародного медичного конгресу в Брюсселі замінена новою — метричною при наступному головному положенні: означати номери лінз за оптичною силою = $\pm 1/f$, де f — фокусна віддаль в метрах, причому силу лінзи з $f = 1$ м стали називати діоптрією. Таким чином, лінзам з фокусними віддальми $1/2$ м, $1/3$ м, $1/4$ м повинні відповідати номери 2, 3 і т.д. (за їхньою оптичною силою, вираженою у діоптріях). Тому в сучасних наборах окулярних лінз загальноприйнятою є нумерація в діоптріях, але для переходу від старої дюймової системи до нової вживається наближена формула $D \cdot N = 40$, де D — номер за метричною системою в діоптріях, а N — за дюймовою. [Для французьких наборів використовувалися французькі дюйми, для яких $D \cdot N = 36$].

1.5.3 Таблиця відповідності знаків лінз

у діоптріях (за метричною системою) до їх номерів за дюймовою системою.

- n — показник заломлення скла, з якого виготовлена лінза.

1.5.4 Підбір окулярів

При виборі окулярів пацієнт поміщується на відстані 6 м (19 англ. фут.) від добре освітленої спеціальної таблиці. Кожне око досліджується окремо. Пацієнт, починаючи зверху, читає букви кожного рядка; останній з прочитаних рядків позначається як гострота зору пацієнта, визначена без поправки лінзами. Потім приставляють до ока слабкі (довгофокусні), а потім сильніші (короткофокусні) двовипуклі лінзи і пропонують пацієнтові ще раз прочитати останній з розібраних ним рядків. Якщо це вдається і він бачить так само добре, як і здоровим оком або навіть краще, то у нього діагностується гіперметропія. Для визначення ступеня гіперметропії (H) приставляють до ока все більш і сильніші лінзи, поки пацієнт не відзначить, що він бачить гірше. Сильно випукле скло вкаже на ступінь гіперметропії. Якщо D скла 10, тобто сила скла +10D, то ступінь гіперметропії — 10 D. Якщо зір пацієнта погіршується від опуклих лінз, необхідно з'ясувати, чи існує міопія або еметропія. З цією метою приставляють до ока увігнуті лінзи, що поступово посилюються; якщо при цьому виявиться, що зір помітно поліпшується, то мають справу з міопією. На ступінь міопії указуватиме слабке увігнуте скло, з яким пацієнт краще за всі інші випадки може читати. Якщо зір не поліпшується і від увігнутих лінз, то на-

явне послаблення гостроти зору, причину якого повинен з'ясувати досвідчений лікар-офтальмолог. При цьому корисно керуватися формулою, що виражає залежність гостроти зору від віку пацієнта.

1.5.5 Окуляри при старечій далекозорості (пресбіопія)

На початку статті про окуляри ми вказали на чудову властивість очей пристосовуватися до відстаней, причому звернули увагу, що сила цієї пристосовності, інакше кажучи - сила акомодатії, у різних очей коливається в широких межах. Прийнято силу акомодатії вимірювати різницею — $1/A$ двох дробів, з яких зменшуваний дріб є $1/P$, а $1/R$, що віднімається, де $R > 0$ для міопії і $R < 0$ для гіперметропа, тобто: $1/P - 1/R = 1/A$; з віком сила акомодатії зменшується, тому що при тривалому постійному положенні точки R точка P все-таки безперервно віддаляється від ока. По Дондерсу, для нормальних очей р.р. і р.г. мають наступні відстані до вузлової точки ока:

1.5.6 Причина ослаблення акомодатії

Навіть у здорового нормального ока з віком послаблюється здатність акомодувати, що пояснюється поступовою зміною фізичних властивостей кришталика — його ущільненням і зменшенням пружності. У пізньому віці приєднується до цих змін кришталика і атрофія акомодуючого війкового м'яза. Подібне ослаблення акомодатії — пресбіопія, або стареча далекозорість, — відвіку викликала потребу в користуванні двовипуклими, збірними окулярами, і тому її ще недавно не відокремлювали абсолютно або відокремлювали недостатньо від гіперметропії і міопії. Обидва ці стани ока називали одним словом: далекозорість-пресбіопія. Видатний офтальмолог Дондерс встановив чітку різницю між двома цими станами ока: аномалією рефракції і ослабленням акомодатії, зберігши слово "пресбіопія" тільки відносно того, що зазначило зменшення акомодатії і притому такого зменшення, коли є явний розлад зору. Початком появи такої пресбіопії в нормальному оці Дондерс вважає той момент, коли найближча точка віддаляється далі 20 см. Тому ступінь пресбіопії (аналогічно із ступенем міопії і гіперметропії) Дондерс визначає виразом $P_g = 1/8 - 1/P$. Якщо $P = 8''$, то по Дондерсу $P_g = 0$; але якщо $P = 16''$, $P_g = 1/8 - 1/16 = 2,50D$. Для обчислення фокусної відстані окулярів з двоопуклими лінзами (*biconvex*) служить формула $1/V - 1/P$, в якій P — означає відстань найближчої точки при найбільшій можливій акомодатії, а V — відстань, на якій було б бажано мати найближчу точку. Наприклад, найближча точка знаходиться від ока на відстані 20'', а бажано було б її мати на відстані 10''. Цього можна досягти за

допомогою двоопуклих лінз, фокус яких буде на 20'', бо $1/10 - 1/20 = 1/20$. Сила такого скла 2D, а номер D = 2. Але іноді бувають потрібні два роди окулярів для різних відстаней при частій і швидкій зміні відстаней (у живописців, вчителів); у такому разі, при послабленій акомодатії зручніше мати не дві пари окулярів, а використовувати особливі окуляри: у одній частині оправы, виточивши поверхню однієї лінзи, шліфують займаючи половину іншої частини оправы поверхню іншої кривизни. Іноді оправа (для одного ока) компонується з двох половинок різної кривизни, складених по горизонтальному діаметру.

1.5.7 Франклінівські окуляри



Черт. 1. Франклінівські очки.

Франклінівські окуляри

Інший пристрій є зручнішим для очей. Такі окуляри називаються *франклінівськими*, а також *Verves a double foyer*. — Якщо потрібний поперемінний частий розгляд то далеких, то близьких об'єктів, причому розгляд удалину не представляє складнощів для ока, тоді користуються *пантоскопічними* окулярами.

1.5.8 Скло пантоскопічних окулярів

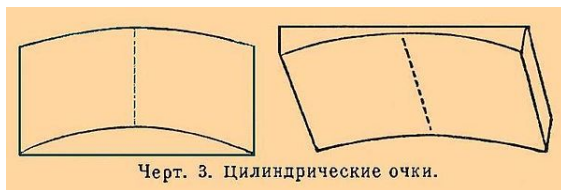


Черт. 2. Стекло пантоскопічних очок.

Скло пантоскопічних окулярів

У верхній їх половині скельця або пласкі, або зовсім відсутні, а в нижній — скельця з відповідною фокусною віддаллю для розгляду зблизька. Циліндричні окуляри вживаються у випадках аномалії, відомої під назвою астигматизму.

1.5.9 Циліндричні окуляри й астигматизм



Черт. 3. Цилиндрические очки.

Циліндричні окуляри

Нерідко еметропне око не у всіх напрямках симетричне відносно своєї осі (асиметрія рогівки), а тому в різних меридіанах фокусні відстані різні, причому в двох меридіанах, розташованих взаємно перпендикулярно, фокусні відстані - найбільша і найменша. Ці меридіани називаються головними. Такий випадок аномалії рефракції називається правильним астигматизмом. Ступінь його визначається різницею між заломлюючою силою в головних меридіанах $A_s = 1/F_1 - 1/F_2 - 1/F$. Таку аномалію можна нейтралізувати, як довів вперше в 30-х роках астроном Ері (Airy), циліндровими лінзами, опуклою або увігнутою. У першому випадку вісь циліндра лінзи повинна збігатися з меридіаном, якому відповідає найбільша рефракція, інакше кажучи, найменша фокусна відстань, в другому — вісь циліндра повинна бути в головному меридіані, для якого рефракція найменша, а, f , відповідно, найбільше. Кожне нормальне око є до деякої міри астигматичним — нерідко A_s досягає $1/200 - 1/60$. Це фізіологічний астигматизм, що не порушує помітно виразності зору. Але астигматизм більше $1/60$ веде вже до розладів зору. Він вимагає використання циліндрових лінз. У різних випадках астигматизм може бути змішаний з міопією і гіперметропією.

1.5.10 Сфероциліндрична лінза



Черт. 4. Сфероцилиндрическое стекло.

Тому циліндричні окулярні лінзи бувають наступних форм: 1) прості циліндричні лінзи, опуклі і увігнуті, з однією плоскою і однією циліндричною або ж з 2-ма циліндричними поверхнями з паралельними осями; означаються в практиці по своїй силі $+1/F$ з (*cylindrique*); застосовуються для виправлення астигматизму еметропного ока; 2) біциліндричні з однією

опуклою і однією увігнутою циліндровими поверхнями, розташованими навхрест — позначаються $1/F_1$ і $1/F_2$ і сфероциліндрично означаються. (обидві поверхні або опуклі або вгнуті). Цими формами скельця коригують астигматизм у сполученні з міопією і гіперметропією. Стенопічні окуляри виготовляються з непрозорих лінз з вузьким прозорим отвором у формі півкола або вузької щілини для обмеження променів світла, що проходять в око. Вони вживаються для поліпшення зору в тих випадках, коли лише одна частина діоптричного апарату очей є прозорою, для того, щоб перешкодити розсіюванню світлових променів, що проходять крізь непрозорі частини рогівки, а також з метою затримати проникнення в око надлишку променів.



Черт. 5. Призматическое стекло.

Призматичне скло

1.5.11 Призматичні окуляри

Це комбінація призматичних і сферичних лінз. Користування ними вказане Креку, Дондерсом і Грефе. Їх застосовують головним чином при стражданні очних м'язів (косоокість) і при деякій неправильності рефракції.

1.5.12 Кольорові окуляри

Кольорові скельця слугують для захисту очей від дуже яскравого світла. Раніше вживали зелені скельця, але з того часу, як виявилось, що вони, пропускаючи завелику долю променів спектру, є малоефективними для захисту очей, стали користуватися сірими та синіми скельцями. Сірі димчасті скельця поглинають всі кольорові промені майже однаково; сині скельця найбільше поглинають жовті і оранжеві промені (найяскравіші). Кольоровими робляться також сферичні, циліндричні і призматичні лінзи.

1.5.13 Список скорочень

Всі вказані виправлення сферичними окулярами головних аномалій рефракції і пресбіопії ми звели у поміщену вище таблицю, користуючись наступними



Сферопризматичне скло

позначеннями: Е — еметропія, М — міопія, Г або Н — гіперметропія, П — пресбіопія, р. г. — punctum remotum, р. п. — punctum proximum, А — означає фокусну відстань тієї уявної додаткової оправки, яка як би тимчасово приставляється до передньої поверхні кришталіка, — при найбільшій акомодатції його для ясного бачення найближчої точки (р. п.), Рг — означає умовно, по Дондерсу, ступінь пресбіопії, В — фокусна відстань, на якій при пресбіопії бажано мати р. н., Ас (As) — правильний астигматизм і, нарешті, 1-й м., 2-й м. — головні меридіани ока.

1.6 Див. також

- Аспект
- Погляд (зір)
- Зорова система

1.7 Джерела

- *Грегори Р. Л.*, Глаз и мозг. Психология зрительного восприятия, пер. с англ., М., 1970
- *Нагель А.* «Аномалії, рефракції і акомодатції ока» (1881, переклад з німецького д-ра Добровольського); Longmore, «Керівництво до дослідження зору для військових лікарів» (перероблене Лаврентьевим, 1894);
- *Imbert A.*, «Les anomalies de la vision» (1889).
- *Аветисов Э. С., Розенблюм Ю. З.* Оптическая коррекция, М., 1981;
- *Глезер В. Д.* Зрение и мышление, Л., 1985;
- *Кроль М. Б., Федорова Е. А.* Основные невропатологические синдромы, М., 1966;
- *Механизмы работы клеточных элементов сетчатки*, под ред. М. М. Каримова, М., 1984;
- *Рок И.* Введение в зрительное восприятие, пер. с англ., кн. 1—2, М., 1980;

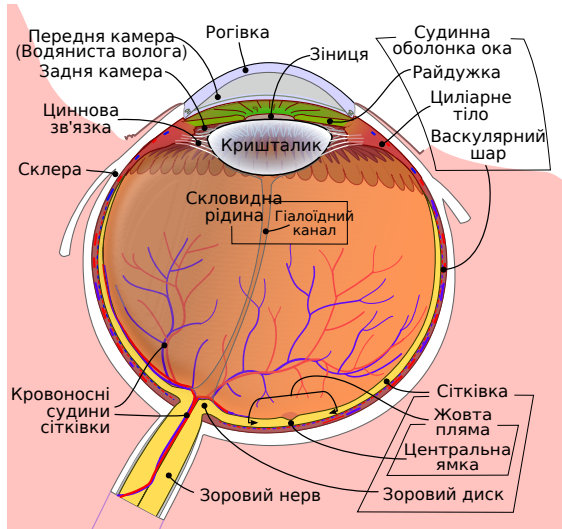
- *Эмануэль Н. М. и Островский М. А.* Химическая физика проблемы «газ и солнце», М., 1983.

1.8 Посилання

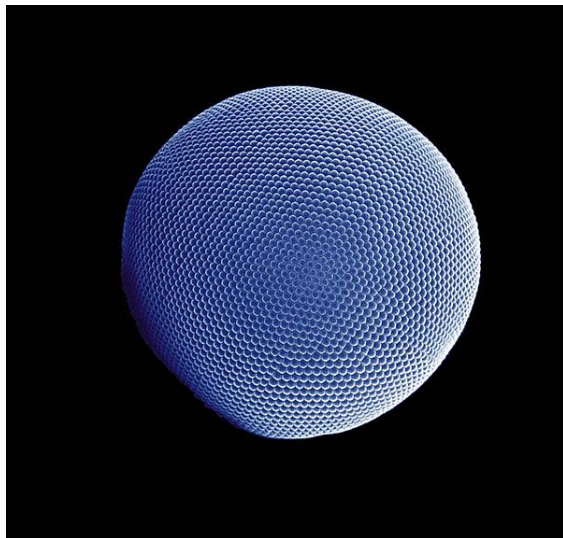
- РЕФРАКЦІЯ ОКА //Фармацевтична енциклопедія

Розділ 2

Око

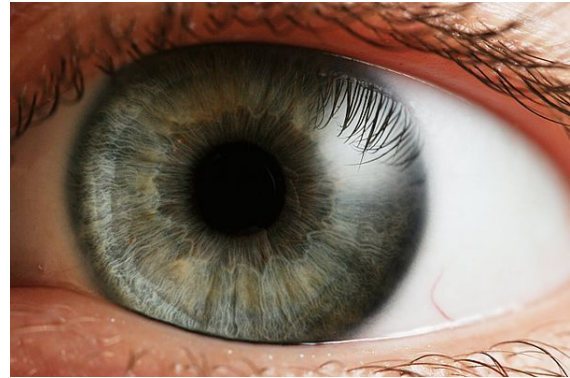


Схематична будова ока людини



Складне око антарктичного криля

Око (лат. *oculus*) — парний сенсорний орган (орган зорової системи) людини і тварин, що володіє здатністю сприймати електромагнітне випромінювання в видимому діапазоні довжин хвиль і забезпечує функцію зору. Крізь очі надходить $\approx 90\%$ інформації з навколишнього світу^[1].



Індивідуальний малюнок райдужки ока, який забезпечується волокнами м'язу, пігментом меланіном та судинною сіткою.

Око міститься в очній ямці черепа (орбіті). Воно складається з двох частин: очного яблука і допоміжного апарата ока. Очне яблуко має кулясту форму, що дозволяє йому рухатись у межах очної ямки.

2.1 Будова ока

Зорова система складається з периферичного відділу (органу зору — ока), провідникового відділу (зорового нерва) і центрального відділу (основу становить зоровий центр кори головного мозку).

Орган зору людини — око — це унікальний і дуже складний орган. У людини два ока, і тому зір **бінокулярний**, або **стереоскопічний**. Кожне око розташоване в очній ямці черепа (орбіті), має кулясту форму з опуклішою передньою частиною і тому ще називається **очним яблуком**. Така форма ока дає змогу йому рухатися в певних межах очної ямки. Око має три оболонки:

- зовнішня (білкова),
- середня (судинна)
- внутрішня (сітківка).

2.1.1 Зовнішня оболонка

Зовнішня оболонка ока включає білкову оболонку, або склеру, і рогівку. **Білкова оболонка**, або **склера**, — найщільніша й найміцніша в усьому оці оболонка, що складається зі сполучної тканини, в якій переплелися колагенові та еластичні волокна. Ця оболонка надає очному яблуку форми, тобто виконує опорну функцію. Спереду білкова оболонка переходить у прозору рогівку.

Рогівка — це передня прозора частина ока, лінза. Через рогівку всередину ока проникають світлові промені. Вона має здатність їх заломлювати. Рогівка містить механорецептори, тому дотик до неї спричиняє **безумовний рефлекс**, який проявляється морганням.

Отже, зовнішня оболонка захищає око від механічних і хімічних пошкоджень, від мікроорганізмів, пропускає і заломлює промені світла.

2.1.2 Середня оболонка

За зовнішньою оболонкою розташована пронизана кровоносними судинами **середня (судинна) оболонка**. Вона складається з райдужки, циліарного тіла і власне судинної оболонки.

Райдужка розташована спереду судинної оболонки і містить пігмент меланін, який зумовлює її забарвлення — від блакитного до темно-коричневого, має вигляд диска з круглим отвором всередині — зіницею. Завдяки гладеньким м'язам зіниця здатна змінювати свій діаметр, регулюючи кількість світла, що потрапляє в око. Якщо освітлення яскраве — зіниця звужується, в темряві вона розширюється.

Діаметр змінюється і в результаті емоційних реакцій: за стану страху зіниця розширюється, а за гніву — звужується. Це відбувається рефлекторно: під час збудження симпатичного відділу автономної нервової системи (під час стресу, страху) зіниця розширюється, парасимпатичного відділу (після стресу) — звужується. Завдяки узгодженій роботі цих відділів встановлюється потрібний діаметр зіниці. Так зіничний рефлекс регулює надходження в око світла і має захисне значення.

У середині судинної оболонки міститься циліарне тіло (війчасте тіло), що складається з війкового м'яза і зв'язок, до яких прикріплюється кришталик.

Власне судинна оболонка — це густа сітка кровоносних судин, які забезпечують безперервне живлення всього ока.

2.1.3 Внутрішня оболонка

Внутрішня оболонка — **сітківка** є світлосприймальною. Вона перетворює світлову енергію (подразнення) на нервовий імпульс і здійснює первинну обробку зорового сигналу.

2.1.4 Кришталик

У порожнині ока міститься ще кришталик і склисте тіло. **Кришталик** — частина світлозаломлювального апарату ока. Розташований між райдужною оболонкою і склистим тілом, має форму двоопуклої лінзи. Промені світла, що проходять через кришталик, заломлюються.

За норми кришталик прозорий і еластичний, розміщений у тонкій прозорій капсулі, яка переходить по краях у зв'язки, прикріплені до циліарного тіла. Кришталик може змінювати свою форму (кривизну) завдяки тому, що у циліарному тілі є гладенькі м'язи. Під час їхнього скорочення зв'язки натягуються і форма кришталика стає менш опуклою. У разі розслаблення гладеньких м'язів зв'язки також розслаблення і форма кришталика стає більш опуклою.

Помутніння кришталика спричиняє захворювання катаракту. Причиною виникнення катаракти можуть бути порушення обміну речовин, травми, радіоактивне опромінення. Лікування катаракти потребує хірургічного втручання з видаленням помутнілого кришталика та заміною його на штучний. Тепер таке оперативне втручання є безболісним завдяки лазерній хірургії.

2.1.5 Склисте тіло

Всю порожнину ока (очне яблуко) позаду кришталика заповнює прозора желеподібна маса, як розплавлене скло, звідси й назва склисте тіло (склоподібне тіло). На його передній поверхні знаходиться заглиблення для кришталика, краї якого з'єднуються з капсулою кришталика. Кришталик і склисте тіло пропускають світлові промені всередину ока та заломлюють їх. Склисте тіло підтримує також внутрішньоочний тиск.

2.1.6 Передня і задня камери ока

Між рогівкою і райдужкою, а також між райдужкою і кришталиком є невеликі простори, які відповідно називають **передньою** і **задньою камерами** ока. Вони заповнені вологою, що постачає рогівку і кришталик поживними речовинами, оскільки вони не мають кровоносних судин. Камери сполучаються між собою за допомогою зіниці.

2.1.7 Допоміжний апарат ока

До допоміжного апарату ока відносять брови, повіки з війми, слізні залози та м'язи ока. Завдяки бровам піт, що стікає з лоба, не потрапляє в очі. Повіки з війми захищають око від пилу, яскравих променів. Повіки мимовільно, періодично, рефлекторно змикаються та розмикаються, рівномірно змочуючи поверхню ока слізною рідиною. Це має захисне значення. Захисні реакції ока ґрунтуються і на мигальному рефлексі, який спрацьовує під час дії подразника (доторкання до вій, раптове різке освітлення). При цьому око рефлекторно примружуються.

Внутрішня частина повіки, а також передній відділ очного яблука вкриті сполучнотканинною оболонкою — **кон'юнктивою**. Запалення кон'юнктиви спричиняє захворювання — **кон'юнктивіт**. Його ознаки: постійне виділення сліз, подразливе відчуття різні в очах, почервоніння повік, іноді гнійні виділення. Причини виникнення кон'юнктивіт — порушення правил гігієни, збудники інфекції, алергени.

Слізний апарат складається зі слізної залози, розташованої у верхньому зовнішньому куті орбіти, слізної мішки і носослізного каналу. Слізна залоза виділяє секрет (сльози) — рідину, яка має певний склад (вода та речовини, що мають антимікробну дію). Сльози зволожують, очищують й дезінфікують рогівку ока, збираються в слізному мішку, а їхній надлишок постійно стікає із внутрішнього кута ока по носослізному каналу у носову порожнину.

2.2 Сприйняття зображення предметів

Чітке зображення предметів на сітківці забезпечуються складною унікальною оптичною системою ока. Вона складається з **рогівки, рідин** передньої і задньої камер, **кришталіка** і **склистого тіла**. Світлові промені проходять крізь перелічені **середовища оптичної системи ока** і заломлення в них згідно із законами оптики. Найсильніше заломлення світла відбувається на рогівці ока, а кришталік завдяки акомодатції використовується тільки для фокусування зображення на сітківці ока. Оптична сила людського ока (рогівка-передня камера-кришталік) дорослої людини становить близько 60 діоптрій (оптична система око має два фокуси внаслідок різних середовищ з обох сторін і фокусна відстань в напрямку до сітківки автоматично фіксується і становить близько 17 мм), а самого кришталіка — в середньому тільки 15 діоптрій.

Для чіткого сприйняття предметів необхідно, щоб їхнє зображення завжди фокусувалось у центрі сітківки. Функціонально око пристосоване для розглядання віддалених предметів. Проте люди можуть чі-

тко розрізняти предмети, розташовані на різній відстані від ока, завдяки здатності кришталіка змінювати свою кривизну, а відповідно й заломлювальну силу ока. *Здатність ока пристосовуватись до ясного бачення предметів, розташованих на різній відстані, називають акомодатцією*. Порушення акомодативної здатності кришталіка призводить до порушення гостроти зору та виникнення короткозорості або далекозорості.

Однією з причин розвитку короткозорості є перенапруження війкових м'язів кришталіка під час роботи з дуже дрібними предметами, тривалого читання при поганому освітленні, читання в транспорті. Під час читання, писання або іншої роботи предмет треба розміщувати на відстані 30 — 35 см від ока. Занадто яскраве освітлення дуже подразнює фоторецептори сітківки ока. Це також шкодить зору. Світло повинно бути м'яким, не сліпити очі.

Під час писання, малювання, креслення джерело світла розташовують ліворуч. Важливо, щоб було верхнє освітлення. При тривалому зоровому напруженні через кожну годину необхідно робити 10-хвилинні перерви. Слід берегти очі від травм, пилу, інфекції.

Порушення зору, пов'язане з нерівномірним заломленням світла рогівкою чи кришталіком, називають **астигматизмом**. У разі астигматизму зазвичай знижується гострота зору, зображення нечітке і викривлене. Астигматизм усувається за допомогою окулярів з особливим (циліндричним) скельцями.

Короткозорість — відхилення від нормальної здатності оптичної системи ока заломлювати промені, яке полягає в тому, що зображення предметів, розташованих близько до очей, виникають перед сітківкою. Короткозорість буває природженою і набутою. При природній короткозорості очне яблуко має видовжену форму, тому промені від предметів фокусуються перед сітківкою. Чітко видно предмети, розташовані на близькій відстані, а зображення віддалених предметів нечітке, розпливчасте. Набута короткозорість розвивається при збільшенні кривизни кришталіка внаслідок порушення обміну речовин або гігієни зору. Існує спадкова схильність до розвитку короткозорості. Основами ж причинами набутої короткозорості є підвищене зорове навантаження, погане освітлення, нестача вітамінів в їжі, гіподинамія. Для виправлення короткозорості носять окуляри з двоувігнутими лінзами.

Далекозорість — відхилення від нормальної здатності оптичної системи ока заломлюються світлові промені. У разі природженої далекозорості очне яблуко вкорочене. Тому зображення предметів, розташованих близько до очей, виникають позаду сітківки. Здебільшого далекозорість виникає з віком (набута далекозорість) унаслідок зменшення еластичності кришталіка. При далекозорості потрібні окуляри з двоопуклими лінзами.

2.3 Сприйняття світла

Ми сприймаємо світло завдяки тому, що його промені проходять через оптичну систему ока. Там збудження обробляється й передається до кори кінцевого мозку. Сітківка — це складна оболонка ока, що містить кілька шарів клітин, різних за формою і функцією.

Перший (зовнішній) шар — *пігментний*, складається із щільно розташованих епітеліальних клітин, які містять чорний пігмент *фусцин*. Він поглинає світлові промені, сприяючи чіткішому зображенню предметів. Другий шар — *рецепторний*, утворений світлочутливими клітинами — **зоровими рецепторами** — *фоторецепторами: колбочками і паличками*. Вони сприймають світло і перетворюють його енергію на нервовий імпульс.

У сітківці людини нараховують близько 130 млн паличок і 7 млн колбочок. Розміщені вони нерівномірно: у центрі сітківки розташовані переважно колбочки, далі від центру — колбочки і палички, а на периферії переважають палички.

Колбочки забезпечують сприйняття форми і кольору предмета. Вони малочутливі до світла, збуджуються лише при яскравому освітленні. Найбільше колбочок навколо центральної ямки. Це місце скупчення колбочок називають **жовтою плямою**. Жовту пляму, особливо її центральну ямку, вважають місцем найкращого бачення. У нормі зображення завжди фокусується оптичною системою ока на жовтій плямі. При цьому предмети, які сприймаються периферичним зором, розрізняються гірше.

Палички мають видовжену форму, колір не розрізняють, але дуже чутливі до світла і тому збуджуються навіть при малому, так званому сутінковому, освітленні. Тому ми можемо бачити навіть у погано освітленій кімнаті або в сутінках, коли контури предметів ледь вирізняються. Завдяки тому, що палички переважають на периферії сітківки, ми здатні бачити «куточком ока», що відбувається навколо нас.

Отже фоторецептори сприймають світло і перетворюють його на енергію на нервовий імпульс, який продовжує свій шлях у сітківці та проходить через третій шар клітин, утворений з'єднанням фоторецепторів із нервовими клітинами, що мають по два відростки (їх називають біполярними). Далі інформація **зоровими нервами** через *середній і проміжний мозок* передається до зорових зон кори головного мозку. На нижній поверхні мозку зорові нерви частково перехрещуються, тому частина інформації від правого ока надходить у ліву півкулю і навпаки.

Місце, де зоровий нерв виходить із сітківки, позбавлене фоторецепторів, у ньому світло не сприймається, і називається це місце **сліпою плямою**. Предмети, зображення яких потрапляє на цю ділянку, ми

не бачимо. Площа сліпої плями (в нормі) становить від 2,5 до 6 мм².

2.4 Сприйняття кольору

Багатоколірність сприймається завдяки тому, що колбочки реагують на певний спектр світла ізольовано. Існує *три типи колбочок*. При ізольованій дії хвиль різної довжини колбочки кожного типу збуджуються неоднаково. Внаслідок цього кожна довжина хвилі сприймається як особливий колір. Колбочки першого типу реагують переважно на червоний колір, другого — на зелений і третього — на синій. Ці кольори називають *основними*. Наприклад, коли ми дивимося на райдугу, то найпомітнішими для нас є основні кольори (червоний, зелений, синій).

Оптичним змішуванням основних кольорів можна одержати всі кольори та їхні відтінки. Якщо всі три типи колбочок збуджуються водночас і однаково, виникає відчуття білого кольору.

У деяких людей колірний зір порушений. Порушення колірного зору називають **дальтонізмом** (від прізвища англійського вченого Джона Дальтона, який у 1795 р. уперше описав це явище). Це переважно розлад сприймання червоного і зелених кольорів через відсутність певних типів колбочок у сітківці ока. Люди, які страждають на дальтонізм, не можуть працювати водіями, льотчикам тощо. Дальтонізм не лікується.

2.5 Сприйняття розташування предметів у просторі

Правильна оцінка розташування предметів у просторі та відстані до них досягається **окомір**. Його можна поліпшити, як і будь яку властивість. Окомір особливо важливий для пілотів, водіїв. Підвищення сприйняття предметів досягається завдяки таким характеристикам, як *поле зору*, *кутова швидкість*, *бінокулярний зір* і *конвергенція*.

Поле зору — це простір, який можна охопити оком при фіксованому стані очного яблука. Полем зору можна охопити значну кількість предметів, їхнє розташування на певній відстані. Проте зображення предметів, які перебувають у полі зору і розташовані ближче, частково накладають на зображення тих, що за ними. З віддаленням предметів від ока зменшуються їхні розміри, рельєфність їхньої форми, різниці тіней на поверхні, насиченість кольорів тощо, аж поки предмет не зникає з поля зору.

У просторі багато предметів рухаються, і ми маємо змогу сприймати не лише їхній рух, а й швидкість руху. Швидкість руху предметів визначають на під-

ставі швидкості переміщення їх по сітківці, так званої **кутової швидкості**. Кутова швидкість близько розташованих. Наприклад, вагони поїзда, що рухається, проносяться повз спостерігача з великою швидкістю, а літак у небі зникає з поля зору повільно, хоча швидкість його набагато більша від швидкості поїзда. Це тому, що поїзд розташований щодо спостерігача ближче ніж літак. Таким чином, близько розташовані предмети зникають з поля зору раніше, ніж віддалені оскільки їхня кутова швидкість більша. Проте рух предметів, які переміщуються і надзвичайно швидко (куля) і занадто повільно (рух годинникової стрілки), око не сприймає.

Точній оцінці просторового розташування предметів, їхнього руху сприяє також **бінокулярний зір** (співдружна робота обох очей). Це дає змогу не тільки сприймати об'ємне зображення предмета, оскільки одночасно охоплюється і ліва, і права частина об'єкта, але й визначити місце розташування у просторі, відстань до нього. Це можна пояснити тим, що коли у корі великого головного мозку об'єднується відчуття від зображень від предметів у лівому і правому оці, в ній відбувається оцінка послідовності розташування предметів, їхньої форми.

Якщо заломлюється в лівому і правому оці неоднакове, це призводить до порушення бінокулярного зору (бачення обома очима) — **косоокості**. Тоді на сітківці виникає різке зображення від одного ока і розпливчасте від іншого. Спричинюється косоокість порушенням іннервації м'язів ока, прирощеним або набутим зниженням гостроти зору на одне око тощо.

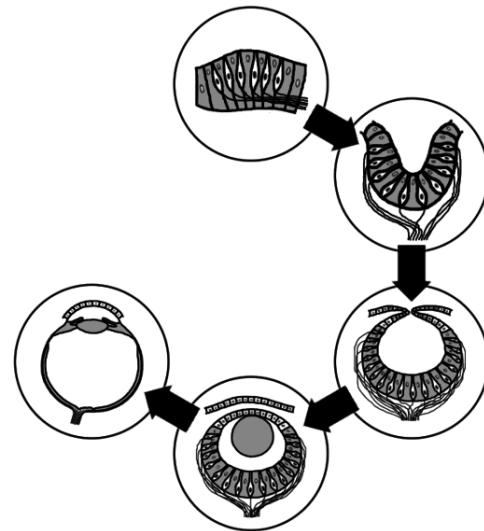
Ще одним із механізмів просторового сприйняття є **сходження очей (конвергенція)**. Осі правого і лівого ока за допомогою окорухового м'яза сходяться на предметі, що розглядається. Чим ближче розташований предмет, тим сильніше скорочуватимуться прямі внутрішні і розтягуюватимуться прямі зовнішні м'язи ока. Це дає змогу визначити віддаленість предметів.

2.6 Еволюція і походження ока

Навіть найпростіші безхребетні тварини мають здатність до **фототропізму** завдяки своєму, нехай вкрай недосконалому, зору.

У **безхребетних** зустрічаються дуже різноманітні за типом будови і зоровим можливостям очі і вічка — одноклітинні і багатоклітинні, прямі та обернені (інвертовані), паренхімні і епітеліальні, прості і складні.

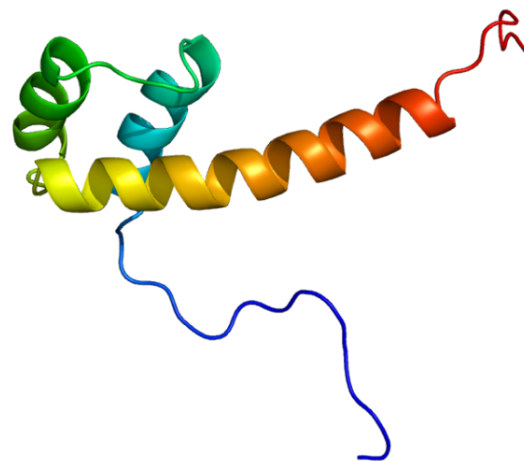
У членистоногих часто присутні декілька простих очей (іноді непарний просте вічко — наприклад, наупліальне око ракоподібних) або пара складних фасеточних очей. Серед членистоногих деякі види мають і прості, і складні очі: так, у ос двоє складних очей і три простих вічка. У скорпіонів 3-6 пар очей



Фази еволюції та ембріогенезу зорового органу: очна пляма — очна ямка — очний келих — очний міхур — очне яблуко.

(1 пара — головні, або медіальні, решта — бокові), у щитня — 3. В еволюції фасеткові очі відбулися шляхом злиття простих вічок. Близькі за будовою до простого ока очі мечохвостів і скорпіонів, мабуть, виникли зі складних очей трилобітоподібних предків шляхом злиття їх елементів.

Око людини складається з очного яблука і зорового нерва з його оболонками. У людини і хребетних є по два ока, розташованих в очних впадинах черепа.



протеїн, що кодується геном Pax6

Ймовірно очі, в усіх видів мають спільне походження. Цей орган виник один раз і незважаючи на різноманітну будову у тварин різних типів має дуже подібний генетичний код керування розвитком ока. У 1994 році швейцарський професор Вальтер Герінг (нім. *Walter Gehring*) відкрив ген Pax-6 (цей ген належить до класу майстер-генів, себто таких, які керують активністю та роботою інших генів). Цей ген наявний

як у *Homo Sapiens* так і в багатьох інших видів тварин, зокрема у комах, але в медуз цей ген відсутній. У 2010 році група швейцарських вчених на чолі з В. Герінгом, виявила в медуз виду *Cladonema radiatum* ген Рах-а. Пересадивши даний ген від медузи до мухи дрозофіли, та керуючи його діяльністю вдалося виростити нормальні очі мух в кількох нетипових місцях.^[2]

Як встановлено за допомогою методів генетичної трансформації, гени *eyeless* дрозофіли і *Small eye* миші, які мають високу ступінь гомології, контролюють розвиток очей: при створенні генноінженерної конструкції, за допомогою якої спричинюється експресія гена миші в різних імагінальних дисках мухи, у мухи з'являлися ектопічні фасеткові очі на ногах, крилах та інших ділянках тіла^[3]. В цілому в розвиток очі залучено кілька тисяч генів, проте один-єдиний «пусковий ген» («майстер-ген») здійснює запуск всієї цієї генної мережі. Те, що цей ген зберіг свою функцію у таких далеких груп, як комахи і хребетні, може свідчити про спільне походження очей всіх двобічносиметричних тварин.

За генетичною спорідненістю регуляторів розвитку очей всіх тварин можна поділити на 3 типи: ген Рах-а — тип Гідроїдні, Рах-б — Кубомедузи, Рах-б — в усіх типів двобічно-симетричних тварин, в тому числі людей. Дослідження швейцарських вчених додало аргументів на користь одноразового виникнення такого органу як око.^[2]

2.7 Типи очей

Фоторецепторна здатність знайдена вже в деяких найпростіших істот. Безхребетні, багато червив і змії, а також двостулкові молюски мають очі найпростішої структури — без кришталіка. Серед молюсків тільки головоногі мають складні очі, схожі на очі хребетних.

Око **комахи** — складене, складається з багатьох окремих фасеток, кожна з яких збирає світло і направляє його до рецептора, щоб створити зоровий образ.

Існує десять різних типів структурної організації світлосприймальних органів. Варто зазначити, що усі схеми захоплення оптичного зображення, які використовуються людиною, — за винятком трансфокатора (варіооб'єктива) та лінзи Френеля — можна знайти у природі. Схеми будови ока можна категоризувати наступним чином:

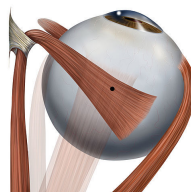
- «просте око» — з однією увігнутою світлосприймальною поверхнею,
- «складне око» — що складається з декількох окремих лінз, розташованих на спільній опуклій поверхні.^[4]

Варто зауважити, що слово «простий» не відноситься до меншого рівня складності чи гостроти сприйняття. Насправді, обидва типи будови ока можуть бути адаптованим до майже будь-якого середовища проживання чи типу поведінки. Єдине обмеження, що притаманне для даної схеми будови ока, — це роздільна здатність. Структурна організація складних очей не дозволяє їм досягнути роздільної здатності кращої ніж 1°. Також, суперпозиційні очі можуть досягати вищої чутливості ніж апозиційні очі. Саме тому, суперпозиційні очі більше підходять мешканцям середовищ з низьким рівнем освітленості (океанічне дно) або майже повною відсутністю світла (підземні водойми, печери).^[4] Очі також природньо розділяються на дві групи на основі будови клітин фоторецепторів: фоторецептори можуть бути циліарними (як у хребетних) або рабдомерними. Ці дві групи не є монофілетичними. Так наприклад, Кнідарія також притаманні циліарні клітини як «очі»,^[5] а в деяких анелід наявні обидва типи фоторецепторних клітин.^[6]

2.8 Людське око

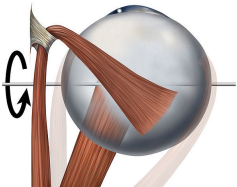
Око людини є сферичною структурою (очним яблуком), що знаходиться в кістяній очниці. Світло потрапляє в нього через рогову оболонку і проходить через зіницю, що рухається, у райдужній оболонці ока. Світло фокусується при одночасній дії вигнутої рогівки і кришталіка (круглої прозорої структури, що знаходиться за райдужною оболонкою). Миготливі м'язи діють на кришталік, змінюючи його форму, і тому зображення об'єктів, розташованих на різних відстанях, може фокусуватися на сітківці, що знаходиться в задній частині ока і містить світлочутливі клітини (палички і колбочки), з'єднані з мозком зоровим нервом.

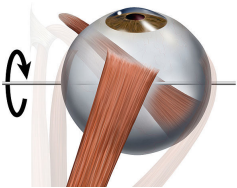
2.8.1 Руховий апарат ока людини



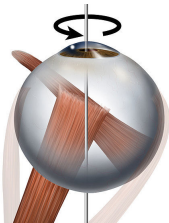
- Так око рухає бічний прямий м'яз, вигляд зверху

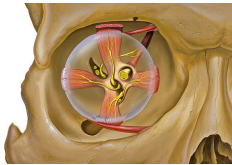
- 
- Так око рухає середній прямий м'яз, вигляд зверху

- 
- Так око рухає нижній прямий м'яз, вигляд зверху

- 
- Так око рухає верхній прямий м'яз, вигляд зверху

- 
- Так око рухає верхній косий м'яз, вигляд зверху

- 
- Так око рухає нижній косий м'яз, вигляд зверху

- 
- Вигляд спереду

Цікаво знати, що рогівка добре відновлюється — розрізи ній можна зашивати, і це не порушує зору. Внаслідок деяких хвороб або у деяких людей літнього віку

вона мутніє. Так виникає більмо (полуца), до ока не потрапляє світло, і людина сліпне. Операцію пересаджування рогівки (1924) першим у світі запропонував вітчизняний офтальмолог Володимир Петрович Філатов (1875–1956). Він працював в очній клініці при університеті в Одесі (1903–1936), а з 1936 року організував і очолив Одеський інститут очних хвороб, якому й присвоєно ім'я В. П. Філатова.

2.9 Цікаві факти

- Хамелеони можуть дивитися одним оком незалежно від іншого.
- У глибоководної риби *Macropinna microstoma* очі сховані в середині прозорої голови.

2.10 Примітки

- [1] Роль зору в життєдіяльності людини і наслідки його порушення в психічному та особистісному розвитку
- [2] Медузи и мухи заверили общность происхождения глаз. *membrana.ru*. 2010-07-30. Архів оригіналу за 2013-02-01. Процитовано 2010-08-07.
- [3] glava 14.1.p65 < ! — Заголовок доданий ботом -->
- [4] Land, M. F.; Fernald, R. D. (1992). The evolution of eyes. *Annual Review of Neuroscience* **15**. с. 1–29. doi:10.1146/annurev.ne.15.030192.000245. PMID 1575438.
- [5] Kozmik, Zbynek; Ruzickova, Jana; Jonasova, Kristyna; Matsumoto, Yoshifumi; Vopalensky, Pavel; Kozmikova, Iryna; Strnad, Hynek; Kawamura, Shoji та ін. (2008). Assembly of the cnidarian camera-type eye from vertebrate-like components (PDF). *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105** (26). с. 8989–8993. Bibcode:2008PNAS..105.8989K. doi:10.1073/pnas.0800388105. PMC 2449352. PMID 18577593. (англ.)
- [6] Fernald, Russell D. (September 2006). Casting a Genetic Light on the Evolution of Eyes. *Science* **313** (5795). с. 1914–1918. Bibcode:2006Sci...313.1914F. doi:10.1126/science.1127889. PMID 17008522. (англ.)

2.11 Література

- Ali, Mohamed Ather; Klyne, M. A. (1985). *Vision in Vertebrates*. New York: Plenum Press. ISBN 0-306-42065-1. (англ.)
- Сокурєнко, Вячеслав Михайлович. Око людини та офтальмологічні прилади: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за спец. «Медичні прилади і системи», «Біомедична інженерія» / В. М. Сокурєнко, Г. С. Тимчик, І. Г.

Чиж ; Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т» . — К. : НТУУ «КПІ», 2009. — 264 с. : рис., табл. — Бібліогр.: с. 257–260.

- Офтальмологія: навч. посіб. для студ. мед. вузів III–IV рівнів акредитації та лікарів заг. практики — сімейних лікарів / А. О. Ватченко [та ін.]; за ред. проф. А. О. Ватченко, доц. М. М. Тимофєєва ; Центр. метод. каб. з вищ. мед. освіти МОЗ України, Дніпропетр. держ. мед. акад., Каф. офтальмології. — Д. : АРТ-ПРЕС, 2006. — 129 с. — Бібліогр.: с. 124 .
- Венгер, Галина Юхимівна. Офтальмологія: курс лекцій : навч. посіб. для студ. вищ. мед. навч. закл. / Г. Ю. Венгер, А. М. Солдатова, Л. В. Венгер. — О. : Одес. медун-т, 2010. — 179 с. — (Бібліотека студента-медика / Одес. нац. мед. ун-т). — Бібліогр.: с. 176–177.
- Офтальмологія собак і котів: навч.-практ. посіб. / О. Ф. Петренко [та ін.]; за ред. д-ра вет. наук, проф. В. Б. Борисевича. — К. : Науковий світ, 2010. — 215 с. : рис.

2.12 Посилання

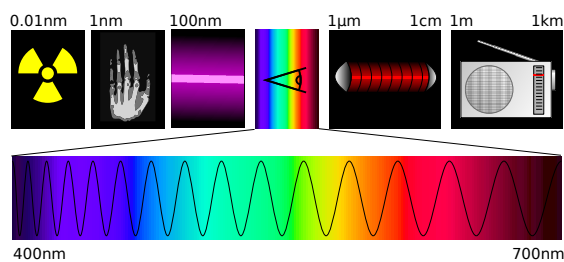
- ОКО
- Око // Великий тлумачний словник сучасної української мови. — 5-те вид. — К. ; Ірпінь : Перун, 2005. — ISBN 966-569-013-2.
- Око природи — Сурен Манвелян
- Очі людей — Сурен Манвелян

2.13 Див. також

- Зір
- Оптика
- Світло
- Лінза
- Сенсорна система
- Дослідження органу зору

Розділ 3

Світло



Видиме світло на електромагнітній шкалі

Світло — електромагнітні хвилі видимого спектру. До видимого діапазону належать електромагнітні хвилі в інтервалі частот, що сприймаються людським оком (7.5×10^{14} — 4×10^{14} Гц), тобто з довжиною хвилі від 390 до 750 нанометрів.

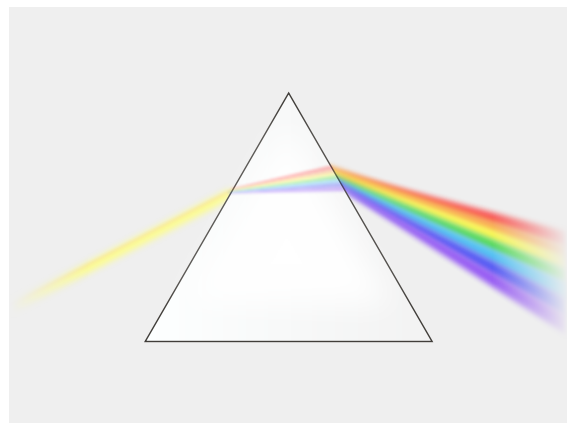
У фізиці термін «світло» має дещо ширше значення і є синонімом до оптичного випромінювання, тобто включає в себе інфрачервону та ультрафіолетову області спектру.

Властивості світла вивчаються розділами фізики оптикою та спектроскопією. Вимірювання інтенсивності світла — царина фотометрії.

3.1 Фізична природа і властивості світла

Як і будь-які інші електромагнітні хвилі світло характеризується частотою, довжиною хвилі, поляризацією й інтенсивністю. У вакуумі світло розповсюджується зі сталою швидкістю, яка не залежить від системи відліку — швидкістю світла. Швидкість поширення світла в речовині залежить від властивостей речовини і загалом менша від швидкості світла у вакуумі. Довжина хвилі зв'язана з частотою законом дисперсії, який також визначає швидкість поширення світла в середовищі.

Взаємодіючи з речовиною, світло розсіюється і поглинається. При переході з одного середовища



Завдяки дисперсії біле світло можна розкласти в спектр за допомогою призми

в інше змінюється швидкість розповсюдження світла, що призводить до заломлення. Поряд із заломленням на границі двох середовищ світло частково відбивається. Заломлення та відбиття світла використовується в різноманітних оптичних приладах: призмах, лінзах, дзеркалах, що дозволяють формувати зображення.

Випромінювання і поглинання світла відбувається квантами: фотонами, енергія яких залежить від частоти:

$$E = h\nu$$

де E — енергія кванта, ν — частота, h — стала Планка.

Звичайне денне світло складається з некогерентних електромагнітних хвиль із широким набором частот. Таке світло заведено називати білим. Біле світло має спектр, що відповідає спектру випромінювання Сонця. Світло з іншим спектром сприймається як кольорове. Дисперсія світла, тобто різна швидкість розповсюдження світлових променів з різною частотою у середовищі, дозволяє розкласти світло на кольорові складові.

Як і будь-яка інша електромагнітна хвиля світло характеризується поляризацією. Денне світло зазвичай

неполяризоване, або частково поляризоване. Ступінь поляризації світла змінюється при кожному акті відбиття від будь-якої поверхні або проходження через будь-яке середовище.

Світло переносить енергію. Зокрема, сонячне світло є одним з основних джерел енергії на Землі. Частина цієї енергії сприймається живими організмами при фотосинтезі. Використання сонячної енергії людством одна із найважливіших сучасних проблем.

3.2 Швидкість світла

Швидкість світла у вакуумі — абсолютне значення швидкості поширення електромагнітних хвиль у вакуумі. Традиційно позначається літерою латинського алфавіту «*c*»^[1]. Швидкість світла у вакуумі — фізична стала, що не залежить від вибору інерційної системи відліку. Вона належить до фундаментальних фізичних констант, що характеризують не просто окремі тіла чи поля, а властивості простору-часу у цілому. За сучасними уявленнями швидкість світла у вакуумі — гранична швидкість руху та поширення взаємодій.



Час поширення світлового променя у масштабованій моделі Земля-Місяць. Для подолання відстані від поверхні Землі до поверхні Місяця променю світла потрібно 1,255 с

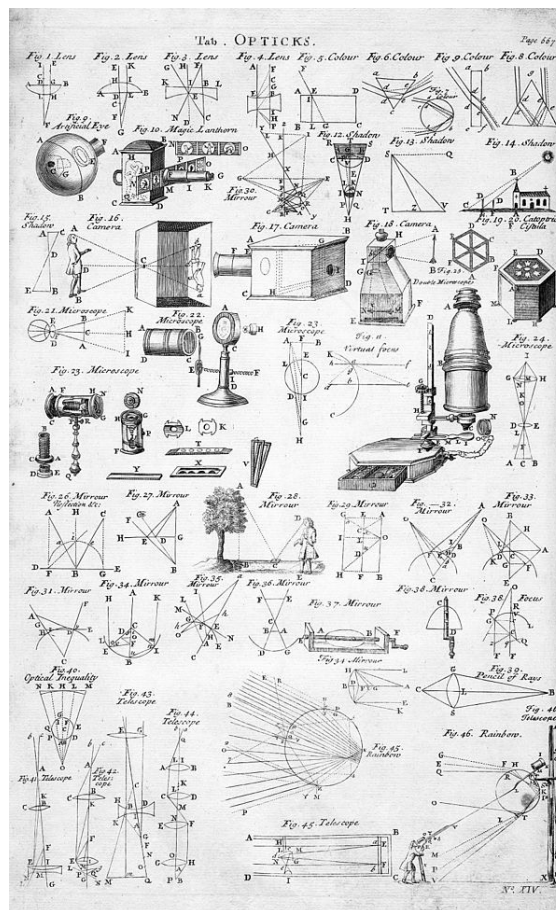
Найточніше значення швидкості світла з відносною похибкою $4 \cdot 10^{-9}$, що відповідає абсолютній похибці $1,1 \text{ м/с}$ ^[2] зафіксоване резолюцією 17-ої Генеральної конференції мір і ваг^[3] і розглядається як точне значення:

Ефективна швидкість світла в різноманітних прозорих речовинах є меншою, ніж у вакуумі. Наприклад, швидкість світла у воді становить близько $3/4$ від значення для вакууму. Тим не менше, сповільнення процесів в речовині, як вважають, відбувається не через сповільнення руху часток світла, а через їх поглинання та наступне випромінювання зарядженими частинками речовини.

Як крайній приклад «сповільнення» світла може бути дослід двох незалежних груп фізиків, у якому їм вдалось «повністю зупинити» світло, пропускаючи його через конденсат Бозе — Ейнштейна на основі рубідію^[4]. Тим не менше, термін «зупинити» у цих експериментах стосується лише квантів світла, що поглинулись атомами, які перейшли у збуджений

стан, а потім повторно випускаються через довільний проміжок часу як вимушене наступним лазерним імпульсом випромінювання.

3.3 Вивчення оптичних властивостей світла



Таблиця «Оптика» з «Циклопедії» (англ. Cyclopaedia: or, An Universal Dictionary of Arts and Sciences, 1728)

Вивченням світла і його взаємодії з речовиною займається розділ фізики, що називається **ОПТИКОЮ** (від дав.-гр. *ὀπτική* — наука про зорові сприйняття). Сучасна оптика досліджує не лише видиме електромагнітне випромінювання, а й ультрафіолетове (у тому числі м'яке рентгеновське) та інфрачервоне проміння^[5].

3.3.1 Геометрична оптика

Довжини електромагнітних хвиль оптичного діапазону дуже малі, і при досить повільній зміні властивостей середовища вважають, що поширення світлової енергії відбувається вздовж геометричних прямих ліній — *світлових променів*. Уявлення про світлові промені разом з експериментально встановленими законами відбивання і заломлення світла на межі двох середовищ є основою *променевої (геометричної) оптики*.

3.3.2 Фізична оптика

Головну частину оптики становить *фізична оптика*, яка з'ясує природу світла, закономірності його випромінювання, поширення, розсіяння і поглинання в речовині. Оптичні явища, в яких проявляється хвильова природа світла (наприклад, дифракція світла, інтерференція світла, поляризація світла), вивчає розділ *хвильова оптика*. Теоретичною основою хвильової оптики є класична електродинаміка, яка оптичні властивості середовища, характеризує макроскопічними константами (діелектричною проникністю ϵ , магнітною проникністю μ), що наявні у рівнянні Максвелла як коефіцієнти. Ці константи однозначно визначають показник заломлення n середовища:

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

Класична електронна теорія досить добре змальовує явища відбивання й заломлення світла, а також особливості його поширення в ізотропних та анізотропних кристалах, в оптично активних та електропровідних середовищах. У рамках цієї теорії розвинулись такі підрозділи фізичної оптики як *кристалооптика*, *металооптика* та *молекулярна оптика*.

Оптичні явища (зокрема, поглинання і випромінювання світла, фотоефект, фотохімічне перетворення молекул), в яких проявляється квантова природа світла, вивчає *квантова оптика*, теоретичною основою якої є квантова механіка і квантова електродинаміка.

Важливим розділом фізичної оптики є вчення про спектри випромінювання, поглинання та комбінаційного розсіяння світла — *спектроскопія*. Оптичні характеристики речовини не залежать від інтенсивності світла, лише за малої інтенсивності світлових пучків. Оптика слабких світлових пучків називається *лінійною*. Оптичні явища (зокрема, самофокусування, розфокусування пучків світла, помноження частоти світлових коливань, прояснення середовища), які проявляються за дуже великої густини світлової енергії, наприклад під дією випромінювання лазерів, розглядає *нелінійна оптика*.

3.3.3 Фізіологічна оптика

Окремою частиною оптики є так звана *фізіологічна оптика*, яка вивчає закони сприймання світла оком і тісно пов'язана з геометричною та фізичною оптикою, а також фізіологією і психологією.

3.3.4 Практичне використання оптики

Закони оптики і оптичні методи дослідження широко використовуються для вивчення структури речовини, у кількісному і якісному аналізі, а також у світлотехніці, приладобудуванні, автоматизації тощо.

3.4 Оптичні явища в природі. Джерела та приймачі світла

Фізичні тіла, атоми та молекули яких випромінюють світло, називають джерелами світла. Джерела світла бувають штучні та природні, теплові та люмінесцентні, точкові та протяжні. Наприклад, полярне сяйво — природне, протяжне для спостерігача на Землі, люмінесцентне джерело світла.

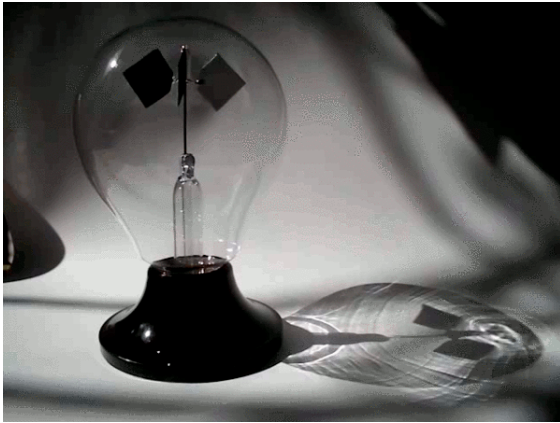
Джерелами світла є Сонце, спалах блискавки, лампа розжарення, екран телевізора, монітори тощо. Світло можуть випромінювати також організми (деякі морські тварини, світлячки та інше.)

Пристрої, за допомогою яких можна виявити світлове випромінювання, називають приймачами світла. Серед природних приймачів світла — органи живих істот.

Область науки і техніки, предметом якої є дослідження принципів і розробка способів генерування, просторового розподілу і вимірювання характеристик оптичного випромінювання, а також перетворення його енергії на інші види енергії і використання з різною метою, називається «Світлотехніка». Світлотехніка включає у себе, також, конструкторську та технологічну розробку джерел випромінювання і систем керування ними, освітлювальних, опромінювальних і світлосигнальних приладів, пристроїв і установок, нормування, проектування, монтаж і експлуатацію світлотехнічних установок.

3.5 Світловий тиск

Світло здійснює фізичний вплив на об'єкти на своєму шляху — явище, яке не може бути виведене з рівнянь Максвелла, але може бути легко пояснене у корпускулярній теорії, коли фотони вдаряються із перешкодою, передають свій імпульс. Тиск світла, яке



Радіометр Вільяма Крукса або «сонячний млин» у вигляді вакуумної скляної бульби з чотирма лопатями на тонкій голці усередині. Під впливом світлового тиску лопаті обертаються

поглинається перешкодою, дорівнює потужності світлового пучка, розділений на швидкість світла c . Під час відбиття світла поверхнею тіла, світловий тиск удвічі більший. У разі проходження фотона наскрізь, світлового тиску не виникає. Через велике значення c ефект світлового тиску є незначним для звичайних об'єктів. Наприклад, лазерна указка на один міліват створює тиск, зусилля від якого, становить близько $3,3$ пН. Об'єкт, освітлений таким способом можна було б підняти, правда для монети номіналом в 1 пенні для цього буде потрібно близько 30 млрд 1 -мВт лазерних указок.^[6] Тим не менше, у нанометровому масштабі, ефект світлового тиску є значнішим, й використання світлового тиску для керування механізмами перемикання нанометрових комутаторів в інтегральних схемах, є перспективною галуззю досліджень^[7].

За великих масштабах, світловий тиск може примусити астероїди, обертатись швидше^[8], діючи на їхні неправильні форми, як на лопаті вітряного млина. Можливість створити сонячні вітрила, які би прискорили рух космічних кораблів у просторі, також розглядається^{[9][10]}.

3.6 Сприйняття світла оком

Із людських органів чуття, найбільше інформації про довкілля, дає нам зір. Однак, бачити навколишній світ ми можемо тільки тому, що існує світло.

Людина бачить електромагнітні хвилі у видимому діапазоні через те, що має відповідні рецептори, які поглинають світло таких частот, викликаючи при цьому відповідні імпульси у нервовій системі. Сітківка людського ока має два типи світлочутливих клітин:

палички і колбочки. Палички не мають особливої чутливості до певного діапазону спектру, зате чутливіші до світла взагалі, тому дозволяють бачити чорно-біле зображення. Колбочки мають у своєму складі молекули, які чутливі до різних діапазонів видимого спектру, тому дозволяють бачити у кольорі.

Відповідність між характеристиками монохроматичного світла й кольорами подано у наступній таблиці. Однак, сприйняття людиною кольору не є простою функцією частоти. Так, суміш жовтого й синього кольорів, сприймається оком як зелений колір, хоча світла відповідного частотного діапазону в цій суміші немає.

Таблиця відповідності частот електромагнітного випромінювання та кольорів

3.7 Історія дослідження світла

Оптика — одна з найдавніших наук. Вчення про світлові явища, виникло за кілька століть до нашої ери як підсумок численних спроб зрозуміти природу зору. Піфагор (VI століття до н. е.) висловив думку, що тіла стають видимими, завдяки випромінюванню ними особливих частинок, які потрапляють в око. Давньогрецький філософ Емпедокл (V ст. до н. е.) стверджував, що Афродіта створила людське око з чотирьох елементів: вогню, повітря, землі й води, до того ж, запалила в оці вогонь, завдяки якому людина може бачити. Так виникла помилкова теорія еманациї, в якій сумнівався у своїй «Оптиці» Евклід (IV ст. до н. е.), пізніше Лукрецій (I ст. до н. е.).

У IV ст. до н. е. Арістотель вважав, що світло є збудженням середовища між предметом та оком. Тоді ж у школі Платона було сформульовано два основні закони геометричної оптики — прямолінійність світлових променів і рівність кутів їх падіння й відбивання.

У 2 ст. книгу під назвою «Оптика», написав також Птолемей. Він змалював заломлення світла, однак дотримувався того ж погляду, що людина бачить завдяки променям, що виходять з ока.

У «Книзі про оптику» 1021 року Альхазен розвинув теорію оптичних явищ, постулювавши, що освітлена поверхня випромінює в усіх напрямках, але в око потрапляє лише один із таких променів. Йому належить винахід камери-обскури. На його думку світло — це потік маленьких частинок, які розповсюджуються зі скінченною швидкістю. Альхазен описав і намагався пояснити численні оптичні явища, такі як тіні, затемнення, веселку, проводив експерименти з розкладу світла на різні кольори, пробував пояснити бінокулярний зір, зміну видимих розмірів Місяця та Сонця поблизу від горизонту. Завдяки цим дослідженням Альхазен вважається батьком сучасної оптики.

Починаючи з XVII століття, наукові суперечки щодо природи світла точилися між прихильниками хвильової та корпускулярної теорій. Засновником хвильової теорії можна вважати Рене Декарта, який розглядав світло як збурення у світовій субстанції — *пленумі*. Корпускулярну теорію сформулював П'єр Гассенді і підтримав Ісаак Ньютон. Хвильову теорію світла розробляли Роберт Гук та Християн Гюйгенс. На думку Гюйгенса світлові хвилі розповсюджуються в спеціальному середовищі — *ефірі*.

На початку XIX століття досліди Томаса Юнга з дифракцією, дали дужий аргумент на користь хвильової теорії. Було відкрито, що світло є поперечними хвилями й характеризується поляризацією. Юнг висловив припущення, що різні кольори відповідають різним довжинам хвилі. 1817 року, свою хвильову теорію світла виклав у мемуарі для Академії наук Огюстен Жан Френель. Після створення теорії електромагнетизму світло було ідентифіковане, як електромагнітні хвилі.

Перемога хвильової теорії похитнулася наприкінці 19 ст., коли експеримент Майкельсона — Морлі не виявив ефіру. Хвилі потребують середовища, в якому вони могли б розповсюджуватися, однак ретельно сплановані експерименти, не підтвердили існування цього середовища. Німецький фізик Макс Планк 1900 року, висунув гіпотезу про квантову природу випромінювання. У 1905 р. Альберт Ейнштейн розробив квантову теорію фотоелектру. З позицій квантової механіки і квантової електродинаміки, вдалося пояснити численні спектральні закономірності й особливості процесів випромінювання. Це призвело до створення Альбертом Ейнштейном загальної теорії відносності. Природа електромагнітних хвиль виявилася складнішою, ніж розповсюдження збурень. Розгляд задачі про теплову рівновагу абсолютно чорного тіла зі своїм випромінюванням, призвів до появи ідеї про випромінювання світла порціями — світловими квантами, які отримали назву фотонів. Аналіз явища фотоелектру показав, що поглинання світлової енергії, також, відбувається квантами.

З розвитком квантової механіки затвердилася ідея Луї де Бройля про корпускулярно-хвильовий дуалізм, за якою світло має, водночас, хвильові властивості, чим пояснюється його здатність до дифракції та інтерференції, та корпускулярні властивості, чим пояснюється його поглинання та випромінювання квантами.

3.8 Див. також

- Рефракція світла в атмосфері
- Видиме світло
- Випромінювання монохроматичне

- Білий колір
- Темрява

3.9 Примітки

- [1] DSTU 3651.2-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Фізичні сталі та характеристичні числа. Основні положення, позначення, назви та значення.
- [2] The International System of Units (SI). — Paris, 2006. — С. 144. — ISBN 92-822-2213-6.(англ.)
- [3] Resolution 1 of the 17th CGPM. BIPM. 1983. Архів оригіналу за 2013-06-23. Прочитовано 2009-08-23.
- [4] Harvard News Office (2001-01-24). Harvard Gazette: Researchers now able to stop, restart light. News.harvard.edu. Архів оригіналу за 2012-10-14. Прочитовано 2011-11-08.
- [5] «Оптика» в УРЕ
- [6] Tang, Hong X. (October 2009). May the Force of Light Be with You. *IEEE Spectrum*: pp. 41–45. Прочитовано 7 September 2010..
- [7] nano-opto-mechanical systems research at Yale University.
- [8] Kathy A. (2004-02-05). Asteroids Get Spun By the Sun. *Discover Magazine*. Архів оригіналу за 2012-10-14.
- [9] Solar Sails Could Send Spacecraft 'Sailing' Through Space. NASA. 2004-08-31. Архів оригіналу за 2012-10-14.
- [10] NASA team successfully deploys two solar sail systems. NASA. 2004-08-09. Архів оригіналу за 2012-10-14.

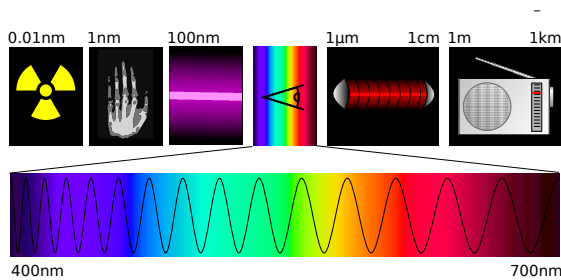
3.10 Джерела

- Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — М. : Наука, 1973. — 720 с.
- Яворський Б. М. Довідник з фізики: для інженерів та студентів вищих навч. закладів / Б. М. Яворський, А. А. Деглаф, А. К. Лебедев. — Т. : Навчальна книга-Богдан, 2005. — 1034 с. — ISBN 966-692-818-3.
- Романюк М. О. Оптика: підручник для фіз. спец. ун-тів / М. О. Романюк, А. С. Крочук, І. П. Пашук. — Л. : ЛНУ ім. Івана Франка, 2012. — 564 с. — ISBN 978-966-613-948-4.
- Ландсберг Г. С. Оптика: учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов / Г. С. Ландсберг. — Изд. 6-е, стер.. — М. : Физматлит, 2006. — 848 с. — ISBN 5-9221-0314-8.

- Трофимова Т. И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. — М. : Высшая школа, 1990. — 478 с. — ISBN 5-06-001540-8.
- Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике. — 3-е изд.. — М. : Знак, 2006. — 972 с. — ISBN 5-87789-051-4.

Розділ 4

Видиме світло



Видиме світло в спектрі електромагнітних хвиль

Видиме світло — область спектру електромагнітних хвиль, що безпосередньо сприймається людським оком. Характеризується довжинами хвиль від 380 (фіолетовий колір) до 750 (червоний колір) нм.

Спектр видимого світла не варто плутати з основними кольорами

Видимий діапазон відповідає енергії фотонів від 1,7 еВ (червоне світло) до 3 еВ (фіолетове світло).

Хвилі з довжиною меншою за 380 нм називають ультрафіолетовими, більшою за 750 нм. — інфрачервоними.

Чутливість людського ока до хвиль різної частоти у видимому діапазоні різна. Вона має максимум у середині діапазону (зелений колір) і зменшується в напрямках границь. Це значить, що серед джерел світла однакової інтенсивності, зелене джерело здаватиметься яскравішим, ніж червоне, або блакитне.

4.1 Історія

Перші пояснення спектру видимого випромінювання дали Ісаак Ньютон в книзі «Оптика» і Йоганн Гете у роботі «Теорія Кольорів», проте ще до них Роджер Бекон спостерігав оптичний спектр в склянці з водою. Лише через чотири століття після цього Ньютон відкрив дисперсію світла в призмах.

Ньютон перший використав слово спектр (лат. *spectrum* — бачення, поява) у пресі в 1671 році, описуючи свої оптичні дослідження. Він зробив спостереження,

що коли промінь світла падає на поверхню скляної призми під кутом до поверхні, частина світла відбивається, а частина проходить через скло, утворюючи різнокольорові смуги. Учений припустив, що світло складається з потоку частинок (корпускул) різних кольорів, і що частки різного кольору рухаються з різною швидкістю в прозорій середовищі. За його припущенням, червоне світло рухалося швидше ніж фіолетове, тому й червоний промінь відхилявся на призмі не так сильно, як фіолетовий. Через це і виникав видимий спектр кольорів.

Ньютон розділив світло на сім кольорів: червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, індиго і фіолетовий. Число сім він вибрав з переконання (походить від давньогрецьких софістів), що існує зв'язок між кольорами, музичними нотами, об'єктами Сонячної системи і днями тижня. Людські очі відносно слабо сприйнятливі до частот кольору індиго, тому деякі люди не можуть відрізнити його від блакитного або фіолетового кольору. Тому після Ньютоні часто пропонувалося вважати індиго не самостійним кольором, а лише відтінком фіолетового або блакитного (проте він досі включений в спектр в західній традиції). У російській традиції індиго відповідає синій колір.

Гете, на відміну від Ньютоні, вважав, що спектр виникає при накладенні різних складових частин світла. Спостерігаючи за широкими променями світла, він виявив, що при проході через призму, на краях променя проявляються червоно-жовті та блакитні краї, між якими світло залишається білим, а спектр з'являється, якщо наблизити ці краї досить близько один до одного.

У XIX столітті, після відкриття ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань, розуміння видимого спектру стало точнішим.

На початку XIX століття Томас Юнг і Герман фон Гельмгольц також досліджували взаємозв'язок між спектром видимого випромінювання і кольоровим зором. Їх теорія кольорового зору вірно припускала, що для визначення кольору очей використовує три різні види рецепторів.

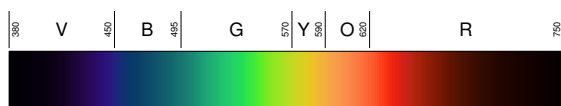
4.2 Спектр видимого випромінювання

4.3 Див. також

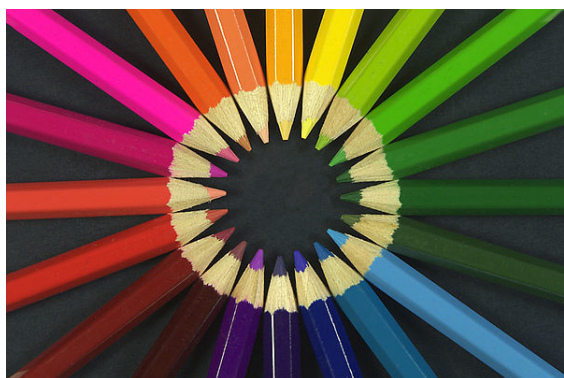
- Монохроматичне випромінювання
- Основні кольори

Розділ 5

Колір



Спектр видимого світла



Кольорові олівці

Колір (також **барва** у контексті теми) — суб'єктивна характеристика сприйняття світлової хвилі, яка оснований на здатності людського зору розрізняти електромагнітне випромінювання з довжиною хвиль в області видимого діапазону (видимий діапазон — довжини хвиль від 380 до 760 нм). Сприйнятий колір (**випромінювання** або **об'єкта**) залежить від його спектру та від психофізіологічного стану людини.

Розрізняють спектральні і неспектральні кольори (наприклад, пурпурний або брунатний колір), а також ахроматичні кольори (білий, сірий, чорний).

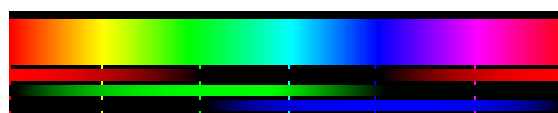
5.1 Історія вивчення кольору

Феномен кольору цікавив людство здавна. Люди намагалися пояснити це явище, з'ясувати його вплив на мозок та психіку. Спроби розробити теорію кольору сягають ще часів Платона й Аристотеля. Питаннями кольористики займалися такі вчені, як Леонардо да Вінчі, І. Ньютон, Г. Гегель. Значущість в аспекті дослідження кольору являє трактат Й. В. Гете «Вчен-

ня про колір» (1810)^[1], у якому дослідник розкриває «чуттєво-моральну дію» кольору на людину.

Колір став об'єктом вивчення низки дисциплін, галузей наук та технологій: психофізики, психофізіології, психології сприйняття, оптики, анатомії ока, колориметрії, світлотехніки, теорії фотографії, поліграфії, хімії барвників тощо. Зроблений перелік знаменує практичну значимість проблематики, пов'язаної з кольором, що зростає з появою нових засобів його відтворення й нових способів використання. Колір є психологічним, емоційним, культурним аспектом, і за його допомогою у мистецтві передається емоційний стан людини, її риси характеру, різні соціальні та культурні явища, а також менталітет, соціальні та культурні аспекти життя народу.

5.2 Семантика кольору



Спектр на моніторі (праворуч додано неспектральний пурпуровий сегмент).

Яскравість червоного, зеленого та синього прямокутників під спектром відповідає відносній інтенсивності відчуття на кожному з трьох незалежних типів рецепторів людського зору — колбочок

Споконвіку колір служив ритуальним, релігійним цілям. У стародавніх людей асоціювався з містичними силами. У християнстві основні кольори — білий, червоний, зелений — представлені в іконописі мали символічне значення. Білий виражає чистоту і сяйво слави, червоний — символ крові мучеників, зелений означає юність, бадьорість^[2].

Відома метамерія кольору — фізіологічно еквівалентне відчуття кольору можна викликати різними наборами світлових стимулів.

Поняття **колір** має 2 сенси: воно може стосуватися як **психологічного відчуття**, зумовленого відбиттям

світла від певного об'єкта (помаранчевий апельсин), так і бути **однозначною** характеристикою самих джерел світла (холодно-біле світло). Тому слід зауважити, що в тих випадках, коли ми хочемо дати **кольорову** характеристику джерел світла, деяких назв кольору просто не існує — так, немає сірого, коричневого, бурого **світла**.

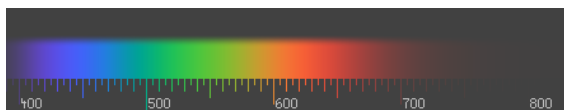
5.3 Фізіологія сприйняття кольору

Відчуття кольору виникає в мозку при збудженні і гальмуванні світлочутливих клітин — рецепторів очної сітківки людини або іншої тварини, колбочках. Вважається (хоча дотепер так ніким і не доведено), що у людей і приматів існує три види колбочок, що розрізняються за спектральною чутливістю — ρ (умовно «червоні»), γ (умовно «зелені») і β (умовно «сині»), відповідно^[3]. Світлочутливість колбочок невисока, тому для доброго сприйняття кольору необхідна достатня освітленість або яскравість. Найбагатші колірними рецепторами центральні частини сітківки.

Кожне колірне відчуття у людини може бути представлено у вигляді суми відчуттів цих трьох кольорів (т. зв. «трикомпонентна теорія кольорного зору»). Встановлено, що рептилії, птахи та деякі риби мають ширшу область відчутного оптичного випромінювання. Вони сприймають ближній ультрафіолет (300—380 нм), синю, зелену і червону частину спектра. При досягненні необхідної для сприйняття кольору яскравості найчутливіші рецептори сутінкового зору — палички — автоматично відключаються.

Психологічно суб'єктивне сприйняття кольору залежить також від яскравості, адаптації ока до фонового світла (див. колірна температура), від кольору сусідніх об'єктів, наявності дальтонізму та інших об'єктивних факторів; а також інших, ситуативних, психологічних моментів.

5.4 Спектральні і неспектральні кольори



Неперервний спектр кольорів можна спостерігати на дифракційній решітці. Хорошою демонстрацією спектру є природне явище веселки.

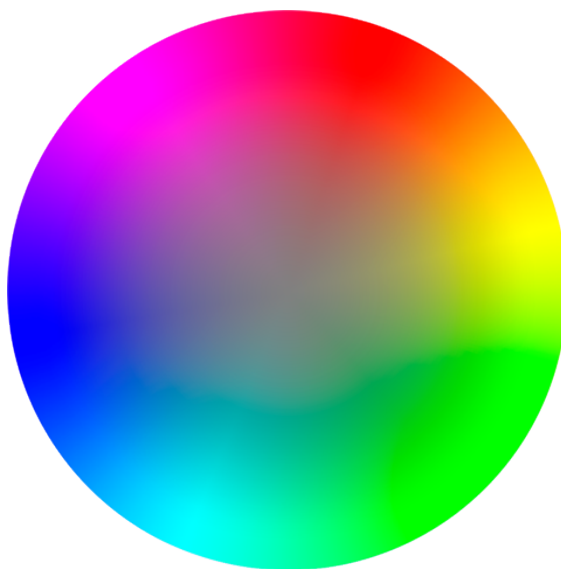
5.4.1 «Основні» кольори

Вперше неперервний спектр на сім кольорів розбив Ісаак Ньютон. Це розбиття умовне і багато в чому випадкове. Швидше за все, Ньютон знаходився під впливом європейської нумерології і ґрунтувався на аналогії з сімома нотами в октаві (також на той час було відомо лише 7 планет Сонячної системи). Опубліковані у книзі «Optics» (1704), мовою оригіналу ці кольори мали такі назви — red, orange, yellow, green, blue, indigo та violet. В українській термінології основними кольорами спектру називають червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій та фіолетовий. Втім проблема відповідності кольорів в українській та англійській термінології ускладнюється тим, що сучасна англійська мова не розрізняє блакитного і синього кольорів, і обидва позначає кольором blue^[4].

Відповідність основних кольорів спектру довжині електромагнітних хвиль можна представити наступною таблицею:

Існували й інші спроби поділу спектру на основні кольори. Так, у XX столітті Освальд Вірт запропонував «октавну» систему (ввів 2 зелених — **холодний, морський** та **теплий, трав'яний**), але широкого розповсюдження вона не мала.

5.4.2 «Додаткові» кольори



Колірне коло

Поняття «додатковий колір» було введено за аналогією з «основним кольором». Було встановлено, що оптичне змішання деяких пар кольорів може давати відчуття білого кольору. Так, до тріади основних кольорів Червоний — Зелений — Синій додатковими є Голубий — Пурпурний — Жовтий-кольори. На колірному колі ці кольори розташовуються опо-

зиційно, отже, кольори обох тріад чергуються. У поліграфічній практиці використовують різні набори «основних кольорів».

5.4.3 Змішання спектральних кольорів

Див. також: Список кольорів

Людина спостерігає монохроматичне випромінювання, у рідкісних випадках, більша частина світлового потоку, що поступає в око людини з навколишнього середовища, а містить різні довжини хвиль. На відміну від акустичних коливань, які при додаванні можуть утворювати враження множинності звуків, на чому ґрунтується можливість музичного мистецтва оперувати різноманітними співзвуччями, електромагнітні коливання при змішанні зливаються в певний єдиний колір, в якому людське око не може виділити складові^[5]. Проблема змішання кольорів вперше була поставлена І. Ньютоном, який довів, що білий колір являє собою суміш кольорів спектру, а розмаїття кольорів, що сприймаються оком не вичерпуються кольорами спектру.

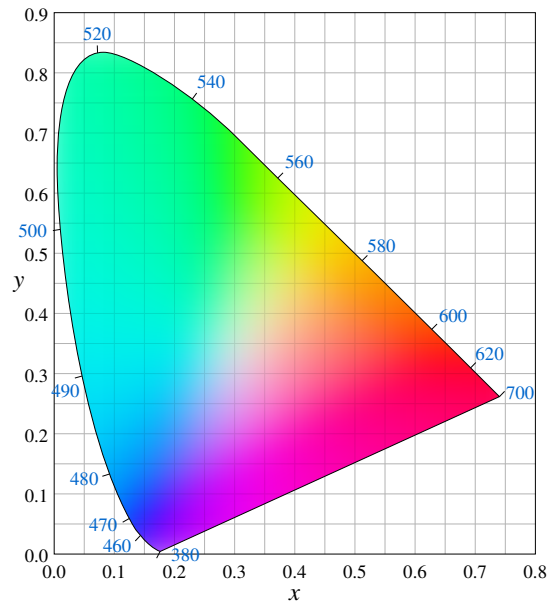
Так, у спектрі відсутні такі кольори, як пурпуровий чи малиновий, що утворюються змішанням червоного і фіолетового спектральних кольорів. Змішуванням кольорів утворюються і так звані «ахроматичні» кольори — відтінки сірого і білого кольорів, а також бляклі кольори, які можна отримати змішуванням спектральних кольорів з білим кольором.

5.4.4 Ахроматичні кольори

Відтінки сірого (в діапазоні білий — чорний) носять парадоксальну назву **ахроматичних кольорів** (від грец. *α-* заперечення, протиставлення + *χρῶμα* — колір, тобто безбарвних кольорів). Найяскравішим ахроматичним кольором є білий, найтемнішим — чорний. Можна зауважити, що при максимальному зниженні насиченості розрізнення тону (відношення до певного кольору спектру) відтінку стає неможливим.

5.5 Вимірювання кольору

Відкриття кольорового спектру і несекторальних кольорів відкрило можливість до представлення усього багатоманіття кольорів певною сумішшю основних кольорів. Німецький математик Герман Грассман встановив, що при дотриманні певних умов



Система CIE XYZ. Зовнішні криві лінії кордону — геометричне місце точок, що представляють кольори безперервного спектру

будь-який колір можна представити як суму трьох лінійно незалежних кольорів. Наука, що вивчає властивості кольорів отримала назву *коліориметрія*.

В Англії основними кольорами довго вважали червоний, жовтий і синій, лише 1860 року Максвелл запровадив адитивну систему RGB (червоний, зелений, синій). 1931 року асоціація CIE (фр. *Commission Internationale de l'Eclairage*) прийняла стандартну модель «універсального кольорового простору», що отримала назву XYZ, або «нормальної кольорової системи». Підґрунтям для прийняття цієї системи стали численні експерименти з великою кількістю людей.

Ця система наразі домінує в системах відтворення кольорів для моніторів і телевізорів як така, яку легко забезпечити трьома потоками світла. 1951 року Енді Мюллер запропонував субтрактивну систему CMYK (Синьо-зелений, пурпурний, жовтий, чорний), яка мала переваги у поліграфії та кольоровій фотографії, і тому швидко «прижилася».

5.6 Характеристики кольору

Кожний колір має кількісно вимірювані фізичні характеристики (спектральний склад, яскравість):

5.6.1 Яскравість

Однаково насичені відтінки, що відносяться до одного й того ж кольору спектру, можуть відрізнятися

один від одного ступінню яскравості. Наприклад, при зменшенні яскравості синій колір поступово наближається до чорного.

Будь-який колір при максимальному зниженні яскравості стає чорним.

Слід зазначити, що яскравість, як і інші кольорові характеристики реального забарвленого об'єкта, суттєво залежать від суб'єктивних причин, обумовлених психологією сприйняття. Так, наприклад синій колір при сусідстві з жовтим здається яскравішим.

5.6.2 Насиченість

Два відтінки одного тону можуть розрізнятися ступенем насиченості. Наприклад, при зменшенні насиченості синій колір наближається до сірого.

5.6.3 Ясність (світлота)

Ступінь близькості кольору до білого називають ясністю (або *світлотою*).

Будь-який відтінок при максимальному збільшенні ясності стає білим.

5.6.4 Кольоровий тон

Будь-який хроматичний колір може бути віднесеним до певного спектрального кольору. Відтінки, що схожі з одним і тим самим кольором спектру (але розрізняються, наприклад, насиченістю і яскравістю), належать до одного і того ж тону. При зміні тону, наприклад, синього кольору в зеленому напрямку спектру він змінюється на блакитний, в зворотному — на фіолетовий.

Іноді кольорові тони поділяють на теплі (червоний, помаранчевий, жовтий — відповідають відчуттю вогня) й холодні (блакитний, синій, фіолетовий — асоціюються із кригою та водою).

5.7 Застосування кольору

5.7.1 У промисловості та дизайні

Колір широко застосовують, як засіб для управління увагою людини. Деякі поєднання кольорів вважають привабливішими (наприклад, *синій + жовтий*), інші — менш (наприклад, *червоний + зелений*). Психологія сприйняття кольору пояснює, чому ті чи інші сполучення здатні сильно впливати на сприйняття та емоційний стан людини^[6].

Колір в цифрових технологіях

У цифрових технологіях, як і в аналоговому телебаченні, застосовують RGB-системи. При цьому кожен компонент кольору представляється за допомогою цілих чисел у межах деякого діапазону, як правило, від 0 до степеня числа 2 мінус один ($2^N - 1$), що відповідає максимально можливій кількості значень, що може бути закодована певною кількістю бітів.

Найбільше поширення отримала технологія «*truecolor*», що передбачає 24-бітне кодування кольору. Інтенсивність кожного компоненту в цій системі кодується за допомогою 8 бітів і, таким чином, може приймати 256 значень — від 0 до 255. Загалом же «*truecolor*» дозволяє представити 16 777 216 (тобто 2^{24}) кольорів для кожного пікселя, що вважається достатнім для реалістичного зображення кольору.

Колір в HTML та CSS

Мова розмітки веб-сторінок HTML передбачає два різновиди представлення кольору^{[7][8]}:

1. У вигляді рядку, що починається з символу «#» (U+0023) і включає також три пари шістнадцяткових цифр, які відповідають відповідно за червоний, зелений і синій кольори. Наприклад, #0000FF — синій колір.
2. За допомогою ключових слів англійською мовою, наприклад *green*, *black*, при цьому слід мати на увазі, що браузері підтримують лише обмежену кількість таких слів, а також слово *transparent* (прозорий).

Застосування кольорів безпосередньо у HTML-коді є застарілим підходом і є небажаним^[7]. Тому рекомендується використання каскадних таблиць стилів CSS. В них кольори позначаються наступними способами^[9]:

1. аналогічно до HTML, за допомогою шістнадцяткових цифр зі знаком #;
2. аналогічно до HTML, за допомогою ключових слів;
3. у вигляді `rgb(*,*,*)`, де «*» — десяткові числа від 0 до 255, що позначають кількість відповідної колірної компоненти RGB (червона, зелена, синя);
4. у вигляді `rgb(*%, *%, *%)`, де «*%» — процентне значення відповідної колірної компоненти;

5. у вигляді `rgba(*,*,*, x)` або `rgba(%, %, %, x)`, де `x` — значення непрозорості (alpha) від 0 до 1, відповідно до моделі RGBA.
6. у вигляді `hsl(*,*,*)`, `hsl(%, %, %)`, `hsla(*,*,*, x)` або `hsla(%, %, %, x)` аналогічно до попередніх способів, але у кольоровій моделі HSL (тон, насиченість, яскравість).

5.7.2 У літературі, мистецтві

Призначення кольорів варіюються залежно від роду мистецтв. Функції кольору у малярстві й художній літературі принципово різні. У живописному творі колір є носієм образотворчих якостей, завдяки світлотіні і кольору, людина зримо сприймає об'ємну форму, матеріал і просторове розміщення предметів, віддзеркалюючи в свідомості їх індивідуальні особливості. А в художньому — колір створює враження достовірності, зримості об'єкту. За допомогою барв автор виражає своє відношення до подій, персонажів, колір може розкривати глибину сюжету і служити ключем до розуміння підтексту. Тобто, — як зазначає В.Кухаренко^[10], — функції колірної деталі в тексті є тотожними функціям художньої деталі як особливого стилістичного прийому: образотворчі, характеротворчі, уточнювальні^[2].

5.8 Див. також

5.9 Примітки

- [1] *Гете И. В.* Учение о цвете. Теория познания: пер. с нем. / И. В. Гете. — 2-е изд. — М.: Эдиториал УРСС, 2011. — 200 с. — (Из наследия мировой философской мысли. этика). — ISBN 978-5-397-02025-1
- [2] Коваль, Т.С. (2007). Художньо-образна функція кольористики//Актуальні питання науки та практики: досягнення та перспективи.
- [3] *Домасев М. В., Гнатюк С. П.* Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. — СПб.: Питер, 2009.
- [4] en:Distinguishing blue from green in language
- [5] *В. В. Шаров.* Свет и Цвет — М.1961
- [6] Магія кольору. Розфарбуй своє життя
- [7] Специфікація HTML4, кольори(англ.)
- [8] Специфікація HTML5, кольори(англ.)
- [9] Специфікація CSS3 (англ.)
- [10] *Кухаренко В. А.* Интерпретация текста: Учебное пособие для педагогических институтов. — Л.: Просвещение, 1979. — 327 с.

5.10 Джерела

- *Печенюк Т.* Кольорознавство: підручник для студ. вищих навч. закладів / Т. Печенюк. — К.: Грані-Т, 2010. — 192 с. — ISBN 978-966-465-235-0
- *Базыма Б. А.* Цвет и психика / Б. А. Базыма ; Харьковская гос. академия культуры. — Х. : ХДАК, 2001. — 172с. — ISBN 966-7352-37-4
- *Иттен И.* Искусство цвета / Пер. с немецкого; 8-е издание; Предисловие Л.Монаховой. — М.: Изд. Д. Аронов, 2013. — 96 с. — ISBN 978-5-94056-026-5
- *Джадд Д., Вьшиецки Г.* Цвет в науке и технике. Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 593 с.
- *Зернов В. А.* Цветоведение. — М.: Книга, 1972. — 239 с.
- *Ивенси Р. М.* Введение в теорию цвета. — М.: Мир, 1964. — 442 с.
- *Филонович С. Р.* Лучи, волны, кванты. — М.: Наука, 1978. — 208 с. — (История науки и техники).
- *Миронова Л. Н.* Учение о цвете. — Минск: Вышэйш. шк., 1993. — 464 с.

5.11 Посилання

- Колір //Енциклопедія сучасної України : у 30 т. / ред. кол. І. М. Дзюба [та ін.] ; НАН України, НТШ, Координаційне бюро енциклопедії сучасної України НАН України. — К., 2003–2014. — ISBN 944-02-3354-X.
- Символіка кольорів матеріал сайту Про Україну
- Україномовний сайт про кольори
- Колір у графічному дизайні та рекламі

Розділ 6

Колориметрія (наука)

Колориметрія, іноді **Кольорометрія** (від лат. *color* — колір та грец. *μετροω* — міряти) — наука, що досліджує методи вимірювання, вираження кількості кольору і відмінностей кольорів, що виникла у минулому столітті.

Головну роль в її розвитку відіграло відкриття німецьким математиком **Г. Грассманом** законів, за якими кожен колір є сумою трьох інших кольорів, узятих у певних долях. При цьому такі кольори мають бути незалежними, тобто два з них, змішуючись, не повинні давати третій.

6.1 Сприйняття кольорів людиною

Визначення кольорового випромінювання пов'язано з суб'єктивним його сприйняттям, яке є різним у людей і залежить від умов спостереження. На практиці широко використовують такі суб'єктивні характеристики, як колірний тон, насиченість.

6.2 Див. також

- Колір

6.3 Джерела

- *Ивэнс Р.М.* Введение в теорию цвета, пер. с англ., М., 1964;(рос.)
- *Артюшин Л. Ф.* Основы воспроизведения цвета в фотографии, кино и полиграфии, М., 1970;(рос.)
- *Джадд Д., Вьшецки Г.* Цвет в науке и технике, пер. с англ., М., 1978;(рос.)
- *Луизс А. В.* Цвет и свет. Л., 1989.(рос.)

Розділ 7

RGB

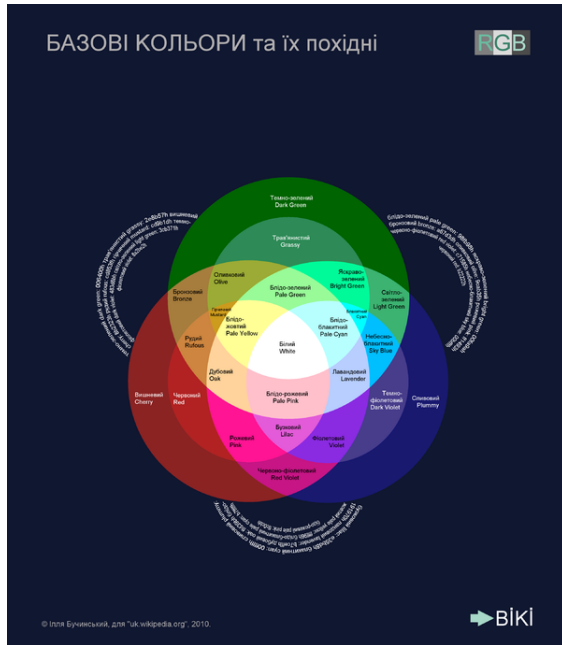


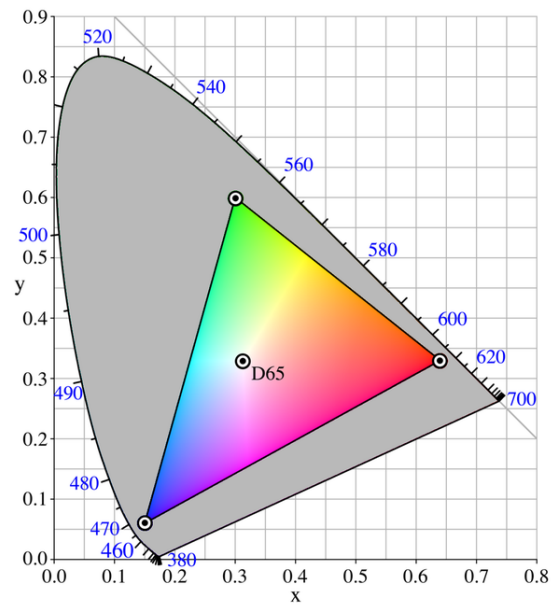
Схема схрещування кольорів

RGB (скорочено від англ. *Red, Green, Blue* — червоний, зелений, синій) — адитивна колірна модель, що описує спосіб синтезу кольору, за якою червоне, зелене та синє світло накладаються разом, змішуючись у різноманітні кольори. Широко застосовується в техніці, що відтворює зображення за допомогою випромінення світла.

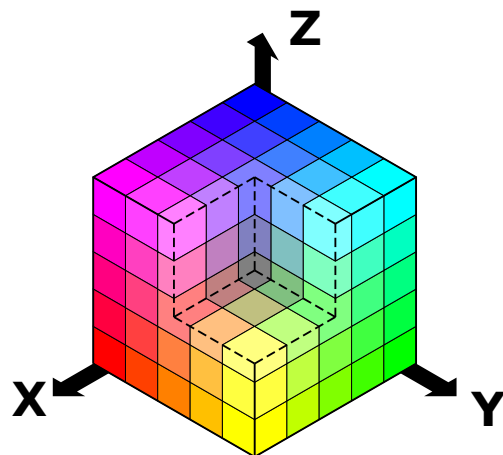
7.1 Кодування кольору

У даній моделі колір кодується градаціями складових каналів (**Red, Green, Blue**). Тому за збільшення величини градації котрогось каналу — зростає його інтенсивність під час синтезу.

Кількість градацій кожного каналу залежить від розрядності бітового значення RGB. Зазвичай використовують 24-бітну модель, у котрій визначається по 8 біт на кожен канал, і тому кількість градацій дорівнює 256 , що дозволяє закодувати $256^3 = 16\,777\,216$ кольорів.



Обмеження RGB по можливості передачі кольорів



Тривимірне представлення моделі RGB

Колірна модель RGB призначена сприймати, представляти та відобразити зображення в електронних системах, таких як телебачення та комп'ютери, хоча

її також застосовували у традиційній фотографії. Вже до електронного віку, модель RGB мала за собою серйозну теорію, засновану на сприйнятті кольорів людиною.

RGB — апаратно-залежний простір кольорів

Типово приладами із RGB-входом є кольоровий телевізор і відеокамера, сканер і цифровий фотоапарат.

7.2 Переваги моделі

- Апаратна близькість із монітором, сканером, проектором, іншими пристроями;
- Велика кольорова гама, близька до можливостей людського зору;
- Доступність багатьох функцій обробки зображення (фільтрів) у програмах растрової графіки;
- Невеликий (порівняно до моделі СМҮК) обсяг, проте ширший спектр кольорів.

7.3 Недоліки

- Збереження імовірності помилки відображення кольорів на екрані монітора — невідповідно до кольорів, отриманих у результаті кольоропроби.

7.4 sRGB

Докладніше у статті sRGB

sRGB — стандарт RGB розроблений фірмами HP і Microsoft у 1996 році для використання в моніторах, принтерах, і Інтернеті. sRGB використовує рекомендації ITU-R BT.709, те ж, оскільки використовується в студійних моніторах і HDTV^[1].

7.5 Див. також

- Список кольорів

7.6 Примітки

[1] Charles A. Poynton (2003). *Digital Video and HDTV: Algorithms and Interfaces*. Morgan Kaufmann. ISBN 1558607927.

Розділ 8

СМУК



СМУК схема схрещування та перетворення в RGB формат

СМУК (скорочено від англ. Cyan, Magenta, Yellow, Black color) — субтрактивна колірна модель, використовується у поліграфії, перш за все при багатофарбовому (повноколірному) друці. Вона застосовується у друкарських машинах і кольорових принтерах.

Українською перші три кольори називають так: блакитний, пурпуровий, жовтий; але професіонали мають на увазі ціан, маджента та жовтий (про значення *K* див. далі). Ці кольори візуально не ідентичні із загальноприйнятими назвами кольорів. Так, маджента — це лише один з пурпурових відтінків; жовтий і блакитний — абсолютно певні відтінки, а не цілі діапазони, як у веселці.

8.1 Значення *K* в аббревіатурі СМУК

У СМУК використовуються чотири кольори, назви перших трьох були пояснені вище, а як четвертий зазвичай використовується чорний.

Одна з версій стверджує, що *K* — скорочення від англ. *black*. За цією версією, при виведенні поліграфічних форм на них однією буквою вказується колір, якому вони відповідають. Чорний (англ. *black*)

стали позначати *K* (за останньою літерою), щоб уникнути плутанини з *B* (англ. *blue*) з моделі RGB, та *B* з моделі Lab. Більшість поліграфістів світу підтримують саме цю версію представлення літери *K*.

За іншим варіантом, який вважається більш професійним, *K* є скороченням від слова англ. *Key* — *Ключовий*: у англomовних країнах терміном *key plate* позначається офсетна друкарська форма для чорної фарби, яка є найбільш контрастною. Цього варіанту дотримується, зокрема, відомий дизайнер А.Лебедев^[1], а також автор відомої поліграфічної енциклопедії Г.Кіппхан.

Відомий в Україні варіант про походження *K* з нім. *Kontur* не витримує критики, не підтверджується в професійних німецьких і англійських виданнях.

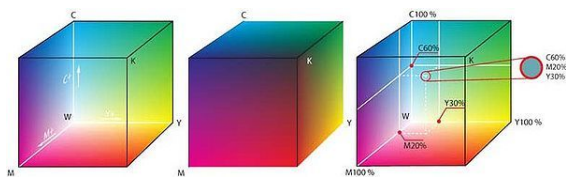
8.2 Вимова СМУК українською

Абревіатуру СМУК вимовляють, як «цмик». Також уживається термін «тріадні фарби». Слід відмітити, що це поєднання слів може позначати як всі чотири кольори, так і виключно СМУ.

8.3 Сутність субтрактивної моделі

Оскільки модель СМУК застосовують в основному в поліграфії при кольоровому друці, а папір і інші друкарські матеріали є поверхнями, що відображають світло, зручніше рахувати яку кількість світла (і кольори) відбилося від тієї або іншої поверхні, ніж скільки поглинається. Таким чином, якщо відняти з білого три первинні кольори, RGB, ми отримаємо трійку доповняльних кольорів СМУ. «Субтрактивний» означає той, що «віднімається» — ми віднімаємо первинні кольори з білого. Модель СМУК забезпечує менше колірне охоплення, ніж адитивна модель RGB.

8.4 Чотири кольори СМҮК



Згідно з теорією кольору, практично будь-який відтінок можна отримати за допомогою лише трьох кольорів — наприклад Cyan, Magenta і Yellow. Зокрема чорний колір — змішуванням згаданих кольорів в рівній пропорції і з максимальною інтенсивністю. На практиці через недосконалість пігментації фарб сто відсоткове змішування цих трьох кольорів дає скоріше брудно-коричневий або брудно-сірий колір; тріадні фарби не дають тієї глибини і насиченості, яка досягається використанням чорної фарби. Оскільки чистота і насиченість чорного кольору є надзвичайно важливою в друкарському процесі, його було введено в цю колірну модель.

Так було зроблено ще і на користь зручності і простоти друку одноколірних об'єктів — наприклад, чорного тексту. Крім очевидної безглуздості і марнотратства друку кольору, що часто зустрічається, трьома (дорогими) фарбами замість однієї (дешевої сажі), виникають ще і чисто технологічні проблеми — неприведення (незбіг накладених кольорів, що на малих кеглях дає абсолютно нечитабельний результат), і багато інших.

8.5 Здійснення друку за допомогою моделі СМҮК

Повноколірне зображення розділюється на чотири колірні канали C, M, Y і K, кожен з яких раструється, тобто представляється у вигляді сукупності точок. На відстані точки різних колірних каналів, що розташовані близько одна до одної, для людського ока зливаються. Так створюється відчуття, що кольори накладаються один на один, утворюють певний відтінок.

8.6 Колірна шкала СМҮК

Кожен колір в СМҮК описується сукупністю чотирьох чисел, які називають **колірними координатами**. Кожне з цих чисел є відсотком фарби даного кольору у складовій колірній комбінації. Приклад: для отримання темно-помаранчевого кольору слід змішати 30% фарби суап, 45% фарби magenta, 80% фарби yellow і 5% кольори black. Цей колір можна записати таким чином: (30,45,80,5). Іноді користуються іншим позначенням: C30M45Y80K5.

8.7 Див. також

- Список кольорів
- DCS - СМҮК формат даних

8.8 Примітки

- [1] *Артемий Лебедев*. Ководство; § 40. Цветовые теории(рос.)

Розділ 9

CIE XYZ

Колірна модель#Кольоровий простір CIE XYZ
Ця сторінка — м'яке перенаправлення.

9.1 Джерела, дописувачі та ліцензії тексту і зображень

9.1.1 Текст

- **Зір** *Джерело:* <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D1%96%D1%80?oldid=17808139> *Дописувачі:* Пуга, Albedo, Ahonc, Temporary, Alexandrov, Bryndza, Kamelot, A1, Escarbot, JAnDbot, Roman Z, Huzzlet the bot, OPbot, Білецький В.С., Holigor, Idioma-bot, Movses-bot, TXiKiBoT, AHbot, Synthebot, VVVBot, SieBot, Loveless, Рудський, Дядько Ігор, Alexbot, Alex Khimich, Антоніна, Alecs.bot, MystBot, Luckas-bot, SilvononBot, Erud, ArthurBot, Drundia, Ink, DixonDBot, JenVan, TjBot, Vitalylos, ZéroBot, Sanya3, Kel, JackieBot, Іванко1, IvanBot, WikitanvirBot, Patriot333, Onysko, Aced, MerllwBot, Навка, AvocadoBot, Flatronez, PavloChemBot, Shynkar, Addbot і Аноніми: 14
- **Око** *Джерело:* <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BA%D0%BE?oldid=19001072> *Дописувачі:* Gutsul, Robbot, U-Bot, Vaslav, Пуга, OlegMarchuk, Albedo, Yakudza, Brabadu, Alexandrov, Advbot, A1, Escarbot, Thijs!bot, JAnDbot, Bodyk13, Leon II, Звірі, Білецький В.С., Lukich, AS, Holigor, Aibot, VolkovBot, Idioma-bot, Movses-bot, Friend, TXiKiBoT, MaryankoD, Synthebot, Той, що греблі рвав, SieBot, AlleborgoBot, Andriyko UA, Alex Blokha, Deineka, PipepBot, Leonst, Krystofer, Олюсь, Дядько Ігор, PixelBot, BodhisattvaBot, Zmi007, Turzh, BOTarate, Alex Khimich, MelancholieBot, Андрій Вовк, CarsracBot, DaBot~ukwiki, WikiDreamer Bot, Rar, AmphBot, Sparrov, SilvononBot, ArthurBot, Nallimbot, Rubinbot, P.Y.Python, Xqbot, Formiate, Ink, Kopernik, Kharkivian, Romanbibwiss, D'ohBot, TobeBot, FoxBot, KamikazeBot, TheStrayCat, Dinamik-bot, Кравчук Петр Авксентьевич, Vovchuck, Maxim Gavrilyuk, EmausBot, Kel, Юрій25031994, Lexusuns, Oliynyuk, Іванко1, IvanBot, ValeriySh, ChuispastonBot, WikitanvirBot, Ykvach, Mary777, LastStep, Aced, MerllwBot, Lystopad, SerjHL, WebCite Archiver, HiW-Bot, Quasar1, TeoBot, Vladysalvpavliuk, Andruh, Astrazh, SteveR, Skritniy, Dexbot, Shynkar, Addbot, Ішкурба Андрій Вікторович, Вільям Форц, Victor Lesyk, Сергій Липко і Аноніми: 42
- **Світло** *Джерело:* <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BB%D0%BE?oldid=19528294> *Дописувачі:* Gutsul, AndriyK, Albedo, Keymone, ReAl, SamOdin, Escarbot, Shkod, Thijs!bot, JAnDbot, Birczanin, Leon II, Minia, Dim Grits, AS, Holigor, VolkovBot, Idioma-bot, TXiKiBoT, MaryankoD, Synthebot, Divega, A-tomic, SieBot, AlleborgoBot, Рудський, Дядько Ігор, MelancholieBot, SilvononBot, Erud, Yonidebot, ArthurBot, Kostpolt, Basia, Xqbot, Ink, Kharkivian, Romanbibwiss, Степан Гладкий, TobeBot, Kovpack, FoxBot, KamikazeBot, DixonDBot, EmausBot, WikitanvirBot, Секімі, Patriot333, Onysko, MerllwBot, Vassilios de Veritas, Lystopad, INGL, TeoBot, Vladysalvpavliuk, Dexbot, Arthur Lobko, Green Zero, Addbot, Сергій Липко, AndriiDydiuk, JAGUR LIGHTER, ТоhaoгBot, Олег Граченко і Аноніми: 22
- **Видиме світло** *Джерело:* https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B5_%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BB%D0%BE?oldid=19258741 *Дописувачі:* Gutsul, Пуга, AndriyK, Albedo, Yakudza, Keymone, Yurko, JAnDbot, DmytroRedchuk, Leon II, Holigor, TXiKiBoT, SieBot, AlleborgoBot, Дядько Ігор, ButkoBot, Luckas-bot, Yelysavet, ArthurBot, Teslavitas, Xqbot, Drundia, RedBot, Вереп, TobeBot, FoxBot, Отец Евгений, Dinamik-bot, EmausBot, ZéroBot, IvanBot, WikitanvirBot, Patriot333, Alecs, MerllwBot, AvocadoBot, Justincheng12345-bot, Green Zero, Addbot, Alex Kushnir, Lamal, Jarozwj, MobyBot і Аноніми: 5
- **Колір** *Джерело:* <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%80?oldid=19307621> *Дописувачі:* Пуга, Albedo, YurikBot, Ahonc, Temporary, Alexandrov, ReAl, Yahont~ukwiki, Yurko, A1, Escarbot, Shkod, Thijs!bot, JAnDbot, Alex K, Білецький В.С., Lukich, Володимир Ф, VolkovBot, Idioma-bot, Movses-bot, Mi agent, TXiKiBoT, Synthebot, SieBot, BotMutchill, AlleborgoBot, Рудський, PipepBot, Leonst, Lionetto, Olegv68, Дядько Ігор, BodhisattvaBot, MelancholieBot, NickK, Luckas-bot, SilvononBot, Ptbotgourou, ArthurBot, Xqbot, Thevolodymyr, DixonD, Zlatachka, FoxBot, Valery Lysenko, Dinamik-bot, EmausBot, ZéroBot, Lexusuns, Albamouse, Іванко1, IvanBot, Avatar6, ChuispastonBot, WikitanvirBot, Mjbmrbot, Onysko, MerllwBot, СергійС, Злой Краб, TeoBot, Geohem, Dexbot, KLBot2, KValentin, Shomatolog, Shynkar, Сергій Липко, Pnprl срт, Lamal, Okolo-basii, ТоhaoгBot і Аноніми: 20
- **Колориметрія (наука)** *Джерело:* [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F_\(%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0\)?oldid=18990047](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F_(%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0)?oldid=18990047) *Дописувачі:* TXiKiBoT, Дядько Ігор, Erud, Огірко Ігор Васильович, Babizhet, EmausBot, Didivan, Масбора, Стахів Дмитро, Ладим Петро, Гуменна Тетяна, MerllwBot, Elchur, Олег.Н, Inna Z, Addbot і Аноніми: 1
- **RGB** *Джерело:* <https://uk.wikipedia.org/wiki/RGB?oldid=18339499> *Дописувачі:* Пуга, ReAl, A1, JAnDbot, Holigor, VolkovBot, Idioma-bot, Movses-bot, Curse, Mi agent, TXiKiBoT, Boryslaw Javir, Mormat, Technik, DragonBot, Olegv68, Супрунець М.Ф., Luckas-bot, SilvononBot, Nallimbot, Rubinbot, Xqbot, RedBot, DixonDBot, Dinamik-bot, JamS007, Basio, Іванко1, IvanBot, WikitanvirBot, Navis, Максим Підліснюк, RLutsBot, BunykBot, Makecat-bot, DigitalRebel78, Храєз і Аноніми: 6
- **СМУК** *Джерело:* <https://uk.wikipedia.org/wiki/СМУК?oldid=19406117> *Дописувачі:* Oleh Kernytskyi, Albedo, Олександр Кравчук, A1, Escarbot, Shkod, Thijs!bot, Movses-bot, Begemot-Bot, Boryslaw Javir, SieBot, Alex Blokha, Yakiv Gluck, Olegv68, Супрунець М.Ф., Дядько Ігор, Ішак, Alexbot, Alex Khimich, Luckas-bot, SilvononBot, Zxabot, Bunyk, Yonidebot, Nallimbot, Koloman, TobeBot, EmausBot, Basio, Sanya3, Іванко1, WikitanvirBot, Navis, Максим Підліснюк, RLutsBot, Ванька Жуков, Geohem, Станіслав Сідлецький і Аноніми: 14
- **СІЕ XYZ** *Джерело:* https://uk.wikipedia.org/wiki/СІЕ_XYZ?oldid=19521007 *Дописувачі:* Vlasenko D і Jarozwj

9.1.2 Зображення

- **Файл:Ambox_wikify.svg** *Джерело:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e1/Ambox_wikify.svg *Ліцензія:* Public domain *Дописувачі:* Власна робота *Художник:* penubag
- **Файл:Auge_evolution_eye.png** *Джерело:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Auge_evolution_eye.png *Ліцензія:* Public domain *Дописувачі:* No machine-readable source provided. Own work assumed (based on copyright claims). *Художник:* No machine-readable author provided. Stern~commonswiki assumed (based on copyright claims).
- **Файл:СІЕху1931_fixed.svg** *Джерело:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/СІЕху1931_fixed.svg *Ліцензія:* CC-BY-SA-3.0 *Дописувачі:*
- **СІЕху1931.svg** *Художник:* СІЕху1931.svg: Sakurambo

- **Файл: CIExy1931_sRGB_gamut_D65.png** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/CIExy1931_sRGB_gamut_D65.png Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: Перенесено з en.wikipedia на Вікісховище користувачем aboalbiss. Художник: Початково цей файл було завантажено користувачем Dicklyon з англійська Wikipedia
- **Файл: CMYK_farbwuerefel.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/CMYK_farbwuerefel.jpg Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл: Смик_схема_схрещування_та_перетворення_в_rgb_формат.png** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/3/31/Смик_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D1%81%D1%85%D1%80%D0%B5%D1%89%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D1%82%D0%B0_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%B2_rgb_%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82.png Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: власна робота Художник: navis
- **Файл: Color_circle_(hue-sat).png** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Color_circle_%28hue-sat%29.png Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл: Colouring_pencils.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Colouring_pencils.jpg Ліцензія: CC BY-SA 3.0 Дописувачі: Власна робота Художник: MichaelMaggs
- **Файл: Commons-logo.svg** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Commons-logo.svg> Ліцензія: Public domain Дописувачі: This version created by Pumbaa, using a proper partial circle and SVG geometry features. (Former versions used to be slightly warped.) Художник: SVG version was created by User:Grunt and cleaned up by 3247, based on the earlier PNG version, created by Reidab.
- **Файл: Computer_color_spectrum.svg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Computer_color_spectrum.svg Ліцензія: Public domain Дописувачі: DarkEvil, based on en:Image:Computerspectrum.png which is free. Художник: DarkEvil
- **Файл: Energia_template.svg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Energia_template.svg Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: Власна робота Художник: user:Urutseg
- **Файл: Eye_iris.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/Eye_iris.jpg Ліцензія: CC BY-SA 2.5 Дописувачі: Власна робота Художник: che
- **Файл: Eye_movements_abductors.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bb/Eye_movements_abductors.jpg Ліцензія: CC BY 2.5 Дописувачі: Patrick J. Lynch, medical illustrator Художник: Patrick J. Lynch, medical illustrator
- **Файл: Eye_movements_adductors.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/95/Eye_movements_adductors.jpg Ліцензія: CC BY 2.5 Дописувачі: Patrick J. Lynch, medical illustrator Художник: Patrick J. Lynch, medical illustrator
- **Файл: Eye_movements_depressors.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Eye_movements_depressors.jpg Ліцензія: CC BY 2.5 Дописувачі: Patrick J. Lynch, medical illustrator Художник: Patrick J. Lynch, medical illustrator
- **Файл: Eye_movements_elevators.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/Eye_movements_elevators.jpg Ліцензія: CC BY 2.5 Дописувачі: Patrick J. Lynch, medical illustrator Художник: Patrick J. Lynch, medical illustrator
- **Файл: Eye_movements_lateral_rot.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Eye_movements_lateral_rot.jpg Ліцензія: CC BY 2.5 Дописувачі: Patrick J. Lynch, medical illustrator Художник: Patrick J. Lynch, medical illustrator
- **Файл: Eye_movements_medial_rot.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6c/Eye_movements_medial_rot.jpg Ліцензія: CC BY 2.5 Дописувачі: Patrick J. Lynch, medical illustrator Художник: Patrick J. Lynch, medical illustrator
- **Файл: Eye_orbit_anterior.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/Eye_orbit_anterior.jpg Ліцензія: CC BY 2.5 Дописувачі: Patrick J. Lynch, medical illustrator Художник: Patrick J. Lynch, medical illustrator
- **Файл: Grafik_blutkreislauf.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Grafik_blutkreislauf.jpg Ліцензія: CC BY-SA 2.5 Дописувачі: self-drawn Художник: User:Sansculotte
- **Файл: Green_DNA_icon.svg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/91/Green_DNA_icon.svg Ліцензія: CC BY-SA 4.0 Дописувачі: Власна робота Художник: Helixitta
- **Файл: HLSCoLorSpace.png** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/HLSCoLorSpace.png> Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: Перенесено з en.wikipedia на Вікісховище. Художник: Початково цей файл було завантажено користувачем MaxPower з англійська Wikipedia
- **Файл: Krilleyekils.jpg** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Krilleyekils.jpg> Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл: Linear_visible_spectrum.svg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Linear_visible_spectrum.svg Ліцензія: Public domain Дописувачі: Власна робота Художник: Gringer
- **Файл: Mergefrom.svg** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0f/Mergefrom.svg> Ліцензія: Public domain Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл: OptiWiktionary-logo.svg** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Wiktionary-logo.svg> Ліцензія: CC BY-SA 3.0 Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл: PEO-rainbow_solid.svg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/PEO-rainbow_solid.svg Ліцензія: CC BY 3.0 Дописувачі: <https://github.com/break24/PhantomOpenEmoji> Художник: <https://github.com/break24/PhantomOpenEmoji/graphs/contributors>
- **Файл: Prism-rainbow.svg** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/24/Prism-rainbow.svg> Ліцензія: GFDL Дописувачі: Власна робота Художник: Suidroot
- **Файл: Protein_PAX6_PDB_2cue.png** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/Protein_PAX6_PDB_2cue.png Ліцензія: CC BY-SA 3.0 Дописувачі: Власна робота Художник: Emv
- **Файл: Question_book-new.svg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Question_book-new.svg Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: Перенесено з en.wikipedia на Вікісховище. Created from scratch in Adobe Illustrator. Based on Image: Question book.png created by User:Equazcion Художник: Tkgd2007

- **Файл:RGBCube_b.svg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/RGBCube_b.svg Ліцензія: GFDL Дописувачі: Перенесено з en.wikipedia на Вікісховище. Transfer was stated to be made by User:nopira. Художник: SharkD з англійська Wikipedia
- **Файл:Radiometer_9965_Nevit.gif** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/Radiometer_9965_Nevit.gif Ліцензія: CC BY-SA 3.0 Дописувачі: Власна робота Художник: Nevit Dilmen (talk)
- **Файл:Schematic_diagram_of_the_human_eye_uk.svg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/Schematic_diagram_of_the_human_eye_uk.svg Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: Schematic_diagram_of_the_human_eye_en.svg Художник: Jakov
- **Файл:Searchtool.svg** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Searchtool.svg> Ліцензія: LGPL Дописувачі: <http://ftp.gnome.org/pub/GNOME/sources/gnome-themes-extras/0.9/gnome-themes-extras-0.9.0.tar.gz> Художник: David Vignoni, Ysangkok
- **Файл:Spectre.svg** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/Spectre.svg> Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: невідоме Художник: Tatoute and Phrood
- **Файл:Spectrum441pxWithnm.png** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Spectrum441pxWithnm.png> Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл:Speed_of_light_from_Earth_to_Moon.gif** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/Speed_of_light_from_Earth_to_Moon.gif Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: Made by English Wikipedian en:User:Cantus. Художник: en:User:Cantus
- **Файл:Table_of_Opticks,_Cyclopaedia,_Volume_2.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/Table_of_Opticks%2C_Cyclopaedia%2C_Volume_2.jpg Ліцензія: Public domain Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл:Translation_Latin_Alphabet.svg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2a/Translation_Latin_Alphabet.svg Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: Derived from File:Translation arrow.svg and File:Descento.svg Художник: Jesse Burgheimer, Ladislav Faigl and David Levy
- **Файл:Wikiquote-logo.svg** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fa/Wikiquote-logo.svg> Ліцензія: Public domain Дописувачі: Власна робота Художник: Rei-artur
- **Файл:WiktionaryUk.svg** Джерело: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/WiktionaryUk.svg> Ліцензія: CC BY-SA 3.0 Дописувачі: self-made, based on File:WikprintableFra.svg Художник: Анатолій Гончаров; author of original work: Bertrand Grondin
- **Файл:Базові_кольори_та_їх_похідні_(фінальна).png** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/2/2c/%D0%91%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D1%80%D0%B8_%D1%82%D0%B0_%D1%97%D1%85_%D0%BF%D0%BE%D1%85%D1%96%D0%B4%D0%BD%D1%96_%28%D1%84%D1%96%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%29.png Ліцензія: CC-BY-SA-3.0 Дописувачі: власна робота Художник: navis
- **Файл:Призматическое_стекло.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/1/1f/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE.jpg Ліцензія: Суспільне надбання Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл:Стекло_пантоскопических_очков.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/8/86/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE_%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%BE%D0%B2.jpg Ліцензія: Суспільне надбання Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл:Сферопризматическое_стекло.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/2/20/%D0%A1%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE.jpg Ліцензія: Суспільне надбання Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл:Сфероцилиндрическое_стекло.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/0/0a/%D0%A1%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE.jpg Ліцензія: Суспільне надбання Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл:Франклиновские_очки.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/b/b6/%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8.jpg Ліцензія: Суспільне надбання Дописувачі: ? Художник: ?
- **Файл:Цилиндрические_очки.jpg** Джерело: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/0/0b/%D0%A6%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8.jpg Ліцензія: Суспільне надбання Дописувачі: ? Художник: ?

9.1.3 Ліцензія вмісту

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0